



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE
MANABÍ MANUEL FÉLIX LÓPEZ “ESPAM – MFL”**

CARRERA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

**TESIS PREVIA A LA OBTENCION DEL TITULO DE INGENIERO
AGRÍCOLA**

Tema:

**DISEÑO E INSTALACIÓN DE UN SISTEMA DE RIEGO POR
ASPERSIÓN EN EL ÁREA DE CLONES DEL CULTIVO DE
CACAO (*Theobroma cacao L.*), EN LA ESPAM - MFL.**

**AUTORES: LEONARDO ALEJANDRO SABANDO LUCAS
RICHARD ROBINSON MOLINA AQUINO**

TUTOR: Ing. Elvis Castro Macías

Calceta, Marzo, 2013

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE
MANABÍ MANUEL FÉLIX LÓPEZ “ESPAM – MFL”**

CARRERA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

**TESIS PREVIA A LA OBTENCION DEL TITULO DE INGENIERO
AGRÍCOLA**

Tema:

**DISEÑO E INSTALACION DE UN SISTEMA DE RIEGO POR
ASPERSIÓN EN EL AREA DE CLONES DEL CULTIVO DE
CACAO (*Theobroma cacao L.*), EN LA ESPAM - MFL.**

AUTORES:

LEONARDO ALEJANDRO SABANDO LUCAS

RICHARD ROBINSON MOLINA AQUINO

TUTOR: Ing. Elvis Castro Macías

Calceta, Marzo, 2013

DERECHO DE AUTORIA

Leonardo Alejandro Sabando Lucas y Richard Robinson Molina Aquino, declaran 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 Félix López", según lo establecido por la ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.

Leonardo Alejandro Sabando Lucas

Richard Robinson Molina Aquino

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Ing. Elvis Castro Macías Certifica haber tutorado la tesis titulada " **DISEÑO E INSTALACIÓN DE UN SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN EN EL ÁREA DE CLONES DEL CULTIVO DE CACAO (*Theobroma cacao L.*), EN LA ESPAM - MFL**", que ha sido desarrollada por Leonardo Alejandro Sabando Lucas y Richard Robinson Molina Aquino previa a la obtención del Título de Ingeniero Agrícola, de acuerdo al REGLAMENTO DE TERCER NIVEL de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí "Manuel Félix López"

Ing. Elvis Castro Macías

APROBACIÓN DEL TEMA

Quienes abajo firmamos, miembros del tribunal correspondiente, declaramos que hemos APROBADO la tesis titulada " **DISEÑO E INSTALACIÓN DE UN SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN EN EL ÁREA DE CLONES DEL CULTIVO DE CACAO (*Theobroma cacao L.*), EN LA ESPAM - MFL**", que ha sido propuesta, desarrollada y sustentada por Leonardo Alejandro Sabando Lucas y Richard Robinson Molina Aquino, previo a la obtención del título de Ingeniero Agrícola, de acuerdo al REGLAMENTO PARA LA ELECCIÓN DE TESIS DE GRADO DE TERCER NIVEL de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí "Manuel Félix López"

Dr.C Rolando León Aguilar
Miembro del tribunal

Q. F. Patricio Noles Aguilar
Miembro del tribunal

Ing. Gonzalo Constante Tubay
Presidente del tribunal
AGRADECIMIENTO

A dios y a mi familia especial mente a mi Esposa e Hijos, pilares fundamentales en la realización de este proyecto.

A mis padres y abuelos por estar siempre apoyándome.

A la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí "Manuel Félix López" por facilitar el ingreso a los campos del saber ya que gracias a mi dedicación y esfuerzo he logrado tan anhelada meta.

A la dirección de la Carrera de Ingeniería Agrícola, con su Director Ing. Lenin Vera Montenegro, por estar en los momentos que se necesitaba.

Al Dr. Rolando León Aguilar quien nos brindó sus conocimientos para la realización de este proyecto

Al director de tesis Ing. Elvis Castro Macías por haber asumido la responsabilidad de guiarnos.

A los señores miembros del tribunal de Tesis de la Carrera de Ingeniería Agrícola de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí "Manuel Félix López".

Leonardo Alejandro Sabando Lucas

A Dios por darme la oportunidad de haber realizado mi tesis de grado, a la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí “Manuel Félix López” institución que nos brindó la posibilidad de formarnos como profesionales y adquirir nuevos conocimientos científicos y prácticos en el área de agrícola.

A mis padres por haber depositado su confianza y esmero en los diferentes semestre aprobado, que hoy nos llevan a visualizar nuevas metas profesionales.

A mi esposa Narcisa Paredes y mis hijos, Jean Pool, Josué, Samuel Molina Paredes, por darme fuerza para terminar mi carrera y tener seguridad en mí.

Al Doctor Rolando, destacado especialista del área de riego y drenaje, quien en su visita al Ecuador se desempeñó como colaborador científico en nuestro proyectos de tesis de la ESPAM “MFL”, y fue quien aportó a nuestra investigación.

Richard Robinson Molina Aquino

DEDICATORIA

La presente investigación está dedicada a Dios, pilar fundamental de mis conocimientos para la realización de este proyecto.

A mis padres Wilmer Sabando y Fátima Lucas por su apoyo moral y económico, gracias por la confianza depositada en mí, siempre estaré orgulloso de ser vuestro hijo.

A mis abuelitos Jesús Lucas y Bertha Ferrin por tanto años de paciencia y enseñanza moral, por tanto sacrificio para poder terminar mi carrera.

A mi esposa e hijos por su paciencia y constancia, por estar a mi lado siempre, y no dejarme solo cuando necesite de ellos.

A todas las personas que de una u otra manera colaboraron de manera desinteresada ante mi dedicación constante y perseverante en este proyecto

Leonardo Alejandro Sabando Lucas

La presente investigación está dedicada a Dios y a mis padres, María Aquino y Robinson Molina, que con su aporte incondicional nos brindaron las condiciones apropiadas para que hoy tengamos la oportunidad de ser profesional con ética y responsabilidad.

A nuestro amigo, Manuel Rodríguez, a grupo de mi banda, y compañero a fines a nuestra carrera, a mi mujer e hijos por tener la confianza de ser profesional.

A nuestros catedráticos quienes demostraron con su carácter, sapiencia, entrega y paciencia que su presencia en las aulas universitarias va más allá de un trabajo profesional.

Richard Robinson Molina Aquino

CONTENIDO GENERAL

	PÁG.	
I	ANTECEDENTES	
1.1.	PLANTEAMIENTO Y FORMULACION DEL PROBLEMA	15
1.2.	JUSTIFICACION	17
1.3.	OBJETIVOS	18
1.3.1.	OBJETIVO GENERAL	18
1.3.2.	OBJETIVO ESPECIFICO	18
1.4.	HIPOTESIS, PREMISAS Y/O IDEAS A DEFENDER	19
II.	MARCO TEÓRICO	
2.1.	GENERALIDADES SOBRE EL CULTIVO DEL CACAO	20
2.1.1.	BIOLOGÍA Y BOTÁNICA DEL CACAO	20
2.2.	TAXONOMÍA Y RAZAS CULTIVADAS	21
2.3.	IMPORTANCIA HÍDRICA EN EL CULTIVO DE CACAO	22
2.3.1.	NECESIDADES HÍDRICAS DEL CACAO	23
2.4.	GENERALIDADES DEL RIEGO	24
2.5.	DEFINICION DE SISTEMAS DE RIEGO	25
2.5.1	MÉTODOS DE RIEGO	25
2.5.1.1.	RIEGO SUPERFICIAL	25
2.5.1.2.	RIEGO PRESURIZADOS, TECNOLOGIAS	26
2.5.1.2.1.	RIEGO LOCALIZADO O POR GOTEO	26
2.5.1.3.	RIEGO POR ASPERSION DE CUBRIMIENTO TOTAL	27
2.6.	DISPOSITIVOS DE ASPERSIÓN	28
2.6.1.	TUBERÍAS PERFORADAS	28
2.6.2.	ASPERSORES NO GIRATORIOS	28
2.6.3.	ASPERSORES GIRATORIOS	29
2.7.	DISPOSICIÓN DE LAS TUBERÍAS EN LOS SISTEMAS ESTACIONARIOS	31
2.8.	DISEÑO AGRONÓMICO	32
2.8.1.	NECESIDADES DE AGUA DE LOS CULTIVOS	33
2.8.2.	DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE RIEGO	35
2.8.2.1.	DENSIDAD APARENTE	37
2.8.2.2.	HUMEDAD EN EL PUNTO DE MARCHITAMIENTO	38
2.8.2.3.	PROFUNDIDAD DEL SUELO EXPLORADO POR LAS RAÍCES	38
2.8.2.4.	FRACCIÓN DE AGOTAMIENTO DEL AGUA DISPONIBLE	38
2.8.2.5.	TEXTURA	39
2.5.2.6.	EFICIENCIA DE APLICACIÓN	39
2.5.2.7.	LÁMINA NETA O DOSIS DE RIEGO	39
2.8.2.8.	LÁMINA TOTAL DE RIEGO	40
2.8.2.9.	INTERVALOS DE RIEGO	41
2.9.	DISEÑO HIDRÁULICO	41
2.9.1.	CÁLCULO DE LATERALES Y PORTALATERALES	41
2.9.2.	CÁLCULO DE LATERALES	42
2.10.	VARIACIONES DE CAUDAL Y DE PRESIÓN	44

2.11.	PRESIÓN NECESARIA EN EL ORIGEN DEL LATERAL	45
2.12.	CALCULO DE TUBERÍAS SECUNDARIAS Y PRINCIPALES	46
2.13.	EMISORES DE RIEGO	46
2.14.	COEFICIENTE DE VARIACIÓN	47
2.15.	EVALUACION DE LOS SISTEMAS DE RIEGO	48
III	DISEÑO METODOLÓGICO	
3.1.	UBICACIÓN	53
3.2.	LEVANTAMIENTO PLANIMÉTRICO	53
3.3.	DISEÑO	53
3.4.	DATOS GENERALES DEL CULTIVO DEL CACAO	54
3.5.	DISEÑO DEL AREA	54
3.6.	CARACTERÍSTICAS AGROCLIMÁTICAS	54
3.7.	INFORMACIÓN REFERENTE A LAS CARACTERÍSTICAS DEL SUELO DONDE SE DESARROLLÓ EL PROYECTO	55
3.8.	SELECCIÓN DEL MICROASPIERSOR A UTILIZAR	55
3.9.	DISEÑO AGRONÓMICO	56
3.9.1.	DOSIS DE RIEGO	56
3.9.2.	LAMINA TOTAL DE RIEGO	57
3.9.3.	CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO	57
3.9.4.	INTERVALO, FRECUENCIA Y NUMERO DE RIEGO	58
3.9.5.	MARCO DE RIEGO	59
3.9.6.	INTENSIDAD DE ASPERSIÓN O PLUVIOMETRÍA	59
3.9.7.	TIEMPO DE ESTANCIA DE LOS LATERALES EN LA POSICIÓN	60
3.9.8.	ÁREA DE RIEGO DIARIA DE UN LATERAL EN UNA POSICIÓN, Y DEL SISTEMA	60
3.9.9.	ÁREA DE RIEGO DIARIA	61
3.9.10.	TIEMPO PARA CUBRIR EL ÁREA DE RIEGO	61
3.10.	DISEÑO HIDRÁULICO	61
3.10.1.	NÚMERO DE ASPERSORES Y LONGITUD DEL LATERAL	61
3.10.2.	NÚMERO DE CONEXIONES DE LOS LATERALES CON LA TUBERÍA MAESTRA Y LONGITUD DE	62
3.10.3	NÚMERO DE LATERALES NECESARIOS PARA CUMPLIR EL PROGRAMA DE RIEGO	63
3.10.4.	DETERMINACIÓN DE CAUDALES REQUERIDOS. LATERAL Y SISTEMA	63
3.10.5.	DISEÑO DE LA DISTRIBUCIÓN DE TUBERÍAS PRINCIPALES Y LATERALES	64
3.10.6.	CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE CARGA Y DIÁMETRO DE TUBERÍAS	64
3.10.7.	DETERMINACIÓN DE LA CARGA REQUERIDA EN EL SISTEMA	65
3.11.	EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO IMPLEMENTADO	66
3.12.	ANÁLISIS ECONOMICO DE LA IMPLEMENTACION DEL SISTEMA DE RIEGO	68
3.13.	PASOS PARA LA INSTALACIÓN	68

IV	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	69
V	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	76
	BIBLIOGRAFIA	78
	ANEXOS	82

CONTENIDO DE CUADROS Y FIGURAS

	PÁG.
CUADRO1. VALORES PROMEDIO MENSUALES DE LOS DATOS AGROCLIMÁTICOS EN LA ZONA DE ESTUDIO	55
CUADRO 2. PARÁMETROS DE RIEGO	69
CUADRO 3. RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO PARA LA ETAPA DE RIEGO	70
CUADRO 4: NECESIDADES HÍDRICAS DEL CULTIVO	70
CUADRO 5. PARÁMETROS DE EXPLOTACIÓN DE RIEGO	71
CUADRO 6. PARÁMETROS HIDRÁULICOS	72
CUADRO 7. PÉRDIDAS DE CARGA	73
CUADRO 8. COMPORTAMIENTO DE LA INTENSIDAD DE ASPERSIÓN POR ZONAS, LATERALES Y DEL SISTEMA DE ACUERDO CON LA EVALUACIÓN REALIZADA	74
CUADRO 9. COMPORTAMIENTO DEL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD POR ZONAS, LATERALES Y DEL SISTEMA DE ACUERDO CON LA EVALUACIÓN REALIZADA	75

RESUMEN

El proyecto se ejecutó en el campus de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, el mismo se llevó a cabo en una superficie de 1.2 ha, con el propósito de implementar un sistema de riego por micro aspersion, dedicadas al cultivo del cacao. Para llevar a efecto el proyecto se realizó la recopilación de la información que permitió disponer de los datos necesarios para realizar el diseño agronómico e hidráulico del sistema. La recopilación de la información se partió del levantamiento planímetro, así como los datos relacionados con el cultivo, y los componentes de la tecnología de riego a utilizar. Para el diseño e implementación del sistema de riego se tuvo en cuenta las características agronómicas del cultivo de Cacao para la determinación del marco de plantación que se propuso de 3x3 metros con una densidad de siembra de 1111 plantas/ha. Se seleccionó la instalación de un sistema de micro aspersion con aspersores Meganet con caudales de 0,18 L/s y carga de 23 PSI. Con los datos climatológicos de suelos y cultivos se efectuó el diseño agronómico que permitió calcular las necesidades hídricas de cultivo para la fase de riego, que de acuerdo con los resultados obtenidos se le deben aplicar 25 riegos, con una dosis neta total de 625 mm. Desde el punto de vista hidráulico se hizo el cálculo de cada uno de los parámetros establecidos seleccionándose las tuberías adecuadas según los valores de caudales carga y los diámetros recomendados para estas condiciones. Por último, se evaluó el sistema de riego, donde se puede corroborar la correspondencia entre la intensidad teórica y práctica del sistema. Sin embargo, no se obtuvieron resultados positivos el cual está dado fundamentalmente por la interceptación que se produce por parte de las plantas para la captación de los volúmenes de agua requeridos.

