



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE MANABÍ
MANUEL FÉLIX LÓPEZ**

CARRERA AGRÍCOLA

**TESIS PREVIA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
AGRÍCOLA**

TEMA:

**DISEÑO, IMPLEMENTACIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE
RIEGO POR MICROASPERSIÓN EN CAFÉ (*Coffea arabica L.*) EN LA
ESPAM MFL**

AUTORES:

JULIO CÉSAR MENDOZA BALDERRAMA

JONATHAN MIGUEL BERMÚDEZ VALDEZ

TUTOR:

ING. FROWEN CEDEÑO SACÓN

CALCETA, JULIO DE 2015

DERECHOS DE AUTORÍA

Julio César Mendoza Balderrama y Jonathan Miguel Bermúdez Valdez, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos los derechos de propiedad intelectual a la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria De Manabí Manuel Félix López, según lo establecido por la ley de propiedad intelectual y su reglamento.

JULIO CÉSAR MENDOZA

JONATHAN MIGUEL BERMÚDEZ

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

ÀNGEL FROWEN CEDEÑO SACÓN, **certifica haber tutelado la tesis** DISEÑO, IMPLEMENTACIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE RIEGO POR MICROASPERSIÓN EN CAFÉ (*Coffea arabica L.*) EN LA ESPAM MFL, **que ha sido desarrollada por** JULIO CÉSAR MENDOZA BALDERRAMA y JONATHAN MIGUEL BERMÚDEZ VALDEZ, **previa la obtención del título de Ingeniero Agrícola, de acuerdo al** REGLAMENTO PARA LA ELABORACIÓN DE TESIS DE GRADO DE TERCER NIVEL **de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí, Manuel Félix López.**

ING. ÀNGEL CEDEÑO SACÓN, M.Sc

TUTOR DE TESIS

APROBACION DEL TRIBUNAL

Los suscritos integrantes del tribunal correspondiente, declaran que han APROBADO la tesis DISEÑO, IMPLEMENTACIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE RIEGO POR MICROASPERSIÓN EN CAFÉ (*Coffea arabica L.*) EN LA ESPAM MFL, que ha sido propuesta, desarrollada y sustentada por JULIO CÉSAR MENDOZA BALDERRAMA y JONATHAN MIGUEL BERMÚDEZ VALDEZ, previa la obtención del título de Ingeniero Agrícola de acuerdo al REGLAMENTO PARA LA ELABORACIÓN DE TESIS DEL TERCER NIVEL de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

Ing. Sofía Velásquez Cedeño, M.Sc
MIEMBRO

Ing. Jairo Cedeño Dueñas, M.Sc
MIEMBRO

Ing. Gonzalo Constante Tubay
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

AGRADECIMIENTO

A la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López que nos dio la oportunidad de una educación superior de calidad y en la cual hemos forjado nuestros conocimientos profesionales día a día; a nuestras familias por habernos dado la seguridad y directrices para luchar cada día por nuestra superación como profesionales.

A todos los catedráticos que día a día nos impartieron sus conocimientos y experiencias profesionales y así de esta forma moldear el desarrollo de nuestras mentes como profesionales para lograr ser entes con criterios diestros.

Al Dr. Rolando León por contribuir generosamente con sus conocimientos en el presente trabajo de investigación.

JULIO CÉSAR MENDOZA

JONATHAN MIGUEL BERMÚDEZ

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación va dedicado con mucho amor a Dios por concederme salud y vida, a mis padres MIGUEL ABDÓN BERMÚDEZ PAZ y CELIA MARÍA VALDEZ GUERRERO, ellos son mis formadores, personas de gran sabiduría quienes se han esforzado por ayudarme a llegar al punto en el que me encuentro.

A mi familia, a mi esposa y a mis hijos quienes han sido parte fundamental para desarrollar y culminar este proyecto ellos son la base de mi fortaleza y los principales protagonistas de este sueño alcanzado.

Siempre me he sentido maravillado por la linda familia que tengo, se han preocupado de mí desde el momento en que llegué a este mundo, me han formado para saber cómo luchar y salir victorioso ante las diversas adversidades de la vida. Muchos años después, sus enseñanzas no cesan, y aquí estoy, con un nuevo logro exitosamente conseguido, mi proyecto de tesis finalizado.

Quiero agradecerles por todo, no me alcanzan las palabras para expresar el orgullo y lo bien que me siento por tener una familia tan asombrosa.

JONATHAN MIGUEL BERMÚDEZ

DEDICATORIA

A Dios por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mi madre María Balderrama por haberme apoyado en este momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada por su amor.

A mi padre Édgar Mendoza, por los ejemplos de perseverancia y constancia que lo caracterizan y me ha infundado siempre, por el valor mostrado para salir adelante y por su amor.

A mis maestros por su gran apoyo y motivación para la culminación de nuestros estudios profesionales.

También dedico esta tesis a todos aquellos que no creyeron en mí, a aquellos que esperaban mi fracaso en cada paso que daba hacia la culminación de mis estudios, a todos los que supusieron que no lo lograría a todos ellos le dedico esta tesis.

JULIO CESAR MENDOZA

CONTENIDO GENERAL

Contenido

| | |
|--|------|
| DERECHOS DE AUTORÍA | ii |
| CERTIFICACIÓN DEL TUTOR | iii |
| APROBACIÓN DEL TRIBUNAL..... | iv |
| AGRADECIMIENTO | v |
| DEDICATORIA | vi |
| DEDICATORIA | vi |
| CONTENIDO GENERAL | viii |
| CONTENIDO DE CUADROS Y GRÁFICOS | xi |
| RESUMEN | xii |
| PALABRAS CLAVES..... | xii |
| ABSTRACT | xiii |
| KEY WORDS | xiii |
| CAPITULO I. ANTECEDENTES | |
| I. ANTECEDENTES | 1 |
| 1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA | 1 |
| 1.2. JUSTIFICACIÓN | 4 |
| 1.3.OBJETIVOS | 5 |
| 1.3.1. OBJETIVO GENERAL | 5 |
| 1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | 5 |
| 1.4.HIPÓTESIS..... | 6 |
| CAPITULO II. MARCO TEORICO | |
| II. MARCO TEÓRICO | 7 |
| 2.1. Taxonomía y morfología del cultivo | 7 |
| 2.1.1. Café..... | 7 |
| 2.2. Riego..... | 9 |
| 2.3. Sistemas de riego..... | 9 |
| 2.4 Recomendaciones para el uso de sistemas de riego | 10 |
| 2.4.1. Para plantas en crecimiento | 10 |

| | |
|---|----|
| 2.4.2. Técnicas de riego por microaspersión..... | 11 |
| 2.4.3. Necesidades hídricas de los cultivos | 11 |
| 2.5. Diseño agronómico..... | 12 |
| 2.5.1. Densidad aparente | 12 |
| 2.5.2. Capacidad de campo | 12 |
| 2.5.3. Punto de marchitez | 13 |
| 2.5.4. Fracción de agotamiento del agua disponible (f) | 13 |
| 2.5.5. Eficiencia de aplicación | 14 |
| 2.5.6. Lamina neta de riego..... | 14 |
| 2.5.7. Lamina total de riego..... | 15 |
| 2.5.8 Intervalos de riego..... | 15 |
| 2.5.9 Coeficiente de uniformidad | 15 |
| 2.6 Requerimientos edafo climáticos del cultivo de café | 16 |
| 2.7. Diseño hidráulico | 17 |
| 2.7.1. Caudal del ramal | 18 |
| 2.7.2. Número de salidas | 18 |
| 2.7.3 Caudal de cada salida | 18 |
| 2.7.4. Descarga por planta..... | 19 |
| 2.7.5. Números de subareas..... | 19 |
| 2.7.6. Necesidades diarias de la planta. | 20 |
| 2.7.7. Capacidad o gasto que requiere el sistema | 20 |
| CAPITULO III. DISEÑO METODOLOGICO | |
| DISEÑO METODOLÓGICO | 21 |
| 3.1. Ubicación..... | 21 |
| 3.2. Características del cultivo propuesto | 21 |
| 3.3. Características climáticas | 22 |
| 3.4 Diseño de un sistema de riego. | 23 |
| 3.4.1. Recopilación de la información básica. | 23 |
| 3.4.1.1 Plano topografico | 24 |
| 3.4.1.2 Superficie del proyecto | 24 |
| 3.4.1.3 Análisis físicos de suelo | 24 |

| | |
|--|----|
| 3.4.1.4 Calidad del agua..... | 25 |
| 3.4.1.5 Disponibilidad de agua y energía..... | 25 |
| 3.4.2. Diseño agronómico..... | 25 |
| 3.4.2.1 Diseño agronómico..... | 26 |
| 3.4.2.2 Dosis de riego neta y bruta | 26 |
| 3.4.2.3 Cálculos de evapotranspiración de referencia..... | 27 |
| 3.4.2.4 Intervalo y frecuencia de riego..... | 31 |
| 3.4.2.5 Pluviometría..... | 32 |
| 3.4.2.6 Tiempo de estancia de los emisores para cubrir la dosis..... | 32 |
| 3.4.2.7 Tiempo para cubrir area total..... | 33 |
| 3.4.2.8 Números de emisores..... | 33 |
| 3.4.2.9 Numeros de laterales..... | 34 |
| 3.4.3 DISEÑO HIDRÁULICO | 34 |
| 3.4.4 LA IMPLEMENTACIÓN | 37 |
| 3.5 EVALUACIÓN | 38 |
| CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | |
| IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 40 |
| CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | |
| V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 48 |
| 5.1. CONCLUSIONES..... | 48 |
| 5.2. RECOMENDACIONES | 49 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 50 |
| ANEXOS..... | 54 |

CONTENIDO DE CUADROS Y GRÁFICOS

| | |
|--|----|
| FIGURA 2.1 CLASIFICACIÓN DE LOS MÉTODOS Y TECNOLOGÍAS DE RIEGO | 10 |
| CUADRO 3.1 CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DE LA ZONA OBJETO DE ESTUDIO | 22 |
| CUADRO 4.1 PARÁMETROS TÉCNICOS DE LA PARCELA DEMOSTRATIVA | 40 |
| CUADRO 4.2 DATOS CLIMÁTICOS PARA EL DISEÑO AGRONÓMICO | 41 |
| CUADRO 4.3 DATOS GENERALES DEL CULTIVO | 42 |
| CUADRO 4.4 VALORES DE LAS PROPIEDADES HIDROFÍSICAS DEL SUELO | 43 |
| CUADRO 4.5 CALIDAD DEL AGUA..... | 44 |
| CUADRO 4.6 DATOS GENERALES DEL SISTEMA DE RIEGO | 44 |
| CUADRO 4.7 PARÁMETROS TÉCNICOS DE LA TOMA | 45 |
| CUADRO 4.8 VALORES DE COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD (CU) | 46 |
| FIGURA 4.1 DISTRIBUCIÓN DE EMISORES SELECCIONADOS | 47 |
| CUADRO 4.9 DATOS DE EVALUACIÓN | 47 |

RESUMEN

El presente trabajo investigativo se realizó en el año 2013, en el área docente, investigativa, productiva y de vinculación del campus universitario de la ESPAM “MFL”, la misma se desarrolló con el objetivo de implementar un sistema de riego por microaspersión en una superficie total de 7035m² que garantice el volumen de agua requerido por el cultivo de café (*Coffea arabica L*). Para la implementación del sistema se realizó el diseño agronómico e hidráulico que permitió el cálculo de las necesidades hídricas del cultivo así como los componentes del sistema. Para establecer la frecuencia y dosis de riego que necesita el cafeto, se realizaron estudios físicos y químicos del suelo, acorde con el diseño agronómico se empleó una lámina de riego de 725 mm que de acuerdo al microaspersor electo es necesario regar durante 19 horas con el intervalo de 7 días. Asimismo, el diseño hidráulico determinó que el diámetro de la tubería es de 63 mm. La pérdida de carga se estableció en 1.27 mca. (Metros columna de agua), y la presión mínima para el funcionamiento es de 24.35 PSI. Posteriormente, se efectuó la evaluación de funcionamiento del sistema de riego en la cual se comprobó que el coeficiente de uniformidad (CU) es de 74.15%, siendo un valor aceptable, según los valores de Christiansen.

PALABRAS CLAVES

Riego, coeficiente de uniformidad, metros de columna agua (mca), emisor, microaspersores

ABSTRACT

This research work was conducted in 2013, in teaching, research, production and linking the university campus ESPAM "MFL" area it was developed with the aim of implementing a micro sprinkler irrigation system in a total area of 7035m² to ensure the volume of water required for the cultivation of coffee (*Coffea arabica* L) .For the implementation of the agronomic and hydraulic system design that allowed the calculation of crop water requirements and system components was performed. To set the frequency and dosage of irrigation needed by the coffee plant, physical and chemical soil studies were performed, according to the agronomic irrigation design a sheet of 725 mm according to microaspersor elect is necessary to water for 19 hours to be used 7-day interval. Hydraulic design also determined that the pipe diameter is 63 mm. The pressure drop was set at 1.27 meters head. (Meters water column), and the minimum operating pressure is 24.35 PSI. Performance evaluation of the irrigation system in which it was found that the coefficient of uniformity (CU) 74.15% is still an acceptable value, as values Christianse subsequently made.

KEY WORDS

Irrigation uniformity coefficient, meters of water column (MCA), issuer, microaspersores

CAPITULO I. ANTECEDENTES

1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Según ANECAFE 2002, en el Ecuador se produce café en 21 de las 24 provincias existentes en el país, lo que denota la importancia económica de este cultivo. De acuerdo con el informe presentado por esta organización, destaca, que el área sembrada asciende a 112.000 ha, distribuidas en: 62.000, 55.000 y 1.000 has, en las regiones costa, zona subtropical, en la Amazonía y Galápagos, respectivamente. Su adaptabilidad a distintos climas y suelos permite su establecimiento en terrenos marginales que poseen limitadas alternativas de producción, todo ello justifica, la alta aceptación del cultivo por los productores.

En el informe presentado por COFENAC en el 2010 con respecto al porcentaje de superficie cafetalera en el país, resalta a la provincia de Manabí como la de mayor superficie con 32,9% del área total.

Por otra parte, en el informe elaborado por CORECAF en el 2000, se destaca que en la provincia de Manabí, los productores conducen fincas cafetaleras con áreas comprendidas entre 6 a 7 hectáreas lo que suma una superficie total de 80,000 ha, establecidas en su mayor porcentaje en terrenos con pendientes muy pronunciadas, comprendidas entre, 30 y 40%.

Uno de los recursos imprescindibles para el cultivo de café es el agua. Según (CORECAF, 2000) las lluvias durante la estación invernal se comportan entre los 700-800 mm en las zonas donde se desarrollan los mayores núcleos cafetaleros.

