



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
EXTENSIÓN LA MANÁ
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS
NATURALES
CARRERA INGENIERÍA AGRONÓMICA
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**DISEÑO AGRONÓMICO E HIDRÁULICO PARA LA IMPLEMENTACIÓN
DE UN SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN EN EL CULTIVO DE
CACAO (*Theobroma cacao L.*) DE VARIEDAD CCN51.**

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de Ingeniería
Agronómica.

Autores:

Nelson Adrián Calero Ruíz

Manuel Estevan Pilatasig Cruz

Tutor:

Ing. Tapia Ramírez Cristian Santiago MSc

LA MANÁ – ECUADOR
AGOSTO-2021

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, Calero Ruíz Nelson Adrián y Pilatasig Cruz Manuel Esteban, declaramos ser autores del presente Proyecto de Investigación: “DISEÑO AGRONÓMICO E HIDRÁULICO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN EN EL CULTIVO DE CACAO (*Theobroma cacao L.*) DE VARIEDAD CCN51”, siendo el Ing. Cristian Santiago Tapia Ramírez MSc. tutor del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles acciones de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.



Nelson Adrián Calero Ruíz
C.I: 120612409-9



Pilatasig Cruz Manuel Esteban
C.I: 050271957-8

CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte, Calero Ruiz Nelson Adrian identificada/o con C.C. N° 120612409-9 y Pilatasig Cruz Manuel Estevan identificada/o con C.C. N° 050271957-8 de estado civil soltero y casado con domicilio en La Mana, Cotopaxi a quien en lo sucesivo se denominará **LA/EL CEDENTE**; y, de otra parte, el PhD. MBA. Fabricio Tinajero Jiménez, en calidad de Rector y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez Barrio El Ejido Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA. - **LA/EL CEDENTE** es una persona natural estudiante de la carrera de **Ingeniería Agronómica**, titulares de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado **“Diseño agronómico e hidráulico para la implementación de un sistema de riego por aspersión en el cultivo de cacao (*theobroma cacao l.*) de variedad ccn51”** la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad según las características que a continuación se detallan:

Historial académico. – Abril 2016- Agosto 2021.

Aprobación HCA.-

Tutor.- Ing. Tapia Ramírez Cristian Santiago MSc

Tema: **“Diseño agronómico e hidráulico para la implementación de un sistema de riego por aspersión en el cultivo de cacao (*theobroma cacao l.*) de variedad ccn51”**

CLÁUSULA SEGUNDA.- LA CESIONARIA es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

CLÁUSULA TERCERA.- Por el presente contrato, **LA/EL CEDENTE** autoriza a **LA CESIONARIA** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

CLÁUSULA CUARTA.- OBJETO DEL CONTRATO: Por el presente contrato **LA/EL CEDENTE**, transfiere definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

a) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.

b) La publicación del trabajo de grado.

c) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.

d) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.

f) Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

CLÁUSULA QUINTA.- El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **LA CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **LA/EL CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

CLÁUSULA SEXTA.- El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

CLÁUSULA SÉPTIMA.- CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD.- Por medio del presente contrato, se cede en favor de **LA CESIONARIA** el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **LA/EL CEDENTE** podrá utilizarla.

CLÁUSULA OCTAVA.- LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS.- LA CESIONARIA podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **LA/EL CEDENTE** en forma escrita.

CLÁUSULA NOVENA.- El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en las cláusula cuarta, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

CLÁUSULA DÉCIMA.- En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

CLÁUSULA UNDÉCIMA.- Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga a los 10 días del mes de Marzo del 2021



Calero Ruiz Nelson Adrian
EL CEDENTE



Pilatasig Cruz Manuel Estevan
EL CEDENTE

PhD. MBA. Fabricio Tinajero Jiménez
EL CESIONARIO

AVAL DE LA TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título:

“DISEÑO AGRONÓMICO E HIDRÁULICO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN EN EL CULTIVO DE CACAO (*Theobroma cacao L.*) DE VARIEDAD CCN51” de Calero Ruíz Nelson Adrián y Pilatasig Cruz Manuel Estevan, de la carrera Ingeniería Agronómica, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Honorable Consejo Académico de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

La Maná, Mayo del 2020.



Ing. Cristian Santiago Tapia Ramírez MSc.

C.I: 0502784416

TUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales: por cuanto, las postulantes: Calero Ruíz Nelson Adrián y Pilatasig Cruz Manuel Estevan, con el título de Proyecto de Investigación: “DISEÑO AGRONÓMICO E HIDRÁULICO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN EN EL CULTIVO DE CACAO (*Theobroma cacao L.*) DE VARIEDAD CCN51”, ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación de Proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

La Maná, Agosto del 2021

Para constancia firman:

Ing. Pincay Ronquillo Wellington MSc.
C.I. 120638458-6
(PRESIDENTE)

Ing. Espinosa Cunuhay Kleber Augusto MSc.
C.I. 050231274-0
LECTOR 1 (MIEMBRO)

Ing. Ramon Macias Pettao MSc.
C.I. 091074328-5
LECTOR 2 (SECRETARIO)

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer al todo poderoso por la vida que me ha brindado y por las bendiciones que están por venir, gracias a mi familia, mis pilares fundamentales Nelso y Mercedes mis mayores ejemplos de vida, a mis hermanos por ser mis mejores amigos y mayores animadores en cada paso y decisión en el sendero de mi vida.

Mi profundo agradecimiento a mi compañero de tesis Pilatasig Cruz Manuel Estevan por sus años de amistad y apoyo además agradecer a todas las autoridades y personal que hacen la Universidad Técnica de Cotopaxi “Extensión La Mana”. A la facultad de ciencias agropecuarias y recursos naturales de la carrera ingeniería agronómica. Y a todo su personal educativo que me ayudaron con sus consejos y enseñanzas para mi formación académica e hicieron que pueda crecer día a día como profesional, gracias a cada uno de ustedes por su paciencia, dedicación, apoyo incondicional y amistad.

Finalmente quiero expresar mi total agradecimiento al Ing. Tapia Ramírez Cristian Santiago MSc. Principal colaborador durante todo este proceso, quien con su dirección, conocimiento, enseñanza y colaboración permitió el desarrollo de este trabajo de investigación.

Nelson

Mi agradecimiento principalmente a Dios quien me dio la fe, la fortaleza, la salud y la esperanza.

A mis queridos padres Antonio y María por haberme regalado la vida, a mi esposa Yoli a mis apreciados hijos Alexander y Marylin, por ser los pilares más importantes de mi vida profesional, también a mi hermano Edwin, y al amigo Nelson Adrian Calero Ruiz por su amistad apoyo incondicional, a mis maestros y a todas las autoridades de la Universidad Técnica de Cotopaxi “Extensión La Mana”.

Manuel

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación lo dedico principalmente a Dios, por darme fuerzas y ser mi guía durante toda mi formación profesional y así poder alcanzar una de las tantas metas que tengo trazadas en mi vida, a mis padres, hermanos, familiares y amigos por su amor y apoyo incondicional, también dedico a las personas que me guiaron en el sendero de mi formación universitaria y manera especial a mis docentes.

Nelson

EL trabajo de investigación está dedicado a mi esposa Yoli, a Mis hijos Alexander y Marylin quienes con su muestra de amor, cariño, apoyo, comprensión y espera, me han permitido llegar a este momento tan importante de mi vida y formación profesional.

Manuel

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

TEMA: “DISEÑO AGRONÓMICO E HIDRÁULICO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN EN EL CULTIVO DE CACAO (*Theobroma cacao L.*) DE VARIEDAD CCN51”

Autores:

Nelson Adrián Calero Ruíz
Manuel Estevan Pilatasig Cruz

RESUMEN

El trabajo de titulación se llevó a cabo en el recinto San Francisco de Chipe, del cantón La Maná, con el objetivo de realizar el diseño agronómico e hidráulico para la implementación de un sistema de riego por aspersión en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao L.*) de variedad CCN51. Se inició con un levantamiento topográfico, análisis de suelo para la determinación de parámetros con fines de riego y el análisis de los datos meteorológicos históricos de temperatura media mensual, humedad relativa y precipitación registrados por la estación INAMHI M0124 San Juan, el área total de riego corresponde a 1.28 Ha; la evapotranspiración potencial (ETP) determinada por el método de Hargreaves es de 2.99 mm/día; la evapotranspiración de cultivo (ETc) es de 3.14 mm/día; la demanda hídrica es desde el mes de julio a noviembre en donde se registró el mes con mayor demanda (septiembre), se determinó una frecuencia de riego de 5 días, con un tiempo de riego de 2 horas para satisfacer una lámina total de 12.58 mm, con un volumen de agua de 161.05 m³; el aspersor seleccionado opera con un caudal de 0.21 l/s; la jornada de riego es de 8 horas y el tiempo de riego por sector es de 2 horas. El diseño hidráulico determinó los siguientes resultados: se subdividió el área de riego en cuatro módulos cuya superficie es de 0.32 Ha; la red de riego está constituida por el sistema de bombeo, la conducción principal, las tuberías portales laterales y los laterales de riego; se ubicaron 118 aspersores a un distanciamiento de 10 m entre laterales y aspersores; las características de la bomba requerida es de 10 HP, el costo para la implementación del sistema de riego es de USD 2960.78

Palabras clave: diseño agronómico, diseño hidráulico, evapotranspiración, frecuencia y lámina de riego.

ABSTRACT

This research was carried out in the San Francisco de Chiipe sector, La Maná canton, with the aim of carrying out the agronomic and hydraulic design for the implementation of a sprinkler irrigation system in the cocoa crop (*Theobroma cacao* L.) of variety CCN51. It began with a topographic survey, soil analysis to determine parameters for irrigation purposes and the analysis of historical meteorological data of monthly mean temperature, relative humidity and precipitation recorded by the INAMHI M0124 San Juan station, the total irrigation area corresponds to 1.28 Ha; the potential evapotranspiration (ETP) determined by the Hargreaves method is 2.99 mm / day; culture evapotranspiration (ETc) is 3.14 mm / day; the water demand is from the month of July to November where the month with the highest demand was registered (September), an irrigation frequency of 5 days was determined, with an irrigation time of 2 hours to satisfy a total sheet of 12.58 mm, with a volume of water of 161.05 m³; the selected sprinkler operates with a flow rate of 0.21 l / s; the irrigation day is 8 hours and the irrigation time per sector is 2 hours. The hydraulic design determined the following results: the irrigation area was subdivided into four modules whose surface area is 0.32 Ha; The irrigation network is made up of the pumping system, the main conduit, the lateral port pipes and the irrigation laterals; 118 sprinklers were located at a distance of 10 m between laterals and sprinklers; the characteristics of the required pump is 10 HP, the cost for the implementation of the irrigation system is USD 2960.78

Keywords: agronomic design, hydraulic design, evapotranspiration, frequency and irrigation sheet.



Universidad
Técnica de
Cotopaxi

CENTRO DE IDIOMAS

AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal CERTIFICO que: La traducción del resumen del proyecto de investigación al idioma Inglés presentado por los estudiantes Egresado de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, Calero Ruiz Nelson Adrian, y Pilatasig Cruz Manuel Estevan cuyo título versa “DISEÑO AGRONÓMICO E HIDRÁULICO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN EN EL CULTIVO DE CACAO (*Theobroma cacao L*) DE VARIEDAD CCN51”, lo realizó bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo los peticionarios hacer uso del presente certificado de la manera ética que estimaren conveniente.

La Maná, Agosto del 2020

Atentamente,

MSc. Ramón Amores Sebastián Fernando
C.I: 050301668-5
DOCENTE DEL CENTRO DE IDIOMAS

ÍNDICE GENERAL

DECLARACIÓN DE AUTORÍA	ii
CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR.....	iii
AVAL DE LA TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....	vi
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN.....	vii
AGRADECIMIENTO	viii
DEDICATORIA.....	ix
RESUMEN.....	x
ABSTRACT.....	xi
AVAL DE TRADUCCIÓN.....	xii
ÍNDICE GENERAL.....	xiii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xviii
ÍNDICE DE FIGURAS	xix
ÍNDICE DE ANEXOS	xx
1. INFORMACIÓN DEL PROYECTO	1
2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	2
3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	2
4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO	3
4.1 Beneficiarios directos	3
4.2 Beneficiarios indirectos.....	3
5. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	4
5.1 Planteamiento del problema	4
5.2 Formulación del problema.....	4
6. OBJETIVOS	5
6.1. Objetivo General	5
6.2. Objetivos Específicos.....	5
7. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS	6
8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA TÉCNICA.....	7

8.1.	Diseño agronómico para riego	7
8.2.	Diseño hidráulico para riego	8
8.3.	Particularidades del Riego	8
8.4.	Riego por aspersión	10
8.4.1.	Ventajas del riego por aspersión	12
8.4.2.	Desventajas del riego por aspersión	13
8.4.3.	Clasificación de los sistemas de riego por aspersión	14
8.4.3.1.	Sistema estacionario	14
8.4.3.2.	Sistema móvil	15
8.4.3.3.	Sistema semifijo	15
8.4.3.4.	Sistema fijo o de cobertura total	15
8.4.3.5.	Sistemas mecanizados	15
8.4.4.	Componentes del sistema de riego por aspersión.....	16
8.4.5.	Aspersores	16
8.4.6.	Clasificación de los aspersores en función de la presión de trabajo	17
8.4.6.1.	Aspersores de baja presión	17
8.4.6.2.	Aspersores de presión intermedia.....	17
8.4.6.3.	Aspersores de alta presión	17
8.4.7.	Precipitación máxima	17
8.4.8.	Consideraciones para un adecuado manejo del riego por aspersión	18
8.4.9.	Sistema de riego subfoliar	18
8.5.	Cultivo de Cacao (<i>Theobroma cacao L.</i>)	18
8.5.1.	Recomendaciones para el uso del riego en Cacao (<i>Theobroma Cacao L.</i>).....	19
9.	PREGUNTAS	20
10.	DISEÑO METODOLÓGICO	21
10.1.	Ubicación y duración de la investigación.	21

10.2.	Tipo de investigación	21
10.2.1.	Tipos.....	21
10.2.2.	Técnicas.....	21
10.3.	Condiciones meteorológicas	22
10.4.	Materiales y equipos	22
10.5.	Metodología para el diseño agronómico	23
10.6.	Metodología para el diseño hidráulico	24
10.7.	Metodología para determinación de costos.....	25
11.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	25
11.1	Diseño agronómico.....	25
11.1.1	Elementos agrometeorológicos de la zona de estudio	25
11.1.1.1	Ubicación de la estación agrometeorológica	25
11.1.1.2	Temperatura media mensual.....	26
11.1.1.3	Humedad Relativa	27
11.1.1.4	Precipitación media mensual	29
11.1.2	Determinación de la Evapotranspiración Potencial o de referencia	30
11.1.2.1	Método de hargreaves determinación de Evapotranspiración Potencial	30
11.1.2.2	Ubicación del proyecto	30
11.1.2.3	Factor mensual de latitud (MF)	31
11.1.2.4	Temperatura media mensual (TMF).....	31
11.1.2.5	Factor de corrección de la humedad relativa (CH).....	32
11.1.2.6	Factor de corrección para la altura o elevación del lugar (CE)	33
11.1.2.7	Evapotranspiración Potencial o de referencia (ETP).....	33
11.1.3	Determinación de la Evapotranspiración del cultivo (ETc)	34
11.1.3.1	Coeficiente de cultivo (kc).....	34
11.1.3.2	Precipitación efectiva (Pe).....	35
11.1.3.3	Evapotranspiración del cultivo (ETc).....	37
11.1.3.4	Demanda hídrica del cultivo	37
11.1.4	Propiedades físicas y aptitudes hídricas del suelo	39

11.1.5	Determinación de parámetros para el diseño agronómico de riego por aspersión	39
11.1.5.1	Necesidad neta (Nn)	39
11.1.5.2	Lámina neta (dn)	40
11.1.5.3	Lamina bruta o total de riego (db)	41
11.1.5.4	Frecuencia máxima de riego (Fmr)	41
11.1.5.5	Lámina neta ajustada (dnj)	42
11.1.5.6	Lamina bruta ajustada (dbj)	42
11.1.5.7	Tiempo de riego (Tr)	42
11.1.5.8	Caudal característico (qc)	43
11.1.5.9	Volumen total (Vt)	43
11.1.5.10	Selección del tipo de aspersor	44
11.1.5.11	Espaciamiento calculado entre aspersores (Ea) y laterales (El)	44
11.1.5.12	Pluviometría o Intensidad de aplicación del aspersor (Ia)	45
11.1.5.13	Tiempo de riego del aspersor	46
11.1.5.14	Pluviometría del sistema (Ps)	46
11.1.5.15	Número de sectores de riego (Ns)	47
11.2	Diseño hidráulico	47
11.2.1	Levantamiento topográfico	47
11.2.2	Sectorización y modulación del área de riego	49
11.2.3	Trazado de redes de riego	50
11.2.4	Trazado y ubicación de los emisores de riego	51
11.2.5	Parámetros para el diseño hidráulico del sistema de riego por aspersión	52
11.2.6	Cálculos hidráulicos de la tubería emisora o laterales del sistema de riego	52
11.2.7	Cálculos hidráulicos de tubería abastecimiento a laterales emisores portalateral	52
11.2.8	Cálculos hidráulicos de tubería de abastecimiento principal a módulos de riego	53
11.2.9	Cálculos hidráulicos para la selección de la bomba	53
11.2.10	Dimensionamiento de la infraestructura de riego	53
11.3	Presupuesto para la implementación del sistema de riego	55
12.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	55
12.1.	Conclusiones	55
12.2.	Recomendaciones	56

13.	BIBLIOGRAFÍA	58
14.	ANEXOS	61

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Actividades y sistema de tareas en relación a los objetivos planteados	6
Tabla 2. Condiciones agrometeorológicas del sitio del proyecto	22
Tabla 3. Materiales y equipos.....	23
Tabla 8. Temperatura media mensual (TMF).....	31
Tabla 9. Factor de corrección de Humedad Relativa (CH)	32
Tabla 10. Evapotranspiración potencial o de referencia en la zona de estudio (ETP)	33
Tabla 11. Coeficiente de cultivo (kc).	34
Tabla 12. Precipitación efectiva (Pe) en la zona del proyecto.....	36
Tabla 13. Precipitación efectiva (Pe) en la zona del proyecto.....	37
Tabla 14. Demanda hídrica mensual y diaria del cultivo.	38
Tabla 15. Propiedades físicas y aptitudes hídricas del suelo	39
Tabla 16. Especificaciones técnicas del aspersor para riego en el proyecto.	44
Tabla 17. Libreta topográfica de campo.....	8

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación.	26
Figura 2. Temperatura media mensual en 48 años.	27
Figura 3. Humedad relativa media mensual en la estación meteorológica M0124.	28
Figura 4. Precipitación media mensual en la estación meteorológica M0124.	29
Figura 5. Evapotranspiración potencial o de referencia (ETP).	34
Figura 6. Precipitación efectiva (Pe).	36
Figura 7. Demanda hídrica del cultivo	38
Figura 8. Polígono del proyecto de riego y puntos topográficos.	48
Figura 9. Subdivisión del polígono de predio en cuatro sectores de riego.	49
Figura 10. Subdivisión del polígono de predio en cuatro sectores de riego.	50
Figura 11. Disposición de aspersores en los laterales de riego.	51
Figura 12. Disposición de aspersores en los laterales de riego.	54

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Hoja de vida del docente tutor	61
Anexo 2. Hoja de vida de las estudiantes	62
Anexo 3. Fotografías	64
Anexo 4. Análisis de suelos.	69
Anexo 5. Tablas de contenido	1

1. INFORMACIÓN DEL PROYECTO

Título del Proyecto: Diseño agronómico e hidráulico para la implementación de un sistema de riego por aspersión en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao L.*) de variedad CCN51.

Tipo de proyecto: La investigación es de tipo experimental.

Tiempo de ejecución: 8 meses

Fecha de inicio: Noviembre 2020.