PALABRAS CLAVE

Diseño, implementación, sistema de riego, cacao

ABSTRACT

The Project was executed in the campus of the Polytechnic Superior School of Manabí "Manuel Félix López ". It was carried out in a surface of 1.2 hectares, it was realized with the purpose of implementing a watering system for micro aspersion dedicated to the cocoa cultivation. For realizing the project was necessary collect information which allowed having the necessary information for carry out the agronomic and hydraulic design of the system. To collect the information, it started of the planimetro raising the information related with the cultivation, soil, weather, like this the components of the watering technology to use. For the design and the implementation of the watering system, was necessary to have in mind the characteristics of the cocoa cultivation for the selection of the plantation that intended of 3.3 meters with a cultivation density of 1111 plants for hectares, was selected the installation of a micro aspersion system with mega net aspersers with flows of 0.18 liters per second and it loads of 23 PSI with a weather information of soils and cultivation. Was carried out the agronomic design that allowed calculating the hydric cultivation necessities for the phase of watering with the result it should be applied 25 watering with a dose net total of 625 millimeters .from the hydraulic point .it was carried out the calculation of each one of the parameters established selecting the appropriate pipe lines according to the values of flows loads and the diameters recommended for these conditions .At the end, was carried out the evaluation of the watering system, where was possible corroborate the correspondence between the theoretical intensity and practice of the system, however positive results were not obtained, in which is given fundamentally for the interception that is produced for the plants to the reception of the required volumes of water.

I. ANTECEDENTES

1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La demanda creciente del agua para distintos usos, su disminución o poca disponibilidad de este líquido vital, está asociado a múltiples causas, entre las que sobresalen: el cambio climático, la contaminación, el uso ineficiente en los distintos sectores de uso. Así como las desigualdades para acceder a ella, están generando cada vez mayor competencia entre los usuarios de este recurso.

De acuerdo con el (Consejo Provincial de Manabí, 2008), citado por Motato y Cedeño 2010, la provincia de Manabí está situada en el centro de la región litoral, se extiende a ambos lados de la línea equinoccial desde los $0^{\circ} 25'$ de latitud norte a hasta un $1^{\circ}57'$ de latitud sur y de $79^{\circ} 24'$ de longitud oeste a $80^{\circ} 55'$ de longitud este, integrada por 22 cantones, y 53 parroquias rurales. Considerada como una de las regiones para la producción del cacao (*Theobroma cacao L.*), fundamentalmente en las zonas aledañas a las presas: poza honda, La esperanza y Daule Peripa, que provén agua para el riego en una superficie significativa de los cantones: Santa Ana, Portoviejo, Bolívar, Tosagua y Chone. Además existen los proyectos múltiples y la red de ríos y riachuelos naturales distribuidos en la geografía manabita. Sin embargo la falta de agua en el cultivo de cacao, afecta el rendimiento y la baja producción, de aquí la importancia de disponer de sistemas de riego que sean capaces de cubrir las necesidades del cultivo cuando estas no puedan ser cubiertas de forma natural.

El Cacao (*Theobroma cacao L.*), es una planta considerada como sensible a la escasez de agua, aunque los rendimientos pueden verse afectado por exceso de humedad que se produzca en la zona radical del cultivo, por lo que se necesitan suelos provistos de buen drenaje. Los propios autores plantean que las necesidades de agua para este cultivo oscilan entre 1500 y 2500 mm en las zonas bajas más cálidas y entre 1200 y 1500 mm en las zonas más frescas o los valles altos. De acuerdo con Motato y Cedeño, (2010).

El incremento de los costos de mano de obra agrícola y la baja disponibilidad de agua hacen que las tecnologías de riego presurizados se conviertan en alternativas viables para la inmensa mayoría de los agricultores del mundo; lo que justifica desde el punto de vista económico usar métodos de riego presurizados para aplicar agua al suelo, con una mayor incidencia en los terrenos y suelos que son difíciles y/o casi imposibles regar de forma eficiente con los métodos tradicionales o de superficie. Thorne y Peterson, (1996).

Las tecnologías de riego por aspersión y por goteo se han diseñado para ser empleadas en distintas configuraciones, las cuales superan los problemas de topografía y tipo de suelo y permiten más control sobre la cantidad de agua aplicar, la uniformidad de distribución y la frecuencia de riego, en particular en las condiciones de terrenos ondulados y/o suelos arenosos. Internacional Irrigation Center, (2002).

Orona. (2001), argumenta que en todo el mundo, el empleo del agua y su gestión han sido un factor esencial para elevar la productividad de la agricultura y asegurar una producción previsible. El agua permite aprovechar el potencial de la tierra y que las plantas utilicen plenamente factores de producción que eleven sus rendimientos.

La producción de Cacao en el Ecuador ha constituido un importante renglón para la economía nacional, en especial por su significativa contribución a la generación de divisas por concepto de exportación, actividad que se inició en la época colonial. En las últimas décadas ha ocupado uno de los primeros lugares en el monto de las exportaciones del sector agrícola. Sin embargo estas exportaciones pueden verse afectadas por el mal manejo agronómico, particularmente en lo referente al recurso hídrico. En la provincia de Manabí la disponibilidad de agua en la mayoría de las veces está sujeta a las reservas acumuladas durante el periodo lluvioso; por lo que el riego no constituye una práctica arraigada en la generalidad de las fincas en las que se produce Cacao.

Al no disponer de las reservas de agua naturales para la producción de Cacao debido a las irregularidades de las precipitaciones tanto en su magnitud como en su

distribución, además de las pérdidas de agua que se producen en el suelo por múltiples causas, se hace imprescindible disponer de sistemas de riego que garanticen los requerimientos hídricos del Cacao en cada una de las etapas de desarrollo del mismo y con ello poder alcanzar el máximo potencial productivo.

La Carrera de Ingeniería Agrícola de la ESPAM MFL (Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López) desde su fundación cuenta con un área de producción, docencia e investigación en la que se desarrolla el cultivo del Cacao entre otras plantaciones. En uno de los campos con una superficie de 0,912 ha se ejecuta una investigación asociada a este cultivo en la cual se ejecutara el presente proyecto.

Planteándose el siguiente problema. ¿Cómo contribuir a la satisfacción de los requerimientos hídricos del cultivo del cacao para obtener rendimientos de acuerdo con el potencial productivo del mismo

1.2. JUSTIFICACIÓN

El cultivo de cacao (*Theobroma cacao L.*), constituye una de las principales opciones productivas de la provincia de Manabí por el aumento de la demanda en el mercado exterior, unido a las buenas perspectivas del incremento del precio de venta en dicho mercado.

Según el INIAP. (2010), el cultivo se desarrolla en 16 de los 22 cantones con que cuenta la provincia, en la que se destaca la zona norte con 63,13 % de la superficie total; en este sentido se reporta al cantón Chone como el de mayor superficie con 35 487 ha, de acuerdo con estas premisas, justifica que la Escuela Superior Politécnica de Manabí (M.F.L), cuenta con un área de clones de cacao para sus investigaciones, en las que se presentan problema con su estudio en el periodo de verano por la baja producción de cacao que se obtiene, debido entre otros aspectos a la falta del cubrimiento de las necesidades hídricas del cultivo por no disponer de un sistema de riego que pueda suplir las pérdidas que se producen a la evapotranspiración del cultivo entre otras causas

El diseño e implantación de un sistema de riego por aspersión posibilitará la siembra y riego oportuno del cultivo del Cacao, con el que se le pueda aplicar la cantidad de agua requerida por las plantas y garantizar la eficiencia recomendada para estos sistemas de riego que mantenga la humedad adecuada en el suelo, con la implementación del sistema se reduce la mano de obra y permite obtener mayor productividad lo que debe generar un mayor ingreso económico.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Implementar un sistema de riego por aspersión que garantice las necesidades hídricas del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.), en el área de Clones de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Realizar el diseño agronómico para la implementación del sistema de riego en el cultivo de cacao en el área de clones de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí.
2. Realizar el diseño hidráulico para la implementación del sistema de riego en el cultivo de cacao en el área de Clones de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí.
3. Realizar la evaluación del sistema de riego implementado en el área de clones de Cacao en la escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí, que permita corroborar la relación entre los parámetros de diseños y los parámetros de explotación.
4. Realizar el análisis económico de la implementación de un sistema de riego por aspersión para el cultivo de cacao en el área de Clones de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí.

1.4. HIPÓTESIS, PREMISAS Y/O IDEAS A DEFENDER

Si se implementa un sistema de riego por aspersión se puede garantizar las necesidades hídricas del cultivo de cacao (*Theobroma cacao L.*), en el área de Clones de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. GENERALIDADES SOBRE EL CULTIVO DEL CACAO

De acuerdo con Solórzano y Mendoza. (2010), el cacao es una planta de la familia *Sterculiaceae*, género *Theobroma*, es originario de Sudamérica, probablemente de las cuencas de la Amazonia y Orinoco, donde fue encontrada en condiciones naturales, bajo el dosel de grandes árboles del bosque nativo. Este mismo autor plantea que el género *Theobroma* está compuesto por cinco especies.

2.1.1. BIOLOGÍA Y BOTÁNICA DEL CACAO

El cacao es una planta alógama, de ciclo vegetativo perenne y diploide, puede pasar los cien años y alcanzar de cinco a ocho metros de altura y de cuatro a seis metros de diámetro de copa, cuando proviene de semilla, estas demisiones pueden ser superadas por condiciones ambientales a plena exposición solar pueden alcanzar hasta 20 metros. La planta proveniente de semilla presenta un tronco vertical que puede desarrollarse en forma muy variada dependiendo de las condiciones ambientales, el cual empieza su etapa de producción a los dos años después de establecido en el campo. Las plantas de origen clonal obtenidas mediante injerto o estacas presentan una conformación diferente sin el predominio de un eje principal. Enríquez y Salazar, (1987).

El cacao posee una raíz principal pivotante, con hojas simples, enteras y de colores variables que van desde morado hasta verde pálido, con pecíolo corto, posee flores pequeñas, hermafroditas y pentámeras con cinco lóculos donde hay de 6 a 12 óvulos. Las flores al igual que los frutos se producen en racimos pequeños, sobre el tejido maduro del tronco y de las ramas. Generalmente su polinización es entomófila, principalmente llevada a cabo por individuos del género *Forcipomya*. Una planta

puede llegar a producir de 100.000 a 150.000 flores por año, de las cuales sólo se fecunda entre el 0,1 y 0,3% por lo que las demás caen. Cope, (1976).

Los frutos maduran entre 5 y 6 meses después de la polinización. Poseen un mesocarpo de contextura lisa o arrugada que se divide en cinco carpelos interiormente. Los frutos son de tamaño y forma muy variable, generalmente tienen forma de baya de 30 cm de largo y 10 cm de diámetro. Tienen forma elíptica y son de diversos colores al madurar (rojo, amarillo, morado y café); contienen entre 20 y 40 semillas que están cubiertas de una pulpa mucilaginoso de color blanco, cuyos cotiledones pueden ser de color blanco y/o violetas. Las semillas una vez secas alcanzan pesos entre 0,8 y 1,5 gr cada una. Mejía y Argüello, (2000).

2.2 TAXONOMÍA Y RAZAS CULTIVADAS

Theobroma cacao pertenece al orden Malvales y a la familia *Esterculiáceas*. Se distinguen dos razas de cacao: forastero y Criollo. Los Forasteros, conocidos también como cacaos Amazónicos y/o amargos son originarios de América del Sur. Su centro de origen es la parte alta de la cuenca del Amazonas en el área comprendida entre los ríos Napo, Putumayo y Caquetá. Es la raza más cultivada en las regiones cacaoteras de África y Brasil y proporcionan más del 80% de la producción mundial. Motamayor, (2002).

Los Criollos (palabra que significa nativo pero de ascendencia extranjera), se originaron también en Sudamérica, pero fueron domesticados en México y Centro América y son conocidos también como híbridos de cacao dulce. Se caracterizan por sus frutos de cáscara suave y semillas redondas medianas a grandes, de color blanco a violeta, que se cultivan principalmente en América Central, México, Colombia y parte de Venezuela. Poseen sabores dulces y agradables, donde los árboles son de porte bajo y menos robustos con relación a otras variedades. Sin

embargo este grupo se caracteriza por su alta susceptibilidad a las principales enfermedades. Enríquez, (2004).

Según Motamayor. (2001), los cacaos Trinitarios están conformados por híbridos que comprenden las mezclas entre el criollo y el forastero tipo amelonado, que aparentemente se mezclaron naturalmente en el Caribe, siendo los genotipos típicos de Granada, Jamaica, Trinidad y Tobago. Este grupo aparentemente se originó cuando un genotipo criollo se cruzó naturalmente con un genotipo amelonado del Brasil. Por esta razón, estos materiales presentan características morfológicas y genéticas de ambas razas. Ocupan del 10 al 15% de la producción mundial. Presentan granos de tamaño mediano a grande y cotiledones de color castaño. CCI, (1991).

Solórzano y Mendoza. 2010, plantean que en la provincia de Manabí el cultivo presenta un pico de floración que coincide con el inicio del periodo lluvioso. Anualmente el cacao puede producir hasta más de 100 000 flores, de las cuales menos de lo 5% son fertilizadas y cerca del 1% se transforman en frutos. Las flores no polinizadas caen en alrededor de 48 horas.

2.3. IMPORTANCIA HÍDRICA EN EL CULTIVO DE CACAO

El cacao es una planta sensible a la escasez de agua pero también al encharcamiento por lo que se precisarán de suelos provistos de un buen drenaje. Un anegamiento o estancamiento puede provocar la asfixia de las raíces y su muerte en muy poco tiempo. Las necesidades de agua oscilan entre 1500 y 2500 mm en las zonas bajas más cálidas y entre 1200 y 1500 mm en las zonas más frescas o los valles altos.

En la provincia de Manabí, los suelos presentan un alto contenido de arcilla y durante el periodo sin lluvias, las plantas son sometidas a un estrés hídrico por falta de agua

en la capa arable. Las plantas que sobreviven, disminuyen su producción, por las pocas reservas nutritivas que se encuentra en el suelo.

Es típico observar el retraso en la brotación o en la velocidad de crecimiento del ápice aéreo, en aquellas plantas poco vigorosas en comparación con otras más robusta. Esta respuesta se debe a que las primeras pasaron gran parte del tiempo invirtiendo reservas y energía para fortalecer sus raíz para poder captar agua para satisfacer necesidades mínimas de sus funciones vitales, superando de esa manera el periodo seco.

2.3.1. NECESIDADES HÍDRICAS DEL CACAO

Según el PACC. (2009), el agua es esencial para la vida. No solo es componente fundamental de los seres vivos son que preserva los sistemas ecológicos, facilita el trabajo humano y garantiza la dignidad y salud de las personas. Manejar adecuadamente el agua constituye un requisito indispensable para alcanzar y preservar el desarrollo sostenible.