ORONA 2001 argumenta que en todo el mundo, el empleo del agua y su gestión han sido un factor esencial para elevar la productividad de la agricultura y asegurar una producción previsible. El agua permite aprovechar el potencial de la

tierra y que las plantas utilicen plenamente factores de producción que eleven sus rendimientos.

La producción de café en el Ecuador ha constituido un importante renglón para la economía nacional, en especial por su significativa contribución a la generación de divisas por concepto de exportación, actividad que se inició en la época colonial. En las décadas del 70 y 80 ocupó uno de los primeros lugares en el monto de exportaciones del sector agrícola. Sin embargo, éstas han sufrido una baja significativa en estos últimos años, debido a que el cultivo experimenta decadencia en producción, atribuible a ciertos factores de orden social, económico, político, técnico; evidenciados en cafetales viejos o no rehabilitados; y, a la falta de recursos hídricos, por los cambios climáticos que han incidido en los bajos niveles de precipitación o por la falta de tecnología para la captación de este recurso y ponerlo a disposición de las zonas de producción.

En Manabí, la disponibilidad de agua en la mayoría de las veces está sujeta a las reservas acumuladas durante el periodo lluvioso; por lo que el riego no constituye una práctica arraigada en la generalidad de las fincas en las que se produce café (CORECAF, 2000).

La COFENAC, 2002 señala que la precipitación óptima para el café arábigo debe de estar en el rango 1.000 a 2.000 mm anuales, con un período seco que transcurre de tres a seis meses, por lo que recomienda que se tomen medidas desde el punto de vista aerotécnico que permitan la preservación del agua y con ello conservar la humedad disponible en el suelo.

La Carrera de Ingeniería Agrícola de la ESPAM MFL (Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López) desde su inicio contó con un área demostrativa de café (*Coffea arábica L*) sin que se encontrara identificada de acuerdo con sus características varietales. Teniendo en cuenta estos elementos la ESPAM MFL y el INIAP (Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones

Agropecuarias) firmaron un acuerdo inter institucional con el objetivo de establecer una parcela demostrativa con cultivo de café en el campus universitario, con la finalidad de crear un banco de semillas para beneficiar a los agricultores cafetaleros de la zona. Por lo que garantizarle los requerimientos hídricos al cultivo se convierte en una premisa insoslayable para la obtención de los niveles de semillas demandados y la calidad requerida.

Planteándose el siguiente problema: necesidad del establecimiento de un sistema de riego que contribuya a la satisfacción de los requerimientos hídricos del cafeto en la parcela demostrativa de este cultivo en el campus universitario.

1.2. JUSTIFICACIÓN

Al no disponer de las reservas de agua naturales para la producción de café, producto de las irregularidades de las lluvias, tanto en su distribución como en su magnitud; así como las pérdidas de agua que se producen en el suelo por múltiples causas, se hace imprescindible disponer de sistemas de riego que garanticen los requerimientos hídricos del café en cada una de las etapas de desarrollo del mismo en el área demostrativa de la ESPAM MFL y con ello poder alcanzar el máximo potencial productivo.

El diseño e implementación del sistema de riego constituirá un eslabón imprescindible en la concreción de las intenciones planteadas con el propósito de garantizar el suministro de agua adecuado a la plantación de café.

Por este motivo se realizará la implementación de un sistema de riego por microaspersión que posibilite un riego oportuno al cultivo de café, donde se le aplique el agua en la cantidad requerida y se garantice la eficiencia en la explotación del mismo.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

➤ Establecer un sistema de riego por microaspersión que garantice el volumen de agua requerido por el cultivo de café (*Coffea arabica L*) en parcela demostrativa de la ESPAM MFL.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

➤ Realizar el diseño agronómico e hidráulico para el establecimiento del sistema de riego por microaspersión en el cultivo de café (***Coffea arabica L***) en la parcela demostrativa de la ESPAM MFL.

➤ Implementar el sistema de riego por microaspersión en el cultivo de café (***Coffea arabica L***) en la parcela demostrativa de la ESPAM MFL.

➤ Realizar la evaluación de la uniformidad del sistema de riego en el cultivo de café (***Coffea arabica L***) en la parcela demostrativa de la ESPAM MFL.

1.4. HIPÓTESIS

El establecimiento de un sistema de riego contribuirá a la satisfacción de los requerimientos hídricos del cafeto en la parcela demostrativa de este cultivo en el campus universitario de la ESPAM MFL.

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. TAXONOMÍA Y MORFOLOGÍA DEL CULTIVO

2.1.1. CAFÉ

Familia: Rubiaceae

Género: *Coffea*

Nombre científico: *Coffea arábica* L

ORIGEN: El café es originario de Etiopía, donde aún se encuentra en estado silvestre en el antiguo reino de Kaffa y en los alrededores de la ciudad del mismo nombre. La lengua del país designa al arbusto del cafeto con el nombre de «bun», y a la bebida como «bunchum». De acuerdo con la raíz «chaube, qahwa, kahwe» es sin duda de origen árabe. Esta palabra fue traída a Europa por viajeros y luego fue difundida a Turquía, donde los consumidores de café lo conocen como «kahwa». Originalmente la palabra kahwa estaba destinada al vino, pero el sentido del término se extendió al café. A finales del siglo XVI, en todos los estados árabes ya se tomaba la bebida. La consonancia latina «coffea» fue la que se impuso finalmente en todos los países. Fue así como el término café se conoció a nivel mundial, y se usa para designar tanto a la planta como a la bebida. (CORECAF ,2000)

PLANTA: La planta del café es un arbusto. Alcanza entre 2 y 12 metros de altura y puede llegar a vivir 50 años. Comprende unas 70 especies, de las que sólo 10 son interesantes para la producción. (INIAP, 2005).

SISTEMA RADICULAR: La raíz es un órgano de mucha importancia; a través de ella la planta toma el agua y los nutrientes necesarios para su crecimiento y producción. El cafeto tiene una raíz principal que penetra verticalmente en suelos sin limitaciones físicas, hasta profundidades de 50 centímetros. (Salas E, 2001).

HOJAS: Hojas simples. En las ramas, un par de hojas aparece cada 15 ó 20 días aproximadamente. Independiente de la densidad de siembra, un cafeto de un año de edad tiene 440 hojas en promedio. A partir del segundo año de edad, la densidad de siembra, al igual que la condición de sol o sombra, influyen notablemente en la cantidad de hojas por planta. Las hojas duran en un cafetal alrededor de un año. La duración de las hojas se reduce con la sequía, con las altas temperaturas y con una mala nutrición. (Oliveros C, 2005).

FLORES: Las flores del cafeto aparecen en los nudos de las ramas, hacia la base de las hojas, en grupos de 4 o más, sobre un tallito muy corto llamado glomérulo. En la base de cada hoja hay de 3 a 5 glomérulos (Gutiérrez N, 2009).

FRUTO: En el desarrollo del fruto del café se pueden distinguir cuatro periodos:

Primer periodo: Es una etapa donde hay muy poco crecimiento en tamaño y peso del fruto. Va desde la fecundación hasta la sexta semana

Segundo periodo: En esta etapa el fruto crece rápidamente en peso y volumen. Se necesita el agua, de lo contrario el grano se queda pequeño, hay secamiento, caída de frutos y se presenta el "grano negro". También es denominada como la etapa de formación del grano lechoso. Va desde la sexta a la décima sexta semana después de la fecundación.

Tercer periodo: El crecimiento exterior del fruto casi no se nota. Se da una gran demanda de nutrientes. Se endurece la almendra. Si falta agua, el fruto no termina de formarse bien y se produce el grano *averanado*. Va de la décima sexta a la vigésima séptima semana después de la fecundación.

Cuarto periodo: Es la época de maduración o cambio de color del fruto. Va de la vigésima - séptima a la trigésima - segunda semanas después de la fecundación (Ramírez A ,2002).

PROPAGACIÓN: El café se propaga en gran escala por medio de plantas obtenidas de semilla, o vegetativamente, por medio de injertos o estacas. Para el caso de la utilización de semillas existen algunos datos sobre el adecuado almacenamiento de las mismas para impedir su deterioro (Oliveros C, 2011).

2.2. RIEGO

El riego consiste en la actividad de suministrarle a los cultivos, de forma eficiente y sin alterar la fertilidad del suelo, el agua requerida cuando esta no puede ser satisfecha de forma natural a través de la precipitación con el objetivo de garantizar su crecimiento óptimo y cubrir las necesidades de lavado de las sales de forma que evite su acumulación en el suelo (Tarjuelo ,2005).

2.3. SISTEMAS DE RIEGO

Se denomina sistema de riego o perímetro de riego, al conjunto de estructuras, que hacen posible que una determinada área pueda ser cultivada con la aplicación del agua necesaria a las plantas. Un sistema de riego consiste en un conjunto de elementos que garantiza la conducción y distribución eficiente del agua dentro del área regada. El conjunto de componentes dependerá si se trata de un sistema de riego superficial o presurizado (Bi ,2010).

Las tecnologías de riego que se emplean en la actualidad de acuerdo con los métodos empleados son:

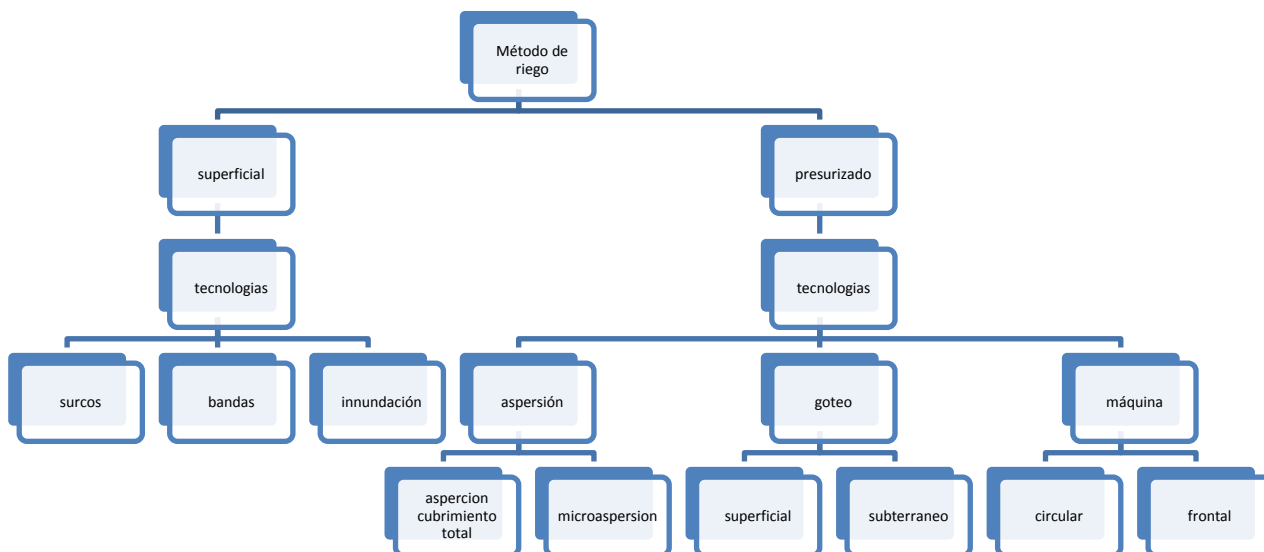


Figura 2.1 Clasificación de los métodos y tecnologías de riegos

2.4 RECOMENDACIONES PARA EL USO DE SISTEMAS DE RIEGO

2.4.1. PARA PLANTAS EN CRECIMIENTO

Generalmente los pequeños y medianos productores previamente construyen sistemas de riegos superficiales con la tecnología de riego por surcos elaborados a un costado de las hileras de las plantas donde el agua se mueve penetrando en el suelo por medio del movimiento horizontal y vertical. En cultivos como el arroz por lo general se aplica el riego por inundación de cubrimiento total.

2.4.2. TÉCNICAS DE RIEGO POR MICROASPERSIÓN

En el riego por micro difusión y microaspersión, el agua se aplica sobre la superficie del suelo en forma de lluvia muy fina, mojando una zona determinada que depende del alcance de cada emisor. Está indicado tanto para cultivos leñosos como para cultivos herbáceos de distinto marco de plantación.

Se distinguen los emisores denominados microdifusores de los cuales están constituidos por tuberías fijas y microaspersores constituidos por defletores móviles. En ambos casos suelen trabajar a presión entre 1 y 2 kg/cm² y suministrar caudales de hasta 200 L/h. (Rodrigo et al ,1997). La tecnología de riego localizado se está utilizando ampliamente en el mundo por las ventajas que posee. Sin embargo, su utilización se dificulta porque requiere una alta inversión inicial y su operatividad cierto nivel tecnológico, que en la mayoría de los casos los productores no lo tienen. Los agricultores desconocen que estos sistemas de riego a largo plazo son económicamente rentables.

2.4.3. NECESIDADES HÍDRICAS DE LOS CULTIVOS

La demanda hídrica de los cultivos está determinada por los procesos de evaporación desde el suelo y transpiración de la superficie foliar, que en su conjunto reciben el nombre de evapotranspiración real o de cultivo (ETc). Existen varios métodos para determinar el ETc en función de la evapotranspiración de referencia (ETo), siendo el método de la evaporación de la bandeja uno de los más usados por su bajo costo y fácil manejo. (Ortega y Farías, 2001).

2.5. DISEÑO AGRONÓMICO

En el diseño agronómico de un sistema de riego se debe de considerar el suelo, la planta, el clima, la tecnología de riego, entre otros. Consiste en determinar o definir la lámina de riego que se debe aplicar, el tiempo de riego, el intervalo de riego y con estos, el número de emisores por planta o espacio de riego para llegar finalmente, a conocer la capacidad requerida del sistema, en caso de no coincidir con la capacidad disponible realizar los ajustes correspondientes. (Fuentes J, 2003).

2.5.1. LA DENSIDAD APARENTE

La densidad aparente es una de las características del suelo que reviste mayor importancia. Se tiene en cuenta para conocer el espacio poroso, transformar la humedad gravimétrica, estimar el coeficiente de expansión lineal (COEL); en fertilidad para calcular la masa de la capa arable y en riegos para calcular la lámina de agua. También, se utiliza como parámetro para clasificar los suelos orgánicos y derivados de cenizas volcánicas. (Santos y Picornell, 2010).

2.5.2. CAPACIDAD DE CAMPO

Se denomina Capacidad de Campo a la cantidad de agua que es capaz de retener el suelo luego de saturación o de haber sido mojado abundantemente y después dejado drenar libremente evitando pérdida por evapotranspiración hasta que el potencial hídrico del suelo se estabilice (alrededor de 24 a 48 horas luego de la lluvia o riego). Este contenido de agua está en condiciones para ser utilizada por el cultivo y se define gráficamente como la diferencia entre el Punto de Capacidad de Campo y el Punto de Marchitez Permanente, expresado porcentualmente o en mm de agua disponible. (Scalone, 2012)

2.5.3. PUNTO DE MARCHITEZ

Al contrario de la capacidad de campo, el punto de marchitez permanente es el potencial hídrico del suelo más negativo al cual las hojas de las plantas no recobrar su turgencia (Montoya O ,2007).