Fecha de finalización: Mayo 2021

Lugar de ejecución: Recinto San Francisco de Chipe, Cantón La Mana, provincia de Cotopaxi.

Carrera que auspicia: Ingeniería Agronómica.

Proyecto de investigación vinculado: Al sector agrícola.

Equipo de Trabajo: Ing. Cristian Santiago Tapia Ramírez MSc

Calero Ruíz Nelson Adrián

Pilatasig Cruz Manuel Estevan

Área de Conocimiento: Agricultura.

Línea de investigación: Desarrollo y seguridad alimentaria.

Sub línea de investigación: Agua y suelos

Línea de vinculación: Gestión de recursos naturales, biotecnología y genética para el desarrollo humano y social.

2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El trabajo de titulación se realizó en recinto San Francisco de Chipe, perteneciente a la cabecera cantonal de La Maná, con una ubicación geográfica: Latitud 0° 56' 42" S y Longitud 79° 17' 34" W a una altitud de 143 msnm. El trabajo consistió en determinar los parámetros para definir el diseño agronómico e hidráulico para dotar de riego por aspersión a una superficie de 1.28 hectáreas en donde se cultiva cacao de la variedad CCN51. Para obtener la demanda hídrica del cultivo de cacao, se realizó el análisis de los factores climáticos de: temperatura media mensual; humedad relativa y precipitación. La estación meteorológica de referencia es la INAMHI M0124 San Juan que se encuentra ubicada a 6 Km del área del proyecto.

El diseño agronómico determinó la lámina máxima de riego, la frecuencia, tiempo de riego, el volumen de agua requerido y el tipo de aspersor a utilizarse para satisfacer las necesidades hídricas del cultivo en los meses con demanda de irrigación. Una vez definidos los parámetros de riego, se dimensionó la infraestructura de riego para la estación de bombeo, conducción principal, tuberías portlaterales y laterales de riego. Finalmente, se determinó el costo de equipos y materiales requeridos para la implementación del sistema de riego.

3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

El cantón La Maná ubicado en la provincia de Cotopaxi, se caracteriza por ser considerado un subtrópico siendo uno de los sectores agrícolas de mayor producción de la provincia. Productos tales como cacao, maíz, banano, piña, maracuyá entre otras frutas, se desarrollan de perfecta forma en su superficie.

La implementación de un sistema de riego tecnificado permite que el riego sea suministrados de manera uniforme, con láminas de riego de acuerdo a la necesidad de los cultivos, superficie y en función de las agrometeorología de la zona.

La tecnificación del riego permite dotar de agua a para riego a los productores, mediante un manejo adecuado de este recurso optimizando los volúmenes de agua reduciendo pérdidas innecesarias en la aplicación del agua a los cultivos.

La implementación de un sistema de riego en una hectárea de cacao CCN51 que servirá de forma demostrativa, permitirá la capacitación a futuro de los agricultores de la zona, de tal forma que puedan incorporar sistemas de riego similares en sus unidades productivas para fortalecer los rendimientos de sus cultivos.

De igual forma es importante estar a la par de las nuevas tecnologías en el campo agrícola, para que de esta manera se consiga un manejo óptimo de los recursos con la menor inversión posible. Las investigaciones destinadas al desarrollo de los campos agrícolas en el mejoramiento técnico de los cultivos y la optimización de los recursos naturales son en la actualidad los temas más abarcados en el mundo debido a que cada vez la población mundial crecen, pero los recursos naturales tienen a decrecer, lo que será un problema de gran magnitud en los siguientes años venideros, por lo tanto se debe buscar tecnologías que aporten y ayuden al cuidado de los mismos de una forma correcta optimizando al máximo los recursos disponibles. El presente diseño de riego por aspersión está acorde a las necesidades económicas actuales de los agricultores.

4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

4.1 Beneficiarios directos

Los beneficiarios directos del proyecto serán los pequeños y grandes productores de cacao CCN51 del cantón La Maná los cuales van a adquirir, conocimientos en la implementación de un sistema de riego por aspersión y las ventajas agronómicas que aportara a sus cultivos al momento de realizar tecnificaciones en sus campos agrícolas.

4.2 Beneficiarios indirectos

Este proyecto beneficiara de forma indirecta a los comerciales que se dedican a la compra y venta del cacao CCN51 el cual se lo distribuye a los mercados nacionales e internacionales.

5. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

5.1 Planteamiento del problema

Hoy en día una de las grandes problemáticas de los diferentes productores de cacao del Ecuador y de sus diferentes provincias y cantones que se dedican a la producción agrícola, es el sistema de riego que deben utilizar para sus plantaciones, lo cual afecta en la producción de sus campos agrícolas ocasionándoles grandes pérdidas económicas, las cuales son cada vez mayores sobre todo el tiempo donde no existen precipitaciones aumentando los porcentajes de erosión y sequía del terreno, produciendo en ocasiones hasta la muerte de los cultivos desencadenando el abandono de la agricultura lo cual afecta de gran forma en la economía y producción agrícola de una región afectando al desarrollo económico y social del país.

El cantón La Maná perteneciente a la provincia de Cotopaxi es un sector netamente agrícola considerado un sub trópico generando un ambiente adecuado para el desarrollo de varios productos agrícolas lo cual demanda el uso de su superficie para la agricultura, la distribución del agua por parte del agricultor no es la adecuada por ende esto determina un problema a resolver, pues no se realiza de una manera tecnificada y ordenada, por lo que no existe un conocimiento en sistemas de riego que se deben utilizar para que los cultivos se desarrollen de mejor forma y los agricultores obtengan el máximo beneficio en la producción agrícola de sus cultivos. (Quiñones, 2017).

El crecimiento poblacional, incrementa la demanda del recurso hídrico, sobre todo para el uso agrícola. Por lo que se necesita incentivar a los agricultores en la implementación de las nuevas tecnologías agrícolas en sistemas de riegos tecnificados que ayuden al cuidado del recurso hídrico, aún más considerando que de la población económicamente activa, depende de la agricultura como fuente principal para su sustento económico.

5.2 Formulación del problema

¿La determinación de los parámetros para el diseño agronómico e hidráulico permiten realizar el dimensionamiento de un sistema de riego tecnificado por aspersión?

6. OBJETIVOS

6.1. Objetivo General

- Establecer el diseño agronómico e hidráulico de un sistema de riego por aspersión en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao L*) de variedad CCN51.

6.2. Objetivos Específicos

- Determinar el diseño agronómico para la implementación de un sistema de riego tecnificado.
- Desarrollar el diseño hidráulico de riego por aspersión para 1.28 hectáreas en el cultivo de cacao.
- Establecer el costo de materiales y equipos para la instalación de un sistema de riego por aspersión.

7. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

Tabla 1. Actividades y sistema de tareas en relación a los objetivos planteados

OBJETIVOS	ACTIVIDADES	RESULTADOS	VERIFICACIÓN
*Determinar el diseño agronómico para la implementación de un sistema de riego tecnificado.	*Calcular los requerimientos hídricos para el cultivo de cacao y determinar los parámetros de riego.	*Diseño agronómico y programación de riego.	*Memorias de calculo
*Desarrollar el diseño hidráulico de riego por aspersión para 1.28 hectáreas en el cultivo de cacao.	*El dimensionamiento de redes principales, secundarias, estación de bombeo y toma de agua.	*Diseño hidráulico para la superficie de riego por aspersión.	*Levantamiento topográfico. *Planos de detalle.
*Establecer el costo de materiales y equipos para la instalación de un sistema de riego por aspersión.	*Determinación de los costos para la implementación del sistema de riego.	*Presupuesto detallado para la implantación del sistema de riego.	*Costos.

Elaborado por: Calero N. & Pilatasig M. (2021).

8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA TÉCNICA

8.1. Diseño agronómico para riego

El conocimiento de las necesidades hídricas de los cultivos es fundamental para mejorar el diseño, la planificación y la gestión de los polígonos y sistemas de riego. Es necesario considerar tres definiciones distintas de necesidades hídricas para estimar adecuadamente los requerimientos de agua de los cultivos.

- Necesidades hídricas brutas de los cultivos son el volumen de agua que un determinado cultivo consume para su desarrollo óptimo. Normalmente se denominan evapotranspiración.
- Necesidades netas de riego de los cultivos; constituyen el volumen de agua que el sistema de riego debe suministrar al sistema radicular de los cultivos. Calculadas como la diferencia entre las necesidades hídricas brutas y los aportes naturales de agua (mayoritariamente la precipitación)
- Necesidades brutas de riego de los cultivos; corresponden con el volumen de agua que un determinado sistema de riego debe consumir al nivel de parcela. (Martínez, 2004)

El diseño agronómico representa la primera fase de cualquier tipo de riego, ya que se calcula el caudal para el diseño de las instalaciones que conducirán el agua para riego, correspondiente a las necesidades brutas de riego en las épocas de máxima necesidad. Es una parte importante en un proyecto de riego ya que si no se dispone de un diseño agronómico adecuado se pueden tener dimensionamientos errores en la elaboración del diseño hidráulico (Cabrera Molina , 2016).

Antes de iniciar el diseño agronómico se debe tener conocimiento de las condiciones topográficas, edafológicas, agronómicas, hidrológicas y climáticas de la zona de estudio. El diseño agronómico contempla de forma general (Reyes Adrianzen , 2017).

8.2. Diseño hidráulico para riego

Para desarrollar el diseño hidráulico se utiliza el sistema internacional (SI), las magnitudes físicas se expresan en las siguientes unidades: El caudal (Q) se lo expresa en litros por segundo (l/s) o en metros cúbicos por segundo (m^3/s); la velocidad media del agua (V) se lo representa en (m/s); el diámetro nominal de las tuberías (D) se expresa en milímetros (mm) y la presión se puede expresar en metros de columna de agua (mca), bares (bar), psi (lb/plg^2), etc. (Carrazón, 2007).

El diseño hidráulico tiene como finalidad definir los diámetros y longitudes de las diferentes tuberías que componen el sistema (regantes, distribuidoras y conducción) bajo un criterio de optimización. El diseño hidráulico de la red parcelaria debe considerar al menos dos criterios básicos: que las secciones operen con una uniformidad de emisión mayor a 90%, y que la velocidad en las tuberías de la red parcelaria no sea mayor de 2.0 m/s (Jimenez , 2017).

Lograr que un diseño sea eficiente, significa que independientemente de las dimensiones del sistema, de las condiciones topográficas y del tipo de cultivo, se garantice una diferencia en caudal del 10 % entre los emisores más distantes y consecuentemente, la variación de presión no mayor al 21 % en estos mismos emisores (Jimenez , 2017).

Con el diseño hidráulico se determinan los componentes, dimensiones de la red y funcionamiento de la instalación de riego, de tal manera que se puedan aplicar las necesidades de agua al cultivo en el tiempo que se haya establecido, teniendo en cuenta el diseño agronómico previamente realizado (Chucya, 2015).

8.3. Particularidades del Riego

La finalidad de los sistemas de riego es dotar a los cultivos la cantidad de agua necesaria para su crecimiento y desarrollo, considerando las precipitaciones de la zona. Cuando se trata de distribuir agua por una parcela de cultivo se tropieza con numerosas dificultades, que ocasionan pérdidas e impiden que el agua se reparta de forma homogénea.

Siempre es importante tratar de solventar estas dificultades, pero más lo es aun cuando el agua es escasa y cuesta dinero. (WWF, 2005)

Según (Cuenca, 2015), el riego se considera como la aplicación oportuna, controlada y uniforme de agua a un tipo de suelo determinado, para reponer en éste, el agua consumida por un cultivo, considerando además los factores y el desarrollo fisiológico de la vegetación existente.

El riego debe realizarse con una determinada técnica de tal manera que no suceda que las plantas sufran por exceso de agua al comienzo de la zona regada y por falta de agua al final de ésta.

(Cuenca, 2015), considera que, la irrigación puede conceptualizarse como la aplicación de agua al suelo buscando los siguientes objetivos:

- Incorporar la humedad necesaria para que los cultivos cumplan su ciclo fisiológico.
- Enfrentar a las sequias de corta duración para asegurar la producción.
- Mejorar la temperatura del suelo y la atmósfera para de esta forma mejorar las condiciones ambientales para su desarrollo vegetal.
- Sirve para formar una disolución de las sales minerales existentes en el suelo.
- Proveer de condiciones óptimas de humedad de suelo.

Según (Tapia, 2014), el riego es la aplicación del agua de forma artificial simulando a la lluvia a una superficie de terreno con el objetivo de reponer el nivel de humedad al suelo para que las plantas puedan desarrollarse y vivir.

Las técnicas o métodos utilizados para el riego permiten infiltrar el agua al perfil de suelo en donde se alojan las raíces de los cultivos las que al existir un contenido de humedad adecuada satisfacen las necesidades hídricas de los cultivos. (Ramos & Báez, 2013).

8.4. Riego por aspersión

(Tarjuelo, 2009) considera que, el proceso de aplicación de agua de un dispositivo denominado aspersor consiste en un flujo de agua que circula a gran velocidad y que se dispersa en el aire formando una nube de gotas, que se precipitan sobre la superficie del terreno distribuyéndose de forma uniforme en el terreno con la operación de varios aspersores.

Como efectos derivados a esta aplicación están:

- La relación entre la velocidad de aplicación (pluviometría del sistema) y la capacidad de infiltración del agua en el suelo produciéndose escorrentía si la primera supera a la segunda.
- El impacto de las gotas muy grandes provenientes desde el aspersor, puede provocar un posible deterioro de las superficie de terreno debido a la erosión y formación de costras.
- La uniformidad de distribución en superficie y su gran dependencia de la acción del viento, en intensidad y dirección.
- La redistribución dentro del suelo por diferencias de potencial hidráulico a distancias entre 1 y 3 m., que mejora sensiblemente la uniformidad real del agua en el suelo. (Tarjuelo, 2009)

(Nuñez, 2015), indica que el riego por aspersión es un método de riego de presurización mecánica, puesto que se requiere de mecanismos que permitan generar presión para mover los aspersores con el agua. La nivelación del terreno no es indispensable con la utilización de este método, se puede regar un terreno recién sembrado sin causar problemas de erosión o acarreo de semillas, siempre que se utilice el aspersor adecuado.

La utilización del riego por aspersión permite aplicar el agua en forma de lluvia, siendo necesario utilizar aparatos denominados aspersores que poseen orificios pequeños por los cuales el agua atraviesa y provoca el accionamiento de los aspersores con presiones provenientes de bombas o grandes desniveles. (Tapia, 2014).

El uso riego por aspersión ofrece flexibilidad y un adecuado control del agua, permitiendo realizar riego en una amplia gama de suelos desde arenosos hasta arcillosos de alta o baja capacidad de infiltración, que en condiciones naturales no pueden ser regados con métodos tradicionales como el de gravedad que provoca el deterioro de suelos en pendientes pronunciadas. (Tapia, 2014).

La irrigación por aspersión consiste en aplicar el agua de riego simulando una lluvia, esto se produce mediante la presión con la que el agua fluye al interior de la red de tuberías que componen el sistema de riego y es expulsada hacia la atmosfera a través de las boquillas de los aspersores. (Ramos & Báez, 2013).

La finalidad del riego por aspersión es cubrir la necesidad hídrica de los cultivos generando una precipitación artificial de intensidad controlada, permitiendo un proceso de infiltración adecuado, facilitando el proceso de distribución del agua evitándose la escorrentía y por lo tanto el deterioro de la cobertura superficial del suelo. (Ramos & Báez, 2013).

El sistema de riego por aspersión distribuye el agua en forma de lluvia por medio del funcionamiento de una bomba a presión, el cual utiliza dispositivos de emisión de agua, denominados aspersores. Este sistema puede ser aplicado en la mayoría de los cultivos independientemente de la topología del terreno, por este motivo su uso se ha extendido de forma rápida (Escobar & Farfán, 2018).

El agua de riego se conduce a través de tuberías a presión y al llegar a los aspersores el fluido se rompe y se dispersa en muchas gotas y se depositan en el suelo. Se tiene que considerar que valores de velocidad de viento fuerte es perjudicial para este método de riego ya que pueden generarse muchas pérdidas por cambios en la dirección de las gotas y por una evaporación excesiva. (Cadena, 2012)

Es un sistema que utiliza mucha energía eléctrica por necesitar una elevada presión para su funcionamiento. Entre los equipos que se utilizan son el de aspersión fija, portátil, cañón, pivote central y avance frontal (Demin, 2014).

Se debe tener la precaución de que la velocidad a la que se aplica la lámina de riego, o sea la velocidad a la que cae la lluvia, sea igual o menor a la velocidad de infiltración del suelo para evitar escurrimiento. En este sistema se utilizan aspersores que arrojan caudales de 600 litros/hora o más y de presiones de alrededor de 2,5 2 2 Kg/cm² (de baja presión) y de hasta 4,5 Kg/cm² (de alta presión) (Demin, 2014).

8.4.1. Ventajas del riego por aspersión

Este sistema de riego presenta las siguientes ventajas (Tapia, 2014):

- Se logra obtener una eficiencia de aplicación del agua alrededor del 80% y uniformidad en la penetración en el perfil de suelo.
- Se lo puede utilizar en terrenos con pendientes pronunciadas con peligro de erosión, sin necesidad de realizar una nivelación del terreno.
- No existen limitaciones de uso de riego por aspersión en distintos tipos de suelos.
- Es beneficioso para la germinación de semillas con respecto a otros métodos de riego.
- Se puede controlar la lámina de riego permitiendo regar de forma adecuada.
- Es posible incorporar al agua de riego fertilizantes y productos fitosanitarios para ser aplicados vía aspersión.

La implementación de sistemas de riego por aspersión puede tener otras ventajas tales como (Ramos & Báez, 2013):

- Mejora la uniformidad del riego, la misma que es independiente de las propiedades hidrofísicas del suelo.
- La dosis de riego está en función del tiempo de riego, por lo que puede adaptarse a diferentes dosis grandes o pequeñas.
- Se puede modificar la pluviometría, por lo que es posible adaptarse a suelos altamente permeables o muy impermeables y en suelos heterogéneos.
- Se adapta a distintas topografías, incluso en terrenos con ondulaciones permitiendo conservar la fertilidad de los suelos.

- Si se dimensiona para el cultivo de mayor exigencia hídrica, se puede adaptar a la rotación de cultivos.
- Se adapta para riegos de socorro, en este caso los sistemas móviles o semifijos son los que presentan mayores beneficios.
- Permite dosificar exactamente los riegos ligeros, siendo esto de importancia a la hora de ahorrar agua, el riego por aspersión se recomienda para dosis inferiores a 40 mm. Para practicar riegos ligeros los sistemas semifijos demandan de mucha mano de obra.
- Permite automatizar el riego, por lo que es posible optimizar recursos económicos en la operación del riego.
- Con ciertas adecuaciones se puede realizar la aplicación de fertilizantes y tratamientos fitosanitarios y prevención de los efectos de las heladas.
- Ya no es necesaria la construcción de acequias y canales para la aplicación del riego, aumentando así la superficie productiva.
- Este método es eficiente para realizar el lavado de sales por originar un movimiento de agua en el suelo en subsaturación, lo que exige a circular el agua por los poros más pequeños y por tanto más en contacto con la solución del suelo.
- El riego por bloques fijos consigue mejores porcentajes de uniformidad y eficiencia en comparación con los sistemas móviles o semifijos que son de implementación más económica.
- Los sistemas de riego por aspersión móviles permiten aplicar el agua en sitios específicos que se requieran.
- Requiere menos cantidad de agua que el riego por gravedad ya que poseen mejor eficiencia, requiere conocimientos técnicos para instalarlo mientras que el manejo es de fácil operación.

8.4.2. Desventajas del riego por aspersión

La utilización de un sistema de riego por aspersión puede presentar algunas desventajas (Tapia, 2014):

- El costo de implementación es alto.