Desde el punto de vista de riego el agua disponible es aquella que se encuentra a disposición de la planta entre la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente. Se debe evitar que el porcentaje de humedad en el suelo disminuya hasta el punto de marchitez, lo que traería como consecuencia una sensible disminución en los rendimientos, por lo que el riego debe efectuarse de acuerdo con el umbral o límite productivo que estará en función de la época de desarrollo del cultivo, tipo de suelo, y de la tecnología de riego disponible.

El sistema radicular de las planta de cacao no es homogéneo. Generalmente la raíz es ramificada y ancha en la capa superior del suelo y va raleando y estrechándose hacia abajo. Por consiguiente, el aprovechamiento de la humedad a diferentes profundidades de la zona de la raíz estará desigualmente distribuido.

La absorción de agua por las raíces compensa las pérdidas debido a la transpiración por las hojas. En días calurosos y secos la planta necesita ejercer una absorción rápida de agua para reponer las pérdidas. FAO, (2008).

Motato. (2010), plantea que cuando las plantas de cacao son adultas y comienzan a producir mazorcas es necesario garantizar un suministro de agua complementario mediante riego, con intervalo, frecuencia y magnitud dependiendo de factores tales como suelo, condiciones climáticas, entre otras. Este propio autor plantea, además, que la mayoría de los productores riegan sus huertas por inundación, sin embargo, considera que deben explotarse otras alternativas como es el riego presurizado a través de las tecnologías de aspersión, microaspersión y goteo, entre otras, debido a las ventajas que ofrecen las mismas. Estas tecnologías deben ser bien manejadas en aquellas zonas donde haya incidencia de escoba de bruja, por lo que considera que riegos oportunos y en cantidades correctas en la época de sequía garantizarán la obtención de altos rendimientos siempre que se combinen con otros factores agronómicos.

2.4. GENERALIDADES DEL RIEGO

El área regable neta del Ecuador es de aproximadamente 3 136 000 ha. El 93,3% de las cuales están sobre las cuencas de la vertiente del Pacífico y la diferencia sobre la vertiente Amazónica. La cuenca más importante en extensión es la del río Guayas, que representa el 40,4% de la superficie regable del país, seguida de la cuenca del río Esmeraldas con el 12,6%. Del total del área regable, apenas 560.000 ha están bajo riego, lo que representa el 30% de la superficie cultivada del país. Sin embargo la agricultura bajo riego tiene una significación mucho mayor que la de secano, aportando aproximadamente con el 75% del valor de la producción agrícola nacional. La mayor parte del consumo de agua del Ecuador se destina al riego, estimándose su uso en un 80% del consumo total; no obstante, las pérdidas en la captación, conducciones primarias, secundarias y terciarias y en el ámbito de parcela, hacen que las eficiencias varíen entre el 15% y 25%. Motato, (2012).

Pese a que es poco lo que se conoce sobre el riego privado, estos sistemas cubrirían aproximadamente 460 000 ha (83%), correspondiendo la diferencia, esto es 108.000 ha a cultivos regados con sistemas públicos. Existe una desigual distribución de la

tenencia del agua, que confirma la desigual distribución de la tenencia de la tierra. El 88% de los beneficiarios del riego, minifundista, disponen de entre el 6 y el 20% de los caudales totales disponibles; en contraste, entre el 1 y 4% del número de beneficiarios, hacendados, disponen del 50 al 60% de los caudales disponibles. Galarraga, (2001).

2.5. DEFINICIÓN DE SISTEMAS DE RIEGO

Los sistemas de riego se definen como la infraestructura hidráulica para poder proveer de la cantidad de agua necesaria a una determinada área de cultivo; es decir, son aquellas tecnologías de riego que se utilizan para proporcionarle la cantidad exacta de agua a plantas, por ejemplo, gracias a que en todos los sistemas de riego se puede obtener una elevada uniformidad, esto permite hacer un uso más eficiente del agua disponible, maximizar la producción y limitar las pérdidas de agua por percolación profunda.

Uno de los primeros pasos para utilizar el agua eficientemente es conocer cómo utilizarla, ya sea para el agricultor que desea hacer de su cultivo el más productivo posible como para el pequeño jardinero. Sánchez, (2005).

2.5.1. MÉTODOS DE RIEGO

Existen dos métodos de riego atendiendo a su principio de funcionamiento que son: riego superficial y riego presurizado

2.5.1.1. RIEGO SUPERFICIAL

La distribución del agua con el sistema de riego superficial depende totalmente de la naturaleza del caudal y la pendiente del terreno. Algunos de los tipos de riego por superficie sirven solo para terrenos totalmente nivelados, sin pendientes, mientras que otros exigen terrenos con pendientes. Dentro de las tecnologías del riego superficial se encuentran: inundación, surcos, bandas entre otros.

- **Por inundación**

Es una práctica de riego tradicional que es utilizada para pastos, arroz y cultivos de secano. El agua de riego entra hasta el cultivo por pequeñas ramificaciones que se realizan en las parcelas.

- **Por surcos**

Los surcos rectos y se practica en cultivos que se siembran en hileras, para su construcción generalmente se utiliza la yunta de buey o maquinaria usada para este fin, con la cual huachan de extremo a extremo de la parcela, el largo de estos surcos va desde los 20 hasta los 120 metros dependiendo del ancho del terreno a sembrar, del tipo de suelos, pendiente entre otros elementos. Los surcos se utilizan para la siembra de papas, habas, cebolla, maíz. IEDECA, (1998).

2.5.1.2 RIEGO PRESURIZADOS, TECNOLOGÍAS

2.5.1.2.1 RIEGO LOCALIZADO O POR GOTEO

Dentro del riego presurizado, la tecnología de riego por goteo, es la más avanzada de que se dispone actualmente para la aplicación eficiente de agua a los cultivos, y consiste fundamentalmente, en aplicar el agua en zona radicular, en forma de gotas, mediante un sistema de tuberías y emisores, logrando la máxima eficiencia en la distribución hídrica. El principio básico comprende la entrega a baja presión de agua limpia a través de emisores individuales. Este sistema de riego requiere menos energía que los sistemas de aspersion. Además como solo maneja una parte del suelo, se pierde poca agua por evaporación, excepto la que pasa por la planta y sale al aire por transpiración, de modo que se obtiene una eficiencia de aplicación superior al 90%. El goteo es un tipo de riego de flujo diario, ya que normalmente se aplica diariamente, pero en volúmenes reducidos, evitando, de esta manera, la lixiviación de elementos nutritivos. Calvache, (1998).

Las características técnicas de este sistema lo presentan como un método sofisticado, delicado, funcional, eficaz y costoso, pero hay que tener presente que

todas las ventajas del método de riego por goteo se convierten en desventajas, cuando el sistema está mal diseñado, mal instalado, mal operado, o no se realizan los trabajos de mantenimiento necesarios para un óptimo funcionamiento. Taipe y Calvache, (2007).

2.5.1.3 RIEGO POR ASPERSIÓN DE CUBRIMIENTO TOTAL

Esta tecnología de riego distribuye el agua en forma de lluvia, mediante aspersores que giran alrededor de un eje por la fuerza de la presión hídrica. Los aspersores van conectados a una tubería, denominada laterales de riego, y sobre tubos elevadores verticales, que disipan la turbulencia adquirida por el agua al pasar de la tubería al aspersor. No precisa ninguna preparación previa del suelo y su eficiencia en la aplicación del agua es superior a los riegos por superficie. Se recomienda cuando existe poca disponibilidad de agua, una alta o baja velocidad de infiltración del agua, una excesiva parcelación o un relieve accidentado. No es adecuado en zonas de fuertes vientos, ni con agua salina en cultivos cuyas hojas se dañen al quedar las gotas en ellas. La intensidad de aspersión no debe superar la velocidad de infiltración del suelo, mediante lo cual se evitan los encharcamientos. Cisneros y Keller, (1988).

El riego por aspersión hace uso de emisores, donde la descarga de agua es inducida por la presión disponible en los laterales de riego (tuberías donde van insertados los aspersores). Para este propósito se emplea:

- **Presión**, que puede provenir de una bomba accionada por motor eléctrico, a diesel, a gasolina, etc., o presión de gravedad proveniente de la diferencia de nivel entre la captación y el área de riego.
- **Sistema de tuberías**, convenientemente acoplada con un terminal o hidrante.
- **Aspersor gigante**, aspersor mediano o grupo de aspersores, acoplando con manguera flex o con tubería de aluminio u otro método que distribuya agua a los aspersores colocados en su extensión (pivote central).

2.6. DISPOSITIVOS DE ASPERSIÓN

Fuentes. (2003), plantea que los dispositivos de aspersión tienen por misión pulverizar el chorro de agua en gotas finas y repartirlas uniformemente por el terreno.

Pueden ser de varias clases:

- Tuberías perforadas.
- Aspersores no giratorios.
- Aspersores giratorios.

2.6.1 TUBERÍAS PERFORADAS

Las tuberías perforadas están constituidas por tubos metálicos o de PVC, provistos de orificios calibrados o de pequeñas boquillas roscadas en la parte superior y distribuida en toda su longitud con un espaciamiento de 10-15 cm.

Las tuberías perforadas pueden ser estáticas o dotadas de movimiento oscilante mediante un motor hidráulico o eléctrico. Riegan franjas de terreno de 5 a 15 m y funcionan con poca presión. Su campo de aplicación se limita a cultivos hortícolas o florales.

2.6.2 ASPERSORES NO GIRATORIOS

Existen en el mercado numerosos modelos de aspersores no giratorios. Uno de los más utilizados tiene un orificio calibrado por donde sale el chorro, que se dispersa al chocar contra un deflector colocado de forma perpendicular u oblicua con respecto al eje del aspersor. Estos aspersores se utilizan, por lo general, a baja presión, con un radio de alcance pequeño (0,5 a 5 m), y su campo de aplicación se limita a invernaderos y jardinería. Razuri, L. (2012).

2.6.3 ASPERSORES GIRATORIOS

Blasius. (1996), argumenta que los aspersores giratorios, que son los más utilizados en agricultura, están constituidos por una o más toberas provistas de boquillas calibradas, cuyo diámetro oscila de 2 a 20 mm. El aspersor gira alrededor de su eje, lo que le permite regar la superficie de un círculo cuyo radio corresponde al alcance del chorro.

Según el mecanismo que produce el movimiento giratorio, estos aspersores se clasifican de la siguiente forma:

a. Aspersores de brazo oscilante: El movimiento rotativo de cuerpo del aspersor es discontinuo, debido a impulsiones periódicas provocadas por el chorro del agua que golpea intermitentemente un brazo oscilante, el cual vuelve a su posición inicial por la acción de un resorte o de un contra peso. Son aspersores de giro lento. Los aspersores de brazo oscilante son los más utilizados, existiendo en el mercado una amplia gama de modelos, desde pequeño aspersores con una sola boquilla hasta grandes aspersores con varias boquillas.

Algunos aspersores tienen un dispositivo que limita el área regada a un sector circular (*aspersores sectoriales*) y se utilizan en las lindes, junto a caminos y en los ángulos de las parcelas, con el fin de evitar el riego de áreas exteriores a la parcela.

b. Aspersores de reacción: Están basados en el molinete hidráulico, en donde la reacción a la salida del agua provoca el movimiento de giro del aspersor. La boquilla o boquillas están orientadas de forma que la reacción al cambio de dirección en el movimiento del agua provoque el movimiento de rotación. Estos aparatos son de giro rápido. Se utilizan en jardinería y en riego de árboles bajo las copas.

c. Aspersores de turbina: En estos aspersores el chorro incide sobre una turbina (rueda con aspas), cuyo movimiento se transmite a un eje instalado a lo largo del tubo del aspersor, y de éste, mediante engranajes, a la base del aspersor, para

producir un giro del aspersor lento y uniforme. Estos aspersores, por lo general, son de gran tamaño y suministran grandes caudales.

Según la presión de funcionamiento, los aspersores giratorios se clasifican de la forma siguiente:

De baja presión: Funcionan con presiones inferiores a 2 kg/cm^2 . Suelen arrojar un caudal inferior a 1.000 L/hora y se instalan en espaciamientos inferiores a 12-15 m. Producen un riego uniforme, aun en el caso de vientos de cierta consideración. Se utilizan en jardinería, en hortalizas, en riego de frutales por debajo de las copas de los árboles y en el riego anti helada.

De presión media: Funcionan con presiones comprendidas entre 2 y 4 kg/cm^2 . Arrojan un caudal comprendido entre 1.000 y 6.000 L/hora y se utilizan con espaciamientos comprendidos entre 12 X 12m y 24 X 24 m. Producen un riego bastante uniforme y se utilizan en una gran variedad de suelos y de cultivos extensivos.

De alta presión: Funcionan con una presión superior a 4 kg/cm^2 y arrojan un caudal superior a 6.000 L/hora. Dentro de esta categoría se sitúan los cañones de riego, dotados a veces de 2 ó 3 boquillas (con el fin de conseguir un riego más uniforme), que arrojan unos caudales de hasta $200 \text{ m}^3/\text{hora}$ o mayores.

Los cañones de riego tienen los inconvenientes de que son costosos, tanto en su coste inicial como de funcionamiento, la distribución del agua se ve muy afectada por el viento y producen unas gotas muy gruesas que perjudican a determinados suelos y cultivos.

2.7 DISPOSICIÓN DE LAS TUBERÍAS EN LOS SISTEMAS ESTACIONARIOS

Fuentes. (2003), plantea que las disposiciones básicas más frecuentes en los sistemas de riego por aspersión son:

Disposición unilateral: El ramal de alimentación se sitúa en la linde de la parcela, mientras que los ramales laterales se colocan a un solo lado de dicho ramal. Cuando los ramales laterales son portátiles se van desplazando a lo largo del ramal de alimentación a medida que se realiza el riego.

Disposición bilateral: El ramal de alimentación se sitúa atravesando la parcela por su centro, mientras que los ramales laterales se colocan en ambos lados. Si los ramales laterales son portátiles se van desplazando sucesivamente a lo largo del ramal de alimentación. Si la instalación es fija se va regando por bloques de riego, ya que de esta forma, al disminuir los bordes.

Un caso particular de esta disposición se da cuando del ramal de alimentación parten unas tuberías flexibles, en cuyos extremos se acoplan unos aspersores montados sobre trineos. Los aspersores se desplazan de una posición a la siguiente tirando de la tubería flexible, operación que se realiza desde terreno seco

Para el trazado de los ramales laterales hay que tener en cuenta los siguientes factores:

- Forma de la parcela
- Topografía del terreno
- Cultivo
- Dirección del viento dominante

Cuando no sea posible atender a todos estos factores se tomará la decisión más favorable. Dentro de lo posible se seguirán las siguientes recomendaciones relativas a los ramales laterales:

- Se situarán paralelos a una de las lindes de la parcela
- Se colocarán en dirección perpendicular al viento dominante
- Se colocarán en la dirección de las hileras de las plantas
- Seguirán, en lo posible, las curvas de nivel, para reducir al mínimo las diferencias de presión entre los aspersores de un ramal lateral

Estas diferencias de presión no deben sobrepasar el 20 % de la presión media. Mejor aún, conviene que sigan una dirección ligeramente descendente, para compensar los aumentos de pérdidas de carga a medida que los aspersores se alejan del origen.