Se determina en laboratorio sometiendo a la muestra a una presión centrífuga del orden de 15 atmósferas y luego se halla su grado de humedad. Su valor real dependerá del tipo de vegetación que exista sobre el suelo.

$$P_m = A_c + L + A_r \text{ (formula de Briggs). [2.1]}$$

En donde:

P_m = punto de marchitamiento, expresado como humedad gravimétrica en %.

A_c = contenido de arcilla, expresado como humedad gravimétrica en %.

L = contenido de lino, expresado como humedad gravimétrica en %.

A_r = contenido de arena, expresado como humedad gravimétrica en %.

2.5.4. FRACCIÓN DE AGOTAMIENTO DEL AGUA DISPONIBLE (F)

El método recomendable y más utilizado para calcular las pérdidas de agua por evapotranspiración (ET_c) es el recomendado por la FAO 2000 en el que la ET_c se calcula como el producto de tres términos:

$$ET_c = ET_o * k_c * k_r. [2.2]$$

En donde:

ET_c = evapotranspiración máxima del cultivo

ET_o = evapotranspiración potencial o de referencia

K_c = coeficiente de cultivo.

K_r = coeficiente de desarrollo del cultivo (superficie cubierta por la copa).

Se determina de acuerdo al tipo de cultivo, el tipo de suelo y la magnitud de la transpiración. (Vienen dados en tablas para los valores de los cultivos. De acuerdo al tiempo en que se tarda en hacer la operación de riego en una superficie determinada, que involucra al tiempo en mojar esa superficie, el riego propiamente dicho para que infiltre la dosis requerida y el tiempo en que se retira el agua de la citada superficie. (Fuentes, 2003)

2.5.5. EFICIENCIA DE APLICACIÓN

Para Fuentes (2003), el cálculo de esta eficiencia, es necesario hacer mediciones directas en la parcela, en relación con las entradas y salidas de agua para poder estimar los diferentes componentes de la función.

Esta se obtiene mediante el volumen disponible sobre el volumen suministrado.

$$Ea = \frac{V_{disp}}{V_{sumins}} \quad [2.3]$$

En donde:

Ea = Eficiencia de aplicación.

V. disp. = volumen disponible.

v. sumins. = volumen suministrado.

2.5.6. LÁMINA NETA DE RIEGO

$$DPH = f * HA * ZR * P \quad [2.4]$$

En donde:

DPH = lámina neta de riego.

F = fracción de agotamiento.

HA = humedad aprovechable.

ZR = profundidad radicular.

P = área a humedecer.

2.5.7. LÁMINA TOTAL DE RIEGO

$$D' = \frac{DPH}{E_a} \quad [2.5]$$

En donde:

D = lámina total de riego.

DPH = lámina neta de riego.

E_a = eficiencia de aplicación.

2.5.8 INTERVALOS DE RIEGO

$$F' = \frac{DPH}{E_t} \quad [2.6]$$

En donde:

F' = intervalos de riego

DPH = lámina neta de riego.

E_t = evapotranspiración del cultivo ajustado al riego por goteo

2.5.9 COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD

Demuestra cómo se ha producido la variación del agua caída en una superficie en relación con su media. El resultado se expresa en porcentaje %.

El CU de Christiansen es una representación estadística de la uniformidad. Utilizado principalmente en los sistemas de aspersión. (Chambouleyron, J. et al, 1993).

Se expresa en tanto por ciento mediante la expresión.

$$CU = \left(1 - \frac{\sum ci - M}{Mn}\right) * 100 \quad [2.7]$$

En donde:

Ci.=Cantidad recogida por cada pluviometría o punto de control

M. =valor medio del agua recogida en los pluviómetros o punto de control

n. =número total de pluviometría o puntos de control.

2.6 REQUERIMIENTOS EDAFO CLIMÁTICOS DEL CULTIVO DE CAFÉ

Según Oliveros, 2005 *Coffea arábica L* es una especie de las tierras altas, con un período de floración susceptible al exceso del periodo lluvioso. Las plantas continúan su desarrollo vegetativo durante la temporada seca, pero entran en plena floración dentro de unos días o semanas después de que se inicia la temporada de lluvias. Se estima que el 60% del gasto requerido en la producción de café, lo constituye el costo de recolección de las cerezas; una sola cosecha anual, como la que se podría obtener en las áreas que tienen una temporada húmeda, es menos costosa para el productor, que dos cosechas anuales en aquellas áreas que tienen dos períodos cortos de lluvia.

El café se cultiva en lugares con una precipitación que varía desde los 750 mm anuales ($7.500 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) hasta 3000 mm ($30.000 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$), si bien el mejor café se produce en aquellas áreas que se encuentran en altitudes de 1200 a 1700 metros sobre el nivel medio del mar, donde la precipitación pluvial anual es de 2000 a 3000 mm y la temperatura media anual es de 16°C a 22°C. Pero aún más importante es la distribución de esta precipitación en función del ciclo de la planta. Se plantea que el cultivo requiere una lluvia (o riego) abundante y uniformemente distribuida desde comienzos de la floración hasta finales del verano (Noviembre – Septiembre) para favorecer el desarrollo del fruto y de la madera. Sin embargo es conveniente un período de sequía que induzca la floración del año siguiente.

2.7. DISEÑO HIDRÁULICO

Tiene que ver con los efectos del agua cuando está en movimiento dentro del sistema. Para diseñar una parcela de riego por microaspersión es necesario conocer estos principios para asegurar la correcta operación del riego. Determinar si existe suficiente agua con la presión requerida por el sistema para regar el predio determinará si la instalación funcionará o no (Vaquero, 2007).

El diseño hidráulico tiene por finalidad el cálculo de las dimensiones de la red de conducción y distribución y el óptimo trazado de las mismas". (Fuentes, 2003).

La distribución del agua por los emisores debe ser lo más uniforme posible y constituye el comienzo del diseño hidráulico.

Para lograr una buena uniformidad será preciso que:

- Todos los emisores de la instalación sean de buena calidad (es muy importante que tengan certificado de calidad).
- La presión del agua en todos los emisores sea lo más uniforme posible.
- Las tuberías sean construidas con material donde la rugosidad sea lo mínimo posible.
- Se deben de evitar exceso de recorrido cambios de dirección, entre otros. Debido a que el agua en su recorrido por la red va perdiendo presión por el rozamiento, cambios bruscos de dirección, pasos por filtros, etc. A esta pérdida de carga se la conoce como pérdida de carga. Lógicamente cuando el recorrido de la tubería de carga sea ascendente tendremos pérdida de presión y ganancia cuando sea descendiente.

2.7.1. CAUDAL DEL RAMAL

El cálculo del diámetro de un ramal está determinado por el caudal a conducir en función del número de laterales, el caudal de estos, y la velocidad adecuada en función de las características de las tuberías para lograr la uniformidad en la descarga del agua. Este se determina a partir de la formula siguiente:

$$Q_r = NL * q_L \text{ [2.8]}$$

En donde:

Q_r = caudal de ramal

NL = número de laterales.

q_L = caudal del lateral.

2.7.2. NÚMERO DE SALIDAS

Lo determina el diseño del sistema.

2.7.3 CAUDAL DE CADA SALIDA

Este viene determinado por el fabricante del emisor.

2.7.4. DESCARGA POR PLANTA

En los sistemas por micro aspersión la descarga por planta depende de varios factores entre ellos la lámina de riego aplicar, la separación entre las plantas, separación entre las hileras, el tiempo requerido para la dosis de riego.

$$q_0 = \frac{D' (S_a * S_h)}{tr} * 10 \quad [2.9]$$

En donde:

q_0 =caudal por planta litros / horas

D' = lamina total de riego.

S_a = separación entre planta.

S_h = separación entre hileras.

tr = tiempo disponible horas.

2.7.5. NÚMEROS DE SUB ÁREAS

$$N' \text{ menor o igual } \frac{F' H'}{tr} \quad [2.10]$$

En donde:

N' = números de módulos.

F' = intervalos entre días.

H' = área ocupada por una planta.

tr = tiempo disponible de riego.

2.7.6. NECESIDADES DIARIAS DE LA PLANTA.

Las necesidades diarias de las plantas se calculan de acuerdo con la fórmula (2.11) en la que relaciona factores climáticos de cultivo y del sistema de riego

$$NPD = \frac{Et(S_a * S_h)}{E_a} \quad [2.11]$$

En donde:

NPD = necesidades diarias de la planta

Et = evapotranspiración del cultivo ajustado al riego por goteo.

Sa = separación entre planta.

Sh = separación entre hileras.

Ea = eficiencia de aplicación.

2.7.7. CAPACIDAD O GASTO QUE REQUIERE EL SISTEMA

$$Q = 2.78 \frac{A}{N'} \frac{q_0}{S_a * S_h} \quad [2.12]$$

En donde:

Q = capacidad o gasto que requiere el sistema

A = área a regar en hectáreas.

Sa = separación entre planta.

Sh = separación entre hileras.

q₀ = caudal por planta en litros/ horas.

2,78 = factor de conversión para obtener litros/ segundos.

N' = número de laterales.

CAPITULO III. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. UBICACIÓN

La Investigación se la llevó a cabo en una superficie de 7035m² ubicada en el área docente, investigativa, productiva y de vinculación del campus universitario de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López ESPAM-MFL, ubicada en el sitio El Limón, Cantón Bolívar, Provincia de Manabí en las coordenadas 0°49'27" (Latitud Sur), 80°10'47" (Longitud Oeste) a una altitud de 15 m.s.n.m.

3.2. CARACTERÍSTICAS DEL CULTIVO PROPUESTO

Se utilizó el cultivo de café (*Coffea arábica L*). Se utilizaron dos variedades: Arábicos Sarchimor y Catucaí rojo. Las dimensiones del área en estudio son de 105 metros de largo por 67 metros de ancho, constituyendo una superficie de 0,7035 ha. Para el desarrollo del trabajo el área fue dividida en dos parcelas de 29.5 metros por 105 metros, que representa una superficie de 0,3068 ha, esta área se dividió en cuatro subparcelas de 29.5 metros de largo por 25 metros de ancho equivalente a una superficie de 0.0738 ha, lo que permitió replicar cada material dos veces.

El marco de plantación utilizado de acuerdo con la variedades, de 1.25 por 2.25 metros.

3.3. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS

Las características climáticas de la zona objeto de estudio se relacionan en el cuadro 3.1 las cuales se obtienen a partir de los reportes de Estación meteorológica de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí ESPAM M.F.L. Citadas por Morería, J. (2013). De acuerdo con los valores del cuadro 1 se observa que la precipitación media anual es de 757,9 mm y la evaporación de 2067,5 mm representado una diferencia de 1309,6 mm entre el agua que se incorpora y se pierde en suelo de forma natural debido a las precipitaciones y la evaporación lo que evidencia la necesidad de implementar sistemas de riego con el objetivo de garantizar el volumen de agua requerido por los cultivos, ya que de forma natural no se puede lograr este propósito, además, si se considera que los ingresos por lluvia se producen entre los meses de Diciembre-Abril y en el resto del tiempo que constituye el 60% del periodo anual solo se producen pérdidas, evidenciando la importancia de riego en esta etapa.

Cuadro 3.1 Características climáticas de la zona objeto de estudio.

| CLIMA | |
|----------------------------|--------------------------|
| Precipitación medio anual. | 757,9 mm. |
| Humedad relativa media. | 81%. |
| Temperatura media anual. | 25,2°C. |
| Heliofanía. | 1485,4 horas sol al año. |
| Evaporación. | 2067,5 mm. |

¹Estación meteorológica de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí (ESPAM M.F.L.) Citada por Morería, J. (2013).

3.4 DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO.

Para el diseño del sistema de riego se siguió la metodología planteada por Fuentes (2004) quien plantea que para implementar un sistema de riego se deben tomar en cuenta los siguientes aspectos:

1. Recopilación de información básica
2. Diseño agronómico
3. Diseño hidráulico
4. Implementación

3.4.1. RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN BÁSICA.

La recopilación de la información básica para el diseño, implementación y evaluación del sistema de riego contara de los siguientes elementos:

- Plano topográfico
- Superficie del proyecto
- Tipo de suelo
- Calidad de agua
- Disponibilidad de agua y energía

Cada uno de estos parámetros fueron determinados de acuerdo con la metodología propuesta por Fuentes (2004) estos elementos constituyeron la base para el desarrollo del diseño agronómico e hidráulico.

3.4.1.1 PLANO TOPOGRÁFICO

Se elaboró el plano topográfico a partir del levantamiento planimétrico que permitió obtener el área y las características topográficas de la parcela en la cual se efectuó la implementación del sistema de riego y la siembra del cultivo de café. Mediante la utilización del GPS se obtuvo los datos del área donde se efectuó la investigación, mediante coordenadas Proyección UTM, WGS 84, Zona 17 Sur. Con los datos de las características topográficas de la parcela se efectuó el croquis donde se realizó el proyecto. ANEXO 2

3.4.1.2 SUPERFICIE DEL PROYECTO

El proyecto se desarrolló en un predio que cuenta con un área de 7035 m² que constituye una superficie de 0.7035 ha, el que fue dividido en dos partes con dimensiones 29.5 m x 105 m, y a la vez fueron subdivididos en cuatro bloques de 29.5 m x 25 m. ANEXO 2

3.4.1.3 ANÁLISIS FÍSICOS DE SUELO

Para realizar el análisis físico del suelo en el área de la parcela demostrativa se realizó una calicata o pozo agrológico que permitió identificar las características morfológicas del suelo. Se tomaron muestras a la profundidad de 40 cm y se evaluaron los parámetros:

- Capacidad de campo en base al suelo seco
- Densidad aparente.
- Humedad en el punto de marchitamiento.
- Profundidad del suelo explorado por las raíces.
- Fracción de agotamiento del agua disponible.
- Textura.
- Eficiencia de aplicación

3.4.1.4 CALIDAD DEL AGUA

Para la evaluación de la calidad de agua se realizaron muestreos en la toma que alimenta a la parcela en estudio, se efectuaron análisis para determinar las propiedades físicas, químicas y biológicas del agua utilizada en el riego.

(ANEXO 3)

3.4.1.5 DISPONIBILIDAD DE AGUA Y ENERGÍA.

El agua disponible así como la energía demandada para la ejecución del proyecto se obtuvo de una toma procedente del sistema Carrizal Chone, la que se encuentra ubicada en un extremo de la parcela objeto de estudio. Mediante un aforo volumétrico se determinó el caudal disponible y mediante un manómetro, la carga útil en dicha toma, constituyendo esta información la base para el diseño agronómico e hidráulico que se planteó.