- Requieren presiones de trabajo más altos que el resto de los sistemas de riego tecnificados, por lo que los costos de operación son elevados.
- La acción de vientos fuertes es perjudicial para la distribución del agua, reduciendo la eficiencia.
- El riego por aspersión foliar puede favorecer el desarrollo de enfermedades fúngicas e influir en la efectividad de los herbicidas por el lavado del follaje
- Puede disminuir los rendimientos de cosecha debido a la caída de flores por el impacto de gotas grandes en la etapa de floración.
- Se requiere realizar un filtrado previo del agua de riego para evitar obturaciones en las boquillas de los aspersores.

Desde el punto de vista agrícola, el riego por aspersión puede presentar ciertas desventajas (Ramos & Báez, 2013):

- Presenta limitación en su funcionamiento ante la presencia de fuertes vientos y pendientes excesivas
- Presenta interferencias en la aplicación de productos fitosanitarios, a causa del lavado del follaje, por lo que se recomienda establecer una planificación de riego que no interfiera con los tratamientos fitosanitarios.
- Cuando el agua tiene cantidades elevadas de sales o residuales puede provocar problemas fitosanitarios en la parte aérea de los cultivos.
- Altos costos al momento de la implementación inicial y elevadas inversiones para la operación y mantenimiento.

8.4.3. Clasificación de los sistemas de riego por aspersión

8.4.3.1. Sistema estacionario

Es un sistema de riego superficial mediante el cual el agua se aplica en un área generalmente fija, pues cuenta con tuberías y sus aspersores que no se desplazan durante el proceso de riego.

8.4.3.2. Sistema móvil

Los componentes del sistema son móviles, es muy útil para pequeñas superficies o para realizar riegos complementarios.

8.4.3.3. Sistema semifijo

Algunos o todos los ramales de alimentación son fijos, mientras que los ramales laterales son móviles. Su uso ha ido disminuyendo ya que se requiere mano de obra para cambiar de posiciones las tuberías cada cierto tiempo. (Saltos, 2011).

8.4.3.4. Sistema fijo o de cobertura total

Los elementos de este sistema son fijos ya que la red de tuberías puede ser permanente (durante la vida útil de la tubería permanece enterrada) o temporal (las redes de riego se colocan al inicio del ciclo de riego y se levanta al final). Este sistema es cada vez más utilizado ya que demanda poca mano de obra y es apropiado tanto para parcelas pequeñas o medianas de forma irregular. (Saltos, 2011)

8.4.3.5. Sistemas mecanizados

Son sistemas que se desplazan continuamente durante el riego. Los materiales de las tuberías fijas pueden ser de: aluminio; PVC o polietileno. Estas tuberías son portables ya que tienen poco peso y poseen resistencia a la corrosión. La tubería PVC puede utilizarse para uso a la intemperie por ser muy ligera y ofrece poca resistencia al flujo del agua, con la limitación de que con mal manejo pueden fisurarse. Las tuberías de polietileno están fabricadas con caucho o materiales plásticos con buena resistencia, con la finalidad de soportar las presiones de trabajo y los desplazamientos para el riego. (Saltos, 2011).

La longitud de las tuberías portables es de 6 metros y los diámetros desde 50 mm hasta 110 mm, las juntas son de caucho las mismas que se comprimen por la presión del agua. (Saltos, 2011).

8.4.4. Componentes del sistema de riego por aspersión

- Un equipo de elevación encargado de proporcionar agua a presión.
- La red de tuberías primarias que conducen el agua hasta los hidrantes o tomas de agua en las parcelas.
- Red de ramales de riego que conducen el agua hasta los emisores instalados en la parcela que se pretende regar. En el caso de tratarse de una máquina automotriz, esta red se sustituye por un ramal móvil que recorre la parcela.
- Los aspersores o emisores, encargados de aplicar el agua en forma de lluvia. Estos dispositivos pueden ser: tuberías perforadas; difusores fijos; boquillas o aspersores, entre otros. (Zambrano , 2011)

8.4.5. Aspersores

Son dispositivos provistos de toberas con un mecanismo que facilita la rotación sobre su eje para lo cual requiere de una presión de trabajo, según las especificaciones del aspersor para su funcionamiento requieren de ciertas presiones que se hacen mayores a medida que sea necesario aumentar el caudal y el área mojada. Los aspersores poseen boquillas para la salida del agua y dependiendo de la presión de operación se define el caudal de salida y el alcance del chorro de agua, en algunos aspersores es posible cambiar las boquillas si se quiere modificar el alcance y el caudal de salida del flujo, pueden tener una o dos boquillas, las que varían su ángulo de salida cubriendo todo el radio de riego. (Tapia, 2014).

Los aspersores pueden ser de acuerdo a la fabricación de dos tipos: fijos y rotativos, estos últimos pueden ser de círculo completo o sectorizado. El giro del aspersor se produce por el impacto de un martillo desplazado por el flujo de agua que golpea temporalmente a un soporte previsto para ello. El giro se consigue también por un mecanismo de turbina en el caso de los aspersores rotativos oscilantes. (Tapia, 2014).

8.4.6. Clasificación de los aspersores en función de la presión de trabajo

8.4.6.1. Aspersores de baja presión

Las presiones de trabajo para estos aspersores van de 1 a 2 bares, adecuado para riego subfoliar de árboles, cultivos anuales, perennes y frutales, ya que poseen la boquilla de salida con ángulo bajo. (Tapia, 2014)

8.4.6.2. Aspersores de presión intermedia

Estos aspersores requieren una presión de trabajo entre 2 a 4 bares, poseen una o dos toberas y se adaptan a todo tipo de suelo y cultivo. El alcance de riego varía entre 21 a 39 metros de diámetro del círculo mojado. (Tapia, 2014).

8.4.6.3. Aspersores de alta presión

Los aspersores de alta presión requieren entre 4 y 8 bares para su funcionamiento óptimo, se los denomina también gigantes, están diseñados para riego de cultivos de elevado tamaño como el maíz, caña de azúcar, etc. El diámetro de círculo humedecido varía entre 60 y 150 metros (Tapia, 2014).

8.4.7. Precipitación máxima

La cantidad máxima expresada en mm/hora se denomina precipitación efectiva que puede dotar un aspersor sin perjuicio de erosión o encharcamientos. La precipitación máxima depende directamente de la tasa de infiltración y de la topografía de la superficie a regar. En la selección del aspersor se debe considerar la velocidad de infiltración del suelo y la precipitación efectiva para evitar problemas durante el riego. (Zambrano , 2011)

8.4.8. Consideraciones para un adecuado manejo del riego por aspersión

- Par evitar la fitotoxicidad en las partes aéreas de los cultivos, es recomendable no regar con agua con altos contenidos de sales.
- Evitar realizar riegos con presencia de viento alto ya que puede disminuir el porcentaje de uniformidad y distribución del agua. Además, altas velocidades de viento incrementan el porcentaje de pérdidas por evaporación y cambios en la dirección de las gotas de agua que salen de los emisores, las que son arrastradas por el paso del viento. (Chucya, 2015)
- La aplicación de riegos durante la noche disminuye las pérdidas por evaporación ya que la temperatura del aire es menor que en el día y arrastre del agua por la velocidad del viento. La automatización del riego es lo más recomendable para realizar riegos durante la noche (Tapia, 2014)
- El mantenimiento adecuado de los elementos de la instalación de riego evita cambios en la uniformidad de riego, ya que son perjudiciales los emisores obturados, tuberías con sedimentos y filtros sin limpieza adecuada. (Zambrano , 2011)

8.4.9. Sistema de riego subfoliar

Se caracteriza por tratar de imitar a la lluvia, el agua destinada al riego se hace llegar a las plantas por medio de tuberías, mediante unos pulverizadores llamados aspersores y gracias a una presión determinada, impulsada por una bomba de riego la cual puede ser eléctrica o de combustión fósil. El sistema de riego subfoliar cuenta con algunas ventajas como, su poca incidencia a ser afectado por los vientos, se aprovecha mejor el agua, poca erosión del suelo, menor daño a los cultivos facilitando su utilización en la producción agrícola.

8.5. Cultivo de Cacao (*Theobroma cacao L.*)

El cacao (*Theobroma cacao L.*), es un cultivo tradicional en el Litoral ecuatoriano con un papel importante en la economía, siendo una de las fuentes de divisas para el país. Al Ecuador se lo conoce a nivel mundial por la producción de cacao variedad “Nacional”, la que por sus características organolépticas es conocido internacionalmente como “Arriba” (INIAP, 2017)

El Ecuador cuenta con una superficie sembrada de 421221 hectáreas de las cuales el 80% están en manos de los pequeños y medianos agricultores (INIAP, 2017).

La principal provincia productora de cacao en nuestro país es Los Ríos que tiene el 28% de la superficie sembrada, Guayas el 22% y Manabí el 18% en tanto que la provincia de Esmeraldas con 7.5%, El Oro participan con el 5%, Bolívar con 4.4%, Cotopaxi con el 4% Santo Domingo con el 3.6%, y el saldo de 11.10% está repartido entre las provincias de Azuay, Cañar, Chimborazo, Loja Zamora Chinchipe y Sucumbíos (INIAP, 2017).

Tomando en cuenta el hábitat natural de la planta de cacao, como originario del trópico, se deduce que su producción es el resultado de varios procesos sintéticos influenciados por factores ambientales. La incidencia de estos factores sobre su desarrollo y producción dependen en gran parte del potencial genético, de sólidas prácticas de manejo del cultivo y un programa efectivo de manejo de la nutrición de la planta y control de enfermedades y plagas, de tal manera que se asegura los máximos rendimientos (INIAP, 2017).

El riego suplementario se convierte en un recurso indispensable para asegurar una buena cosecha. La falta de agua influye de manera negativa en el número de mazorcas, tamaño de las mazorcas y peso de las almendras (disminuye el índice de semilla). Una huerta de cacao necesita más de 100 mm de agua mensuales para satisfacer sus necesidades y cumplir con sus procesos de brotación, floración, fecundación y crecimiento de los frutos. Es por esto, que durante los 6 meses de época seca como referencia se puede recomendar ciclos de riego cada 15 días, estableciendo un total de 12 eventos de riego, aplicando aproximadamente 60 mm de lámina de riego por cada evento (INIAP, 2017).

8.5.1. Recomendaciones para el uso del riego en Cacao (*Theobroma Cacao L.*)

En el caso de la injertación, el suelo que contiene la planta patrón debe tener humedad suficiente al momento de recibir la yema a injertar. Las plantas una vez injertadas, en el vivero, deberán tener un suministro de agua de por lo menos dos a tres veces por semana, hasta que cumplan 120 días para el trasplante al campo (INIAP>Z, 2008).

Para la multiplicación de plantas por ramillas, de igual manera el suelo que se encuentra en la funda, con el núcleo de enraizamiento donde se introducirá la ramilla, debe estar adecuadamente húmedo. Las fundas con las ramillas recibirán riegos cada seis a ocho días para mantener la humedad del suelo en niveles adecuados. Luego, en la etapa de crecimiento, se deberán proporcionar dos a tres riegos por semana hasta los cuatro a seis meses de edad antes de llevarlas al campo definitivo (INIAP>Z, 2008).

Para la propagación del cacao por semillas, el suelo contenido por las fundas en el vivero, antes de ser sembradas las semillas/almendras de cacao, debe tener humedad conveniente que garantice la emergencia de las plantitas que se producirá luego de dos semanas, tiempo en el que se realizarán riegos cada ocho días. Un exceso de agua podría provocar la presencia de enfermedades, asfixia de las raíces y muerte de las semillas (INIAP>Z, 2008).

Posteriormente, se suministra agua de acuerdo con el desarrollo y necesidades de las plantas; así, durante los dos meses siguientes dar dos riegos por semana, y en los tres meses restantes regar tres veces por semana. Las plantas se podrán llevar al campo de cuatro a seis meses de edad (INIAP>Z, 2008).

Para plantas en crecimiento inicial, el trasplante se debe realizar, cuando se inicien las primeras precipitaciones y el suelo alcance la humedad equivalente a la capacidad de campo, bajo estas condiciones se garantiza un enraizamiento adecuado de las pequeñas plantas de cacao (INIAP>Z, 2008).

Las necesidades de agua de la planta de cacao van del orden 1,500 a 2,500 mm. Dependiendo a las características climatológicas de la zona en donde este el cultivo.

9. PREGUNTAS

¿Cómo se desarrolló el diseño agronómico e hidráulico de un sistema de riego por aspersión para ser implementado en el cultivo de cacao?

¿Cuáles son las características técnicas específicas que debe poseer un sistema de riego por aspersión para ser implementado en un cultivo de cacao CCN51?

¿Cuál es la lámina de agua requerida para satisfacer las necesidades hídricas del cultivo de cacao en el recinto san francisco de chipe?

¿Cuáles son las especificaciones técnicas de la red hidráulica de riego para un funcionamiento óptimo de las instalaciones?

10. DISEÑO METODOLÓGICO

10.1. Ubicación y duración de la investigación.

El presente trabajo de titulación se realizó en recinto San Francisco de Chipe, perteneciente a la cabecera cantonal de La Maná, con una ubicación geográfica: Latitud 0° 56' 42" S y Longitud 79° 17' 34" W a una altitud de 143 msnm. Es una zona de clima cálido con temperaturas que varían entre los 20 °C y 24°C, con un tiempo de 105 días.

10.2. Tipo de investigación

10.2.1. Tipos

Descriptiva: Tipo descriptiva porque nos permitió determinar los componentes de un sistema de riego con sus respectivas especificaciones técnicas.

Aplicada: El proyecto fue de tipo aplicativo ya que por medio del mismo nos permitió realizar la implementación de un sistema de riego por aspersión en un área de terreno de 1.28 ha en un cultivo de cacao de la variedad CCN51.

10.2.2. Técnicas

Observación: Esta técnica se aplicó para determinar la topografía del terreno y para la ubicación de aspectos importantes como la fuente de agua, la disposición del cultivo, y trazado de componentes.

Registros: Se registró en la libreta de campo las variaciones de la topografía del terreno y se realizó la medición de caudales para el diseño.

10.3. Condiciones meteorológicas

De acuerdo con los datos de la página web del Estación del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), el lugar del ensayo posee un clima cálido, con vientos moderados y puntos de rocío generalmente en las horas de la noche y madrugada, condiciones agrometeorológicas que favorece al cultivo de cacao. Los datos con las condiciones climáticas se presentan a continuación:

Tabla 2. Condiciones agrometeorológicas del sitio del proyecto

Parámetros	Promedios
Altitud (m.s.n.m.)	143
Temperatura (°C)	24
Humedad Relativa (%)	88
Heliofanía, horas/luz/año	570.3
Nubosidad (octas)	7
Vientos (m/s)	2.8
Precipitación (mm/año)	2900 mm.
Topografía	plana
Textura	arcilloso

Elaborado por: Calero N. & Pilatasig M. (2021)

10.4. Materiales y equipos

La finca “Don Raúl” es un terreno agrícola que cuenta con una superficie de 6.9 hectáreas en la cual se cultiva cacao de la variedad CCN51, a una distancia de siembra de 3x3 de forma cuadrática, la producción agrícola de la finca es con fines económicos dicha producción de cacao alcanza un promedio de 15 quintales secos al año por hectáreas los cuales son vendidos en los centros de acopio cercanos a la finca. Dentro de su superficie pasa el río “Chipe” que es de cauce natural el cual se utilizara como fuente hídrica para la implementación de un sistema de riego por aspersión en una área de 1.28 hectáreas.

Se detallan los materiales utilizados en la investigación.

Tabla 3. Materiales y equipos

Materiales	Equipos
Tuberías de PVC varios diámetros	Flexómetro
Válvulas PVC	Cinta métrica
Aspersores	Estación total
Accesorios PVC	GPS
Cierra de arco	Equipo de bombeo
Lija	Computador
Flexómetro	Cámara fotográfica
Cinta métrica	
Herramientas	

Elaborado por: Calero N. & Pilatasig M. (2021)

10.5. Metodología para el diseño agronómico

- **Análisis de suelo con fines de riego**

Para poder realizar una planificación de riego óptima se ha de tener en cuenta la capacidad de retención de agua, la evapotranspiración, el cultivo, etc, para ello es imprescindible conocer las propiedades hídricas del suelo.

- **Determinación del requerimiento hídrico de los cultivos**

La necesidad de agua de los cultivos es la cantidad de agua que se requiere para satisfacer la tasa de evapotranspiración, de modo que los cultivos puedan prosperar.

- **Parámetros de riego**

En la programación de los riegos destaca la cuantificación de las necesidades hídricas de los cultivos, lo cuales se obtienen por los parámetros de evaporación y transpiración. La medición de estos procesos por separado es difícil, por lo que se utiliza el término evapotranspiración para referirse de manera conjunta a la evaporación de agua que ocurre físicamente controlada desde la superficie del suelo y a la que ocurre fisiológicamente controlada desde la superficie de las hojas.

➤ **Parámetros diseño agronómico**

- Humedad aprovechable.
- Evapotranspiración del cultivo.
- Frecuencia de riego.
- Lamina de riego.
- Tiempo de riego.
- Pluviometría del sistema.
- Los marcos del riego.
- Capacidad de campo.
- Punto de marchites del riego.

10.6. Metodología para el diseño hidráulico

➤ **Trazado de redes**

Los trazados de redes y ramales porta aspersores son aquellas tuberías sobre las que se disponen los aspersores de riego. La colocación de los aspersores se ha realizado intentando respetar al máximo la disposición cuadrada de estos de forma que la pluviometría sea uniforme y todas las zonas del parque reciban el mismo caudal. En ocasiones y debido a la geometría tan irregular de las zonas a regar ha sido imposible respetar estos marcos, pero sí se ha conseguido en la mayoría de los casos. Se puede observar en los planos referentes al riego por aspersión.

➤ **Parámetros diseño hidráulico**

- Presión de bombeo.
- Caudal del diseño.
- Pérdidas de carga en tuberías.
- Uniformidad del riego
- Diámetro de tubería

10.7. Metodología para determinación de costos

➤ Conteo de materiales

- número de tubos en función de diámetros y especificaciones.
- válvulas de acuerdo con la dimensión.
- número de aspersores.
- materiales para el equipo de bombeo (bomba, tubería de succión, válvula de pie, accesorios, etc).
- accesorios (codos, tee, adaptadores, etc).
- Listado de materiales y equipos con especificaciones técnicas.

➤ Análisis de precios unitarios

- Cotización de materiales y equipos en almacenes de distribución de riego.
- Elaboración del presupuesto para la adquisición de materiales.

11. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

11.1. Diseño agronómico

11.1.1 Elementos agrometeorológicos de la zona de estudio

Para la determinación del diseño agronómico de riego por aspersión, se requiere el análisis de algunos elementos de agrometeorológicos, para el presente trabajo se analizaron los datos de temperatura media mensual; humedad relativa media mensual relativa y precipitación media mensual.

11.1.1.1 Ubicación de la estación agrometeorológica

Considerando la ubicación del proyecto de riego a implementar, que corresponde a la localidad del Recinto San Francisco de Chipe, la estación meteorológica más cercana está

ubicada a una distancia aproximada en línea recta de 6 km que corresponde a la siguiente información.

Tabla 4. Datos de la estación meteorológica.

Generalidades	Ubicación Geográfica
Código: M0124	Latitud: 0° 54' 59" S
Propietario: INAMHI	Longitud: 79° 14' 44" W
Tipo: Meteorológica	Altitud: 215 msnm
Estado: Operativa	
Provincia: Cotopaxi	
Cantón: La Maná	
Parroquia: La Maná	
Sector: Hacienda San Juan	

Elaborado por: Calero N. & Pilatasig M. (2021).

Figura 1. Mapa de ubicación.

