



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

INGENIERÍA AGRÍCOLA

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

Tema:

**EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO POR
MICROASPERSIÓN IMPLEMENTADO EN EL JARDÍN
CLONAL DE CACAO (*Theobroma cacao* L) ESPAM “MFL”**

AUTORES:

**ZAMBRANO CEDEÑO JOSE JAVIER
ZAMBRANO CEDEÑO SERGIO LEONARDO**

TUTOR:

ING. SASKIA VALERIA GUILLEN MENDOZA

Calceta, Abril 2012

DECLARACIÓN

Zambrano Cedeño José Javier y Zambrano Cedeño Sergio Leonardo, 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 nuestros derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí “Manuel Feliz López”, según lo establecido por la ley de propiedad intelectual y su reglamento.

Zambrano C. José Javier

Zambrano C. Sergio Leonardo

CERTIFICACION

Ing. Saskia Valeria Guillen Mendoza certifica haber tutelado la tesis titulada “EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO POR MICROASPERSIÓN IMPLEMENTADO EN EL JARDÍN CLONAL DE CACAO (*Theobroma cacao* L) ESPAM “MFL”, que ha sido desarrollada por José Javier Zambrano Cedeño y Sergio Leonardo Zambrano Cedeño, previa a la obtención del título de ingeniero agrícola, de acuerdo al REGLAMENTO PARA LA ELABORACION DE TESIS DE GRADO DE TERCER NIVEL de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

Ing. SASKIA VALERIA GUILLEN MENDOZA

TUTORA DE TESIS

APROBACIÓN

Los suscritos miembro del tribunal correspondiente, declaramos que hemos APROBADO la tesis titulada “EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO POR MICROASPERSIÓN IMPLEMENTADO EN EL JARDÍN CLONAL DE CACAO (*Theobroma cacao* L) ESPAM “MFL” que ha sido propuesta, desarrollada Y sustentada por José Javier Zambrano Cedeño y Sergio Leonardo Zambrano Cedeño, previa a la obtención del título de ingeniero agrícola, de acuerdo al REGLAMENTO PARA LA ELABORACION DE TESIS DE GRADO DE TERCER NIVEL de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

Ing. Federico Díaz Trelles

MIEMBRO

Ing. Sergio Vélez Zambrano

MIEMBRO

Ing. Gonzalo Constante Tubay

PRESIDENTE

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí “Manuel Félix López”, a su carrera de Ingeniería agrícola, en especial a su cuerpo de profesores, por su valioso aporte en la formación académica.

Agradecemos a los ingenieros, José Ignacio Loo Ponce, Jesús Chavarría, por su acertada labor en este trabajo.

De manera especial agradecemos a la Ingeniera. Saskia Valeria Guillen Mendoza, directora de tesis, por su acertada labor en este trabajo.

Finalmente nuestra gratitud para todas aquellas personas que de una u otra manera colaboraron en la realización de este trabajo.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios por brindarme sabiduría, salud y fuerzas para seguir luchado días tras día y emprender cada meta que me propongo.

A mis padres José Zambrano Lucas y María Cedeño Basurto por haberme dado la vida, su esfuerzo, dedicación, amor, apoyo incondicional y haber estado a mi lado proporcionándome lo necesario para llegar a ser lo que hoy soy.

A mis hermanos/as por su cariño y comprensión en el transcurso de toda mi vida. Ellos son mi inspiración para ser cada día mejor, esta gran persona que soy se lo debo a cada palabra de cada una de las personas que más quiero.

José Javier Zambrano Cedeño

DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedico, en primer lugar a Dios, ya que gracias a él he logrado una nueva etapa, por enseñarme el camino correcto de la vida, guiándome y fortaleciéndome cada día.

A mis padres Agapito Zambrano y Mariana Cedeño, porque creyeron en mí y porque me sacaron adelante, dándome ejemplos dignos de superación y entrega.

También a mi esposa María José Sabando y a mis hijos Damaris y Pedro Leonardo por su apoyo incondicional en todos mis proyectos.

A mi hermano Jorge Luís, que le sirva de constancia el esfuerzo realizado para alcanzar sus proyecciones y metas trazadas.

Sergio Leonardo Zambrano Cedeño

CONTENIDO GENERAL.

DECLARACIÓN	ii
CERTIFICACIÓN	iii
APROBACIÓN	iv
AGRADECIMIENTO	v
DEDICATORIA	vi-vii
CONTENIDO GENERAL	viii- ix-x
CONTENIDO DE CUADRO	xi
RESUMEN	xii
SUMMARY	xiii
INTRODUCCIÓN	1-2
I. ANTECEDENTES	
1.1. Problemática	3
1.2. Justificación	4
1.3. Objetivos	5
II. MARCO TEORICO	
2.1. Riego	6
2.2. Sistema de riego	6
2.2.1 Sistema de riego por aspersión	7
2.2.2. Técnicas de riego por micro aspersión	8
2.3. Necesidades hídricas de los cultivos.	9
2.4. Diseño agronómico	9
2.4.1 Coeficiente de uniformidad	10
2.4.2. Coeficiente de variación cv.	11
2.4.3. Eficiencia de aplicación.	12
2.4.4. Eficiencia de riego.	13
2.4.5. Tiempo de riego.	13
2.4.6. Periodo de riego.	13
2.4.7. Frecuencia de riego	13
2.4.8. Radio de alcance de un aspersor.	14
2.5. Calculo de pérdidas de caudal.	15
2.5.1. Perdidas de carga.	15

2.5.2. Pérdidas de carga menores.	16
2.6. Evaluación del sistema de riego por aspersión.	17
2.7. Materiales para realizar la evaluación	18
2.8. Procedimiento para la realización de la evaluación	19
2.8.1. Evaluación de los componentes de la instalación	20
2.8.2. Evaluación de la uniformidad del riego	20
2.8.3. Uniformidad de la zona evaluada	21
2.8.4. Uniformidad de la instalación	22
2.8.5. Evaluación de las pérdidas por evaporación y arrastre del viento	24
2.8.6. Evaluación del índice de grosor de la gota	26
2.9. Riego en cacao	26
2.9.1. Recomendaciones para el uso de riego en cacao	27
2.10. Requerimientos edafo climáticos del cultivo de cacao	28
I.I.I. DISEÑO METODOLÓGICO	
3.1. Ubicación.	32
3.2. Características edafoclimaticas.	32
3.3. Metodología	33
3.3.1 Evaluación de los componentes de la instalación	33
3.3.2. Coeficiente de uniformidad.	33
3.3.3. Evaluación de la uniformidad del riego	34
3.3.4. Uniformidad de la instalación	34
3.3.5. Evaluación de las pérdidas por evaporación y arrastre del viento	35
3.3.6. Evaluación del índice de grosor de la gota	36
3.4. Diseño agronómico.	37
3.4.1. Evapotranspiración eto	37
3.4.2. Necesidad hídrica diaria del cultivo.	37
3.4.3. Necesidad mensual del cultivo.	38
3.4.4. Reserva de agua disponible.	38
3.4.5. Reserva de agua fácilmente disponible.	38
3.4.6. Precipitación efectiva mensual.	39
3.4.7. Intervalo de riego.	39

3.4.8. Dosis neta.	40
3.4.9. Dosis neta ajustada.	40
3.4.10. Tiempo de riego diario.	40
3.4.11. Caudal necesario mensual.	41
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	42
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
5.1. Conclusiones	46
5.2. Recomendaciones.	47
BIBLIOGRAFÍA	49
ANEXOS	
Anexo N°1. Coeficiente de uniformidad y uniformidad de la zona	55
Anexo N°2. Uniformidad de la instalación	58
Anexo N°3. Perdidas por evaporación y arrastre del viento	60
Anexo N°4. Índice de grosor de la gota	67
Anexo N°5. Diseño agronómico	69
Anexo N°6. Fotos de la evaluación	72

CONTENIDO DE CUADROS

CUADRO.

02.01. Cantidades de agua (mm)	28
04.01 Resultado de la evaluación de riego por microaspersión	43
04.02. Resultados del diseño agronómico para el cultivo de cacao.	44

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó en la época seca del año 2011 en el jardín clonal de cacao de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí “Manuel Félix López”, con el propósito de evaluar el sistema de riego por microaspersión. Se planteó como objetivo, Evaluar la eficacia técnica del sistema de riego, mediante su correcto manejo para favorecer el incremento de los niveles actuales de producción. Las evaluaciones realizadas fueron, componentes de la instalación, que se la efectuó de forma visual, para determinar el estado del sistema. La uniformidad de riego sobre la zona evaluada y de instalación, alcanzaron porcentaje de 50.33 y 47.47 % respectivamente. Las pérdidas por evaporación y arrastre del viento logro un 11,49 % y con respecto al del índice de grosor de gota, obtuvo un 27,77, lo que indica que son gotas demasiadas finas. La presión óptima de funcionamiento del sistema debe ser de 25 psi y el caudal de 40 l/h. De acuerdo al diseño agronómico, el intervalo de riego debe ser diario con un tiempo de 21 minutos.

SUMMARY

This research was conducted during the dry season of 2011 in the garden clonal cocoa Agricultural Polytechnic School of Manabí "Felix Manuel Lopez," in order to evaluate the micro sprinkler irrigation system. Was raised as an objective, evaluate the technical efficiency of the irrigation system through proper management to support the increase in current production levels. Evaluations were components of the facility, which made it visually to determine the system status. The uniformity of irrigation on the area to be assessed and installation, reached 50.33 percent and 47.47% respectively. Evaporation losses and achieve a wind drag and 11.49% with respect to the thickness index of gout, a 27.77 obtained, indicating that they are too fine droplets. The optimum operating pressure of the system should be 25 psi and flow rate of 40 l / h. According to the design agronomic irrigation interval should be every day with a time of 21 minutes.

INTRODUCCION

El cacao *Theobroma cacao* L. se lo cultiva en todas las regiones del territorio nacional ecuatoriano. De acuerdo a datos del último censo agropecuario (INEC 2002) existen en el país, 243.059 hectáreas, como cultivo solo y 190.919 de cultivos asociados; del total de estas área le corresponde a la provincia de Manabí el 23,2% con 101.000 hectáreas de las cuales 55.57 están como cultivo solo y 48.42 como cultivo asociado. La Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí, tiene un total de 5 hectáreas, de las cuales 0.84 hectáreas están destinadas al jardín clonal donde se realizó la evaluación del sistema de riego.

La Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí "Manuel Félix López, se constituye en un referente para el desarrollo agropecuario de la región y particularmente del cantón Bolívar, pues dentro de sus objetivos se encuentra realizar investigaciones e implementaciones de sistemas de riego para optimizar el uso del agua, que tributen a mejorar la calidad de vida de los agricultores.

La Carrera de Ingeniería Agrícola de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí "Manuel Félix López, tiene un Jardín Clonal que posee una área de 0,84 ha. Fue sembrado entre los meses de marzo y junio de 1990 con los siguientes materiales: EET 19, EET 48, EET 62, EET 95, EET 96, EET 103, EET 110, EET 111, EET 116, EET 387.

