UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA

Y APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA HIDRÁULICA

Evaluación de las necesidades hídricas de plantas frutales en zonas de la Provincia de Cotopaxi

PLAN DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO HIDRÁULICO

AUTOR:

Steven Mauricio Burgos Farias

TUTOR:

Ing. Xiomara Zambrano Navarrete

Latacunga, agosto 2024

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

CARRERA DE INGENIERÍA HIDRÁULICA

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo **BURGOS FARIAS STEVEN MAURICIO** declaro ser autor del presente proyecto de investigación: **"EVALUACIÓN DE LAS NECESIDADES HÍDRICAS DE PLANTAS FRUTALES EN ZONAS DE LA PROVINCIA DE COTOPAXI"**, siendo la **Ing. Zambrano Navarrete Xiomara Alejandra MSc.** tutora del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales 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.

Latacunga, 15 de agosto del 2024

Burgos Farias Steven Mauricio
C.I.: 135102281-7

AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

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

"EVALUACIÓN DE LAS NECESIDADES HÍDRICAS DE PLANTAS FRUTALES EN ZONAS DE LA PROVINCIA DE COTOPAXI", de **Burgos Farias Steven Mauricio**, de la carrera **Ingeniería Hidráulica**, 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 Consejo Directivo de la **Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas** de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, agosto de 2024

El Tutor
Firma

Ing. Xiomara Zambrano Navarrete. Msc

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

CARRERA DE INGENIERÍA HIDRÁULICA

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 DE LA INGENIRÍA Y APLICAS**; por cuanto, el postulante **BURGOS FARIAS STEVEN MAURICIO** con el título de Proyecto de titulación **EVALUACIÓN DE LAS NECESIDADES HÍDRICAS DE PLANTAS FRUTALES EN ZONAS DE LA PROVINCIA DE COTOPAXI** han 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.

Latacunga 16 de agosto de 2024

Para constancia firman:

Lector 1 (Presidente)

Nombre: Msc. Andy Giler Ormaza Cepeda

CC: 1312820325

Lector 2

Nombre: Msc. Vinicio Mogro

CC: 0501657514

Lector 3

Nombre: Msc. Jimmy Toaza Iza

CC: 1717621062

Agradecimiento

Agradezco profundamente a mis padres Mirian Farías y Hugo Burgos por su apoyo incondicional tanto económico como emocional, amor y sacrificio durante mi trayectoria académica. Su motivación y confianza en mí han sido fundamentales para alcanzar este logro.

También quiero expresar mi gratitud a mis hermanos Adriana, Alex y Jipshon, quienes han sido una fuente de inspiración y apoyo constante. Además a mi amiga Gema quien siempre ha estado ahí con una palabra de motivación constante.

Asimismo, quiero agradecer a mis compañeros de carrera, quienes han sido mis compañeros de batalla durante estos años. Su amistad, apoyo y colaboración han hecho que este camino sea más llevadero y divertido. Juntos hemos compartido momentos de estudio, de estrés, pero también de alegría y celebración. Agradezco su presencia en mi vida y espero que sigamos siendo amigos y colegas en el futuro.

Agradezco a mis docentes y especialmente a mi tutora por estar siempre presente, por creer en mí y por ser fuente de motivación. Este logro es también suyo, gracias por inculcar enseñanzas al largo de mi carrera"

Dedicatoria

Dedico este logro a ustedes, a mi mamá quien siempre estuvo pendiente con un mensaje, con una llamada, a mi papá quien nunca dudo en darme el apoyo económico y emocional para que yo pueda terminar mi carrera y quienes me han enseñado el valor de la perseverancia, la importancia de la educación y el amor incondicional. Su apoyo y sacrificio han sido la base de mi éxito y me han permitido alcanzar mis metas.

Gracias por estar siempre a mi lado, por creer en mí y por darme la fuerza para seguir adelante. Este logro es un reflejo de su dedicación y amor.

Dedico este logro a mí mismo, nadie más que yo sabe lo difícil que fue conseguir este logro, nadie más que yo sabe lo que sacrifique, sufrí, llore y me emocione en cada etapa de mi vida universitaria, las noches sin dormir por un deber, un ataque de depresión o ansiedad, o pensar que ya no puedo más. Por ello dedico este trabajo a mi yo del pasado, mi yo del presente y mi yo del futuro porque como dijo Albert Camus "No importa lo duro que el mundo empuje en contra mía. Dentro de mí, hay algo más fuerte, algo mejor empujando de vuelta".

Con todo mi cariño y gratitud ***Steven Burgos.***

Título: Evaluación de las necesidades hídricas de plantas frutales en zonas de la Provincia de Cotopaxi

Autor: Steven Burgos

Resumen

El objetivo de la investigación es evaluar las necesidades hídricas de los cultivos frutales de la provincia de Cotopaxi, conociendo las condiciones climatológicas y edafológicas donde se implementa la producción agraria de cultivos frutales. La metodología emplea datos climatológicos como la temperatura, la humedad relativa, la heliofanía, los vientos y las precipitaciones además datos edafológicos como la capacidad de campo, el punto de marchitez permanente, la densidad aparente y la conductividad eléctrica del suelo saturado luego se empleó las diferentes variables climatológicas para establecer el método de Penman Monteith para la estimación de los valores de evapotranspiración de referencia además para los valores de coeficientes de cultivo se los obtuvo de la FAO. Por último, en base a las condiciones del suelo se estableció los cronogramas de riego en las temporadas de estiaje. Los resultados muestran que la necesidad hídrica del cultivo del Banano oscilan entre 152,586 mm/mensual y 619,163 mm/mensual; el cultivo del Cacao oscilan entre 90,77 mm/mensual y 812,665 mm/mensual; el cultivo de la caña de azúcar oscilan 128,835 mm/mensual; el cultivo tomate de árbol oscilan entre 193,251 mm/mensual y 593,8025 mm/mensual; el cultivo de la mora oscilan entre 259,896 mm/mensual y 813,376 mm/mensual; el cultivo de cítricos oscilan entre 239,286 mm/mensual y 607, 583 mm/mensual y el cultivo del zambo 623,6825 mm/mensual y 1441,624 mm/mensual. Los resultados se dan debido a las condiciones de la planta, suelo y sus condiciones climatológicas y sus valores de evapotranspiraciones son altos debido a sus temporadas de estiaje.

Palabras claves: necesidades hídricas; frutales; evapotranspiración; cultivos; variables climatológicas; variables edafológicas.

Title: Evaluation of the water requirements of fruit plants in areas of Cotopaxi Province.

Author: Steven Burgos

Abstrac

The objective of research is to evaluate water needs of fruit crops in Cotopaxi province, considering climatological and edaphological conditions where fruit crop agricultural production is implemented. The methodology uses climatological data such as temperature, relative humidity, heliophany, winds, and precipitation, as well as edaphological data such as field capacity, permanent wilting point, apparent density, and saturated soil electrical conductivity. Later, the different climatological variables were used to establish the Penman-Monteith method for estimating reference evapotranspiration values, and crop coefficient values were obtained from the FAO. Finally, based on soil conditions, irrigation schedules were established for dry seasons. The results show that water needs of banana crop range from 152.586 mm/month to 619.163 mm/month; cocoa crop ranges from 90.77 mm/month to 812.665 mm/month; the sugar cane crop ranges from 128.835 mm/month; tree tomato crop ranges from 193.251 mm/month to 593.8025 mm/month; blackberry crop ranges from 259.896 mm/month to 813.376 mm/month; citrus crop ranges from 239.286 mm/month to 607.583 mm/month; and guava crop ranges from 623.6825 mm/month to 1441.624 mm/month. The results are due to plant, soil, and climatological conditions, and their evapotranspiration values are high due to their dry seasons.

Keywords: water requirements; fruit trees; evapotranspiration; crops; climatological variables; edaphological variables."

Índice

1. INFORMACIÓN GENERAL 1

2. INTRODUCCIÓN 2

2.1 SITUACIÓN PROBLEMÁTICA. 3

2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA. 4

2.3 OBJETIVOS Y CAMPO DE ACCIÓN 4

2.3.1 Objetivo de Investigación 4

2.3.2 Campo de Acción 4

2.4 BENEFICIARIOS 4

2.4.1 Beneficiaros directos 4

2.4.2 Beneficiarios indirectos 4

2.5 JUSTIFICACIÓN 4

2.6 OBJETIVOS 5

2.6.1 Objetivo General 5

2.6.2 Objetivos Específicos 5

2.6.3 Sistemas de Tareas 5

3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA 7

3.1 ANTECEDENTES 7

3.2 CLIMATOLÓGICOS 8

3.2.1 Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) 8

3.2.2 Precipitación 8

3.2.3 Temperatura 9

3.2.4 Radiación Solar 9

3.2.5 Humedad Relativa 10

3.2.6 Vientos 10

3.3 EDAFOLÓGICOS 10

3.3.1 Conductividad Eléctrica Saturada 10

3.3.2 Densidad Aparente 11

3.3.3 Contenido de Humedad 11

3.3.4 Capacidad de Campo 11

3.3.5 Punto de Marchitez 12

3.4 EVAPOTRANSPIRACIÓN 12

3.5 MÉTODOS DE EVAPOTRANSPIRACIÓN 13

3.5.1 Métodos Directos 13

3.5.2 Métodos Indirectos 13

4. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS 13

4.1 DATOS CLIMATOLÓGICOS 16

4.1.1 Precipitaciones 17

4.1.2 Temperaturas 18

4.1.3 Heliofanía/Radiación Solar 18

4.1.4 Humedad Relativa 18

4.1.5 Vientos 18

4.2 DATOS EDAFOLÓGICOS 18

4.2.1 Conductividad Eléctrica Saturada 20

4.2.2 Clasificación SUCS 20

4.2.3 Contenido de Humedad 20

4.2.4 Capacidad de Campo 20

4.2.5 Punto de Marchitez 21

4.2.6 Densidad Aparente 21

4.3 EVAPOTRANSPIRACIÓN 21

4.3.1 Temperatura media 22

4.3.2 Constante psicrométrica 22

4.3.3 Pendiente de la curva de la presión de vapor de saturación. 23

4.3.4 Presión de Vapor de Saturación. 23

4.3.5 Presión Actual de Vapor de Aire 24

4.3.6 Flujo de Calor en el Suelo 24

4.3.7 Radiación Solar 24

4.3.8 Radiación Solar despejada o media 25

4.3.9 Radiación Solar Neta 25

4.4 NECESIDAD HÍDRICA DE LA PLANTA Y CRONOGRAMA DE RIEGO 26

4.4.1 Necesidad hídrica de la planta 26

4.4.2 Cronograma de riego. 28

5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS. 31

5.1 DATOS CLIMATOLÓGICOS. 31

5.1.1 Precipitaciones. 32

5.1.2 Temperatura. 33

5.1.3 Heliofanía/Radiación solar. 35

5.1.4 Humedad relativa. 36

5.1.5 Vientos. 37

5.2 DATOS EDAFOLÓGICOS. 38

5.2.1 Conductividad eléctrica saturada. 39

5.2.2 Clasificación SUCS. 40

5.2.3 Contenido de humedad. 41

5.2.4 Capacidad de campo. 41

5.2.5 Punto de marchitez. 42

5.2.6 Densidad aparente. 42

5.3 EVAPOTRANSPIRACIÓN. 42

5.4 NECESIDAD HÍDRICA DEL CULTIVO Y CRONOGRAMA DE RIEGO. 44

5.4.1 Necesidad hídrica del cultivo. 45

5.4.2 Cronograma de riego. 56

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 60

6.1 CONCLUSIONES 60

6.2 RECOMENDACIONES 60

7. REFERENCIAS 61

8. ANEXOS.....66

Índice de Tablas

Tabla 1 Ubicación geográfica de estaciones meteorológicas. 16

Tabla 2 Ubicación especifica de las calicatas en la zona de estudio. 20

Tabla 3. Eficiencias de riego. 30

Tabla 4. Precipitaciones promedias 32

Tabla 5. Temperaturas máximas promedias (1971-2013) 33

Tabla 6. Temperaturas mínimas promedias (1971-2013) 34

Tabla 7. Temperaturas medias promedias (1971-2013) 35

Tabla 8. Heliofanías promedias (1971-2013) 36

Tabla 9. Humedad relativa promedias (1971-2013) 37

Tabla 10. Vientos promedios (1971-2013) 38

Tabla 11. Conductividad Eléctrica Saturada (Sigchos). 39

Tabla 12. Conductividad Eléctrica Saturada (Pangua). 39

Tabla 13. Conductividad Eléctrica Saturada (La Mana). 39

Tabla 14. Conductividad Eléctrica Saturada (Pujilí). 39

Tabla 15 . Conductividad Eléctrica Saturada (Latacunga). 40

Tabla 16. Clasificación SUCS de las calicatas de la provincia de Cotopaxi. 40

Tabla 17. Clasificación SUCS de la provincia de Cotopaxi [44]. 41

Tabla 18. Contenido de Humedad (%) 41

Tabla 19. Capacidad de Campo (%). 42

Tabla 20. Punto de Marchitez Permanente (%). 42

Tabla 21. Densidad Aparente. 42

Tabla 22. Evapotranspiración de Pangua. 43

Tabla 23. Evapotranspiración de Sigchos, Pujilí y La Mana 43

Tabla 24. Evapotranspiración de Latacunga. 44

Tabla 25. Datos de entrada para calcular evapotranspiración de la caña de azúcar. 45

Tabla 26. Evapotranspiración del cultivo de la caña de azúcar en sus diferentes etapas. 46

Tabla 27. Datos de entrada para calcular evapotranspiración del tomate de árbol. 47

Tabla 28. Evapotranspiración del cultivo del tomate de árbol en sus diferentes etapas. 47

Tabla 29. Datos de entrada para calcular evapotranspiración de los cítricos. 48

Tabla 30.. Evapotranspiración del cultivo de los cítricos en sus diferentes etapas. 49

Tabla 31. Datos de entrada para calcular evapotranspiración de los cítricos. 50

Tabla 32. Evapotranspiración del cultivo de banano en sus diferentes etapas. 50

Tabla 33. Datos de entrada para calcular evapotranspiración del Cacao. 51

Tabla 34. Evapotranspiración del cultivo del cacao en sus diferentes etapas. 52

Tabla 35. Datos de entrada para calcular evapotranspiración de la mora. 53

Tabla 36. Evapotranspiración del cultivo de la mora en sus diferentes etapas. 53

Tabla 37. Datos de entrada para calcular evapotranspiración del zambo. 54

Tabla 38. Evapotranspiración del cultivo del zambo en sus diferentes etapas. 55

Tabla 39. Cronograma de riego para la caña de azúcar. 57

Tabla 40. Cronograma de riego para el tomate de árbol. 57

Tabla 41. Cronograma de riego para los cítricos. 58

Tabla 42. Cronograma de riego para el banano. 58

Tabla 43. Cronograma de riego para el cacao. 59

Tabla 44. Cronograma de riego para la Mora. 59

Tabla 45. Cronograma de riego para el Zambo. 60

Índice de Figuras

Figura 1. Diagrama de flujo del proyecto de investigación. 14

Figura 2 Mapa de ubicación de las estaciones meteorológicas 17

Figura 3 Mapa de ubicación de Calicatas. 19

Figura 4 Diagrama para determinar la Evapotranspiración. 22

Figura 5. Necesidad hídrica mensual de los cultivos frutales de Cotopaxi 56

1. INFORMACIÓN GENERAL

Tema del proyecto: Evaluación de las necesidades hídricas de plantas frutales en zonas de la Provincia de Cotopaxi

Modalidad de Titulación:

Propuesta Tecnológica	
Proyecto de Investigación	X

Carrera: Ingeniería Hidráulica

Trabajo de Titulación Vinculado al Proyecto: Caracterización morfológica e hidrológica de ríos de la zona altoandina tropical de la provincia de Cotopaxi.