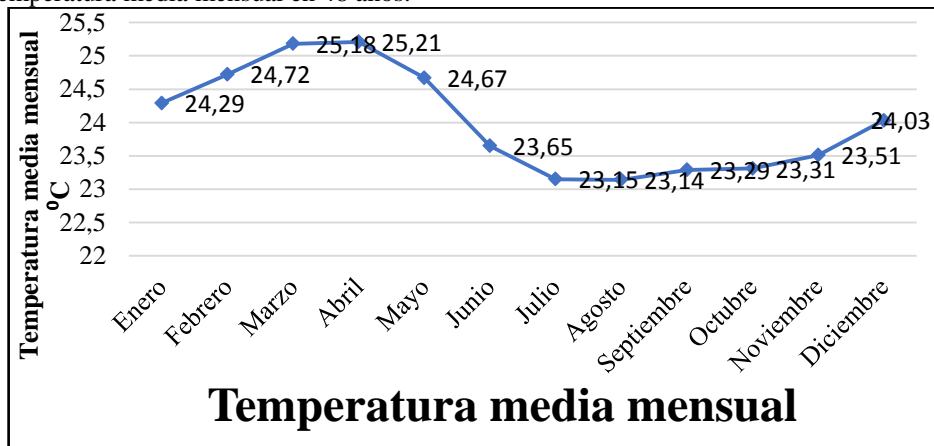


Elaborado por: Calero N. & Pilatasig M. (2021).

Fuente: (Earth, 2021).

11.1.1.2 Temperatura media mensual

Se realizó el análisis de la información existente en la base de datos del Instituto nacional de meteorología e hidrología (INAMHI), considerando los datos de 48 años de registro. **Revisar anexos 5 tabla 5.**

Figura 2. Temperatura media mensual en 48 años.

Elaborado por: Calero N. & Pilatasig M. (2021).

Fuente: (INAMHI, 2019)

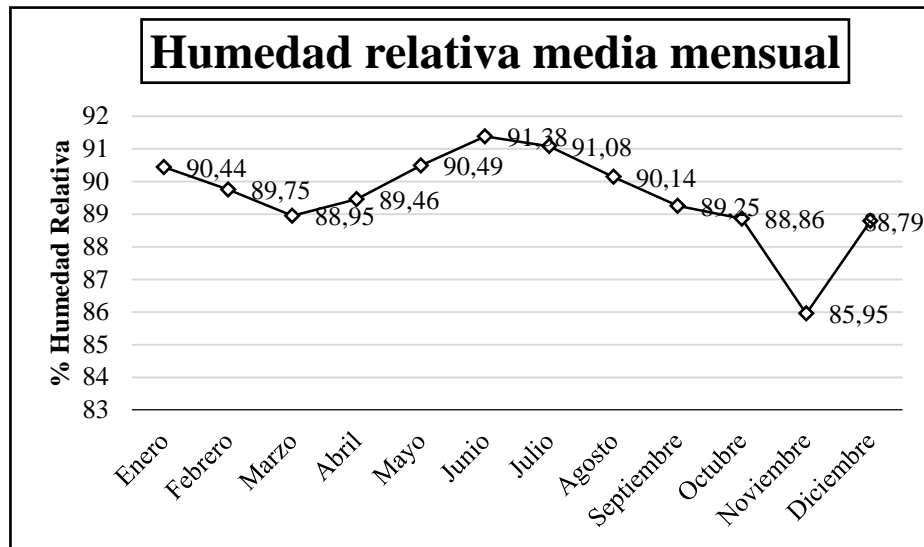
La información indicada en la tabla 5 y figura 2, resulta del análisis de la información meteorológica respecto a la temperatura media mensual registrada en la estación meteorológica MO124 San Juan La Maná durante un periodo de 48 años. Como se puede apreciar en la tabla 4 y figura 2, la temperatura media mensual oscila entre 23 ° C y 25 ° C, los datos de temperatura media mensual más altos corresponden a los meses de marzo y abril con 25.18 ° C y 25.21 ° C respectivamente. Mientras que, los más bajos corresponden a los meses de julio y agosto con valores de 23.15 ° C y 23.14 ° C.

Considerando la información presentada en la tabla 1, en la que se indica la media de la temperatura media mensual para el periodo de años, la temperatura media anual resulta en 24.01 ° C.

11.1.1.3 Humedad Relativa

Se consideró la información meteorológica correspondiente a la humedad relativa para un periodo de 48 años en la estación meteorológica M0124. La humedad atmosférica es la presencia de vapor de agua en el aire que resulta de la evapotranspiración que se produce en la superficie terrestre. **Revisar anexos 5 tabla 6**

Figura 3. Humedad relativa media mensual en la estación meteorológica M0124.



Elaborado por: Calero N. & Pilatasig M. (2021).

Fuente: (INAMHI, 2019)

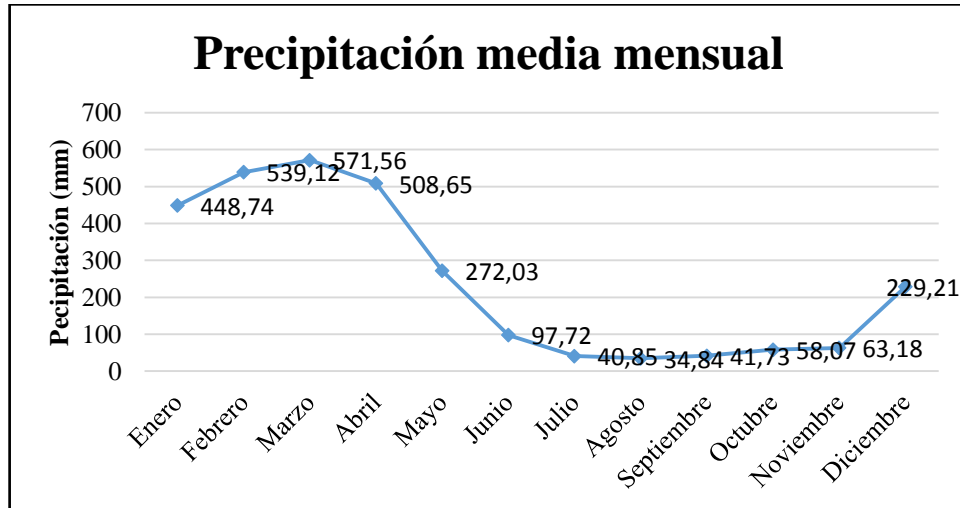
Como se puede observar en la tabla 6 y figura 3, se representa la información concerniente a la humedad relativa media mensual en la estación meteorológica M0124 que es la más cercana al área del proyecto de riego a implementarse.

De la información analizada, se puede identificar que se tienen valores altos de humedad relativa durante los meses de junio y julio con 91.38% y 91.08%, mientras que existen valores bajos en los meses de octubre, noviembre y diciembre con 88.86%, 85.95% y 88.79% respectivamente.

Considerando los valores mensuales de humedad relativa se obtiene un valor de 89.55% que corresponde a la humedad relativa promedio anual en la zona de influencia de la estación meteorológica M0124 San Juan.

11.1.1.4 Precipitación media mensual

Figura 4. Precipitación media mensual en la estación meteorológica M0124.



Elaborado por: Calero N. & Pilatasig M. (2021).

Fuente: (INAMHI, 2019).

Para realizar el análisis de la precipitación media mensual en la zona de estudio, se consideró los datos generados por la estación meteorológica M0124 por un periodo de 48 años.

De acuerdo con la información mostrada en la tabla 3 y figura 4, se diferencian los meses de altas, medias y bajas precipitaciones, resaltando que en los meses de enero a mayo las precipitaciones presentan valores altos, mientras que desde junio a noviembre los niveles de precipitación registrados son bajos.

Los valores más altos de precipitación media mensual corresponden a los meses de febrero y marzo con 539.12 mm y 571.56 mm, mientras que los meses de julio, agosto y septiembre presentan los valores de precipitación más bajos con 40.85 mm, 34.84 mm y 41.73 mm respectivamente.

La precipitación media anual en la estación meteorológica INAMHI-M0124 tiene un valor de 242.14 mm/ año, siendo esta información no determinante con fines de riego puesto que el objetivo del riego es suplir a los meses en los cuales las precipitaciones no cubren las necesidades hídricas de los cultivos. **Revisar anexos 5 tabla 7.**

11.1.2 Determinación de la Evapotranspiración Potencial o de referencia

Para la determinación de la Evapotranspiración potencial o de referencia se utilizó la metodología del método de Hargreaves, en el cual se esgriman los datos climáticos de temperatura media mensual, humedad relativa, factor mensual de latitud y la altitud de la localidad.

11.1.2.1 Método de Hargreaves para la determinación de la Evapotranspiración Potencial o de referencia

Se utilizó la formula empírica planteada por la metodología de Hargreaves, para la determinación de la Evapotranspiración mediante datos de temperatura y humedad relativa. La ecuación utilizada es la que se muestra a continuación:

$$ETP = MF * TMF * CH * CE$$

ETP = Evapotranspiración Potencial (mm/mes)

MF = Factor mensual de latitud

TMF = Temperatura media mensual (° F)

CH = Factor de corrección de humedad relativa

CE = Factor de corrección para la altura o elevación del lugar

11.1.2.2 Ubicación del proyecto

Para la determinación del factor mensual de latitud y el factor de corrección para la altura o elevación del lugar es necesario definir la ubicación geográfica y altitudinal del proyecto de riego a implementarse.

La ubicación geográfica y altitudinal del proyecto se indica a continuación:

Latitud: 0° 56' 42" S

Longitud: 79° 17' 34" O

Altitud: 143 msnm

11.1.2.3 Factor mensual de latitud (MF)

Para determinar el factor mensual de latitud se considera la ubicación en latitud del proyecto de riego que corresponde a 0° 56' 42" S, con este dato se procedió a buscar la latitud más cercana en la siguiente tabla:

De acuerdo con la información presentada en la tabla 8, se determinó que los valores correspondientes a la Latitud de 1° , son los más cercanos a la ubicación del proyecto de riego, por lo cual para el cálculo de la evapotranspiración se tomaron los datos resaltados de la tabla indicada. **Revisar anexos 5 tabla 8.**

11.1.2.4 Temperatura media mensual (TMF)

Para determinar los valores mensuales de TMF se utilizaron los datos de temperatura media mensual de estación meteorológica INAMHI-M0124 expresados en grados centígrados para convertirlos en grados Fahrenheit, de acuerdo con la siguiente ecuación.

$$TMF = \frac{9}{5} * T \text{ media } (^{\circ}C) + 32$$

Tabla 4. Temperatura media mensual (TMF)

Mes	Temperatura media mensual (^o C)	TMF (^o F)
Enero	24.29 °C	75.73 °F
Febrero	24.29 °C	75.73 °F
Marzo	25.18 °C	77.32 °F
Abril	25.21 °C	77.37 °F
Mayo	24.67 °C	76.41 °F
Junio	23.65 °C	74.56 °F
Julio	23.15 °C	73.67 °F
Agosto	23.14 °C	73.64 °F
Septiembre	23.29 °C	73.91 °F
Octubre	23.31 °C	73.96 °F
Noviembre	23.51 °C	74.32 °F
Diciembre	24.03 °C	75.25 °F

Elaborado por: Calero N. & Pilatasig M. (2021).

En la tabla 8 se indican los datos de temperatura media mensual en grados Centígrados obtenidos del promedio de 48 años de registro en la estación meteorológica a los cuales se los

ha convertido en valor con unidades en grados Fahrenheit, que se los utilizara para la determinación de la Evapotranspiración por el método de Hargreaves.

11.1.2.5 Factor de corrección de la humedad relativa (CH)

La determinación del factor de corrección de la humedad relativa se la realizó con las siguientes consideraciones:

- Si la Humedad relativa media mensual (HR) es mayor a 64%, se calcula mediante la ecuación:

$$CH = 0.166(100 - HR)^{\frac{1}{2}}$$

- Si la HR es menor a 64 % se adopta un valor de factor de corrección de la humedad relativa igual a 1.

Tabla 5. Factor de corrección de Humedad Relativa (CH)

Mes	Humedad Relativa (HR%)	Factor de corrección de Humedad Relativa (CH)
Enero	90.44 %	0.513
Febrero	89.75 %	0.531
Marzo	88.95 %	0.552
Abril	89.46 %	0.539
Mayo	90.49 %	0.512
Junio	91.38 %	0.488
Julio	91.08 %	0.496
Agosto	90.14 %	0.521
Septiembre	89.25 %	0.544
Octubre	88.86 %	0.554
Noviembre	85.95 %	0.622
Diciembre	88.79 %	0.556

Elaborado por: Calero N. & Pilatasig M. (2021).

Como se puede apreciar en la tabla 9, los datos de humedad relativa media mensual superan el 64%, por lo que, es necesario utilizar la ecuación para determinar el factor de corrección mensual para humedad relativa, cuyos resultados se resaltan en la tabla indicada.

11.1.2.6 Factor de corrección para la altura o elevación del lugar (CE)

Para la determinación del factor de corrección para la altura o elevación del lugar (CE), se utilizó la siguiente ecuación:

$$CE = 1 + 0.04 * \frac{E}{2000}$$

El proyecto de riego se implementó a una altitud de 143 msnm, que corresponde al valor de E en la ecuación indicada.

El valor del factor de corrección para la altura o elevación del lugar resulta en un valor de 1.0029 que es constante para todos los meses del año.

11.1.2.7 Evapotranspiración Potencial o de referencia (ETP)

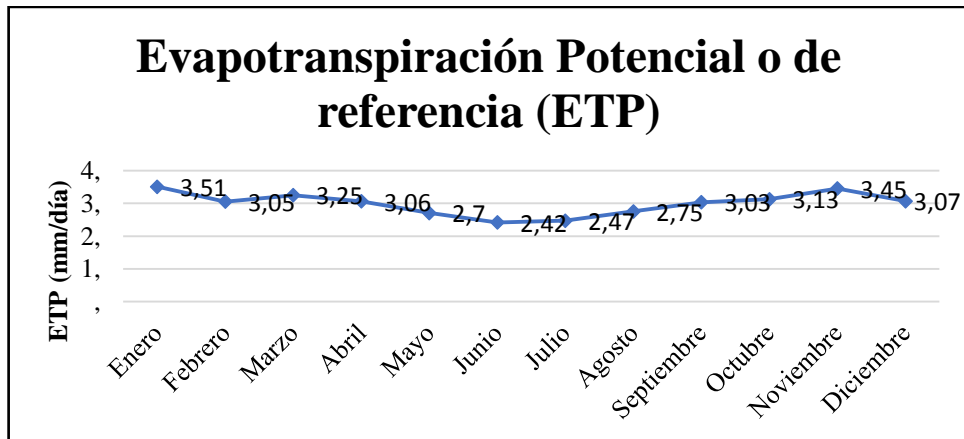
La evapotranspiración potencial o de referencia (ETP), se la obtuvo mediante el método de Hargreaves, en el cual se utilizan todos los parámetros antes descritos y determinados en este documento. La ecuación o relación que permite relacionar a todos los factores es la siguiente:

$$ETP = MF * TMF * CH * CE$$

Tabla 6. Evapotranspiración potencial o de referencia en la zona de estudio (ETP)

Mes	MF	TMF (° F)	CH	CE	ETP (mm/mes)	ETP (mm/día)
Enero	2.788	75.73 °F	0.513	1.0029	108.68	3.51
Febrero	2.177	75.73 °F	0.531	1.0029	85.45	3.05
Marzo	2.354	77.32 °F	0.552	1.0029	100.71	3.25
Abril	2.197	77.37 °F	0.539	1.0029	91.85	3.06
Mayo	2.137	76.41 °F	0.512	1.0029	83.84	2.7
Junio	1.900	74.56 °F	0.488	1.0029	72.54	2.42
Julio	2.091	73.67 °F	0.496	1.0029	76.6	2.47
Agosto	2.216	73.64 °F	0.521	1.0029	85.33	2.75
Septiembre	2.256	73.91 °F	0.544	1.0029	91.01	3.03
Octubre	2.358	73.96 °F	0.554	1.0029	96.88	3.13
Noviembre	2.234	74.32 °F	0.622	1.0029	103.61	3.45
Diciembre	2.265	75.25 °F	0.556	1.0029	95.02	3.07
Media	2.248	75.16 °F	0.536	1.003	90.961	2.991

Elaborado por: Calero N. & Pilatasig M. (2021).

Figura 5. Evapotranspiración potencial o de referencia (ETP).

Elaborado por: Calero N. & Pilatasig M. (2021).

En la tabla 10 y figura 5, se muestran los resultados de la evapotranspiración potencial o de referencia ETP expresados en mm/día, en donde se puede apreciar que en los meses de junio y julio se tienen valores bajos de 2.42 y 2.47 mm/día, mientras que en noviembre con un valor de 3.45 mm/día y en enero es de 3.51 mm/día que corresponden a los meses con valores más altos. Considerando los valores obtenidos de cada mes se tiene que el promedio de la ETP durante el año es de 2.99 mm/día.

11.1.3 Determinación de la Evapotranspiración del cultivo (ETc)

11.1.3.1 Coeficiente de cultivo (kc)

El coeficiente de cultivo (kc), nos indica el estado de crecimiento y desarrollo del cultivo para determinar el consumo de agua. El proyecto de riego que se implementó es para cubrir las necesidades hídricas del cultivo de Cacao (*Theobroma cacao L.*).

El coeficiente de cultivo para el Cacao (*Theobroma cacao L.*), presenta los siguientes valores:

Tabla 7. Coeficiente de cultivo (kc).

Cultivo	kc inicio periodo	kc mediados periodo	kc final periodo
Cacao	1	1.05	1.05

Elaborado por: Calero N. & Pilatasig M. (2021).

Fuente: (FAO56, 2006)

En la tabla 11, se indican los valores de kc para el cultivo de cacao en sus diferentes etapas de desarrollo. Para fines de estudios de riego, se toma en valor de kc más alto que corresponde en

este caso a 1.05, que corresponde a la etapa de mediados de periodo en la cual permanentemente se dan los procesos de floración y fructificación del cultivo en mención.

11.1.3.2 Precipitación efectiva (Pe)

Para determinar la precipitación efectiva es necesario realizar un ajuste a los datos de precipitación obtenidos en la estación meteorológica INAMHI - M0124, de acuerdo con las siguientes consideraciones:

- Si el valor de precipitación media mensual (P) es menor o igual a 250 mm/mes, la precipitación efectiva (Pe), se determina mediante la siguiente ecuación:

$$Pe = \frac{P * (125 - 0.2P)}{125}$$

- Si la precipitación media mensual (P) es mayor a 250 mm/mes, la precipitación efectiva (Pe), se la obtiene por la siguiente igualdad:

$$Pe = 125 + 0.1 P$$

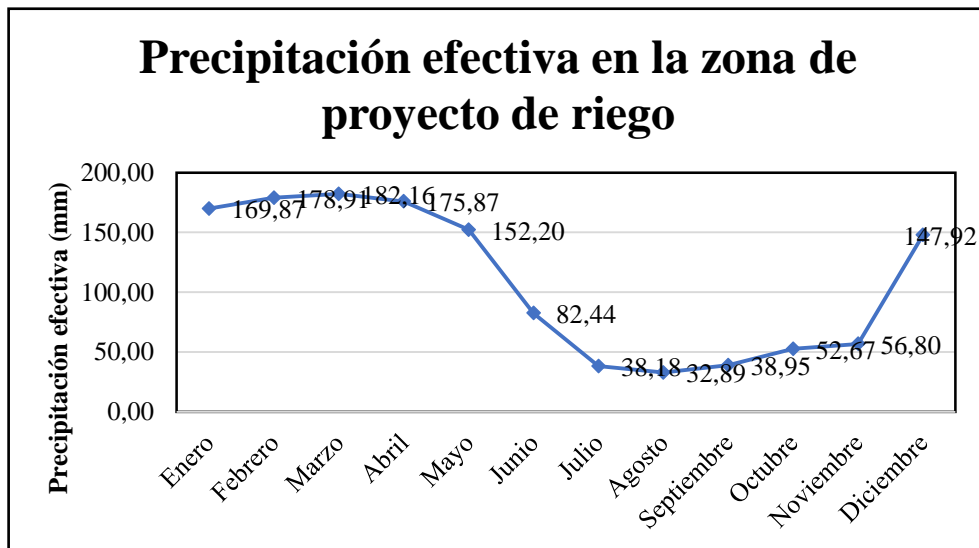
Cabe indicar que es necesario determinar la Pe, ya que no toda la precipitación puede ser aprovechada por los cultivos ya que parte esta se la pierde por percolación, escorrentía o evaporación, cuando llega a la superficie del suelo.

