



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA  
DE MANABÍ ESPAM “MFL”**

**INGENIERÍA AGRÍCOLA**

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

**Tema:**

**“EVALUACIÓN POST - IMPLEMENTACIÓN DE UN  
SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN EN EL CULTIVO  
DE CACAO (*Theobroma cacao* L.) EN LA ESPAM – MFL”**

**AUTORES:**

**Maria Isabel Mendoza Vera**

**Wellington Lizardo Rodríguez Zambrano**

**TUTOR:**

**Ing. Saskia Guillen Mendoza**

**Calceta, Marzo 2012**

## DERECHOS DE AUTORIA

Mendoza Vera María Isabel y Rodríguez Zambrano Wellington Lizardo, 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 intelectuales correspondientes a este trabajo, a la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí “Manuel Félix López”, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.

---

Mendoza V. Ma. Isabel.

---

Rodríguez Z. Wellington L.

## CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Ing. Saskia Guillen. Certifica haber tutorado la tesis titulada “**EVALUACIÓN POST – IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN EN EL CULTIVO DE CACAO (*Theobroma cacao* L) EN LA ESPAM – MFL**”, que ha sido desarrollada por Mendoza Vera Ma. Isabel y Rodríguez Zambrano Wellington Lizardo, 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 Guillen M.**  
**TUTOR DE TESIS**

## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

Quienes abajo firmamos, miembros del tribunal correspondiente, declaramos que hemos APROBADO la tesis titulada “**EVALUACIÓN POST-IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN EN EL CULTIVO DE CACAO (*Theobroma cacao* L.) EN LA ESPAM-MFL**”, que ha sido propuesta, desarrollada y sustentada por Mendoza Vera Ma. Isabel y Rodríguez Zambrano Wellington Lizardo, 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. Sergio Vélez Zambrano  
**MIEMBRO DE TRIBUNAL**

---

Ing. Federico Díaz Trelles  
**MIEMBRO DE TRIBUNAL**

---

Ing. Gonzalo Constante Tubay  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

## AGRADECIMIENTO

Primeramente agradecemos a DIOS que nos dio la fortaleza de luchar por este ideal y hoy ya es un sueño cumplido.

A la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí, por darnos la oportunidad de capacitarnos día a día, y forjarnos con valores para en el mañana ser profesionales íntegros.

A la Dirección de la Carrera de Ingeniería Agrícola, Director Ing. Lenin Vera; y, Secretaria de la Carrera, Ing. Alexandra Navarrete, por su disposición en el momento de agilizar los trámites pertinentes y la colaboración con los materiales e implementos que necesitamos para el desarrollo del proyecto de tesis.

Al Ing. José Loor Ponce, amigo, maestro y guía; que con su carisma, cariño y profesionalismo nos supo guiar e impulsar para llevar a cabo este proyecto. Así mismo a la Ing. Saskia Guillén por haber asumido la responsabilidad de continuar como guía en este trabajo y dedicarnos su tiempo para culminar este gran sueño.

A los miembros del Tribunal de Tesis de la Carrera de Ingeniería Agrícola, los cuales supieron ser críticos y nos brindaron su aporte en el momento de corregir el proyecto.

A los catedráticos de la Carrera de Ingeniería Agrícola, por su contribución en nuestra formación académica. A ellos porque no solo encontramos maestros sino verdaderos amigos que nos dieron lecciones de vida y perseverancia cuando de alcanzar un objetivo se trata.

Un agradecimiento muy especial al maestro, compañero, amigo, hermano; por ser un apoyo muy importante en el transcurso de este caminar, al Ing. Jesús Chavarría y a su adorada Madre.

Un detalle muy importante que no hay como olvidar, al grupo de los 10, no nos alcanza en las líneas para nombrar una a una las gratitudes solo nos resta decir que con ellos vivimos grandes aventuras, momentos gratos, nos apoyamos siempre y son parte importante en nuestras vidas. Somos el más claro ejemplo de la perseverancia, la constancia.

## DEDICATORIA.

Este logro se lo dedico al más merecedor de todos los honores y glorias, a nuestro Creador Dios, el me guio en cada uno de mis pasos en el camino de la vida.

A mis padres: Sr. Antenógenes Mendoza y Sra. Deysi Vera Muñoz, que han sido mi más grande ejemplo de vida, me enseñaron con amor y sabiduría a luchar por lo que se quiere en la vida. Me apoyaron en las buenas y malas. Son ellos merecedores de mi respeto y admiración. Los amo por sobre todo y este mérito es de ellos.

A mis hermanos: Jessenia, Iván, Marco, Darwin, Fernanda, y mis chiquitos Gliserio y Katiuska. Los amo y son ellos quienes me han apoyado de todas las maneras posibles, éste es un sueño en conjunto.

Al tesoro más grande que me regalo Dios, él es mi fuente de inspiración, solo una sonrisa de él calma la más grande de mis angustias y me motiva a seguir luchando cada día. A mi bebe precioso Matías Isaac.

A mis tías Genoveva Vera y Dolores Mendoza, por ser ellas como mi segunda madre, a mis sobrinos (as), familiares y amigos, que de una u otra manera son parte de esta meta alcanzada. En especial a mi abuelita Ramona que desde el cielo me está Bendiciendo, te amo madrecita lo logre.

Autor.

María Isabel Mendoza

## DEDICATORIA

Dedicada para nuestro sublime creador Dios por haberme dejado llegar hasta este otro momento especial de mi vida y por guiar mis pasos por el buen sendero.

A mis padres: Sr. W. Rómulo Rodríguez Minaya y Sra. Teresa Zambrano Vera, que me apoyaron en los momentos fáciles y difíciles de mi vida, por su comprensión y por dedicación para conmigo, por haberme guiado por el buen camino en la vida.

A mis hermanas: Dra. Rocío Rodríguez Zambrano y Lic. Silvia María Rodríguez Zambrano por estar ahí cuando más las necesitaba y por ser mis amigas incondicionales.

A mi tía Esperanza Zambrano Vera también por apoyarme siempre en todo momento.

A Ma. Isabel Mendoza mi compañera de Tesis, amiga y hermana que siempre me acompañó en todo momento y estuvo cuando más la necesitaba. Gracias por todo.

Autor

W. Lizardo Rodríguez Z.



## CONTENIDO GENERAL

### I. ANTECEDENTES.

1.2. Planteamiento del problema.	1
1.3. Justificación.	2
1.4. Objetivos.	3

### II. MARCO TEORICO

2.1. Evaluación del sistema de riego por aspersión.	4
2.2. Tipo de evaluación.	5
2.3. Factores básicos de la evaluación.	6
2.4. Evaluación del diseño agronómico en el sistema de riego por aspersión.	7
2.4.1. Evapotranspiración del cultivo ( $E_{t_0}$ ).	8
2.4.2. Eficiencia de aplicación.	8
2.4.3. Eficiencia de riego.	9
2.4.4. Tiempo de riego.	10
2.4.5. Periodo de riego.	10
2.4.6. Frecuencia de riego.	11
2.4.7. Estimación de la lámina neta.	11
2.5. Características del sistema de riego.	12
2.6. Elementos de evaluación en el diseño hidráulico.	12
2.6.1. Determinación de la uniformidad del lateral.	13
2.6.2. Uniformidad de distribución (UD).	13
2.6.3. Coeficiente de uniformidad (CU).	14
2.6.4. Coeficiente de variación.	15
2.6.5. Grado de pulverización o grosor de la gota.	17
2.6.6. Pérdidas por evaporación y arrastre del viento.	18

2.6.7. Perdidas de carga.	19
2.6.8. Perdidas de carga permisible.	21
2.6.9. Presión de entrada del lateral.	22
2.6.10 Radio de alcance de un aspersor.	23
2.7. Calidad del agua de riego.	23
2.7.1. Clasificación de la FAO.	26
2.8. Cultivo de cacao ( <i>Theobroma cacao</i> L).	27
2.8.1. Exigencias agroecológicas del cultivo.	27
2.8.2. Riego en el cultivo de cacao.	28
2.9. Recomendaciones para el uso de riego en cacao.	28

### III. MATERIALES Y METODOS

3.1. Ubicación.	30
3.2. Características Edafoclimaticas.	30
3.3. Evaluación técnica del sistema de riego instalado.	31
3.3.1. Diagnóstico de campo.	31
3.3.2. Parámetros técnicos de la evaluación.	31
3.3.2.1. Presión de entrada y presión de salida del lateral.	32
3.3.2.2. Perdida de carga permisible.	32
3.3.2.3. Intensidad de precipitación del sistema.	33
3.3.2.4. Descarga del aspersor.	34
3.3.2.5. Coeficiente de uniformidad de Christiansen (CUC) 1942.	34
3.3.2.6. Coeficiente de variación.	35
3.3.2.7. Eficiencia de descarga.	36
3.3.2.8. Uniformidad de la zona evaluada (UD).	36
3.3.2.9. Uniformidad de instalación ( $UD_{instalacion}$ ).	37
3.3.2.10. Lámina de agua aplicada por los aspersores.	38
3.3.2.11. Lámina de agua recogida por los pluviómetros.	40
3.3.2.12. Perdida por evaporación y arrastre del viento.	40
3.3.2.13. Grado de pulverización de la gota.	41
3.4. Diseño agronómico.	41
3.4.1. Evapotranspiración.	41

3.4.2. Necesidades hídricas diarias del cultivo.	42
3.4.3. Necesidades hídricas mensuales del cultivo.	42
3.4.4. Reserva de agua disponible.	43
3.4.5. Reserva de agua fácilmente disponible.	43
3.4.6. Precipitación efectiva mensual.	44
3.4.7. Intervalo de riego.	44
3.4.8. Dosis neta.	45
3.4.9. Dosis neta ajustada.	46
3.4.10 Tiempo de riego diario	46
3.4.11 Caudal necesario.	47
3.5. Calidad del agua de riego.	47

#### **IV. RESULTADOS Y DISCUSION**

4.1. Evaluación técnica del sistema de riego.	49
4.2. Diseño agronómico.	51
4.3. Guía de manejo del sistema de riego.	52

#### **V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

5.1. Conclusiones	54
5.2. Recomendaciones.	55

Bibliografía.

Anexos.