Equipo de Trabajo del Trabajo de Titulación:

- Steven Mauricio Burgos Farias
- Xiomara Alejandra Zambrano Navarrete

Área de Conocimiento:

Ciencias Agrarias (310000)	**Ingeniería Agrícola (3102)**	**Riego (3102.05)**

Línea de investigación: Meteorología, hidrología, mecánica de fluidos, sistemas y obras hidráulicas.

Sublíneas de investigación de la Carrera: Gestión y manejo sostenible y/o sustentable del recurso hídrico.

2. INTRODUCCIÓN

En la actualidad en el mundo la escasez de agua es notable y perjudicial, especialmente en el uso agrícola el mal uso del agua trae consecuencias en la producción, rendimiento y eficacia de los cultivos y puesto que el agua es esencial para la producción de cultivos su uso debe ser racional y eficiente por ello la estimación de los requerimientos hídricos es fundamental para su desarrollo, siendo el agua y el suelo dos elementos cruciales que juegan un papel fundamental en el éxito de cualquier cultivo, ya que su interacción directa afecta significativamente la productividad y el crecimiento de las plantas[1].

Es importante que países en desarrollo se interesen en mayor proporción por cómo aprovechar el rendimiento y producción de los cultivos, en el Ecuador el proceso de cultivo en su mayoría es improvisado y sin planificación alguna haciéndolo que este proceso sea de menor producción y rendimiento por ello el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias del Ecuador ha tratado de realizar por varios años investigaciones de esta índole para poder minimizar la falta de información en esta área siendo uno de los más acercados a la investigación el Manual Técnico No. 26 *CLIMA, SUELOS, NUTRICION Y FERTILIZACION DE CULTIVOS EN EL LITORAL ECUATORIANO*[2] donde habla de los requerimientos climáticos, edáficos, nutrición y la fertilización del cultivo.

En el caso de México siendo un país con déficit de recursos hídricos ha optado la implementación proyectos como el *Programa de la Alianza para el Campo*, este proyecto tiene como metas el incrementar la eficiencia en el uso del agua, aumentar la producción de alimentos, mejorar la calidad de los productos y maximizar la productividad por metro cúbico de agua[3]. Otro ejemplo es Israel quien es líder en el mundo en el uso inteligente y optimizar el agua y uno de sus proyectos es el *Sistema de Reúso de Agua* donde el agua tratada se destina principalmente al riego agrícola, mientras que una pequeña parte se utiliza para proteger el medio ambiente, como mantener el flujo de los ríos y combatir incendios[4].

Cotopaxi es una provincia muy limitada en investigación, lo que dificultad a los pequeños agricultores aprovechar la capacidad de los cultivos afectando incluso económicamente sus producciones, por ello empezando por conocer cuáles son los principales sembríos de la provincia y observando en el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAGAP) se determinó que son 5 los cantones con mayor producción [5]. Siendo La Mana con mayores plantaciones frutales seguido de Sigchos, Pangua, Pujilí y Latacunga y teniendo como principales cultivos

frutales las del banano, cacao, caña de azúcar, naranja, limón, tomate de árbol, moras, pepino dulce, granadilla, naranjilla entre otras [6], [7], [8], [9], [10].

Dada esta información y obteniendo los respectivos datos climatológicos y edafológicos de cada zona de estudio se establecerá las diferentes necesidades hídricas de cada cultivos y así por consiguiente determinar en base a sus condiciones locales aprovechar el rendimiento de la planta, beneficiando así a los sectores más vulnerables de toda la provincia de Cotopaxi y por ende mejor su situación socioeconómica, reduciendo significativamente el mal uso del agua agrícola que de acuerdo con datos disponibles, el sector agrícola es el principal usuario del agua en Ecuador, representando un sorprendente 80% del total de agua utilizada en el país[11].

En definitiva, Cotopaxi es una provincia con una gran producción de cultivos, pero la falta de conocimiento de muchos de los agricultores no aprovechan la producción y rendimiento de sus cultivos, por ello el proyecto de investigación que se enfoca específicamente en la provincia de Cotopaxi y tiene como novedad el evaluar las necesidades hídricas de cada cultivo, conociendo las condiciones climatológicas y edafológicas de cada terreno donde se implementa la producción agraria de cultivos frutales permitiendo optimizar de manera efectiva el recurso hídrico en la agricultura lo cual ayudará a identificar estrategias para un uso eficiente del agua, lo que es crucial para la sostenibilidad ambiental y la seguridad alimentaria de la zona, sentando así las bases para futuras investigaciones permitiendo una mejor compresión de las necesidades hídricas de cada cultivo de la región y su relación directa con el suelo, el clima y la variedad de cultivo.

Que a diferencia de otros proyectos de investigación que realizan otras instituciones como el MAGAP o el INIAP se enfocan en la determinación de precipitaciones óptima para el cultivo mas no cual es la necesidad hídrica del cultivo tomando en cuenta las variables climatológicas y edafológicas. Además, con ayuda de diversos métodos para determinar evapotranspiración se permitirá obtener los resultados requeridos determinando así, si es necesario la implementación de sistemas de riegos o simplemente con las precipitaciones son suficiente para cubrir la demanda hídrica de los cultivos beneficiando a toda la población de la provincia de Cotopaxi.

2.1 SITUACIÓN PROBLEMÁTICA.

En el Ecuador, los agricultores por falta de información acerca de las producción y el rendimiento de los cultivos frutales hace que se genere un déficit de agua en el cultivo, que es cuando las precipitaciones y sistemas de riego son insuficiente y no cubre las pérdidas de agua

por evaporación del suelo y transpiración de las plantas, se generan limitaciones significativas en el crecimiento y desarrollo de los cultivos[12] .

El recurso hídrico es limitado en todo el mundo lo que un buen manejo del agua en los sembríos permitirá optimizar este recurso, por eso el conocer los requerimientos hídricos de los cultivos hará que se minimice el desperdicio del agua. Además, la actividad humana en áreas rurales afecta las fuentes de agua y perturba el equilibrio del ciclo hidrológico, lo que resulta en una disminución del caudal y una deterioración de la calidad del agua superficial haciendo que en un futuro este recurso sea muy escaso [13].

2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

Las practicas ineficientes de los sistemas de riegos afectan considerablemente la producción y sostenibilidad ambiental, perjudicando la viabilidad económica, para ello la evaluación de los requerimientos hídricos de los cultivos frutales de la zona optimizara notablemente el uso del agua en la agricultura.

2.3 OBJETIVOS Y CAMPO DE ACCIÓN

2.3.1 Objetivo de Investigación

Evaluar las necesidades hídricas de los cultivos frutales de la provincia de Cotopaxi.

2.3.2 Campo de Acción

Riego (3102.05)

2.4 BENEFICIARIOS

2.4.1 Beneficiaros directos

Los pequeños y grandes productores de cultivos frutales de la provincia de Cotopaxi.

2.4.2 Beneficiarios indirectos

Habitantes de la Provincia en general y comunidad científica universitaria.

2.5 JUSTIFICACIÓN

Optimizar el uso del recurso hídrico es crucial en este proyecto de investigación, y para lograrlo, es fundamental determinar las necesidades hídricas específicas de cada cultivo frutal, considerando las condiciones climáticas y edafológicas de la zona. Esto implica analizar las precipitaciones, temperatura máximas, mínimas y medias, humedad entre factores climáticos, así como las características del suelo, como su textura, contenido de humedad, entre otros. Al comprender estas variables, se puede desarrollar un plan de manejo del agua más eficiente, que permita maximizar el rendimiento de los cultivos frutales mientras se minimiza el desperdicio

de agua y se reduce el impacto ambiental. De esta manera, se puede garantizar la sostenibilidad del proyecto de investigación y contribuir al uso responsable del recurso hídrico.

Por consiguiente, conocer las necesidades hídricas de los cultivos mejorará la producción, aumentaran los ingresos económicos de los productores por ende mejorando la realidad socioeconómica de cada habitante de la provincia de Cotopaxi. Por último, conocer detalles así harán posible la creación de políticas públicas agrícolas que beneficien tanto a los pobladores como a la naturaleza haciendo un óptimo uso del recurso hídrico finito que poseemos en la Tierra.

2.6 OBJETIVOS

2.6.1 Objetivo General

- Evaluar las necesidades hídricas de plantas frutales mediante métodos de riego sostenible para las zonas de la Provincia de Cotopaxi.

2.6.2 Objetivos Específicos

- Indagar información bibliográfica sobre las necesidades hídricas de las plantas frutales y metodologías para la determinación de cronogramas de riegos eficientes de la zona de Cotopaxi
- Determinar las necesidades hídricas de los cultivos frutales según sus características climatológicas y edafologías de la zona de la provincia de Cotopaxi.
- Establecer cronogramas de riegos para plantas frutales mediante las necesidades hídricas de cada cultivo.

2.6.3 Sistemas de Tareas

Objetivos Específico	Actividades (Tareas)	Resultados Esperados	Técnicas, medios e instrumentos
Indagar información bibliográfica sobre las necesidades hídricas de las plantas frutales y metodologías para la determinación de	Revisar literatura científica, libros, organizaciones gubernamentales y demás publicaciones de los últimos 10 años	Comparación de diferentes metodologías de las necesidades hídricas de los cultivos y sistemas de riegos eficientes.	Internet, Páginas Web, Repositorios, Libros Digitales, entre otros

cronogramas de riegos eficientes de la zona de Cotopaxi			
Determinar las necesidades hídricas de los cultivos frutales según sus características climatológicas y edafologías de la zona de la provincia de Cotopaxi.	Identificar las especies frutales existentes en la provincia de Cotopaxi	Especies frutales concretas para su determinación de las necesidades hídricas.	INAMHI, Actividad en campo, Laboratorios de Suelos, Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos de la FAO.
	Investigar y determinar los parámetros climatológicos	Mapas de ubicación de las principales estaciones de la zona de estudio. Datos de precipitaciones, temperaturas, vientos, heliofanías, humedad relativa de las Estaciones meteorológicas M0004, M0006 y M0124.	
	Muestreo y análisis de suelos en todos los sitos de la investigación.	Resultados de datos de los parámetros edafológicos de los laboratorios, mapas de ubicación de las calicatas de estudio.	

	Determinar las necesidades hídricas de los cultivos frutales	Cálculos de la evapotranspiración del cultivo	
Establecer cronogramas de riegos para plantas frutales mediante las necesidades hídricas de cada cultivo	Aplicar cálculos de Evapotranspiración y cronogramas de riego	Cronograma de riegos de cultivos frutales	Métodos de Evapotranspiración y cronogramas de riego.

3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

3.1 ANTECEDENTES

A nivel mundial el crecimiento de la población en general demanda de mayor producción de alimentos, por lo que la agricultura se ve sometida a generar nuevos mecanismo para poder cumplir con las expectativas mundiales [14]. Especialmente América Latina es una región en desarrollo constante y gracias a su privilegiada ubicación geográfica cuenta con zonas bastantes lluviosas, pero actualmente se está viendo perjudicada por las lluvias bajas y las altas temperaturas, siendo de suma importancia la intervención directa para su investigación.

La ausencia de precipitaciones y temperaturas elevadas conducen a deficiencias hídricas, originando sequías, provocando estrés hídrico en las plantas, siendo las regiones más afectadas aquellas en donde la agricultura se desarrolla en condiciones extremas por falta de agua [15].

En España el estudio *Eficiencia en el uso del agua por las plantas* donde se realiza un análisis de los diversos aspectos relacionados con la eficiencia en el uso del agua por las plantas (EUA), el cual tiene como objetivo examinar las diferentes escalas de estudio, desde el nivel de hoja hasta el cultivo o ecosistema permitiendo abordar los desafíos técnicos asociados con la medición precisa de la EUA en cultivos, así como la influencia del ambiente y las prácticas agronómicas en la EUA. Además, se considera la importancia de la diversidad genética inter e intraespecífica en la EUA y se exploran las implicaciones prácticas de estos factores para mejorar la EUA y promover una agricultura más sostenible[16].

En el Ecuador se han aplicado varias investigaciones para poder determinar las necesidades hídricas especialmente el INIAP (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias de Ecuador) entre otras instituciones son quienes han realizado investigaciones acerca de los requerimientos hídricos de los cultivos.

Como el proyecto de *Los Sistemas de Información Geográfica (SIG)* que se aplica especialmente en la *optimización del uso del agua en el sistema de Riego Campana-Malacatos*, ejecutado desde enero del 2015, se ha realizado temas de investigación en diferentes cultivos como es el tomate y el maíz por con el objetivo de determinar las necesidades hídricas de los cultivos en el Con el objetivo de mejorar la gestión del agua en el sector El Porvenir, se desarrolló un proyecto piloto con un cultivo pionero, que no había sido objeto de estudio previo en la zona, para explorar nuevas formas de optimizar el uso del agua. Ante el aumento de las demandas hídricas de los cultivos debido al cambio climático, se consideró crucial evaluar el impacto de la temperatura en la duración del ciclo fenológico de los cultivos[1].

Además, la investigación *Parámetros hídricos: Cultivo de maíz en el Valle de Joa, Ecuador* Durante el verano de 2015, se realizó un estudio en el valle de Joa, cantón Jipijapa, provincia de Manabí, para mejorar la producción y calidad del maíz (Zea mays L) mediante riego por goteo. El objetivo principal fue determinar las frecuencias, tiempos y dosis de nitrógeno más efectivos para el cultivo, así como establecer la cantidad adecuada de agua para el riego y evaluar la viabilidad económica de los diferentes tratamientos. El estudio buscó proporcionar información valiosa para optimizar las prácticas agrícolas en la región[17].

3.2 CLIMATOLÓGICOS

3.2.1 Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI)

El INAMHI es la institución científica y técnica responsable de monitorear y analizar las condiciones hidrometeorológicas, utilizando tecnologías de vanguardia para recopilar y procesar datos, con el fin de generar información precisa y oportuna que se difunde a través de pronósticos, alertas y publicaciones científicas, y que sirve de apoyo para la formulación de políticas públicas que impacten positivamente en la sociedad y contribuyan al desarrollo del país.[18]

3.2.2 Precipitación

La precipitación es la principal fuente de abastecimiento de agua al suelo, y su distribución se divide en varias partes: una es absorbida por la vegetación, otra se infiltra y se almacena en la

zona radicular, otra traspasa el sistema radicular y se filtra hacia abajo, y la restante se desplaza a través de la superficie del suelo. La cantidad de agua retenida en la capa radicular y disponible para la evaporación depende de las propiedades del terreno, como su composición física y química, humedad, cobertura y pendiente, así como de las características de la precipitación, incluyendo altitud, intensidad, duración y frecuencia[12].

3.2.3 Temperatura

El clima es un elemento esencial para el desarrollo agrícola en una zona geográfica específica, junto con otros factores como el agua, la calidad del suelo y la sanidad vegetal y animal. La información climática es crucial para tomar decisiones informadas sobre planificación agrícola y selección de cultivos adecuados. La temperatura del aire es una variable climática clave, ya que tiene un impacto directo en la productividad de las plantas, influyendo en la duración del ciclo de crecimiento y la evapotranspiración, y es fundamental para la agricultura, ganadería y silvicultura[19].