A partir de los datos de precipitación media mensual de la estación meteorológica se obtuvieron los siguientes resultados, para precipitación efectiva en la zona del proyecto de riego expresada en mm.

Tabla 8. Precipitación efectiva (Pe) en la zona del proyecto

Mes	Precipitación media mensual (mm)	Precipitación Efectiva (mm)
Enero	448.74	169.87
Febrero	539.12	178.91
Marzo	571.56	182.16
Abril	508.65	175.87
Mayo	272.03	152.20
Junio	97.72	82.44
Julio	40.85	38.18
Agosto	34.84	32.89
Septiembre	41.73	38.95
Octubre	58.07	52.67
Noviembre	63.18	56.80
Diciembre	229.21	147.92
Media	242.14	109.07

Elaborado por: Calero N. & Pilatasig M. (2021).

Figura 6. Precipitación efectiva (Pe).

Elaborado por: Calero N. & Pilatasig M. (2021).

En la tabla 12 y figura 6, se indica los valores promedios mensuales de precipitación efectiva (Pe), con fines de proyectos de riego se debe poner atención en los meses en los cuales la Pe presenta valores más bajos, como es este caso los meses desde julio hasta noviembre, en donde se presentan valores de 32.89 a 56.80 mm, que correspondería al periodo en los que los cultivos podrían presentar déficit hídrico que consecuentemente afectarían a los rendimientos.

11.1.3.3 Evapotranspiración del cultivo (ETc)

La evapotranspiración del cultivo (ETc), considera la evapotranspiración potencial (ETP) y al coeficiente de cultivo (kc), para su determinación.

La ecuación utilizada para determinar la ETc es la siguiente:

$$ETc = ETP * kc$$

Tabla 9. Precipitación efectiva (Pe) en la zona del proyecto

Meses	ETP (mm/mes)	Coefficiente de Cultivo (kc)	ETc (mm/mes)	ETc (mm/día)
Enero	108.68	1.05	114.12	3.68
Febrero	85.45	1.05	89.72	3.2
Marzo	100.71	1.05	105.75	3.41
Abril	91.85	1.05	96.45	3.21
Mayo	83.84	1.05	88.03	2.84
Junio	72.54	1.05	76.17	2.54
Julio	76.6	1.05	80.43	2.59
Agosto	85.33	1.05	89.6	2.89
Septiembre	91.01	1.05	95.57	3.19
Octubre	96.88	1.05	101.72	3.28
Noviembre	103.61	1.05	108.79	3.63
Diciembre	95.02	1.05	99.77	3.22
Media	90.96	1.05	95.51	3.14

Elaborado por: Calero N. & Pilatasig M. (2021).

En la tabla 13, se indican los valores calculados de la evapotranspiración del cultivo mensual y diaria, de lo cual se tiene que la ETc muestra un rango de 2.54 a 3.68 mm/día, y una ETc media, para la zona del proyecto y para el cultivo de cacao con un valor de 3.14 mm/día.

11.1.3.4 Demanda hídrica del cultivo

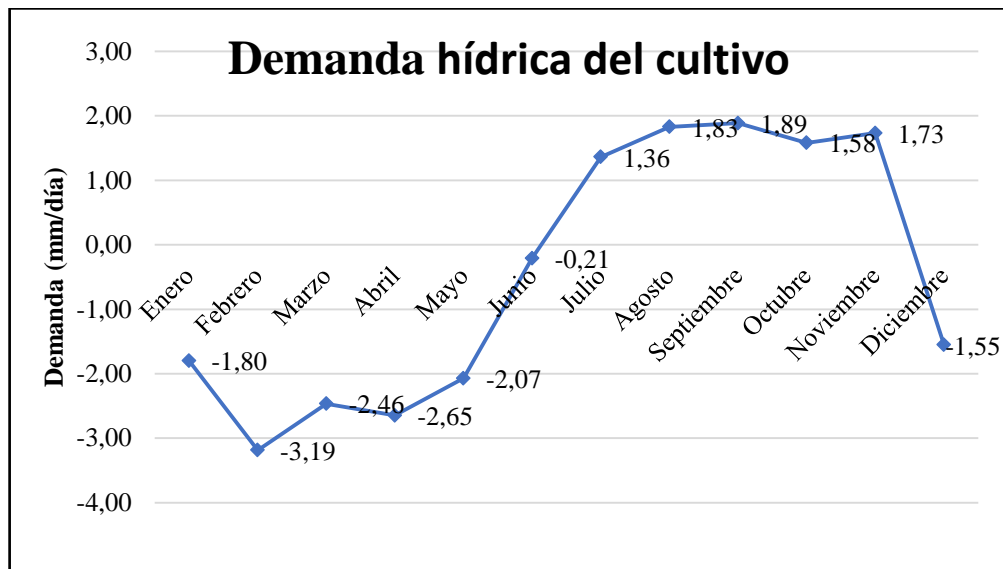
La demanda hídrica de agua es la lámina que requiere el cultivo en un momento determinado considerando las pérdidas y aportes por evapotranspiración y precipitación.

Para obtener la demanda hídrica del cultivo se restan a los valores de la evapotranspiración del cultivo (ETc) menos los valores obtenidos de precipitación efectiva (Pe).

Tabla 10. Demanda hídrica mensual y diaria del cultivo.

Meses	ETc (mm/mes)	Precipitación Efectiva (mm)	Demanda hídrica mm/mes	Demanda hídrica mm/día
Enero	114.12	169.87	-55.76	-1.80
Febrero	89.72	178.91	-89.19	-3.19
Marzo	105.75	182.16	-76.41	-2.46
Abril	96.45	175.87	-79.42	-2.65
Mayo	88.03	152.20	-64.17	-2.07
Junio	76.17	82.44	-6.27	-0.21
Julio	80.43	38.18	42.25	1.36
Agosto	89.6	32.89	56.70	1.83
Septiembre	95.57	38.95	56.62	1.89
Octubre	101.72	52.67	49.05	1.58
Noviembre	108.79	56.80	51.99	1.73
Diciembre	99.77	147.92	-48.15	-1.55

Elaborado por: Calero N. & Pilatasig M. (2021).

Figura 7. Demanda hídrica del cultivo

Elaborado por: Calero N. & Pilatasig M. (2021).

Como se puede apreciar en la tabla 14 y figura 7, el cálculo de la demanda hídrica del cultivo presenta valores negativos lo que significa que los valores de la evapotranspiración de cultivo (ETc), son inferiores a los valores de precipitación efectiva (Pe), por lo que no hace falta regar el cultivo desde el mes de diciembre a mayo.

La demanda hídrica del cultivo presenta valores positivos desde el mes de julio a noviembre ya que los valores de ET_c son mayores a los de Pe , generándose una demanda o lámina de agua que debe ser repuesta mediante riego.

El mes de septiembre presenta el valor más alto en cuanto a demanda hídrica o lámina de agua requerida con 1.89 mm/día, por lo que se considera este dato como la necesidad hídrica más alta para la determinación de los parámetros del diseño agronómico e hidráulico.

11.1.4 Propiedades físicas y aptitudes hídricas del suelo

Se realizó un muestreo de suelo del predio, para analizarla en un laboratorio calificado (INIAP-Santa Catalina) e identificar las propiedades físicas e hídricas, obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 11. Propiedades físicas y aptitudes hídricas del suelo

Propiedad	Valor	Unidad
Capacidad de campo (CC)	49.3	%
Punto de marchitez permanente (PMP)	32.2	%
Densidad aparente (Da)	0.96	g/cc
Humedad gravimétrica (Hg)	50.7	%
Humedad volumétrica	48.6	%
Materia orgánica	2.8	%
Arena	23	%
Limo	36	%
Arcilla	41	%
Clase textural	Arcilloso	

Elaborado por: Calero N. & Pilatasig M. (2021).

Fuente: (INIAP, 2020)

11.1.5 Determinación de los parámetros para el diseño agronómico de riego por aspersión

11.1.5.1 Necesidad neta (Nn)

La evapotranspiración del cultivo (ET_c) para el mes de septiembre es de 95.57 mm/día y la precipitación efectiva (Pe), para dicho mes es de 38.95 mm/mes, con lo cual la necesidad neta (Nn) se determinó con la siguiente expresión:

$$Nn = ET_c - Pe$$

$$Nn = 56.62 \text{ mm/mes}$$

Como el mes de septiembre tiene 30 días, la Nn es de 1,89 mm/día.

11.1.5.2 Lámina neta (dn)

La lámina neta (dn) se la obtuvo mediante la siguiente ecuación:

$$dn = \frac{(CC - PMP)}{100} \times da \times Z \times f \times 1000$$

Dónde:

CC: Capacidad de Campo

PMP: Punto de marchitez permanente

da: densidad aparente

Z: profundidad radicular

f: fracción de agotamiento del agua disponible

Las variables capacidad de campo (CC = 49.3%); punto de marchitez permanente (PMP = 32.2%) y densidad aparente (da = 0.96 g/cc) se obtuvieron del análisis de suelo.

La profundidad radicular (Z), se la obtuvo mediante la excavación de una calicata junto a una planta del cultivo de cacao, en donde se realizó la medición del sistema radicular obteniendo una profundidad promedio de 1 m.

Considerando que el factor de agotamiento del agua disponible (f), es el porcentaje del contenido de agua almacenada entre el estado a capacidad de campo y el punto de marchitez permanente que puede consumir el cultivo durante el tiempo transcurrido entre dos riegos consecutivos, para este caso se determinó un factor f = 20%

Conocidas las variables indicadas, se obtuvo la lámina neta (dn) correspondiente a un valor de 32.83 mm, que es la cantidad de agua que se debe aplicar en un riego para elevar el contenido

de humedad de la zona radicular desde un valor inferior correspondiente a la fracción de agotamiento, hasta un valor superior que coincida con la capacidad de campo. (Cadena, 2012)

11.1.5.3 Lamina bruta o total de riego (db)

La lámina bruta o total de riego (db) se determinó utilizando la siguiente relación:

$$db = \frac{dn}{Ea}$$

Dónde:

dn: lamina neta de riego

Ea: Eficiencia de aplicación

(Fuentes, 2003). La eficiencia de aplicación (Ea) depende del método de riego a utilizar para la aplicación del agua, en el caso del riego por aspersión la eficiencia de aplicación esta entre el 65 y 85%, considerando un promedio se ha utilizado un valor de Ea de 75%.

La lámina bruta (db), obtenida corresponde a 43.78 mm, valor superior a la lámina neta (dn) ya que es necesario aplicar mayor cantidad de agua al considerar la eficiencia de acuerdo con el método de aplicación del agua de riego.

11.1.5.4 Frecuencia máxima de riego (Fmr)

El valor de la frecuencia máxima de riego (Fmr), se estima dividiendo la lámina neta (dn) para la evapotranspiración diaria del cultivo (ET_c), como se expresa en la ecuación:

$$Fmr = \frac{dn}{ET_c}$$

Se consideró la evapotranspiración de cultivo del mes crítico (septiembre), que tiene un valor de 95.57 mm/mes y 3.19 mm/día.

La frecuencia máxima de riego (Fmr), mediante la aplicación de la ecuación es de 10 días que el cultivo podría tolerar una escasez hídrica, pero con la finalidad de evitar un estrés hídrico y tener un cierto margen de control de humedad de la zona radicular se definió realizar un riego semanal, con una frecuencia real de riego cada 5 días.

11.1.5.5 Lámina neta ajustada (dnj)

Para realizar el ajuste de la lámina neta en función de la frecuencia real de riego, se utilizó la siguiente relación:

$$dnj = Fr \times Nn$$

La lámina neta ajustada (dnj), se la obtiene multiplicando la Frecuencia real de riego (Fr) con la necesidad neta diaria (Nn).

Si la frecuencia real de riego (Fr) es 5 días y la necesidad neta diaria (Nn) es 1.89 mm/día, se obtiene una lámina neta ajustada (dnj) de 9.44 mm

11.1.5.6 Lámina bruta ajustada (dbj)

Para realizar el ajuste de la lámina bruta se utilizó la siguiente ecuación:

$$dbj = \frac{dnj}{Ea}$$

Con una lámina neta ajustada (dnj) de 9.44 mm y la eficiencia de aplicación (Ea), anteriormente definida en 75%. Se obtiene una lámina bruta ajustada (dbj) de 12.58 mm.

11.1.5.7 Tiempo de riego (Tr)

El tiempo de riego (Tr) se lo determinó mediante la siguiente relación:

$$Tr = \frac{dbj}{Vi}$$

Esta ecuación considera a la velocidad de infiltración (V_i) del agua en el suelo, que está directamente relacionado con la textura del suelo. En el análisis de laboratorio se indica que la textura de suelo es arcilloso.

(Cadena, 2012) indica que en los suelos arcillosos la velocidad de infiltración esta entre 3 y 7 mm/h, por lo que se utilizó un promedio de 5mm/h.

Considerando la lámina bruta ajustada (dbj) de 12.58 mm y la velocidad de infiltración (V_i) de 5 mm/h, se determinó un tiempo de riego (Tr) de 2.52 horas, con lo cual se puede adoptar o definir un tiempo de 2 horas de riego para satisfacer la lámina bruta o total.

11.1.5.8 Caudal característico (qc)

Para conocer la cantidad de agua requerida para la aplicación del riego es necesario determinar el caudal característico (qc), para transformar la lámina de riego bruta (dbj) en unidades de caudal (l/s), para lo cual se consideró la siguiente ecuación:

$$qc = \frac{dbj}{Fr} \times 0.116$$

Se obtiene un caudal característico de 0.29 l/s x ha, como la superficie total del proyecto de riego es 1.28 ha, el caudal característico (qc) resulta de 0.37 l/s. Lo que significa que debe existir este caudal de forma permanente para la aplicación del riego.

11.1.5.9 Volumen total (Vt)

El volumen total (Vt), que se requiere para dar riego a la superficie del proyecto de riego de 1.28 ha y abastecer a una lámina bruta o total (dbj) de 12.58 mm, se lo determinó mediante la siguiente ecuación:

$$dbj = \frac{Vt}{A}$$

$$Vt = dbj \times A$$

Dónde:

Vt = Volumen total requerido

dbj = lámina bruta o total

A = Área de riego

Se obtiene un volumen total (Vt) de 161.05 m³, que se requieren para la aplicación del riego por el método de aspersión para satisfacer la demanda del área y lámina antes indicadas.

11.1.5.10 Selección del tipo de aspersor

El tipo de aspersor seleccionado para la aplicación del agua de riego comprende las siguientes características:

Tabla 12. Especificaciones técnicas del aspersor para riego en el proyecto.

CARACTERÍSTICAS DEL ASPERSOR	
TIPO	IMPACTO
MODELO	NAANDAN JAIN 50-22
NUMERO DE BOQUILLAS	2
TAMAÑO DE BOQUILLAS	3.0 X 1.8 mm
PRESIÓN DE OPERACIÓN	2.5 - 4 bar
CAUDAL DE OPERACIÓN	0.21 l/s
PRESIÓN DE OPERACIÓN	2.5 bar
DIÁMETRO MOJADO	21.5 m

Elaborado por: Calero N. & Pilatasig M. (2021).

Fuente: (NAANDANJAIN IRRIGATION, 2011)

11.1.5.11 Espaciamiento calculado entre aspersores (Ea) y laterales (El)

El espaciamiento entre aspersores es la distancia a la que se ubican los aspersores en un lateral de riego y la distancia entre laterales es la separación entre hileras de aspersores.

El espaciamiento entre aspersores (Ea), se determinó mediante la siguiente ecuación:

$$Ea = (2 - \text{solapamiento}) \times Rm$$

Dónde:

Ea = Espaciamiento entre aspersores

Rm = Radio mojado

El solapamiento se define en función de varios factores como: la intensidad del viento; la altura y densidad del cultivo y presupuesto. En este proyecto se definió un porcentaje de solapamiento del 100% ya que el cultivo de Cacao ya está establecido y la altura y densidad de las plantas representan un obstáculo considerable para el riego por aspersión.

El valor del radio mojado (RM), corresponde a la mitad de la medida del diámetro mojado que nos proporciona la especificación técnica del fabricante.

Con estas consideraciones, se obtuvo un espaciamiento entre aspersores (Ea) igual a 10.75 m, para definir un espaciamiento que con fines constructivos sea manejable se determinó un valor de 10 m.

Para tener una disposición de aspersores de forma cuadrática, el espaciamiento entre laterales (El), también se lo estableció en 10 m, lo que da lugar a tener un marco de riego de 10 x 10 m.

11.1.5.12 Pluviometría o Intensidad de aplicación del aspersor (Ia)

En función del aspersor seleccionado es necesario determinar la intensidad de aplicación del aspersor (Ia), con la utilización de la siguiente ecuación:

$$Ia = \frac{\text{caudal del aspersor } \left(\frac{l}{h}\right)}{\text{marco de riego } (m^2)}$$

El caudal de operación del aspersor seleccionado es de 760 l/h y el marco de riego determinado por el espaciamiento entre aspersores y laterales corresponde a 100 m², con lo cual se determinó una pluviometría o intensidad de aplicación (Ia) del aspersor correspondiente a 7.60 mm/h.

11.1.5.13 Tiempo de riego del aspersor

Para definir el tiempo de riego (Tr) por postura del aspersor se utilizó la siguiente ecuación:

$$Tr = \frac{dbj (mm)}{Ia \left(\frac{mm}{h}\right) \times Ea}$$

Dónde:

Tr = tiempo de riego

dbj = demanda bruta ajustada (mm)

Ia = intensidad de aplicación (mm/h)

Ea = eficiencia de aplicación

El tiempo de riego determinado con la aplicación de la ecuación es de 2.21 horas, con lo que se puede precisar un tiempo de 2 horas de funcionamiento del aspersor para cubrir la demanda del sistema.

11.1.5.14 Pluviometría del sistema (Ps)

Conociendo que el tiempo de riego por posición del aspersor es de 2 horas para llegar a una lámina de 12.58 mm, se determinó la pluviometría del sistema (Ps), mediante la aplicación de la siguiente ecuación.

$$Ps = \frac{dbj (mm)}{Tr (h)}$$

La pluviometría del sistema de riego (Ps) obtenida es de 6.30 mm/h, mientras que la intensidad de aplicación del aspersor (Ia) es de 7.60 mm/h, con lo cual se puede definir que la elección del aspersor es adecuada pues se cumple la condición de que la intensidad de aplicación del aspersor debe ser mayor o igual a la pluviometría del sistema.

11.1.5.15 Número de sectores de riego (Ns)

Se determinó el número de sectores de riego posibles, mediante la aplicación de la siguiente relación.

$$N_s = \frac{JER}{Tr(h)}$$

Dónde:

Ns = número de sectores de riego

JER = jornada efectiva de riego (número de horas de riego en un día)

Tr = tiempo de riego en horas

La jornada de efectiva de riego determinada para este proyecto es de 8 horas y el tiempo de riego por posición del aspersor es 2 horas, con lo cual el número de sectores que se pueden determinar es de 4, es decir que, el área total del proyecto (1.28 ha) puede regarse en 4 secciones durante las 8 horas de riego.