3.4.2. DISEÑO AGRONÓMICO

Se realizó el diseño agronómico con el objetivo de conocer los siguientes elementos que constituyen la base para el cálculo hidráulico y la explotación eficiente de los sistemas de riego. Los parámetros determinados fueron:

- Dosis de riego neta y bruta
- Requerimientos y programación de riego.
- cálculo de la evapotranspiración del cultivo
- Intervalo y frecuencia de riego
- Pluviometría
- Tiempo de estancia de los emisores para cubrir la dosis
- Tiempo para cubrir el área total
- Números de emisores

- Números de laterales

3.4.2.1 DISEÑO AGRONÓMICO

Para realizar el diseño agronómico se planteó utilizar el micro aspersor **AMANCO**, de boquilla color negro de 0.90 mm, de acuerdo con sus características técnicas, puede trabajar con presiones entre los 15 y 40 psi y caudal entre 28 y 50 L.h⁻¹ y diámetro húmedo entre los 5.2 y 6 mts.

3.4.2.2 DOSIS DE RIEGO NETA Y BRUTA

Para la determinación de la dosis neta de riego se asumieron los parámetros referentes al cultivo, suelo, clima y la tecnología de riego utilizada. La dosis neta corresponde al volumen de agua que se le debe aplicar al cultivo en un riego teniendo en cuenta los factores antes mencionados, para su cálculo se aplica la fórmula [3.1].

$$Dn = 100 * H * Da * (Cc - Pm) * f \quad [3.1]$$

De donde:

Dn = Dosis neta expresada en m³/ha.

H = Profundidad de la capa activa en m.

Da = Densidad aparente del suelo g.cm³⁻¹

Cc = Capacidad de campo, expresado en porcentaje en peso de suelo seco

Pm = Punto de marchitamiento, expresado en porcentaje en peso de suelo seco

f = Fracción de agotamiento del agua disponible.

Para la determinación de los requerimientos hídricos se calculó la evapotranspiración del cultivo la que se obtuvo a partir de la evapotranspiración del cultivo de referencia (Eto.) y los coeficientes del cultivo, para lo cual se realizó los siguientes procedimientos.

3.4.2.3 CÁLCULO DE EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA

La evapotranspiración de referencia (ETo) representa la evaporación potencial de un cultivo de hierba bien regada. Las necesidades de agua de otros cultivos están directamente vinculadas a este parámetro climático. Aunque existen varios métodos para determinar ETo, el método de Penman-Monteith se recomienda como método de combinación adecuada a partir de datos climáticos tales como. Temperatura máxima y mínima, Humedad relativa, velocidad del viento e insolación. Los datos climáticos se deben recoger de la estación meteorológica más cercana y más representativa. La ETo puede ser determinada utilizando la fórmula 3.2 de Penman-Monteith.

Calculo ETo: Metodo de Penman –Monteih (base diaria o mensual)

$$ETO = \frac{0.408 (Rn - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} \times U_2 \times (ea - ed)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 \times U_2)} \quad [3.2]$$

Dónde:

ETo = evapotranspiración del cultivo de referencia (mm d⁻¹)

Rn = radiación neta en la superficie del cultivo (MJ m⁻²)

G = flujo del calor del suelo (MJ m⁻²)

T = temperatura diaria media (°c)

γ = constante psicométrica (KPa °c⁻¹)

U₂ = velocidad de viento a 2 m del suelo (m s⁻¹)

$(e_a - e_d)$ = déficit de presión de vapor (Kpa)

Δ = pendiente de la curva de presión de vapor ($\text{KPa } ^\circ\text{C}^{-1}$)

Sin embargo desde el punto de vista de la programación de los riego ya sea para realizar el proyecto, diseño y ejecución de los sistemas de riego se utiliza el software CROPWAT, el que ha transitados por varias versiones en la actualidad se utiliza la versión CROPWAT 8.0 para Windows que es un programa de computación que puede ser usado para el cálculo de los requerimientos de agua de los cultivos y de sus requerimientos de riego en base a datos climáticos y de cultivo ya sean existentes o nuevos. Además, el programa permite la elaboración de calendarios de riego para diferentes condiciones de manejo y el cálculo del esquema de provisión de agua para diferentes patrones de cultivos.

Esta versión de Windows se basa en las versiones en sistema DOS del CROPWAT 5.7 de 1992 y CROPWAT 7.0 de 1999. Además de una interface con el usuario completamente rediseñada, CROPWAT 8.0 para Windows incluye una serie de características tales como:

- Entrada de datos climáticos en versión mensual, decadiaria y diaria para el cálculo de la ETo
- Compatibilidad con versiones anteriores de tal manera que permite el uso de la información de la base de datos CLIMWAT
- Posibilidad de estimar los datos climáticos en caso de no contar con los valores medidos
- Cálculos diarios y decadiarios de los requerimientos de agua del cultivo basados en algoritmos de cálculo actualizados incluido el ajuste de los valores del coeficiente de cultivos
- Cálculo de las necesidades de agua de cultivos y la programación de riego para los cultivos y para arrozales
- Programaciones de riego ajustables e interactivas con el usuario
- Tablas de balances diarios de agua en el suelo

- Fácil guardado y recuperación de sesiones y de las programaciones de riego definidas por el usuario
- Presentaciones gráficas de los datos de entrada, requerimientos de agua de los cultivos y programaciones de riego
- Sistema de ayuda sensible al contexto

Todos los procedimientos de cálculo, tal como se utilizan en CROPWAT 8.0 se basan en las directrices de la FAO tal como se establece en la publicación No 56 de la Serie Riego y Drenaje de la FAO "Evapotranspiración del Cultivo - Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos".

El propósito principal de CROPWAT es el de calcular los requerimientos de agua y la programación de riego de los cultivos en base a datos introducidos por el usuario. Estos datos pueden ser directamente ingresados en CROPWAT o importados de otras aplicaciones.

Para el cálculo de los Requerimientos de Agua del Cultivo (RAC), CROPWAT requiere de datos de evapotranspiración (ET_o). CROPWAT permite al usuario ingresar valores de ET_o, o ingresar datos de temperatura, humedad, velocidad del viento y radiación solar, lo cual permite al programa CROPWAT calcular la ET_o aplicando la ecuación de Penman-Monteith. También permite el uso de archivos .PEN y .CLI provenientes de la base de datos CLIMWAT.

También son necesarios los datos de precipitación, y son utilizados por CROPWAT para calcular la precipitación efectiva como datos de entrada para el cálculo de los RAC y de la programación de riego, también datos de suelo si el usuario también desea determinar la programación de riego.

Aunque normalmente CROPWAT calcula los RAC y las programaciones para un cultivo, también puede calcular un esquema de suministro de agua, que es

básicamente la combinación de los requerimientos de agua de varios cultivos, cada uno con su fecha de siembra individual (patrón de cultivo).

ESTRUCTURA DEL PROGRAMA

El programa CROPWAT se organiza en 8 módulos diferentes, de los cuales 5 son módulos de datos de entrada y 3 son módulos de cálculo. Estos módulos son accesibles a través del menú principal pero se pueden acceder más fácilmente a través de la Barra de módulos que está permanentemente visible en la parte izquierda de la ventana principal. Esto permite al usuario combinar fácilmente diferentes datos climáticos, de cultivo y de suelo para el cálculo de los requerimientos de agua de los cultivos, la programación de riego y la entrega de agua en esquemas multicultivos.

Los módulos de entrada de datos de CROPWAT son los siguientes:

1. Clima/ETo: para ingresar datos medidos de ETo o datos climáticos que permitan el cálculo de la ETo Penman-Monteith;
2. Precipitación: para ingresar datos de precipitación y el cálculo de la precipitación efectiva;
3. Cultivo para ingresar datos del cultivo y de la fecha de siembra;
4. Suelo: para ingresar datos de suelo (sólo en caso de programación de riego);
5. patrón de cultivo: para ingresar un patrón de cultivos para calcular el esquema de entrega de agua.

Los módulos de cálculo de CROPWAT son:

1. RAC - para el cálculo de los Requerimientos de Agua de los Cultivos
2. Programación (cultivos no inundados o arroz) - para el cálculo de los calendarios de riego
3. Esquema para el cálculo del régimen de la oferta de agua sobre la base de un patrón de cultivo.

Para el desarrollo del trabajo se obtuvieron los datos climatológicos obtenidos de la Estación Meteorológica ESPAM-MFL, Calceta Ecuador, del período comprendido entre octubre del 2010 y octubre del 2013, con estos datos y el software CROPWAT, se determinó la programación de los que sirvió como para el diseño e implementación del sistema.

3.4.2.4 INTERVALO Y FRECUENCIA DE RIEGO

El intervalo de riego representa los días que median entre dos riegos sucesivos, está determinado por la relación de la dosis neta a aplicar y la evapotranspiración del cultivo diaria. El valor del intervalo de riego esta relacionado con el tipo de cultivo, la tecnología de riego y el factor de agotamiento o límite productivo. En tecnología de riego localizada, ya sea por microaspersión o riego por goteo, se riega por intervalos de riego pequeños, oscilando entre uno y tres días, lo cual constituye regar con baja dosis, intervalos pequeños y alta frecuencia.

La frecuencia de riego está definida por el número de riegos que se den en una etapa determinada la que depende de la etapa de riego del cultivo, de la dosis a aplicar, la evapotranspiración, la tecnología y el intervalo de riego. En sistemas de riego con tecnologías localizadas se caracteriza por una alta frecuencia, el principio está basado en aplicar el riego de forma tal que se pueda cubrir las pérdidas diarias en el sistema. Los sistemas que riegan con alta frecuencia se caracterizan, por lo general, por la existencia de programadores de riego que garanticen un nivel de automatización adecuado; además, de contar ya sean con hidroválvulas o electroválvulas. De no existir estos componentes no se limita a que no se pueda regar con alta frecuencia lo cual se podría realizar de forma manual, aunque esto implica un aumento en el costo de explotación.

3.4.2.5 PLUVIOMETRÍA

La pluviometría constituye la lámina de agua que aplica un aspersor en la unidad de tiempo, la misma es de vital importancia por cuanto constituye la base para poder determinar el tiempo que debe permanecer un aspersor o lateral regando para cubrir la dosis de riego a aplicarle al cultivo. Su cálculo dependerá del tipo de emisor, del marco de riego o si los aspersores trabajan de forma aislada o simultánea.

CÁLCULO DE LA PLUVIOMETRÍA

$$Ia = \frac{3600xqe}{S} \quad [3.4]$$

En donde:

Ia = Intensidad de aspersion mm/h

qe = Caudal del emisor L/s

S = Área que humedece el emisor m²

3.4.2.6 TIEMPO DE ESTANCIA DE LOS EMISORES PARA CUBRIR LA DOSIS

El tiempo de estancia está dado por la relación que existe entre la dosis bruta a aplicar y la intensidad de aspersion a partir del cual se garantiza la dosis neta que se debe entregar al cultivo.

$$Te = \frac{Mb}{Ia} \quad [3.5]$$

En donde:

T_e =Tiempo en horas para cubrir la dosis demandada por el cultivo

Mb = Dosis bruta a aplicar mm

Ia =Intensidad de aspersion mm/h

3.4.2.7 TIEMPO PARA CUBRIR EL ÁREA TOTAL

El tiempo para cubrir el área total es una variable de extrema importancia por cuanto permite comprobar si el sistema tiene capacidad para cubrir el área de acuerdo con el intervalo de riego establecido, depende del área a regar y del área que riegue el sistema diariamente, en correspondencia con el diseño agronómico realizado. El área de riego diaria depende de la dosis a aplicar, del tiempo de riego, de la capacidad del sistema, así como la cantidad de laterales que pueden trabajar simultáneamente y del área que cubre el lateral en una posición:

$$T = \frac{Ac}{Ard} \text{ dias [3.6]}$$

En donde:

T =Tiempo para cubrir el área (medido en días)

Ac =Área de cultivo

Ard =Área de riego diaria

3.4.2.8 NÚMEROS DE EMISORES

El número de emisores en un sistema de riego por micro aspersion dependerá de varios factores, entre ellos, la longitud del área que determina la longitud del lateral el espaciamiento entre emisores, el marco de plantación, entre otros. Al determinar el número de aspersores en correspondencia con la longitud del lateral debe lograrse que en el diseño que se realice las pérdidas de descarga que se produzcan en el lateral sean inferiores al 20 % de carga con el que debe trabajar

el emisor. La diferencia de caudal entre el primero y el último emisor debe ser inferior al 10 % con que trabaje el emisor.

3.4.2.9 NÚMEROS DE LATERALES

En los sistemas de riego por aspersión y micro aspersión el número de laterales estará determinado si el sistema es semiestacionario o estacionario; en los sistemas semiestacionarios se construyen de forma tal que los laterales se mueven de posiciones para cubrir las necesidades del cultivo, en este tipo de sistemas se incrementa los costos de explotación. En los sistemas estacionarios se construyen definiendo el número de laterales para cubrir el área total, los laterales permanecen fijos, el riego se realiza por sectores y subsectores dependiendo de la capacidad y del área a regar; en este tipo de diseño se incrementa el costo de inversión, disminuye el costo de explotación y se alarga la vida útil del equipo. En el proyecto que se propone, se plantea un sistema de riego estacionario donde el número de laterales estará determinado por las dimensiones del área, de ancho y longitud de la misma. El establecimiento de los subsectores de riego estará definido por la capacidad de la toma que alimentara al área, el caudal de los emisores y el caudal de los laterales.

3.4.3 DISEÑO HIDRÁULICO

El diseño hidráulico se estableció a partir del caudal y la carga determinada en la toma que alimentará al área u objeto del proyecto, lo que permitió determinar los diámetros de tubería que se utilizó en cada uno de los componentes del sistema, cumpliendo con parámetros hidráulicos establecidos en estos sistemas de riego, partiendo como principio que la velocidad del agua esté dentro de los límites establecidos para el tipo de tubería y diámetro de tubería seleccionada, así como que cumpla que la pérdida de carga que se produzca en el lateral sea inferior al 20% de la carga del emisor y la diferencia del caudal sea inferior al 10% del caudal del emisor.

El cálculo hidráulico consistió en determinar el caudal y las pérdidas de carga dentro del sistema en función de la disponibilidad de caudal y carga en la toma utilizada.

CÁLCULO DEL CAUDAL

$$Q_t = q_l \times N_l \quad [3.7]$$

En donde:

Q_t =Caudal total del sistema (medido en L/s)

q_l =Caudal del lateral

N_l =Número de laterales

La pérdida de carga se calculó de acuerdo a los componentes del sistema consistente en una tubería distribuidora, los laterales y los accesorios.