## CONTENIDO DE CUADROS Y FIGURAS

<b>Cuadro. (02.01).</b> Clasificación de salinidad del agua propuesto por U.S.L.S.	25
<b>Cuadro. (02.02).</b> Clasificación propuesta por la FAO.	26
<b>Cuadro (02.03).</b> Cantidades de agua (mm) a aplicar entre julio y noviembre en huertas de cacao del sistema Carrizal-Chone.	29
<b>Gráfico. (03.01).</b> Diagrama de toma de caudales.	39
<b>Cuadro (04.01).</b> Cálculos de la evaluación del sistema de riego.	48
<b>Cuadro. (04.01).</b> Resultado del diseño agronómico realizado para el cultivo de cacao.	50

## RESUMEN

Este trabajo de evaluación post-implementación del sistema de riego por aspersión en el cultivo de cacao, tuvo como objetivo principal determinar la eficiencia del funcionamiento de dicho sistema, tomando en cuenta la uniformidad de distribución, el coeficiente de uniformidad, coeficiente de variación, eficiencia de descarga, presiones, caudales, etc.. Los resultados de las evaluaciones en el coeficiente de uniformidad (CU) de Christiansen alcanzo el 97%, considerado relativamente alto. La Uniformidad de distribución (UD) con 27% caracterizado como inaceptable. La Eficiencia de descarga (Ed) de 63% considerado relativamente bajo en este sistema. Y un coeficiente de variación (Cv) de 74% valor exageradamente alto. La uniformidad de distribución (UD) es afectada por otros factores como son la velocidad del viento, el caudal emitido, y la presión de entrada, las hojas del cultivo, las plantas de plátano, entre otros. En cuanto al manual de riego se debe hacer manteniendo al sistema y con los resultados del diseño agronómico se concluye que se deben realizar riegos diarios que oscilan entre 4.80 y 3.00 min diarios con un caudal que varía entre 817 y 634 L/h para todo el sistema. Además este sistema está diseñado para que trabajen tres laterales es decir 25 aspersores.

## SUMMARY

This work consisted in evaluated an sprinkler irrigation system after – installation in the cocoa crop, the main objective was to determine the efficiency of system operation, evaluating the uniformity of distribution, uniformity coefficient, coefficient of variation, efficiency discharge pressures, flows, etc. The result of this evaluation was a Christiansen uniformity coefficient of 97%, considered relatively high. Uniformity of distribution (UD) with 27% characterized as unacceptable. The discharge efficiency (Ed) of 63% considered relatively low in this system. And a variation coefficient (CV) of 74% unrealistically high value. The distribution uniformity (DU) is affected by other factors such as wind speed, the flow delivered, and the inlet pressure, the leaves of the crop, banana trees, and others. The irrigation manual watering should be done keeping the system and the results of agronomic design must be concluded that daily irrigation ranging between 4.80 and 3.00 min daily at a rate that varies between 817 and 634 L / h for all system. Furthermore, this system is designed to work three sides or 25 sprinklers.

## INTRODUCCION

El cultivo de cacao es el producto agrícola de exportación más importante de la provincia de Manabí. De hecho según el último censo agropecuario del (2000); existe un total de 101.000 hectáreas, el 52% como monocultivo y el 48% en cultivo asociado. En Calceta la Corporación Fortaleza del Valle, se encargó de la instalación de sistemas de riego por micro-aspersión y aspersión a los usuarios del Sistema de Riego Carrizal – Chone. (El Diario, 2010)

Siendo el cacao una planta sensible a la escasez de agua pero también al encharcamiento se precisa de suelos provistos de drenaje. En Manabí y posteriormente el cantón Bolívar, las precipitaciones no alcanzan los 1200-1500mm de agua al año, que es lo que requiere el cultivo de cacao en la etapa de producción, por lo tanto, hay que suministrar este déficit de requerimiento hídrico.

En la Carrera de Ingeniería Agrícola, de la ESPAM - MFL, se ha desarrollado un proyecto de marco de riego en el área de producción agrícola, en el cual han participado los egresados de la misma, con la implementación de sistemas de riego, como: goteo, microaspersión y aspersión en los diferentes cultivos. Particularmente el riego por aspersión en el cultivo de cacao, es uno de los ejes más temáticos, se ha considerado la necesidad de aportar con este texto metodológico, para contribuir técnicamente en la evaluación de eventos de riego por aspersión, con la perspectiva de ir ajustando y corrigiendo el riego a este nivel, en base a datos de campo e indicadores concretos que guíen este accionar, dada la importancia que está cobrando en esta zona, donde están dándose lugar iniciativas de innovación tecnológica de riego por aspersión.

En todos los sistemas de riego, una elevada uniformidad permite hacer un uso más eficiente del agua disponible, maximizar la producción y limitar las pérdidas de agua por percolación profunda. Las evaluaciones de riego en campo tienen como propósito determinar la distribución del agua del riego en la parcela. Esto permite diagnosticar la uniformidad del riego estableciendo niveles cuantitativos. Los sistemas de riego por aspersión requieren un valor mínimo de uniformidad para ser considerados aceptables. Para los sistemas de cobertura fija, Keller y Bliesner (1990) consideran la uniformidad de riego baja cuando el Coeficiente de Uniformidad de Christiansen (CU) es inferior al 84 %.



# I. ANTECEDENTES

## 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La Carrera de Ingeniería Agrícola de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí “Manuel Félix López” cuenta con un lote de 17 ha, de las cuales 9119,6 m<sup>2</sup>, se han delineado para el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L) cuyos clones son: clon EET-103, EET-575, EET-576. Establecido en la época húmeda de Febrero del 2009 y asociado con plátano dominico (*Mussa paradisiaca* L.) a una distancia de 3x3m con una población de 1150 plantas por hectárea.

El manejo del cultivo en lo referente al riego era por gravedad, superficial y con una frecuencia de 15 días, que no cubre las necesidades hídricas para su desarrollo vegetativo y producción. La falta de una evaluación post - implementación, para el sistema de riego por aspersión imposibilita determinar un plan de manejo que permitan optimizar el recurso hídrico y eficiencia en la aplicación de la lámina de riego que requiere el cultivo.

## **1.2. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA**

La demanda de la materia prima en los mercados nacionales y extranjeros, induce a tecnificar el cultivo, el riego por aspersión optimiza el recurso hídrico. Por lo que se vuelve imprescindible evaluar algunos indicadores de orden hidráulico y agronómico, para determinar un plan de manejo del sistema, estableciendo la lámina de riego adecuada con el fin de aumentar la producción.

Antes de poner en marcha un nuevo sistema de riego es recomendable realizar una evaluación integral con el fin de determinar si los parámetros en el campo corresponden a los del proyecto, lo mismo ocurre con aquellos sistemas que llevan algunos años funcionando con el fin de determinar si algunos de sus componentes han perdido las características originales, en otros casos se desconoce la exactitud de la pluviometría que aportan los aspersores y si estos 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. (Universidad Talca 1999).

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **OBJETIVO GENERAL**

Determinar la eficacia del funcionamiento del sistema de riego por aspersión en el área de cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L) de la Carrera de Agrícola, para lograr una mayor eficiencia en la aplicación del agua.

#### **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Evaluar el funcionamiento en el sistema de riego por aspersión instalado en una de las parcelas establecidas en cultivo de cacao.
- Determinar el coeficiente de uniformidad y la uniformidad de distribución de agua en el sistema de riego por aspersión.
- Elaborar una guía de manejo para sistema de riego por aspersión implementado en el área de cacao en la Carrera de Agrícola de la ESPAM – MFL.

## **II. MARCO TEORICO**

### **2.1. EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN**

De acuerdo a Tarjuelo y Martin (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 aspersión 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.

Montero (2000) mencionó que el objetivo del riego consiste en aplicar el agua uniformemente sobre el área deseada y dejarla a disposición del cultivo. Los sistemas de riego por aspersión deben diseñarse para aplicar el agua a un ritmo inferior a la velocidad de infiltración para evitar la escorrentía.

Según Alabanda (2001) 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.

## 2.2. TIPOS DE EVALUACIÓN. (Cueva y Sanmartin 1997).

Entre los diferentes tipos de evaluación tenemos los siguientes:

- **Evaluación técnica.**

Es la medición de parámetros técnicos del riego por aspersión que intervienen en la aplicación del agua al suelo en cultivos irrigados.

- **Evaluación de funcionamiento observado.**

Consiste en realizar un recorrido del sistema a evaluarse, observando minuciosamente su funcionamiento y determinando los problemas existentes mediante la utilización de un registro.

- **Evaluación de funcionamiento medido.**

Consiste en realizar todas las mediciones requeridas para su evaluación. Estas mediciones deben ser de todos los elementos que constituyen el sistema de riego con la finalidad de evaluar su funcionamiento.

### **2.3. FACTORES BÁSICOS PARA LA EVALUACIÓN** (Villa y Sanmartín 1986).

Los factores básicos que usualmente intervienen en la evaluación de un sistema de riego por aspersión.

#### **A. PARA EL CULTIVO.**

1. Profundidad efectiva radicular (m).
2. Estación de crecimiento (días).
3. Uso consuntivo máximo diario (mm/día).
4. Uso consuntivo estacional (total).

#### **B. PARA EL SUELO**

1. Textura superficial.
2. Agua aprovechable (cm).
3. Agua rápidamente aprovechable (cm).
4. Velocidad de infiltración básica (mm/hrs).

#### **C. PARA EL RIEGO.**

1. Frecuencia de riego (días).
2. Lamina neta (mm).
3. Eficiencia de aplicación y de riego (%).
4. Lamina bruta (mm).

**D. REQUERIMIENTOS DE AGUA.**

1. Estacionales (mm).
2. Precipitación efectiva (mm).
3. Humedad almacenada (mm).
4. Números de riegos.
5. Tiempos de riego.
6. Calidad de agua.

**E. CAPACIDAD DEL SISTEMA.**

1. Intensidad de aplicación.
2. Tiempo por posición/día.
3. Posición / día.
4. Día de aspersión en intervalo (periodo).
5. Capacidad del sistema en (GPM).

**2.4. EVALUACIÓN DEL DISEÑO AGRONÓMICO PARA EL SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN (Valin *et. al.* 2003).**

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

### **2.4.1. EVAPOTRANSPIRACION DEL CULTIVO**

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 cubeta clase A, el más usado por su bajo costo y fácil manejo. (Ferreyra *et al.* 1995).

### **2.4.2. EFICIENCIA DE APLICACIÓN**

Para Jiménez (2003) la eficiencia 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.

[02.01]

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

Lt: es la cantidad total de agua aplicada en el suelo.



Según Grassi (1976) la eficiencia de riego del sistema por aspersión se da mediante la utilización de la fórmula de Criddle.

---

[02.02]

Dónde:

$d_{ns}$  = Lámina mínima recogida en el 25% de los recipientes (mm).

$d_b$  = Lámina bruta, aplicada por el "aspersor unitario" (mm)\*.

$E_{fa}$  = Eficiencia de aplicación del método de riego.

### 2.4.3. EFICIENCIA DE RIEGO

La eficiencia del riego en general se puede dividir en varios componentes siguiendo la propuesta de la Comisión Internacional de Riego y Drenaje. La eficiencia de almacenamiento ( $E_s$ ), la eficiencia de conducción ( $E_c$ ) y la eficiencia de aplicación del riego propiamente dicha ( $E_{f.riego}$ ). (Burman *et al.* 1981).