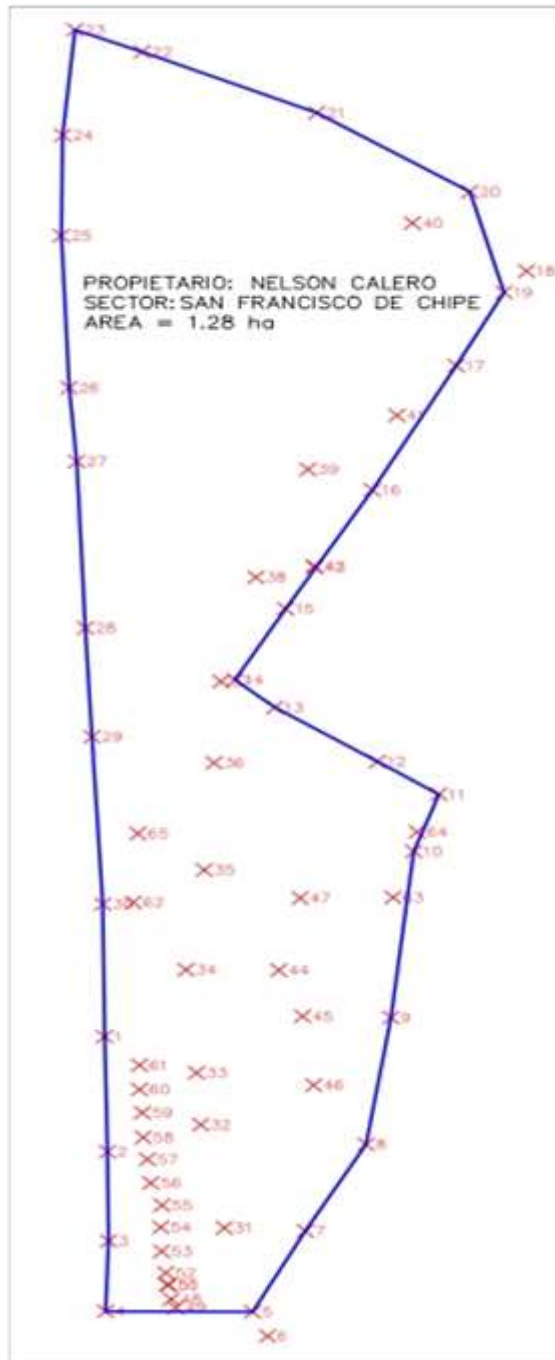
11.2 Diseño hidráulico

El diseño hidráulico comprende el dimensionamiento y especificaciones técnicas de la infraestructura que se va a instalar para el funcionamiento del sistema de riego.

11.2.1 Levantamiento topográfico

El levantamiento topográfico se lo realizó utilizando un equipo de medición profesional, levantando los puntos de detalle del polígono de riego y de referencia para definir la topografía del proyecto de riego. Para el procesamiento de la información topográfica se utilizó el programa de dibujo Auto CAD Civil 3D, para definir el área de proyecto y curvas de nivel del terreno. **Revisar en los anexos tabla 17.**

Figura 8. Polígono del proyecto de riego y puntos topográficos.



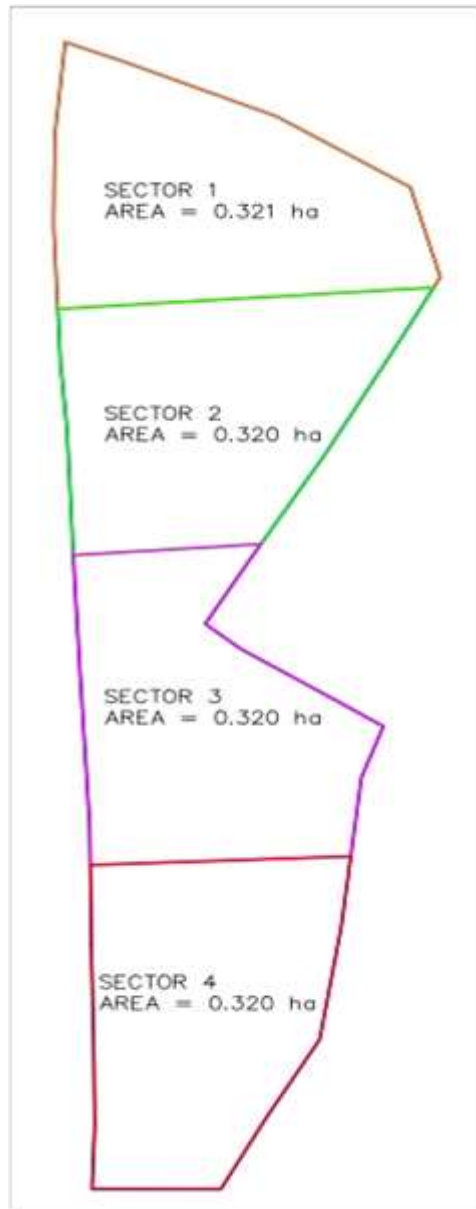
Elaborado por: Calero N. & Pilatasig M. (2021).

Con el procesamiento de la información topográfica de la tabla 14 en el programa de dibujo Auto CAD Civil 3D, se realizó el trazado del predio de riego como se lo indica en la figura 8 en donde se obtuvo un área de 1.28 ha y una variación de cotas entre la fuente de agua y el punto más alto del predio de 5m.

11.2.2 Sectorización y modulación del área de riego

De acuerdo con el diseño agronómico se determinó que se pueden tener 4 sectores de riego, para lo cual se utilizó procedimientos topográficos para subdivisión de parcelas obteniendo sectores de superficies similares como se muestra en la figura 9, para aplicar 2 horas de riego por sector en una jornada de 8 horas para dar cobertura total al predio.

Figura 9. Subdivisión del polígono de predio en cuatro sectores de riego.

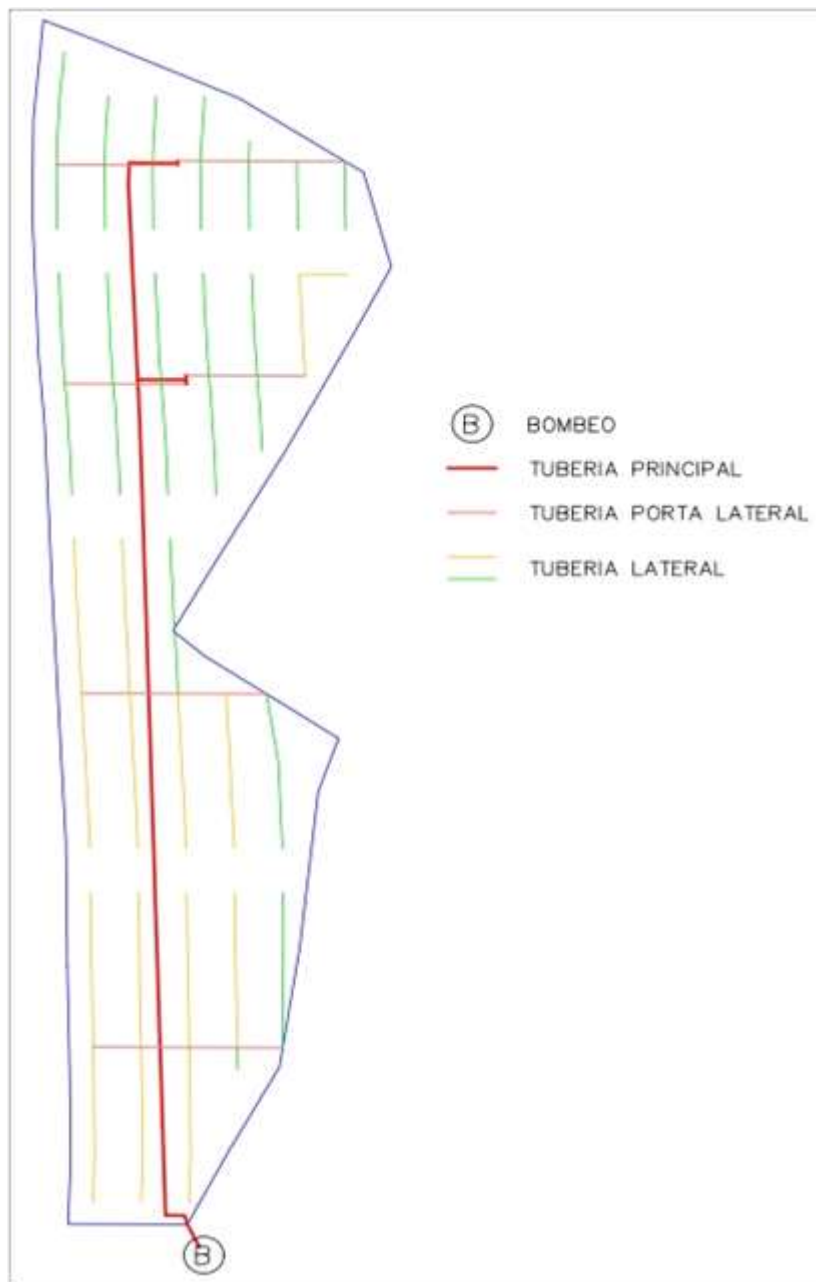


Elaborado por: Calero N. & Pilatasig M. (2021).

11.2.3 Trazado de redes de riego

Una vez definidos los sectores de riego, se realizó el trazado de las redes de riego que van a dar lugar al sistema de riego. Para este propósito se realizó la disposición de redes al interior del predio del proyecto que comprende: la línea de conducción principal; la tubería portateral y los laterales de riego.

Figura 10. Subdivisión del polígono de predio en cuatro sectores de riego.

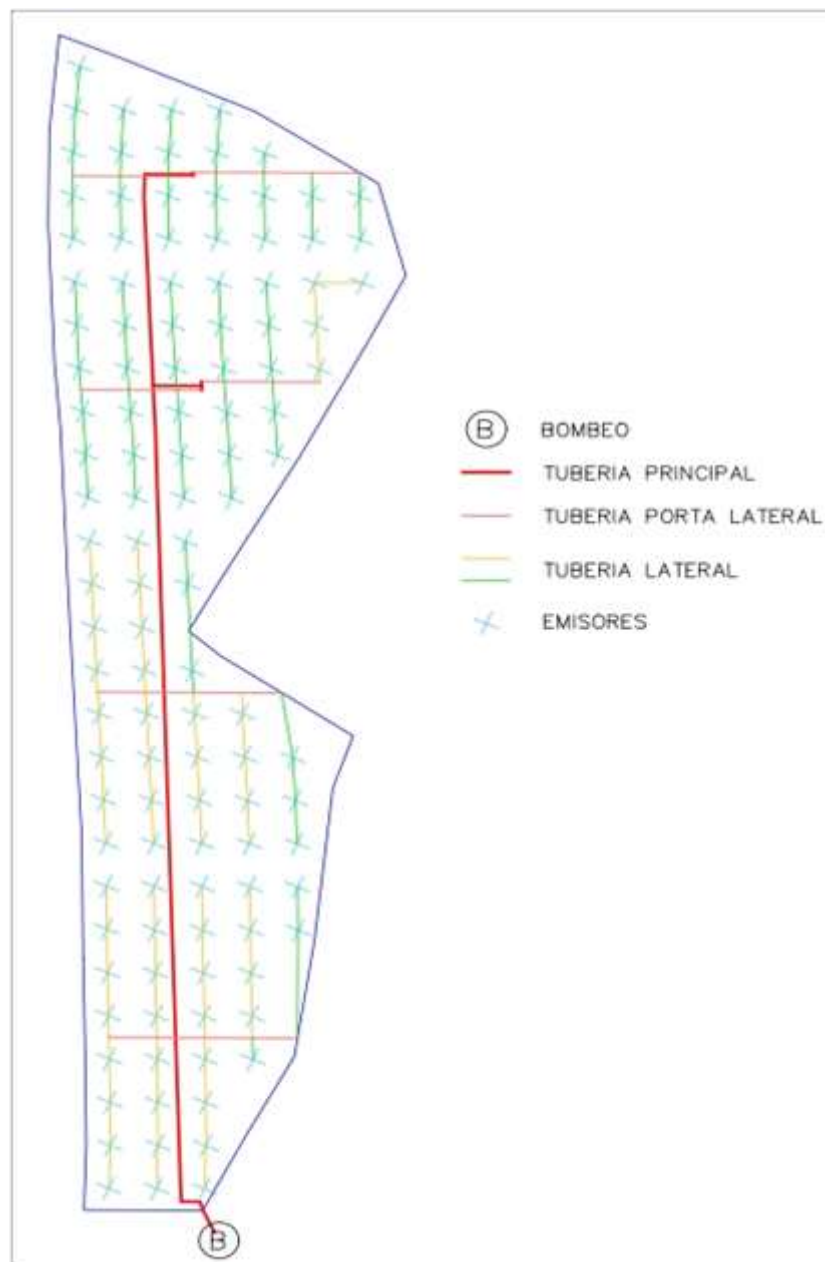


Elaborado por: Calero N. & Pilatasig M. (2021).

11.2.4 Trazado y ubicación de los emisores de riego

En el diseño agronómico se determinó que la disposición entre aspersores es cada 10m en las tuberías denominadas laterales, por lo cual se realizó la distribución de aspersores al distanciamiento indicado, se obtuvo un total de 118 aspersores para dar cobertura al predio, con un marco de riego de 10 x 10 m.

Figura 11. Disposición de aspersores en los laterales de riego.



Elaborado por: Calero N. & Pilatasig M. (2021).

11.2.5 Parámetros para el diseño hidráulico del sistema de riego por aspersión

Una vez realizado el trazado de las redes de distribución principales, portalaterales y laterales en predio a irrigar es necesario realizar el dimensionamiento especificaciones técnicas de la infraestructura desde el sistema de bombeo hasta la aplicación del agua al cultivo. Para lo cual se tienen los siguientes datos indicados en la tabla 14.

Tabla 18. Datos para diseño hidráulico.

Cultivo	Cacao
Área de la finca riego	1.28 ha
Distancia entre aspersores	10 m
Distancia entre laterales	10 m
Eficiencia de riego	75%
Horas / días disponibles para regar	8 h
Caudal promedio del emisor	0.21 l/s

Elaborado por: Calero N. & Pilatasig M. (2021).

11.2.6 Cálculos hidráulicos de la tubería emisora o laterales del sistema de riego

En la tubería emisora o laterales de riego se ubican los aspersores que van a permitir la aplicación del agua de riego al cultivo, cuyo diámetro va a depender del número de aspersores funcionales en cada lateral. **Revisar anexos 5 tabla 19.**

Como se indica en la tabla 17 y 18, los cálculos hidráulicos dan como resultado que para el funcionamiento óptimo de laterales con 4 aspersores funcionales el diámetro de la tubería es de 32 mm y para laterales con 3 o menos aspersores en operación el diámetro es de 25 mm, con velocidades de flujo de 1.5 y 1.6 m/s respectivamente. **Revisar anexos 5 tabla 19.**

11.2.7 Cálculos hidráulicos en la tubería de abastecimiento a los laterales emisores (portalateral)

Las tuberías porta laterales en promedio conducen un caudal de 4 l/s, considerando un porcentaje admisible de pérdidas de carga del 10%, se determinó que el diámetro óptimo para el funcionamiento es de 63 mm con una velocidad de flujo de 1.41 m/s. **Revisar anexos 5 tabla 20.**

11.2.8 Cálculos hidráulicos en la tubería de abastecimiento principal a los módulos de riego

En promedio se tienen en operación 32 aspersores para lo cual se requiere un caudal de 6.72 l/s, para estas condiciones se determinó que el diámetro óptimo para la tubería principal es de 90 mm para una velocidad de flujo de 1.17 m/s y con un porcentaje de partida de presión del 8% por debajo de 10 % admisible.

Para determinar la longitud del tramo de la tubería principal de riego se debe realizar un levantamiento topográfico del área del terreno a tecnificar en este proyecto nos dio como resultado una longitud de 250m. **Revisar anexos 5 tabla 21.**

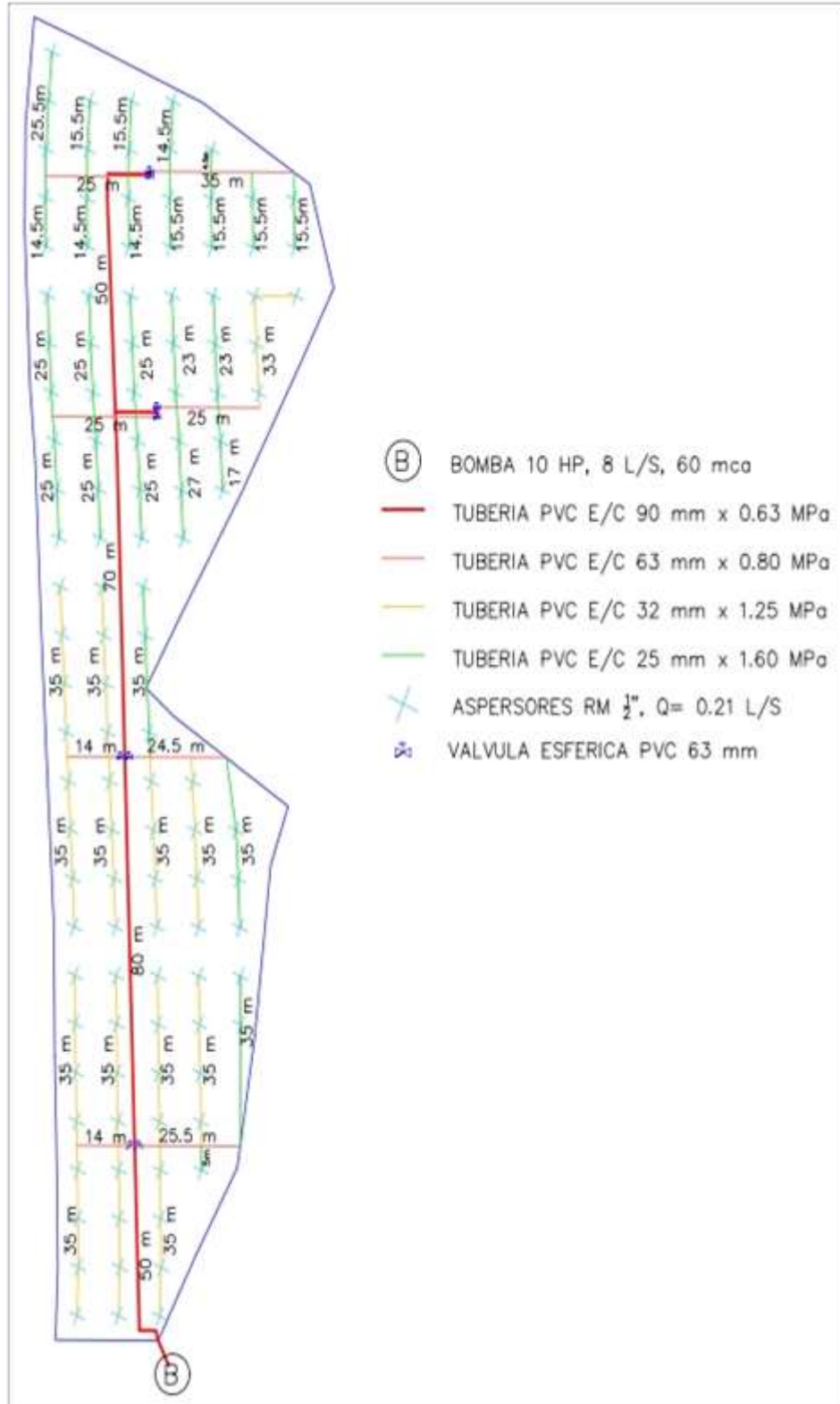
11.2.9 Cálculos hidráulicos para la selección de la bomba.

El cálculo de la presión de bombeo corresponde a una altura manométrica de 58.10 m, la potencia real de bombeo es de 7.90 HP. **Revisar anexos 5 tabla 22.**

11.2.10 Dimensionamiento de la infraestructura de riego

Como resultado del diseño hidráulico se tiene que la tubería principal tiene un diámetro de 90 mm x 0.63 MPa, las tuberías portlaterales tienen un diámetro de 63mm x 0.80 MPa y las tuberías laterales tienen un diámetro de 32 mm x 1.25 MPa cuando llevan 4 aspersores y 25 mm x 1.60 MPa si operan tres aspersores o menos, la potencia de la bomba comercial es de 10 HP para un caudal de 8 l/s y 60 mca.

Figura 12. Disposición de aspersores en los laterales de riego.



Elaborado por: Calero N. & Pilatasig M. (2021).

11.3 Presupuesto para la implementación del sistema de riego

Para la determinación de los costos de materiales para implementar la superficie del proyecto que es de 1.28 ha, se realizó el conteo de materiales y equipos requeridos de acuerdo con el diseño hidráulico. En los planos de diseño se especifica la ubicación, cantidades y dimensiones de la infraestructura para riego.