2.8. DISEÑO AGRONÓMICO

Bonneau. (2001), plantea que el diseño agronómico tiene por finalidad 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. El mismo se desarrolla en tres fases:

- Recolección de la información
- Cálculo de las necesidades de agua
- Determinación de los parámetros de riego

En cuanto a los parámetros de riego se debe determinar los siguientes:

- Dosis de riego
- Frecuencia e intervalo entre riegos
- Caudal necesario
- Duración del riego
- Número de emisores
- Disposición de los mismos

2.8.1 NECESIDADES DE AGUA DE LOS CULTIVOS

Fuentes. (2003), plantea que las necesidades totales en sistemas de riego localizado vienen definidas por la siguiente ecuación.

$$Nb = \frac{Nn}{Ea} + \frac{Nn}{Rp \times Fl \times Fr \times CU}$$

Dónde:

Nb: Necesidades totales (mm)

Nn: Necesidades netas (mm)

Ea: Eficacia de aplicación (en tanto por uno)

Rp: Relación de percolación (en tanto por uno)

FL: Factor de lavado (en tanto por uno)

Fr: Factor de rociado (en tanto por uno)

CU: Coeficiente de uniformidad (en tanto por uno)

En circunstancias normales el factor de rociado tiene un valor muy próximo a la unidad, por lo que no se suele considerar. *Rp* y *FL* no se toman simultáneamente, sino que se considera sólo el de menor eficiencia, que es el que produce mayor pérdida de agua.

— Si $Rp < FL$, las necesidades totales son

$$Nt = \frac{Nn}{Rp \times CU}$$

— Si $FL < Rp$, las necesidades totales son:

$$Nb = \frac{Nn}{(1 - RL)CU}$$

$FL = 1 - RL$, siendo *RL* el requerimiento de lavado, en tanto por uno.

En riego por aspersión de baja frecuencia el requerimiento de lavado (RL) viene dado por la fórmula:

$$RL = \frac{CEa}{5 CEa - CEa}$$

En riego por aspersión de alta frecuencia el requerimiento de lavado es:

$$RL = \frac{CEa}{2 máx - CEe}$$

Dónde:

RL : Requerimiento de lavado (en tanto por uno)

Cea : Conductividad eléctrica del agua de riego (ds/m)

CEe : Conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo, para el cual el descenso de producción es un porcentaje que se impone (ds/m)

$máxCEe$: Conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo, para el cual el descenso de producción es del 100 % (ds/m)

A efectos de diseño, el coeficiente de uniformidad (CU) es una condición que se impone, y debe tener un valor de alrededor de 0,8 para considerarse aceptable. Cuando la instalación está en funcionamiento se efectúa la comprobación de CU previsto en el diseño. Un valor bajo de CU indica alguna incorrección en la presión de trabajo, número y tamaño de las boquillas de los aspersores o inadecuado marco de riego.

Para el cálculo de las necesidades de agua en riego por aspersión se suele utilizar también el siguiente criterio:

$Si RL < 0,1$ $Si RL > 0,1$

$$Nb = \frac{Nn}{2E'a}$$

$SiRL < 0,1$ $SiRL > 0,1$

$$Nb = \frac{0,9 Nn}{E'a(1 - RL)}$$

$E'a$ es una eficiencia de aplicación que incluye los efectos de pérdidas debidas a percolación, evaporación desde el chorro y arrastre del mismo por el viento y falta de uniformidad en la aplicación del agua.

2.8.2 DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE RIEGO

Según Fuentes. (2003), una vez conocidas las necesidades hídricas de los cultivos se determinarán los distintos parámetros del riego: dosis, intervalo entre riegos, caudal necesario, duración del riego, número de aspersores y disposición de los mismos.

La duración del riego en cada posición si los laterales trabajan de forma aislada se calcula mediante la fórmula:

$$t = \frac{db}{Ia}$$

Dónde:

t : Tiempo de riego en cada posición (horas)

db : Dosis bruta (mm de altura de agua)

Ia : Intensidad media (mm/hora)

La precipitación media debe ser inferior a la velocidad de infiltración estabilizada, con el fin de evitar encharcamientos o escorrentía del agua sobrante. En los sistemas semifijos hay que tener en cuenta el tiempo empleado en el traslado del equipo

móvil. El traslado de las alas de riego móviles de una postura a otra requiere una mano de obra de 2,5 horas por hectárea, aproximadamente.

Cuando se utiliza energía eléctrica interesa regar el mayor tiempo posible durante la noche, que es cuando más barata sale la energía. Además, hay mejor eficiencia de riego (al disminuir las pérdidas por evaporación) y mayor uniformidad en el reparto del agua (porque los vientos suelen ser menos intensos).

Para diseñar la red de distribución y la disposición de los aspersores hay que procurar que sean mínimas las diferencias de presión de los aspersores situados en un ala de riego, por lo que se procurará que las alas de riego sigan las curvas de nivel o, mejor aún, con una ligera pendiente descendente, para compensar los aumentos de pérdidas de carga a medida que los aspersores se alejan del origen.

Fuentes. (2003), indica que una vez calculada las necesidades de riego hay que determinar la dosis, frecuencia y duración del riego, así como el número de emisores por plantas y el caudal por emisor. Para finalmente decidir la disposición de los emisores calculando lo siguiente:

- Del suelo: Densidad aparente, capacidad de campo, punto de marchitamiento, profundidad y velocidad de infiltración estabilizada
- Del clima: Interesa conocer, sobre todo los datos relativos al viento, ya que es la causa principal de la distorsión en el reparto del agua
- Del cultivo: Alternativa de cultivos, necesidades hídricas, fracción de agotamiento del agua disponible, profundidad radical, marco de plantación, labores
- De la parcela: Dimensiones, topografía, punto de captación de agua y área a regar
- Del agua: Caudal disponible y calidad agronómica
- Del riego: Tiempo disponible de riego cada día y días libres de riego durante el ciclo. Se fija de antemano la eficiencia que se pretende conseguir

Para realizar el diseño agronómico, primero debemos tomar varios datos del suelo donde se va a instalar el sistema de riego, por lo que se procederá a realizar una calicata de donde se tomarán muestras para ser llevadas a laboratorio y así poder determinar los siguientes parámetros.

2.8.2.1. DENSIDAD APARENTE

Es la relación que existe entre el peso del suelo seco y el volumen ocupado por el mismo. Y se determina mediante la expresión siguiente:

$$da = \frac{pss}{Vc}$$

Donde:

da: Densidad aparente (g/cm³)

pss: Peso de suelo seco (g)

Vc: Volumen del cilindro (cm³)

Capacidad De Campo Del Suelo Seco

Es la máxima cantidad de agua que puede retener un suelo en contra de la fuerza de gravedad, una vez que cese el escurrimiento. Se puede determinar de forma directa en el campo o en condiciones de laboratorio, pero de forma indirecta se puede obtener a través de la fórmula de Peele:

$$Cc = 0.48Ac + 0.162L + 0.023Ar + 2.62$$

Dónde:

Cc: Capacidad de campo, expresada como humedad gravimétrica (%)

Ac: Contenido de arcilla, expresada como humedad gravimétrica (%)

L: Contenido de lino, expresada como humedad gravimétrica (%)

Ar: Contenido de arena, expresada como humedad gravimétrica (%)

2.8.2.2. HUMEDAD EN EL PUNTO DE MARCHITAMIENTO

Es el límite inferior de humedad a partir del cual se considera que la planta comienza a afectarse por la falta de humedad en el suelo. Al igual que la capacidad de campo puede ser determinada de forma indirecta a través de la fórmula de Briggs.

$$P_m = 0.302A_c + 0.102L + 0.0147A_r$$

Dónde:

P_m: Punto de marchitamiento, expresada como humedad gravimétrica (%)

A_c: Contenido de arcilla, expresada como humedad gravimétrica (%)

L: Contenido de lino, expresada como humedad gravimétrica (%)

A_r: Contenido de arena, expresada como humedad gravimétrica (%)

2.8.2.3. PROFUNDIDAD DEL SUELO EXPLORADO POR LAS RAÍCES

De acuerdo con Fuentes. (2003), la planta extrae el 40% del primer cuarto de la profundidad radical, un 30% del segundo cuarto, 20% del tercer cuarto y un 10% del cuarto.

2.8.2.4. FRACCIÓN DE AGOTAMIENTO DEL AGUA DISPONIBLE

El agua disponible para las plantas está comprendida entre la capacidad de campo y el punto de marchitez. Sin embargo, desde el punto de vista del riego, es importante diferenciar el agua disponible de la reserva de agua fácilmente disponible, considerada como la cantidad que pueden absorber las plantas sin hacer un esfuerzo excesivo y por tanto sin que haya una disminución del rendimiento para lo que se establece el llamado fracción de agotamiento del agua disponible, que depende del tipo de cultivo, tipo de suelo y magnitud de la transpiración.

2.8.2.5. TEXTURA

La textura es considerada una de las principales hidrofísicas de los suelos, ya que nos da el tamaño relativo de las partículas definiendo la proporción relativa de arena, limo y arcilla lo que permite de acuerdo al porcentaje de estos componentes clasificar los suelos en arenosos, limosos o arcillosos, según el porcentaje presente en cada uno de ellos, y que tienen una incidencia directa en la retención y movimiento del agua en el suelo.

2.5.2.6. EFICIENCIA DE APLICACIÓN

Este parámetro es considerado como uno de los principales parámetros dentro del manejo de riego, por cuanto expresa la relación entre el volumen de agua que queda a disposición del sistema radical de las plantas y el suministrado a las parcelas desde las fuentes de abasto, que se divide en eficiencia de conducción y eficiencia de aplicación. Se considera como uno de los aspectos de mayor incidencia en los costos de la explotación de los sistemas de riego. Se plantea que en el riego por aspersión este indicador debe tener valores por encima del 85% para que el riego pueda considerarse de bueno.

$$E_a = \frac{V_{\text{disp}}}{V_{\text{sumins}}}$$

Dónde:

E_a : Eficiencia de aplicación

V_{disp} : Volumen quedado a disposición de la planta

v_{sumins} : Volumen suministrado desde la fuente

2.5.2.7. LÁMINA NETA O DOSIS DE RIEGO

En las tecnologías de riego por aspersión por lo general la lámina neta de riego se determina a partir de las capas activas, de las propiedades físicas del suelo, densidad aparente y capacidad de campo y de la fracción de agotamiento que en el

caso de Fuentes. (2003), este valor va a depender del tipo de cultivo y del tipo de suelo, sin embargo, otros autores plantean que la lámina de riego pueden obtenerse a partir de las reservas máximas y mínimas o considerando el límite productivo que depende del tipo de suelo, cultivo y de la tecnología de riego utilizada.

$$M_p = 100 * H * D_a (C_c - P_m) * f$$

$$M_p = 100 * H * D_a (C_c - L_p)$$

Dónde:

M_p : Lámina neta de riego (m^3/ha)

f : Fracción de agotamiento

H : Capa activa (m)

D_a : Densidad aparente (g/cm^3)

C_c : Capacidad de campo

L_p : Límite productivo

P_m : Punto de marchitez

2.8.2.8. LÁMINA TOTAL DE RIEGO

La lámina total de riego constituye la sumatoria de todas las normas parciales que se le deben entregar al cultivo en todo su ciclo biológico, depende de las características del cultivo, suelo y de las condiciones climáticas que inciden directamente sobre el intervalo de riego, que está condicionado por la evapotranspiración del cultivo.

$$M_{pt} = \sum (M_p)$$

Dónde:

M_{pt} : Lámina total de riego (m^3/ha)

M_p : Lámina neta de riego (m^3/ha)

2.8.2.9. INTERVALOS DE RIEGO

Es considerado los días que median entre dos riegos sucesivos. Su magnitud depende de la norma parcial neta y de la evapotranspiración del cultivo, además de la tecnología de riego. Para el caso de las tecnologías de riego superficial y por aspersión de cubrimiento total el intervalo de riego será mayor comparado con las tecnologías de riego localizadas ya que en esta última se incrementa la frecuencia de riego y disminuyen el intervalo y la norma parcial.

$$Ir = \frac{Mp}{Etc}$$

Dónde:

Ir: Intervalos de riego (días)

Mp: Lámina neta de riego (m³/ha)

Etc: Evapotranspiración del cultivo (mm/días)

2.9 DISEÑO HIDRÁULICO

2.9.1. CÁLCULO DE LATERALES Y PORTA LATERALES

Según Fuentes. (2003), el diseño hidráulico tiene por finalidad el cálculo de las dimensiones de la red de conducción y distribución y el óptimo trazado de la misma, entre ellos, las tuberías maestras, tuberías laterales, los porta aspersores o alas de riego que distribuyen el agua según las tecnologías. Con el cálculo hidráulico se persigue la determinación de los caudales en cada una de los sistemas de conducción, así como la determinación del diámetro requerido en función de los caudales y las velocidades recomendadas para cada uno de estos. Además se determinan las pérdidas de carga que se producen en el sistema. Con la determinación de estos elementos se calcula las cargas de bombeo y los caudales totales que permiten seleccionar los equipos de bombeo óptimos. En los sistemas

presurizados el caudal estará en dependencia del número de emisores del caudal de estos.

$$Q_t = q_l * n_l$$

Dónde:

Q_t : Caudal total (L/s)

q_l : Caudal del lateral (L/s)

n_l : número de laterales

Al principio de la tubería con salidas múltiples (en su conexión con la tubería de alimentación), genera que en la medida que se avanza en la tubería, las pérdidas de carga por rozamiento son menores que las que ocurrirían en una tubería de igual diámetro y longitud, pero sin salidas intermedias. Estas pérdidas de carga se pueden calcular tramo por tramo entre dos salidas consecutivas, en donde el caudal se mantiene constante, y luego sumar los valores obtenidos en todos los tramos. Para evitar este procedimiento tan engorroso, Christiansen ideó un método basado en calcular la pérdida en una tubería de igual longitud, diámetro y rugosidad, sin salidas intermedias, por la que circula el caudal Q_t , posteriormente se multiplica por un coeficiente reductor F (Factor de Christiansen) para que las pérdidas en ambos casos sean equivalentes.

El 75 % de las pérdidas de carga por rozamiento que se producen en los ramales laterales ocurren en la primera cuarta parte de su longitud, por cuyo motivo es importante la distancia a que está acoplada la primera salida.

2.9.2 CÁLCULO DE LATERALES

El cálculo del diámetro de un lateral se basa en la uniformidad conseguida en la descarga del agua por los aspersores del ramal. Como principio se establece que la diferencia máxima del caudal descargado por dos aspersores cualesquiera del

mismo ramal sea inferior al 10 % del caudal nominal. Se demuestra que en riego por aspersión una variación del 10 % del caudal representa una variación del 20 % en la presión de entrada del emisor. Por tanto, la diferencia en la presión de entrada entre dos aspersores cualesquiera del ramal debe ser inferior al 20 % de la presión nominal del aspersor, en caso de ramales horizontales. Fuentes, (2003).