Para el cálculo de la pérdida de carga y la tubería distribuidora se partió del criterio de considerar una tubería con múltiples salidas y se aplicó la fórmula de DARCY WEISBACH.

$$H_f = f \frac{lv^2}{\phi^2 g} \quad [3.8]$$

En donde:

H_f =Pérdida de carga por rozamiento (m.c.a)

f =Factor de fricción

l =longitud de la tubería (m)

v^2 =Velocidad media del agua (m/s)

ϕ =Diámetro interior de la tubería (m)

g =Aceleración de la gravedad (m/s²)

PÉRDIDAS DE CARGA EN LOS LATERALES

$$Hf = 10,672x \left(\frac{Q}{C}\right)^{1.852} x \frac{L}{D^{4.872}} \quad [3.9]$$

$$Hflat = HfLxF$$

$$F = \frac{1}{M+1} + \frac{L}{2xN} + \frac{\sqrt{M-1}}{6xN^2} \quad [3.10]$$

En donde:

Hf = Pérdidas del lateral

Q = Caudal

C = Coeficiente dependiente del tipo del material por el cual está construida la tubería

L = Longitud del lateral

D = Diámetro del lateral

F = Factor Christiansen

N = Número de emisores

M = Valor medio del agua recogida

3.4.4 LA IMPLEMENTACIÓN

Para la implementación del sistema y de acuerdo con los resultados del diseño agronómico e hidráulico, se contactó con la empresa plastigama a través de la cual se obtuvieron los componentes según el inventario derivado del diseño agronómico e hidráulico. La implementación se realizó a partir de la conexión que enlaza la tubería que suministra el agua del sistema carrizal Chone a la parcela u objeto de estudio, previo a esto se realizó un aforo para conocer el caudal y la carga disponible sirviendo de base para la selección del diámetro de la tubería distribuidora considerando además las dimensiones de la parcela.

En el diseño del sistema de riego se propuso la instalación de un cabezal de riego el cual quedo constituido por el sistema de filtrado, sistemas de control, sistema de fertirigacion y las válvulas reguladoras de aire lo que permitirá de que el sistema pueda trabajar eficientemente cumpliendo con los parámetros técnicos explotativos según el diseño y además se podrá garantizar la fertirigacion según el programa de nutrición que se establezca para el cultivo.

La tubería distribuidora se calculó según las dimensiones del sistema de riego para lo que se tuvo en cuenta el marco de plantación y las características del emisor seleccionado que permito definir el marco de riego y con ello determinar el número de laterales y aspersores para cubrir las dimensiones del área y satisfacer las necesidades hídricas del cultivo.

Según los datos del microaspersor propuesto se calculó el caudal del sistema y cumpliendo con la condición establecida para la velocidad en estos tipos de conductos se calculó el área de las tuberías distribuidoras y de los laterales, que permitió determinar los diámetros adecuados en cada una de ellas esto permitió el cálculo de las pérdidas de carga aplicando la fórmula de Darcy-Wisbach.

Con todos los cálculos realizados y adquiridos cada uno de los componentes se procedió a la instalación del sistema, realizando la excavación de las zanjas para la colocación de las tuberías y colocación de las partes del cabezal en correspondencia con las indicaciones técnicas para la ubicación de estos accesorios.

Las tuberías laterales fueron tendidas sobre el campo colocadas sobre la superficie del suelo a la distancia según el marco de riego establecido posteriormente se colocaron los microaspersores que fueron insertados en la tubería lateral a través de los conectores y los extensores de 0.50 m además del soporte en los cuales están colocados los microaspersores quedando a una altura de 0.30 m sobre el nivel del suelo lo que permite un mayor cono de humedecimiento y a la vez el agua sea aplicada por debajo de la copa del árbol sin que se produzcan afectaciones directas a las flores y frutos.

3.5 EVALUACIÓN

Efectuada la instalación, se realizó la evaluación del mismo mediante la metodología propuesta por (Christiansen 1942).

El coeficiente de uniformidad es un factor elemental cuando se quiere evaluar un sistema de riego, El (CU) de Christiansen es una representación estadística de la uniformidad, utilizado principalmente en los sistemas de aspersión.

Se expresa en tanto por ciento mediante la expresión.

$$CU = \left(1 - \frac{\sum ci - M}{Mn}\right) * 100 \quad [3.11]$$

En donde:

C_i . = Cantidad recogida por cada pluviometría o punto de control

M . = valor medio del agua recogida en los pluviómetros o punto de control

n . = número total de pluviometría o puntos de control.

Para la evaluación se seleccionaron los puntos de muestreo, eligiendo los laterales que ocupan la primera y última posición y los que ocupan las posiciones a $1/3$ y $2/3$ de la longitud de las distribuidoras. Para la selección de los emisores a evaluar se tendrán en cuenta las mismas condiciones, es decir, los que ocupan la primera y última posición en el lateral y los ubicados a un $1/3$ y $2/3$ con respecto a longitud del lateral.

Seleccionado el método y el procedimiento a seguir para realizar la evaluación una vez que se implementó el sistema se procedió a la evaluación del mismo para lo cual se colocaron pluviómetros (tarrinas), de forma diagonal en un área ocupada por cuatro microaspersores y en las posiciones antes señaladas. Una vez que fueron colocadas las mismas se activó el sistema durante una hora transcurrido este tiempo se procedió a medir el volumen de agua recogido en cada tarrina para lo que se utilizó una probeta graduada obteniéndose los mililitros registrados.

Aplicándose la fórmula de Christiansen para lo cual se determinó el volumen medio y el volumen registrado en cada tarrina lo que permitió registrar el coeficiente de uniformidad del sistema instalado corroborando la validez del mismo para ser utilizado en la parcela demostrativa de café ,en el área agrícola de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí

CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

PARÁMETROS DE DISEÑO

RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN BÁSICA

Plano topográfico y superficie del terreno

Los aspectos generales de la parcela demostrativa se relacionan en el cuadro 4.1, el cultivo establecido es café, la propuesta se desarrolla en una área bruta de 0.7035 ha en la cual está dividida en dos partes, con dimensiones de 29.5 m x 105 m, las cuales se subdividen en cuatro bloques de 29.5 m x 25 m, distribuidos en una superficie neta de 0.595 ha el esquema del área se relaciona en el anexo 2

Cuadro 4.1 Parámetros técnico de la parcela demostrativa

| PARÁMETRO | UNIDAD DE MEDIDA | VALOR |
|----------------------|------------------|--|
| Cultivo | | café |
| Dimensiones del área | M | 105x67 |
| Área bruta | Ha | 0.7035 |
| Área neta | Ha | 0.59 |
| Marco de plantación | m ² | 1.25x2.25 |
| Fuente de abasto | | toma de agua ubicada a un extremo de la parcela demostrativa |
| Tecnología de riego | | Micro aspersión con emisores Amanco |

En el cuadro 4.2 se relacionan los datos climáticos obtenidos de la estación meteorológica de ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE MANABI “MANUEL FÉLIX LÓPEZ”, comprendidos entre octubre de 2010 y diciembre de 2013, donde se obtuvo los promedio mensuales entre junio a diciembre, los que son tomados como referencia para el diseño agronómico, considerándose que en esta etapa está concentrada la actividad de riego.

Cuadro 4.2 Datos climáticos para el diseño agronómico.

| PARÁMETROS | Unidad de medida | Junio | Julio | Agosto | Septiembre | Octubre | Noviembre | Diciembre |
|-----------------------------|------------------|-----------|-------------|---------|------------|-----------|------------|-------------|
| Precipitación mensual | mm | 47.4 | 7.9 | 0.25 | 0.05 | 1.35 | 3 | 36.65 |
| Temperatura máxima y mínima | °c | 30.4-22.3 | 29.55-21.05 | 29.7-21 | 30.5-20.65 | 29.9-20.8 | 30.4-20.55 | 31.25-21.65 |
| Evaporación | mm | 111.2 | 115.5 | 143.3 | 156.95 | 151.8 | 154.9 | 157.05 |
| velocidad del viento | (m/s) | 1.3 | 1.7 | 1.7 | 2.1 | 1.8 | 2.3 | 2.1 |
| Humedad relativa | % | 84.5 | 83.5 | 80.5 | 78 | 78 | 77 | 75.5 |
| Horas luz | h | 82.45 | 73.85 | 86.65 | 117.65 | 97.9 | 115.5 | 102.95 |

El cuadro 4.3, se plasma, los valores correspondientes al cultivo y parámetros generales para el diseño agronómico. Dadas las características del cultivo, la etapa de riego se enmarca entre los meses de junio y diciembre; al tratarse de un cultivo perenne se consideró una sola capa activa (h) de 0.40 m y un coeficiente de cultivo (K_c) igual a 1, de acuerdo con el marco de plantación se establecen 80 plantas por hilera para un total de 2080 plantas en toda la parcela demostrativa.

Cuadro 4.3 Datos generales de cultivo

| PARÁMETRO | UNIDAD DE MEDIDA | VALOR |
|--|-------------------------|--|
| Tipo de cultivo | | Café |
| Ciclo biológico(CB) | días | Etapa durante el cual se debe aplicar el riego |
| Capa activa por fases (H) | m | 0.40 |
| Coeficiente de cultivo (K _C) | | 1 |
| Distancia entre plantas (dp en m) | m | 1.25 |
| Distancia entre hileras (dh en m) | m | 2.25 |
| Superficie de plantacion (m ²) | | 2.81 |
| Altura de cultivo | m | 1.50 |
| Numero de hilera | | 26 |
| Numero de planta por hilera | | 80 |
| numero de planta por ha | | 3700 |

El cuadro 4.4, representa los valores obtenidos de las propiedades hidrofísicas del suelo para la realización del diseño agronómico

Cuadro 4.4 Valores de las propiedades hidrofísicas del suelo

| PARÁMETRO | UNIDAD DE MEDIDA | VALOR |
|---|-------------------------|--------------|
| Textura del suelo porcentaje de arena, limo y arcilla | % | 31-37- 32 |
| Humedad a capacidad de campo | (% del Pss) | 31 |
| Humedad en el punto de marchitez | (% del Pss) | 17 |
| Agua disponible | % | 14 |
| Densidad aparente | (en g/cm ³) | 1.33 |
| Velocidad de infiltracion del suelo | (mm/h) | 20-30 |

TIPO DE SUELO: Franco arcilloso .ANEXO 1

CALIDAD DE AGUA

En el cuadro 4.5, se relacionan los parámetros obtenidos que determinan la calidad del agua para riego, los que se dividen en tres categorías: físicos, químicos y biológicos. Una vez realizados los análisis correspondientes se obtuvieron los siguientes resultados, los que de acuerdo con el informe técnico realizado por la SENAGUA (2010), se encuentran, dentro de los parámetros de calidad para ser utilizada para este fin.

Cuadro 4.5 Calidad del agua

| Análisis de calidad de agua | | |
|------------------------------------|-----------------------------|-----------|
| Propiedades físicas | pH | 6.97 |
| Propiedades químicas | dureza total | 63.39mg/l |
| Propiedades microbiológicas | presencia de escherichacoli | no |

En el cuadro 4.6, se relacionan los componentes y parámetros técnicos del sistema de riego relacionados con los datos de las tuberías distribuidoras, lateral y del emisor utilizado. El emisor propuesto fue seleccionado a partir de las características técnicas del mismo, lo que permite realizar un marco de riego adecuado de acuerdo con el marco de plantación utilizado y lograr un alto porcentaje de la superficie óptimamente humedecida; así como garantizar un ahorro de agua sin afectar las necesidades hídricas del cultivo.

Cuadro 4.6 Datos generales del sistema de riego

| PARÁMETRO | UNIDAD DE MEDIDA | | VALOR |
|-----------------------------|-------------------------|-----|--------------|
| Datos tubería distribuidora | Diámetro | mm | 63 |
| | Longitud | m | 65 |
| Datos de la tubería lateral | Diámetro | mm | 17 |
| | Longitud | m | 105 |
| Datos del emisor | Emisor | | Amanco |
| | Diámetro de boquilla | mm | 0.90 |
| | Carga | Psi | 15-40 |
| | Caudal | L/h | 28-50 |
| | Diámetro | m | 5.80 - 6 |

DISPONIBILIDAD DE AGUA Y ENERGÍA.

El aforo volumétrico realizado en la toma del sistema Carrizal Chone ubicada a un extremo de la parcela demostrativa de la cual se va a alimentar el sistema, se comprobó que el caudal disponible es de $100\text{m}^3/\text{h}$ equivalente a $27,77\text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$ y una carga de 60psi.

Cuadro 4.7 Parámetros técnicos de la toma

| PARÁMETROS TÉCNICOS DE LA TOMA | UNIDAD DE MEDIDA | VALOR |
|--------------------------------|------------------|-------|
| caudal | l/s | 27.77 |
| carga | psi | 60 |

DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO POR MICROASPERSION.

Para la realización del diseño agronómico que permitió la determinación de los requerimientos hídricos del café se utilizó el software **CROPWAT 8.0**, así como la utilización del manual (**FAO 56, 2006**), proporcionando los siguientes resultados:

- ✓ **Evapotranspiración del cultivo:** $3.77\text{ mm}\cdot\text{días}^{-1}$
- ✓ **Dosis de riego:** $279.3\text{ m}^3/\text{ha}$.
- ✓ **Intervalo de riego:** 7 días
- ✓ **Considerando el periodo de riego de 180 días se obtiene que el número de riego a aplicarle al cultivo en la época seca sea de 26.**
- ✓ **Lámina de riego:** Lámina máxima de agua 725 mm equivalentes a $7254\text{m}^3/\text{ha}$ de agua cada siete días.
- ✓ **Tiempo de riego:** 19 horas.

El diseño hidráulico consiste en determinar los siguientes aspectos:

- ✓ **Diámetro de la tubería:** Una vez realizados los cálculos correspondientes se determinó que el diámetro de la tubería es de 63 mm.
- ✓ **Pérdida de carga:** Los cálculos pertinentes para la pérdida de carga se estableció en 1.27 mca. (metros columna de agua).
- ✓ **Presión necesaria:** Los cálculos para determinar la presión necesaria arrojaron como resultado que la presión mínima para el funcionamiento es de 24.35 PSI.

IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO

Una vez determinados todos los parámetros de los diseños agronómicos e hidráulicos se procedió a implementar el sistema de riego, instalando tuberías pvc de 63 mm de diámetro, 2mm de espesor nominal y 0.80 MPa (presión de trabajo); se situó 1000 m de manguera Flex y se implementaron 120 microaspersores del modelo AMANCO, obteniendo como resultado un sistema de riego en total funcionamiento. Anexo 7.

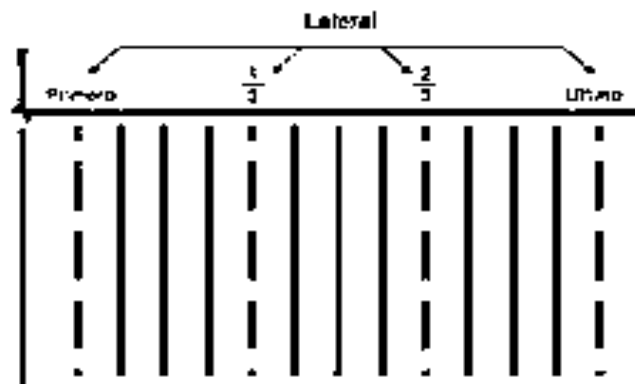
EVALUACIÓN DE COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD

Efectuando todos los muestreos y cálculos correspondientes se comprobó que el coeficiente de uniformidad (CU) es de 74.15%, siendo un valor aceptable, según los valores de Christiansen, citado por Fuentes (2004).