Es importante recalcar que los agricultores no tienen cultura de riego, sino que el agua la vierten al suelo de acuerdo a su criterio o como lo han realizado sus antepasados de manera empírica, sin considerar las características edafológicas del suelo ni las condiciones agrometeorológicas de la zona, lo cual se refleja en la baja productividad de los productos agrícolas (Pizarro, 1987).

Siempre es necesario comprobar, si realmente se está cumpliendo con lo proyectado en cuanto a los caudales de agua que entregan los emisores y las presiones de operación. Por esta razón se deben hacer evaluaciones al menos dos veces al año de aforo de emisores, esto consiste en determinar cuántos litros por hora eta otorgando el micro aspersor estos valores deben coincidir como lo indicado en los catálogos (Tapia, 1999).

I. ANTECEDENTES

1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

La Carrera de Ingeniería Agrícola de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí “Manuel Félix López, tiene un Jardín Clonal que posee una área de 0,84 ha. Fue sembrado entre los meses de marzo a junio de 1990 con los siguientes materiales: EET 19, EET 48, EET 62, EET 95, EET 96, EET 103, EET 110, EET 111, EET 116, EET 387, sembrado a una distancia de 3m x 3m entre plantas, cuya población es de 345 plantas de cacao. Tiene instalado un sistema de riego el cual no ha sido evaluado.

El problema de riego empieza en la época seca de Junio a Diciembre cuando las plantas no tienen la suficiente humedad para poder desarrollarse vegetativamente y llegar a una producción eficiente, ya que la frecuencia de riego superficial es aplicada a su debido tiempo y la lámina de agua que es suministrada no cubre las necesidades hídricas de estos cultivos.

Por esta razón se instaló un Sistema de Riego por microaspersión en el jardín Clonal del cultivo de Cacao, el cual su manejo no ha sido evaluado; para poder proporcionarle un uso adecuado y tener un plan de riego óptimo para las 207 plantas de Cacao que conforman este lote.

Las técnicas de evaluación y mejora de los sistemas de riego permiten conocer los parámetros implicados en la aplicación del agua, basándose en ensayos de campo realizados bajo las condiciones normales de trabajo, y determinar los cambios precisos para mejorar el proceso de riego.

1.2. JUSTIFICACIÓN.

La Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí “Manuel Félix López” desde sus inicio conto con un jardín clonal de cacao (*Theobroma cacao* L) y ha hecho énfasis en lo que es manejo de plantación, control fitosanitario, riego y producción, pero a medida que avanzan las investigaciones es necesario aplicar nuevas técnicas de riego. Por esta razón se instaló un sistema de riego por microaspersión para aprovechar la eficiencia que tiene el riego tecnificado.

Antes de poner en marcha un nuevo sistema de riego, es recomendable realizar una evaluación técnica, integra tanto en el aspecto hidráulico como agronómico, con el fin de determinar si el sistema de riego provee eficientemente el recurso hídrico a la plantación, caso contrario, se desconoce con exactitud si los microaspersores están trabajando con la presión adecuada, en este caso los valores que se obtienen en la evaluación permiten corregir los parámetros de explotación del sistema para lograr mayor eficiencia de agua en el riego.

Con el riego se pretende maximizar la eficiencia del suministro de agua, entendiendo como tal la fracción del agua aplicada que es empleada para satisfacer las necesidades hídricas del cultivo. Ello requiere minimizar las pérdidas por evaporación, escorrentía, percolación profunda y otras pérdidas menores, para lo cual se necesita que el sistema esté bien diseñado, manejado y conservado (Montero *et al*, 2003).

1.3. OBJETIVOS

GENERAL

- Evaluar la eficacia técnica del sistema de riego por microaspersión, del jardín Clonal de cacao en la ESPAM-“MFL”, mediante su correcto manejo, para favorecer el incremento de los niveles actuales de producción.

ESPECÍFICOS

- Determinar los principales problemas que se tienen en la operación del sistema de riego por microaspersión instalado.
- Elaborar una guía para el uso correcto del sistema de riego por microaspersión del jardín clonal de cacao.

II. MARCO TEORICO

2.1. RIEGO.

Según Tarjuelo (2005), el riego consiste en suministrar a los cultivos, de forma eficiente y sin alterar la fertilidad del suelo, el agua adicional a la precipitación que necesitan para su crecimiento óptimo y cubrir las necesidades de lavado de sales de forma que evite su acumulación en el suelo, asegurando la sostenibilidad del regadío.

Con el riego se pretende maximizar la eficiencia de el suministro de agua, entendiéndose como tal la fracción del agua aplicada que es utilizada para satisfacer las necesidades hídricas del cultivo y las de lavado. Ello requiere minimizar las pérdidas por evaporación, escorrentía, percolación profunda y otras pérdidas menores, para lo cual se necesita que el sistema esté bien diseñado, manejado y conservado (Montero *et al*, 2003).

2.2. SISTEMAS DE RIEGO

Se denomina sistema de riego o perímetro de riego, al conjunto de estructuras, que hace posible que una determinada área pueda ser cultivada con la aplicación del agua necesaria a las plantas. El sistema de riego consta de una serie de componentes. Sin embargo debe notarse que no necesariamente el sistema de riego debe constar de todas ellas, el conjunto de componentes dependerá de si se trata de riego superficial, por aspersión, o por goteo (Bi, 2010).

Los sistemas de riego que existen en los cultivos son:

Riego con aspersores

Riego con difusores
Riego por goteo
Riego subterráneo
Riego con cintas de exudación
Riego con micro aspersores
Riego con manguera
Riego con regadera
Macetas de autorriego
Riego por surcos (por ejemplo, el huerto) (Fuentes, 2003).

2.2.1. SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN.

El sistema de riego por aspersión distribuye el agua en forma de lluvia sobre el terreno, utilizando unos dispositivos de emisión de agua, denominados aspersores, que generan un chorro de agua pulverizada en gotas. El agua sale por los aspersores dotada de presión y llega hasta ellos a través de una red de tuberías, cuya complejidad y longitud depende de la dimensión y la configuración de la parcela a regar. Por lo tanto una de las características fundamentales de este sistema es que es preciso dotar al agua de presión a la entrada en la parcela de riego por medio de un sistema de bombeo. La disposición de los aspersores se realiza de forma que se moje toda la superficie del suelo, de la forma más homogénea posible. (García, 1998).

Para Rodas (2000), el riego por microaspersión es homólogo a la aspersión en la cual la microaspersión se diferencia de las variadas formas de aspersión convencional debido a que el caudal y la presión de cada aspersor es bajo.

El riego por microaspersión es un sistema de riego presurizado que nació en el país de la cuna del riego por goteo, Israel. Este sistema de riego, en la última década ha tenido gran aplicación en el riego de árboles frutales e invernaderos. Se le puede

considerar como el resultado o híbrido de cruzar el sistema de riego por goteo con el sistema de riego por aspersión. Este sistema nace a causa de los problemas que presenta el riego por goteo en terrenos con textura arenosa, ya que en este tipo de suelos no se forma bien el bulbo de mojado característico de éste sistema de riego (Granados, 1990).

El mismo autor menciona que los sistemas de riego por microaspersión suministran el agua a los cultivos en forma de lluvia artificial. La aspersión se aplica generalmente en cada árbol. Los difusores de los micros aspersores tienen varias formas de asperjar el agua, como la lluvia en círculos o sectores de círculos, la nebulización y los chorros.

Los microaspersores deben seleccionarse con gastos adecuados para evitar encharcamientos y escurrimientos de agua. Deben de utilizarse láminas precipitadas horarias que no excedan la velocidad de infiltración de agua en el suelo. El micro aspersor y/o micro jet riega un espacio más amplio y más uniforme dentro de la zona radicular de los árboles frutales (Tovar, 1993).

2.2.2. TÉCNICAS DE RIEGO POR MICROASPERSIÓN.

Según Rodrigo *et al* (1997), 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 micro difusores los cuales están constituidos por toberas fijas y micro aspersores a los constituidos por deflectores móviles. En ambos casos suelen trabajar a presiones entre 1 y 2 kg/cm² y suministran caudales de hasta 200 L/h.

2.3. NECESIDADES HÍDRICAS DE LOS CULTIVOS.

Según Ortega-Farías *et al* (2001), la demanda hídrica de los cultivos está determinada por los procesos de evaporación desde el suelo y transpiración a través de la superficie foliar, que en su conjunto reciben el nombre de evapotranspiración real o de cultivo (ETc). Existen numerosos métodos para determinar la ETc en función de la evapotranspiración de referencia (ETo), siendo el método de la evaporación de la bandeja el más usado por su bajo costo y fácil manejo

2.4. DISEÑO AGRONÓMICO Fuentes (2003).

En el diseño agronómico de un sistema de riego se debe de considerar el suelo, la planta y el clima. Consiste en determinar o definir la lámina de riego que se debe aplicar o bien 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.

Para Bonneau (2001), el diseño agronómico tiene por fundamento garantizar que la instalación sea capaz de suministrar la cantidad suficiente de agua, con un control efectivo de las sales y una buena eficiencia en la aplicación del agua.

Jiménez (S/F), dice que el diseño agronómico es parte del proyecto en cuanto a que decide una serie de elementos de la instalación tales como número de emisores, disposición de los mismos, etc. Además proporciona unos datos básicos para el posterior diseño hidráulico, como caudal por emisor y planta, duración del riego, etc.

2.4.1 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 (%). (Chambouleyron, J. *et al*, 1993).

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:

$$CU = \left(1 - \frac{\sum |C_i - M|}{Mn}\right) \cdot 100$$

[02.1]

Siendo:

C_i : cantidad recogida por cada pluviómetro o punto de control.

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

N : número total de pluviómetros o puntos de control.

Keller, J *et al* (1981), define el coeficiente de uniformidad del sistema (CU_s) como:

$$CU_s = Cu^{1/2} \left[\left(1 + (Pn/Pa)^{0.5}\right) \right]$$

[02.2]

Siendo Pn y Pa igual que en la UD_s .

La relación con la UD suele ser del tipo:

$$CU = 1 - 0.63(1 - UD)$$

[02.3]

Tradicionalmente se ha considerado que cada sistema de riego está caracterizado por unos determinados valores de uniformidad y eficiencia. Sin embargo, Keller *et al*, (1981) indicaron que la uniformidad depende de mucho más del manejo de los sistemas de riego que del tipo de sistema utilizado.

2.4.2. COEFICIENTE DE VARIACIÓN CV.

Un estadístico universal para la uniformidad es la varianza de la población s^2 o, de forma equivalente, el coeficiente de variación $CV = \sigma/M$ (desviación típica dividida por la media). (Shani, Sapir, 2000).