Este mismo criterio se podría aplicar (como se hace en riego localizado) a un bloque de riego formado por una tubería porta laterales y por los laterales que derivan de ella. En este caso, el coste mínimo de la instalación ocurre cuando el 55 % de las pérdidas admisibles en el bloque se produce en los laterales, mientras que el 45 % restante se produce en la tubería porta laterales. Consideremos el primer caso, en que la diferencia de presiones entre dos aspersores cuales quiera del mismo lateral horizontal sea inferior al 20 % de la presión nominal del aspersor.

En un lateral, aparte de las pérdidas por rozamiento, se producen unas pérdidas singulares (en los acoplamientos de los tubos, en la conexión de los emisores, etc.). Estas pérdidas singulares representan del 5 al 15 % de las pérdidas por rozamiento (los valores más bajos corresponden a tuberías de PVC y PE, y los más altos a tuberías de aluminio), por lo que la pérdida de carga total podría ser

$$h = 1,10 h_r$$

Dónde:

h: Pérdida total en el lateral

h_r : por rozamiento

Por otra parte, también se puede considerar que la pérdida total, es la de una tubería semejante de igual diámetro, pero con una longitud ficticia (L_f) cuyo valor es igual a 1,20 su longitud real (L).

$$L_f = 1,20 L$$

Dónde:

Lf: Longitud ficticia

L: Longitud del lateral

La fórmula de Scobey y los ábacos y tablas derivados de ella incluyen las pérdidas singulares. Por lo que se puede resumir que las pérdidas de carga en un lateral están dadas por:

$$h = J * f * Lf$$

Dónde:

h: Pérdida de carga en el lateral (m.c.a)

J: Pérdida de carga unitaria (m.c.a/m lineal de tubería)

F: Factor de Christiansen

Lf: Longitud ficticia (m)

Estas pérdidas de carga deben ser inferiores al 20 % de la presión nominal del aspersor.

2.10. VARIACIONES DE CAUDAL Y DE PRESIÓN

En una subunidad de riego se toma como variación máxima del caudal el 10 % del caudal medio del emisor elegido. Con esta condición las variaciones admisibles de presión serían:

$$Dh = \frac{0,1}{x} h$$

Dónde:

Dh: Pérdida de carga admisible en la subunidad (m.c.a)

h: Carga de trabajo del emisor (m.c.a)

x: Exponente de descarga del emisor

Las pérdidas de carga admisibles en un lateral se consideran como:

$$h_a = \frac{0,1}{x} h * 0.55$$

Dónde:

Ha: Pérdidas de carga admisibles en el lateral (m.c.a)

h: Presión inedia de trabajo del emisor(m.c.a)

x: Exponente de descarga del emisor

Según Blasius, el diámetro del lateral se calcula de acuerdo con las pérdidas de carga para lo que da la siguiente ecuación, en la que se logra de que la perdida de carga real en el lateral sea inferior del 55%.

$$h = J * F * Lf = \frac{0,496 Q^{1.75} * F * Lf}{D^{4.75}}$$

Dónde:

h: Pérdida de carga en el lateral (m.c.a)

D: Diámetro de la tubería comercial seleccionada (mm)

Q: Caudal (L/h)

Lf: Longitud ficticia (m)

2.11. PRESIÓN NECESARIA EN EL ORIGEN DEL LATERAL

El gradiente de presión entre dos emisores consecutivos es mayor en los primeros tramos del lateral que en los últimos. Se ha comprobado experimentalmente que en un lateral horizontal la presión media corresponde a una distancia del origen de 0.33 L en la tubería porta aspersores, y de 0,39 L en la porta goteros. En este tramo inicial se produce el 75 % de la pérdida total en el lateral, si los emisores son aspersores, y el 73 % sí los emisores son goteros.

En un lateral porta aspersores horizontales la presión en el origen es:

$$P_o = P_m + 0.75 h + H_a$$

P_o: Presión en el origen del lateral (m.c.a)

P_m: Presión media en el lateral, que debe coincidir con la presión de trabajo del aspersor seleccionado

h: Pérdida de carga en el lateral

h_a: Altura del elevador

Si el lateral porta aspersores no es horizontal, la presión en el origen es:

$$P_o = P_m + 0.75 h \pm H_g/2 + h_a$$

Dónde:

H_g: Desnivel geométrico entre los extremos del lateral. Se toma positivo cuando el desnivel es ascendente, y negativo cuando el desnivel es descendente

2.12. CALCULO DE TUBERÍAS SECUNDARIAS Y PRINCIPALES

De acuerdo con Fuentes. (2003), el cálculo de las tuberías secundarias y principales se hace en cada caso con arreglo al diseño de la instalación. Las pérdidas de carga se pueden calcular por tramos sucesivos de caudal constante, o aplicando el coeficiente de Christiansen para tuberías con salidas uniformemente espaciadas por las que descarga un caudal constante. Cuando en el diseño se forman bloques de riego semejantes a las subunidades de riego localizado, se puede aplicar en el cálculo el mismo criterio que en este sistema de riego

2.13. EMISORES DE RIEGO

El emisor se considera como uno de los principales elementos dentro de los sistemas de riego presurizado. Constituye una tobera u orificio por donde el agua fluye a la atmósfera, se clasifica de acuerdo con un conjunto de parámetro entre los que

sobresalen sus curvas características. La que relaciona el caudal aportado por el mismo y la presión del agua existente a la entrada. Cuando el emisor es un orificio o tobera el caudal se puede calcular mediante la fórmula siguiente:

$$q = Cv * S\sqrt{2g * h}$$

Dónde:

qe: Caudal del emisor (m³/s)

Cv: Coeficiente de gasto (varía entre 0.95 y 0.99)

S: Diámetro de la boquilla (m)

g: Aceleración de la gravedad (9.8 m/s²)

h: Carga del aspersor (m.c.a)

2.14. COEFICIENTE DE VARIACIÓN

La uniformidad del riego depende, entre otras causas, de la uniformidad de los emisores, cuya fabricación está sujeta a variaciones en cuanto a tamaño, forma, peso, rugosidad, entre otros. Como consecuencia de ello, dos emisores teóricamente iguales pueden presentar un comportamiento de caudales diferentes bajo las mismas condiciones. Para valorar uniformidad de una muestra de emisores se ha establecido el coeficiente variación de fabricación (CV), que se determina por la fórmula:

$$CV = \frac{\vartheta}{qm}$$

Dónde:

CV: Coeficiente de variación

ϑ: Desviación típica de la muestra

qm: Caudal medio de la muestra

La desviación típica se calcula a partir del caudal de los emisores y el caudal medio del sistema. Para la determinación del coeficiente de variación se han de probar 25 emisores como mínimo.

$$v = \frac{\sqrt{\sum(qe - qm)^2}}{n}$$

$$qm = \frac{\sum * qe}{n}$$

Dónde:

qe: Caudal de cada emisor (L/s)

n: Número de emisores

Según el coeficiente de variación se establecen dos categorías de emisores.

Categoría A. Coeficiente de variación inferior a 0,05.

Categoría B. Coeficiente de variación comprendido entre 0,05 y 0,1.

2.15. EVALUACIÓN DE LOS SISTEMAS DE RIEGO

El agua es un factor limitante de la producción agrícola en las zonas áridas y semiáridas, a su vez, es un recurso escaso que hay que preservar.- Por eso es tan importante que cada gota de agua que se aplica mediante el riego llegue efectivamente al cultivo, de una manera adecuada y no se pierda en el proceso. Es por esto, que el objetivo es conseguir cubrir las necesidades de agua del cultivo para obtener máximas producciones haciendo mínimas las pérdidas de agua.

Una uniformidad adecuada a la hora de aplicar el agua al cultivo permite maximizar la producción, limitar las pérdidas por percolación profunda y hacer un uso más eficiente del agua disponible y de los recursos. Por otro lado, los componentes de la instalación de riego han de estar en correcto estado y tener un funcionamiento adecuado.

La frecuencia y duración de los riegos son decisiones del agricultor, pero que han de estar en consonancia tanto con las necesidades del cultivo como con el sistema de riego de que se disponga.

Para comprobar la eficiencia de nuestro sistema de riego y poder corregir las posibles deficiencias se realizan evaluaciones de riego.

La evaluación de un sistema de riego consiste en un procedimiento por el que se pretende comprobar el correcto funcionamiento de la instalación y determinar si todas las plantas de la parcela reciben la misma dotación de agua y en su caso, calcular las diferencias existentes para poder dar solución a estos problemas.

La evaluación de los sistemas de riegos, tanto presurizados como superficiales es de vital importancia para conocer los parámetros de explotación de los mismos y con ello buscar un aprovechamiento de los recursos hídricos y de los recursos que se emplean en el riego. En trabajo realizado por. Fontela. (2009), con el propósito de evaluar la uniformidad del riego y la salinidad de los suelos, así como caracterizar la situación actual de los sistemas de riego por goteo en viñedos para vinificación existentes en las áreas de regadío de los ríos Mendoza y Tunuyán (Oasis* Norte y Centro) de la provincia de Mendoza, Argentina, obtuvieron resultados que indican que un 18% de las subunidades estudiadas se encuentra por debajo del rango recomendado, presentando reducidos coeficientes de uniformidad, motivado fundamentalmente por el escaso mantenimiento que se le realizan a los sistemas y la falta de conocimiento de los productores de las metodologías establecidas para realizar estas operaciones

Por su parte Prieto y Angella. (2010), plantean que La mejora del desempeño de los sistemas de riego es el objetivo principal de la comunidad de riego en los últimos 30 años las intervenciones “modernizadoras” fueron inicialmente ingenieriles, luego priorizaron los aspectos organizativos, más tarde la participación de los usuarios y más recientemente incorporando simultáneamente todos los aspectos incluido la revalorización de la importancia operación y su redefinición.

En trabajo desarrollado por Cisneros y Pacheco. (2007), con el objetivo de evaluar el rendimiento de sistemas de riego por aspersión de baja pluviosidad como resultado de la aplicación de la extensión como soporte técnico midieron el efecto

que tiene el soporte técnico en el manejo de los sistemas de riego por aspersión en zonas de montaña, la evaluación de la intervención la efectuaron mediante la caracterización y determinación de la uniformidad de aplicación de agua de riego, la cantidad de agua efectivamente almacenada en el perfil del suelo, la eficiencia de aplicación, las pérdidas de agua por infiltración profunda y las pérdidas adicionales por escorrentía superficial y por evaporación directa. Los sistemas fueron probados en una primera fase, sin intervención técnica; y en dos fases adicionales luego de que los agricultores recibieran el entrenamiento y soporte técnico de un programa de capacitación, en su evaluación concluyen que a medida de que se lleva a cabo el entrenamiento el rendimiento de los sistemas de riego mejora considerablemente, lo cual ilustra que si las tecnologías simples son acompañadas por un apoyo adecuado en formación, resultarán en el uso correcto del recurso agua, lo que conducirá en última instancia a una mejor producción.

Pannunzio. (2010), comprobaron que mediante la evaluación de los sistemas de riego localizados, para lo que examinaron los efectos de diferentes sistemas de riego por goteo en el rendimiento de la variedad O'Neal de arándano (*Vaccinium corymbosum* L). Los resultados obtenidos sugieren la conveniencia de regar mediante los sistemas de riego localizado, una superficie acorde al área donde se desarrollan las raíces del cultivo. Si bien el sistema de doble lateral generó algunas pérdidas de agua cuando el cultivo era muy pequeño y sus raíces no ocupaban todo el camellón, el resultado medido a través de su producción, en la primera cosecha arrojó resultados favorables.

En la evaluación que se realizaran a los sistemas de riego seleccionado se tendrán en cuenta las metodologías, propuestas por el CREA. (2005), la junta de Andalucía, tanto para sistemas de riego presurizados de cubrimiento total como para los sistemas de riego localizados en las que se plantean las siguientes determinaciones

Evaluación de aspersores

Se ha adoptado un índice del grado de uniformidad obtenida para aspersores (Christiansen) de cualquier tamaño, funcionando en ciertas condiciones que se conoce como coeficiente de uniformidad (CU). Este coeficiente está afectado por la relación de tamaño boquilla-presión, por el espaciamiento de los aspersores y por el viento. Se calcula con datos referentes a observaciones en el terreno o niveles que alcanza el agua en botes abiertos colocados a intervalos regulares dentro de un área sujeta a aspersión. Se expresa con la ecuación siguiente

$$Cu = 100 \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n |Ia_i - \bar{Ia}|}{\bar{Ia} * n} \right)$$

Dónde:

Cu: Coeficiente de uniformidad (%)

Ia: Intensidad de aspersión (mm/h)

\bar{Ia} : Intensidad media (mm/h)

Materiales para realizar la evaluación.

Procedimiento para la realización de la evaluación.

- Medir el espaciamiento entre laterales y aspersores.
- Determinar la altura del elevador de los aspersores.
- Medir los diámetros de las boquillas de los cuatro aspersores.
- Medir la red de pluviómetros y colocar los pluviómetros.
- Bloquear los aspersores de forma que el chorro caiga fuera del área a evaluar

Mediciones durante el riego

- Medir la presión de los aspersores.
- Determinar el gasto de los aspersores.
- Medir la velocidad del viento.
- Medir la presión del primer y último aspersor de los dos laterales.
- Determinar el radio mojado.

Fuentes. (2003), considera que la uniformidad de distribución del agua en la superficie del suelo depende, fundamentalmente, fundamentalmente del modelo de reparto de agua del aspersor, de la presión de trabajo, del número y tipo de boquilla, de la distribución de las boquillas, de la disposición de los aspersores entre otros aspectos y considera que la fórmula propuesta por Christiansen es adecuada para evaluar la uniformidad del riego priorizado de cubrimiento total, sin embargo para el riego localizado es importante determinar los caudales y las presiones. Resalta la importancia de la obtención de altos coeficientes de uniformidad de, lo que implica una mayor eficiencia y por ende un incremento de los rendimientos

Por su parte Sapir y Sneh. (2002), consideran que la uniformidad de la distribución del agua es uno de los factores más importante para el éxito de la producción agrícola, una distribución inadecuada puede traer el crecimiento y desarrollo de los cultivos de forma irregular.

CAPITULO III. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1 UBICACIÓN

El proyecto se ejecutó en el campus de la Escuela Superior Politécnica de Manabí Manuel Félix López sitio el Limón ubicado en las coordenadas: 0° 49' 23" de latitud norte y 80° 10' 40" de longitud Oeste a una altitud de 16 m.s.n.m. La carrera de Ingeniería agrícola cuenta con 17 ha dedicadas a la docencia, producción e investigación. El trabajo se desarrolló en una superficie de 1,2 ha dedicadas al cultivo del cacao

3.2 LEVANTAMIENTO PLANIMÉTRICO

Se realizó el levantamiento planímetro del área en el cual se implementó el sistema de riego por microaspersión, el mismo se realizó mediante GPS, que permitió obtener la ubicación del área de acuerdo con las coordenadas con la las que se determinó el área del cultivo, que sirvió de base para el diseño e instalación del sistema de riego

3.3 DISEÑO

Se realizó la recopilación de la información que permitió disponer de los datos necesarios para realizar el diseño agronómico e hidráulico del sistema. Para la recopilación de la información se partió del levantamiento planímetro. Los datos relacionados con el cultivo, suelo, climatológicos, así como los componentes de la tecnología de riego a utilizar.