Cuadro 4.8 Valores de uniformidad (cuc)

| Valores de uniformidad (CUC) | |
|-------------------------------------|---------------------------------------|
| Funcionamiento | Coeficiente de uniformidad (%) |
| EXCELENTE | 90-100 % |
| BUENA | 80-90 % |
| ACEPTABLE | 70-80 % |
| INACEPTABLE | <70 % |

Figura 4.1 distribución de emisores seleccionados



Cuadro 4.9 datos de evaluación

| INICIO | MEDIO 1 | MEDIO 2 | FIN |
|--------|---------|---------|------|
| 1,21 | 1,58 | 1,18 | 0,89 |
| 0,97 | 0,98 | 0,69 | 1,02 |
| 1,17 | 1,44 | 1,14 | 1,06 |
| 1,36 | 1,61 | 1,36 | 1,38 |
| 4,71 | 5,61 | 4,37 | 4,35 |

CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- La realización del diseño agronómico permitió la determinación de las dosis, número de riego e intervalos a aplicarle al cultivo de café (*Coffea arabica* L) para satisfacer sus necesidades hídricas durante el periodo de sequía.
- La implementación del sistema de riego a partir del diseño agronómico e hidráulico permitirá las satisfacciones de las necesidades hídricas del cultivo, en correspondencia con las características agronómicas y agroecológicas de la parcela demostrativa de la ESPMA MFL.
- La evaluación realizada al sistema implementado en la parcela demostrativa arrojó un coeficiente de 74.11 % que permite evaluar el riego como aceptable según lo planteado por Christiansen (1942), citado por Fuentes (2004).

5.2. RECOMENDACIONES

- Realizar mantenimientos sistemáticos al sistema, de forma tal que se logre su funcionamiento en correspondencia con los parámetros agronómicos e hidráulicos calculados.
- Ejecutar las actividades agronómicas recomendadas para el cultivo, fundamentalmente limpiezas y podas para garantizar el potencial productivo en correspondencia con el cubrimiento de las necesidades hídricas mediante el sistema de riego implementado.
- Realizar evaluaciones periódicas al sistema de riego para ejecutar la explotación del mismo en correspondencia con los resultados obtenidos de las evaluaciones.

BIBLIOGRAFÍA

- ANECAFE (Asociación Nacional de Exportadores de Café). 2002. CAFÉ EN ECUADOR. (En línea).EC. Consultado, 10 de Nov. Formato PDF. Disponible en: <http://www.anecafe.org.ec/>
- Bi, A .2010. Sistema de riego. (En línea).EC. Consultado el 30 de octubre 2012. Formato PDF disponible en [http/ es.wikipedia.org/wiki/ sistema de riego](http://es.wikipedia.org/wiki/sistema_de_riego). Ediciones anónimas.
- COFENAC (Consejo Cafetalero Nacional) .2010. INFORME TECNICO. (En línea).EC. Consultado, 10 de Nov 2012. Formato PDF. Disponible en: <http://www.cofenac.org/>
- COFENAC (Consejo Cafetalero Nacional). 2002. El Clima en las zonas de producción de café arábigo del Ecuador. (En línea). EC. Consultado, 10 de Nov 2012. Formato PDF. Disponible en: <http://www.cofenac.org/>
- CORECAF (Corporación Ecuatoriana de Cafetaleras y Cafetaleros). 2000. Determinación de los parámetros técnicos para plantaciones tradicionales y plantaciones tecnificadas de café arábigo y robusta. (En línea).EC. Consultado, 10 de Nov 2012. Formato PDF. Disponible en: <http://www.corecaf.org/>
- Chambouleyron, J., Cruz, R. y León, E. 1993. Riego y Drenaje. Tomo II. Libro de texto para el curso de Hidrología Agrícola Cátedra de Hidrología Agrícola. Facultad de ciencias agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. P. 556.

- FAO (Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura). 2000. Sistema de Información sobre el Uso del Agua en la Agricultura y el Medio Rural. (En línea).EC. Consultado, 19 de Nov. Formato PDF.Disponible_en:http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries_regions/ecuador/indexesp.stm.
- FAO (Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura). 2006. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos zona radicular. (En línea).EC. Consultado, 19 de Jun. Formato PDF.Disponible_ftp:<ftp://ftp.fao.org/agl/aglw/docs/idp56s.pdf>
- Fuentes, J. 2003. Técnicas de Riego. 3 ed. España. Mundi-prensa Madrid. p 279-265.
- Fuentes, J. 2004. Técnicas de Riego. 4 ed. España. Mundi-prensa Madrid. p 45-245
- Gutiérrez, N. 2009. Morfología y taxonomía cultivo de café. 29 ed. Colombia. Universidad Nacional de Colombia. p 109-114
- INIAP (Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias, EC).2005. Riego suplementario para el cultivo de café. Boletín divulgativo. N° 346. p 2-15.
- Montoya, O. 2007. Aplicación del análisis factorial a la investigación de mercados. 23ed. Brasil. Scientia ET Technica. p. 281-286.
- Oliveros, C. 2005. Equipo portátil para asistir la cosecha manual de café. 58ed. Medellín. Colombia. Revista Facultad Nacional de Agronomía. p 3003-3013,
- Oliveros, C. 2011. Ingeniería y café en Colombia–Bogotá. Col. SCIELO Colombia. vol. 2. p 3003-3013.

- Orona, C. 2001. Manual para el Establecimiento y manejo de nopal, verdura bajo riego por goteo en la comarca lagunera. (entrevista). Madrid-España. CENID RASPA.
- Ortega, M., Farías, S. 2001. Evaluación de la evapotranspiración de referencia usando la ecuación de Penman-Monteith. 12ed. Lima-Perú. Ciencia e Investigación Agraria. p 23-66.
- Ramírez, A. 2002. Evaluación de dos métodos de asistencia manual para la recolección de café cereza. En: Informe Científico Final Proyecto Disminución de costos en la cosecha del café mediante la mecanización y la cosecha manual asistida. Chinchiná: CENICAFE,. 32p. (Experimento ING0123).
- Rodrigo López J., Hernández Abreu J.M., Pérez Regalado A., González Hernández J.F. 1997. Riego localizado. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Secretaria general técnica. EdicionesMundi-prensa (2ed.). P 405.
- Salas E; 2001 Bioensayo microbiano para estimar los nutrimentos disponibles en los abonos orgánicos: calibración en el campo Agronomía Costarricense, vol. 25, núm. 2, julio-diciembre, pp. 11-23 Universidad de Costa Rica
- Santos, L y Picornell, M; 2010. El riego y sus tecnologías. 1 ed castellano. Lisboa. Portugal.
- Scalone, M. 2002. Propiedades Físicas-Químicas de los suelos. En línea. Consultado el 5 de Noviembre del 2012. Formato (PDF). Disponible en: <http://www.fing.edu.uy/ia/departamento%20legal/Apuntes/Capitulo10.pdf>.
- SENAGUA (Secretaria Nacional del agua). 2010. Línea base para el monitoreo de la calidad de agua de riego en la demarcación hidrográfica del Guayas (En línea).EC. Consultado, 10 de jul. 2015 Formato PDF. Disponible_En:www.agua.gob.ec/wpcontent/uploads/downloads/.../LineaBaseDHG.pdf

Tarjuelo, J. 2005 EL RIEGO POR ASPERSIÓN Y SU TECNOLOGÍA. Ediciones mundi –prensa. Madrid-Barcelona.ES.p 19

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

ANEXOS

ANEXO 1 ANÁLISIS DE SUELO

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA AGROPECUARIA DE MANABI "MANUEL FÉLIX LOPEZ"

CARRERA DE AGRÍCOLA

LABORATORIO DE ANALISIS FÍSICO DE SUELOS

| MUESTRA | Profundidad | Da | Textura % | | | Clase | Cc | Pm |
|---------|-------------|--------------------|-----------|----|----|----------------------|----|----|
| | m | Gr/cm ³ | Ar | L | Ac | textural | % | % |
| 1 | 0.20 | 1.33 | 32 | 38 | 30 | Franco- Arcilloso | 31 | 17 |
| 2 | 0.30 | 1.34 | 30 | 36 | 34 | Franco Arcilloso | 31 | 17 |

Laboratorio de Suelo (ESPAM-MFL)



ESPAM MFL

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE MANABÍ


"MANUEL FÉLIX LÓPEZ"

Ley 99 – 25 R.O. 181 – 30 – 04 - 1999

CALCETA – ECUADOR

ESTACIÓN
METEOROLÓGICA
ESPAM-MFL

| MESES/ AÑO | ANEMOMETRO K/H | TENSION DE VAPOR hPa | PUNTO DE ROCIO °C | NUBOSIDAD EN OCTAVOS | VELOCIDAD VIENTO M/S |
|------------|----------------|----------------------|-------------------|----------------------|----------------------|
| ene-13 | 478,6 | 27 | 22,3 | 6,2 | 1,5 |
| feb-13 | 475,4 | 27,9 | 22,9 | 5,3 | 1,8 |
| mar-13 | 586 | 27,9 | 22,8 | 5,3 | 1,6 |
| abr-13 | 496,4 | 28,2 | 26,6 | 5 | 1,8 |
| may-13 | 539,1 | 27,3 | 22,5 | 5,5 | 1,7 |
| jun-13 | 618,2 | 26,6 | 22,1 | 5,7 | 1,3 |
| jul-13 | 721 | 26,5 | 22 | 5,6 | 1,7 |
| ago-13 | 740 | 25,8 | 21,5 | 5,6 | 1,7 |
| sep-13 | 800 | 26,3 | 21,9 | 5,3 | 2,1 |
| oct-13 | 831,9 | 26,5 | 22 | 5,7 | 1,8 |
| nov-13 | 610,4 | 26,9 | 22,2 | 5,8 | 2,3 |
| dic-13 | 691,3 | 24,3 | 20,5 | 5,4 | 2,1 |
| TOTALES | 7586,3 | | | | |
| PROMEDIOS | | 26,8 | 22,4 | 5,5 | 1,8 m/s |


ING. JUAN MOREIRA SALTOS
TÉCNICO RESPONSABLE

OFICINAS CENTRALES:

10 de agosto No. 82 y Granda Centeno
Telef: 593 05 685156 Telefax: 593 05 685134

www.espam.edu.ec
rectorado@espam.edu.ec

CAMPUS POLITÉCNICO CALCETA
Sitio El Limón
Telefax: 593 05 685048 - 685035



ESPAM MFL

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE MANABÍ
"MANUEL FÉLIX LÓPEZ"

Ley 99 - 25 R.O. 181 - 30 - 04 - 1999
CALCETA - ECUADOR

ESTACIÓN
METEOROLOGICA
ESPAM-MFL

DATOS ANUALES 2012

| MESES | HR % | T.MAXIMA °C | T. MINIMA °C | T.AMBIENTE °C | EVAPORACION mm | PRECIPITACION mm | RECORRIDO VIENTO K/H | HORAS SOL h/ |
|-----------|-------|-------------|--------------|---------------|----------------|------------------|----------------------|--------------|
| ene-12 | 89 | 29,4 | 22,4 | 25 | 71,5 | 322,7 | 426,5 | 40,6 |
| feb-12 | 89 | 30,7 | 22,7 | 26 | 80,5 | 474 | 500,9 | 97,1 |
| mar-12 | 87 | 31,6 | 23,6 | 27 | 122,4 | 389,9 | 519,9 | 139,4 |
| abr-12 | 84 | 32 | 23,3 | 27,1 | 123,7 | 152,2 | 469,3 | 141,3 |
| may-12 | 85 | 31,6 | 23,2 | 26,6 | 104,3 | 167,4 | 396,6 | 119,9 |
| jun-12 | 86 | 30,3 | 22,4 | 25,9 | 103 | 83,9 | 427,8 | 93,3 |
| jul-12 | 86 | 28,8 | 20,7 | 24,6 | 103,1 | 6,5 | 448,7 | 73,6 |
| ago-12 | 81 | 29,3 | 20,8 | 24,3 | 130,6 | 0 | 608,5 | 91,3 |
| sep-12 | 77 | 30 | 20,9 | 24,7 | 138,7 | 0 | 632,7 | 106,2 |
| oct-12 | 78 | 29,9 | 21,2 | 24,8 | 136 | 0,9 | 585,3 | 86,4 |
| nov-12 | 77 | 30,3 | 21,3 | 23,8 | 139 | 5,3 | 799 | 96,7 |
| dic-12 | 76 | 31,2 | 21,9 | 26 | 144,9 | 36,1 | 757,7 | 97,1 |
| PROMEDIOS | 82,9% | 30,4°C | 22,0°C | 25°C | | | | |
| TOTAL | | | | | 1397,7 mm | 1638,9 mm | 547,7 k/h | 1182,9 h/s |

ING. JUAN MOREIRA SALTOS
TECNICO RESPONSABLE

CENTRALES:
C/0. 82 y Granda Centeno
5156 Telefax: 593 05 685134

www.espam.edu.ec
rectorado@espam.edu.ec

CAMPUS POLITÉCNICO CALCETA
Sitio El Limón
Telefax: 593 05 685048 - 685035



ESPAM MFL

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE MANABÍ
"MANUEL FÉLIX LÓPEZ"

Ley 99 - 25 R.O. 181 - 30 - 04 - 1999
CALCETA - ECUADOR

ESTACIÓN
METEOROLOGICA
ESPAM-MFL

DATOS ANUALES 2011

| MESES | HR% | T.MAXIMA °C | T. MINIMA °C | T.AMBIENTE °C | EVAPORACION mm | PRECIPITACION mm | RECORRIDO VIENTO k/h | HORAS SOL |
|----------|--------|-------------|--------------|---------------|----------------|------------------|----------------------|-----------|
| ene-11 | 86 | 29,5 | 22,5 | 25,2 | 103,2 | 102,6 | 397,3 | 55,5 |
| feb-11 | 84 | 30,4 | 22,4 | 25,9 | 122,6 | 98,3 | 431,1 | 112 |
| mar-11 | 81 | 31,9 | 21,9 | 26,4 | 165,4 | 54,4 | 434,3 | 171,9 |
| abr-11 | 84 | 28,3 | 22,4 | 26 | 119,3 | 210,2 | 334,1 | 148 |
| may-11 | 82 | 31,6 | 21,5 | 26,2 | 142,9 | 1,9 | 357,8 | 128,7 |
| jun-11 | 83 | 30,5 | 22,2 | 25,9 | 119,4 | 10,9 | 483,4 | 71,6 |
| jul-11 | 81 | 30,3 | 21,4 | 25,6 | 127,9 | 9,3 | 392,6 | 74,1 |
| ago-11 | 80 | 30,1 | 21,2 | 25,1 | 156 | 0,5 | 529,2 | 82 |
| sep-11 | 79 | 31 | 20,4 | 25 | 175,2 | 0,1 | 653 | 129,1 |
| oct-11 | 79 | 29,9 | 20,4 | 24,7 | 167,6 | 1,8 | 661,6 | 109,4 |
| nov-11 | 77 | 30,5 | 19,8 | 24,7 | 170,8 | 0,7 | 702,1 | 134,3 |
| dic-11 | 75 | 31,3 | 21,4 | 26,2 | 169,2 | 37,2 | 605,9 | 108,8 |
| TOTAL | | | | | 1739,5 mm | 527,9 mm | 5982,4 k/h | 1325,4 hs |
| PROMEDIO | 80,90% | 30,4 °C | 21,5 °C | 26 °C | | | | |