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (C_i - M)^2}{n-1}}$$
[02.4]

o

$$M = \frac{\sum_{i=1}^n C_i}{n}$$
[02.5]

La relación con los otros parámetros de uniformidad suele ser aproximadamente:

$$CU = 1 - 0.8 CV, \text{ para valores de } CV < 0.5.$$

$$UD = 1 - 1.3 CV, \text{ para valores de } CV < 0.25.$$

Del cual obtenemos el coeficiente de uniformidad estadístico CUE.

$$CUE = 100(1 - CV)$$
[02.6]

En muchos trabajos reportados en la literatura se analizan procedimientos, donde a partir de una evaluación de las instalaciones de riego, calculando los distintos coeficientes de uniformidad, se toman en cuenta los resultados de la misma para en caso de no ser satisfactorios establecer un diagnóstico de las causas y poder actuar y mejorar dichos parámetros. (Rodrigo y Pérez, 1994).

2.4.3. EFICIENCIA DE APLICACIÓN.

Según Zúñiga (2004), es la aplicación del agua al área cultivada dependiendo del método de riego, la eficiencia de aplicación, en este sistema puede presentar pequeñas o grandes pérdidas por percolación profunda, escorrentía e incluso por evaporación.

Se define como la relación expresada en porcentaje entre volumen de agua aplicada por el riego que es útil a la planta o el volumen de agua almacenada en la zona de raíces entre el volumen total aplicado.

$$Ea = Lr/Lt$$

[02.7]

Dónde:

Lr es la lámina de agua recibida por el sistema radical (el suelo)

Lt es la cantidad total de agua aplicada en el suelo

2.4.3. EFICIENCIA DE RIEGO.

En consecuencia la eficiencia de riego pretende minimizar las pérdidas por conducción a través de las tuberías, y aplicación al cultivo. La combinación de estas eficiencias produce lo que se llama eficiencia de riego (Jiménez, 2003).

2.4.5. TIEMPO DE RIEGO.

Es el tiempo de riego durante el cual se debe regar un cultivo, o sea la cantidad de agua que requiere un cultivar en determinado momento de su ciclo, es muy variable y depende sobre todo de la edad de las plantas. En estos aspectos también es muy importante apreciar correctamente el grado de humedad que todavía contiene el suelo (Espinosa, 2001).

2.4.6. PERIODO DE RIEGO.

Se entiende por periodo de riego al tiempo empleado en dar un riego a toda el área de influencia.

2.4.7. FRECUENCIA DE RIEGO

La frecuencia de riego permite estimar el número de días transcurridos entre dos riegos consecutivos. Se puede estimar de la siguiente forma (Fuentes, J. 2003).

$$FR = \frac{Ln}{ET_{real}}$$

[02.8]

Dónde:

FR = frecuencia de riego (días).

Ln = lámina neta (mm).

ET_{real} = evapotranspiración real o de cultivo (mm/día).

En los métodos de riego gravitacionales, el suelo se utiliza como un estanque que almacena el agua que se aplica en cada riego. La capacidad de este estanque determina cuántos días pueden transcurrir entre un riego y otro.

En riegos de alta frecuencia, como es el caso de los métodos por goteo y micro aspersión, el suelo no necesariamente actúa como un reservorio de agua, ya que ésta es aplicada frecuentemente para mantener un alto contenido de humedad en el suelo, cercana a capacidad de campo. En consecuencia, y en general, el riego por goteo tiene una frecuencia diaria.

2.4.8. RADIO DE ALCANCE DE UN ASPERSOR.

El radio de alcance (R) es la distancia que recorre el chorro principal del aspersor, medida desde la base de éste, con el equipo detenido (sin girar) en condiciones de cero viento.

Este parámetro es de gran importancia pues va a determinar el espaciamiento a utilizar en el campo entre aspersores y laterales.

Su valor teórico se puede obtener a partir de la formula siguiente:

$$R = 2 \text{sen } 2. \alpha \frac{(V^2)}{2g}$$

[02.9]

2.5. CALCULO DE PERDIDAS DE CAUDAL.

Para Moyatales (2009), cuando una tubería va disminuyendo el caudal, las pérdidas de carga, también disminuyen, ya que al pasar menos agua, la velocidad también es menor y, por lo tanto también es menor el rozamiento.

$$Q = S \cdot v$$

[02.10]

Cada vez que varía el caudal, se tendrá que hacer un cálculo diferente para ese tramo, lo que representa muchas operaciones a lo largo de la tubería porta emisores, con el engorro del trabajo.

2.5.1 PERDIDAS DE CARGA.

Según Martínez (1993), las tuberías pueden estar construidas por varios materiales. Poseen un diámetro que es aquel que define una sección o área para que circule el agua. Según sea el diámetro será la sección que dispone el agua para recorrer la tubería. Una tubería de diámetro menor tendrá también una menor sección que una de mayor diámetro. La relación que se utiliza para calcular el área disponible para que circule el agua por la cañería es la siguiente:

$$A = \pi \frac{D^2}{4}$$

[02.11]

Dónde:

A = Área (m²)

D = Diámetro interno (m)

A su vez la velocidad está en función del caudal y del diámetro. La ecuación que se utiliza para calcular el caudal que circula por una cañería es:

$$Q = A * V$$

[02.12]

O sea la velocidad está dada por:

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{4Q}{\pi D^2}$$

[02.13]

Dónde:

Q = Caudal (m³/s)

V = Velocidad (m/s)

A = Sección o área calculada por la ecuación N°1

2.5.2. PÉRDIDAS DE CARGA MENORES.

Las pérdidas de energía o cargas menores se producen cuando la tubería induce el agua a cambiar de dirección. Estas se pueden producir por codos, reducciones de diámetro, válvulas o llaves, o cualquier obstrucción que encuentre el agua que le impida seguir circulando en línea recta (Guadamud, 2011).

La ecuación para calcular estas pérdidas está dada por:

$$H_s = \sum \left(\frac{K * V^2}{2 * g} \right)$$

[02.14]

Dónde:

Hs = Pérdidas singulares o menores (m).

V = Velocidad de circulación del agua (m/s).

g = Aceleración de gravedad (9.8 m/s²).

K = Constante a dimensional de coeficiente de resistencia que depende de los accesorios que se contemplan en el diseño.

2.6. EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN.

Según Tarjuelo (1992), la evaluación del sistema consiste en una prueba en condiciones reales de campo que mide la calidad del riego sobre la base del control de los parámetros implicados en la aplicación del agua, viene definida fundamentalmente a través de medidas de uniformidad, que dan idea de la igualdad con que el agua de riego se reparte en los distintos puntos de la parcela y medidas de eficiencia, que dan idea de la extensión de la parcela en que el riego se ha aplicado correctamente. Esta evaluación es la base para la identificación de los problemas que presenta la instalación y de las modificaciones a realizar para mejorar el manejo del sistema y su uniformidad de reparto de agua. A veces las mejoras a introducir pueden ser sencillas, así el funcionamiento de un riego por microaspersión puede mejorarse variando: la presión de trabajo, el tamaño y número de boquillas, la duración de la postura de riego, etc., o simplemente cambiando el material desgastado.

La evaluación de un sistema de riego comprende el estudio de la uniformidad de distribución y la eficiencia de aplicación así como el análisis de todos los elementos del sistema de riego (Alabanda, 2001).

Para Delgadillo, O (2010), la evaluación requiere de algunos pasos:

- Comprobar al estado de los diferentes componentes de la instalación y si el mantenimiento es adecuado.
- Determinar los caudales reales aplicados por los aspersores a la presión de trabajo y la lámina de agua aplicada al campo por unidad de tiempo.
- Determinar la uniformidad de distribución y la eficiencia de aplicación del agua de riego.
- Detectar y analizar los problemas de funcionamiento de la instalación y plantear las soluciones más sencillas y económicas.

2.7. MATERIALES PARA REALIZAR LA EVALUACIÓN

Para realizar la evolución de un sistema de riego, se requieren los siguientes materiales (Tarjuelo, 2000).

- Cintas métricas.
- Cantidad necesaria de pluviómetros.
- Dos mangueras flexibles de 2,5 m de longitud y diámetro según las boquillas.

- Manómetro con un tubo de Pitot acoplado.
- Cronómetro con una precisión o reloj adecuado.
- Bidón de plástico graduado en 10, 15 o 20 litros
- Probetas graduadas en ml (cm³).
- Calibrador de lámina u otro instrumento que permita medir las boquillas del aspersor.
- Anemómetro

2.8. PROCEDIMIENTO PARA LA REALIZACIÓN DE LA EVALUACIÓN

La evaluación de un sistema de riego por aspersión es un proceso por el que se puede saber si la instalación y el manejo que se hace de ella reúnen las condiciones necesarias para aplicar los riesgos adecuadamente, esto es, cubriendo las necesidades del cultivo para la obtención de máximas producciones y al mismo tiempo minimizando las pérdidas de agua (Tarjuelo, 2000).

Las evaluaciones se realizarán en las condiciones normales de funcionamiento, de forma que lo observado coincida con la situación usual durante la aplicación de los riegos.

2.8.1. EVALUACIÓN DE LOS COMPONENTES DE LA INSTALACIÓN

- Se realizara una inspección de los componentes del sistema, desde tuberías, juntas, elementos de control, piezas especiales, etc.
- En primer lugar se comprobara si las aspersiones son idénticas en marca, modelo, tipo y diámetro de boquillas y altura, principalmente en las conexiones a la toma o bocas de riego.
- También deberá la existencia o no de elementos de medida y control de agua, la cantidad que existe de cada uno, su ubicación y su estado general: manómetros o toma manométrica, reguladores de presión, contadores, etc.

2.8.2. EVALUACIÓN DE LA UNIFORMIDAD DEL RIEGO

- Una baja uniformidad en un sistema de riego implica la existencia de zonas del suelo con exceso de agua y otras con escasez, o bien la necesidad de aplicar agua en exceso para que las zonas que reciben menos cantidad estén suficientemente abastecidas. En cualquier caso, con una baja uniformidad será difícil obtener producciones satisfactorias (Arviza, 1996).
- Para evaluar la uniformidad de un sistema de riego por microaspersión el primer paso será elegir la zona a evaluar. Esta deberá ser representativa del sistema en cuanto a características de los aspersores, marco de riego, numero de boquillas y diámetro. También deberá tener una presión cercana a la media (lo que ocurre a un tercio del inicio de los ramales de aspersión, si no existe pendiente o es reducida) o a la mínima (lo que se produce al final de los ramales si la pendiente es nula o ascendente). De ser posible, se evaluaran ambas zonas.