Analizar la temperatura y su evolución en una región y en distintas épocas del año es fundamental para diseñar y llevar a cabo cualquier tipo de actividad agrícola, ajustándose a las condiciones climáticas únicas de cada área[19]. La temperatura del aire se mide utilizando un termómetro, el cual puede ser de diferentes tipos, como los que están compuestos por tiras de metal que se expanden o contraen según los cambios de temperatura. Además, existen termómetros especiales llamados termógrafos, que registran la temperatura en un cilindro de papel. Es importante destacar que, para obtener una lectura precisa de la temperatura, el termómetro debe estar ubicado en un lugar protegido, como una garita meteorológica o una zona a la sombra, lejos de la radiación solar directa [20].

3.2.4 Radiación Solar

La radiación solar es un factor ambiental crucial que regula la vida en nuestro planeta, influyendo en el funcionamiento de los ecosistemas terrestres y acuáticos de manera profunda. Por un lado, controla procesos fotobiológicos esenciales como la fotosíntesis, el fotoperíodo y el fototropismo, y por otro, modifica otros factores ambientales como la temperatura y la humedad, así como ciclos naturales como los diarios, anuales e hídricos. Esto, a su vez, afecta la distribución y el desarrollo de los organismos en diferentes hábitats, destacando la importancia fundamental de la radiación solar en la dinámica de los ecosistemas[21].

La radiación solar aporta toda la energía que interviene en los fenómenos meteorológicos en la atmósfera terrestre. La mayor parte de la radiación solar que llega a la Tierra en un año se concentra en las zonas del ecuador y los trópicos, y la transferencia de calor a los polos se realiza mediante la atmósfera y los océanos. Si no hubiera atmósfera y océanos el contraste entre las temperaturas de latitudes altas y bajas sería muy superior.[22]

3.2.5 Humedad Relativa

"La humedad relativa es una medida que compara la cantidad de agua presente en el aire a una temperatura específica con la cantidad máxima que el aire podría contener a esa misma temperatura. Se expresa como un porcentaje y no tiene unidades. Aunque la cantidad de vapor de agua en el aire puede permanecer relativamente estable durante el día, la humedad relativa varía significativamente, alcanzando su punto máximo al amanecer y su punto mínimo en la tarde temprana. Esta variación ocurre porque la capacidad del aire para retener vapor de agua depende de su temperatura, la cual cambia a lo largo del día, provocando cambios considerables en la humedad relativa. [23].

3.2.6 Vientos

El viento se produce cuando el aire se mueve de un área de alta presión a una de baja presión, y también es afectado por la rotación de la Tierra, lo que provoca su desplazamiento. [24].

"La velocidad del viento se puede determinar utilizando un anemómetro, un dispositivo que consiste en un eje vertical con cuatro cazoletas de metal o plástico montadas perpendicularmente. A medida que el viento sopla, las cazoletas giran proporcionalmente a su intensidad, generando una corriente eléctrica que se registra en una escala de velocidades mediante una aguja indicadora.[20].

3.3 EDAFOLÓGICOS

3.3.1 Conductividad Eléctrica Saturada

La conductividad eléctrica del suelo se refiere comúnmente a la conductividad del extracto de saturación. Esta conductividad se mide en un medio líquido y representa la capacidad del líquido intersticial del suelo para conducir electricidad. Para medir la conductividad eléctrica del suelo, es necesario agregar agua, lo que diluye el contenido de sales en la solución intersticial y afecta su conductividad original. El resultado puede ser mayor o menor que la conductividad del extracto de saturación, dependiendo del nivel de saturación de sales en el interior de los terrones del suelo. Los métodos de extracción, como el uso de sondas de succión,

pueden reflejar más el contenido de sales en el exterior de los terrones, mientras que el extracto de saturación proporciona una medición más integral y homogénea del suelo.[26] .

3.3.2 Densidad Aparente

La densidad aparente del suelo (DA) es una medida que relaciona la masa de suelo seco con el volumen total de suelo, incluyendo sólidos y poros. Los cambios en la DA pueden ser causados por factores como el laboreo, el tránsito de maquinaria, el pisoteo animal, el crecimiento de raíces o la actividad de la fauna subterránea. Un aumento en la DA puede indicar un ambiente menos favorable para el crecimiento de las raíces, debido a la disminución de la aireación y el aumento de la resistencia a la penetración, lo que también puede alterar las funciones hidrológicas del suelo, como la infiltración y la percolación. Por lo tanto, la DA es un parámetro fundamental para evaluar la condición física del suelo. Además, es necesario conocer el valor de la DA para convertir las concentraciones de nutrientes, minerales y carbono en el suelo y calcular el contenido de agua en volumen. [27]

3.3.3 Contenido de Humedad

La humedad del suelo es un indicador esencial que se utiliza en conjunto con otros parámetros en varios análisis del suelo. Este parámetro se ha medido tradicionalmente como la relación entre la masa de agua y la masa de la muestra de suelo una vez que ha alcanzado un peso estable después del secado, o como la proporción de volumen de agua presente en relación con el volumen total de la muestra de suelo. [28]

"La humedad del suelo es un indicador clave en las ciencias ambientales, especialmente en la pedología. Uno de sus aplicaciones más importantes es la determinación de los balances hídricos para optimizar el riego y satisfacer las necesidades de agua de los cultivos. [29].

3.3.4 Capacidad de Campo

El contenido de agua retentivo en el suelo se refiere a la cantidad de agua que permanece en la estructura del suelo después de que ha cesado el drenaje rápido y su redistribución se vuelve más lenta. Esta condición se alcanza generalmente entre 2 y 3 días después de un riego abundante o precipitación en suelos arcillosos, y en un día en suelos arenosos. También puede ser visto como una medida de la capacidad del suelo para retener agua en contra de la gravedad. Los factores que influyen en esta capacidad son principalmente

- Tipo de arcilla (la montmorillonita aumenta la retención del agua)
- Textura y estructura del suelo

- La evapotranspiración (interfiere en la el proceso de redistribución)

Parte del agua que el suelo retiene a capacidad de campo, está disponible para uso de las plantas, siempre y cuando esté en la zona de raíces y al alcance de éstas; a medida que las plantas extraen agua del suelo, éste se va secando progresivamente y retiene el agua con mayor fuerza (potencial mátrico), las plantas tienen que hacer un esfuerzo cada vez mayor para extraer el agua del perfil del suelo [30].

3.3.5 Punto de Marchitez

Cuando la cantidad de agua decrece, tanto que las plantas no pueden extraerla fácilmente, éstas se marchitan y cesa el crecimiento; y, si este agotamiento persiste, las plantas se marchitan al grado que no puedan recuperarse, aún si se las colocara en un ambiente de vapor saturado; a partir de ese momento la humedad en el suelo ha llegado al punto de marchitez permanente y su potencial mátrico ha bajado hasta -15 bares. Por consiguiente, el agua en el perfil del suelo que está a disposición dela planta bajo condiciones óptimas, comprende la cantidad de agua bajo condiciones de capacidad de campo menos la cantidad de agua fijada, cuando el suelo se encuentra en su punto de marchitez [30].

3.4 EVAPOTRANSPIRACIÓN

"La comprensión de la evapotranspiración del cultivo (ETC) a lo largo de su ciclo de crecimiento es crucial para planificar el riego de manera efectiva. En general, se estima basándose en las condiciones climáticas. Doorenbos y Pruitt proponen varios métodos empíricos para calcular la ETC, lo que facilita la toma de decisiones informadas en la gestión del riego.

La evapotranspiración del cultivo (ETC) se refiere a la cantidad de agua que se evapora desde la superficie del suelo y la que se transpira a través de la planta. Este proceso depende de la energía disponible para la evaporación, el gradiente de concentración de vapor de agua y la resistencia al transporte. La radiación solar es la fuente de energía que impulsa la evaporación. La mayor parte del agua se pierde a través de los estomas de las hojas, mientras que una cantidad menor se evapora a través de la epidermis de ramas, tallos y frutos. La transpiración es el mecanismo por el cual la planta pierde agua en forma de vapor, principalmente a través de las hojas, y regula la absorción y el ascenso de la savia, generando tensión en el xilema y déficit de agua en las hojas. Los factores que influyen en la transpiración incluyen la intensidad luminosa, el gradiente de concentración de vapor, la temperatura, el viento, la disponibilidad de agua en

el suelo, el área y exposición de las hojas, la estructura del follaje, la apertura estomática y la eficiencia de absorción de la raíz.[31].

3.5 MÉTODOS DE EVAPOTRANSPIRACIÓN

3.5.1 Métodos Directos

Son aquellos basados en el establecimiento de un balance hídrico (medida de la entrada y salida de agua en el sistema suelo), obtenido a través de la medición de la humedad después y antes de cada riego. Así se conoce el consumo de agua de las plantas en los intervalos que anteceden y siguen al riego, hasta obtener la sumatoria del consumo de agua en todo el ciclo de cultivo. Los métodos directos de cálculo de la evapotranspiración más conocidos son: el lisimétrico, el evaporímetro de Thornthwaite y el gravimétrico, que determina en forma directa el uso consuntivo[32].

3.5.2 Métodos Indirectos

Estos métodos estiman la evapotranspiración a partir de datos meteorológicos, en donde se destacan principalmente los métodos Hargreaves y Samani, Vega, Tanque-FAO y Penman-Monteith [30].

4. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS

El proyecto de Investigación “Evaluación de las necesidades hídricas de plantas frutales en zonas de la Provincia de Cotopaxi”, cuenta una metodología cuantitativa y cualitativa. La metodología cuantitativa debido a que la obtención de las necesidades hídricas se obtiene mediante la aplicación de cálculos obteniendo datos estadísticamente confiables y reales, por otro lado, la metodología cualitativa permite obtener el análisis en base a los datos edafológicos y climatológicos además de como estos influyen directamente en cuanta es la cantidad de agua que necesita cada cultivo. Además, tiene como principal propósito poder optimizar el uso del agua y garantizar la sostenibilidad del sector mediante una investigación exhaustiva y detallada de cuanto es el consumo de agua de cada planta en base a sus condiciones edafológicas y climáticas de cada zona estudiada.

El proyecto tiene como principal alcance analizar las necesidades hídricas de los cultivos con el fin de poder proporcionar información valiosa para la toma de decisiones sobre el uso del agua, además contribuir la sostenibilidad del sector agrícola garantizando la seguridad alimentaria y el desarrollo económico y, por último, generando recomendaciones para

implementar en un futuro prácticas de riego sostenible. Dando continuación a la investigación se tiene como variables dependientes la Evapotranspiración de Referencia, la Evapotranspiración del cultivo y el coeficiente del cultivo (Kc). Y por otro lado las variables Independientes tenemos los datos climatológicos y los datos edafológicos. Siguiendo el diagrama metodológico (Figura 1) se obtendrá el proceso que se llevará a cabo para la realización de la investigación.

Figura 1. Diagrama de flujo del proyecto de investigación.

Fase 1

Para iniciar el proceso de la determinación de las necesidades hídricas de los cultivos frutales primero se deberá realizar un análisis de las diferentes metodologías existentes para determinar la evapotranspiración y así observando cual se adapta más a las necesidades del proyecto.

Métodos de Evapotranspiración	
Método de la FAO modificado Penman-Monteith	El modelo de Penman-Monteith es ampliamente reconocido por su precisión en la estimación de la evapotranspiración de referencia (ETo), gracias a su integración de aspectos termodinámicos y aerodinámicos. No obstante, su dependencia de una extensa serie de datos meteorológicos constituye un

	obstáculo significativo para su aplicación en regiones con registros climáticos limitados o insuficientes [33].
Método de Hargreaves y Samani	En ausencia de datos meteorológicos detallados, como radiación solar, humedad relativa o velocidad del viento, se sugiere emplear la ecuación de Hargreaves para estimar la evapotranspiración de referencia (ETo). Aunque esta ecuación es menos precisa para estimaciones diarias, ofrece buenos resultados para predicciones a corto y mediano plazo, especialmente para periodos semanales o más prolongados[33].
Método de Thornthwaite	El método es parcial y simplificado, ya que se basa únicamente en la temperatura media del aire y un índice de calor anual, sin considerar datos fundamentales como lo son la humedad relativa y la radiación solar. Estos factores, que influyen de significativamente en la evapotranspiración, son esenciales para obtener valores precisos y confiables por lo que si se omite estos parámetros limita la utilidad y precisión del método[34].
Métpdp de Blaney-Criddle	La fórmula de Blaney-Criddle ha sido ampliamente utilizada para estimar la evapotranspiración (ET) mensual, demostrando ser una herramienta valiosa en la planificación y operación de proyectos de riego a gran escala. Sin embargo, es importante destacar que su aplicación es

	limitada a regiones con climas similares a los del Oeste de Estados Unidos, donde se desarrolló, caracterizados por ser áridos y semiáridos. Su uso en regiones con climas significativamente diferentes podría generar resultados inexactos[34].

Observando cuales son las limitantes de cada uno de los métodos se determino que la mejor opción para poder determinar la evapotranspiración es el método de la FAO de Penman Monteith modificado debido a que esto utiliza mayor cantidad de variables haciéndolo mas preciso y eficiente.

Fase 2

La obtención de los datos climatológicos y edafológicos para el proyecto son la siguiente parte para poder continuar con la investigación.

4.1 DATOS CLIMATOLÓGICOS

La información se obtendrá de los anuarios meteorológicos que nos proporciona el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), específicamente de las estaciones que se encuentran más acercadas de las diferentes zonas de estudios dentro de la provincia de Cotopaxi, dichas cuales tienen las siguientes coordenadas mostradas en la tabla 1 y ubicándose en el siguiente mapa (Figura 2).

Tabla 1 Ubicación geográfica de estaciones meteorológicas.