ING. JUAN MOREIRA SALTOS
TECNICO RESPONSABLE

OFICINAS CENTRALES:

10 de agosto No. 82 y Granda Centeno
Telef: 593 05 685156 Telefax: 593 05 685134

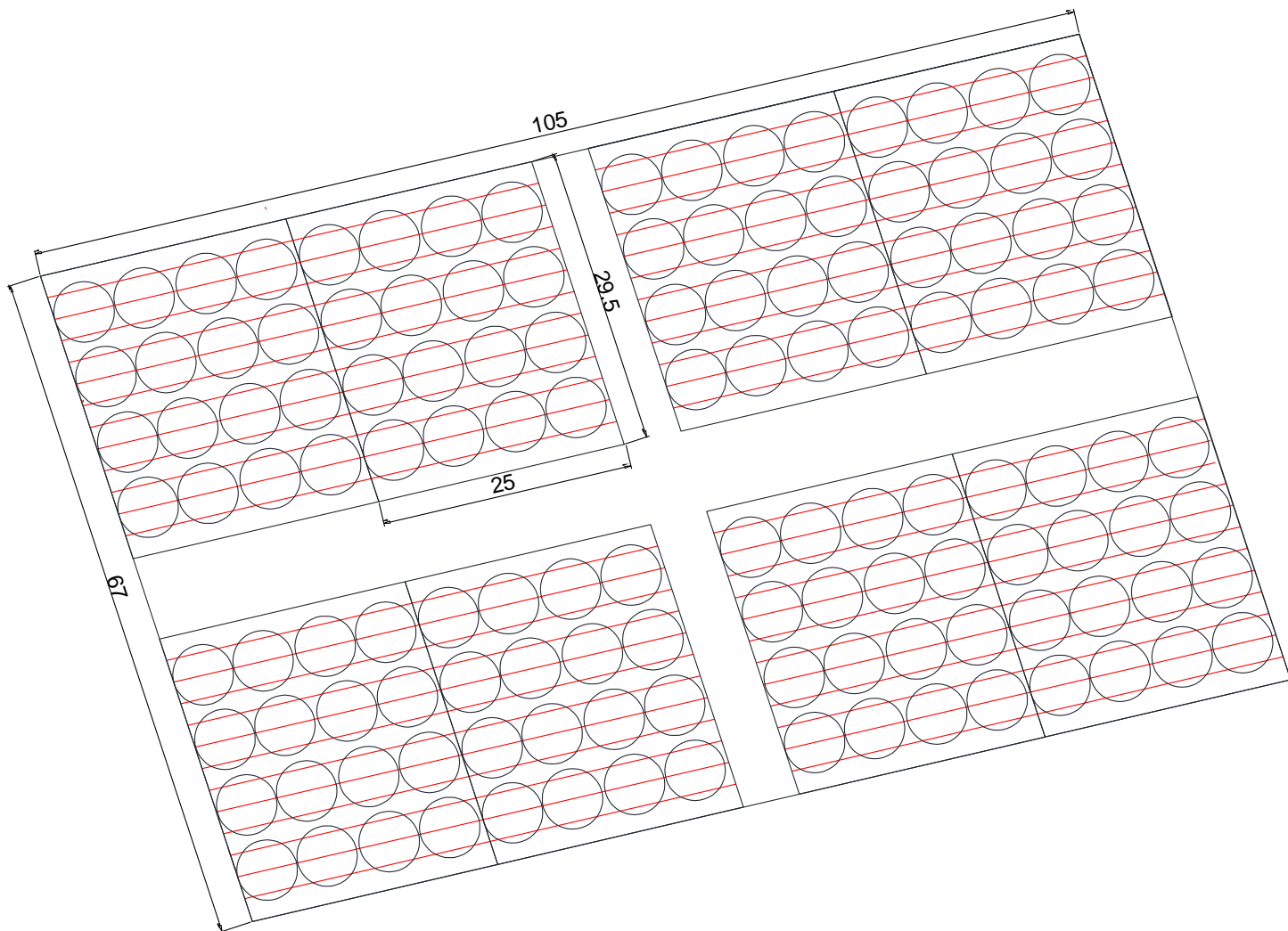
www.espam.edu.ec
rectorado@espam.edu.ec

CAMPUS POLITÉCNICO CALCETA

Sitio El Limón
Telefax: 593 05 685048 - 685035

CROQUIS DE UBICACIÓN DE EMISORES EN EL CAMPO

ANEXO 2



| ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA AGROPECUARIA DE MANABI "ESPAM MFL" | | | |
|---|---------|-----------------|---|
| AREA TOTAL | CULTIVO | TIPO DE RIEGO | SIMBOLOGIA |
| 7035 m ² | CAFE | MICRO ASPERSION |  RADIO DEL MICROASPERSOR 3m  HILERA DE SIEMBRA |

ANÁLISIS DE AGUA

ANEXO 3

| | | |
|---|--|---------------------------|
| | ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA AGROPECUARIA DE MANABI "MFL" | No. 1103 |
| | | CODIGO: F-G-SGC-007 |
| | INFORME DE RESULTADOS | REVISION: 0 |
| | | FECHA: 06/04/2005 |
| | | CLAUSULA: 4.6 |
| | | PAGINA 1 DE 1 |
| NOMBRE DEL CLIENTE: | | JONATHAN BERMUDEZ VALDÉZ |
| SOLICITADO POR: | | JONATHAN BERMUDEZ VALDÉZ |
| DIRECCIÓN DEL CLIENTE: | | TOSAGUA |
| IDENTIFICACION DE LA MUESTRA: | | AGUA DEL SISTEMA DE RIEGO |
| TIPO DE MUESTREO: | | CLIENTE |
| ENSAYOS REQUERIDOS: | | pH, DUREZA TOTAL |
| FECHA Y HORA DE RECEPCION DE LA MUESTRAS: | | 16-01-14 10H44 |
| FECHA DE REALIZACION DE LOS ENSAYOS: | | 16-01-14 |
| LABORATORIO RESPONSABLE: | | QUIMICA AMBIENTAL |
| TECNICO QUE REALIZÓ EL ANALISIS: | | ING. YESSENIA ZAMBRANO |

| ITEM | PARAMETROS | METODO | UNIDAD | RESULTADOS |
|------|--------------|-----------------|--------|---------------------------|
| | | | | AGUA DEL SISTEMA DE RIEGO |
| 1 | pH | POTENCIOMÉTRICO | - | 6.97 |
| 2 | DUREZA TOTAL | VOLUMÉTRICO | mg/l | 63.39 |

OBSERVACIONES:

FIRMA DEL JEFE DE LABORATORIO

Fecha: 16-01-2014

FIRMA DEL GERENTE DE LABORATORIO

Fecha: 16-01-2014

NOTA: Los resultados reportados corresponden únicamente a la(s) muestra(s) recibida(s) por Laboratorios ESPAM. Este informe de resultados no debe ser reproducido parcial o totalmente sin autorización expresa del laboratorio.

Manabí – Bolívar - Calceta: Campus Politécnico, Km. 2.7 Vía El Morro
 Teléfono (593) 05 686103 Telefax (593) 05 685156 - 685134 Email: espam@mnbsatnet.net
 Visite nuestra página web www.espam.edu.ec

ANEXO 4

DETERMINACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO DE REFERENCIA

La ET_o se la determinará mediante el método de la cubeta evaporimétrica que se basa en relacionar la evaporación del agua de la cubeta con la evapotranspiración del cultivo de referencia mediante la siguiente fórmula:

$$ET_o = K_p * E_p$$

De donde:

ET_o = Evaporación del cultivo de referencia, expresada en mm por día.

K_p = Coeficiente de la cubeta de la clase A,

E_p = Evaporación de la cubeta, expresada en mm por día

Calculo DE la evapotranspiración de cultivo (etc.)

$$ET_o = K_p * E_p$$

ANEXO 5

DOSIS INTERVALO Y FRECUENCIA DE RIEGO

Para la determinación de estos parámetros se tendrá en cuenta los parámetros referentes a el cultivo, suelo, clima y la tecnología de riego utilizada La dosis neta corresponde a la reserva fácilmente disponible, y viene dada por la fórmula:

$$Dn = 100 * H * Da * (Cc - Pm) * f$$

De donde:

Dn = Dosis neta expresada en m³/ha.

H = Profundidad de las raíces, en m.

Da = Densidad Aparente del suelo

Cc = Capacidad de campo, expresado en porcentaje en peso de suelo seco

Pm = Punto de marchitamiento, expresado en porcentaje en peso de suelo seco

f = Fracción de agotamiento del agua disponible. El cultivo

$$Dn = 100 * 0.50 * 1.33 * (31\% - 17\%) * 0.3 = 279.3\text{m}^3/\text{ha}$$

ANEXO 6



Foto.1 Zanjeó del terreno



Foto. 2 Instalación de tuberías



Foto. 3 Instalación de accesorios



Foto. 4 Perforación de tuberías



Foto. 5 Despliegue de manguera flex.



Foto. 6 Instalación de emisores



Foto. 7 Evaluación de coeficiente de uniformad



Foto. 8 Prueba de infiltración

ANEXO 7

| PRESUPUESTO DE RIEGO POR MICROASPERSION | | | | |
|---|----------|-----------|----------|-----------------------|
| DETALLE | CANTIDAD | VAL.UNIT | V. TOTAL | FUENTE FINANCIAMIENTO |
| TUB u-PVC UZ 63mm X 6m 0,80MPa(116psi) | 10 | 16,50 | 165 | AUTOFINANCIAMIENTO |
| TUB u-PVC UZ 50mm X 6m 0,80MPa(116psi) | 17 | 11,30 | 192,1 | AUTOFINANCIAMIENTO |
| TUB u-PVC EC 25mm X 6m 1,60MPa(232psi) | 170 | 4,30 | 731 | AUTOFINANCIAMIENTO |
| CODO EC 63mm X 90° | 10 | 1,85 | 18,5 | AUTOFINANCIAMIENTO |
| CODO EC 50mm X 90° | 10 | 1,11 | 11,1 | AUTOFINANCIAMIENTO |
| CODO 1 EC 63mm X 45° | 5 | 1,23 | 6,15 | AUTOFINANCIAMIENTO |
| CODO 1 EC 50mm X 45° | 5 | 0,95 | 4,75 | AUTOFINANCIAMIENTO |
| COLL. 1DERIV 1 63mm x 1/2" | 2 | 2,59 | 5,18 | AUTOFINANCIAMIENTO |
| COLL. 1DERIV 1 63mm x 3/4" | 2 | 2,59 | 5,18 | AUTOFINANCIAMIENTO |
| RED 1 BUJE EC 63 A 50mm | 10 | 0,99 | 9,9 | AUTOFINANCIAMIENTO |
| TEE EC 63mm | 5 | 1,92 | 9,6 | AUTOFINANCIAMIENTO |
| SOLDADURA P/TUB PVC KALIPEGA 500cc | 1 | 7,16 | 7,16 | AUTOFINANCIAMIENTO |
| ACONDICIONADOR P/SOLD TUB POLI-LIMPIA 125cc | 1 | 2,27 | 2,27 | AUTOFINANCIAMIENTO |
| ADAPTADOR M CR EC 50mm A 1 1/2" | 5 | 1,31 | 6,55 | AUTOFINANCIAMIENTO |
| MANOMETRO DE GLICERINA RM 1/4" @ 100PSI | 2 | 29,00 | 58 | AUTOFINANCIAMIENTO |
| REDUCTOR MANOMETRO | 1 | 0,96 | 0,96 | AUTOFINANCIAMIENTO |
| VALVULA DE AIRE VBK RM 3/4" | 1 | 9,66 | 9,66 | AUTOFINANCIAMIENTO |
| ASP 1 SENN WOBBLER 3/4"M # 10 | 80 | 5,60 | 448 | AUTOFINANCIAMIENTO |
| VALV 1 PVC BOLA EC 50mm 1 UNIV. | 2 | 9,54 | 19,08 | AUTOFINANCIAMIENTO |
| VAL 1 RETEN 63mm EC | 1 | 58,28 | 58,28 | AUTOFINANCIAMIENTO |
| TUB FLEXBD 16mm X 0,32MPa (46psi) | 1800 | 0,25 | 450 | AUTOFINANCIAMIENTO |
| TAPON ROSCABLE HEMBRA 1-1/2" | 2 | 0,96 | 1,92 | AUTOFINANCIAMIENTO |
| CINTA TEFLON 12mm X 10m C/CARRETE | 10 | 0,24 | 2,4 | AUTOFINANCIAMIENTO |
| | | SUB TOTAL | 2222,74 | |
| | | IVA | 266,73 | |
| | | TOTAL | 2489,47 | |

DISEÑO, IMPLEMENTACIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE RIEGO POR MICROASPERSION EN CAFÉ (*Coffea arabica*)

Júlio Cesar Mendoza Balderrama, Jonathan Miguel Bermudez Valdez

Carrera de Agrícola, Escuela Superior politécnica agropecuaria de Manabí, Calceta-Manabí, Campus El Limón Ubicado en el Km 2.7 vía Calceta-El Morro-Gramal.

Contacto: nostan_15@hotmail.com

RESUMEN

El objetivo fue diseñar y evaluar un sistema de riego por aspersión en el cultivo de café. El área en estudio lo constituyó una parcela de café de 0.7 ha. El cultivo tuvo un distanciamiento de 1.25 x 1.25 m. Se realizó las determinaciones agronómicas e hidráulicas; entre las agronómicas estuvieron: evapotranspiración, dosis neta, intervalos de riego, tiempo de riego; entre los hidráulicos se tuvieron: perdidas de carga y caudal. La evaluación del coeficiente de uniformidad se lo realizó mediante la metodología de Christiansen. La evapotranspiración diaria fue de 3.77 mm/día. La dosis neta de riego alcanzó los 29.3 m³/ha y un intervalo de riego de 7 días, además, un tiempo de riego de 19 h. La tubería distribuidora fue de 63 mm y una longitud de 65 m. El lateral lo constituyó tubería de 17 mm y el emisor de un caudal de entre 28-50 L/h. el coeficiente de uniformidad fue de 74.5%. En función del coeficiente de uniformidad se puede concluir que el sistema es aceptable.