Realizada la cuantificación de materiales y listado consolidado de materiales y equipos, se realizó la cotización de los mismos en casas comerciales cercanas al proyecto para definir los costos más adecuados para la elaboración del presupuesto definitivo.

El costo para la adquisición de materiales y equipos requeridos para la instalación del sistema de riego para una superficie de 1.28 ha, para el cultivo de cacao en el cantón La Maná, recinto San Francisco de chipe, es de USD 2960.78, el valor indicado no contempla gastos de excavación e instalación ya que fue el trabajo realizado por los tesisistas de este trabajo de titulación. **Revisar anexos 5 tabla 23.**

12. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

12.1. Conclusiones

En el diseño agronómico se determinó que la demanda hídrica del cultivo de cacao (*Theobroma cacao L*), en el recinto San Francisco de Chipe es determinante en los meses de julio a noviembre, siendo en el mes de septiembre donde el requerimiento de agua es más alto con una lámina de 1.89 mm/día, lo que justifica la incorporación del sistema de riego en esta localidad.

Considerando una frecuencia de riego de 5 días, la demanda del cultivo de 1.89 mm/día y una eficiencia de aplicación del 75% se determinó una lámina total requerida de 12.58 mm, que deben satisfacerse en cada aplicación de riego por aspersión, con un tiempo de 2 horas para lo cual se requiere un volumen de 161.05 m³ para la superficie de 1.28 ha.

El aspersor seleccionado es de tipo impacto con un caudal de operación de 0.21 l/s, una presión de trabajo de 2.5 bar y un diámetro de alcance de 21.5 m. El marco de riego es de 10 m x 10m con lo que se logra una intensidad de aplicación de 7.60 mm/h, requiriéndose un tiempo de postura del aspersor de 2 horas para satisfacer la lámina total requerida.

Para el diseño hidráulico se modulo el área de riego de 1.28 hectáreas en cuatro sectores de 0.32 hectáreas para realizar la aplicación del riego por sector con un tiempo de riego de 2horas por sector con lo cual se tiene una jornada efectiva de 8 horas.

El cálculo hidráulico determino que para las tuberías laterales o porta aspersores los diámetros de instalación óptimos son de 25 mm para laterales con 3 aspersores y de 32 mm para el funcionamiento de 4 aspersores. Para las tuberías porta laterales el diámetro calculado es de 63 mm para un caudal de 4 l/s. En la tubería principal se calculó un diámetro de 90 mm para un caudal de 6.72 l/s y una velocidad de 1.17 m/s.

El cálculo de la presión de bombeo corresponde a una altura manométrica de 58.10 m, la potencia real de bombeo es de 7.90 HP considerando un 65% de eficiencia de la bomba a combustión. Comercialmente se encontró una bomba de 10 HP para 8 l/s y 60 mca que es la que adquirió para el funcionamiento del sistema.

Para la implementación del sistema de riego en las 1.28 ha se requiere la adquisición de materiales y equipos para riego que en los locales comerciales de la zona se tiene un costo de USD 2960.78, este costo no incluye los trabajos de excavación de zanjas e instalación de accesorios ya que este fue el aporte técnico de los tesistas.

12.2. Recomendaciones

Para realizar un adecuado diseño agronómico de riego se recomienda muestrear el suelo para determinar las capacidades físicas e hídricas del suelo como capacidad de campo, punto de marchitez permanente, humedad aprovechable y densidad aparente.

Se recomienda trabajar con la estación meteorológica más cercana al área donde se va a implementar un proyecto de riego, para la obtención de datos meteorológicos para la determinación de las necesidades hídricas del cultivo.

Realizar un levantamiento topográfico con equipo de precisión previo al diseño del sistema de riego, ya que esto determinara la validez de la información que se utiliza para realizar los trazados de la red de tuberías y cálculos hidráulicos para el dimensionamiento de tuberías, accesorios y equipos de bombeo.

Para un diseño económico de riego se recomienda realizar o trabajar mediante sectores o módulos de riego con un tiempo determinado de riego cada sector, lo que alarga la jornada efectiva de riego, pero disminuye el dimensionamiento de las redes de tuberías permitiendo un costo más bajo en la implementación.

Se recomienda impulsar a los estudiantes que realicen trabajos de titulación en los diferentes sistemas de riego, para otros tipos de cultivos que ayuden al conocimiento de las nuevas tecnologías en sistemas de riegos.

13. BIBLIOGRAFÍA

- Cabrera Molina , R. A. (25 de Mayo de 2016). Gestiriego . Recuperado el 07 de Julio de 2020, de Diseño Agronomico .
- Cadena, V. (2012). Hablemos de riego. Ibarra: Creadores Gráficos.
- Carrazón, J. (2007). Manual práctico para el diseño de sistemas de miniriego. Honduras: PESACENTROAMERICA.
- Chucya, P. (2015). Ministerio De Agricultura. Recuperado el 07 de Julio de 2020, de Diseño Hidraulico.
- Cuenca, W. (2015). MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE RIEGO. Quito: EPN.
- Demin, P. (2014). Aportes para el mejoramiento. Recuperado el 06 de Julio de 2020, de Métodos de riego: fundamentos, usos y adaptaciones: https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_aportes_para_el_mejoramiento_del_manejo_de_los_sistemas_de_riego.pdf
- Earth, G. (2021). Image Landsat/ Copernicus.
- Escobar, D., & Farfán, K. (17 de Agosto de 2018). Universidad De Guayaquil. Recuperado el 06 de Julio de 2020, de Facultad De Ciencias Administrativas: <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/36909/1/Tesis%20Sistema%20de%20riego%20Automatizado-%20Escobar-Farfan.pdf>
- FAO56. (2006). Evapotranspiración del cultivo. Roma: ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA (FAO).
- Fuentes, J. (2003). Técnicas de riego. méxico: Mundi-Prensa.
- INAMHI. (2019). Anuarios Meteorológicos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. Quito: INAMHI.
- INIAP. (2017). Guía para facilitar el aprendizaje en el manejo integrado del cultivo de cacao (Theobroma cacao L.). Quito: Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias.
- INIAP. (2020). Reporte de curva de retención de humedad de suelo. Quito: INAMHI.

- INIAP>Z. (Diciembre de 2008). Riego suplementario para el cultivo de Cacao en Manabí. Riego suplementario para el cultivo de Cacao en Manabí. Portoviejo, Manabí, Ecuador: Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias.
- Jimenez , S. (18 de Mayo de 2017). Diseño Agronomico e Hidraulico. Recuperado el 07 de Julio de 2020, de Hidraulica.
- Martínez, A. (2004). Necesidades hídricas en cultivos hortícolas. Revista horticultura, 8.
- NAANDANJAIN IRRIGATION. (2011). ASPERSORES. ISRAEL: NAANDANJAIN IRRIGATION.
- Nuñez, A. (2015). Manual del cálculo de eficiencia para sistemas de riego. Lima: Ministerio de Agricultura y Riego.
- Quiñones. (2017). Condiciones meteorológicas.
- Ramos, M., & Báez, D. (2013). Escuela Superior Politecnica de Chimborazo. Recuperado el 30 de Junio de 2020, de Facultad de Mecànica Escuela de Ingenièria de Mantenimiento:
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/2677/1/25T00208.pdf>
- Reyes Adrianzen , J. (22 de Marzo de 2017). Diseño Agronomico. Recuperado el 07 de Julio de 2020, de Sistemas De Riego.
- Saltos, D. (2011). Universidad Técnica De Ambato. Recuperado el 06 de Julio de 2020, de Facultad Ingeniería Civil y Mecanica:
<https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/1595/1/Tesis%20594%20-%20Saltos%20Salazar%20Diego.pdf>
- Tapia, D. (2014). Universidad Central del Ecuador. Recuperado el 30 de Junio de 2020, de Facultad de Ingeniería, Ciencias Físicas y Matemática:
<http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/2581/1/T-UCE-0011-96.pdf>
- Tarjuelo, J. (2009). El riego por aspersion diseño y funcionamiento. Albacete: Universidad Catilla La Mancha.
- Vasquez, A. (2017). Fundamentos de la Ingenieria del Riego. Lima: Universidad Agraria La Molina.

- WWF. (2005). Curso de riego para agricultores. Lima: Jorge Bartolomé.
- Zambrano , D. A. (2011). El riego por aspersion. Recuperado el 06 de Julio de 2020, de <http://lan.inea.org:8010/web/materiales/web/riego/anuncios/trabajos/El%20riego%20por%20aspersi%C3%B3n.pdf>

14. ANEXOS

Anexo 1. Hoja de vida del docente tutor

CRISTIAN SANTIAGO TAPIA RAMÍREZ



INFORMACION PERSONAL

Fecha de nacimiento: 25 de marzo de 1984
Celular: 0995544478.
E-mail: cristian.tapia4416@utc.edu.ec

INSTRUCCIÓN FORMAL

MAESTRÍA EN RIEGO Y DRENAJE.

Fecha: junio 2017

Lugar: Universidad Agraria, Guayaquil (Ecuador)

Título de Tesis: Estudio para la tecnificación de un sistema de riego por goteo para 60 hectáreas.

INGENIERO AGRÓNOMO.

Fecha: octubre 2009

Lugar: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba (Ecuador).

Título Tesis: “Establecimiento de una red de monitoreo participativo de caudales en los afluentes de la microcuenca alta del Rio Guargualla para conocer la Oferta Hídrica”.

BACHILLER EN FÍSICA Y MATEMÁTICAS.

Fecha: Julio 2002.

Lugar: Colegio Particular Técnico Industrial “Hermano Miguel”. Latacunga (Ecuador).

EXPERIENCIA PROFESIONAL

Octubre 2018 – Septiembre 2020.

Cargo: Docente Tiempo Completo

Institución: Universidad Técnica de Cotopaxi

Actividades Desempeñadas:

- Docente de la Carrera de Ingeniería Agronómica en las Asignaturas de:
 Riego y Drenaje.
 Topografía

Anexo 2. Hoja de vida de las estudiantes

CURRICULUM VITAE



INFORMACION PERSONAL

Nombres y Apellidos: Nelson Adrian Calero Ruíz
Cédula de Identidad: 120612409-9
Lugar y fecha de nacimiento: Quevedo, 27 de junio de 1992
Estado Civil: Soltero
Tipo de Sangre: O Positivo
Domicilio: Km 7 vía La Mana Quevedo
Teléfonos: 0981781983
Correo electrónico: adrian069227@hotmail.com

ESTUDIOS REALIZADOS

Primer Nivel:

Escuela Fiscal “JHON F KENNEDY”

Segundo Nivel:

Centro de Formación Artesanal “San Camilo Y San José”

Tercer Nivel:

Universidad Técnica de Cotopaxi

TITULOS

Bachiller Técnico en la Rama Artesanal de “Mecánica Automotriz”

IDIOMAS

- Español (nativo)
- Suficiencia en el Idioma Inglés

Anexo 3 Hoja de vida de las estudiantes

CURRICULUM VITAE



INFORMACION PERSONAL

Nombres y Apellidos: Manuel Estevan Pilatasig Cruz

Cédula de Identidad: 0502719578

Lugar y fecha de nacimiento: Sigchos, 23 de Agosto de 1982

Estado Civil: Casado

Domicilio: Barrio Angeta Moreno

Teléfonos: 0985666752

Correo electrónico: pilatasig01@hotmail.es

ESTUDIOS REALIZADOS

Primer Nivel:

Escuela Fiscal “Federico Gonzales Suarez”

Segundo Nivel:

Colegio “Monseñor Leónidas Proaño”

Tercer Nivel:

Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná

TITULOS

Bachiller Técnico Agropecuaria Forestal

IDIOMAS

- Español

Anexo 3. Fotografías

Fotografías 1: Levantamiento topográfico del terreno a tecnificar.



Elaborado por: Calero & Pilatasig (2020).



Elaborado por: Calero & Pilatasig (2020).

Fotografías 2: Toma de muestras de suelo sin disturbar.



Elaborado por: Calero & Pilatasig (2020).



Elaborado por: Calero & Pilatasig (2020).

Fotografías 3: Mediciones del espaciamiento de plantación del cultivo de cacao.



Elaborado por: Calero & Pilatasig (2020).



Elaborado por: Calero & Pilatasig (2020).

Fotografías 4: Medición de caudal de la bomba de riego.



Elaborado por: Calero & Pilatasig (2020).



Elaborado por: Calero & Pilatasig (2020).

Fotografías 5: Elaboración de una calicata para medir la profundidad radicular del cultivo de cacao.



Elaborado por: Calero & Pilatasig (2020).



Elaborado por: Calero & Pilatasig (2020).

Fotografías 6: Instalación de la conducción principal para el sistema de riego.



Elaborado por: Calero & Pilatasig (2021).



Elaborado por: Calero & Pilatasig (2020).

Fotografías 7: Instalación de tuberías portalaterales



Elaborado por: Calero & Pilatasig (2021).



Elaborado por: Calero & Pilatasig (2020).

Fotografías 8: Instalación de tuberías laterales o porta aspersores.



Elaborado por: Calero & Pilatasig (2021).



Elaborado por: Calero & Pilatasig (2021).

Fotografías 9: Prueba para determinar el funcionamiento del sistema de riego.



Elaborado por: Calero & Pilatasig (2021).



Elaborado por: Calero & Pilatasig (2021).

Fotografías 10: Estación de bombeo.





Elaborado por: Calero & Pilatasig (2021).



Elaborado por: Calero & Pilatasig (2021).

Anexo 4. Análisis de suelos.

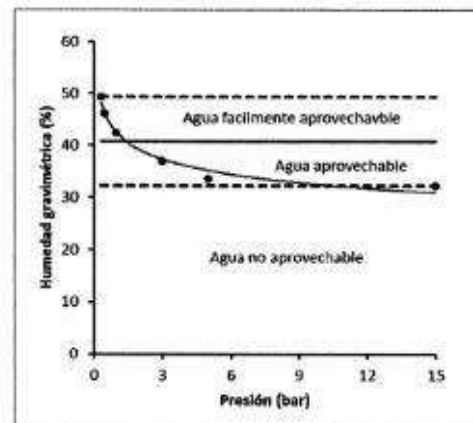
	ESTACIÓN EXPERIMENTAL "SANTA CATALINA" LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS, PLANTAS Y AGUAS Panamericana sur Km. 1. Apartado 17-01-340 Teléfono: 3007284. Email: laboratorio.dsa@iniap.gob.ec Quito -Ecuador	
---	--	---

REPORTE CURVA DE RETENCIÓN DE HUMEDAD DEL SUELO

DATOS DEL PROPIETARIO Nombre: Nelson Calero Dirección: Ciudad: Cotopaxi Teléfono: 0995544478 Email:	DATOS DE LA PROPIEDAD Nombre: Provincia: La Mana Cantón: Quito Parroquia: Amaguaña/Chipeamburgo Ubicación:
DATOS DEL LOTE Cultivo Actual: Cultivo Anterior: Superficie: Identificación:	PARA USO DEL LABORATORIO N° Muestra Lab. : 20 - 2215 Fecha de muestreo: Fecha de Ingreso: Fecha de Salida: 04/12/2020

Presión (bar)	Humedad gravimétrica	Unidad
0.33	49.3	%
0.50	46.0	%
1.00	42.3	%
3.00	36.8	%
5.00	33.6	%
15.00	32.2	%
CC	49.3	%
PMP	32.2	%
Da	0.96	g/cc
Hg	50.7	%
Hv	48.6	%
MO	2.8	%
Arena	23	%
Limo	36	%
Arcilla	41	%
Clase textural	Arcilloso	

GRAFICO



Simbología PS: Punto de saturación. CC: Capacidad de campo. PMP: Punto Marchitez Permanente. Da: Densidad aparente. MO: Materia Orgánica.	Simbología g/cc: Gramos sobre centímetro cubico. %: Porcentaje. Hg: Humedad gravimétrica. Hv: Humedad volumétrica.	Metodología Curva de retención de humedad: Ollas de presión de Richards. P.S: Pasta de saturación. Textura: Bouyoucos. M.O: Combustión - TOC
---	---	--

Humedad Aprovechable (H.A.) Es la humedad entre Capacidad de Campo (CC) 0.33 bares y el Punto de Marchitez Permanente (PMP) 15 bares.

 RESPONSABLE LABORATORIO	 DPTO. MANEJO DE SUELOS Y AGUAS ESTACIÓN EXPERIMENTAL SANTA CATALINA Panamericana Sur Km. 1 Quito Ecuador Telefax 2690-694	 LABORATORISTA
---	--	---

Anexo 5. Tablas de contenido

Tabla 5. Datos de Temperatura media mensual.

Año	Temperatura media mensual en °C											
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	23.6	24.4	24.6	24.6	24.7	24.2	23.2	22.6	23	23	22.7	23.8
2	24.7	24.5	24.5	24.7	24.2	22.6	21.9	22.7	22.8	22.8	23	23.1
3	23.6	24.3	24.4	25.3	24.3	22.3	21.5	22.4	22.3	22.7	22.3	23.2
4	25.8	26	26.3	26.5	25.4	24.4	25.2	24.7	24.9	24.8	25.6	26
5	24.3	24.7	25.3	25.5	25.5	24.8	23.4	23.1	23.5	23.5	23.7	24.4
6	24.6	24.7	24.7	24.8	24	23.1	22.2	22.1	22.5	22.8	22.5	23.3
7	23.3	23.4	24.4	24.3	23.3	22.7	22.2	22.2	22.6	22.4	22.4	23.7
8		24.9	25.1	25.2	25.2	24.7	24.8	24.1	23.9	23.7	23.4	24.6
9	24.9	25	25.2	25.3	24.4	23.6	22.7	22.6	22.7	22.6	22.7	22.7
10	23.4	23.5	24.2	24.5	24.2	23.1	21.8	22.2	22.1	22.1		23
11	23.1	23.7	24.7	24.7	22.8	22.7	23.2	23.7	22.5	22.7	22.8	22.2
12						23.6			22.9			
13							23		23.7	23.8	23.7	24.7
14	24.3	24.8	25.8	25.2	24.8	23.4	23	22.9	23.1	23.5	23.9	23.9
15	24.3	25	25	25.6	25.5	24.4	23.1	24	24		24.5	25.1
16			25.3						23.4	23.7		24.2
17	24.2	23.9	25.2	25.1	24	22.9	23.1	22.7	23.4	23.5	23.5	24.3
18	24.1	24.7	25.4	24.9	24.3	23.4	23.1	23.7	24.9	24.1	25	25.5
19		26.1	26.3	26.1	26.1	25.9	25.6	24.9	24.4	23.7		23.9
20	24.7	24.6	25	24.8	24.9	23.8	22.2	23.1	22.6	23.2	23.6	24.3
21	23.5	24.4	24.9	24.7	24.1	23.5	21.9	22.2	23	23.3	24.1	24.1
22	23.9	24.4	24.7	24.6	24	22.7	23.1					24.6
23	24.7	25.6	25.7	25.6	25	24.6	23.9					
24					24.2	22.8	23.9	23.8	23.3	22.8	22.9	23.1
25											23.9	24.1
26							23.1		23.1	22.9	23.4	23.9

27	24.4	25.4	25.6	25.5	25.4	24.7	23.6	23.1	22.5	23.2	23.9	23.9
28	24.3											
29										23.8	23.3	24.3
30	24.9	25	25.4	25.4	24.7	24.2		22.9	23.6	23.5	23.3	24.3
31	24	24.8	25.2	24.9	24.5	22.5	22.4	22.9	23.8	23.4	23.2	24.2
32	24	24.6	25.4	25	25.6		25.5	25.1				
33	26.3	26.4	26.5	26.4	26.3	25.5	24.5	23.6	23.8	23.4	23.7	23.9
34	24.3	24.5	25.1	24.7	24.7	23	22.5	22.3	22.7	23.2	23.5	23.6
35	23.9	24.3	24.9	24.9	24.2	22.9	22.3	22.5	22.8	23.5	23.5	23.9
36	24.1	25	25.5	25.3	24.2	22.5	22.2	22.5	22.8	23.3	23.7	23.8
37	24.5	24.7	25.5	25.3	25.2	23.8	23.4	23	23.8	23.7	23.5	24.5
38	24.5	24.9	25.2	25.3	25	23.4	23.2	23.5	22.9	23.5	23.9	24.1
39	25	24.7	25.1	25.4	24.3	23.2	22.5	23.4	23.6	23.9	24	25.2
40		24.3	24.9	25.4	24.4	23.4	22.9	22.9			23.8	24.1
41	24.5	24.6	25.2	25.3	24.5	23.5	23	23.7	23.8	24	23.6	24.3
42	24.9	24.9	24.7	25.2	24.5	23.8	23.1	22.3	23	22.6	22.7	23
43	23.4	24.3	25.1	25.3	24.3	23.4	23.2	23.1	23.3	22.8	23.2	23.8
44	24.1	24.3	24.9	25.2	25	24	23.5	23.5	23.8	24	24.3	24.6
45	25	25.4	25.5	25.7	25.3	23.8	23.4	23.1	23.2	23.3	22.4	23.1
46	24	24.7	25.5	25.3	25.1	24.5	23.7	23.1	23.7	22.9	23.7	24.5
47	24	24.6	25.1	25.1	25.2	24.6	23.6	23.3	23.7	23.5	24.1	24.4
48	24.1	24.7	25.2	25.6	24.3	23.6	22.6	22.8				
Media	24.29	24.7175	25.18	25.2	24.7	23.65	23.1	23.136	23.285	23.3103	23.510256	24.02791

Elaborado por: Calero N. & Pilatasig M. (2021).