Estaciones Meteorológicas cerca de los cantones				
Cantón	**Código estación**	**Latitud**	**Longitud**	**Elevación**
La Mana	M0124	0° 54' 59" S	79° 14' 4" W	215 msnm
Salcedo	M0004	1° 1' 12" S	78° 35' 41" W	2685 msnm
Quevedo	M0006	1° 6' 0" S	79° 27' 42" W	120nm

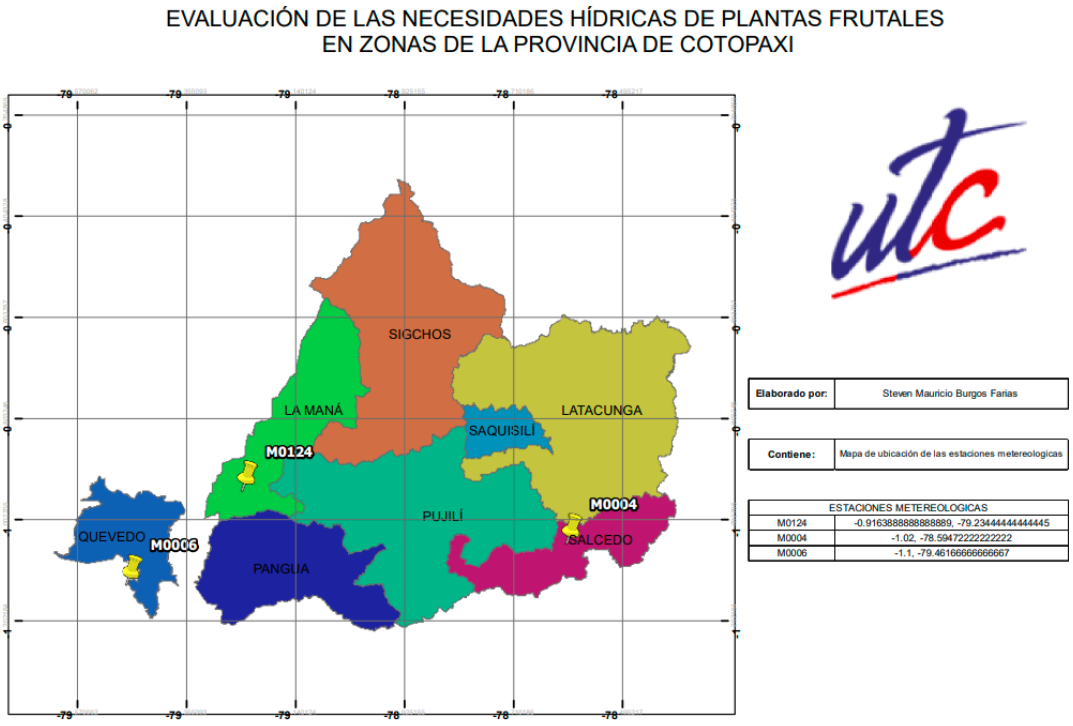

Figura 2 Mapa de ubicación de las estaciones meteorológicas

Dentro de las estaciones obtendremos datos tales como las precipitaciones, humedad relativa, heliofanía, temperaturas máximas, mínimas y medias y vientos los cuales serán de suma importancia para poder determinar la evapotranspiración con métodos indirectos como el establecido por la FAO el método de Penman Monteith debido a que este método de evapotranspiración de referencia es el estándar recomendado para estimar el uso del agua por los cultivos, con aplicabilidad global en diferentes climas, este método ofrece resultados más precisos y consistentes, y ha sido ampliamente validado por organismos expertos. Su uso permite una estimación confiable del uso del agua por los cultivos, lo que es crucial para optimizar la gestión del agua en la agricultura y garantizar la sostenibilidad de los cultivos[35].

4.1.1 Precipitaciones

Se obtendrán datos proporcionado por los anuarios meteorológicos del INAMHI que tienen series de datos que van desde 1971 hasta 2013 como es el caso de la estación M0124, o de la estación M0004 que tienes una serie de datos proporcionando información desde 1980 hasta 2019, o de la estación M0006 que tiene datos desde 1980 hasta 2018, de las cuales obtenemos un promedio mensual de las precipitaciones de las zonas de estudios. Además de las precipitaciones que satisfacen las necesidades de las plantas, la neblina también aporta agua a

los cultivos siendo está considerada como precipitaciones horizontales. Siendo un aporte importante a la planta.

4.1.2 Temperaturas

Los datos de temperaturas serán obtenidos de los anuarios meteorológicos del INAMHI que brindan una serie de datos que van desde 1971 hasta 2013 dentro de los cuales nos brindan temperaturas máximas promedios, temperaturas mínimas promedios y temperaturas medias promedios. Estos datos se obtendrán en grados Celsius y son de gran importancia ya que transfiere energía al cultivo y entonces ejerce un control importante en la tasa de evapotranspiración del cultivo.

4.1.3 Heliofanía/Radiación Solar

Los datos de la Heliofanía de las diferentes zonas de investigación se obtendrán de los anuarios meteorológicos del INAMHI que brindan una serie de datos que van desde 1971 hasta 2013, dichos datos son las horas de sol promedio que se dan por mes dándonos como datos en horas de luz solar. Este valor dependerá de la ubicación geográfica es decir se dará en base a la latitud del planeta y a la estación del año.

4.1.4 Humedad Relativa

La humedad relativa al igual que los otros datos las obtenemos de los anuarios meteorológicos brindados por el INAMHI que brindan una serie de datos que van desde 1971 hasta 2013, la cual viene dada en un valor medio medida en % y refleja la diferencia entre la presión de vapor de agua en la superficie evapotranspirante y el aire circundante es el factor determinante para la remoción de vapor.

4.1.5 Vientos

Los valores de las velocidades de vientos se dan en Km/h los cuales las obtenemos de los anuarios meteorológicos brindados por el INAMHI que brindan una serie de datos que van desde 1971 hasta 2013.

4.2 DATOS EDAFOLÓGICOS

Para encontrar los datos edafológicos de las zonas de investigación se realizarán calicatas en varios puntos dentro de la zona de Cotopaxi (Figura 3) en total siendo 9 puntos de observación específicamente en los cantones de La Mana, Pangua, Sigchos, Pujilí y Latacunga. Estas calicatas se realizarán tomando en cuenta zonas donde se presentan cultivos frutales cercas además zonas donde el acceso sea más viable para la extracción de las diversas muestras, de cada horizonte que brinden cada calicata contando cada muestra con su cadena de custodia

(Anexo 1 – Anexo 9) que certifican de manera confiable la recolección de las muestras. Además, puntos estratégicos donde como mínimo exista una distancia de 100 metros y por último cada calicata una profundidad máxima de 1.50 metros observando considerablemente el cambio de horizontes. De los cuales los datos que se obtendrán servirán como foco de verificación para comparar datos existentes de los tipos de suelos de la provincia.

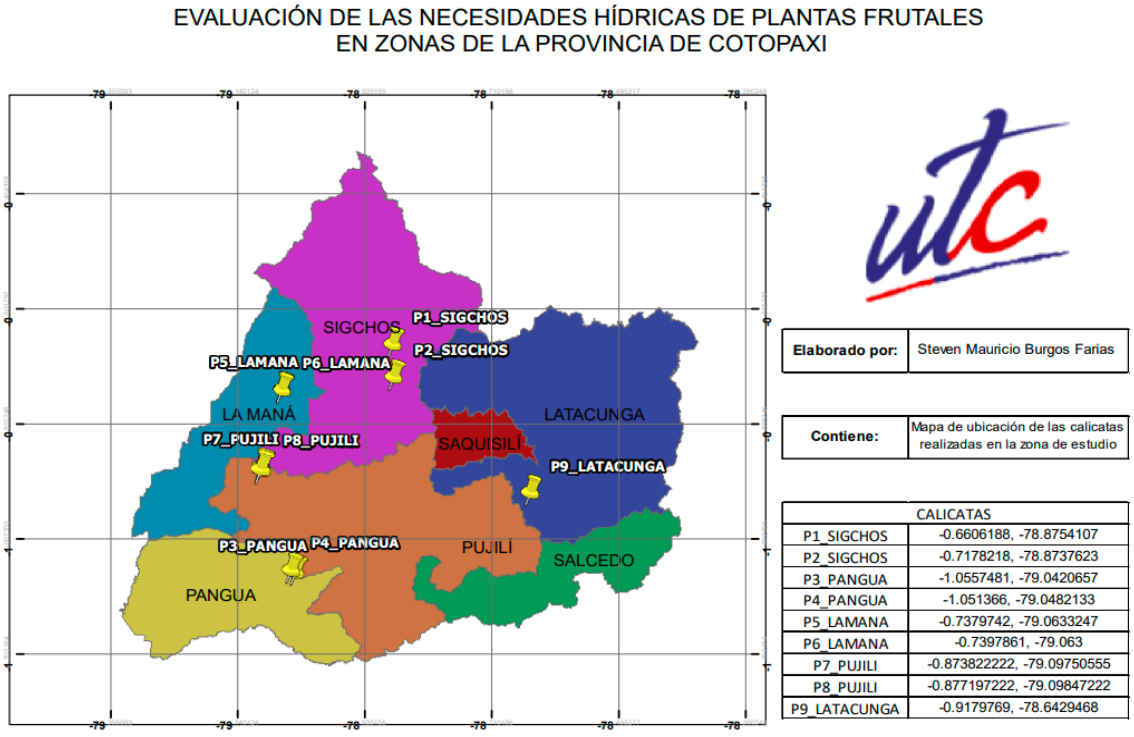

Figura 3 Mapa de ubicación de Calicatas.

Específicamente las zonas donde se realizarán las investigaciones edafológicas se muestran en la tabla 2 donde se indica el cantón, la parroquia, la zona y poblados cercanos incluso la vía de acceso y la clasificación climatológica de la zona.

Tabla 2 Ubicación especifica de las calicatas en la zona de estudio.

Cantón	Código	Parroquia	Zona	Climatología según Köppen	Poblado cercano	Vía de Acceso
Sigchos	P1_SIG	Sigchos	Guacusig	Am	Yalo	S/N
	P2_SIG		Santa Isabel	Am	Quinticusig	
Pangua	P3_PAN	Ramón Campaña	Andoas Culebrilla	Am	Recinto la Palma	Vía a Ramón Campaña
	P4_PAN			Am		
La Mana	P5_LM	Pucayacu	Ruinas Malqui-Machay	Am	Recinto la Argentina	S/N
	P6_LM			Am		
Pujilí	P7_PUJ	Tingo	Recinto Guayacan	Am	Recinto Guayacan	Vía La Mana-Pujilí-Latacunga
	P8_PUJ			Am		
Latacunga	P9_LATA	Eloy Alfaro	4 Esquinas	Cfb	Barrio Chantan	C. Nicaragua

4.2.1 Conductividad Eléctrica Saturada

Los datos de este parámetro se obtendrán mediante laboratorio donde utilizando ionómeros se determinará la conductividad eléctrica del suelo 100% saturada siguiendo la metodología que se presenta en (Anexo 10 – Anexo 20).

4.2.2 Clasificación SUCS

La clasificación SUCS del suelo se obtendrán mediante análisis en laboratorios acreditados bajo normativa *ASTM D 2487* mostrando datos de contenido de humedad, análisis granulométricos

4.2.3 Contenido de Humedad

Es el valor de humedad del suelo expresada en porcentaje y se obtendrán a partir de análisis de laboratorios acreditados siguiendo una metodología con normativa *ASTM D 2216*.

4.2.4 Capacidad de Campo

Para obtener los datos de este parámetro se aplicó la metodología planteada por la Universidad de la Republica de Uruguay *Metodología para determinar los parámetros hídricos de un suelo a campo* [36] donde nos indica que para obtener el contenido de agua en peso (HP%) a Capacidad de Campo es con la ecuación (4.1) la cual, para determinar la capacidad de campo, el suelo debe ser sometido a laboratorio previamente preparado como se indica en la metodología. A diferencias de los métodos convencionales de pedotransferencia que para determinar los parámetros hidráulicos de suelos utiliza como dato de entrada la clasificación

granulométrica del suelo [37] siendo esta una forma no muy confiable y empírica de determinar los parámetros hidráulicos del suelo.

$$HP\%CC = \frac{Muestra\ de\ Suelo\ Humedo\ a\ CC - Muestra\ de\ Suelo\ Seco}{Muestra\ de\ Suelo\ Seco} * 100 \qquad (4.1)$$

4.2.5 Punto de Marchitez

Para obtener los datos de este parámetro se aplicó la metodología planteada por la Universidad de la Republica de Uruguay *Metodología para determinar los parámetros hídricos de un suelo a campo* [36] donde nos indica que para obtener el contenido de agua a Punto de Marchitez Permanente se consigue con la ecuación (4.2) la cual toma como dato de entrada el valor obtenido en la capacidad de campo para luego ser aplicada en la ecuación (4.2). A diferencias de los métodos convencionales de pedotransferencia que para determinar los parámetros hidráulicos de suelos utiliza como dato de entrada la clasificación granulométrica del suelo [37] siendo esta una forma no muy confiable y empírica de determinar los parámetros hidráulicos del suelo.

$$HP\%PMP = HP\%CC * 0{,}74 - 5 \qquad (4.2)$$

4.2.6 Densidad Aparente

Los datos de este parámetro se obtendrán mediante laboratorio donde se utilizará la metodología del (Anexo 10 – Anexo 20) obteniendo datos en unidades g/cm^3.

4.3 EVAPOTRANSPIRACIÓN

Para lograr determinar la evapotranspiración de referencia en base a las zonas climatológicas se seguirá el siguiente diagrama (Figura 4). Donde en base a datos climatológicos como la temperatura, humedad relativa, vientos y radiación solar se podrá calcular la evapotranspiración por el método de Penman Monteith establecido por la FAO, siendo este método uno de los más recomendados ya que utiliza datos específicos basándose en la ubicación geográfica de la zona donde se desee estudiar y aplicar el método.

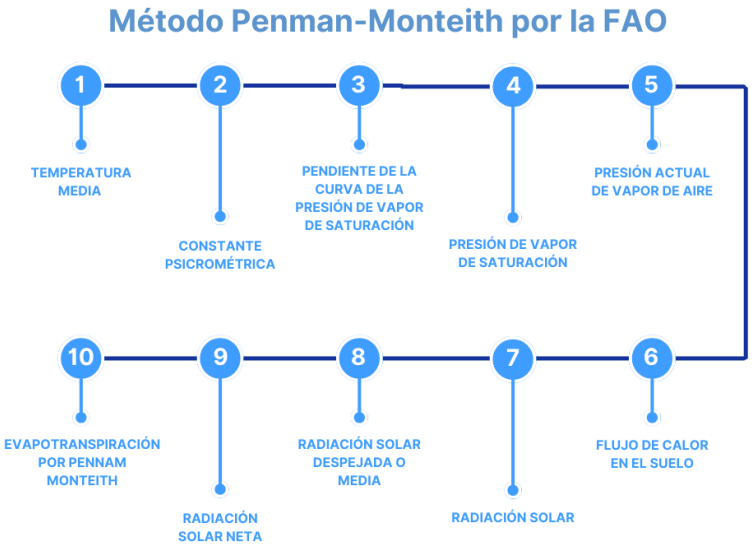

Figura 4 Diagrama para determinar la Evapotranspiración.