3.4 DATOS GENERALES DEL CULTIVO DEL CACAO

Para el diseño e implementación del sistema de riego se tuvo en cuenta las características del cultivo del Cacao, se utilizaron las reportadas en el Manual N° 75

del INIAP (Instituto Nacional autónomo de Investigaciones Agropecuarias) sobre el manejo técnico del cultivo del cacao en Manabí, el que se recomiendan marcos de plantación de 3x3; 4x3 y 4x4 metros respectivamente, y con propuestas de varios cultivos para el intercalamiento para el sombreado. De las propuestas hechas por el INIAP se propuso un marco de plantación de 3x3 metros con una densidad de siembra de 1111 plantas/ha.

3.5 DISEÑO DEL ÁREA

En el Anexo 1, se relaciona el diseño del área que sirvió de referencia para, el esquema de Riego a utilizar, donde se determinó, la dirección y longitud de la maestra, longitud y dirección de los laterales, los que se obtuvieron a partir de las dimensiones del área y del marco de riego a utilizar.

3.6 CARACTERÍSTICAS AGROCLIMÁTICAS

Para el desarrollo del trabajo fueron utilizados los datos climatológicos reportados por la estación meteorológica de la ESPAM MFL con una serie del 2010 al 2012. En el Cuadro 1 se relacionan los valores promedio mensuales desde septiembre del 2010 a diciembre 2012 de las variables agroclimáticas de la zona de estudio reportados por la estación meteorológica de la ESPAM MFL las que son utilizadas para la determinación de las necesidades hídricas del cultivo del cacao en la zona de estudio y con los resultados obtenidos se realizó el cálculo agronómico del sistema.

Cuadro1. Valores promedio mensuales de los datos agroclimáticos en la zona de estudio.

Meses	Humedad relativa %	T Máxima °C	T Mínima °C	T Media °C	Evaporación (mm)	Precipitación (mm)
Enero	87,5	29,5	21,8	25,3	87,5	212
Febrero	86,5	30,5	22,6	25,9	101,5	286
Marzo	84	31,8	22,8	26,7	143,9	333
Abril	84	30,1	22,9	26,6	158	166
Mayo	83,5	31,6	22,4	26,4	123,5	84
Junio	84,5	30,4	22,2	25,9	111	56
Julio	83,5	29,5	21,05	25,1	115	57
Agosto	80,5	29,7	21	24,7	143	130
Septiembre	78,6	30,2	20,9	24,9	116,5	130
Octubre	78,6	29,6	20,8	24,6	153	38,7
Noviembre	78,5	29,8	20,2	24,35	145,2	7
Diciembre	79,5	29,9	21,6	25,4	118,6	37,2
Promedio	82,43	30,22	21,69	25,49	126,39	1536,90

3.7 INFORMACIÓN REFERENTE A LAS CARACTERÍSTICAS DEL SUELO DONDE SE DESARROLLÓ EL PROYECTO

La información referente al suelo con las que se determinaron los parámetros de riego fueron los propuestos por Vera, A. En el 2006, (Anexo 2).

3.8 SELECCIÓN DEL MICROASPELADOR A UTILIZAR

Se seleccionó el microaspersor Meganet con caudal de 650 L/h equivalente a 0,18 L/s, con un radio de alcance de 6 metros y carga de trabajo de 25 PSI.

3.9 DISEÑO AGRONÓMICO

Para la realización del diseño agronómico se utilizó la información recopilada que permitió el cálculo de los siguientes parámetros

- Dosis de riego
- Evapotranspiración
- Intervalo, frecuencia y número de riego
- Marco de riego
- Intensidad de aspersión o pluviometría
- Tiempo de estancia de los laterales en la posición
- Número de posiciones por día por laterales
- Área de riego diaria de un lateral en una posición, y del sistema.
- Área de riego diaria
- Tiempo para cubrir el área de riego

3.9.1 DOSIS DE RIEGO (NORMA NETA PARCIAL)

Para la determinación de la dosis de riego se tuvo en cuenta las características del cultivo como fueron: ciclo biológico, fases de desarrollo, capas activas o profundidad a humedecer. Además, se tuvieron en cuenta las características del suelo en lo relacionado con las propiedades hidrofísicas del suelo en lo referente a la capacidad de campo, densidad aparente, límite productivo o factor de agotamiento fase de desarrollo, características del suelo. Para la determinación de estos parámetros se consideró se partió del criterio de que es un cultivo establecido, considerado como perenne, los valores antes mencionados, son considerados para el período del verano que se extiende desde junio a diciembre. El cálculo se realizó mediante el siguiente procedimiento.

$$M_p = 100 * H * D_a (C_c - P_m) * f$$

$$M_p = 100 * H * D_a (C_c - L_p)$$

Dónde:

M_p: Lámina neta de riego (m³/ha)

f : Fracción de agotamiento

H: Capa activa (m)

D_a: Densidad aparente (g/cm³)

C_c: Capacidad de campo

L_p: Límite productivo

P_m: Punto de marchitez

3.9.2. LÁMINA TOTAL DE RIEGO

La lámina total de riego constituye la sumatoria de todas las normas parciales que se le deben entregar al cultivo en todo su ciclo biológico, depende de las características del cultivo, suelo y de las condiciones climáticas que inciden directamente sobre el intervalo de riego, que está condicionado por la evapotranspiración del cultivo.

$$M_{pt} = \sum_{i=1}^{i=n} (M_p)$$

Dónde:

M_{pt}: Lámina total de riego (m³/ha)

M_p: Lámina neta de riego (m³/ha)

3.9.3 CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO

Para la determinación de la evapotranspiración del cultivo se calculó la evapotranspiración de referencia por el método del Evaporímetro Clase A, se utilizaron los valores de la estación meteorológica de la ESPAM y en la serie comprendida del 2010 a diciembre del 2012.

$$ET_c = \frac{ET_o}{K_b}$$

Dónde:

Etc.: Evapotranspiración del cultivo (mm/día)

ETo: Evapotranspiración de referencia (mm/día)

Kb: Coeficiente de cultivo

El valor de la evapotranspiración de referencia se calculó según se enunció en el capítulo II.

3.9.4.INTERVALO, FRECUENCIA Y NÚMERO DE RIEGO

Desde el punto de vista del diseño e instalación de un sistema de riego, el cálculo del intervalo de riego es de vital importancia, el mismo es de referencia para determinar si el sistema tiene capacidad para cubrir el área en un tiempo menor o igual al intervalo calculado. Se calculó hallando la relación entre dosis de riego y la evapotranspiración diaria del cultivo.

La frecuencia está dada por la relación entre la fase de riego e intervalo de riego calculado, lo que permite que la planta pueda recibir el volumen de agua requerido a través del riego, cuando estas no pueden ser cubiertas de forma natural.

$$IR = \frac{mp}{ET_c/d}$$

Dónde:

IR: Intervalo de riego (día)

Mp: Dosis de riego (m³/ha)

ETc: Evapotranspiración del cultivo (mm/día)

$$NR = \frac{\text{Etapa de riego}}{IR}$$

Dónde:

NR: Número de riego

Etapa de riego (días)

IR: Intervalo de riego (días)

3.9.5 MARCO DE RIEGO

Para determinar el marco de riego se partió de las características del microaspersor seleccionado, de acuerdo con Fuentes 2003 los marcos de riego pueden ser en cuadrado, rectángulo y en triángulo, en el diseño del sistema se propuso un marco de riego en función del radio de alcance del aspersor.

3.9.6. INTENSIDAD DE ASPERSIÓN O PLUVIOMETRÍA

Para calcular la intensidad de aspersión se utilizó la fórmula citada en el Manual de Plastigama 2012 donde se plantea que:

$$Ia = \frac{3\ 600 * qa}{El * Ea}$$

Dónde:

Ia. Intensidad de aspersión (mm/h)

qa: Caudal del emisor(L/s)

El: Espaciamiento entre aspersores (m)

Ea: Espaciamiento entre laterales(m)

3.9.7. TIEMPO DE ESTANCIA DE LOS LATERALES EN LA POSICIÓN

La determinación del tiempo de estancia de los laterales en una posición es de vital importancia, se determinó hallando la relación entre la dosis bruta de riego y la intensidad de aspersión, mediante este cálculo permitió determinar el tiempo que debe estar regando el sistema para que no se produzcan exceso ni déficit de agua al cultivo, en la propuesta que se hizo como todos los laterales trabajan de forma simultánea, el tiempo de estancia coincide con el tiempo de riego diario para poder calcular el área de riego diaria y con ello la capacidad del sistema. Se proyectó el sistema para que desde una sola posición beneficiar toda el área.

$$TELP = \frac{mb}{Ia}$$

Dónde:

TELP: Tiempo de estancia de los laterales en la posición horas

Mb: Dosis bruta

Ia: Intensidad de aspersión mm/h

3.9.8. ÁREA DE RIEGO DIARIA DE UN LATERAL EN UNA POSICIÓN, Y DEL SISTEMA

El sistema se proyectó para regar toda el área desde una sola puesta, la cantidad de laterales calculados según la dimensión del área trabajan de forma simultánea al instalarse un sistema fijo, además que por las dimensiones del área, el microaspersor instalados, así como el caudal y la carga registrada en el comienzo del área permiten que se pueda regar con todos los laterales de forma simultáneas.

3.9.9. ÁREA DE RIEGO DIARIA

Como se ha expuesto por las características del sistema que se implementó permite que el área de riego diaria coincida con la superficie total del proyecto.

3.9.10. TIEMPO PARA CUBRIR EL ÁREA DE RIEGO

Al igual que los puntos anteriores el tiempo para cubrir el área de riego coincide con el tiempo de estancia de los laterales para entregar la norma de riego.

3.10. DISEÑO HIDRÁULICO

Para la realización del diseño hidráulico se consideró lo propuesto por Fuentes (2003), a partir de las fórmulas generalizadas para el cálculo de cada uno de los componentes del sistema de riego, las que fueron referenciadas en el Marco Teórico. Se utilizaron las recomendadas por Blasius y de Hazen – Willians, así como las de Darcy-Weisbach con las que se determinaron los parámetros siguientes:

3.10.1 NÚMERO DE ASPERSORES Y LONGITUD DEL LATERAL

Para determinar el número de aspersores y la longitud del lateral se tuvo en cuenta las dimensiones del área que es de 97x124 m de acuerdo con la ubicación de la toma se propuso colocar la tubería maestra perpendicular a las líneas de plantación del cultivo del cacao dividiendo el campo en dos partes iguales y los laterales paralelos a las líneas de plantación. Estos se bifurcan a ambos lados de la tubería maestra.

Para determinar el número de aspersores se realizó el procedimiento siguiente:

$$N_{asp} = N_{espac} + 1$$

$$N_{espac} = \frac{Le}{Ea}$$

$$Le = Ac - Dha$$

$$Dha = \frac{Ea}{2}$$

Dónde:

Nasp: Número de aspersores en el lateral

Nespac: Número de espacios

Le: Longitud efectiva (m)

Ea: Espaciamiento entre aspersores (m)

Ac: Ancho del campo (m)

Dha: Distancia hasta el primer aspersor (m)

La longitud del lateral (Ll) se determinó mediante la fórmula siguiente:

$$Ll = Nespac * Ea$$

3.10.2. NÚMERO DE CONEXIONES DE LOS LATERALES CON LA TUBERÍA MAESTRA Y LONGITUD DE LA MAESTRA

El número de conexiones de los laterales se calculó como:

$$Nconex = Nespac + 1$$

$$Nespac = \frac{Le}{El}$$

$$Le = Lc - Dhpconex$$

$$Dhpconex = \frac{El}{2}$$

Dónde:

Nconex: Número de conexiones

Nespac: Número de espacios

Le: Longitud efectiva (m)

El: Espaciamiento entre laterales (m)

Lc: Longitud del campo (m)

Dhpconex: Distancia hasta la primera conexión

3.10.3. NÚMERO DE LATERALES NECESARIOS PARA CUMPLIR EL PROGRAMA DE RIEGO

Para determinar el número de laterales se tuvo en cuenta el caudal y la carga disponibles en la toma, así como el caudal y la carga demandado por cada aspersor, la longitud de los laterales que se tuvo en cuenta para determinar el número de aspersores.

De acuerdo con el marco de riego propuesto, que es de 10 x 10 m y las dimensiones del área que son de 124 x 97 m, el número de laterales se determinó como sigue:

$$Nl = \frac{Lc}{El}$$

Dónde:

Nl: Número de laterales

Lc: Longitud del campo (m)

El: Espaciamiento entre laterales (m)

3.10.4. DETERMINACIÓN DE CAUDALES REQUERIDOS. LATERAL Y SISTEMA

Para la determinación de los caudales de los laterales y del sistema se tuvo en cuenta el número de aspersores por lateral y el caudal de un aspersor, así como el número de laterales que trabajan simultáneamente.

$$ql = qe * Nasp$$

$$Qt = ql * Nl$$

Dónde:

ql: Caudal del lateral (L/s)

qe: Caudal del emisor (L/s)

Qt: Caudal del sistema (L/s)

3.10.5 DISEÑO DE LA DISTRIBUCIÓN DE TUBERÍAS PRINCIPALES Y LATERALES

El diseño de las tuberías principales y laterales se realizó teniendo en cuenta el caudal a conducir en cada una de ellas, así como, las velocidades recomendadas para estos diámetros de tuberías, de acuerdo con Fuentes (2003), que plantea que en diámetros pequeños hasta 150 mm la velocidad óptima está alrededor de 1 m/s, aunque hay autores que consideran que para este tipo de conducto las velocidades pueden llegar hasta 1,50 m/s y de 2 m/s cuando los diámetros están entre 150 y 350 mm. Teniendo en cuenta estos parámetros se determinó el diámetro óptimo para la tubería maestra, la que se colocó de forma telescópica y la tubería lateral. Para ambos casos se propuso utilizar tuberías de PVC.

Para determinar el diámetro se partió de la fórmula:

$$Qt = A * V$$

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

$$A = 0,785d^2$$

$$A = \sqrt{A * 0,785}$$

Dónde:

A: Área de la sección transversal de la tubería (m²)

V: Velocidad del agua (m/s)

d: Diámetro de la tubería (m)

3.10.6. CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE CARGA Y DIÁMETRO DE TUBERÍAS

Para el cálculo de las pérdidas de carga se utilizó la fórmula de DarcyWeisbach:

$$Hf = F \frac{L * V^2}{2gd}$$

$$F = 0,0020 + \frac{0,0018}{\sqrt{dV}}$$

Dónde:

Hf: Pérdida de carga en la tubería maestra (m)

F: Factor de fricción

L: Longitud de la tubería maestra (m)

V: Velocidad (m/s)

g: Fuerza de gravedad (9,88 m/s²)

d: Diámetro (m)

Para el cálculo de las pérdidas de carga en las tuberías laterales se tuvo en cuenta que la variación máxima del caudal de los aspersores sea $\leq 10\%$ del caudal del lateral. Y que la variación máxima de la carga sea inferior al 20% de la carga de trabajo de los emisores.