Palabras clave: coeficiente de uniformidad, caudal, diseño agronómico, diseño hidráulico.

ABSTRACT

The objective was to design and evaluate a sprinkler system in the cultivation of coffee. The area under study it constituted a plot of 0.7 ha coffee. The culture had a distance of 1.25 x 1.25 m. Agronomic and hydraulic measurements were performed; between

agronomic they were: evapotranspiration, net dose intervals irrigation run time; between the hydraulic they were taken: head losses and flow. The evaluation of the uniformity coefficient are performed using methodology Christiansen. The daily evapotranspiration was 3.77 mm / day. The net irrigation dose reached 29.3 m³ / ha and irrigation intervals 7 days, in addition, a run time of 19 h. The distributor pipe was 63 mm and a length of 65 m. What constituted the lateral pipe 17 mm and the issuer of a flow rate of 28-50 L / h. the uniformity coefficient was 74.5%. Depending on the uniformity coefficient can conclude that the system is acceptable.

Keywords: uniformity coefficient, flow, agronomic design, hydraulic design.

INTRODUCCIÓN

La producción de café en el Ecuador ha constituido un importante renglón para la economía nacional, en especial por su significativa contribución a la generación de divisas por concepto de exportación, actividad que se inició en la época colonial. En las décadas del 70 y 80 ocupó uno de los primeros lugares en el monto de exportaciones del sector agrícola. Sin embargo, estas ha sufrido una baja significativa en estos últimos años, debido principalmente a la baja de la producción, básicamente por factores como orden social, económico, político y técnico que se evidencian en cafetales viejos o no rehabilitados y a la falta de recursos hídricos, por los cambios climáticos que han incidido en los bajos niveles de precipitación o por la falta de tecnología para la captación de este recurso y ponerlo a disposición de las zonas de producción.

En Manabí, la disponibilidad de agua en la mayoría de las veces está sujeta a las reservas acumuladas durante el periodo lluvioso; por lo que el riego no constituye una práctica arraigada en la generalidad de las fincas en las que se produce café (CORECAF, 2000).

La COFENAC, 2002 señala que la precipitación óptima para el café arábigo debe de estar en el rango de 1.000 a 2.000 mm anuales, con un período seco que transcurre de tres a seis meses, por lo que recomienda que se tomen medidas desde el punto de vista aerotécnico que permitan la preservación del agua y con ello conservar la humedad disponible en el suelo.

Al no disponer de las reservas de agua naturales para la producción de café, producto de las irregularidades de las lluvias, tanto en su distribución como en su magnitud; así como las pérdidas de agua que se producen en el suelo por múltiples causas, se hace imprescindible disponer de sistemas de riego que garanticen los requerimientos hídricos del café en cada una de las etapas de desarrollo del mismo en el área demostrativa de la ESPAM MFL y con ello poder alcanzar el máximo potencial productivo.

El diseño e implementación del sistema de riego constituirá un eslabón imprescindible en la concreción de las intenciones planteadas con el propósito de garantizar el suministro de agua adecuado a la plantación de café.

Flórez *et al.* (2013) hace hincapié en que las insuficientes o excesivas aplicaciones de agua son a causa del propio sistemas de riego. Unos de los parámetros de evaluación de un sistema de riego por aspersión está el coeficiente de uniformidad, Buendía *et al.* (2004) mencionan que los bajos valores de uniformidad se deben a errores en el diseño. Este indicador es útil al medir la eficiencia del riego conjuntamente con variables de producción

en relación con la lámina aplicada (Lorite *et al.*, 2004), sin embargo, no solo se mide el funcionamiento del sistema sino también los implementos o accesorios utilizados en la instalación del sistema (Holzapfel *et al.*, 2007). El objetivo del presente estudio fue diseñar un sistema de riego por aspersión y evaluar su coeficiente de uniformidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

La Investigación se la llevó a cabo en una superficie de 7035 m² ubicada en el área docente, investigativa, productiva y de vinculación del campus universitario de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López ESPAM-MFL. Ubicada en el sitio El Limón, Cantón Bolívar, Provincia de Manabí en las coordenadas 0°49'27" (Latitud Sur), 80°10'47" (Longitud Oeste) a una altitud de 15 m.s.n.m.

Diseño agronómico

Se realizó el diseño agronómico con el objetivo de conocer los siguientes elementos que constituyen la base para el cálculo hidráulico y la explotación eficiente de los sistemas de riego. Los parámetros determinados fueron: Dosis de riego neta y bruta, Requerimientos y programación de riego, Cálculo de la evapotranspiración del cultivo

Intervalo y frecuencia de riego, Pluviometría, Tiempo de estancia de los emisores para cubrir la dosis, Tiempo para cubrir el área total, Números de emisores y Números de laterales

Para realizar el diseño agronómico se planteó utilizar el micro aspersor AMANCO, de boquilla color negro de 0.90 mm, de acuerdo con sus características técnicas, puede trabajar con presiones entre los 15 y 40 PSI y caudal entre 28 y 50 L.h⁻¹ y diámetro húmedo entre

los 5.2 y 6 m.

Para la determinación de la dosis neta de riego se asumieron los parámetros referentes al cultivo, suelo, clima y la tecnología de riego utilizada. La dosis neta corresponde al volumen de agua que se le debe aplicar al cultivo en un riego teniendo en cuenta los factores antes mencionados para su cálculo se aplica la fórmula 1.

$$Dn = 100 * H * Da * (Cc - Pm) * f \quad [1]$$

De donde:

Dn = Dosis neta expresada en m³/ha.

H = Profundidad de la capa activa en m.

Da = Densidad aparente del suelo g.cm³-1

Cc = Capacidad de campo, expresado en porcentaje en peso de suelo seco

Pm = Punto de marchitamiento, expresado en porcentaje en peso de suelo seco

f = Fracción de agotamiento del agua disponible.

Para la determinación de los requerimientos hídricos se calculó la evapotranspiración del cultivo la que se obtuvo a partir de la evapotranspiración del cultivo de referencia (Eto.) y los coeficientes del cultivo para lo cual se realizó los siguientes procedimientos.

Con los datos meteorológicos correspondientes a la Estación Meteorológica de Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí “Manuel Félix López”. cuadro 3.1, se determinó la ETo, mediante el método de la cubeta evaporimétrica aplicando la fórmula 2

la que relaciona la evaporación del agua de la cubeta E_v con el coeficiente de la bandeja K_p

:

$$ET_o = E_v * K_p \quad [2]$$

De donde:

ET_o = Evaporación del cultivo de referencia, expresada en mm por día.

K_p = Coeficiente de la cubeta de la clase A,

E_v = Evaporación de la cubeta, expresada en mm por día

Calculo de la evapotranspiración del cultivo (ET_c). Se la calculará por medio de la siguiente formula.

$$ET_c(\text{cultivo}) = ET_o * K_c$$

Dónde:

ET_c = Evapotranspiración del cultivo o real, expresada en mm dia

ET_o = Evaporación del cultivo de referencia, expresada en mm por día.

K_c = Coeficiente del cultivo

Evaluación de coeficiente de uniformidad

Efectuada la instalación se realizó la evaluación del mismo mediante la metodología propuesta por Christiansen (1942) citada por Fuentes (2004).

El coeficiente de uniformidad (CU) es un factor elemental cuando se quiere evaluar un sistema de riego. El CU de Christiansen es una representación estadística de la uniformidad, utilizado principalmente en los sistemas de aspersión.

Se expresa en tanto por ciento mediante la expresión.

$$CU = \left(1 - \frac{\sum ci - M}{Mn}\right) * 100$$

En donde:

Ci. = Cantidad recogida por cada pluviometría o punto de control

M. = valor medio del agua recogida en los pluviómetros o punto de control

N. = número total de pluviometría o puntos de control.

Para la evaluación se seleccionaron los puntos de muestreo, eligiendo los laterales que ocupan la primera y última posición y los que ocupan las posiciones a 1/3 y 2/3 de la longitud de las distribuidoras. Para la selección de los emisores a evaluar se tendrán en

cuenta las mismas condiciones, es decir, los que ocupan la primera y última posición en el lateral y los ubicados a un 1/3 y 2/3 con respecto a longitud del lateral.

RESULTADOS Y DISCUSION

Diseño de un sistema de riego por microaspersion

Para la realización del diseño agronómico que permitió la determinación de los requerimientos hídricos del café se utilizó el software CROPWAT 8.0, así como la utilización del manual (FAO, 2006), proporcionando los siguientes resultados:

Evapotranspiración del cultivo: $3.77 \text{ mm.días}^{-1}$

Dosis de riego: $279.3 \text{ m}^3/\text{ha}$.

Intervalo de riego: 7 días

Considerando el periodo de riego de 180 días se obtiene que el número de riego a aplicarle al cultivo en la época seca sea de 26.

Lámina de riego: Lámina máxima de agua 725 mm equivalentes a $7254 \text{ m}^3/\text{ha}$ de agua cada siete días.

Tiempo de riego: 19 horas.

En el cuadro 1, se relacionan los componentes y parámetros técnicos del sistema de riego relacionados con los datos de las tuberías distribuidoras, lateral y del emisor utilizado. El emisor propuesto fue seleccionado a partir de las características técnicas del mismo, lo que

permite realizar un marco de riego adecuado de acuerdo con el marco de plantación utilizado y lograr un alto porcentaje de la superficie óptimamente humedecida así como garantizar un ahorro de agua sin afectar las necesidades hídricas del cultivo.

Cuadro. 1. Datos generales del sistema de riego

| Parámetro | Unidad de medida | Valor |
|-----------------------------|----------------------|------------|
| Datos tubería distribuidora | Diámetro | mm 63 |
| | Longitud | m 65 |
| Datos de la tubería lateral | Diámetro | mm 17 |
| | Longitud | m 105 |
| Datos del emisor | Emisor | Amanco |
| | Diámetro de boquilla | mm 0.90 |
| | Carga | Psi 15-40 |
| | Caudal | L/h 28-50 |
| | Diámetro | m 5.80 - 6 |

El diseño hidráulico consiste en determinar los siguientes aspectos:

Diámetro de la tubería: Una vez realizados los cálculos correspondientes se determinó que el diámetro de la tubería es de 63 mm.

Pérdida de carga: Los cálculos pertinentes para la pérdida de carga se estableció en 1.27 mca (metros columna de agua).

Presión necesaria: Los cálculos para determinar la presión necesaria arrojo como resultado que la presión mínima para el funcionamiento es de 24.35 PSI.

Implementación del sistema de riego

Una vez determinados todos los parámetros de los diseños agronómicos e hidráulicos se procedió a implementar el sistema de riego, instalando tuberías pvc de 63 mm de diámetro, 2mm de espesor nominal y 0.80 MPa (presión de trabajo); se situó 1000 m de manguera Flex y se implementaron 120 microaspersores del modelo AMANCO. Obteniendo como resultado un sistema de riego en total funcionamiento.

Evaluación de coeficiente de uniformidad

Efectuando todos los muestreos y cálculos correspondientes se obtuvo un coeficiente de uniformidad (CU) es de 74.15% siendo un valor aceptable, según los valores de Christianseh, citado por Fuentes (2004). Aunque fue inferior a los encontrados por Rodríguez *et al* (2007) al evaluar miniaspersor en el cultivo de banano. Caicedo *et al.* (2015) obtuvieron un 95% de coeficiente de uniformidad en sistema de riego subfoliar.

CONCLUSIONES

La implementación del sistema de riego a partir del diseño agronómico e hidráulico permitirá las satisfacciones de las necesidades hídricas del cultivo, en correspondencia con las características agronómicas y agroecológicas de la parcela demostrativa de la ESPAM MFL. La evaluación realizada al sistema implementado en la parcela demostrativa arrojó un coeficiente de uniformidad 74.11 % que permite evaluar el riego como aceptable.

LITERATURA CITADA

- Buendía, J. C. E., E. Palacios V., J. Chávez M., y B. Rojas M. 2004. Impacto del funcionamiento de los sistemas de riego presurizados en la productividad de ocho cultivos, en Guanajuato, México. *Agrociencia* 34(5): 477-486.
- Caicedo, C; Balmaseda, E; Proaño, J. 2015. Evaluación hidráulica del riego por aspersión subfoliar en banano (*Musa paradisiaca*) en la finca San José 2, provincia Los Ríos, Ecuador. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*. 24(1): 38-42.
- COFENAC (Consejo Cafetalero Nacional). 2002. El Clima en las zonas de producción de café arábigo del Ecuador. (En línea). EC. Consultado, 10 de Nov 2012. Formato PDF. Disponible en: <http://www.cofenac.org/>
- CORECAF (Corporación Ecuatoriana de Cafetaleras y Cafetaleros). 2000. Determinación de los parámetros técnicos para plantaciones tradicionales y plantaciones tecnificadas de café arábigo y robusta. (En línea).EC. Consultado, 10 de Nov 2012. Formato PDF. Disponible en: <http://www.corecaf.org/>
- FAO (Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura). 2006. Sistema de Información sobre el Uso del Agua en la Agricultura y el Medio Rural. (En línea).EC. Consultado, 19 de Nov. Formato PDF. Disponible en: http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries_regions/ecuador/indexesp.stm.
- Flórez-Tuta, Natalia; Zution-Gonçalves, Ivo; Rodrigues-Calvacante Feitosa, Daniel; Agnellos-Barbosa, E. Augusto; Ponciano-de Deus, Fabio; Diego-Ribeiro, Maycon; Eiji-Matsura, Edson. 2013. Eficiencia de aplicación de agua en la superficie y en el perfil del suelo en un sistema de riego por aspersión. *Agrociencia*, 47(2):107-119.

Fuentes, J. 2004. Técnicas de Riego. 4 ed. España. Mundi-prensa Madrid. p 235-279.

Holzapfel, E.A; Pardo, X.M; DA S. Paz; Rodrigues, A; Orrego, X.C; López, M.A. 2007.

Analisis técnico-economico para selección de aspersores. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. 11 (6) 557-563.

Lorite, I. J., L. Mateos, and E. Fereres. 2004. Evaluating irrigation performance in a Mediterranean environment: I. model and general assessment of an irrigation scheme. Irrigation Sci. 23: 77-84.

Rodríguez, M; Rey, R; Torralba, V; Puig, O y Acevedo, R. 2007. Riego por aspersión de baja intensidad en el cultivo del banano con el empleo del miniaspersor Mamkad 2255 “pruebas de laboratorio. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias. 16(1): 86-88.