La eficiencia de aplicación del riego se la puede definir como el porcentaje del agua total suministrada a un cultivo que sirve efectivamente para satisfacer sus necesidades hídricas y se cuantifica con la siguiente expresión. (Rocamora y Peraza 2007).

---

[02.03]

Dónde:

$E_f$  = Eficiencia, a dimensional;

$V_u$  = Volumen utilizado,  $m^3$ .

$V_e$  = Volumen extraído de la fuente de abastecimiento, ( $m^3$ ).

#### **2.4.4. 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. (Fuentes 2003).

---

[02.04]

#### **2.4.5. PERIODO DE RIEGO**

Se entiende por periodo de riego al tiempo empleado en dar un riego a toda el área de influencia. (Fuentes 2003).

Condición  $Pr < Fr$

#### 2.4.6. FRECUENCIA DE RIEGO

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

---

[02.05]

Dónde:

FR: frecuencia de riego (días).

Ln: lámina neta (mm).

ET<sub>real</sub>: evapotranspiración real o de cultivo (mm/día).

#### 2.4.7. ESTIMACIÓN DE LA LÁMINA NETA

Valverde (2007) indica que la lámina neta corresponde a una altura de agua que es capaz de almacenar un suelo de cierta profundidad; así, un suelo arcilloso tiene una mayor capacidad de estanque que un suelo arenoso. En forma cuantitativa la lámina neta o capacidad de estanque del suelo se puede estimar como:

---

[02.06]

Dónde:

Ln: lámina neta (cm).

Ce: capacidad de estanque del suelo (cm).

Cr: criterio de riego (Fracción).

CC: capacidad de campo (%).

PMP: punto de marchitez permanente (%).

Da: densidad aparente del suelo ( $\text{g/cm}^3$ ).

Ps: profundidad del suelo (cm).

HA: humedad volumétrica aprovechable (%).

## **2.5. CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE RIEGO**

El hidrante tiene un manómetro de glicerina para medir la presión de entrada, adicionalmente una válvula de aire. La tubería primaria de 60 mm, conectado a ella 8 laterales de 50mm en cada lado con una longitud ficticia de 54,45 m y un último al final del sistema, cada lateral tiene su propia válvula. La red consta de 109 aspersores modelo Xcell Wobble gold (25 PSI) y un caudal 1.23 GPM, un radio de 14.02 m. La tubería del porta aspersor es de 25 mm, con sus respectivos collarines. (Sornoza y López 2011).

## **2.6. ELEMENTOS DE EVALUACIÓN EN EL DISEÑO HIDRAULICO**

Los elementos del diseño hidráulicos tomados en cuenta en esta evaluación son los siguientes:

### **2.6.1. DETERMINACIÓN DE LA UNIFORMIDAD DEL LATERAL**

Si no se tiene la presión de operación del aspersor, se determina la presión media entre la inicial y final y se asume este valor como PN. (Tarjuelo y Martin 2005).

[02.07]

### **2.6.2. UNIFORMIDAD DE DISTRIBUCIÓN (UD)**

Si la uniformidad es baja existirá mayor riesgo de déficit de agua en algunas zonas y de filtración profunda en otras. La uniformidad de distribución se la obtiene a partir de los datos de campo resultantes de la evaluación y es un indicador de la uniformidad de altura infiltrada en el conjunto de la parcela. (Bralts, *et al.* 1997).

---

Se utiliza como indicador de la magnitud de los problemas en el proceso de aplicación de agua. Keller y Bliesner (1990) define la uniformidad de distribución del sistema ( $UD_s$ ) como:

—

Siendo:

$P_n$  = presión mínima en un aspersor del bloque de riego.

$P_a$  = presión media de los aspersores del bloque.

### **2.6.3. COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD (CU)**

Indica como se ha producido la variación del agua caída en una superficie en relación con su media. El resultado se expresa en porcentaje (%). (Chambouleyron 1993).

El *CU* de Christiansen (1942) es una representación estadística de la uniformidad, utilizado principalmente en los sistemas de aspersión.

Se expresa en tanto por ciento mediante la expresión:

---

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 y Bliesner (1990) define el coeficiente de uniformidad del sistema ( $CU_s$ ) como:

Siendo  $P_n$  y  $P_a$  igual que en la  $UD_s$ .

La relación con la  $UD$  suele ser del tipo:

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.

#### **2.6.4. 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  $CV = \sigma/X_m$  (desviación típica dividida por la media). (Shani y Sapir 2000).

---

---

[02.14]

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.

[02.15]

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).

Por otra parte, Cárdenas (2000) plantea que la uniformidad de aplicación del riego es un parámetro que está muy relacionado con la eficiencia del riego y con la producción de los cultivos.



### 2.6.5. GRADO DE PULVERIZACIÓN O GROSOR DE LA GOTA

El patrón de aspersión de una boquilla está formado por muchas gotas de diversos tamaños. El tamaño de la gota es el diámetro de una individual de aspersión, se expresa en micrones (micras). Un micrón equivale a 0.001 mm. Este es factor importante en el riego por aspersión, ya que puede producir daños y no es adecuado para el cultivo por las condiciones físicas del suelo; al primero afecta pro que choca y al segundo por compactación. Este grado de pulverización es función del diámetro de la boquilla y la presión de trabajo del aspersor. (ASAE, 2011)

El grosor de las gotas se determina por el índice de grosor (IG). Para calcular IG se tendrá en cuenta la presión y el diámetro con la boquilla seleccionada.

---

[02.16]

Dónde:

IG = Índice de grosor de la gota.

H = Presión del aspersor (kg/cm<sup>2</sup>).

D = Diámetro de la boquilla (mm).

La correlación de IG.:

IG<7 Gotas gruesas.

IG>17 Gotas finas.

IG 7 a 17 Grosor de gotas recomendable.

### 2.6.6. PERDIDAS POR EVAPORACIÓN Y ARRASTRE DEL VIENTO

Tarjuelo y Martin (2005) dicen que la aplicación de los aspersores y la intensidad recibida por los pluviómetros se calcula por:

$$\frac{I_a \cdot Q_a \cdot E_a \cdot E_l \cdot M}{T} \quad [02.17]$$

Donde:

I<sub>a</sub>: Intensidad de aplicación (mm / Hora).

Q<sub>a</sub>: Gasto del aspersor (L / seg).

E<sub>a</sub>: Espaciamiento entre aspersores (m).

E<sub>l</sub>: Espaciamiento entre laterales (m).

M: Media de la lectura de los pluviómetros (mm).

T: Tiempo de duración de la evaluación (Horas).

$$E_{fa} = \frac{M}{I_a \cdot Q_a \cdot E_a \cdot E_l \cdot T} \quad [02.18]$$

E<sub>fa</sub> = Eficiencia de aplicación (%).

Keller y Bliesner (1990) mantiene que, en condiciones normales, estas pérdidas varían entre el 5 y 10%. Sin embargo, en condiciones severas (baja humedad relativa, alta temperatura, tamaño de gota muy pequeña, alta velocidad del viento,

etc.) pueden ser considerablemente mayores. Por su parte, Heermann y Kohl (1980) las cuantifican en torno a un 1-2% del agua descargada (límite 6% dependiendo del tamaño de gota y las condiciones atmosféricas, basándose en datos de diferentes autores).

### **2.6.7. 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:

—

[02.19]

Dónde:

A = Área (m<sup>2</sup>).

$\pi$  = 3.14159.

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 se utiliza la siguiente fórmula:

[02.20]

O sea la velocidad está dada por:

$$V = \frac{Q}{A}$$

[02.21]

Dónde:

Q = Caudal (m<sup>3</sup>/s).

V = Velocidad (m/s).

A = Sección o área calculada por la ecuación.

Según 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. 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.

[02.22]

### 2.6.8. PERDIDAS DE CARGAS PERMISIBLES.

El método de Hazen - Williams (1905) es válido solamente para el agua que fluye en las temperaturas ordinarias (5 °C - 25 °C). La fórmula es sencilla y su cálculo es simple debido a que el coeficiente de rugosidad "C" no es función de la velocidad ni del diámetro de la tubería. Es útil en el cálculo de pérdidas de carga en tuberías para redes de distribución de diversos materiales, especialmente de fundición y acero.

—

[02.23]

Dónde:

Hf: Pérdida de carga.

Q: caudal (m<sup>3</sup>/s).

C: coeficiente de Hazen - Williams (PVC. 140 - 150).

D: diámetro de la tubería (m).

L: longitud de la tubería (m).

Condición de diseño:

Hf perm ≤ 20% Pm asp.

Hf perm ≤ 20% (45 PSI).

### 2.6.9. PRESIÓN DE ENTRADA DEL LATERAL (PI). (Fuentes 2003).

Para calcular la presión de entrada de un lateral se utiliza la ecuación general y se la puede expresar así:

[02.24]

O bien:

[02.25]

Para diámetros combinados se tiene:

[02.26]

Dónde: (presiones en kPa):

Pi: Es la presión de entrada al inicio del lateral.

Pp: Presión de operación promedio del aspersor.

Pf: Perdida de presión por fricción en el lateral.

Pt: Diferencia de presión debido a la topografía.

Pr: Presión requerida para llevar el agua desde el lateral hasta el aspersor (elevador) considerada en 9,8 kPa/m de elevador.

Hi: Presión de entrada al inicio del lateral en m.

Hp: Presión de operación promedio del aspersor en m.

Hf: Pérdida de presión por fricción en m.

DEL: Diferencia de elevación del lateral, si el flujo del agua en el lateral sube, la diferencia es negativa y si baja es positiva en m.

He: Altura del elevador en m.

#### **2.6.10. RADIO DE ALCANCE DE UN ASPERSOR**

En tablas de rendimiento de los emisores de riego figura un parámetro importante, el radio de alcance, cuyo valor está comprendido para un terreno llano. Sin embargo, si uno pretende colocar los aspersores en un talud, el alcance se verá afectado por la influencia de la gravedad terrestre, de modo que en dirección cuesta abajo se prolonga, mientras que hacia arriba se acorta. 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. (LM 2011)

#### **2.7. CALIDAD DEL AGUA DE RIEGO**

Para la evaluación del riego debido a la sodicidad del agua se han empleado mucho las fórmulas de la relación de absorción del sodio (RAS) y de porcentaje de sodio intercambiable (PSI) dada por, Richards (1954). A partir de estas relaciones se elaboró el conocido cuadro de clasificación U.S. Salinity Laboratory Staff. La clasificación de Richards, sin embargo, adolece de defectos que han inducido a otros investigadores a obtener nuevos índices.