4.3.1 Temperatura media

La temperatura media diaria del aire (T_{media}) se emplea en la ecuación (4.3) de la FAO Penman-Monteith solamente para calcular la pendiente de la curva de la presión de saturación de vapor (Δ) y del impacto de la densidad media del aire (P_a) pues el efecto de las variaciones de temperatura en el valor de estos parámetros climáticos es pequeño. Para la estandarización, T_{media} para períodos de 24 horas se define como el promedio de las temperaturas máxima (T_{max}) y mínima diaria (T_{min}) en lugar del promedio de las mediciones horarias de temperatura.

$$T_{med} = \frac{T_{máx} + T_{mín}}{2} \qquad (4.3)$$

Donde:

T_{med}: Temperatura media (°C)

$T_{máx}$: Temperatura máxima (°C)

$T_{mín}$: Temperatura mínima (°C)

4.3.2 Constante psicrométrica

La constante psicrométrica que se expresa en la ecuación (4.5) se mantiene constante para cada localidad. Los valores para la constante psicrométrica en función de la altitud de donde se encuentra y es la relación entre la elevación (msnm) y la presión atmosférica. La presión atmosférica, P, se define como la fuerza ejercida por el peso de la atmósfera terrestre sobre la superficie de la Tierra y se expresa en la ecuación (4.4). En altitudes elevadas, la evaporación

se ve favorecida por la disminución de la presión atmosférica, la cual se relaciona con la constante psicrométrica.

$$P = 101{,}3 * \left(\frac{293-0{,}0065*Z}{293}\right)^{5{,}26} \quad (4.4)$$

Donde:

P: Presión atmosférica (kPa)

Z: Elevación (msnm)

$$\gamma = 0{,}665x10^{-3} * P \quad (4.5)$$

Donde:

γ: Constante psicrométrica (kPa/°C)

P: Presión atmosférica (kPa)

4.3.3 Pendiente de la curva de la presión de vapor de saturación.

La pendiente de la curva de presión de vapor de saturación que se expresa en la ecuación (4.6), Δ, es un parámetro crucial para entender la dinámica de la vaporización y se emplea en las ecuaciones de cálculo de la evapotranspiración de referencia (ET_o) utilizando datos climáticos. A bajas temperaturas, la pendiente es suave y muestra poca variación con el aumento de temperatura. Sin embargo, a temperaturas elevadas, la pendiente se vuelve más pronunciada y pequeñas fluctuaciones en la temperatura generan cambios significativos en la pendiente

$$\Delta = \frac{4089(0{,}6108*e^{\left(\frac{17{,}27*T_m}{T_m+237{,}3}\right)})}{(T_m+237{,}3)^2} \quad (4.6)$$

Donde:

Δ: Pendiente de la curva de la presión de vapor de saturación (kPa /°C)

T_m: Temperatura media (°C)

4.3.4 Presión de Vapor de Saturación.

La diferencia entre la presión de vapor de saturación y la presión de vapor real se conoce como déficit de presión de vapor o déficit de saturación, y constituye un indicador preciso de la capacidad evaporativa efectiva del aire. Este parámetro mide la cantidad de vapor de agua que el aire puede absorber adicionalmente para alcanzar la saturación, lo que a su vez determina la tasa de evaporación y se expresa en la ecuación (4.7).

$$es = \frac{0{,}6108}{2} * \left(e^{\left(\frac{12{,}27 * T_{máx}}{T_{máx}+237{,}3}\right)} + e^{\left(\frac{12{,}27 * T_{mín}}{T_{mín}+237{,}3}\right)} \right) \quad (4.7)$$

Donde:

es: Presión de vapor de saturación (kPa).

$T_{máx}$: Temperatura máxima (°C).

$T_{mín}$: Temperatura mínima (°C).

4.3.5 Presión Actual de Vapor de Aire

La presión real de vapor (ea) es la presión ejercida de vapor por el vapor de agua en el aire y se expresa en la ecuación (4.8).

$$ea = \frac{es * HR}{100} \quad (4.8)$$

Donde:

ea: Presión actual de vapor de aire (kPa)

HR: Humedad relativa (%)

4.3.6 Flujo de Calor en el Suelo

El calentamiento del suelo implica un flujo de calor positivo, G, que se calcula restando la energía utilizada para este proceso de la radiación neta, R_n. Con una capacidad calorífica del suelo de 2,1 MJ/m^3 °C y una profundidad media de suelo, se puede aplicar la Ecuación (4.9) para estimar G en períodos mensuales. Esto proporciona una estimación de la energía utilizada para calentar el suelo y su influencia en la evapotranspiración.

$$G_{mes,i} = 0{,}14 * \left(T_{mes,i} - T_{mes,\, i-1}\right) \quad (4.9)$$

Donde:

G_{mesi}: Flujo de calor en el suelo (MJ/ m^2 día)

T_{mesi}: Temperatura media (°C)

$T_{mesi\,-\,1}$: Temperatura media anterior (°C)

4.3.7 Radiación Solar

La radiación solar es la principal fuente de energía en el planeta, desempeñando un papel crucial en el ciclo del agua al transformar grandes cantidades de agua líquida en vapor de agua, lo que a su vez impulsa la evaporación y el ciclo hidrológico y se expresa en la ecuación (4.10).

$$R_s = \left(a + b * \frac{n}{N}\right) * Ra \quad (4.10)$$

Donde:

R_s: Radiación solar o de onda corta (MJ/ m^2 día)

R_a: Radiación extraterrestre radiación extraterrestre (MJ/ m^2 día)

N: duración máxima posible de la insolación (horas)

n: duración real de la insolación (horas)

a y b: Coeficientes experimentales que depende de la región climática y fracción de la radiación extraterrestre que llega a la tierra en días despejados (-)

4.3.8 Radiación Solar despejada o media

$$R_{50} = (0{,}75 + 2x10^{-5} * Z) * Ra \quad (4.11)$$

Donde:

R_{50}: Radiación solar despejada o media en un día despejado (MJ/ m^2 día)

Z: Elevación (msnm)

Ra: Radiación extraterrestre radiación extraterrestre (MJ/ m^2 día)

4.3.9 Radiación Solar Neta

La radiación neta (Rn) ecuación (4.12) es la diferencia entre la radiación neta de onda corta (Rns) y la radiación neta de onda larga.

$$Rn = (1 - \alpha)Rs - \sigma\left(\frac{T_{máx}^4 + T_{mín}^4}{2}\right) * \left(0{,}34 - 0{,}14\sqrt{ea}\right) * \left(1{,}35\frac{Rs}{R50} - 0{,}35\right) \quad (4.12)$$

Donde:

Rn: Radiación solar neta (MJ/ m^2 día)

Rs: Radiación solar o de onda corta (MJ/ m^2 día)

α: Coeficiente de albedo o coeficiente de reflexión del cultivo, que es 0,23 para el cultivo hipotético de referencia (-)

σ: Constante de Stefan Boltzman (4,903 10-9 MJ/ K^4 m^2 día)

$T_{máx}$: Temperatura máxima (°K)

$T_{mín}$: Temperatura mínima (°K)

ea: Presión actual de vapor de aire (kPa)

R_{50}: Radiación solar despejada o media en un día despejado (MJ/ m^2 día)

4.3.10 Evapotranspiración por Pennam Monteith

El método FAO Penman-Monteith para calcular la evapotranspiración de referencia (ETo) se deriva de la ecuación original de Penman-Monteith y las ecuaciones que describen la resistencia aerodinámica y superficial. Esta ecuación (4.13) simplificada y precisa, propuesta por la FAO, ofrece una representación clara y comprensible de los factores físicos y fisiológicos que influyen en la evapotranspiración, facilitando su aplicación práctica.

$$Eto = \frac{0{,}408*\Delta(Rn-G)+\gamma\frac{900}{T+273}U_2(es-ea)}{\Delta+\gamma(1+0{,}34*U_2)} \quad (4.13)$$

Donde:

Eto: Evapotranspiración de referencia (mm/día)

Δ: Pendiente de la curva de la presión de vapor de saturación (kPa/°C)

Rn: Radiación solar neta en la superficie del cultivo (MJ/m^2 día)

G: Flujo de calor en el suelo (MJ/ m^2 día)

γ: Constante psicrométrica (kPa/ °C)

T: Temperatura media (°C)

U: Velocidad de vientos (m/s)

es: Presión de vapor de saturación (kPa)

ea: Presión actual de vapor de aire (kPa)

4.4 NECESIDAD HÍDRICA DE LA PLANTA Y CRONOGRAMA DE RIEGO

4.4.1 Necesidad hídrica de la planta

Realizar la identificación del coeficiente del cultivo (Kc) el indispensable para poder determinar la evapotranspiración real o evapotranspiración del cultivo, que junto a la evapotranspiración de referencia se lograra obtener así la necesidad hídrica del cultivo en sus diferentes etapas fenológica y se expresa en la ecuación (4.14).

$$Etc = Eto * Kc \quad (4.14)$$

Donde:

Etc: Evapotranspiración real o evapotranspiración del cultivo (mm/día)

Eto: Evapotranspiración de referencia (mm/día)

Kc: Coeficiente del cultivo (adimensional)

Para conseguir el coeficiente del cultivo lo obtendremos mediante las tablas de la FAO que se muestran los (Anexos 21 – Anexo 25). Además, para calcular la necesidad hídrica se debe tener en cuenta las etapas de crecimientos del cultivo puesto que el consumo de agua varia en cada etapa por ello se debe conocer los días que dura cada etapa de crecimiento y para ello se tomara

como referencia los días de duración de cada etapa fenológica que nos proporciona la FAO que se representa en los (Anexos 26 – Anexo 30).

Fase 3

Finalmente, para realizar los cronogramas de riego se realizará un análisis bibliográfico para determinar que sistemas son de mayor eficiencia para el riego sostenible de los frutales de la zona.

Sistemas de Riego	
Riego por Goteo	El riego por goteo es un método de irrigación que utiliza emisores de bajo caudal para aplicar agua de manera exacta y controlada, gota a gota, directamente a las plantas. Este sistema es reconocido por su alta eficiencia, con un rendimiento teóricos que supera el 90%. Sin embargo, una implementación deficiente o un diseño mal realizado pueden reducir significativamente su eficacia en la práctica, resaltando la necesidad de una planificación y ejecución para aprovechar al máximo[38].
Riego por Aspersión	El riego por aspersión es un método de irrigación que imita la lluvia natural, dispersando el agua en gotas pequeñas a través de aspersores que utilizan presión para proyectarla. Este sistema se compone de una red de tuberías que transporta el agua desde la fuente hasta los aspersores, y es potenciado por un sistema de bombeo. Con una inversión adecuada, el riego por aspersión puede alcanzar eficiencias de aplicación de entre 70 y 55%, lo que permite a los cultivos recibir el agua necesaria para crecer de manera óptima. La optimización del sistema es clave para

	lograr los objetivos propuestos y maximizar los rendimientos agrícolas [39].
Riego por Microaspersión	El riego por microaspersión ofrece una aplicación precisa y eficiente del agua, similar a una lluvia fina y controlada. Esto permite humedecer las áreas del suelo donde se concentran las raíces de las plantas, maximizando la absorción y minimizando el desperdicio, pero al igual que los sistemas de riego por aspersión no aplica directamente en la zona de las raíces el agua por lo que su eficiencia ronda entre los 80% y 85%[40].

Debido a la alta eficiencia del sistema de riego por goteo es el mismo que se aplicara en el proyecto de investigación.

4.4.2 Cronograma de riego.

La programación de riego tiene por finalidad el ahorro de agua y de energía sin reducir la producción del cultivo y para lograr esto se aplicará el método de balance suelo-agua-planta.

4.4.2.1 Reserva de agua disponible

Es la disponibilidad de agua real que existe del suelo para ser usada por el agua y se expresa de la siguiente manera en la ecuación (4.15)

$$RAD = \frac{CC-PMP}{100} * da * Pr \qquad (4.15)$$

Donde:

RAD: Reserva de agua disponible (mm).

CC: Capacidad de Campo (%).

PMP: Punto de Marchitez Permanente (%).

da: Densidad Aparente (g/cm^3).

Pr: Profundidad de raíces (mm).

4.4.2.2 Lamina neta de riego

La lamina neta de riego es el porcentaje que determina la cantidad de agua que la planta necesita para realizar un riego adecuado, en relación con la cantidad de agua disponible [41]. Se expresa en la ecuación (4.16).

$$Ln = RAD * Frac.Agotamiento\ o\ umbral\ de\ riego \qquad (4.16)$$

Donde:

Ln: Lamina neta de riego (mm)

RAD: Reserva de agua disponible (mm).

Frac. Agotamiento (Adimensional)

Para sacar datos de fraccionamiento se tomará los valores proporcionados por la FAO (Anexo 31 – Anexo 33).

4.4.2.3 Requerimiento de lavado

$$RL = \frac{CEa}{2(maxCEe)} \qquad (4.17)$$

Donde:

RL: Requerimiento de lavado

CEa: Conductividad eléctrica del agua de riego (dS/m).

CEe: Conductividad eléctrica del extracto de saturación (dS/m).

Max CEe: 100% (dS/m)

El Max CEe se buscará en las tablas que brinda la FAO dichas tablas se encuentran en (Anexo 34 – Anexo 36).

4.4.2.4 Lamina total de riego

Para calcular las necesidades de riego de un cultivo, se deben tener en cuenta la lámina neta y la eficiencia de aplicación del sistema de riego. La eficiencia de aplicación indica la proporción de agua que se aprovecha realmente en la zona de raíces, en comparación con la cantidad total de agua aplicada, lo que permite optimizar el uso del agua y minimizar las pérdidas[41]. Expresando la ecuación (4.18) de la siguiente manera.

$$LT = \frac{Ln}{Ea(1-RL)} \qquad (4.18)$$

A continuación, se presenta una tabla 3 que muestra los distintos niveles de eficiencia en la aplicación del agua, en función del sistema de riego utilizado.

Tabla 3. Eficiencias de riego.

Eficiencia (Ea)	
Riego por goteo	90%-95%
Riego por Aspersión	70%-75%
Riego por microaspersión	80%-85%

Donde:

LT: Lamina total de riego (mm).

Ln: Lamina neta de riego (mm).

Ea: Eficiencia de aplicación del agua según el método de riego realizado.

RL: Requerimiento de lavado

4.4.2.5 Frecuencia o intervalo de riego

La frecuencia de riego se obtiene con la siguiente ecuación (4.19) dividiendo el valor de la lámina neta con la evapotranspiración del cultivo.

$$Fr = \frac{Ln}{ETc \ o \ Nn} \qquad (4.19)$$

Donde:

Fr: Frecuencia de riego (días).

Ln: Lamina neta de riego (mm).

ETc: Evapotranspiración del cultivo (mm/día).

Nn: Necesidad hídrica del cultivo (mm).

4.4.2.6 Lamina neta ajustada

La lámina neta ajustada se obtiene con la siguiente ecuación (4.20) multiplicando la frecuencia de riego con la evapotranspiración del cultivo.

$$Ln_{ajus} = Fr * ETc \qquad (4.20)$$

Donde:

Ln_{ajus}: Lámina neta ajustada (mm)

Fr: Frecuencia de riego (días).

ETc: Evapotranspiración del cultivo (mm/día).

4.4.2.7 Lamina total de riego ajustada

La lámina total de riego ajustada se obtiene con la siguiente ecuación (4.21) dividiendo el valor de la lámina neta ajustada con la eficiencia de aplicación de agua según el método de riego multiplicado a su vez con el requerimiento de lavado menos 1.

$$LT_{ajus} = \frac{Ln_{ajus}}{Ea(1-RL)} \qquad (4.21)$$

Donde:

LT_{ajus}: Lámina total de riego ajustada (mm)

Ln_{ajus}: Lámina neta ajustada (mm)

Ea: Eficiencia de aplicación del agua según el método de riego realizado.

RL: Requerimiento de lavado.

4.4.2.8 Intensidad de aplicación de agua

Es la intensidad de aplicación del agua que se debe aplicar en el cultivo tomando en cuenta el caudal que proporcionar el gotero emisor y el número de emisores por cada planta, expresándose en la siguiente ecuación (4.22).

$$Iap = Qe * n \qquad (4.22)$$

Donde:

Iap: Intensidad de aplicación del agua (mm/h)

Qe: Caudal emisor (lt/h).

n: # emisores por planta (adimensional)

4.4.2.9 Tiempo de riego

El tiempo de riego es el total de horas que se debe aplicar de riego al cultivo obteniéndose dividiendo la lámina total de riego ajustada y la intensidad de aplicación del agua y se expresa en la siguiente ecuación (4.23).

$$Tr = \frac{LT_{ajus}}{Iap} \qquad (4.23)$$

Donde:

Tr: Tiempo de riego (horas).

LT_{ajus}: Lámina total de riego ajustada (mm)

Iap: Intensidad de aplicación del agua (mm/h)

5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.