2.8.3. UNIFORMIDAD DE LA ZONA EVALUADA (Ortega, S *et al*, 2001)

- Antes de comenzar el riego, se colocara una red de vasos pluviométricos formando una malla de 3 x 3 metros, que recogerán agua de 3 aspersores.
- Los vasos se instalaran sobre el suelo cuando el cultivo no altere la lluvia de los aspersores, y justo sobre el cultivo en caso contrario.
- Se comenzara a regar y los vasos recogerán la lluvia de los microaspersores. Cuanto mayor sea el tiempo durante el cual los vasos recojan agua, más fiables serán los resultados; dicho tiempo será como mínimo de 90 minutos.
- Cuando finalice la evaluación, se dejara de regar y se medirá el volumen recogido en cada vaso con ayuda de una probeta graduada en unidades de 2 cm³.
- Con los volúmenes es recogidos se calculara:
- Primero. La media de todos los volúmenes medidos en cada uno de los vasos (V_m).
- Segundo. La media de los volúmenes medidos en la cuarta parte de los vasos que han recogido menos agua ($V_{25\%}$).
- Tercero. La Uniformidad de Distribución de la zona evaluada (UD zona) se obtendrá utilizando la siguiente formula:

$$UD (zona) = 100 * \frac{V_{25\%}}{V_m}$$

[02.15]

2.8.4. UNIFORMIDAD DE LA INSTALACIÓN

El caudal de cada emisor cambiara con la presión. La diferencia de presiones en toda la unidad de riego será mayor que la existente entre los microaspersores de los que se ha recogido el agua. Por esto, la uniformidad en el conjunto de la unidad de riego (UD) será por regla general menor que la medida en la zona evaluada (UD zona).

Para estimar UD se medirá la presión en unos cuantos aspersores distribuidos por ella en zonas con diferentes presiones. Como mínimo se medirán las presiones en los aspersores que mojan la zona evaluada y en el primer y último aspersor de los ramales en los que se encuentran situados (Bralts *et al*, 1997).

Con los valores de presión medidos se podrá determinar:

- Primero. La presión mínima de las que se han medido en los aspersores (P_{min}). En kg/cm^2 .
- Segundo. La media de las presiones medidas en todos ellos (P_m) en kg/cm^2 .
- Tercero. Una vez conocidos los valores de P_{min} y P_m se calcula la UD mediante la siguientes formula:

$$UD = UD(zona) * \frac{1+3\sqrt{\frac{P_{min}}{P_m}}}{4}$$

[02.16]

Si se mide la presión en un número suficiente de aspersores, por ejemplo en 10, la presión media será la media de las presiones que se han medido. En ramales sin

pendiente, midiendo tan solo la presión en el primer (presión máxima, P_{max}) y en el último aspersor (presión mínima, P_{min}) se puede estimar la presión media como:

$$P_m = \frac{2*P_{min}+P_{max}}{3}$$

[02.17]

Hasta aquí, la uniformidad calculada corresponde a la unidad de riego. Aun se puede mejorar la estimación de la uniformidad de aplicación del agua en el conjunto de la instalación.

Para ello se medirán las presiones en un conjunto de aspersores de cada unidad de riego, aunque sea preciso hacerlo en momentos de días diferentes, cuando este regando cada una de las unidades.

Con los valores de presión medidos se podrá determinar:

- Primero. La presión mínima de las que se han medido en todos los aspersores (P'_{min}) en kg / cm^2 .
- Segundo. La medida de las presiones medidas en todos ellos (P'_m) en kg/ cm^2
- Tercero. Una vez conocidos los valores de P'_{min} y P'_m se calcula la UD (instalación) mediante la siguiente formula:

$$UD = (instalacion) * \frac{1+3*\sqrt{\frac{P_{min}}{P_m}}}{4}$$

[02.18]

De esta forma se obtendrá una excelente estimación de la Uniformidad de Distribución de la instalación, que, en ningún caso, deberá ser inferior al 75%.

Dependiendo del valor de UD (instalación) obtenido, la calificación de la instalación será la siguiente:

Valor de la uniformidad de distribución	Calificación
Mayor de 85 %	Excelente
De 80 a 85 %	Buena
De 75 a 80 %	Aceptable
Menor de 75 %	Inaceptable

La uniformidad también depende del viento y de las condiciones atmosféricas, por lo que se tomarán datos de viento y temperatura, fijar las condiciones en las que se realiza la evaluación.

2.8.5. EVALUACIÓN DE LAS PÉRDIDAS POR EVAPORACIÓN Y ARRASTRE DEL VIENTO

En riego por aspersión existen dos factores que afectan negativamente a la aplicación de agua sobre el suelo: la evaporación de las gotas de agua que producen los aspersores y el arrastre de dichas gotas por efecto del viento. En las pérdidas por evaporación y arrastre del viento tiene gran importancia el tamaño de las gotas de agua que dan los aspersores y serán mayores cuanto más pequeñas sean las gotas y mayor sea el viento y la temperatura (Tarjuelo, 2005).

Las pérdidas por evaporación y arrastre del viento (P_e) se calculan como la diferencia entre la lámina de agua aplicada por los aspersores (L_a) y la lámina de agua recogida en los pluviométricos (L_p):

$$P_e = 100 * \frac{L_a - L_p}{L_a}$$

Para calcular la lámina de agua aplicada por los aspersores (L_a) se medirá el caudal de cada aspersor que moja la zona evaluada con ayuda de una manguera, un cronometro y un bidón de plástico en el que se marca un volumen conocido (de 10 a 20 litros). Con estas medidas se seguirán los siguientes pasos:

- Primero. El caudal de cada aspersor, en litros por horas, se calculara mediante la fórmula:

$$\text{caudal del aspersor (litros/hora)} = \frac{\text{volumen recogido en bidon (litro)} \cdot 3600}{\text{tiempo de llenado (segundo)}} \quad [02.20]$$

- segundo. L_a se obtendrá con la siguiente formula

$$L_a(\text{mm}) = \frac{Q_a(\text{litros/hora})}{\text{superficie zona evaluada (m}^2\text{)} \cdot 60} * \text{tiempo evaluada (min)} \quad [02.21]$$

La lámina de agua recogida por los pluviométricos L_p se calculara siguiendo los siguientes pasos.

- Primero. Se calcula el área de la embocadura de los vasos (cm^2) tal y como aparecen en la formula siguiente.

$$\text{area (cm}^2\text{)} = 0.785 * (\text{diametro})^2 \quad [02.22]$$

- Segundo. La lámina de agua recogida en los vaso se calculara como:

$$L_p(\text{mm}) = \frac{\text{volumen medio recogido (cm}^3\text{)}}{\text{area de la embocadura de los vasos (cm}^2\text{)}} * 10 \quad [02.23]$$

2.8.6. EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE GROSOR DE LA GOTA

El grosor de las gotas se evalúa con el Índice de grosor (IG). Para calcular IG se medirá la presión (P) en kg/cm² en cada uno de los aspersores seleccionados para la evaluación y el diámetro (d) de las boquillas en mm (Espinosa, F 2001).

$$IG = 12.85 * \frac{P^{1.3}}{d}$$

[02.24]

Es recomendable que el índice de grosor este entre 7 y 17. Valores menores que 7 indican gotas demasiado gruesas, y valores mayores que 17 indican gotas demasiado finas. La distribución del agua puede verse afectada negativamente con tamaño de gota extremos. Solo se justifican valores de IG menores de 7 en condiciones de vientos fuertes (más de 4,5 m/ s o 16 km/h)

2.9. RIEGO EN CACAO

Según Amores (2002), el promedio de lluvias en la zona de Calceta es de 970 mm concentrados en los primeros cuatro o cinco meses del año. Sin embargo, la desviación estándar de ese promedio es amplia, es decir hay años que reciben poca lluvia y otros en que dicho valor excede el promedio, igual a lo que ocurre en otras zonas cacaoteras con promedios diferentes de precipitación.

Parte de un ambiente ideal para el cacao es la disponibilidad de 1.500 mm de lluvia anual, bien distribuida para maximizar su desarrollo vegetativo y potencial productivo, pero este ideal no existe en el país. El suelo en la zona de Calceta presenta un alto contenido de arcilla y durante el periodo sin lluvias, las plantas son sometidas a un ambiente muy inclemente por falta de agua. Si el problema no se soluciona con la aplicación de riegos oportunos, se corre el riesgo de que algunas plantas no

sobrevivan este periodo, produciéndose en casos extremos la pérdida de un porcentaje importante de la población.

2.9.1. RECOMENDACIONES PARA EL USO DE RIEGO EN CACAO (INIAP, 2008)

- **Para plantas en crecimiento**

Generalmente los pequeños y medianos productores previamente construyen surco a un costado de las hileras de las plantas y en este caso hacen riego por inundación.

Los sistemas de riego por “goteo” o “micro aspersión” garantizan eficiencia del uso del agua y mantiene un nivel de humedad muy uniforme en suelo. 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 de cacao (medianos y pequeños) no lo tienen. Los agricultores desconocen que este sistema de riego a largo plazo son económicamente rentable.

- **Para plantas en producción**

Cuando las plantas de cacao son adultas (comienza a producir mazorca), se les debe proporcionar riego complementario cada treinta días durante la época seca.

En esta etapa los productores que suministran riego a sus huertas lo hacen inundado alrededor de cada planta en una corona que proyecta la copa de los árboles de cacao. En general la fuente de agua son pozos profundos construidos en la plantación y se utilizaba bombas y tubo de plástico de dos o tres pulgadas de PVC.

Los sistemas de riego “Por Goteo”, “Micro aspersión” o “Aspersión sub-foliar”, son alternativas tecnológicas que ofrecen ventajas y desventajas.

- **Cantidades que requiere la planta de cacao en época seca**

Los registros de precipitación disponibles para las áreas cacaoteras señalan promedios de 1000 mm/año en el valle del río Carrizal-Chone las cantidades calculadas para el riego suplementario complementan y garantizan una provisión de humedad de acuerdo a los requerimientos básicos del cultivo de cacao.

Cuadro 02.01 Cantidades de agua (mm) a aplicar entre Julio y Noviembre en Huertas de cacao del sistema Carrizal-Chone.

Etapas del cultivo	Cada 15 días	Cada 30 días	Cantidad total
Trasplante definitivo al campo	50	---	500
Plantas en producción	---	100	500

2.10. REQUERIMIENTOS EDAFO CLIMÁTICOS DEL CULTIVO DE CACAO

El crecimiento, desarrollo y la buena producción del cacao están estrechamente relacionados con las condiciones medioambientales de la zona donde se cultiva. Es por ello que los factores climáticos influyen en la producción de una plantación; por lo tanto, las condiciones térmicas y de humedad deben ser satisfactorias para el cultivo por ser una planta perenne y que su periodo vegetativo como: la época de floración, brotamiento y cosecha está regulado por el clima, cuya relación del transcurso climático y el periodo vegetativo nos permite establecer los calendarios agroclimáticos (Benito, 2004).

Entre los factores que tienen mayor importancia en el cultivo destacan los siguientes:

a. Precipitación

El cacao es una planta que necesita un adecuado suministro de agua para efectuar sus procesos metabólicos. En términos generales, la lluvia es el factor climático que más variaciones presenta durante el año. Su distribución varía notablemente de una a otra región y es el factor que determina las diferencias en el manejo del cultivo. La precipitación óptima para el cacao es de 1,600 a 2,500 mm. Distribuidos durante todo el año. Precipitaciones que excedan los 2,600 mm. Pueden afectar la producción del cultivo de cacao (Infoagro, 2007).

b. Temperatura

El cacao no soporta temperaturas bajo cero, aunque ocurran por bajo tiempo. Según la calidad en que cultivo el cacao puede crecer y producir económicamente en lugares donde la temperatura no baja de 15° a 15.1°C. Las temperaturas extremas muy altas pueden afectar momentáneamente algunas de la funciones de algunas de las plantas del árbol. En todo caso, no hay límite caliente si se tiene en cuenta que es un cultivo que debe estar a la sombra; por lo tanto, las temperaturas resultantes el contacto directo de los rayos solares a las hojas de la sombra, disminuyen considerablemente en el estrato del cacao (Odum, 1984).