Actualmente se considera que uno de los índices más adecuados para definir el riesgo de sodicidad de un agua de riego es el RAS ajustado ( $RAS_a$ ) definido por (Suarez 1981).

$$\frac{Na + \frac{Ca}{2} + \frac{Mg}{2}}{Ca + Mg} [02.27]$$

Dónde:

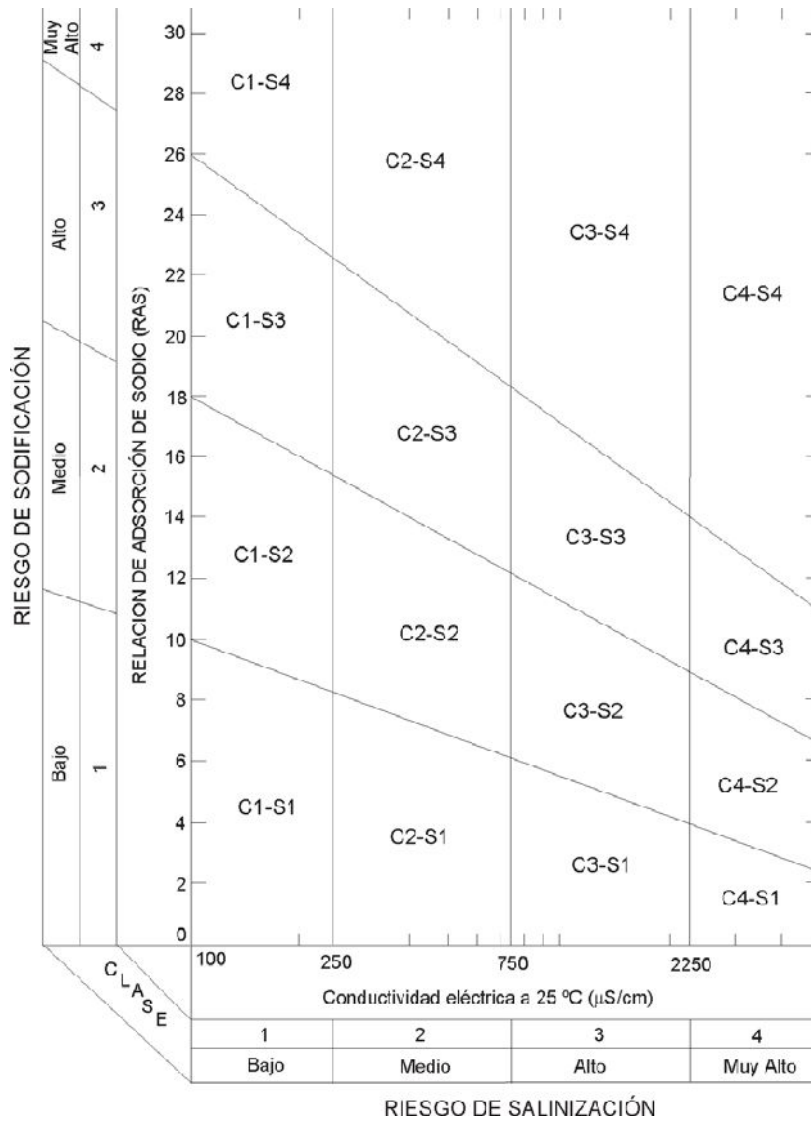
Na: concentración de iones de sodio.

Ca: concentración de iones de calcio.

Mg: concentración de iones de magnesio.



**Cuadro. (02.01) Clasificación de salinidad del agua propuesta por U.S.L.S.**



### 2.7.1. CLASIFICACIÓN DE LA FAO

La clasificación de aguas de riego del USLS debe ser reemplazado por otras clasificaciones más adecuadas como la de la FAO (Tabla 02.01), que además, incluye otros aspectos como la toxicidad a iones específicos. Se observa, como al aumentar la conductividad eléctrica del agua se admite un RAS mayor, al contrario que la clasificación del USLS. Así, por ejemplo, un agua con una conductividad por debajo de 200 mS/ cm y un RAS de 5 es considerada como de muy buena calidad por la clasificación del USLS, por el contrario en la clasificación de la FAO presenta las peores características posibles en cuanto a infiltración, con severas restricciones para su uso. (Ayers y Westcot, 1985).

**Cuadro. (02.02) Clasificación propuesta por la FAO**

	GRADO DE RESTRICCIÓN DE USO		
	NINGUNO	LIGERO O MODERADO	SEVERO
problema potencial: SALINIDAD			
C.E	<0,7	0,7-3,0	<3,0
Problema potencial: INFILTRACION			
RAS entre 0 y 3 y C.E.	>0,7	0,7-0,2	<3,0
RAS entre 3 y 6 y C.E.	>1,2	1,2-0,3	<0,3
RAS entre 6 y 12 y C.E.	>1,9	1,9-0,5	<0,5
RAS entre 12 y 20 y C.E.	>2,9	2,9-1,3	<1,3
RAS entre 20 y 40 y C.E.	>5,0	5,0-2,9	<2,9

## **2.8. CULTIVO DE CACAO (*Theobroma cacao* L.)**

*El Theobroma cacao* L. es originario de los trópicos húmedos de América, noroeste de América del Sur, zona amazónica. De la familia Esterculiáceas. Su fisiología: un árbol de tamaño mediano (5-8 m) aunque puede alcanzar alturas de hasta 20 m cuando crece libremente bajo sombra intensa. Su corona es densa, redondeada y con un diámetro de 7 a 9 m. Tronco recto que se puede desarrollar en formas muy variadas, según las condiciones ambientales. Raíz principal pivotante y tiene muchas secundarias, la mayoría de las cuales se encuentran en los primeros 30 cm de suelo. Hojas simples, enteras y de color verde bastante variable (color café claro, morado o rojizo, verde pálido) y de pecíolo corto. Sus flores son pequeñas y se producen, al igual que los frutos, en racimos pequeños sobre el tejido maduro mayor de un año del tronco y de las ramas, alrededor en los sitios donde antes hubo hojas. Las flores son pequeñas, se abren durante las tardes y pueden ser fecundadas durante todo el día siguiente. Fruto de tamaño, color y formas variables, pero generalmente tienen forma de baya, de 30 cm de largo y 10 cm de diámetro, siendo lisos o acostillados, de forma elíptica y de color rojo, amarillo, morado o café. (Infoagro 2007).

### **2.8.1. EXIGENCIAS AGROECOLOGICAS DEL CULTIVO**

Según (Pastorelly *et. al.* 2006) las exigencias agroecológicas en el cultivo de cacao son: temperaturas mínima de 20°C y máximas de 26°C, siendo la óptima de 21°C. Suelos de textura suelta, arcillosos agregados y franco arenosos. Tolerancia a salinidad cero. Profundidad efectiva de enraizamiento de 1,2 m. horas luz entre 800 y 1000 h/año. Humedad relativa óptima de 75%. Tolerancia a inundaciones de 3 – 4 días. Precipitación de 1500 a 2000 mm repartido en todo el año en zonas cálidas, y en épocas seca de 180 a 250 mm. Y en zonas húmedas requiere de 1200 a 1500 mm por año repartido en época seca entre 100 a 120 mm de agua.

### **2.8.2. RIEGO EN EL CULTIVO DE CACAO**

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 a 2500 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. (Amores 2002).

### **2.9. RECOMENDACIONES PARA EL USO DE RIEGO EN CACAO**

Según INIAP (2008) se tienen las siguientes recomendaciones para el uso del riego en este cultivo: 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 (02.03). Cantidades de agua (mm) a aplicar entre Julio y Noviembre en Huertas de cacao del sistema Carrizal-Chone.**

<b>Etapa del cultivo</b>	<b>Cada 15 días</b>	<b>Cada 30 días</b>	<b>Cantidad total</b>
Transplante definitivo al campo	<b>50</b>	<b>---</b>	<b>500</b>
Plantas en producción	<b>---</b>	<b>100</b>	<b>500</b>

### III. MATERIALES Y METODOS

#### 3.1. UBICACIÓN.

La Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí “Manuel Félix López” se encuentra ubicada en el sitio El Limón del Cantón Bolívar, dentro de las siguientes coordenadas: Latitud 0° 49' 10" sur; Longitud 80° 10' 40" oeste; Altitud 15m.s.n.m.

Esta institución cuenta con un área total de 110 Ha, de las cuales 17 Ha pertenecen a la carrera de Agrícola de estas 0,91 Ha están sembradas con cacao y aquí se implementó el sistema de riego por aspersión, el cual se evaluó en el presente trabajo.

#### 3.2. CARACTERÍSTICAS EDAFOCLIMATICAS. <sup>1</sup>

Precipitación medio anual	838,7 mm
Humedad relativa media	78 %
Temperatura media anual	25,6 ° C
Heliofanía	1158 horas al año
Velocidad del: viento	0.77 m/s

---

<sup>1</sup>Estación meteorológica (2010) Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí “MFL” Calceta. Ecuador.

### **3.3. EVALUACION TÉCNICA DEL SISTEMA DE RIEGO INSTALADO**

Para evaluar el sistema de riego se tomó en cuenta varios factores tales como el diagnóstico de campo y otros parámetros como son coeficiente de variación (CV), la uniformidad de distribución referida al 25% del área menos regada (UD), el coeficiente de uniformidad (CU) de Christiansen.

#### **3.3.1. DIAGNOSTICO DE CAMPO**

Mediante el recorrido desde la toma de agua, hasta la aplicación de la misma al cultivo, se constató la ubicación y partes constituidas del sistema de riego tales como: equipos, tuberías, elevadores, aspersores y accesorios de un determinado módulo de riego o área representativa.

#### **3.3.2. PARÁMETROS TÉCNICOS DE EVALUACIÓN**

Primeramente se procedió a recopilar toda la información pertinente al sistema de riego ya instalado: como es el diseño del sistema de riego, con sus respectivas características técnicas del equipo de riego; los cuales se los ubicará en la sección de resultados. En base a la información disponible se realizó la evaluación técnica en los diversos módulos (laterales) representativos del sistema de riego. La evaluación consistió en la determinación de los siguientes parámetros técnicos.

### 3.3.2.1. PRESIÓN DE ENTRADA Y PRESIÓN DE SALIDA DEL LATERAL

Se utilizó un manómetro de aguja instalado a la entrada y salida de un lateral crítico y de igual forma en el primer y último aspersor. Estos resultados serán comparados con las especificaciones técnicas del catálogo del fabricante y los criterios técnicos del diseño: es decir que la variación de presión debe ser menor al 10% (condición  $\Delta P \leq 10\%$ ), para que el lateral este bien seleccionado.

---

[03.01]

Dónde:

$\Delta P$ : Variación de Presión

$P_{max.}$ : Presión Máxima

$P_{min.}$ : Presión Mínima

### 3.3.2.2. PERDIDA DE CARGA PERMISIBLE

Se determinó las pérdidas de carga en la red de riego se utilizamos la ecuación de Hazen – Willians.