Para el cálculo de las pérdidas de carga del lateral se trabajó con la fórmula del cálculo de pérdidas de carga en tuberías de salidas múltiples:

$$hr = J * L * F$$
$$F = \frac{1}{1 + \beta} + \frac{1}{2N} + \frac{\sqrt{\beta + 1}}{6N^2}$$

Dónde:

hr: Pérdida de carga por rozamiento en la tubería lateral

J: Factor de equivalencia

L: Longitud del lateral

F: Factor reductor de pérdida de carga por salidas múltiples

N: Número de salidas

3.10.7. DETERMINACIÓN DE LA CARGA REQUERIDA EN EL SISTEMA

La carga requerida en el sistema se determinó a partir de la pérdida de carga que se produce en la tubería maestra en los laterales, accesorios y la carga requerida por los microaspersores para su óptimo funcionamiento. Se comparó la carga disponible

en la toma con la pérdida de carga que se produce en el sistema para comprobar que el sistema puede trabajar eficientemente al garantizar que los microaspersores trabajen con los parámetros de diseño, como son: el caudal, la carga, el radio y la intensidad.

3.11. EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO IMPLEMENTADO

Para comprobar la eficiencia del sistema de riego y poder corregir las posibles deficiencias se realizó la evaluación del sistema posinstalación.

La evaluación del sistema se realizó siguiendo la metodología propuesta por el CREA 2005, la junta de Andalucía, tanto para sistemas de riego presurizados de cubrimiento total como para los sistemas de riego localizados en las que se plantean las determinaciones siguientes:

Evaluación de aspersores:

De acuerdo con las características del área se seleccionaron los laterales de muestreo, las zonas y los parámetros. Se muestrearon las áreas comprendidas entre los laterales 1 y 2, 5 y 6, y 9 y 10. Se seleccionaron tres zonas de muestreo en cada una de estas áreas ocupadas por cuatro microaspersores comprendidos entre los aspersores uno y dos del lateral uno y dos, los aspersores que ocupan las posiciones seis y siete y los que ocupan nueve y diez de los mismos laterales.

Se seleccionaron las áreas similares pero para los laterales cinco y seis, y en los laterales nueve y diez. En total se evaluaron nueve zonas en las que se colocaron pluviómetros de 7,5 cm de diámetro separados a 3 m, para un total de 16 pluviómetros por cada zona de muestreo y en total se utilizaron 144 pluviómetros.

La evaluación se realizó durante una hora. Con el volumen de agua registrado en cada pluviómetro se determinó la lámina, así como la intensidad, tanto individual,

como promedio para cada zona, lateral y el sistema. Se determinó el coeficiente de uniformidad de acuerdo con la propuesta de Christiansen:

Determinación de las láminas

$$L = \frac{V}{A} 10$$

Dónde:

L: Lámina (mm)

V: Volumen registrado en cada pluviómetro (cm³)

A: Área del pluviómetro (cm³)

Determinación de la intensidad de aspersión

$$Ia = \frac{L}{t}$$

Dónde:

Ia: Intensidad de aspersión (mm/h)

L: Lámina (mm)

t: Tiempo (h)

Determinación del coeficiente de uniformidad se utilizó la fórmula propuesta por Christiansen:

$$Cu = 100 \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n |Ia_i - \bar{Ia}|}{\bar{Ia} * n} \right)$$

Dónde:

Cu: Coeficiente de uniformidad (%)

Ia: Intensidad de aspersión (mm/h)

$\bar{I}a$: Intensidad media (mm/h)

Para la realización de la evaluación se seleccionaron los materiales requeridos y se siguió el procedimiento seguido para este tipo de sistema.

3.12. ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE RIEGO

Para el análisis económico se tuvo en cuenta el inventario de los componentes del sistema y los costos unitarios de cada uno de ellos, así como las operaciones que se realizaron para la implementación del sistema, lo que permitió hacer el cálculo económico del mismo.

3.13. PASOS PARA LA INSTALACIÓN

Excavación

Una vez realizado el cálculo agronómico e hidráulico, así como el trazado de las líneas secundarias y laterales se procedió a excavar con pico y pala para construir las zanjas en las que se colocaron las tuberías antes mencionadas a una profundidad entre 0.40m y 0.50m.

Además, en el sistema se colocaron los accesorios que permitirán una explotación eficiente del mismo, tales como: válvulas para la admisión y expulsión del aire, manómetro.

IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el cuadro 2, se relacionan los cálculos de los parámetros de riego los que fueron determinados de acuerdo con los datos de cultivo, suelos, climáticos y de la tecnología de riego seleccionada según se describió en el capítulo III Diseño Metodológico. En cuadro se observa que la dosis de riego que se le debe entregar al cultivo durante la campaña de riego es de 250 (m³/ha), lo que permitirá satisfacer las necesidades hídricas del cultivo bajo las condiciones de suelo y clima en la que se desarrolló el proyecto.

Cuadro 2. Parámetros de riego.

Parámetros	Resultados
Cultivo	Cacao
Etapa de riego	Junio – Diciembre
Capa activa (m)	0,40
Densidad aparente (g/cm ³)	1,35
Capacidad de campo (% del peso del suelo seco) Se calculó de acuerdo con la fórmula propuesta por Peele citado por Fuentes (2003) se utilizaron los porcentajes de arena, limo y arcilla reportados por Vera (2006)	27
Límite productivo o factor de agotamiento (en dependencia de la capacidad de campo y la tecnología de riego se consideró el 85% del mismo)	22,95
Norma neta parcial o dosis de riego (m ³ /ha)	250

En el cuadro 3, se hace referencia al valor de la evapotranspiración del cultivo del cacao en la zona de estudio, la misma se determinó mediante el método de la cubeta evaporimétrica existente en la estación meteorológica de la ESPAM MFL, estos valores tienen incidencia directa dada las características de la zona en la que el valor de la evapotranspiración del cultivo se convierte en la necesidad hídrica del cultivo, por cuanto en periodo en que se planifica el riego, este se convierte en el principal ingreso de agua en suelo por cuanto en esta época las lluvias son escasas o nulas. De los valores obtenidos sobresale el mes de diciembre como el mes de mayor evapotranspiración con 137,7 lo que implica que en este mes se le deben aplicar

cinco riegos al cultivo para satisfacer sus necesidades hídricas. En el mes de junio es donde se produce el valor de la evapotranspiración más baja con 69,93 mm, por lo que se le deben aplicar 3 riegos en este período al cultivo para satisfacer las necesidades hídricas del cultivo, las que se deben aplicar con intervalos de 11 días de acuerdo con la dosis de riego y la evapotranspiración (ver Cuadro 4).

Cuadro 3. Resultados de los cálculos de la evapotranspiración del cultivo para la etapa de riego.

Parámetros/ meses	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Octubre	Nov.	Dic.
Ev (mm)	111	115	143	116,5	153	145,2	218,6
Kp	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
Et ₀	97,7	80,5	100,1	81,55	107,1	101,64	153
Kb	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Et _c (mm)	69,93	72,45	90,09	73,40	96,40	91,48	137,70

Cuadro4: Necesidades hídricas del cultivo.

Parámetros/ meses	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Octubre	Nov.	Dic.	Total
Mp (m ³ /ha)	250	250	250	250	250	250	250	
Etc (mm/día)	2,33	2,33	2,91	2,45	3,21	3,05	4,44	
Ir (días)	11	11	9	10	8	8	6	
Nr (número de riego)	3	3	3	3	4	4	5	25
Mptotal	750	750	750	750	1000	1000	1250	6250

En cuadro 4, se relacionan los valores correspondientes a las dosis de riego, los intervalos y a partir de estos el número de riego y con ellos poder determinar la norma total que se le debe entregar al cultivo para satisfacer sus necesidades hídricas, de acuerdo con los datos de suelo, clima y cultivo. Según los resultados obtenidos es importante que a la planta se le entreguen 625 mm distribuidos en 25 riego, que representan el 50 por ciento del agua demandada por el cultivo en la que otra cuantía debe ser cubierta por medio de las precipitaciones, estos valores coinciden con lo planteado por

Cuadro 5. Parámetros de explotación de riego.

Parámetros	Resultados
Marco de riego (m ²)	10X10
Intensidad de aspersión (mm/h)	6,48
Tiempo de estancia de los laterales en la posición (h)	4,53
Área de riego de un lateral en una posición (ha)	0,124
Área de riego diaria (ha)	Coincide con la superficie del sistema por ser un sistema estacionario y que la capacidad de la toma garantiza cubrir toda el área desde una sola posición
Tiempo para cubrir el área de riego (h)	Coincide con el tiempo de estancia de los laterales en la posición al trabajar todos los laterales de forma simultánea

En cuadro 5, se hace referencia, además, a los parámetros de explotación del sistema de riego que se instala, de acuerdo con las características del emisor se propone un marco de 10 X 10 metros, lo que garantiza el traslape necesario para certificar la lámina requerida por el cultivo. Con los parámetros técnicos del emisor se determinó la intensidad de aspersión que asciende a 6,48 (mm/h), aspecto de vital importancia para de acuerdo con las características del sistema y la dosis demandada por el cultivo determinar el tiempo de riego necesario para entregar la dosis.

Este es un aspecto de vital importancia por cuanto se no se cumple con los valores determinados se pueden realizar un riego ineficiente ya que se le entregaría un volumen por debajo o por encima de lo demandado por el cultivo. En los demás aspectos calculados al tratarse de un sistema estacionario, los parámetros de explotación, son similares como es el tiempo de riego, y el tiempo para cubrir el área.

Diseño hidráulico

En cuadro 6, se hace referencia a los parámetros hidráulico del sistema de riego diseñado, aspecto importante desde el punto de vista hidráulico que por la posición de la toma de la cual se alimenta al área, se decidió el trazado de la tubería maestra por el centro del área, dividiendo la misma en dos partes simétricas, donde los laterales se bifurcan a ambos lados, con longitud de 50 metros, aspecto de gran importancia para el cálculo de las pérdidas de carga que se producen en esta conducción.

Para el diseño hidráulico de la tubería maestra se propuso trabajarla de forma telescópica para disminuir las pérdidas de carga en el sistema, y así garantizar la explotación eficiente del sistema, y disminuir los costos de recursos.

Cuadro 6. Parámetros hidráulicos.

Parámetros	Resultados
Número de aspersores por laterales	5
Longitud del lateral (m)	50
Número de conexiones de los laterales a la tubería maestra	10
Longitud de la maestra (m)	90
Número de laterales para cubrir el área	20
Numero de emisores para el sistema	100
Caudal del lateral (L/s)	0,9
Caudal del sistema (L)	18

En el sistema se proponen 10 laterales bifurcados a ambos lados de la tubería muestra con conexión directa, no se le colocan válvulas por lo que desde la tubería maestra se le suministra agua a ambos lados delo lateral de forma simultanea desde el punto de vista hidráulico debe considerares el lateral a partir d la conexión con la tubería maestra, ya que se logra una simetría en el cálculo de las pérdidas de cargas en el sistema

En el cuadro 7, se hace referencia al cálculo de las pérdidas de carga en el sistema las que fueron calculadas según los procedimientos descritos en el diseño metodológico, teniendo en cuenta estos resultados la carga requerida en la toma para poder vencer las pérdidas de carga que se producen el sistema fueron de 23 m.c.a equivalente a 33 PSI. De acuerdo con los resultados obtenidos de la evaluación realizada de las cargas en los puntos seleccionados donde se obtuvo el 22,77 PSI que representa el 98,74 % de la carga requerida por proyecto por el aspersor.

En la evaluación realizada se pudo comprobar que los microaspersores trabajan de forma eficiente ya que la diferencia de carga en el lateral es inferior al 20 % de la carga con que debe trabajar el lateral.

Cuadro 7. Pérdidas de carga.

Parámetros	Resultados
Pérdida de carga en la tubería maestra(m.c.a)	2,82
Pérdida de carga en los laterales(m.c.a)	0,44
Pérdida de carga en los accesorios (m.c.a)	2,10
Carga requerida en los aspersores(m.c.a)	17,7
Carga demandada por el sistema (m.c.a)	23,06

Evaluación del sistema

En los Cuadros 8 y 9, se plasman los valores obtenidos de la evaluación del sistema de riego una vez instalado, en los Anexos 3, 4 y 5 se relacionan volúmenes y láminas obtenidos durante la evaluación del sistema.

La intensidad de aspersión (Cuadro 8), fue analizada en tres elementos en la zona muestreadas, en los laterales y en el sistema, se observa que existe diferencia entre los valores obtenidos en las zonas muestreadas, varios aspectos pueden estar incidiendo en los resultados tales como: tamaño de la plantación desarrollo de los

árboles en el área número de pluviómetros colocados entre otros. De los resultados obtenidos se observa que la intensidad media obtenida en el sistema es de 6,55 mm/h y difiere en solo 0,07 mm/h con respecto a la intensidad teórica calculada a partir de las características del microaspersor, sin embargo si se obtienen diferencias importantes con respecto a los laterales y las zonas, lo que está dado por la forma en que están dispuestos los emisores y los puntos muestreados, por lo que será importante continuar evaluando el sistema hasta determinar el porcentaje de área excesivamente humedecida, óptimamente humedecida y deficientemente humedecida.

Cuadro 8. Comportamiento de la intensidad de aspersion por zonas, laterales y del sistema de acuerdo con la evaluación realizada.

	Lateral 1 - 2			Lateral 5 - 6			Lateral 9 - 10		
	Z1	Z2	Z3	Z1	Z2	Z3	Z1	Z2	Z3
Imz	4,67	5,77	6,69	5,2	4,91	4,3	8,54	7,4	11,5
Imlat	5,71			4,80			9,15		
Imsist	6,55								

Leyenda:

Imz: Intensidad media en la zona de muestreo

Imlat: Intensidad media entre dos laterales muestreados

Imsist: Intensidad media del sistema

En el Cuadro 9, se relacionan los valores del coeficiente de uniformidad en los que se obtienen valores medios de 57,44 % lo que se evalúa de deficiente con respecto a lo planteado por Fuentes en el 2003, cuando considera que para este tipo de cultivo debe ser superior a 85 por ciento, el centro de la comunidad de regante de castilla la Mancha recomienda más de un 70 % para esta tecnología de riego, también inferiores a los recomendados por el CREA, 2005.

Cuadro 9. Comportamiento del coeficiente de uniformidad por zonas, laterales y del sistema de acuerdo con la evaluación realizada.

	Lateral 1 - 2			Lateral 5 -6			Lateral 9 – 10		
	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	Z8	Z9
Cuz (%)	52	33	36	68	52	66	75	69	66
Cult (%)	40,33			62,00			70,00		
Cusist (%)	57,44								

Cálculo económico para la implementación del sistema

Se realizó el cálculo económico de la implementación del sistema de riego propuesto, para esto se tuvo en cuenta cada uno de los componentes desglosados en las tuberías principales y secundarias que fueron seleccionadas de acuerdo con los parámetros hidráulicos de caudal, carga, velocidad y con ello se determinaron los diámetros óptimos. Se seleccionó un emisor de tipo meganet que de acuerdo con el marco propuesto y las características del área cumple con los parámetros y la exigencia del sistema. Además, fueron calculados los accesorios requeridos para el mismo.