Fuente: (INAMHI, 2019).

Tabla 6. Datos de humedad relativa media mensual.

Año	Humedad Relativa media mensual en (%)											
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	87	86	87	87	88	88	88	87	88	89	89	86
2	88	89	88	87	89	90	90	89	86	88	85	87
3	89	87	87	83	89	91	92	88	88	88	87	87
4	89	88	86	88	89	92	91	88	89	89	89	86
5	88	88	90	90	90	91	90	88	88	86	87	88
6	89	88	89	91	91	92	91	90	88	88	88	89
7		89	88	88	90	91	91	88	89	89	89	87
8	90			89	88	89	89	90	89	88	89	89
9	90	86	88	84	90			91	91	91	90	90
10	93	90	90	90	90	92	92	92	92	90		91
11	98	91	90	89	95	95	92	95	96	97	96	96
12	90	96	97	94	89	94			93			
13	92	91	88	89	89	91	91		87		88	88
14	88	93	85	87	88	88	90	89	88	90	88	90
15	90	88	90	96	87	88	89	87	88		84	84
16			87						84	88		87
17	87	90	89	88	90	91	89		89	88	88	88
18	90	90	87	89	89	91	91	88	87	89	90	90
19	100	90	90	92	90	91	91	89	90	90	0	93
20	94	94	93	94	94	95	95	94	94	94	94	95
21	95	90	87	88	90	88	90	90	87	85	82	85
22	90	87	87	91	91	91	90					92
23	93	94	92	93	95	94	94					
24					92	94	93	91	93	91	92	92
25											91	90
26									91	93	93	
27	95	94	96	94	92	94	93	92	89	85	85	88
28	92											
29										85	86	86

30	88	89	87	90	92	91	92	87	88	87	85	
31	86	86	86	86	86	89	88	86	83	82	84	83
32	86	88	87	89	88	87	89	89	89	87	86	85
33	88	88	88	87	86	87	89	89	89	87	86	85
34	85	87	85	88	87	89	89	88	87	88	86	88
35	85	87	86	86	90	91	89	87	88	87	83	87
36	88	86	85	86	89	94	97	97	95	97	97	97
37	97	97	97	97	98	96	97	98	99			98
38	98	97	95	97	98	97	97	94	85	89	85	86
39	85	86	86	86	88	89	89	84	85	84	82	83
40					97						95	95
41	94	93	91	94	96	97	96	95	94	95	87	88
42	89	89	90	90	93	93	92	92	91	89	90	89
43	92	89	87	88	90	91	91	91	91	92	91	89
44	90	91	90	89	90	91	90	91	89	87	88	90
45	91	92	90	91	91	91	91	92	91	89	90	92
46	90	90	90	91	93	92	91	89	88	90	88	88
47	92	89	87	85	85	86	86	84	84	83	83	82
48	87	87	89	87	89	90	91	91				
Media	90.44	89.75	88.95	89.5	90.5	91.38	91.1	90.14	89.25	88.86	85.95	88.79

Elaborado por: Calero N. & Pilatasig M. (2021).

Fuente: (INAMHI, 2019).

29										39.5	37.1	453.5
30	458.5	292.4	544.4	375.7	190.3	108.4		30	5.3	90.9	57.9	175.8
31	297	457.6	830.1	315.7	55	16.3	16.5	36.3	20.9	10.1	84.6	119.9
32	415.5	407.8	695.1	594.9	662.8			305.9	213.6			
33	881	888.5	629.1	854.9	753.3	352	153.3	67	46.2	19.7	46.6	54.2
34	356	682.1	665.6	565.9	313.3	35.3	18.5	4.8	90	58.8	50.6	303
35	344	326.2	451.7	480.2	346.9	68.1	2.1	11.3	28.9	16.7	10.3	243.8
36	613.6	590.9	658	676.4	267.1	4.9	15.3	3.5	29.5	12.6	38.5	107.2
37	285.2	584.1	997.1	823.8	382.9	110.6	11.2	5.7	9.5	92.8	133.8	243.6
38	476	514.4	418.3	521.9	312.7	110.8	67.4	28.3	5.6	103.3	41.3	279.8
39	422.5	324.6	395.1	669.4	327.5	22.8	10.5	10.4	50.5	72.5	8.3	98.5
40		404.6	300.7	494.1	15.2	6.3	12.6	3.7	7.1	20.1	24.3	97.9
41	279.2	1158.8	896.5	541.5	158.9	39.3	6.8	33.9	31.8	9.8	177.8	137
42	425	384.8	458	450.3	345.5	55.3	25.8	11.7	14.5	13.2	43.7	108.1
43	626.9	711.8	540.2	656.7	199.5	59.7	22.1	117.8	30.6	58.4	36.9	59.4
44	668.1	483.5	709.5	461.6	172.5	31	4.5	31.8	16.7	20.3	22	332.8
45	452.4	686.9	540	647.4	186.5	43.1	75.7	12.9	30.3	17.2	57	391.2
46	479.5	536.8	391.5	756.6	67.5	57.5	79.2	4.8	35.9	31.7	12.3	116.5
47	797.8	710.9	764.3	816.3	536.2	209.5	18.9	7.4	4.5	22.2	37.8	73
48	412.6	332.9	899.9	484.5	288.2	35.1	12	11.1				
Medi												
a	448.74	539.12	571.56	508.65	272.03	97.72	40.85	34.84	41.73	58.07	63.18	229.21

Elaborado por: Calero N. & Pilatasig M. (2021).

Fuente: (INAMHI, 2019)

Tabla 8. Coeficiente mensual de evapotranspiración o Factor mensual de latitud para la Latitud Sur (MF)

Latitud	1 °	2 °	3 °	4 °	5 °	6 °	7 °	8 °	9 °	10 °	11 °	12 °	13 °	14 °	15 °
Ene.	2.788	2.371	2.393	2.385	2.416	2.447	2.478	2.508	2.358	2.567	2.596	2.625	2.652	2.680	2.707
Feb.	2.177	2.136	2.154	2.172	2.189	2.205	2.221	2.237	2.251	2.266	2.279	2.292	2.305	2.317	2.328
Mar.	2.354	2.357	2.360	2.362	2.134	2.117	2.099	2.081	2.062	2.043	2.023	2.350	1.981	2.340	2.937
Abr.	2.197	2.182	2.167	2.151	2.134	2.117	2.099	2.081	2.062	2.043	2.023	2.002	1.981	1.959	2.937
May.	2.137	2.108	2.079	2.050	2.020	1.980	1.959	1.927	1.896	1.864	1.832	1.799	1.767	1.733	1.700
Jun.	1.900	1.956	1.922	1.888	1.960	1.976	1.893	1.858	1.824	1.789	1.754	1.608	1.684	1.536	1.612
Jul.	2.091	2.050	2.026	1.993	2.126	1.103	2.078	2.054	2.028	2.003	1.976	1.719	1.922	1.648	1.867
Ago.	2.216	2.194	2.172	2.150	2.234	2.226	2.218	2.210	2.201	2.191	2.180	1.950	2.157	1.895	2.131
Set.	2.256	2.251	2.246	2.240	2.411	2.422	2.433	2.433	2.453	2.462	2.470	2.169	2.484	2.144	2.496
Oct.	2.358	2.372	2.386	2.398	2.411	2.422	2.433	2.433	2.453	2.462	2.470	2.477	2.484	2.490	2.496
Nov.	2.234	2.263	2.290	2.318	2.345	2.317	2.397	2.423	2.448	2.473	2.497	2.520	2.543	2.566	2.588
Dic.	2.265	2.301	2.337	2.372	2.407	2.442	2.476	2.510	2.544	2.577	2.610	2.643	2.675	2.706	2.738

Elaborado por: Calero N. & Pilatasig M. (2021).

Fuente: (Vasquez, 2017).

Tabla 13. Libreta topográfica de campo.

Sistema de coordenadas: WGS 84 UTM				
Punto	Longitud	Latitud	Altitud	Detalle
1	689935.20	9895389.85	164.04	Lindero
2	689935.68	9895365.43	163.62	Lindero
3	689935.87	9895346.46	163.32	Lindero
4	689935.36	9895331.53	162.23	Lindero
5	689960.17	9895331.42	160.63	Lindero
6	689962.67	9895326.28	158.59	Bombeo
7	689969.08	9895348.60	158.61	Lindero
8	689979.30	9895366.98	160.97	Lindero
9	689983.51	9895393.91	161.77	Lindero
10	689987.34	9895429.19	161.69	Lindero
11	689991.60	9895441.31	160.47	Lindero
12	689981.21	9895448.29	161.81	Lindero
13	689963.96	9895459.78	162.60	Lindero
14	689957.19	9895465.65	160.74	Lindero
15	689965.73	9895480.75	161.09	Lindero
16	689980.37	9895505.96	159.76	Lindero
17	689994.51	9895532.36	161.12	Lindero
18	690006.41	9895552.48	159.28	Lindero
19	690002.58	9895547.94	163.19	Lindero
20	689996.83	9895569.30	161.33	Lindero
21	689970.96	9895586.08	158.34	Lindero
22	689941.52	9895599.04	156.75	Lindero
23	689930.19	9895603.72	157.28	Lindero
24	689928.13	9895581.33	156.30	Lindero
25	689927.91	9895560.00	156.00	Lindero
26	689929.22	9895527.70	155.19	Lindero
27	689930.48	9895512.04	156.45	Lindero
28	689931.96	9895476.66	156.18	Lindero
29	689933.08	9895453.59	156.73	Lindero
30	689934.89	9895418.02	157.76	Lindero
31	689955.38	9895349.26	155.00	Lindero
32	689951.40	9895371.14	153.75	Topográfico
33	689950.74	9895382.18	153.13	Topográfico
34	689948.93	9895404.07	152.41	Topográfico

35	689952.02	9895425.27	151.18	Topográfico
36	689953.67	9895448.03	151.83	Topográfico
37	689954.83	9895465.31	153.77	Topográfico
38	689960.71	9895487.43	153.41	Topográfico
39	689969.52	9895510.37	152.93	Topográfico
40	689987.14	9895562.65	157.33	Topográfico
41	689984.50	9895521.83	157.97	Topográfico
42	689970.58	9895489.77	157.50	Topográfico
43	689970.61	9895489.62	157.49	Topográfico
44	689964.57	9895403.98	152.79	Topográfico
45	689968.57	9895394.15	152.93	Topográfico
46	689970.47	9895379.59	153.68	Topográfico
47	689968.18	9895419.31	150.48	Topográfico
48	689946.41	9895334.08	153.61	Topográfico
49	689947.23	9895332.34	153.96	Topográfico
50	689945.85	9895337.09	153.75	Topográfico
51	689945.94	9895337.16	153.77	Topográfico
52	689945.52	9895339.65	153.56	Topográfico
53	689944.81	9895344.25	153.66	Topográfico
54	689944.69	9895349.37	153.56	Topográfico
55	689944.87	9895354.07	153.65	Topográfico
56	689942.99	9895358.79	153.66	Topográfico
57	689942.44	9895363.79	153.76	Topográfico
58	689941.71	9895368.44	154.03	Topográfico
59	689941.54	9895373.71	154.26	Topográfico
60	689941.07	9895378.65	154.43	Topográfico
61	689941.08	9895383.78	154.22	Topográfico
62	689940.05	9895418.38	154.26	Topográfico
63	689983.86	9895419.42	152.90	Topográfico
64	689987.90	9895433.35	154.88	Topográfico
65	689940.83	9895432.99	154.26	Topográfico

Elaborado por: Calero N. & Pilatasig M. (2021).

Tabla 18. Cálculo de laterales de riego con 4 aspersores funcionales.

DATOS	
Longitud lateral de riego	35 m
Diámetro lateral de riego	32 mm
Timbraje de la tubería	1.25 MPa
Material de la tubería	PVC
Coefficiente de rugosidad C	150
Porcentaje admisible de pérdidas de presión	10%
Mínima Presión de trabajo del emisor más distante	3 bar
RESULTADOS	
Número de emisores en cada lateral	4 emisores
Factor de salidas múltiples (f)	0.48
Caudal del lateral	1 l/s
Velocidad de entrada a cada lateral	1.51 m/s
Pérdida de presión por fricción	1.42 mca

Elaborado por: Calero N. & Pilatasig M. (2021).

Tabla 19. Cálculo de laterales de riego con 3 o menos aspersores funcionales.

DATOS	
Longitud lateral de riego	25 m
Diámetro lateral de riego	25 mm
Timbraje de la tubería	1.60 Mpa
Material de la tubería	PVC
Coefficiente de rugosidad C	150
Porcentaje admisible de pérdidas de presión	10%
Mínima Presión de trabajo del emisor más distante	3 bar
CÁLCULOS	
Número de emisores en cada lateral	3 emisores
Factor de salidas múltiples (f)	0.529
Caudal del lateral	0.63 l/s
Velocidad de entrada a cada lateral	1.66 m/s
Pérdida de presión por fricción	1.83 mca

Elaborado por: Calero N. & Pilatasig M. (2021).

Tabla 20. Cálculo de portallaterales de riego.

DATOS	
Longitud tubería abastecimiento a los laterales emisores	35 m
Caudal de cada lateral emisor	0.84 l/s
Número de laterales de riego en funcionamiento	4
Número de salidas simultáneas	4
Factor de salidas múltiples	0.48
Diámetro tubería de abastecimiento a los laterales emisores	63 mm
Timbraje de la tubería	0.63 MPa
Material de la tubería	PVC
Coefficiente de rugosidad C	150
Porcentaje admisible de pérdidas de presión	10%
RESULTADOS	
Caudal de tubería de abastecimiento a laterales de riego	4 l/s
Velocidad de entrada a módulo en funcionamiento	1.41 m/s
Pérdidas de presión por fricción	0.54 mca

Elaborado por: Calero N. & Pilatasig M. (2021).

Tabla 21. Cálculo de la tubería de abastecimiento principal de riego.

DATOS	
Longitud del tramo de tubería de abastecimiento a módulos de riego	250 m
Caudal de cada módulo en funcionamiento	3.36 l/s
Número total de módulos que se benefician del tramo	2
Número de salidas simultáneas en la tubería de abastecimiento	2
Factor de salidas múltiples	0.6344
Diámetro de la tubería de abastecimiento	90 mm
Timbraje de la tubería	0.63 MPa
Material de la tubería	PVC
Coefficiente de rugosidad C	150
RESULTADOS	
Caudal en la tubería de abastecimiento	6.72 l/s
Velocidad en los tramos de tubería	1.17 m/s
Pérdidas de presión por fricción	2.35 mca
Porcentaje de pérdida de presión en el tramo	8%

Elaborado por: Calero N. & Pilatasig M. (2021).

Tabla 22. Cálculo de la potencia de la bomba para riego.

Caudal	6.72 l/s
PÉRDIDAS DE ENERGÍA	
Presión de trabajo del emisor	40.79 m.c.a
Altura del porta emisor (elevador del aspersor) (m)	1 m
Pérdidas por fricción en recorrido hasta el último emisor; porta laterales y laterales de riego	4.31 m.c.a
Altura estática entre la bomba y el emisor más desfavorable (m)	5 m
Pérdidas en la succión (altura succión + otras pérdidas)(m)	7 m
RESULTADOS	
Altura manométrica que debe generar la bomba	58.10 m
Potencia teórica de la bomba	5.14 HP
η . Rendimiento de la bomba (%)	65%
<u>P: Potencia real</u>	<u>7.90 HP</u>

Elaborado por: Calero N. & Pilatasig M. (2021).

Tabla 23. Listado de materiales, equipos y costos para la implementación del sistema de riego.

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
ADAPTADOR HEMBRA 20 mm X 1/2"	U	79	0.19	15.01
ADAPTADOR HEMBRA 20 mm X 1/2"	U	39	0.19	7.41
ADAPTADOR MACHO 90 mm X 3"	U	2	3.2	6.4
CODO PVC E/C 32 mm	U	39	0.32	12.48
CODO PVC E/C 63 mm X 90 °	U	16	1.56	24.96
CODO PVC E/C 90 mm X 90 °	U	4	4.9	19.6
ASPERSOR NAANDANJAIN 5022 RM 1/2"	U	79	3.63	286.77
ASPERSOR SEC NAANDANJAIN 5022 RM 1/2"	U	39	3.63	141.57
REDUCTOR BUJE 32 X 20 mm	U	79	0.2	15.8
REDUCTOR BUJE 32 X 20 mm	U	39	0.2	7.8
REDUCTOR BUJE 90 X 63 mm	U	4	0.84	3.36
TEE PVC E/C 32 mm	U	79	0.32	25.28
TEE PVC E/C 90 mm	U	4	3.72	14.88
TUBERÍA PVC E/C 20 mm 1.60 MPa	U	20	2.34	46.8
TUBERÍA PVC E/C 25 mm 1.60 MPa	U	97	2.47	239.59
TUBERÍA PVC E/C 32 mm 1.25 MPa	U	90	3.9	351
UNIÓN UNIVERSAL 90 mm	U	1	17.19	17.19
VÁLVULA ESFÉRICA PVC RH 63 mm	U	8	8.5	68
VÁLVULA ESFÉRICA PVC RH 3"	U	1	36.16	36.16
PEGA PVC 1/4 GALÓN WELD-ON	U	4	13.38	53.52
LIMPIADOR 1/4 GALÓN WELD-ON	U	3	8.66	25.98
TEFLÓN ALEM 1/2" x 13 M COMANDO	U	10	0.35	3.5

TUBERÍA PVC E/C 63 mm 0.80 MPa	U	25	8.12	203
TUBERÍA PVC E/C 90 mm 0.63 MPa	U	50	13.1	655
TEE PVC E/C 63 mm	U	4	1.42	5.68
VÁLVULA DE PIE 90 mm	U	1	45.72	45.72
ADAPTADOR FLEX 3"	U	1	2.32	2.32
ACOPLE ALUMINIO 3"	U	2	15	30
BOMBA 10 HP 8 L/S 60 MCA	U	1	566	566
MANGUERA ANILLADA PLÁSTICA 3" (4m)	U	1	30	30
TOTAL				2960.78

Elaborado por: Calero N. & Pilatasig M. (2021).

Anexo 6. Certificado de reporte de Urkund



Document Information

Analyzed document	tesis para el urkus.docx (D111520562)
Submitted	8/20/2021 9:03:00 PM
Submitted by	
Submitter email	kleber.espinosa@utc.edu.ec
Similarity	8%
Analysis address	kleber.espinosa.utc@analysis.orkund.com