---

[03.02]



Dónde:

Hf: Pérdida de carga.

Q: caudal (m<sup>3</sup>/s).

C: coeficiente de Hazen - Willians (PVC. 140 - 150).

D: diámetro de la tubería (m).

L: longitud de la tubería (m).

Condición de diseño:

Hf perm ≤ 20% Pm asp.

Hf perm ≤ 20% (45 PSI).

### 3.3.2.3. INTENSIDAD DE PRECIPITACIÓN DEL SISTEMA

La intensidad de precipitación real de un par de laterales de aspersores se la determino utilizando cajas pluviométricas.

La intensidad de precipitación se la calculo mediante la siguiente relación:

---

[03.03]

---

[03.04]

Dónde:

$I_p$ : intensidad de precipitación (mm/hrs).

Vol: volumen recolectado ( $\text{cm}^3$ ).

Tpo: tiempo de aplicación (hrs).

#### **3.3.2.4. DESCARGA DEL ASPERSOR**

Se colocó un balde de 13 litros, con una manguera se introdujo en la boquilla del aspersor y se procedió a llenar el agua, para el cálculo se utilizó el método volumétrico. En resultados se hará la comparación de caudales con las referencias la dicha técnica.

[03.05]

Dónde:

Q: Caudal (lt/h).

V: Volumen (lt.).

T: Tiempo (s).

#### **3.3.2.5. COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE CHRISTIANSEN (CUC) 1942**

Para evaluar el grado de uniformidad en la aplicación del agua al suelo se colocaron pluviómetros alrededor del aspersor a una distancia de 3 m., con un total de 25

pluviómetros por observación, y se determinó el coeficiente de uniformidad mediante la siguiente fórmula.

---

[03.06]

Dónde: CU= coeficiente de uniformidad de Christiansen, en %;  $x1=|xi- x |$ = desviación absoluta de las observaciones de precipitación individuales respecto a la media, en  $cm^3$  o mm;  $xi$ = observaciones individuales de lámina de agua captada en cada punto de una malla regular de colectores de precipitación del sistema de aspersión, en  $cm^3$  o mm;  $x$ = precipitación media, en  $cm^3$  o mm;  $n$ = número de observaciones consideradas.

**CUC:** Entre 70 y 84% se considera aceptable.

**CUC:** Mayor a 84% se considera bueno.

### 3.3.2.6. COEFICIENTE DE VARIACION

---

Dónde:

Cv: Coeficiente de variación.

: Desviación Standard de las láminas medidas en las observaciones individuales.

$X_m$ : lamina recogida promedio.

### **3.3.2.7. EFICIENCIA DE DESCARGA**

—

Ed: eficiencia de descarga. (%)

Hm: pluviometría media. (mm/h).

qr: pluviometría media aplicada (mm/h).

### **3.3.2.8. UNIFORMIDAD DE LA ZONA EVALUADA**

Antes de comenzar el riego, se colocó una red de vasos pluviométricos formando una malla de 3x3 m. entre tres ramales, se recogió agua de 9 aspersores. Se comenzó a regar y los vasos recogieron la lluvia de los aspersores por 2 horas. Al finalizar la evaluación se procedió a medir el volumen de agua recogido en cada vaso con ayuda de una probeta graduada de 1000 ml.

Con los volúmenes recogidos por zona (observación) se calculó:

- La media de todos los volúmenes medidos en cada uno de los vasos ( $V_m$ ).

- La media de los volúmenes medidos en la cuarta parte de los vasos que han recogido menos agua ( $V_{25\%}$ ).
- La uniformidad de Distribución de la zona evaluada (UD) se obtuvo utilizando la siguiente fórmula:

---

[03.09]

### 3.3.2.9. UNIFORMIDAD DE INSTALACION

Para obtener la Uniformidad de Distribución (UD) se midió la presión en varios aspersores distribuidos dentro de las zonas evaluadas con diferentes presiones y en el primer y último aspersor del lateral en los que se encuentran situados.

Con los valores de presión medidos se determinó.

- La presión mínima de los aspersores que se han medido ( $P_{\min}$ ) en  $\text{Kg/cm}^2$ .
- Se midió la presión del primer (presión máxima,  $P_{\max}$ ) y el ultimo aspersor (presión mínima,  $p_{\min}$ ), se estimó a la presión media como.

---

[03.10]

Una vez conocidos los valores de  $P_{\min}$  y  $P_m$  se calculó la UD mediante la siguiente fórmula:

$$\frac{\frac{P_m}{P_{\min}}}{\frac{P_m}{P_{\min}}}$$

[03.11]

Hasta aquí, la uniformidad calculada corresponde a la unidad de riego. Pero para calcular la Uniformidad de aplicación del agua en toda la instalación, se procedió al cálculo de valores de presión de toda la unidad de riego:

- La presión mínima de las que se han medido en todos los aspersores ( $P'_{\min}$ ) en  $\text{Kg/cm}^2$ .
- La media de las presiones medidas en todos ellos ( $P'_m$ ).
- Una vez conocido estos valores de  $P'_{\min}$  y  $P'_m$  se calculará la UD (instalación) mediante la siguiente fórmula:

$$\frac{\frac{P'_m}{P'_{\min}}}{\frac{P'_m}{P'_{\min}}}$$

[03.12]

### 3.3.2.10. LAMINA DE AGUA APLICADA POR LOS ASPERSORES

La lámina de agua aplicada ( $L_a$ ) se la calculó en cada una de las observaciones con la relación:

- Se calculó el caudal de cada aspersor, en litros por hora.

---

[03.13]

- Seguidamente se calculó el caudal aplicado sobre la zona evaluada (litros/hora). Se calculó tomando en cuenta 6 aspersores dentro de la observación, la cuarta parte del agua de los aspersores de las esquinas y la mitad de los otros y la mitad de los otros dos cae en la zona evaluada.

**Gráfico (03.01). Diagrama de toma de caudales.**



---

$L_a$  se obtuvo con la siguiente fórmula:

---

[03.14]

### 3.3.2.11. LAMINA DE AGUA RECOGIDA EN LOS PLUVIOMETROS

La lámina recogida por los pluviómetros ( $L_p$ ) se la calculó en cada una de las observaciones de la siguiente manera:

Se calculó el área de la embocadura del vaso ( $\text{cm}^2$ ) con la siguiente ecuación:

[03.15]

La lámina de agua recogida en los vasos se la calculo así:

---

[03.16]



### **3.3.2.12. PERDIDA POR EVAPORACIÓN Y ARRASTRE DEL VIENTO**

Las pérdidas por evaporación y arrastre del viento ( $P_e$ ) se lo calculo como la diferencia entre la lámina aplicada por los aspersores ( $L_a$ ) y la lámina de agua recogida en los pluviómetros ( $L_p$ ).

---

[03.17]

### **3.3.2.13. GRADO DE PULVERIZACIÓN DEL AGUA O GROSOR DE LA GOTA**

El grosor de la gota se lo evaluó con el índice de grosor (IG). Para calcular IG se medió a la presión ( $p$ )  $\text{kg/cm}^2$  en cada uno de los aspersores seleccionados para la evaluación y el diámetro ( $d$ ) de las boquillas en mm.

---

[03.18]

## **3.4. DISEÑO AGRONÓMICO**

Los parámetros aquí utilizados varían directamente de acuerdo con el comportamiento climático

### 3.4.1. EVAPOTRANSPIRACIÓN $ET_0$

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

---

Dónde:

$Et_0$ : evapotranspiración diaria

$K_p$ : coeficiente de la cubeta.

$E_d$ : evaporación diaria.

$E_m$ : evaporación mensual.

$N^{\circ}_{días}$ : números de días del mes.

### 3.4.2. NECESIDAD HÍDRICA DIARIA DEL CULTIVO

Dónde:

$N_{diaria}$ : necesidad diaria.

$Kc$ : es el casete del cultivo.

### **3.4.3. NECESIDAD MENSUAL DEL CULTIVO**

Dónde:

$N_m$ : necesidad mensual del cultivo.

### **3.4.4. RESERVA DE AGUA DISPONIBLE**

Dónde:

$R_{ad}$ : reserva de agua disponible.

$A_d$ : agua disponible.

$Cc$ : capacidad de campo.

$P_m$ : punto de marchitez.

### **3.4.5. RESERVA DE AGUA FÁCILMENTE DISPONIBLE**

Dónde:

$R_{afd}$ : reserva de agua fácilmente disponible.

$F_a$ : fracción de agotamiento.

### **3.4.6. PRECIPITACIÓN EFECTIVA MENSUAL**

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

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

$P_e$ : precipitación efectiva.

P: precipitación mensual.

### 3.4.7. INTERVALO DE RIEGO

—

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

Dónde:

X: meses con precipitaciones mayores a 75 mm.

$P_{e>75}$ : precipitación efectiva >75.

Donde 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:

### **3.4.9. DOSIS NETA AJUSTADA**

—

$D_{na}$ : dosis neta ajustada.

$E_f$ : eficiencia (75%).

### **3.4.10. TIEMPO DE RIEGO DIARIO**

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

—————

Primeramente se calculó la superficie regada (S):

---

Dónde:

$R_{pa}$ : plantas que riega un aspersor.

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

---

### **3.4.11.CAUDAL NECESARIO**

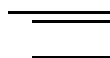
El caudal necesario para el mes es el siguiente:

---

$Q_m$ : caudal mensual.

### **3.5. CALIDAD DEL AGUA DE RIEGO**

Para lo cual, se tomó una muestra de 1 litro de agua de la fuente de abastecimiento, utilizada para el riego, en un recipiente. Se lavó con la misma agua varias veces para evitar alteración de la misma, la cual se la envió al laboratorio, INIAP, Pichilingue. Luego se determinó el RAS, con la siguiente formula.





## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. EVALUACIÓN TÉCNICA DEL SISTEMA DE RIEGO

En el diagnóstico de campo se encontró las características del sistema de riego están en perfectas condiciones, pero el aspersor que está siendo utilizado es el Xcell wobbler turquesa con un caudal de 3,14 galones por minutos, con una presión de 20 PSI, lo que difiere de lo planteado por (Sornoza y López, 2011).

Una vez realizados los cálculos de la evaluación del diseño de riego por aspersión los resultados fueron:

**Cuadro (04.01). Cálculos de la evaluación del sistema de riego.**

<b>CALCULOS DEL DISEÑO DE RIEGO POR ASPERCION</b>				
<b>CU</b>	<b>Cv</b>	<b>UD</b>	<b>UD(Inst)</b>	<b>Ed</b>
<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>
97	74	27	26	63

Dónde:

CU: coeficiente de uniformidad.