En muchos lugares óptimos donde se produce cacao, la temperatura media fluctúa entre 25 y 26°C, pero se pueden encontrar plantaciones comerciales con buenos rendimientos en lugares cuyo promedio es de 23°C. Los 21°C se consideran como el límite medio anual de temperatura, ya que es difícil cultivar cacao satisfactoriamente con una media más baja (Enríquez, 2004).

c. Viento

Es el factor que determina la velocidad de evapotranspiración del agua en la superficie del suelo y de la planta.

En las plantaciones expuestas continuamente a vientos fuertes se produce la defoliación o caída prematura de hojas.

En plantaciones donde la velocidad del viento es del orden de 4 m/seg., y con muy poca sombra, es frecuente observar defoliaciones fuertes. Comparativamente, en regiones con velocidades de viento del 1 a 2 m/seg. No se observa dicho problema (Infoagro, 2007)

d. Altitud

El cacao crece mejor en las zonas tropicales cultivándose desde el nivel del mar hasta los 800 metros de altitud. Sin embargo, en latitudes cercanas al Ecuador las plantaciones desarrollan normalmente en mayores altitudes que van del orden de los 1,000 a 1,400 msnm (Paredes, 2004).

El autor también asegura que la altitud no es un factor determinante como lo son los factores climáticos y edafológicos en una plantación de cacao. Observándose valores normales de fertilidad, temperatura, humedad, precipitación, viento y energía solar, la altitud constituye un factor secundario.

e. Luminosidad

Cuando el cacao joven alcanza un vigor óptimo precisa una iluminación que se encuentre entre el 25 y 50%. Cuando los árboles se desarrollan y son capaces de sombrear sus propias ramas, la iluminación se puede mantener en torno al 70%. El rendimiento máximo del cacao adulto se obtiene con una exposición total a la luz (González, 2004).

III. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1 UBICACIÓN:

El presente trabajo de investigación se realizó en la época seca del año 2011 en el Jardín Clonal de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí, Manuel Félix López ubicada en el sitio “El Limón” del cantón Bolívar, provincia de Manabí, situada geográficamente entre las coordenadas 0° 49’ 23” latitud sur, 80° 11’ 01” longitud oeste y una altitud de 15m.s.n.m.^{1/}.

3.2. CARACTERÍSTICAS AGROCLIMÁTICAS. ^{1/}

Clima

Temperatura media anual:	25,6 °c
Humedad relativa:	78%
Heliofanía anual:	1392,3 (horas sol)
Precipitación:	838.7mm

Suelo

Topografía:	plano
pH:	6.5 a 7.5
Drenaje:	bueno
Textura del suelo:	franco limoso

1/ Estación meteorológica Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí “MFL” Calceta. Ecuador promedio anual (2010).

3.3 METODOLOGIA.

Para la evaluación del sistema de riego se realizó el siguiente procedimiento:

3.3.1 EVALUACIÓN DE LOS COMPONENTES DE LA INSTALACIÓN

Se realizó una inspección de los componentes del sistema, desde tuberías, juntas, elementos de control, piezas especiales, etc.

En primer lugar se comprobó si los microaspersores son idénticos en marca, modelo, tipo y diámetro de boquillas y altura, principalmente en las conexiones a la toma o bocas de riego.

3.3.2. COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE CHRISTIANSEN (CU).

Para evaluar el grado de uniformidad en la aplicación del agua al suelo se colocaron vasos pluviométricos alrededor de tres microaspersores a una distancia de 3m., con un total de 81 pluviómetros por observación, y se determinó el coeficiente de uniformidad mediante la siguiente formula. (Anexo 1)

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

[03.01]

CUC: Entre 70 y 84% se considera aceptable.

CUC: Mayor a 84% se considera bueno.

3.3.3. EVALUACIÓN DE LA UNIFORMIDAD DEL RIEGO

Se procedió a elegir, cuadrar y medir el terreno. Al inicio del riego, se colocó una red de vasos pluviométricos en el suelo formando una malla de 3 x 3 metros, que recogerán agua en forma de lluvia en 3 aspersores, durante 3 horas, posteriormente se midió el volumen recogido en cada vaso con ayuda de una probeta graduada en unidades de cm^3 .

Una vez obtenidos los volúmenes se procedió a realizar el cálculo de la uniformidad de la zona con la siguiente fórmula: (Anexo1)

$$UD (\text{zona}) = 100 * \frac{V_{25\%}}{V_m} \quad [03.02]$$

3.3.4. UNIFORMIDAD DE LA INSTALACIÓN

Para medir la uniformidad de la instalación se tomaron en cuenta los mismos microaspersores que fueron evaluados en la uniformidad de riego. Con los valores de presión obtenidos se pudo realizar el siguiente cálculo:

$$UD = UD * \frac{1+3*\sqrt{\frac{P_{min}}{P_m}}}{4} \quad [03.03]$$

Para la presión media se tomó la presión mínima y la presión máxima de todas las presiones tomada.

$$P_m = \frac{2*P_{min}+P_{max}}{3} \quad [03.04]$$

Con los valores de presión medidos se pudo determinar:

- Primero. La presión mínima de las que se han medido en todos los aspersores (P'_{min}) en kg / cm².
- Segundo. La medida de las presiones medidas en todos ellos (P'_m) en kg/cm².
- Tercero. Una vez conocidos los valores de P'_{min} y P'_m se calculó la UD (instalación) mediante la siguiente formula:

$$UD = (instalacion) * \frac{1+3*\sqrt{\frac{P_{min}}{P_m}}}{4}$$

[03.05]

De esta forma se obtendrá una excelente estimación de la Uniformidad de Distribución de la instalación, que, en ningún caso, deberá ser inferior al 75%. (Anexo 2)

3.3.5. EVALUACIÓN DE LAS PÉRDIDAS POR EVAPORACIÓN Y ARRASTRE DEL VIENTO

Las pérdidas por evaporación y arrastre del viento (P_e) se calculó con la diferencia entre la lámina de agua aplicada por los microaspersores (L_a) y la lámina de agua recogida en los pluviométricos (L_p):

$$Pe = 100 * \frac{L_a - L_p}{L_a}$$

[03.06]

Para calcular la lámina de agua aplicada por los emisores (L_a) se midió el caudal de cada microaspersor que moja la zona evaluada con ayuda de una manguera, un

cronometro y una pipeta graduada en el que se marca un volumen conocido (1litro).
Mediante los volúmenes se pudo calcular:

$$\text{caudal del aspersor (litros/hora)} = \frac{\text{volumen recogido en bidon (litro)} \cdot 3600}{\text{tiempo de llenado (segundo)}} \quad [03.07]$$

Una vez que se realizó el cálculo del caudal de los microaspersores se procedió a calcular la lámina de agua aplicada, seguido de la siguiente formula:

$$L_a(\text{mm}) = \frac{Q_a(\text{litros/hora})}{\text{superficie zona evaluada (m}^2\text{)} \cdot 60} * \text{tiempo evaluada (min)} \quad [03.08]$$

Para calcular la lámina de agua recogida por los pluviométricos L_p . Primero se calculó el área de la embocadura de los vasos (cm^2) y después con la formula general se obtuvo la lámina de agua recogida:

$$\text{area (cm}^2\text{)} = 0.785 * (\text{diametro})^2 \quad [03.09]$$

$$L_p(\text{mm}) = \frac{\text{volumen medio recogido (cm}^3\text{)}}{\text{area de la embocadura de los vasos (cm}^2\text{)}} * 10 \quad [03.10]$$

Los cálculos y resultados pueden ser observados en el Anexo 3

3.3.6. EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE GROSOR DE LA GOTA

Para calcular IG (Anexo 4) se midió la presión (P) en kg/cm^2 en cada uno de los microaspersores seleccionados para la evaluación y el diámetro (d) de las boquillas en mm:

$$IG = 12.85 * \frac{P^{1.3}}{d}$$

[03.11]

3.4. DISEÑO AGRONÓMICO.

3.4.1. EVAPOTRANSPIRACIÓN ET_0

Se la realizo por medio del método de la cubeta volumétrica clase A con la siguiente ecuación.

$$Et_0 = K_p * E_d$$

[03.12]

$$E_d = \frac{E_m}{N^{\circ} \text{ dias del mes}}$$

[03.13]

Dónde:

ET_0 : evapotranspiración diaria

K_p : coeficiente de la cubeta.

E_d : evaporación diaria.

E_m : evaporación mensual.

N° días: números de días del mes.

3.4.2. NECESIDAD HÍDRICA DIARIA DEL CULTIVO.

$$N_{\text{diaria}} = Et_0 * K_c$$

[03.14]

N_{diaria} : necesidad diaria.

Kc : es el casett del cultivo.

3.4.3. NECESIDAD MENSUAL DEL CULTIVO.

$$N_m = N_{diaria} * N_{dias\ del\ mes}^o$$

[03.15]

N_m : necesidad mensual del cultivo.

3.4.4. RESERVA DE AGUA DISPONIBLE.

$$R_{ad} = A_d * P_r$$

$$A_{disponible} = Cc - Pm$$

[03.16]

R_{ad} : reserva de agua disponible.

A_d : agua disponible.

Cc : capacidad de campo.

Pm : punto de marchitez.

3.4.5. RESERVA DE AGUA FÁCILMENTE DISPONIBLE.

$$R_{afd} = R_{ad} * f_a$$

[03.17]

R_{afd} : reserva de agua fácilmente disponible.

Fa : fracción de agotamiento.

3.4.6. PRECIPITACIÓN EFECTIVA MENSUAL.

Los meses con precipitación (P) superior a 75mm la precipitación efectiva (Pe) se calculó así.

$$P_e = 0.8 * P - 25 \quad [03.18]$$

Los meses con precipitación (P) inferior a 75mm la precipitación efectiva (Pe) se calculó así.

$$P_e = 0.6 * P - 10 \quad [03.19]$$

Pe: precipitación efectiva.

P: precipitación mensual.

3.4.7. INTERVALO DE RIEGO.

$$I_n = \frac{R_{afd}}{N_d} \quad [03.20]$$

Para determinar los meses que no necesitan riego se utilizó esta fórmula:

$$X = N_m - P_{e>75} \quad [03.21]$$

X: meses con precipitaciones mayores a 75 mm.

Pe>75: precipitación efectiva >75.

Los meses con resultado negativos no se tomaron para el cálculo de los intervalos de riego debido a que la precipitación es mayor que la necesidad del cultivo. En este caso Diciembre y Abril.