El cálculo de las necesidades ascendió a un monto de \$ 2 096,18, (como se observa en el Anexo 6), inversión que se justifica a partir de los incrementos productivos que puedan lograrse ya que mediante la implementación del sistema permite suplir en más del 60% la necesidad hídrica anual del cultivo.

V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

1. Se realizó el diseño agronómico para la implementación del sistema de riego en el cultivo de cacao en el área de clones de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí, a partir del cual se determinaron los parámetros hidráulicos que permitieron la implementación del sistema de riego y poder satisfacer las necesidades hídricas del cultivo.
2. Se realizó el diseño hidráulico para la implementación del sistema de riego en el cultivo de cacao en el área de Clones de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí, que permitió el cálculo de los componentes del sistema en el que se pudo comprobar que la toma a la que se conectó el sistema garantiza los caudales y carga demandados por el sistema.
3. Una vez realizada la implementación del sistema de riego en el área de clones de Cacao en la escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí, se evaluó el mismo en el que se pudo comprobar la relación entre los parámetros teóricos y prácticos del sistema instalado.
4. La evaluación realizada arrojó coeficiente de uniformidad de un 57%, considerado de regular por varios autores; la causa fundamental de este resultado es la intersección del follaje en la distribución uniforme del agua de los emisores.
5. Se realizó el cálculo económico de la implementación del sistema de riego propuesto, ascendente a \$ 2096,18, inversión que se justifica a partir de los incrementos productivos que puedan lograrse ya que mediante la implementación del sistema permite suplir en más del 60% la necesidad hídrica anual del cultivo.

Recomendaciones

1. Implementar el sistema de riego cumpliendo los parámetros agronómicos e hidráulicos expuestos en esta tesis.
2. Realizar la explotación de riego cumpliendo con los cálculos agronómicos obtenidos en esta investigación.
3. Evaluar el sistema periódicamente de forma tal que se ajuste la explotación del mismo a las condiciones de comportamiento de los parámetros de la toma a la cual se acopla el sistema, así como las particularidades del cultivo.

BIBLIOGRAFÍA

1. Blasius, 1996. Riegos localizados de alta frecuencia, goteo, microaspersión, exudación. Ed. Mundi-Prensa. Madrid
2. Bonneau, L. 2001. Performance of Irrigation systems on irrigated banana plantation in Cameroon. Disponible en <http://www.silsoe.cranfield.ac.uk/iwe/index.htm>. [Consulta junio 2010]
3. Calvache, M. 1998. Introducción a la agricultura de regadío PRONADER-IICA Quito, p 160.
4. CCI, 1991. (Centro de Comercio Internacional UNCTAD/GATT). Resumen para los servicios de Información comercial. Cacao fino o de aroma. Estudio de la producción y el comercio mundiales. Ginebra 1991.p 60.
5. Cisneros y Keller, 1988. Manual de diseño de sistemas de riego por aspersión y goteo. Centro Internacional de Riegos. USA, UTAH. p 85.
6. Cisneros, y Pacheco, 2007. Mountain irrigation: performance assessment and introduction of new concepts to improve the water distribution at field level. PhD-dissertation, Faculty of Bioscience Engineering, Katholieke Universiteit Leuven, Leuven, Belgium.p 45.
7. Cope, F. 1976. Cacao. Theobroma Cacao L. (Sterculiaceae). Evolution of crop plants. London, UK and New York, US Longman, Ed. NW Simmonds.p 285.
8. CREA, 2005. (Centro Regional de Estudio del Agua). Necesidades de agua, programación de riegos, estrés hídrico y eficiencia de uso del agua en el cultivo de Cacao.
9. Enríquez, G. 2004. Cacao Orgánico: Guía para productores ecuatorianos. Quito, EC. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias. (Manual 54). p 360.
10. Enríquez, G. y Salazar, C. 1987. Manual del Cacao para agricultores. 1ra Edición San José CR. EUNED. Coedición: CATIE-ACRI-UNED. p 150.
11. FAO, 2008. (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). . Situación de las mujeres rurales. Oficina principal género, equidad y empleo rural. Ecuador.

12. Fontela, C. 2009. Riego por goteo en Mendoza, Argentina: evaluación de la uniformidad del riego y del incremento de salinidad, sodicidad e iones cloruro en el suelo. Rev.
13. Fuentes, J. 2003. Técnicas de Riego. Cuarta edición. Ministerio de Agriculturay Pesca. España ed. por Mundi-prensa. p 235.
14. Galarraga, R. 2001. Estado y Gestión de los Recursos Hídricos en el Ecuador, ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL, Quito – Ecuador.
15. IEDECA, 1998. (Instituto De Ecología Y Desarrollo De Las Comunidades Andinas) Organización Campesina y Gestión del Riego, Quito – Ecuador.
16. INIAP, 2010. Manejo Técnico del Cultivo de Cacao en Manabí. Manual # 75. INIAP. Estación Experimental Portoviejo.
17. IIC, 2002. (Internacional Irrigation Center). Curso de Diseño y Sistemas de Riego por Goteo y Aspersión. Universidad Estatal de Utha. EE.UU.
18. Mejía, L. y Argüello, O. 2000. Tecnología para el Mejoramiento de Sistemas de Producción de Cacao. 2000. Compiladores. Publicación CORPOICA Ministerio de Agricultura. Ed. Impresiones Colombianos .Bucaramanga, CO. 2000.
19. Motamayor, J. 2002. Cacao domestication In: The origin of the cacao cultivated by the Mayas. Heredity 89: p 380.
20. Motamayor, J. 2001. Etude de la diversité génétique et de la domestication des cacaoyers du grupe criollo (*Theobroma cacao* L.) à l'aide de marqueurs moléculaires. Le grade de Docteur en Sciences. Universite Paris XI. p 177.
21. Motato, 2012. Base de datos sobre necesidades hídricas para el cultivo de cacao Manabí. Manual No. 75 Manejo técnico del cultivo del cacao en Manabí.
22. Motato, N. 2010. Abonamiento y riego. En INIAP (Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias, Ec) Manual No. 75 Manejo técnico del cultivo del cacao en Manabí. p 42.
23. Motato, N. y Cedeño J., 2010. Caracterización agroclimática de las zonas cacaoteras de Manabí. En INIAP (Instituto Nacional Autónomo de

- Investigaciones Agropecuarias, EC) Manual No. 75 Manejo técnico del cultivo del cacao en Manabí. p 1.
24. Orona, C. 2001. Manual para el Establecimiento y manejo nopal, verdura bajo riego por goteo en la comarca lagunera. CENID RASPA-INIFAP.
 25. PACC, 2009. (Proyecto Adaptación al Cambio Climático a través de una efectiva gobernabilidad del agua en el Ecuador). Estudio de vulnerabilidad actual a los riesgos climáticos en el sector de los recursos hídricos en las cuencas de los ríos Paute, Jubones, Catamayo, Chone, Portoviejo y Babahoyo. p 3.
 26. Pannunzio, 2010. Respondiendo a la escasez de agua de riego. Cambio institucional y Mercado de Agua. Estudio de un caso en las islas canarias. Revista, Economía Agraria. P 167.
 27. Prieto y Angella. 2010. Riego por aspersión. Comisión Nacional de riego. Corporación de Fomento de la Producción. Chile.
 28. Razuri, L. 2012 Seminario internacional de riego sobre riego localizado y aspersión Memorias del seminario. Guayaquil Ecuador.
 29. Sánchez, C. 2005. Sistemas de Riego, Ediciones RIPALME, Lima – Perú.
 30. Sapir, E. y Sneh, 2002. Riego por aspersión Servicio de extensión Dpto. de Riego y Suelos. Ministerio de Agricultura y desarrollo rural Centro de Cooperación internacional para el desarrollo agrícola. Estado de Israel.
 31. Solórzano y Mendoza. 2010. Propagación vegetativa del cacao por los métodos de injerto y de estacas enraizadas, estación experimental Agrícola, circular de extensión #49. 1954. 17p
 32. Taípe y Calvache, M. 2007. Evaluación de dos métodos de riego por goteo y dos abonos orgánicos en el cultivo de rosas var. PREFERNCE- REVISTA RUMIPAMBA. Vol. XXI – No. 1 p13.
 33. Thorne, D. y Peterson, H. 1996. Técnica de Riego Fertilidad y Explotación de los Suelos. Editorial Continental. México .D. F. p 75.
 34. Vera, A. 2006. Determinación de las curvas de retención de agua de los suelos agrícolas en el campus de la Escuela Superior Politécnica de Manabí.

Tesis de grado para Ingeniero Agrícola. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí. Calceta. p 42.

ANEXOS

Anexo 1.









Anexo 2. Valores de los resultados del análisis físico del suelo correspondiente al cultivo del cacao. Fuente: Vera (2006).

HORIZ	ESP (cm)	PROF (cm)	TEXTURA (%)			CLASIFICACIÓN TEXTURAL	Da (g/cm ³)	Dr (g/cm ³)	PLASTC (%)	INDIC ENCO G (mm)	PMP (%)	CC (%)	MCR (%)	HUM. HIGROSC. (%)	PEGAJOS (%)	PH
			ARENA	LIMO	ARCILL A											
A	16	0,0- 16,0	32	48	20	Franco	1,5867	2,45	59,01	9	41,90	77,14	36,00	10,60	45,30	5,5
B	3,8	16,0- 19,8	24	48	28	Franco arcilloso	1,4836	2,45	63,07	6	30,60	56,35	72,00	11,80	39,90	5,5
C	14,5	19,8- 34,3	32	48	20	Franco	1,7123	2,17	49,75	4	27,90	51,50	64,82	8,0	33,60	6
D	24,5	34,3- 58,8	56	32	12	Franco Arenoso	1,5152	2,64	72,08	2	16,70	30,77	61,20	6,60	28,10	6
E	19	58,8- 77,8	48	24	28	Franco arc. are	1,5777	2,57	44,29	4	31,10	57,14	64,00	8,40	33,60	6,5
F	7	77,8- 84,8	24	60,8	15,2	Franco limoso	1,3271	2,45	39,59	2	22,80	41,90	58,38	6,60	27,20	6
G	65,2	84,8- 150,0	48	32	20	franco	1,6293	2,57	43,75	2	23,10	42,59	8,40	8,00	32,80	6

Anexo 3. Valores de volúmenes y láminas obtenidas durante la evaluación del sistema Lateral1_2.

Lateral 1

No.	Posición 1		Posición 2		Posición 3	
	V (m ³)	L (mm)	V (m ³)	L (mm)	V (m ³)	L (mm)
1	12	2,71	8	1,81	10	2,26
2	28	6,34	130	29	146	33
3	4	0,9	16	3,62	26	5,88
4	10	2,26	18	4,07	10	2,26
5	32	7,24	20	4,53	20	4,53
6	38	8,6	4	0,9	52	11,77
7	32	7,24	4	0,9	16	3,62
8	34	7,7	26	5,88	18	4,07
9	18	4,07	40	9	42	9,5
10	20	4,53	24	5,43	10	2,26
11	10	2,26	10	2,26	12	2,71
12	10	2,26	34	7,7	32	7,24
13	10	2,26	8	1,81	10	2,26
14	34	7,7	20	4,53	30	6,7
15	26	5,88	38	8,6	30	6,7
16	12	2,71	10	2,26	10	2,26
Media	20,625	4,66625	25,625	5,76875	29,625	6,68875

Anexo 4. Valores de volúmenes y láminas obtenidas durante la evaluación del sistema Lateral 5_6.

No.	Posición 1		Posición 2		Posición 3	
	V (m ³)	L (mm)	V (m ³)	L (mm)	V (m ³)	L (mm)
1	8,00	1,81	4,00	0,90	6,00	1,35
2	32,00	7,24	40,00	9,00	22,00	4,98
3	26,00	5,88	38,00	8,60	10,00	2,26
4	10,00	2,26	8,00	1,81	18,00	4,07
5	36,00	8,15	4,00	0,90	16,00	3,62
6	8,00	1,81	26,00	5,80	18,00	4,07
7	38,00	8,60	20,00	4,53	10,00	2,26
8	20,00	4,53	36,00	8,15	20,00	4,53
9	26,00	5,88	20,00	4,53	16,00	3,62
10	32,00	7,24	32,00	7,24	24,00	5,43
11	24,00	5,43	30,00	6,80	38,00	8,60
12	30,00	6,80	30,00	6,80	26,00	5,88
13	20,00	4,53	10,00	2,26	18,00	4,07
14	18,00	4,07	12,00	2,71	28,00	6,34
15	20,00	4,53	28,00	6,34	26,00	5,88
16	20,00	4,53	10,00	2,26	8,00	1,81
Media	23,00	5,21	21,75	4,91	19,00	4,30

Anexo 5.Valores de volúmenes y láminas obtenidas durante la evaluación del sistema Lateral 9_10.

Lateral 3

No.	Posición 1		Posición 2		Posición 3	
	V (m ³)	L (mm)	V (m ³)	L (mm)	V (m ³)	L (mm)
1	44	9,96	20	4,53	60	13,59
2	54	12,23	30	6,8	35	7,93
3	36	8,15	32	7,24	58	13,13
4	50	11,32	20	4,53	30	6,8
5	56	12,68	30	6,8	54	12,23
6	36	8,15	50	11,32	66	14,94
7	24	5,43	50	11,32	60	13,59
8	24	5,43	28	6,34	60	13,59
9	20	4,53	40	9	72	16,3
10	32	7,24	10	2,26	90	20,38
11	40	9	54	12,23	76	17,21
12	28	6,34	30	6,8	52	11,77
13	28	6,34	40	9	10	2,26
14	36	8,15	26	5,88	32	7,24
15	54	12,23	44	9,96	28	6,34
16	42	9,51	20	4,53	30	6,8
Media	37,75	8,543125	32,75	7,40875	50,8125	11,50625

Anexo6. Cálculo económico del proyecto.

Activ.	Detalle	Cantidad	Valor Unitario (\$)	Valor Total (\$)	
1	Meganet de 650 L/hora	100	3,50	350,00	
2	Tubería de PVC de 110 mm de 0,63 MPA	9	20,00	180,00	
3	Tubería de PVC de 90 mm de 0,5 MPA	7	13,00	91,00	
4	Tubería de PVC de 25 mm de 0,8 MPA	170	2,80	476,00	
5	Codo de PVC de 90° X 110 mm	6	6,00	36,00	
6	Codo de PVC de 90° X 25 mm	24	0,56	13,44	
7	Cruz de 110 X 25	12	8,00	96,00	
8	Válvula de 4 pulgadas	1	179,00	179,00	
9	Polipega	2	6,00	12,00	
10	Adaptadores machos de 110 mm X 3 pulgadas	2	4,50	9,00	
11	Reductores de 110 X 90 mm	1	4,00	4,00	
12	Collarín de 110 X ¾	1	6,00	6,00	
13	Válvula de aire de ¾	1	22,00	22,00	
14	Válvula de aire	1	9,66	9,66	
15	Manómetro	1	26,27	26,27	
16	Teflón	5	1,00	5,00	
17	Mano de obra para la implementación	15	15,00	225,00	
18	Impresiones de proyecto		40,00	40,00	
19	Imprevistos	1	25,00	91,22	
				1871,59	
				IVA 12%	224,59
				Total	2096,18