Cv: coeficiente de variación.

UD: uniformidad de distribución.

Ed: eficiencia de descarga.

La Uniformidad de distribución reporta un valor bajo de Uniformidad de (27%), que es un valor inferior al recomendado por Keller y Bliesner (1990) que tiene como umbral mínimo (80%) reportado como aceptable. Estas condiciones de riego se encuentran, debido a la gran cantidad de obstáculos como son las hojas, ramas del cacao, que por estar en un periodo de crecimiento y las plantas de plátano que se las utiliza como sombra, hasta que el cultivo de cacao alcance su desarrollo máximo y entre a su producción estabilizada, sumado a esto las perdidas por evapotranspiración y arrastre del viento.

Sin embargo el valor del coeficiente de Uniformidad de Christiansen (CU) demuestra un valor relativamente alto (97 %). Esta fórmula está relacionada a la variación de los valores en relación a la media geométrica, y no a los valores más bajos de la altura media de agua recogida en el 25% del área menos regada entre la altura media del agua recogida en los pluviómetros.

Considerando los valores de eficiencia de riego y los de uniformidad, se podría decir que al momento de riego se privilegia aplicar lo más uniformemente posible antes de centrarse en la eficiencia de aplicación propiamente. La pérdida por evaporación, efecto del viento y obstrucciones de vegetales es del 36%.

## 4.2. DISEÑO AGRONÓMICO

Realizado los cálculos del diseño agronómico los resultados fueron los siguientes:

**Cuadro. (04.02). Resultado del diseño agronómico realizado para el cultivo de cacao.**

Meses	Et□	N.d(mm)	Nm(mm)	Pe	In(día)	Dn(mm)	Dna(mm)	Qm(l/h)	T(min)
Sep.	4.52	4.04	121.12	-9.1	1	4.04	5.38	728.15	4.08
Oct.	4.23	4.44	137.58	-9.58	1	4.44	5.92	725.81	4.49
Nov.	3.39	3.56	106.65	-7.84	1	3.56	4.74	726.80	3.59
Dic.	2.41	2.53	78.34	189.56					
Ene.	2.83	2.97	92.07	49.88	1	2.97	3.96	728.64	3.00
Feb.	3.59	3.77	105.62	55.16	1	3.77	5.09	722.92	3.81
Mar.	4.54	4.76	147.47	22.64	1	4.76	6.35	730.02	4.81
Abr.	3.38	3.55	106.47	143.16					
May.	3.92	4.11	127.50	-8.86	1	4.11	5.48	817.71	4.16
Jun.	3.38	3.55	106.56	-2.92	1	3.55	4.74	726.19	3.59
Jul.	3.51	3.68	114.11	-4.42	1	3.68	4.91	654.09	3.72
Ago.	4.28	4.49	139.49	-9.7	1	4.49	5.97	723.05	4.53

Dónde:

**Et<sub>o</sub>**: evapotranspiración. **Nd**: necesidad hídrica diaria del cultivo. **Nm**: necesidad hídrica mensual del cultivo. **Pe**: precipitación efectiva. **In**: intervalo de riego. **Dn**: dosis neta del cultivo. **Dna**: dosis neta ajustada. **Qm**: caudal mensual del cultivo. **T**: tiempo de riego.

La evapotranspiración Potencial ( $ET_o$ ) tienen un promedio mensual durante todo el año entre 2,41 y 4,52 mm; de la misma forma las necesidades diarias están entre 2,53 y 4,49 mm, con comitentemente las necesidades mensuales están en rango comprendidos entre 78,34 y 139,49 mm Por ello este proyecto se propone hacer un intervalo de riego diario, con un tiempo de riego promedio entre 4,30 a 2,68 minutos. 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.

### **4.3. GUIA DE MANEJO DEL SISTEMA DE RIEGO**

Regular bien los aspersores y difusores para que cubran toda la superficie. Antes de abrir la válvula del cabezal de riego se deben tener listos y abiertos los aspersores De acuerdo al caudal y a las presiones se deberá regar con 25 aspersores, que comprende a tres laterales, con una presión de 20 psi y un caudal de 3,14 galones por minutos. Los intervalos de riego serán diarios como el cultivo lo requiere según el cálculo del diseño agronómico el tiempo de riego tiene un rango de 4,30 a 2,68 minutos diarios.

Si algún aspersor o difusor no sale agua es que estará obstruido, para corregir esto se debe quitar la tobera, dejar correr el agua por si hubiese más suciedad en la tubería. Esto es normal que se produzca en las pruebas iniciales o al comenzar una nueva etapa de riego. Otra causa de que el agua caiga más cerca es que la presión de entrada del agua haya caído por debajo de la normal. Se lo debe comprobar en el manómetro situado a la entrada.

La calidad del agua el índice de relación de absorción sodio (RAS) nos da como resultado 3.005 según la tabla de clasificación de la FAO esta no presenta ningún grado de restricción en su uso agrícola.

## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. CONCLUSIONES

- El coeficiente de Uniformidad de Christiansen, con un valor relativamente alto (97%), es aceptable porque las tuberías cumplen con las especificaciones técnicas, así como el manejo del agua.
  
- De acuerdo a los parámetros de evaluación de eficiencia de sistemas de riego por aspersión, este presenta una eficiencia media (63%), lo cual se atribuye a los obstáculos, como las hojas del cacao, tallos de plátano y al fuerte viento presente en la zona.
  
- La tubería es de 63 mm con un diámetro interno de 57 mm, está diseñada para conducir 5,5 L/seg, con una pérdida de carga de 5,94 mca. Con la finalidad de aprovechar este potencial del sistema, se adquirieron nuevos aspersores de modelo Xcell Wobbler turquesa, los que poseen un caudal de 712 L/h con una presión de 20 PSI.
  
- Seguir los pasos de uso del sistema detallados en la guía, ayudara a alcanzar la vida útil de los emisores y el sistema en general.

## 5.2. RECOMENDACIONES

- Realizar evaluaciones periódicas, de los sistemas de riego implementados en los cultivos, para ajustarlos de acuerdo a las condiciones edáficas y meteorológicas de la zona.
  
- Efectuar periódicamente las labores culturales en el cultivo de cacao, eliminando los obstáculos de hojas tallos, para elevar la uniformidad de distribución del agua.
  
- Se recomienda realizar los riegos tomando en cuenta el uso consuntivo del cacao y las frecuencias de riego realizarlas de acuerdo a las condiciones climáticas.
  
- Realizar una planificación de riego para el manejo ordenado del agua dentro de los predios agrícolas de la ESPAM-MFL que permita tener el caudal y la presión necesaria para el uso y operación de todos los sistemas de riego.
  
- Realizar estudios sobre la salinidad en el suelo para analizar si es necesario hacer lavados ya que el cultivo de cacao no tolera ningún grado de salinidad.

## **BIBLIOGRAFIA.**

- Alabanda, J., 2001. "Evaluación y manejo de los sistemas de riego". Tesis. Ing. Agrónomo. UNC. Córdoba. AR. p. 38.
- Amores, F., 2002. Requerimientos de suelo para el cultivo del cacao. Revista Sabor arriba. Vol.1 N° 2. ANECACAO. Guayaquil. EC. p.18-20.
- ASAE (Sociedad Americana de Ingenieros Agrícolas), 2011. Guía de boquillas de pulverización. (En línea). USA. Consultado, el 25 de nov. Formato (PDF). Disponible en [http// www.teejet.com](http://www.teejet.com).
- Ayers, R. y Westcot, D., 1985. Calidad de agua para la Agricultura. Davis. California. USA. FAO. 29. Vol. 1. p.174.
- Bralts, V.; Edwards, D.; Wul, P., 1997. El riego. Diseño y evaluación de riego basado en el concepto de uniformidad estadística, los avances en materia de riego. 2. ed. Madrid. ES. p 67-117.
- Burman, R.; Nixon, P.; Wright, J. y Pruitt, W., 1981. "Water requirements" Estudio la distribución técnica del agua del ramal Chichipata (zona 1), sistema de riego Tumbaco, Pichincha. Revista Rumipamba. Vol. 20 N° 1. p. 41.
- Cárdenas, J., 2000. Estudio del uso de la boquilla difusora cubana en las máquinas de riego de pivote central, Tesis Master en Riego y Drenaje. La Habana. Cuba. p. 432-435.



- Chambouleyron, J., 1993. Riego y drenaje: Tomo II. Libro de Texto para el Curso de Hidrología Agrícola Cátedra de Hidrología Agrícola. 4 ed. Colombia. p. 556.
- Christiansen J., 1942. Irrigation by Sprinkling. Revista, Cie Téc Agr. San José de las Lajas. Mayabeque. Cuba. Vol.19. N°4. p. 180.
- Cueva, S y Sanmartín, M., 1997. Evaluación y Propuesta Técnica de Manejo de Riego por Aspersión en Banano en la Hacienda “Santa Zoila” Machala.El Oro. Tesis de Ing. Agrícola. UNL. Loja. Loja. EC. p.6-8.
- El Diario, 2010. Proyecto Carrizal – Chone Inicia Exportación de cacao. (En línea), consultado, 25 marzo. Formato (HTML). Disponible: <http://www.ecuadorinmediato.com>.
- Ferreyra, R.; Peralta,F.; Sellés, G.; Fritsch,N.; Contador, F. y Rubio, A., 1995. Respuesta del cultivo del espárrago (*Asparagus officinalis* L.) a distintos regímenes de riego durante las dos primeras temporadas de establecimiento. Revista, Agricultura Técnica. Chile. Vol. 47. p.254-259.
- Fuentes, J., 2003. Técnicas de Riego. 4 ed. Ministerio de Agricultura y Pesca. Madrid. ES. p. 229.
- Grassi, C., 1976. Estimación de usos consuntivos de agua y requerimientos de riego, con fines de formulación y diseño de proyectos. Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras. Mérida. Venezuela. Revista, CIDIAT. Vol. 35. p. 59.
- Hazen – Willians., 1905. Perdidas de cargas en tuberías. (En línea). Consultado, 12 de Sept. Formato (HTML). Disponible: <http://www.miliarium.com>.

Heermann, D y Kohl, R., 1980. Fluid dynamics of sprinkler systems. Ed. Design and operation of farm Irrigation System, ASAE. San José. MI. USA. p. 583-618.

INFOAGRO, (2007). EL cultivo de cacao. Parte 1. (En línea). Consultado, 21 ene. Formato (HTML). Disponible: <http://www.infoagro.com>.

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

Jiménez, J., 2003. Eficiencia de riego por aspersion en condiciones de ladera en la parte baja de la microcuenca de "Mishka Mayu" Cochabamba. Tesis de ing. Agrícola. UMSS. Cochabamba. Bol. p. 92

Keller J.; Corey, W. y Vavra M., 1981. Evaluation of Irrigation Systems. Journal. Irrigation Challenges org the 80's. ASAE. San Jose. Michigan. USA. Vol. 7. p. 95-105.