3.4.8. DOSIS NETA.

La dosis neta es la relación de la necesidad diaria con el intervalo de riego, se la calculo mediante esta fórmula:

$$D_{nm} = N_{diaria} * I_n \quad [03.22]$$

3.4.9. DOSIS NETA AJUSTADA.

$$D_{na} = \frac{D_n}{ef_{85\%}} \quad [03.23]$$

Dna: dosis neta ajustada.

Ef: eficiencia (85%).

3.4.10. TIEMPO DE RIEGO DIARIO.

El tiempo de riego se lo calculo con la siguiente ecuación.

$$Tr = \frac{D_{na} * 60min}{Q_{plantas\ regadas.}} \quad [03.24]$$

Primero se calculó la superficie regada (S):

$$S = A^2$$

$$R_{pa} = \frac{S}{\text{distancia entre plantas}}$$

[03.25]

R_{pa} : plantas que riega un aspersor.

Así mismo se determinó el caudal por plantas. Con la especificación técnica de caudal del aspersor.

$$Q_{\text{plantas}} = \frac{Q_a}{n^{\circ}\text{plantas regadas}}$$

[03.26]

3.4.11. CAUDAL NECESARIO MENSUAL.

El caudal necesario para el mes es el siguiente:

$$Q_m = 10 * \frac{S * D_{na}}{I_n * T_r}$$

[03.27]

Q_m : caudal mensual.

Los resultados de estos cálculos pueden ser observados en el Anexo 5

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El presente trabajo de investigación se realizó en el Jardín Clonal de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí, Manuel Félix, en el cual se encuentra instalado un sistema de riego por micro aspersión dividido en dos módulos, cada uno con su respectivo filtro, un manómetro de glicerina para regular la presión de entrada, seis válvulas bola para control de entrada y salida. La tubería primaria es de 30 m de longitud, con diámetro de 63 mm, los laterales están ubicados cada 6 m con una longitud ficticia de 60 m y un diámetro de 16 mm. Los micro aspersores tienen una ubicación de 3 m, la red consta de 207 micro aspersores fijos AMANCO negro, diámetro de boquillas 0.90 mm, trabaja con una presión de 25 psi y caudal de 40 l/h.

En el diagnóstico de campo se encontró en mal estado el sistema de riego, las mangueras dañadas los micros aspersores quebrados y ramas dificultando el buen funcionamiento de los emisores. Por esta razón se tuvo que reparar todo el sistema para poder realizar la evaluación. En algunas líneas se encontró reguladores de presión de diferentes colores, (Negro y beige), el negro tiene un caudal de 40 l/h y el beige tiene un caudal de 55 l/h

El coeficiente de uniformidad de Christiansen (Cu). Demuestra un valor relativamente alto (99%); este valor estadístico es la variación de la relación a la media geométrica y están influenciados por factores como presión y caudal; mientras que la uniformidad de distribución es el (50%), valor inferior a lo recomendado por Keller y Bliesner que tiene como umbral mínimo el 75% reportado como aceptable, la uniformidad de instalación es el 47.48%, la presión media es de 1.74 kg/cm², la pérdida de evaporación es de 11.50, y el índice de grosor de gota es de 30.01

Cuadro 04.01. Resultado de la evaluación de riego por microaspersión

C.U%	UD (Zona) %	UD (Instalación)%	P_m	P_e	IG
99	50.33	47.48	1.74	11.50	30.01

C.U = coeficiente de uniformidad

UD = (Zona) uniformidad de la zona

UD = (Instalación) uniformidad de instalación

P_m = presión media

P_e = pérdida de evaporación

IG = índice de grosor de gotas

La evapotranspiración Potencial (ET_o) asumen un promedio mensual durante todo el año entre 2,41 y 4.54 mm; de igual forma las necesidades hídricas diarias (N.d) están entre 2,53 y 4,49 mm, y las mensuales (Nm) están comprendidos entre 78,34 y 139,49. Por esta razón, se presenta un intervalo de riego (Tr), con un tiempo promedio entre 0,26 y 0,40 horas / días. Estos datos, son extraídos de los cálculos del diseño agronómico con el requerimiento de agua del cultivo en esta etapa y con los reportados por la estación meteorológica de la ESPAM-MFL.

Cuadro 04.02. Resultados del diseño agronómico para el cultivo de cacao

Meses	Eto mmdia	N.d mmdia	Nm Mmdia	Pe mmdia	In día	Dn mmdia	Dna mmdia	Qm m ³	Tr min
Sep.	4.52	4.04	121.12	-9.1	1	4.04	4.75	110.83	21.38
Oct.	4.23	4.44	137.58	-9.58	1	4.44	5.22	112.43	23.50
Nov.	3.39	3.56	106.65	-7.84	1	3.56	4.19	113.54	18.86
Dic.	2.41	2.53	78.34	189.56					
Ene.	2.83	2.97	92.07	49.88	1	2.97	3.49	112.75	15.71
Feb.	3.59	3.77	105.62	55.16	1	3.77	4.44	113.01	19.98
Mar.	4.54	4.76	147.47	22.64	1	4.76	5.6	112	25.21
Abr.	3.38	3.45	106.47	143.16					
May.	3.92	4.11	127.50	-8.86	1	4.11	4.84	112.93	21.79
Jun.	3.38	3.55	106.56	-2.92	1	3.55	4.18	113.26	18.81
Jul.	3.51	3.68	114.11	-4.42	1	3.68	4.33	113.6	19.49
Ago.	4.28	4.49	139.49	-9.7	1	4.49	5.28	110.88	23.77

Eto = Evotranspiracion diaria del cultivo

Nd = Necesidades diarias del cultivo

Nm = Necesidades mensuales del cultivo

Pe = Precipitación efectiva

In = Intervalo de riego

Dn = Dosis neta

Dna = Dosis neta ajustada

Qm = Caudal necesario

Tr = Tiempo de riego

Guía de uso del sistema de riego

- 1.** Revisar todos los componentes del sistema de riego antes de ponerlo a funcionar para constatar que este en buen estado.
- 2.** Realizar la limpieza de los filtros a través del retro lavado, esto permitirá que los emisores no se taponen.
- 3.** Hacer una adecuada limpieza del terreno ya que esto permitirá que los emisores presten una mayor eficiencia al momento de funcionar y distribuir bien el agua al cultivo.
- 4.** La presión óptima de funcionamiento debe ser de 25 psi y el caudal de 40 l/h.
- 5.** De acuerdo al diseño agronómico el intervalo de riego debe ser diario con un tiempo de riego de 21 minutos.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Los resultados obtenidos demuestran que el sistema de riego y accesorios se encontraban en mal estado, afectando la uniformidad de riego
- Las malezas y el rastrojo que existen dentro de la plantación también afecta la uniformidad del riego, volviéndolo menos eficiente el sistema.
- Una vez realizado los cálculos agronómicos, se determinó qué es necesario regar durante 21 minutos todos los días.
- La evaluación del sistema de riego por microaspersión, es una fuente de conocimientos prácticos y técnicos para los estudiantes de la ESPAM y para la capacitación de personas involucradas con el cultivo de cacao.
- El sistema de riego del jardín clonal carecía de un diseño agronómico e hidráulico, por lo que se calculó para tener como referencia.
- En algunas línea se encuentran reguladores de presión con colores diferentes que inciden en la uniformidad del riego

5.2. RECOMENDACIONES

- Que exista uniformidad en el tipo de microaspersores para un buen funcionamiento del sistema.
- Limpiar los filtros y hacer un retro lavado cada vez, que se pone en funcionamiento el sistema de riego por microaspersión; para evitar el taponamiento de los aspersores y garantizar el correcto funcionamiento.
- Que se realicen adecuadamente las labores de deshierba y la eliminación de materiales de poda y cosecha para contribuir con la uniformidad y eficacia del sistema.
- Realizar estudios de salinidad al agua del sistema de riego y en el suelo para prevenir daños en el equipo y cultivo al no tolerarlo.
- Realizar futuras investigaciones para elaborar un modelo de evaluación de sistemas de riego por microaspersión, pues en la actualidad, solo existen modelos para aspersión y goteo.
- Seguir los pasos de la guía de uso para así poder otorgar la vida útil del sistema de riego instalado.

COSTO DE LA EVALUACION

PRESUPUESTO				
RUBRO	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO \$	COSTO TOTAL
		(0.84ha)	UNITARIO	0.84 ha
MATERIALES				
Manómetro	1	1	70	70
Vasos pluviométrico	1	300	10	30.00
Probeta graduada (1000)	1	1	30	30.00
Probeta graduada (500),(100),(20cm)	1	3	80	80.00
Cinta métrica	1	1	25	25.00
Proyecto (papel, copia, internet)	1	1	150	150.00
Subtotal				385.00
MANO DE OBRA				
Viáticos y Jornales	2	10	8.00	\$ 80.00
Impresiones				\$ 100.00
Subtotal 2				\$ 565.00
IMPREVISTOS				\$ 120.00
Subtotal 3				685.00
IVA 12 %				\$ 82.20
Total				\$ 767.20

VI. BIBLIOGRAFÍA

- Amores, F. 2002. Requerimiento de suelos para el cultivo del Cacao. Revista sabor arriba. Año 1, # 2. Asociación Nacional de Exportadores de Cacao. Guayaquil, EC. p 18-20.
- Alabanda, J.S 2001. Trabajo profesional de fin de carrera “Evaluación y manejo de los sistemas de riego” Dpto. de Agronomía Universidad de Córdoba. Argentina. p. 38.
- Arviza, J. 1996. Riego Localizado. Departamento de Ingeniería Rural y Agroalimentaria. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica y Agrícola de Valencia. Universidad Politécnica de Valencia. España.
- Benito, J. 2004. Paquete tecnológico del manejo integrado de cacao. Instituto nacional de investigaciones y extensión agraria (INI). Ministerio de Agricultura de Perú. Tarapoto. Perú
- Bi, A. 2010. Sistema de riego. (En línea) Consultado 22 de agosto. Formato (PDF). Disponible en [http// es.wikipedia.org/wiki/ Sistema de riego](http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_riego). Ediciones Anónimas.
- Bonneau, L. 2001 Performance of irrigation systems on irrigated banana plantation in Cameroon. (En línea). Consultado 22 de agosto. Formato (html) Disponible en [http// www.silsoe.cranfield.ac.uk/ iwe/ index.htm](http://www.silsoe.cranfield.ac.uk/iwe/index.htm).

Bralts, V., Edwards, D., Wul, P., 1997 "irrigation design and evaluation based on the statistical uniformity concept". (ed.), " advances in irrigation", San Francisco. p 67-117.

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.

Delgadillo, O. 2010 Evaluación del riego por aspersión en parcela. Centro Andino para la gestión y uso del agua. Universidad Mayor de San Simón. Facultad de Agronomía. Cochabamba. Bolivia. p 9.

Enríquez, G. 2004. Cacao Orgánico. Guía para productores ecuatorianos. Ediciones AGC. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias INIAP. Quito,EC. Manual N° 54. p. 25-30-51.