5.1 DATOS CLIMATOLÓGICOS.

5.1.1 Precipitaciones.

Realizando un análisis bibliográfico de los anuarios meteorológicos del INAMHI obtuvimos precipitaciones promedias de una serie de datos los cuales nos dan como resultados en la siguiente tabla 4.

Tabla 4. Precipitaciones promedias

Meses	Precipitaciones (mm) Promedios		
	Estación M0004	Estación M0006	Estación M0124
	1980-2019	1980-2018	1971-2013
Enero	46,72	392,55	407,988
Febrero	52,568	457,388	475,727
Marzo	61,065	443,47	519,547
Abril	69,018	416,208	447,358
Mayo	53,703	182,25	231,363
Junio	28,593	52,645	77,147
Julio	16,945	33,663	40,543
Agosto	15,665	10,78	31,293
Septiembre	25,975	22,888	34,719
Octubre	51,293	25,148	50,179
Noviembre	66,178	64,393	55,681
Diciembre	48,108	149,4	199,123

Observando los datos tenemos que dentro de la estación M0124 la temporada húmeda se encuentra dentro de los meses de diciembre hasta mayo teniendo como máxima precipitación de 519,727 mm, por otro lado, la estación M0006 presenta su temporada húmeda de diciembre hasta mayo teniendo como máxima precipitación 457,388 mm. Por otra parte, la estación M0004 presenta su temporada humedad dentro de los meses de octubre hasta mayo teniendo como máxima precipitación de 69,018 mm.

Al igual que la zona subtropical de Cotopaxi que es donde se encuentra las estaciones M0006 y M0124, en Portoviejo las temporadas húmedas que es donde presentan la presencia de más precipitaciones se da justamente en los de diciembre hasta mayo ya que la costa de Ecuador experimenta un régimen de lluvias estacional, con una marcada concentración de

precipitaciones entre diciembre y mayo, con picos máximos en febrero y marzo, que representan el 95% de las lluvias anuales, lo que subraya la relevancia de este período para la gestión del agua y la planificación agrícola en la zona [42].

5.1.2 Temperatura.

Realizando un análisis bibliográfico de los anuarios meteorológicos del INAMHI obtuvimos temperatura máximas promedios que se encuentran en la tabla 5, temperaturas mínimas promedios que se encuentran en la tabla 6 y temperaturas medias promedios que se encuentran en la tabla 7 de una serie de datos los cuales nos dan como resultados en las siguientes tablas.

Tabla 5. Temperaturas máximas promedias (1971-2013)

Meses	**Temperaturas Máximas ℃ Promedios desde 1971-2013**		
	Estación M0004	**Estación M0006**	**Estación M0124**
Enero	24,9	32,4	31,3
Febrero	24,3	32,4	31,5
Marzo	24,4	32,2	31,8
Abril	23,9	32,9	32,0
Mayo	23,3	32,2	31,1
Junio	22,1	31,3	30,4
Julio	21,8	30,9	30,1
Agosto	22,7	31,5	30,7
Septiembre	23,4	32,6	31,4
Octubre	24,9	34,1	31,0
Noviembre	25,2	33,0	31,5
Diciembre	25,0	34,5	31,4

Dentro de las temperaturas máximas de cada zona tenemos como temperatura máxima de la estación M0004 un valor de 25 ℃ siendo esta la mayor temperatura dada en el mes de diciembre. Por otra parte, en las estaciones M0006 y M0124 presentan temperaturas mayores a los 30 ℃ siendo un clima bastante cálido haciendo que el nivel de evaporación sea más alto. En la estación M0006 la temperatura máxima alcanzada es de 34,5 ℃ dándose específicamente en el mes de diciembre, mientras que en la estación M0124 la temperatura máxima alcanza un valor de 32 ℃ dándose en el mes de abril.

Tabla 6. Temperaturas mínimas promedias (1971-2013)

Meses	Temperaturas Mínima ℃ Promedios desde 1971-2013		
	Estación M0004	Estación M0006	Estación M0124
Enero	4,9	20,9	18,9
Febrero	5,5	20,7	18,8
Marzo	5,5	20,4	18,7
Abril	5,8	20,9	18,7
Mayo	5,5	20,8	18,7
Junio	4,5	19,8	18,2
Julio	3,0	18,8	17,7
Agosto	2,8	18,2	17,2
Septiembre	3,2	19,0	17,6
Octubre	3,9	19,5	17,9
Noviembre	3,7	19,4	17,5
Diciembre	4,7	20,1	18,2

Dentro de las temperaturas mínimas de cada zona tenemos como temperatura mínima de la estación M0004 un valor de 2,8 ℃ siendo esta la mayor temperatura dada en el mes de agosto. Por otra parte, en las estaciones M0006 y M0124 presentan temperaturas mínimas que rondan de los 17 ℃ a los 20 ℃. En la estación M0006 la temperatura mínima alcanzada es de 18,2 ℃ dándose específicamente en el mes de agosto, mientras que en la estación M0124 la temperatura mínima alcanza un valor de 17,2 ℃ dándose en el mes de agosto. Y como análisis tenemos que las temperaturas más bajas dentro de la provincia de Cotopaxi se dan en el mes de agosto.

Tabla 7. Temperaturas medias promedias (1971-2013)

Meses	Temperaturas Media ℃ Promedios desde 1971-2013		
	Estación M0004	Estación M0006	Estación M0124
Enero	14,9	25,3	24,3
Febrero	14,5	25,5	24,7
Marzo	14,5	26,0	25,2
Abril	14,4	25,9	25,2
Mayo	14,1	25,4	24,7
Junio	13,4	24,3	23,7
Julio	12,8	23,6	23,2
Agosto	12,9	23,5	23,2
Septiembre	13,5	24,3	23,3
Octubre	14,5	24,5	23,3
Noviembre	14,8	24,9	23,6
Diciembre	14,6	25,4	24,1

Dentro de las temperaturas medias de cada zona tenemos como temperatura media de la estación M0004 un promedio de 14,08 ℃. Por otra parte, en las estaciones M0006 existe una temperatura media de 24,88 ℃ y por último la estación M0124 presentan una temperatura media de 24,04 ℃.

Al igual que en otras partes del ecuador, en el perfil costero del ecuador ha experimentado un aumento en sus temperaturas extremas, se observa un aumento progresivo, tanto máximas como mínimas, con una tendencia al alza de ±0.33°C por década en las temperaturas máximas y de ±0.22°C por década en las temperaturas mínimas, teniendo como temperaturas máximas en la costa del ecuador un promedio de 29.62°C y una temperatura mínima promedio de 22.53°C [43].

5.1.3 Heliofanía/Radiación solar.

Los datos de la heliofanía se obtuvieron en base a un análisis bibliográfico de los anuarios meteorológicos del INAMHI donde se logró obtener los datos de la heliofanía en las diferentes estaciones meteorológicas de una serie de datos que van desde 1971 hasta 2013 los cuales nos dan como resultados la tabla 8.

Tabla 8. Heliofanías promedias (1971-2013)

Meses	Heliofanías Promedios (Horas Sol) desde 1971-2013		
	Estación M0004	**Estación M0006**	**Estación M0124**
Enero	170,6	65,6	44,0
Febrero	135,1	75,2	50,7
Marzo	130,8	112,1	80,0
Abril	124,9	112,2	75,2
Mayo	142,2	82,6	54,4
Junio	145,9	55,0	35,0
Julio	161,4	58,3	47,7
Agosto	157,5	64,7	50,0
Septiembre	149,2	68,5	46,2
Octubre	165,4	58,5	45,4
Noviembre	163,8	52,7	39,7
Diciembre	168,9	63,6	44,8

Analizando los resultados de las heliofanías se puede percatar que la estación M0004 presenta mayores horas de radiación solar esto es debido a que la estación se encuentra en una ubicaciones geográficamente elevada haciendo que la radiación solar emitida por el sol llegue de manera más directa al suelo, mientras que la estación M0006 y M0124 presenten menores valores puesto que estas dos estaciones se encuentran en una ubicación menos elevada haciendo que las horas de radiación sea menos directa es decir sea interrumpida por otros factores antes de su llegada a las tierra.

5.1.4 Humedad relativa.

Los datos de la humedad relativa se obtuvieron en base a un análisis bibliográfico de los anuarios meteorológicos del INAMHI donde se logró obtener datos que van desde 1971 hasta 2013 en las diferentes estaciones meteorológicas de una serie de datos los cuales nos dan como resultados la tabla 9.

Tabla 9. Humedad relativa promedias (1971-2013)

Meses	Humedad Relativa (%) desde 1971-2013		
	Estación M0004	Estación M0006	Estación M0124
Enero	74	85	90
Febrero	76	86	90
Marzo	76	85	89
Abril	78	86	89
Mayo	78	86	91
Junio	77	86	92
Julio	76	85	91
Agosto	74	83	90
Septiembre	73	80	89
Octubre	73	79	89
Noviembre	73	77	88
Diciembre	75	80	89

Dentro de los resultados se observa que en la estación M0004 tiene valores que están dentro de los 73 a 78 porciento de humedad, mientras que en las estaciones M0006 y M0124 presentan valores más altos que rondan desde los 77 a los 92 porciento y esto se debe a que la ubicación de estas estaciones está dentro de una zona denomina subtropical a tropical teniendo mayor presencia incluso de precipitaciones lo que concuerda con los valores de humedad relativa que presentan las estaciones.

5.1.5 Vientos.

Los datos de los vientos se obtuvieron en base a un análisis bibliográfico de los anuarios meteorológicos del INAMHI donde se logró obtener los datos en las diferentes estaciones meteorológicas de una serie de datos que van desde 1971 hasta 2013 los cuales nos dan como resultados la tabla 10.

Tabla 10. Vientos promedios (1971-2013)

Meses	Vientos (Km/h) desde 1971-2013		
	Estación M0004	Estación M0006	Estación M0124
Enero	4,30	1,80	1,00
Febrero	4,10	1,80	0,96
Marzo	4,00	1,80	1,03
Abril	3,80	1,60	0,99
Mayo	4,10	1,40	0,91
Junio	4,90	1,50	0,93
Julio	5,30	1,70	0,85
Agosto	5,20	1,80	0,79
Septiembre	5,00	2,00	0,99
Octubre	4,90	2,10	0,85
Noviembre	3,90	2,10	0,81
Diciembre	3,90	2,00	0,92

Los resultados muestran que las velocidades de los vientos más altas se encuentran en la estación M0004 con un valor de 5,30 Km/h mientras que las dos otras estaciones cuentan con menores velocidades con un valor de 2,10 Km/h en la estación M0006 y un valor de 1,03 en la estación M0124.

5.2 DATOS EDAFOLÓGICOS.

Los datos edafológicos de todo el proyecto de investigación se obtuvieron en laboratorios, la clasificación SUCS que incluye contenido de humedad, análisis granulométrico y tipo de suelos fueron realizado por laboratorios privados acreditados por la Sistema de Acreditación Ecuatoriana donde muestran los resultados en los (Anexo 37 - Anexo 63), además parte de los resultados como la Capacidad de Campo, Punto de Marchitez Permanente, Densidad aparente, Conductividad eléctrica saturada y pH se muestran en los (Anexo 64 – Anexo 77) fueron realizados en los laboratorios de la Universidad Técnica de Cotopaxi con ayuda de los técnicos de laboratorios (Anexo 68 – Anexo 81).

5.2.1 Conductividad eléctrica saturada.

Los resultados de la conductividad eléctrica saturada del suelo se obtuvieron mediante laboratorios aplicando la metodología establecida por el mismo laboratorio y que se observa en (Anexo 10 – Anexo 20) dando como resultados las siguientes tablas.

Tabla 11. Conductividad Eléctrica Saturada (Sigchos).

Conductividad Eléctrica Saturada al 100% (dS/cm)		
P_SIGCHOS		
Horizontes	**P1_SIG**	**P2_SIG**
1	0,22	0,262
2	0,471	0,148
3	0,243	N.R
4	0,182	N.R
5	0,147	N.R

Tabla 12. Conductividad Eléctrica Saturada (Pangua).

Conductividad Eléctrica Saturada al 100% (dS/cm)		
P_PANGUA		
Horizontes	**P3_PAN**	**P4_PAN**
1	0,119	0,166
2	0,056	0,046
3	N.R	0,035

Tabla 13. Conductividad Eléctrica Saturada (La Mana).

Conductividad Eléctrica Saturada al 100% (dS/cm)		
P_LAMANA		
Horizontes	**P5_LM**	**P6_LM**
1	0,106	0,043
2	0,155	0,040
3	0,025	0,020
4	0,048	0,045

Tabla 14. Conductividad Eléctrica Saturada (Pujilí).

Conductividad Eléctrica Saturada al 100% (dS/cm)		
P_PUJILI		
Horizontes	**P7_PUJ**	**P8_PUJ**
1	0,059	0,180
2	0,044	0,077

Tabla 15 . Conductividad Eléctrica Saturada (Latacunga).

Conductividad Eléctrica Saturada al 100% (dS/cm)	
P_LATACUNGA	
Horizontes	**P9_LATA**
1	0,27
2	0,148
3	0,152

5.2.2 Clasificación SUCS.

Como datos de la clasificación de los tipos de suelo se obtuvieron los siguientes datos en la tabla 16.

Tabla 16. Clasificación SUCS de las calicatas de la provincia de Cotopaxi.

	Clasificación SUCS								
	SIGCHOS		PANGUA		LA MANA		PUJILI		LATACUNGA
Horizontes	**P1_SIG**	**P2_SIG**	**P3_PAN**	**P4_PAN**	**P5_LM**	**P6_LM**	**P7_PUJ**	**P8_PUJ**	**P9_LATA**
1	Arena Limosa	Arena Limosa	Limo arenoso de alta plasticidad	Limo de alta plasticidad con arena	Limo Arenoso	Limo arenoso	Limo arenoso de alta plasticidad	Arena limosa con grava	Arena limosa
2	Arena arcillo limosa	Arena bien graduada con limo y grava	Limo arenoso de alta plasticidad	Limo de alta plasticidad con arena	Arena limosa	Arena limosa	Grava mal graduada con arena	Grava limosa con arena	Arena limosa
3	Arena Limosa	N.R	N.R	Limo de alta plasticidad con arena	Arena mal graduada	Arena mal graduada	N.R	N.R	Limo
4	Arena Limosa	N.R	N.R	N.R	Limo Arenoso	Limo arenoso	N.R	N.R	N.R
5	Arena Limosa	N.R	N.R	N.R	N.R	N.R	N.R	N.R	N.R

Observando los datos existentes que brinda la prefectura de Cotopaxi se observa que en mayor proporción se encuentra los suelos franco arenosos siguiéndole los otros tipos de suelo, tal como se describe en la tabla 17.

Tabla 17. Clasificación SUCS de la provincia de Cotopaxi [44].