Keller. J., Bliesner, R., 1990. Sprinkle and trickle irrigation. Journal, bras. Eng. Agric. Ambient. Campina Grande. USA. Vol. 14. N° 1. p. 652.

L.M., S.L., 2011. Lotus Mallorca, L.S. Aplicación para el diseño de riego. (En línea). ES. Consultado el 12 nov. Formato (PDF). Disponible: <http://www.lotudmallorca.com>.

Martínez, M., 1993. Hidráulica Aplicada a proyectos de Riego. Universidad de Murcia, ES. p. 311.

- Montero, J., 2000. Análisis de la Distribución de Agua en el Sistema de Riego por Aspersión Estacionario. Universidad de Castilla. La Mancha. Revista, AGROS 35. Vol.3. Nº 46. p. 125.
- Moyatales, J., 2009. Cálculos agronómicos relacionados con el riego. Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras. Mérida. Venezuela. p. 25.
- Ortega-Farías, S; Márquez, J; Valdés, H y Paillán, J., 2001. Efecto de cuatro láminas de agua sobre el rendimiento y calidad del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill. cv. FA-144) de invernadero producido en otoño. (En línea). Chile. Consultado, 22 nov. Formato (PDF). Disponible: en <http://www.inia.cl/at/espanol>.
- Pastorelly, D.; Vera, M., Pilamunga, M.; Izquierdo, L.; Mejia y Posligua, W.; Zambrano, D.; Rodriguez, R., 2006. Manual del cultivo de cacao. ANECACAO, Guayaquil, Ec. p 80. (En línea). EC. Consultado, 29 de ene. Disponible en, <http://www.ciifen-int.org>.
- Richards, L. 1954. Diagnóstico y mejoramiento de suelos salinos y alcalinos. Manual Agrícola. California. U.S.A. p. 60-160. (En línea). USA. Consultado, 29 de ene. Archivo (PDF). Disponible: <http://www.sbcs.com>.
- Rocamora, M y Peraza, M. 2007. Evaluación de Sondas TRD para la determinación de las propiedades hidrofísicas de los sustratos y la eficiencia de aplicación de 4 sistemas de riego localizado en condiciones de Organopónico. Tesis de ing. Agrícola. La Molina. Perú. P. 78.

- Rodrigo, J. y Pérez, R., 1994. Riego Localizado. II. Programas informáticos. Mundi – Prensa, S. S., IRYDA, Centro Nacional de Tecnología de Regadíos. 4 ed. Madrid. ES. p 225-226.
- 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. ISRAEL. (En línea). IS. Consultado, 29 de ene. Formato. (PDF). Disponible: en <http://www.unne.edu.ar>.
- Sornoza, C., y Lopez, N., 2011. Diseño e instalación de un sistema de riego por aspersión, para el cultivo de cacao (*Teobroma cacao*) en el área de la carrera de agrícola de la ESPAM-MFL. Tesis de Ing. Agrícola. Calceta, EC. p. 45-46.
- Suarez, D., 1981. Ciencia del suelo. Revista, Sociedad Americana. USA. Vol. 45, p. 469– 475.
- Tarjuelo, J. Martin – Benito, 1992. El riego por aspersión: Diseño y funcionamiento. 2. ed. Mundi – Prensa. Madrid. ES. p. 83 y 235.
- Tarjuelo, J. Martin – Benito, 2005. El Riego por Aspersión y su tecnología. 3. ed. Mundi–Prensa. Madrid. ES. p.184.
- U.T. (Universidad Talca), 1999. Facultad De Ciencias Agrarias. Demanda hídrica y Programación de Riego. (Cuenca del Limari, Chapter VI, 1999). Editorial universidad Talca y de Lleida, ES.

- Valin, M.; Calejo, M.; Jorge, J.; Pereira, L., 2003. Field evaluation of sprinkler irrigation systems in, Alantejo. Causes of problems and improving performances. (Proceedings VI inter-Regional Conference on environment – Water, Alvacete, September 2003), CREA. Univ. Castilla. La Mancha, ES
- Valverde, J.C. 2007. Riego y Drenaje. 2 reimpresión. ed. Universidad Estatal a Distancia (UNED). San José, Costa Rica. p. 94.
- Villa, A y Sanmartín, O., 1986. Evaluación de los Sistemas de Riego en Centro de Loja. Tesis de Ing. Agrícola. UNL. Loja. Loja. EC. p. 6-8.

## COSTO DE EVALUACION

<b>PRESUPUESTO</b>				
<b>RUBRO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO</b>	<b>COSTO TOTAL</b>
		HA (9119.6m2)	UNITARIO (USD)	HA 9119.6 m <sup>2</sup>
<b>MATERIALES</b>				
Manómetro		2	35	70
Manguera flexible 2 cm de diámetro	m	2.5	5	12,50
Bidón plástico	1	1	5	5
Flexómetro	1	1	10	10
Documento final	1	1	350	350
<b>MANO DE OBRA</b>				
Viáticos y Jornales		15	15	225
<b>IMPREVISTOS</b>				
Al 10%				67,25
<b>Total</b>				<b>739,75</b>

# ANEXOS

## ANEXO 1.

### PERDIDA DE CARGAS PERMISIBLES.

Datos:

Q: 0.000138 m<sup>3</sup>/s (712.15 L/H).

C: coeficiente de Hazen –Willians (PVC 140-150).

D: 0.047(m).

L: 49.9m

—

\_\_\_\_\_

*Variación de presión.*

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_



## ANEXO 2

### CÁLCULOS PARA DETERMINAR UNIFORMIDAD DE RIEGO EN EL SISTEMA.

#### *Coefficiente de uniformidad de Christiansen.*

Dónde:

: Valor absoluto.

$X_m$ : media de las láminas recogidas.

N: número de pluviómetros.

---

Primera observación.

---

Segunda observación.

---

Tercera observación.

---

Cuarta observación.

---

Quinta observación.

---

Sexta observación.

---

Séptima observación.

---

Octava observación.

---

Novena observación.

---

***Coefficiente de variación.***

---

Dónde:

Cv: coeficiente de variación.

: Desviación estándar.

$X_m$ : media de la lámina recogida.

Primera observación.

---

Segunda observación.

---

Tercera observación.

---

Cuarta observación.

---

Quinta observación.

---

Sexta observación.

---

Séptima observación.

---

Octava observación.

---

Novena observación.

---

***Eficiencia de descarga.***

---

Dónde:

Ed: eficiencia de descarga %.

Hm: Pluviometría media (mm/h).

qr: Pluviometría media aplicada (mm/h)

Primera Observación

---

Segunda Observación

---

Tercera Observación

---

Cuarta Observación

\_\_\_\_\_

Quinta Observación

\_\_\_\_\_

Sexta Observación

\_\_\_\_\_

Séptima Observación

\_\_\_\_\_

Octava Observación

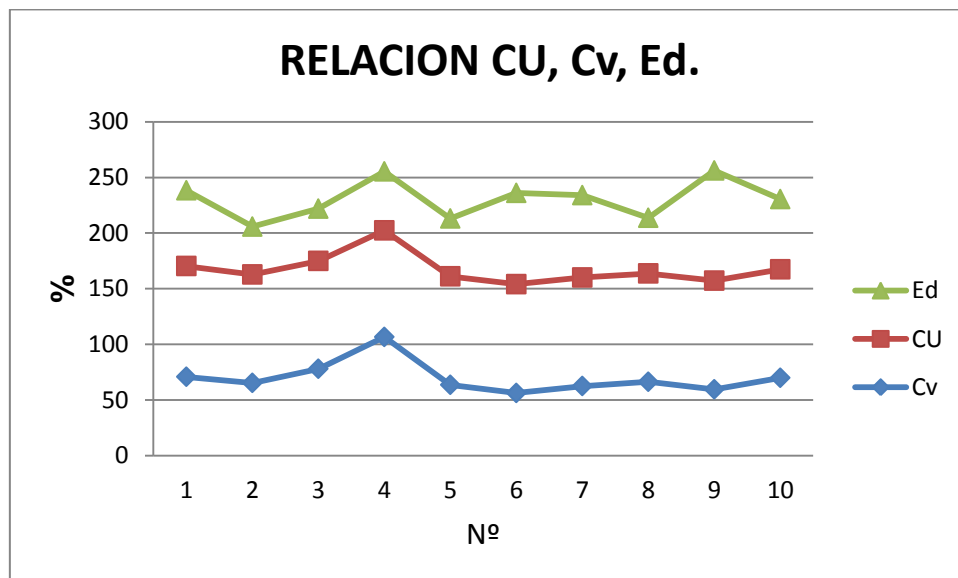
\_\_\_\_\_

Novena Observación

\_\_\_\_\_

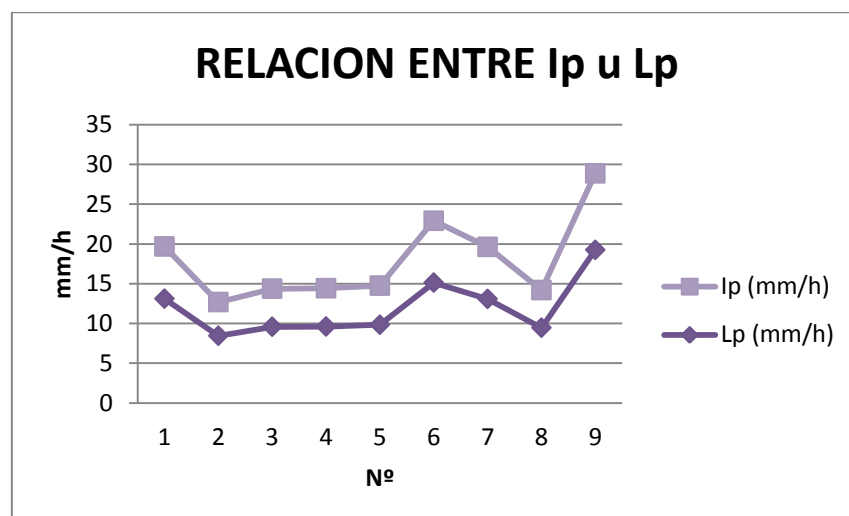
**ILUSTRACIÓN GRÁFICA DEL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD, COEFICIENTE DE VARIACIÓN Y EFICIENCIA DE DESCARGA.**

COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD				
Nº	X(mm)	Cv(%)	CU (%)	Ed (%)
1	75,52	71	97	68
2	49,80	65	97	43
3	55,20	78	97	47
4	55,36	107	96	53
5	56,64	64	97	52
6	89,48	56	98	82
7	75,36	63	97	74
8	54,48	66	97	50
9	110,80	60	98	99
<b>Prom.</b>	<b>69,18</b>	<b>70</b>	<b>97</b>	<b>63</b>