Espinosa, F. 2001. Manual de diseño de sistemas de riego tecnificado. Universidad de Talca. Facultad de Ingeniería Agrícola. p. 64-68

Fuentes, J. 2003 Técnicas de Riego. Cuarta edición. Ministerio de Agricultura y Pesca. España ed. por Mundi-prensa. p. 311-318.

García, E. 1998. Ingeniería de Riego. Centro de investigaciones hidráulicas. Instituto superior politécnico" José A. Echevarría." Cuba. p. 161

González, J. 2004. Océano centrum. Enciclopedia práctica de la Agricultura y Ganadería. Arboricultura. Barcelona. España. p. 722.

Guadamud, T. 2011. Implantación de un sistema de riego por micro aspersores en un huerto de frutal asociado con especies ornamentales en los predios del Instituto Tecnológico Paulo Emilio Macías Sobando. Tesis de Ing. Agr. Universidad Técnica de Manabí. Facultad de Ingeniería Agronómica. Portoviejo. EC. p 25.

Granados A. 1990. Infraestructura de Regadíos, Redes Colectivas de Riego a Presión. Universidad Politécnica de Madrid. España. p 166.

INEC 2002. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. Tercer censo Agropecuario en el Ecuador. p 23.

INFOAGRO 2007. EL cultivo de cacao. (En línea). Parte 1. Consultada el 02 de abril. Disponible en [http. www.infoagro.com](http://www.infoagro.com).

INIAP (Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias, Ec). 2008. Riego suplementario para el cultivo de cacao en Manabí. Boletín divulgativo N° 345, Manabí, Ecuador p. 1-15-17

Jiménez, A. (S/F) Diseño agronómico. Mejora de una finca en el término municipal de daimiel p. 152 – 164

Jiménez, J. 2003. Eficiencia de riego por aspersion en condiciones de ladera en la parte baja de la micro cuenca de “Mishka Mayu” (Cochabamba). Tesis de Grado. UMSS. Cochabamba. BO. p92.

Keller J., Corey, W. R. Vavra M. E.1981. Evaluation of Irrigation Systems. En: Irrigation Challenges org the 80's. ASAE.St. Joseph. Michigan. USA. p. 95-105.

Martínez, M. 1993. Hidráulica Aplicada a proyectos de Riego. Universidad de Murcia, España.

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

Moyatales, J. 2009. Cálculos agronómicos relacionados con el riego. Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras. Mérida. p 25.

Ortega, M., Farías, S. 2001. Evaluación de la evapotranspiración de referencia usando la ecuación de Penman-Monteith. Ciencia e Investigación Agraria. P 23-66.

Odum, E. 1984. Ecología. Tercera Edición. Editorial Interamericana. México. p. 639

Paredes, M. 2004. Manual del cultivo de Cacao. Programa para el Desarrollo de la Amazonía. PROAMAZONÍA. Ministerio de Agricultura. Perú.

Pizarro, E 1987 Riego localizado de alta frecuencia. Goteo microaspersión exudación. Ed. Mundi prensa. Madrid. España. p 459.

Rodas, H. 2000. Principios de riego por micro aspersion. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Dirección general de ordenamiento forestal cuencas y riego división de riego y drenaje gestión y tecnología de riego. El Salvador. p 2.

Rodrigo, J., y Pérez, R., 1994. Riego Localizado. II. Programas informáticos. Mundi – Prensa, S. S., IRYDA, Centro Nacional de Tecnología de Regadíos, Madrid. España. p. 225-226.

Rodrigo López J., Hernández Abreu J.M., Pérez Regalado A., González Hernández J.F. 1997. Riego Localizado. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Secretaría General Técnica. Ediciones Mundi-Prensa (2da edición). p 405.

Shani, M., Sapir, E., 2000. El Riego por Aspersión. Equipos y Métodos. Tomo III. Ministerio de Relaciones Exteriores. Centro de Cooperación Internacional. MASHAV. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Centro de Cooperación Internacional para el Desarrollo Agrícola. CINADCO. Servicio de Extensión Agrícola. Departamento de Riego y Suelo. Servicio de Campo. Estado de ISRAEL. p 67.

Tarjuelo, J 1992. El riego por aspersión: Diseño y funcionamiento. p. 235.

Tarjuelo. J. 2000 Evaluación de los sistemas de riego por aspersión. Universidad castilla la Mancha centro regional de estudios del agua. p. 6-15.

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

Tapia, F 1999. Conceptos sobre diseño y manejo de riego presurizado. Comisión Nacional de riego. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. p. 25.

Tovar R. E. 1993. Hidráulica Elemental. UACH. Dirección de Difusión Cultural. Departamento de Irrigación. Chapingo. México. p 25.

Zúñiga, E. 2004. Principales direcciones del progreso técnico en el área de mecanización y de la técnica de riego. p.151.

ANEXOS

ANEXO N° 1

COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD.

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

$$Cu = 100 \left(1 - \frac{37.52}{43.36 \cdot 972} \right) = 99\%$$

UNIFORMIDAD DE LA ZONA EVALUADA

$$UD (zona) = 100 \cdot \frac{V_{25\%}}{V_m}$$

PRIMERA LINEA

$$UD (zona) = 100 \cdot \frac{28.34\%}{58.13_m} = 48.75\%$$

$$UD (zona) = 100 \cdot \frac{35.44\%}{51.14_m} = 64.88\%$$

$$UD (zona) = 100 \cdot \frac{23.45\%}{42.12_m} = 55.67\%$$

$$UD (zona) = 100 \cdot \frac{25.78\%}{44.15_m} = 58.39\%$$

SUGUNDA LINEA

$$\text{UD (zona)} = 100 \cdot \frac{11.78\%}{44.68_m} = 26.37\%$$

$$\text{UD (zona)} = 100 \cdot \frac{16.56\%}{47.33_m} = 34.99\%$$

$$\text{UD (zona)} = 100 \cdot \frac{14.11\%}{38.15_m} = 36.99\%$$

$$\text{UD (zona)} = 100 \cdot \frac{12\%}{38.63_m} = 31.06$$

TERCERA LINEA

$$\text{UD (zona)} = 100 \cdot \frac{30.06\%}{50.79_m} = 59.18\%$$

$$\text{UD (zona)} = 100 \cdot \frac{27.67\%}{47.01_m} = 58.56\%$$

$$\text{UD (zona)} = 100 \cdot \frac{34.17\%}{49.94_m} = 72.80\%$$

$$\text{UD (zona)} = 100 \cdot \frac{17.95\%}{41.56_m} = 43.19\%$$

PORCENTAJE DE LA PRIMERA LINEA

$$UD (zona) = 100 . = \frac{28.25\%}{48.99_m} = 57.66\%$$

PORCENTAJE DE LA SEGUNDA LINEA

$$UD (zona) = 100 . = \frac{13.61\%}{42.20_m} = 32.25\%$$

PORCENTAJE DE LA TERCERA LINEA

$$UD (zona) = 100 . = \frac{27.46\%}{46.56_m} = 58.98\%$$

PORCENTAJE GENERAL

$$UD (zona) = 100 . = \frac{23.11\%}{45.92_m} = 50.33\%$$

ANEXOS N° 2

UNIFORMIDAD DE LA INSTALACIÓN

$$UD = UD(zona) \cdot \frac{1 + 3 \cdot \sqrt{\frac{P_{min}}{P_m}}}{4}$$

$$UD = UD(57.66) \cdot \frac{1 + 3 \cdot \sqrt{\frac{1.547_{min}}{1.670_m}}}{4} = 56.036\%$$

$$UD = UD(32.25) \cdot \frac{1 + 3 \cdot \sqrt{\frac{1.758_{min}}{2.021_m}}}{4} = 30.621\%$$

$$UD = UD(58.98) \cdot \frac{1 + 3 \cdot \sqrt{\frac{1.687_{min}}{1.740_m}}}{4} = 58.301\%$$

PRESIÓN MEDIA

$$P_m = \frac{2 \cdot P_{min} + P_{max}}{3}$$

PRIMERA LÍNEA

$$P_m = \frac{2 \cdot 1.547 + 1.758}{3} = 1.617$$

SEGUNDA LÍNEA

$$P_m = \frac{2 \cdot 1.758 + 2.109}{3} = 1.893$$

TERCERA LÍNEA

$$P_m = \frac{2 \cdot 1.687 + 1.758}{3} = 1.710$$

UNIFORMIDAD DE LA INSTALACIÓN

$$UD = (instalacion) \cdot \frac{1 + 3 \cdot \sqrt{\frac{P_{min}}{P_m}}}{4}$$

$$UD = (50.33) \cdot \frac{1 + 3 \cdot \sqrt{\frac{1.547_{min}}{1.810m}}}{4} = 47.479\%$$

ANEXO N° 3

PERDIDAS POR EVAPORACION Y ARRASTRE DEL VIENTO

$$Pe = 100. \frac{L_a - L_p}{L_a}$$

PRIMERA LÍNEA

$$Pe = 100. \frac{8.44 - 7.79}{8.44} = 7.70$$

$$Pe = 100. \frac{7.5 - 6.91}{7.5} = 7.87$$

$$Pe = 100. \frac{6.43 - 5.64}{6.43} = 12.29$$

$$Pe = 100. \frac{6.75 - 5.92}{6.75} = 12.30$$

SEGUNDA LINEA

$$Pe = 100. \frac{6.82 - 5.99}{6.82} = 12.17$$

$$Pe = 100. \frac{6.55 - 6.34}{6.55} = 3.21$$

$$Pe = 100 \cdot \frac{6.55 - 4.76}{6.55} = 27.32$$

$$Pe = 100 \cdot \frac{6.37 - 5.18}{6.37} = 18.68$$

TERCERA LINEA

$$Pe = 100 \cdot \frac{7.5 - 6.81}{7.5} = 9.2$$

$$Pe = 100 \cdot \frac{6.96 - 6.32}{6.96} = 9.20$$

$$Pe = 100 \cdot \frac{6.89 - 6.29}{6.89} = 8.71$$

$$Pe = 100 \cdot \frac{6.14 - 5.57}{6.14} = 9.28$$

CAUDAL DE CADA ASPERSOR

$$\text{caudal del aspersor} \left(\frac{\text{litros}}{\text{hora}} \right) = \frac{\text{volumen recogido en bidon (litro)} 3600}{\text{tiempo de llenado (segundo)}}$$

PRIMERA LÍNEA

$$\text{caudal del aspersor} \left(\frac{\text{litros}}{\text{hora}} \right) = \frac{(\text{litro}) 3600}{80 (\text{segundo})} = 45 \text{ l/h}$$

$$\text{caudal del aspersor } \left(\frac{\text{litros}}{\text{hora}} \right) = \frac{(\text{litro})3600}{90 (\text{segundo})} = 40\text{l/h}$$

$$\text{caudal del aspersor } \left(\frac{\text{litros}}{\text{hora}} \right) = \frac{(\text{litro})3600}{105(\text{segundo})} = 34.29\text{l/h}$$

$$\text{caudal del aspersor } \left(\frac{\text{litros}}{\text{hora}} \right) = \frac{(\text{litro})3600}{100 (\text{segundo})} = 36\text{l/h}$$