UNIDADES DE TEXTURA DE SUELO	DESCRIPCIÓN	SUPERFICIE (Ha).	%
FRANCO ARENOSO	Muestran mayor aptitud agrícola.	256.689,7	41,48%
FRANCO	Muestran mayor aptitud agrícola.	154.001,4	24,89%
ARENO FRANCOSO	Tiene un buen drenaje y se cultivan con facilidad, pero también se secan fácilmente y los nutrientes se pierden por lavado.	39.595,6	6,40%
FRANCO LIMOSO	Muestran mayor aptitud agrícola.	32.509,7	5,25%
FRANCO ARCILLOSO	Muestran mayor aptitud agrícola.	32.328,6	5,22%
FRANCO ARCILLO-ARENOSO	Muestran mayor aptitud agrícola.	30.524,9	4,93%
ARENA	Tiene un buen drenaje y se cultivan con facilidad, pero también se secan fácilmente y los nutrientes se pierden por lavado.	14.670,8	2,37%
ARCILLOSO	Tienden a no drenar bien, se compactan con facilidad y se cultivan con dificultad, a su vez presentan una buena capacidad de retención de agua y nutrientes.	974,3	0,16%
FRANCO ARCILLO-LIMOSO	Muestran mayor aptitud agrícola.	1.318,9	0,21%
ARCILLA PESADA	Muestran mayor aptitud agrícola.	112,6	0,02%
ARCILLO-LIMOSO	Muestran mayor aptitud agrícola.	59,8	0,01%
NO APLICABLE	No aplicable	55.998,8	9,05%
		618.785,1	**100,00%**

5.2.3 Contenido de humedad.

Los resultados de contenido de humedad se obtuvieron mediante ensayos de laboratorios siguiente la normativa *ASTM D 2216* y de forma abreviada se representa en la tabla 18 los datos brindados por laboratorio acreditado (Anexo 37 – Anexo 63)

Tabla 18. Contenido de Humedad (%)

	Contenido de Humedad (%)								
	SIGCHOS		PANGUA		LA MANA		PUJILI		LATACUNGA
Horizontes	**P1_SIG**	**P2_SIG**	**P3_PAN**	**P4_PAN**	**P5_LM**	**P6_LM**	**P7_PUJ**	**P8_PUJ**	**P9_LATA**
1	24	16	46	71	51	51	73	16	12
2	22	8	58	73	19	19	14	6	17
3	23	N.R	N.R	120	26	25	N.R	N.R	15
4	25	N.R	N.R	N.R	57	60	N.R	N.R	N.R
5	23	N.R	N.R	N.R	N.R	N.R	N.R	N.R	N.R

5.2.4 Capacidad de campo.

Aplicando la *Metodología para determinar los parámetros hídricos de un suelo a campo* de la Universidad de la Republica de Uruguay [36]. Se obtuvieron los siguientes resultados de Capacidad de Campo los cuales se representan en la tabla 19.

Tabla 19. Capacidad de Campo (%).

	Capacidad de Campo (%)								
Horizontes	**P1_SIG**	**P2_SIG**	**P3_PAN**	**P4_PAN**	**P5_LM**	**P6_LM**	**P7_PUJ**	**P8_PUJ**	**P9_LATA**
1	24,008	16,659	38,773	24,008	32,811	54,95	47,591	21,256	11,713
2	26,382	8,702	33,967	26,382	16,387	23,206	14,482	8,472	16,503
3	28,908	N.R	N.R	28,908	23,663	33,52	N.R	N.R	0,351
4	28,584	N.R	N.R	N.R	37,665	59,667	N.R	N.R	N.R
5	31,208	N.R	N.R	N.R	N.R	N.R	N.R	N.R	N.R

5.2.5 Punto de marchitez.

Aplicando la *Metodología para determinar los parámetros hídricos de un suelo a campo* de la Universidad de la Republica de Uruguay [36]. Se obtuvieron los siguientes resultados de Punto de marchitez permanente los cuales se representan en la tabla 20.

Tabla 20. Punto de Marchitez Permanente (%).

	Punto de Marchitez Permanente (%)								
Horizontes	**P1_SIG**	**P2_SIG**	**P3_PAN**	**P4_PAN**	**P5_LM**	**P6_LM**	**P7_PUJ**	**P8_PUJ**	**P9_LATA**
1	12,765	7,327	23,692	12,765	19,28	35,666	30,217	10,729	3,667
2	14,522	1,439	20,135	14,522	7,126	12,172	5,716	1,269	7,211
3	16,391	N.R	N.R	16,391	12,51	19,804	N.R	N.R	-4,74
4	16,152	N.R	N.R	N.R	22,872	39,154	N.R	N.R	N.R
5	18,093	N.R	N.R	N.R	N.R	N.R	N.R	N.R	N.R

5.2.6 Densidad aparente.

Aplicando la metodología especificada en el (Anexo 10 – Anexo 20), se obtuvieron los siguientes resultados de densidad aparente los cuales se representan en la tabla 21.

Tabla 21. Densidad Aparente.

	Densidad Aparente (g/cm3)								
Horizontes	**P1_SIG**	**P2_SIG**	**P3_PAN**	**P4_PAN**	**P5_LM**	**P6_LM**	**P7_PUJ**	**P8_PUJ**	**P9_LATA**
1	0,779	1,009	0,642	0,630	0,704	0,806	0,659	0,907	0,958
2	1,079	1,281	0,579	0,647	1,063	1,046	1,056	1,071	0,944
3	0,901	N.R	N.R	0,666	0,942	0,869	N.R	N.R	0,796
4	0,837	N.R	N.R	N.R	0,691	0,706	N.R	N.R	N.R
5	0,901	N.R	N.R	N.R	N.R	N.R	N.R	N.R	N.R

5.3 EVAPOTRANSPIRACIÓN.

Para obtener los resultados de la evapotranspiración se aplicó las ecuaciones del método de Penman Monteith modificado por la FAO. Dividimos las zonas de investigación en base a las 3 estaciones más cercanas que tenemos de las zonas dando como resultado que la estación

M0006 se regirá para la zona de Pangua debido a su cercanía, mientras que la zona de Pujilí, Sigchos y La Mana se realizó el cálculo con la estación M0124 y por último la zona de Latacunga se aplicara con los datos que nos brinde la estación M0004. Dando como resultado de evapotranspiración los siguientes datos que se expresan en la tabla 22, tabla 23 y tabla 24.

Tabla 22. Evapotranspiración de Pangua.

		Estación Meteorológica M0006	
		Cultivos frutales de Pangua	
		P3_PANGUA	P4_PANGUA
Enero	Evapotranspiración de Referencia (mm/día)	21,4060	21,4228
Febrero		25,1538	25,1727
Marzo		36,2621	36,29
Abril		35,3796	35,4061
Mayo		24,5604	24,579
Junio		15,7448	15,7574
Julio		25,1739	25,1902
Agosto		17,048	17,0639
Septiembre		19,3657	19,383
Octubre		17,5826	15,5975
Noviembre		15,1606	15,174
Diciembre		18,0786	18,0938

Tabla 23. Evapotranspiración de Sigchos, Pujilí y La Mana

		Estación Meteorológica M0124					
		Cultivos frutales de Sigchos, Pujilí y La Mana					
		P1_SIGCHOS	P2_SIGCHOS	P5_LAMANA	P6_LAMANA	P7_PUJILI	P8_PUJILI
Enero	Evapotranspiración de Referencia (mm/día)	14,5225	14,5941	13,8234	13,8328	13,581	13,5498
Febrero		17,1948	17,2787	16,3744	16,3854	16,091	16,0532
Marzo		26,2064	26,3341	24,9578	24,9746	24,5265	24,4688
Abril		23,9258	24,0428	22,7815	22,7969	22,3864	22,3335
Mayo		16,6165	16,6998	15,8035	15,8144	15,523	15,4855
Junio		10,7085	10,7639	101687	10,1759	9,9827	9,9579
Julio		18,0118	18,0858	17,285	17,2949	17,0326	16,9987
Agosto		13,8254	13,9058	13,0448	13,0552	12,7768	12,7411
Septiembre		13,8076	13,8852	13,0519	13,062	12,7922	12,7575
Octubre		13,6742	13,7511	12,9268	12,9361	12,6689	12,6346
Noviembre		11,7957	11,862	11,1499	11,1585	10,9279	10,8983
Diciembre		12,6926	12,7645	11,9927	12,0021	11,7522	11,7201

Tabla 24. Evapotranspiración de Latacunga.

		Estación Meteorológica M0004 Cultivos frutales de Latacunga P9_LATACUNGA
Enero	**Evapotranspiración de Referencia (mm/día)**	34,7186
Febrero		29,4452
Marzo		29,195
Abril		26,851
Mayo		27,41363
Junio		24,9474
Julio		46,5044
Agosto		27,267
Septiembre		28,2292
Octubre		35,5388
Noviembre		31,6754
Diciembre		31,8546

Los datos nos muestran que la evapotranspiración de referencia indica una tendencia mayor en la zona de Latacunga y esto sucede debido a que en esta zona la incidencia de mayor horas sol y menor humedad hacen que la evapotranspiración sea mayor es decir el consumo del agua que se evapora es mayor, mientras que en la zona más baja de los cantones de Pujilí, Pangua, Sigchos y La Mana la evapotranspiración es menor indicándonos una tendencia de 15 mm/día en promedio y esto es debido a sus factores climáticos y su elevación con respecto al nivel del mar. A diferencia de la zona Sur del país específicamente en EL barrio La Palmira ubicada en la parroquia Quinara, perteneciente al cantón Loja, provincia de Loja donde sus Evapotranspiraciones de referencia oscilan entre 13,85 mm/mes y 157,44 mm/mes siendo en julio el de mayor evapotranspiración y noviembre el menor valor de evapotranspiración [45].

5.4 NECESIDAD HÍDRICA DEL CULTIVO Y CRONOGRAMA DE RIEGO.

Los requerimientos hídricos de cada cultivo frutal se obtuvieron a partir del cálculo de la evapotranspiración de referencia y el coeficiente del cultivo que se obtuvo mediante las tablas de la FAO además tomando en cuenta las diferentes etapas fenológicas del cultivo. Para realizar la evaluación de las necesidades hídricas se tomará en cuenta en cada cantón realizando un promedio de las dos calicatas realizadas en el cantón y así dando un solo valor de evapotranspiración de referencia, conductividad eléctrica, capacidad de campo, punto de marchitez y densidad aparente. Y se realizó de cada cultivo frutal promediando los valores

anteriormente mencionados. Además, se tomará en cuenta un sistema de riego por goteo debido a su alto nivel de eficiencia al momento de la agricultura y por último en base a las precipitaciones de las zonas se determinará el cálculo en los meses más secos de cada zona.

5.4.1 Necesidad hídrica del cultivo.

5.4.1.1 Sigchos.

5.4.1.1.1 Caña de Azúcar

Como datos de entrada se obtuvo los siguientes datos para calcular la necesidad hídrica del cultivo de caña de azúcar tenemos la evapotranspiración de todos los meses, las precipitaciones de la zona, el tipo de cultivo, la duración de cada etapa, el coeficiente de cultivo en cada etapa, profundidad de raíz, conductividad eléctrica del suelo saturado (CEe), fraccionamiento de agotamiento y la eficiencia del sistema de riego que se pretende usar se observa en la tabla 25.

Tabla 25. Datos de entrada para calcular evapotranspiración de la caña de azúcar.

DATOS DE ENTRADA					
Meses	**Eto (mm/día)**	**Etapas del Cultivo**	**Días por etapa**	**Kc -**	**Precipitación mm**
Junio	10,7362	I	35	0,40	77,147
Julio	18,0488	II	60	1,25	40,543
Agosto	13,8656	III	190	1,25	31,293
Septiembre	13,8464	IV	120	0,75	34,719
Octubre	13,7127				50,179
Noviembre	11,8289				55,681
Diciembre	12,7286				199,123
Enero	14,5583				407,988
Febrero	17,2368				475,727
Marzo	26,2703				519,547
Abril	23,9843				447,358
Mayo	16,6582				231,363
Junio	10,7362				77,147
Julio	18,0488				40,543
Cultivo		Caña de azúcar			
Profundidad Raíz (m)		1,1			
Frecuencia (días)		3			
Riego		Goteo			
CEe		0,2288			
CEe Max		100%	19		
Frac. Agotamiento		0,6			
Eficiencia		0,9	90%		

Los resultados de la evapotranspiración del cultivo (ETc) o la necesidad hídrica del cultivo de la caña de azúcar se da en base a la duración de los días en cada etapa fenológica ya que cada ETc se da de forma diferente según las condiciones climatológicas de cada mes en su etapa de crecimiento, los resultados de la Etc de la caña de azúcar se dan en la tabla 26.

Tabla 26. Evapotranspiración del cultivo de la caña de azúcar en sus diferentes etapas.

I Etapa		**II Etapa**		**III Etapa**		**IV Etapa**	
Días x Etapa	**35**	**Días x Etapa**	**60**	**Días x Etapa**	**190**	**Días x Etapa**	**120**
	Días		**Días**		**Días**		**Días**
Junio	30	**Julio**	26	**Septiembre**	27	**Marzo**	19
Julio	**5**	**Agosto**	31	**Octubre**	31	**Abril**	30
		Septiembre	3	**Noviembre**	30		
				Diciembre	31		
Etc (mm/día)	4,2945	Etc (mm/día)	22,561	**Enero**	31	**Mayo**	31
Etc (mm/día)	7,2195	Etc (mm/día)	17,332	**Febrero**	28	**Junio**	30
		Etc (mm/día)	17,308	**Marzo**	12	**Julio**	10
				Etc (mm/día)	17,3080	Etc (mm/día)	19,703
				Etc (mm/día)	17,1408	Etc (mm/día)	17,988
				Etc (mm/día)	14,7861	Etc (mm/día)	12,494
				Etc (mm/día)	15,9107	Etc (mm/día)	8,052
				Etc (mm/día)	18,1979	Etc (mm/día)	13,537
				Etc (mm/día)	21,5459		
				Etc (mm/día)	32,8378		

Se observa que la evapotranspiración del cultivo de la caña de azúcar es mayor en los primeros días de la segunda etapa, en los últimos meses de la tercera etapa y los primeros meses de la cuarta etapa, esto se da debido a las diferentes condiciones climatológicas de cada mes haciendo que justamente en estos meses sean mayores las necesidades hídricas.

5.4.1.1.2 Tomate de Árbol

Como datos de entrada se obtuvo los siguientes datos para calcular necesidad hídrica del cultivo del tomate de árbol tenemos la evapotranspiración de todos los meses, las precipitaciones de la zona, el tipo de cultivo, la duración de cada etapa, el coeficiente de cultivo en cada etapa, profundidad de raíz, conductividad eléctrica del suelo saturado (CEe), fraccionamiento de agotamiento y la eficiencia del sistema de riego que se pretende usar se observa en la tabla 27.

Tabla 27. Datos de entrada para calcular evapotranspiración del tomate de árbol.

DATOS DE ENTRADA					
Meses	**Eto mm/día**	**Etapas del Cultivo**	**Días por etapa**	**Kc -**	**Precipitación mm**
Junio	10,7362	I	35	0,60	77,147
Julio	18,0488	II	45	1,15	40,543
Agosto	13,8656	III	70	0,70	31,293
Septiembre	13,8464	IV	30	0,90	34,719
Octubre	13,7127				50,179
Noviembre	11,8289				55,681
Diciembre	12,7286				199,123
Enero	14,5583				407,988
Febrero	17,2368				475,727
Marzo	26,2703				519,547
Abril	23,9843				447,358
Mayo	16,6582				231,363
Junio	10,7362				77,147
Julio	18,0488				40,543
Cultivo		Tomate de árbol			
Profundidad Raíz (m)		0,7			
Frecuencia (días)		3			
Riego		Goteo			
Cea		0,2288			
Cea Max		100%	19		
Frac. Agotamiento		0,4			
Eficiencia		0,9	90%		

Los resultados de la evapotranspiración del cultivo (ETc) o la necesidad hídrica del cultivo del tomate de árbol se da en base a la duración de los días en cada etapa fenológica ya que cada ETc se da de forma diferente según las condiciones climatológicas de cada mes en su etapa de crecimiento, los resultados de la Etc del tomate de árbol se dan en la tabla 28.