**Intensidad de precipitación en cada una de las observaciones.**

INTENCIDAD DE PRECIPITACION DE LAS ZONAS				
	Vol	AREA	Lp	Ip
1	1888	144	13,11	<b>6,56</b>
2	1245	144	8,45	<b>4,23</b>
3	1380	144	9,58	<b>4,79</b>
4	1384	144	9,61	<b>4,81</b>
5	1416	144	9,83	<b>4,92</b>
6	2237	144	15,13	<b>7,77</b>
7	1884	144	13,08	<b>6,54</b>
8	1362	144	9,46	<b>4,73</b>
9	2270	144	19,24	<b>9,62</b>

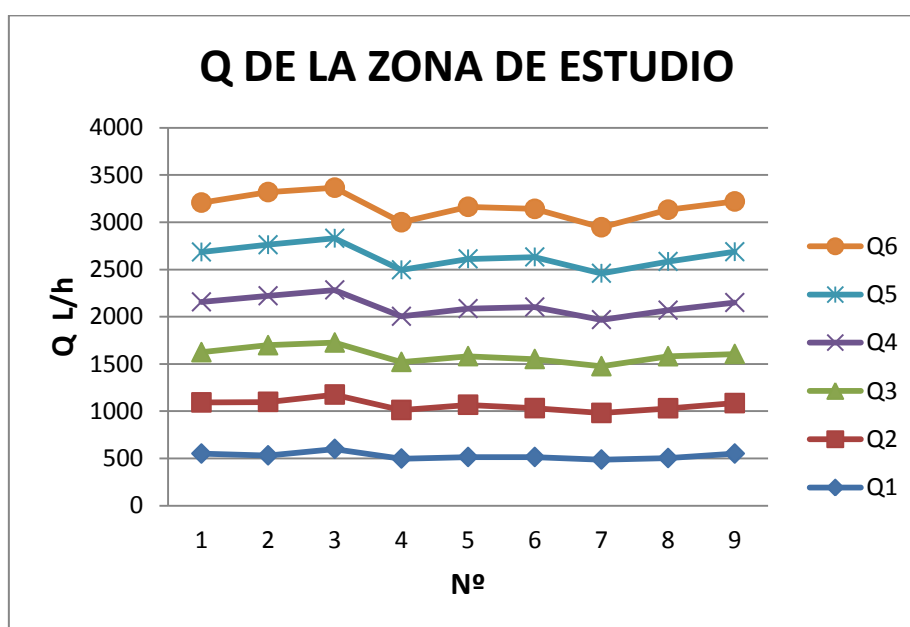




## Descarga del aspersor.

Aquí cada una de las descargas o caudales de los aspersores dentro de la zona en estudio.

Nº	CAUDALES DE DESCARGA DE LOS ASPERSORES EN LA ZONA DE ESTUDIO					
	Q1(L/h)	Q2(L/h)	Q3(L/h)	Q4(L/h)	Q5(L/h)	Q6(L/h)
1	550,59	541,21	531,82	532,39	527,73	523,06
2	531,82	565,91	600	523,06	540,11	557,15
3	600	575,29	550,59	557,15	546,22	535,29
4	498,29	513,62	508,76	482,29	492,76	503,22
5	514,29	553,01	514,29	503,22	526,91	550,69
6	514,29	517,15	520	550,59	529,64	508,69
7	487,46	492,76	495,36	492,63	490,07	487,5
8	503,22	526,91	550,59	487,5	515,85	547,39
9	550,59	533,83	520,26	544,19	538,01	531,82



**Uniformidad de zona evaluada.**

---

UNIFORMIDAD DE LA ZONA EVALUADA			
Nº	V25%(mm)	Vm(mm)	UDzona(%)
1	8,14	75,52	10,78
2	16,86	49,8	33,86
3	13	55,02	23,63
4	9,43	55,36	17,03
5	17,57	57	30,82
6	34,57	89,48	38,64
7	20	75,36	26,54
8	15	54,48	27,53
9	35,71	110,8	32,23

**Presión media.**

Para calcular la presión media aplicamos la siguiente fórmula:

---

---

### Calculo de la Uniformidad de instalación:

—  
—  
—

UNIFORMIDAD DE INSTALACION		
Nº	UD zona	UD instalacion
1	10,78	10,74
2	33,86	33,75
3	23,63	23,56
4	17,03	16,98
5	30,82	30,73
6	38,64	38,52
7	26,54	26,46
8	27,53	27,45
9	32,23	32,16

Aquí se cumple con lo dicho en anteriormente en la bibliografía, que 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)

### Lámina de agua aplicada por los aspersores.

La lamina ( $L_a$ ) se la calculo mediante la siguiente formula.

\_\_\_\_\_

Dónde:

— — — — —

CAUDALES DEL ASPERSOR PARA MEDIR LA LAMINA DEL ASPERSOR								
Qa 1	Qa2	Qa3	Qa4	Qa5	Qa6	Qa7	Qa8	Qa9
1068,95	1106,02	1121,52	1001,33	1060,59	1046,78	982,17	1042,99	1072,66

**Lamina aspersor ( $L_a$ ), en cada una de las observaciones.**

LAMINA DEL ASPERSOR								
la1	la2	la3	la4	la5	la6	la7	la8	la9
14,85	15,36	15,58	13,91	14,73	14,54	13,64	14,49	14,89

**Lámina de agua recogida por los pluviómetros ( $L_p$ ):**

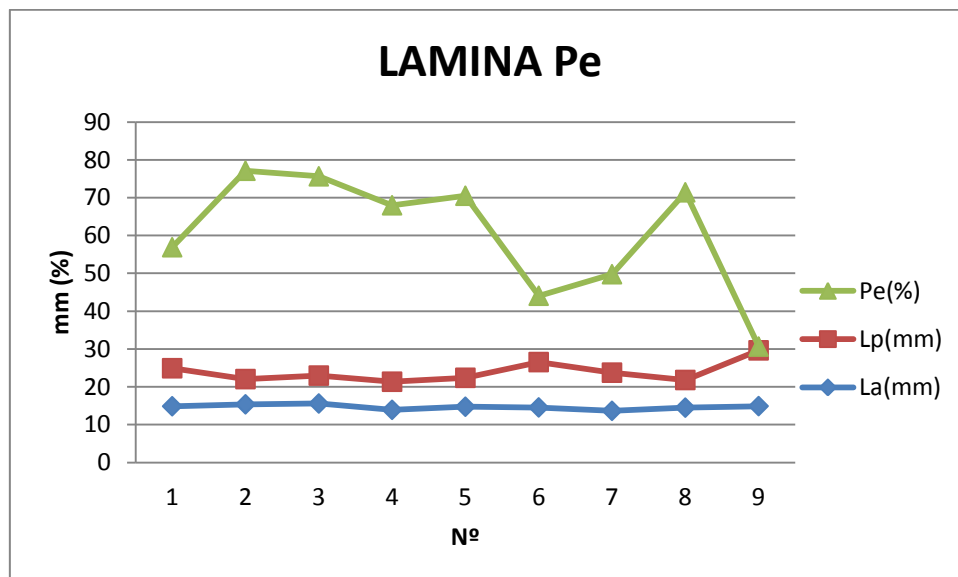
\_\_\_\_\_

**El área de la embocadura de los pluviómetros:**

<b>LAMINA RECOGIDA EN LOS PLUVIOMETROS</b>								
<b>Lp1</b>	<b>Lp2</b>	<b>Lp3</b>	<b>Lp4</b>	<b>Lp5</b>	<b>Lp6</b>	<b>Lp7</b>	<b>Lp8</b>	<b>Lp9</b>
10,05	6,67	7,37	7,42	7,64	11,99	10,09	7,3	14,74

## Perdida por evaporación y arrastre del viento.

PERDIDA POR EVAPORACION Y ARRASTRE DEL VIENTO.			
Nº	La	Lp	Pe
1	14,85	10,05	32
2	15,36	6,67	55,08
3	15,58	7,37	52,69
4	13,91	7,42	46,66
5	14,73	7,64	48,13
6	14,54	11,99	17,54
7	13,64	10,09	26,03
8	14,49	7,3	49,62
9	14,89	14,74	1,01



**Grado de pulverización del agua o grosor de la gota.**

Datos:

P: 1.37 kg. /cm<sup>2</sup>.

D: 3,88mm

—

—

## ANEXO 3

### CALCULO DE LOS PARÁMETROS DEL DISEÑO AGRONÓMICO.

***Evapotranspiración diaria:***

$K_p$ : 0,8.

***Necesidad hídrica diaria:***

$K_c$ : 1.05

***Necesidad mensual del cultivo.***

***Reserva de agua disponible.***

***Reserva de agua fácilmente disponible.***



***Precipitación efectiva mensual.***

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

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

***Intervalo de riego.***

---

***Dosis neta mensual.******Dosis neta ajustada mensual.***

---

***Tiempo de riego diario en cada mes.***

---

**Caudal necesario mensual.****Tabla. (04.01). Resultado del diseño agronómico realizado para el cultivo de cacao.**

Meses	Et□	N.d(mm)	Nm(mm)	Pe	In(día)	Dn(mm)	Dna(mm)	Qm(l/h)	T(min)
Sep.	4.52	4.04	121.12	-9.1	1	4.04	5.38	728.15	4.08
Oct.	4.23	4.44	137.58	-9.58	1	4.44	5.92	725.81	4.49
Nov.	3.39	3.56	106.65	-7.84	1	3.56	4.74	726.80	3.59
Dic.	2.41	2.53	78.34	189.56					
Ene.	2.83	2.97	92.07	49.88	1	2.97	3.96	728.64	3.00
Feb.	3.59	3.77	105.62	55.16	1	3.77	5.09	722.92	3.81
Mar.	4.54	4.76	147.47	22.64	1	4.76	6.35	730.02	4.81
Abr.	3.38	3.55	106.47	143.16					
May.	3.92	4.11	127.50	-8.86	1	4.11	5.48	817.71	4.16
Jun.	3.38	3.55	106.56	-2.92	1	3.55	4.74	726.19	3.59
Jul.	3.51	3.68	114.11	-4.42	1	3.68	4.91	654.09	3.72
Ago.	4.28	4.49	139.49	-9.7	1	4.49	5.97	723.05	4.53

## ANEXO 4

### CALCULO DEL RAS.

La sodicidad se la calculo así:

=====

=====

### ANEXO 5





El aspersor utilizado para la evaluación.



Manómetro que regula la presión de entrada.





Midiendo el caudal del aspersor.



La toma de presión en entrada y salida de los laterales y varios del sistema