SEGUNDA LINEA

$$\text{caudal del aspersor } \left(\frac{\text{litros}}{\text{hora}} \right) = \frac{(\text{litro})3600}{99 (\text{segundo})} = 36.36\text{l/h}$$

$$\text{caudal del aspersor } \left(\frac{\text{litros}}{\text{hora}} \right) = \frac{(\text{litro})3600}{103 (\text{segundo})} = 34.98\text{l/h}$$

$$\text{caudal del aspersor } \left(\frac{\text{litros}}{\text{hora}} \right) = \frac{(\text{litro})3600}{103 (\text{segundo})} = 34.95\text{l/h}$$

$$\text{caudal del aspersor } \left(\frac{\text{litros}}{\text{hora}} \right) = \frac{(\text{litro})3600}{106 (\text{segundo})} = 33.96\text{l/h}$$

TERCERA LINEA

$$\text{caudal del aspersor } \left(\frac{\text{litros}}{\text{hora}} \right) = \frac{(\text{litro})3600}{90 (\text{segundo})} = 40\text{l/h}$$

$$\text{caudal del aspersor } \left(\frac{\text{litros}}{\text{hora}} \right) = \frac{(\text{litro})3600}{97 (\text{segundo})} = 37.11\text{l/h}$$

$$\text{caudal del aspersor } \left(\frac{\text{litros}}{\text{hora}} \right) = \frac{(\text{litro})3600}{98 (\text{segundo})} = 36.73\text{l/h}$$

$$\text{caudal del aspersor } \left(\frac{\text{litros}}{\text{hora}} \right) = \frac{(\text{litro})3600}{110 (\text{segundo})} = 32.73\text{l/h}$$

EL CAUDAL APLICADO SOBRE LA ZONA EVALUADA

$$L_a(\text{mm}) = \frac{Q_a(\text{litros/hora})}{\text{superficie zona evaluada } (\text{m}^2) \cdot 60} \cdot \text{tiempo evaluada}(\text{min})$$

PRIMERA LINEA

$$L_a(\text{mm}) = \frac{45(\text{litros/hora})}{16 (\text{m}^2) \cdot 60} \cdot 180(\text{min}) = 8.44\text{l/h}$$

$$L_a(\text{mm}) = \frac{40(\text{litros/hora})}{16 (\text{m}^2) \cdot 60} \cdot 180(\text{min}) = 7.5\text{l/h}$$

$$L_a(\text{mm}) = \frac{34.29(\text{litros/hora})}{16 (\text{m}^2) \cdot 60} \cdot 180(\text{min}) = 6.43\text{l/h}$$

$$L_a(\text{mm}) = \frac{36(\text{litros/hora})}{16 (\text{m}^2) \cdot 60} \cdot 180(\text{min}) = 6.75\text{l/h}$$

SEGUNDA LINEA

$$L_a(mm) = \frac{36.36(\text{litros/hora})}{16 (m^2) \cdot 60} \cdot 180(\text{min}) = 6.82l/h$$

$$L_a(mm) = \frac{34.95(\text{litros/hora})}{16 (m^2) \cdot 60} \cdot 180(\text{min}) = 6.55l/h$$

$$L_a(mm) = \frac{34.95(\text{litros/hora})}{16 (m^2) \cdot 60} \cdot 180(\text{min}) = 6.55l/h$$

$$L_a(mm) = \frac{33.96(\text{litros/hora})}{16 (m^2) \cdot 60} \cdot 180(\text{min}) = 6.37l/h$$

TERCERA LINEA

$$L_a(mm) = \frac{40(\text{litros/hora})}{16 (m^2) \cdot 60} \cdot 180(\text{min}) = 7.5l/h$$

$$L_a(mm) = \frac{37.11(\text{litros/hora})}{16 (m^2) \cdot 60} \cdot 180(\text{min}) = 6.96l/h$$

$$L_a(mm) = \frac{36.73(\text{litros/hora})}{16 (m^2) \cdot 60} \cdot 180(\text{min}) = 6.89l/h$$

$$L_a(mm) = \frac{32.73(\text{litros/hora})}{16 (m^2) \cdot 60} \cdot 180(\text{min}) = 6.14l/h$$

ÁREA DE LA EMBOCADURA DE LOS VASOS

$$area (cm^2) = 0.785. (diámetro)^2$$

$$area (cm^2) = 0.785. (9.75)^2 = 74.62cm^2$$

LA LÁMINA DE AGUA RECOGIDA

$$L_p(mm) = \frac{volumen\ medio\ recogido(cm^3)}{area\ de\ la\ embocadura\ de\ los\ vasos\ (cm^2)} \cdot 10$$

PRIMERA LINEA

$$L_p(mm) = \frac{58.13(cm^3)}{74.62 (cm^2)} \cdot 10 = 7.79mm$$

$$L_p(mm) = \frac{51.54(cm^3)}{74.62 (cm^2)} \cdot 10 = 6.91mm$$

$$L_p(mm) = \frac{42.12(cm^3)}{74.62 (cm^2)} \cdot 10 = 5.64mm$$

$$L_p(mm) = \frac{44.15(cm^3)}{74.62 (cm^2)} \cdot 10 = 5.92mm$$

SEGUNDA LINEA

$$L_p(mm) = \frac{44.68(cm^3)}{74.62(cm^2)} \cdot 10 = 5.99mm$$

$$L_p(mm) = \frac{47.33(cm^3)}{74.62(cm^2)} \cdot 10 = 6.34mm$$

$$L_p(mm) = \frac{35.49(cm^3)}{74.62(cm^2)} \cdot 10 = 4.76mm$$

$$L_p(mm) = \frac{38.63(cm^3)}{74.62(cm^2)} \cdot 10 = 5.18mm$$

TERCERA LINEA

$$L_p(mm) = \frac{50.78(cm^3)}{74.62(cm^2)} \cdot 10 = 6.81mm$$

$$L_p(mm) = \frac{47.16(cm^3)}{74.62(cm^2)} \cdot 10 = 6.32mm$$

$$L_p(mm) = \frac{46.94(cm^3)}{74.62(cm^2)} \cdot 10 = 6.29mm$$

$$L_p(mm) = \frac{41.56(cm^3)}{74.62(cm^2)} \cdot 10 = 5.57mm$$

ANEXO N° 4

INDICE DE GROSOR DE LA GOTA

$$IG = 12.85 \cdot \frac{p^{1.3}}{d}$$

PRIMERA LÍNEA

$$IG = 12.85 \cdot \frac{1.76^{1.3}}{0.90} = 29.77$$

$$IG = 12.85 \cdot \frac{1.76^{1.3}}{0.90} = 29.77$$

$$IG = 12.85 \cdot \frac{1.62^{1.3}}{0.90} = 26.73$$

$$IG = 12.85 \cdot \frac{1.55^{1.3}}{0.90} = 25.24$$

SEGUNDA LÍNEA

$$IG = 12.85 \cdot \frac{2.11^{1.3}}{0.90} = 33.92$$

$$IG = 12.85 \cdot \frac{2.11^{1.3}}{0.90} = 33.92$$

$$IG = 12.85 \cdot \frac{2.11^{1.3}}{0.90} = 33.92$$

$$IG = 12.85 \cdot \frac{1.76^{1.3}}{0.90} = 29.77$$

TERCERA LINEA

$$IG = 12.85 \cdot \frac{1.76^{1.3}}{0.90} = 29.77$$

$$IG = 12.85 \cdot \frac{1.76^{1.3}}{0.90} 29.77$$

$$IG = 12.85 \cdot \frac{1.76^{1.3}}{0.90} = 29.77$$

$$IG = 12.85 \cdot \frac{1.67^{1.3}}{0.90} = 27.81$$

C.U %	UD (Zona) %	UD (Instalación)%	P_m	P_e	IG
99	50.33	47.48	1.74	11.50	30.01

ANEXO N° 5

DISEÑO AGRONÓMICO

Evapotranspiración diaria:

$$Et_0 = K_p * E_d$$

K_p : 0,85

Necesidad hídrica diaria:

$$N_d = Et_0 * Kc$$

Kc : 1.05

Necesidad mensual del cultivo.

$$N_m = N_{diaria} \times N^{\circ}_{dias\ del\ mes}$$

Reserva de agua disponible.

$$R_{ad} = A_d \times P_r$$

$$A_{disponible} = Cc - Pm$$

Reserva de agua fácilmente disponible.

$$R_{afd} = R_{ad} \times f_a$$

Precipitación efectiva mensual.

Los meses con precipitación (P) superior a 75mm la precipitación efectiva (P_e) se calculó así.

$$P_e = 0.8 \times P - 25$$

Los meses con precipitación (P) inferior a 75mm la precipitación efectiva (P_e) se calculó así.

$$P_e = 0.6 \times P - 10$$

Intervalo de riego.

$$I_n = \frac{R_{afd}}{N_d}$$

Dosis neta mensual.

$$D_{nm} = N_{diaria} \times I_n$$

Dosis neta ajustada mensual.

$$D_{na} = \frac{D_n}{ef_{85\%}}$$

Tiempo de riego diario en cada mes.

$$Tr = \frac{D_{na} \times 60min}{Q_{plantas\ regadas.}}$$

Caudal necesario mensual.

$$Q_m = 10 \times \frac{S \times D_{na}}{I_n \times T_r}$$

Meses	Eto mmdia	N.d mmdia	Nm Mmdia	Pe mmdia	In día	Dn mmdia	Dna mmdia	Qm m³	Tr min
Sep.	4.52	4.04	121.12	-9.1	1	4.04	4.75	110.83	21.38
Oct.	4.23	4.44	137.58	-9.58	1	4.44	5.22	112.43	23.50
Nov.	3.39	3.56	106.65	-7.84	1	3.56	4.19	113.54	18.86
Dic.	2.41	2.53	78.34	189.56					
Ene.	2.83	2.97	92.07	49.88	1	2.97	3.49	112.75	15.71
Feb.	3.59	3.77	105.62	55.16	1	3.77	4.44	113.01	19.98
Mar.	4.54	4.76	147.47	22.64	1	4.76	5.6	112	25.21
Abr.	3.38	3.45	106.47	143.16					
May.	3.92	4.11	127.50	-8.86	1	4.11	4.84	112.93	21.79
Jun.	3.38	3.55	106.56	-2.92	1	3.55	4.18	113.26	18.81
Jul.	3.51	3.68	114.11	-4.42	1	3.68	4.33	113.6	19.49
Ago.	4.28	4.49	139.49	-9.7	1	4.49	5.28	110.88	23.77

ANEXO N° 6

Limpieza del área a evaluar



Distancia de los aspersores



Medición del terreno



Nivelación de los recipientes pluviométricos



Zona de evaluación



Tribunal presenciando la evaluación



Medición del agua recolectada por los recipientes pluviómetros



Toma presión de los micros aspersores