Tabla 28. Evapotranspiración del cultivo del tomate de árbol en sus diferentes etapas.

I Etapa		**II Etapa**		**III Etapa**		**IV Etapa**	
Días x Etapa	**35**	**Días x Etapa**	**45**	**Días x Etapa**	**70**	**Días x Etapa**	**30**
	Días		**Días**		**Días**		**Días**
Junio	30	**Julio**	26	**Agosto**	12	**Octubre**	3
Julio	**5**	**Agosto**	19	**Septiembre**	30	**Noviembre**	27
				Octubre	28		
Etc (mm/día)	6,4417	Etc (mm/día)	20,756	Etc (mm/día)	9,7059	Etc (mm/día)	12,341
Etc (mm/día)	10,8293	Etc (mm/día)	15,945	Etc (mm/día)	9,6925	Etc (mm/día)	10,646
				Etc (mm/día)	9,5989		

Se observa que la evapotranspiración del cultivo del tomate de árbol es mayor en los primeros días del mes de julio de la segunda etapa, a diferencia de los otros meses que la evapotranspiración del cultivo no sobrepasa los 12,35 (mm/día), esto se da debido a las diferentes condiciones climatológicas de cada mes haciendo que justamente en los meses de julio y agosto sean mayores las necesidades hídricas.

5.4.1.2 Pujilí.

5.4.1.2.1 Cítricos

Como datos de entrada se obtuvo los siguientes datos para calcular necesidad hídrica del cultivo de los cítricos tenemos la evapotranspiración de todos los meses, las precipitaciones de la zona, el tipo de cultivo, la duración de cada etapa, el coeficiente de cultivo en cada etapa, profundidad de raíz, conductividad eléctrica del suelo saturado (CEe), fraccionamiento de agotamiento y la eficiencia del sistema de riego que se pretende usar se observa en la tabla 29.

Tabla 29. Datos de entrada para calcular evapotranspiración de los cítricos.

DATOS DE ENTRADA					
Meses	**Eto mm/día**	**Etapas del Cultivo**	**Días por etapa**	**Kc -**	**Precipitación mm**
Junio	9,9703	I	60	0,80	77,147
Julio	17,01565	II	90	0,80	40,543
Agosto	12,75895	III	120	0,80	31,293
Septiembre	12,77485	IV	95	0,80	34,719
Octubre	12,65175				50,179
Noviembre	10,9131				55,681
Diciembre	11,73615				199,123
Enero	13,5654				407,988
Febrero	16,0721				475,727
Marzo	24,49765				519,547
Abril	22,35995				447,358
Mayo	15,50425				231,363
Junio	9,9703				77,147
Julio	17,01565				40,543
Cultivo		Cítricos			
Profundidad Raíz (m)		1,1			
Frecuencia (días)		3			
Riego		Goteo			
Cea		0,09			
Cea Max		100%	16		
Frac. Agotamiento		0,5			
Eficiencia		0,9	90%		

Los resultados de la evapotranspiración del cultivo (ETc) o la necesidad hídrica de los cultivos cítricos se da en base a la duración de los días en cada etapa fenológica ya que cada ETc se da de forma diferente según las condiciones climatológicas de cada mes en su etapa de crecimiento, los resultados de la Etc del tomate de árbol se dan en la tabla 30.

Tabla 30.. Evapotranspiración del cultivo de los cítricos en sus diferentes etapas.

I Etapa		**II Etapa**		**III Etapa**		**IV Etapa**	
Días x Etapa	**60**	**Días x Etapa**	**90**	**Días x Etapa**	**120**	**Días x Etapa**	**95**
	Días		**Días**		**Días**		**Días**
Junio	30	**Julio**	1	**Octubre**	3	**Febrero**	3
Julio	30	**Agosto**	31	**Noviembre**	30	**Marzo**	31
		Septiembre	30	**Diciembre**	31		
		Octubre	28	**Enero**	31		
Etc (mm/día)	7,9762	Etc (mm/día)	13,613	**Febrero**	25	**Abril**	30
Etc (mm/día)	13,6125	Etc (mm/día)	10,207	Etc (mm/día)	10,121	**Mayo**	31
		Etc (mm/día)	10,220	Etc (mm/día)	8,730	Etc (mm/día)	12,858
		Etc (mm/día)	10,121	Etc (mm/día)	9,389	Etc (mm/día)	19,598
				Etc (mm/día)	10,852	Etc (mm/día)	17,888
				Etc (mm/día)	12,858	Etc (mm/día)	12,403

Se observa que la evapotranspiración de los cítricos es relativamente más baja a diferencia de los otros cultivos, ya que solo en sus últimos meses de la última etapa fenológica no superan los 20 (mm/día) de evapotranspiración del cultivo, mientras que la evapotranspiración más baja se da en el primer mes de la primera etapa fenológico ya que aquí tenemos la evapotranspiración del cultivo de 7,97 (mm/día) esto se da debido a las diferentes condiciones climatológicas de cada mes haciendo que justamente en los meses de marzo y abril sean mayores las necesidades hídricas.

5.4.1.3 La Mana.

5.4.1.3.1 Banano

Como datos de entrada se obtuvo los siguientes datos para calcular necesidad hídrica del cultivo de banano tenemos la evapotranspiración de todos los meses, las precipitaciones de la zona, el tipo de cultivo, la duración de cada etapa, el coeficiente de cultivo en cada etapa, profundidad de raíz, conductividad eléctrica del suelo saturado (CEe), fraccionamiento de agotamiento y la eficiencia del sistema de riego que se pretende usar se observa en la tabla 31.

Tabla 31. Datos de entrada para calcular evapotranspiración de los cítricos.

DATOS DE ENTRADA					
Meses	**Eto mm/día**	**Etapas del Cultivo**	**Días por etapa**	**Kc -**	**Precipitación mm**
Enero	13,828	I	120	0,50	407,988
Febrero	16,380	II	90	1,10	475,727
Marzo	24,966	III	120	0,80	519,547
Abril	22,789	IV	60	1,00	447,358
Mayo	15,809				231,363
Junio	10,172				77,147
Julio	17,290				40,543
Agosto	13,050				31,293
Septiembre	13,057				34,719
Octubre	12,931				50,179
Noviembre	11,154				55,681
Diciembre	11,997				199,123
Cultivo		Banano			
Profundidad Raíz (m)		0,5			
Frecuencia (días)		3			
Riego		Goteo			
Cea		0,09			
Cea Max		100%	3,6		
Frac. Agotamiento		0,35			
Eficiencia		0,9	90%		

Los resultados de la evapotranspiración del cultivo (ETc) o la necesidad hídrica de los cultivos de banano se da en base a la duración de los días en cada etapa fenológica ya que cada ETc se da de forma diferente según las condiciones climatológicas de cada mes en su etapa de crecimiento, los resultados de la Etc del tomate de árbol se dan en la tabla 32.

Tabla 32. Evapotranspiración del cultivo de banano en sus diferentes etapas.

I Etapa		**II Etapa**		**III Etapa**		**IV Etapa**	
Días x Etapa	**120**	**Días x Etapa**	**90**	**Días x Etapa**	**120**	**Días x Etapa**	**60**
	Días		**Días**		**Días**		**Días**
Junio	30	**Septiembre**	2	**Diciembre**	4	**Abril**	4
Julio	31	**Octubre**	31	**Enero**	31	**Mayo**	31
Agosto	31	**Noviembre**	30	**Febrero**	28		
Septiembre	28	**Diciembre**	27	**Marzo**	31		
Etc (mm/día)	5,0862	Etc (mm/día)	14,363	**Abril**	26	**Junio**	25
Etc (mm/día)	8,6450	Etc (mm/día)	14,225	Etc (mm/día)	9,598	Etc (mm/día)	22,789
Etc (mm/día)	6,5250	Etc (mm/día)	12,270	Etc (mm/día)	11,062	Etc (mm/día)	15,809
Etc (mm/día)	6,5285	Etc (mm/día)	13,197	Etc (mm/día)	13,104	Etc (mm/día)	10,172
				Etc (mm/día)	19,973		
				Etc (mm/día)	18,231		

Se observa que la evapotranspiración del banano es medianamente baja en su primera etapa, mientras que dentro de su segunda etapa y tercera etapa presenta evapotranspiración de cultivo dentro de 10 (mm/día) ha 20 (mm/día) y dentro de su última etapa solo el aumenta un mínimo llegando su mayor ETc a 22,789 (mm/día), a diferencia de los otros cultivos frutales de la provincia de Cotopaxi que si presentan mayores valores de ETc y esto se da debido a las diferentes condiciones climatológicas de cada mes haciendo que justamente en los meses de marzo y abril sean mayores las necesidades hídricas.

5.4.1.3.2 Cacao

Como datos de entrada se obtuvo los siguientes datos para calcular necesidad hídrica del cultivo del cacao tenemos la evapotranspiración de todos los meses, las precipitaciones de la zona, el tipo de cultivo, la duración de cada etapa, el coeficiente de cultivo en cada etapa, profundidad de raíz, conductividad eléctrica del suelo saturado (CEe), fraccionamiento de agotamiento y la eficiencia del sistema de riego que se pretende usar se observa en la tabla 33.

Tabla 33. Datos de entrada para calcular evapotranspiración del Cacao.

Meses	Eto mm/día	Etapas del Cultivo	Días por etapa	Kc -	Precipitación mm
Enero	13,828	I	30	1,00	407,988
Febrero	16,380	II	75	1,05	475,727
Marzo	24,966	III	120	1,05	519,547
Abril	22,789	IV	175	1,05	447,358
Mayo	15,809				231,363
Junio	10,172				77,147
Julio	17,290				40,543
Agosto	13,050				31,293
Septiembre	13,057				34,719
Octubre	12,931				50,179
Noviembre	11,154				55,681
Diciembre	11,997				199,123
Cultivo		Cacao			
Profundidad Raíz (m)		0,7			
Frecuencia (días)		3			
Riego		Goteo			
Cea		0,09			
Cea Max		100%	3,6		
Frac. Agotamiento		0,3			
Eficiencia		0,9	90%		

Los resultados de la evapotranspiración del cultivo (ETc) o la necesidad hídrica de los cultivos del cacao se da en base a la duración de los días en cada etapa fenológica ya que cada ETc se da de forma diferente según las condiciones climatológicas de cada mes en su etapa de crecimiento, los resultados de la Etc del tomate de árbol se dan en la tabla 34.

Tabla 34. Evapotranspiración del cultivo del cacao en sus diferentes etapas.

I Etapa		II Etapa		III Etapa		IV Etapa	
Días x Etapa	**30**	**Días x Etapa**	**75**	**Días x Etapa**	**120**	**Días x Etapa**	**175**
	Días		**Días**		**Días**		**Días**
Junio	30	**Julio**	31	**Septiembre**	17	**Enero**	20
Etc (mm/día)	10,1723	**Agosto**	31	**Octubre**	31	**Febrero**	28
		Septiembre	13	**Noviembre**	30	**Marzo**	31
		Etc (mm/día)	18,154	**Diciembre**	31	**Abril**	30
		Etc (mm/día)	13,703	**Enero**	11	**Mayo**	31
		Etc (mm/día)	13,710	Etc (mm/día)	13,710	**Junio**	30
				Etc (mm/día)	13,578	**Julio**	5
				Etc (mm/día)	11,712	Etc (mm/día)	14,520
				Etc (mm/día)	12,597	Etc (mm/día)	17,199
				Etc (mm/día)	14,520	Etc (mm/día)	26,215
						Etc (mm/día)	23,929
						Etc (mm/día)	16,599
						Etc (mm/día)	10,681
						Etc (mm/día)	18,154

Se observa que la evapotranspiración del cacao en todas sus etapas tiene un rango de evapotranspiración de 10 a 20 (mm/día) excepto en los meses de marzo y abril de la última etapa, aquí su evapotranspiración es de 25,21 (mm/día) para el mes de marzo y de 23,929 (mm/día) para el mes de abril y esto se da debido a las diferentes condiciones climatológicas de cada mes haciendo que justamente en los meses de marzo y abril sean mayores las necesidades hídricas.

5.4.1.4 Pangua.

5.4.1.4.1 Mora

Como datos de entrada se obtuvo los siguientes datos para calcular necesidad hídrica del cultivo de la mora tenemos la evapotranspiración de todos los meses, las precipitaciones de la zona, el tipo de cultivo, la duración de cada etapa, el coeficiente de cultivo en cada etapa, profundidad de raíz, conductividad eléctrica del suelo saturado (CEe), fraccionamiento de agotamiento y la eficiencia del sistema de riego que se pretende usar se observa en la tabla 35.

Tabla 35. Datos de entrada para calcular evapotranspiración de la mora.

DATOS DE ENTRADA					
Meses	**Eto mm/día**	**Etapas del Cultivo**	**Días por etapa**	**Kc -**	**Precipitación mm**
Enero	21,4144	I	20	0,30	392,55
Febrero	25,16325	II	40	1,05	457,388
Marzo	36,27605	III	120	0,80	443,47
Abril	35,39285	IV	60	0,50	416,208
Mayo	24,5697				182,25
Junio	15,7511				52,645
Julio	25,18205				33,663
Agosto	17,05595				10,78
Septiembre	19,37435				22,888
Octubre	16,59005				25,148
Noviembre	15,1673				64,393
Diciembre	18,0862				149,4
Cultivo		Mora			
Profundidad Raíz (m)		0,6			
Frecuencia (días)		3			
Riego		Goteo			
Cea		0,0849			
Cea Max		100%	22		
Frac. Agotamiento		0,5			
Eficiencia		0,9	90%		

Los resultados de la evapotranspiración del cultivo (ETc) o la necesidad hídrica de los cultivos de la mora se da en base a la duración de los días en cada etapa fenológica ya que cada ETc se da de forma diferente según las condiciones climatológicas de cada mes en su etapa de crecimiento, los resultados de la Etc del tomate de árbol se dan en la tabla 36.

Tabla 36. Evapotranspiración del cultivo de la mora en sus diferentes etapas.

I Etapa		**II Etapa**		**III Etapa**		**IV Etapa**	
Días x Etapa	**20**	**Días x Etapa**	**40**	**Días x Etapa**	**120**	**Días x Etapa**	**60**
	Días		**Días**		**Días**		**Días**
Junio	20	**Junio**	10	**Julio**	1	**Noviembre**	3
Etc (mm/día)	4,7253	**Julio**	30	**Agosto**	31	**Diciembre**	31
		Etc (mm/día)	16,539	**Septiembre**	30		
		Etc (mm/día)	26,441	**Octubre**	31		
				Noviembre	27	**Enero**	26
				Etc (mm/día)	20,146	Etc (mm/día)	7,584
				Etc (mm/día)	13,645	Etc (mm/día)	9,043
				Etc (mm/día)	15,499	Etc (mm/día)	10,707
				Etc (mm/día)	13,272		
				Etc (mm/día)	12,134		

Se observa que la evapotranspiración del cultivo de la mora es mayor en los primeros meses de la segunda etapa y tercera etapa, a diferencia de la primera y cuarta etapas que no sobrepasa los 10.707 (mm/día), esto se da debido a las diferentes condiciones climatológicas de cada mes haciendo que justamente en los meses de junio y julio sean mayores las necesidades hídricas.

5.4.1.5 Latacunga.

5.4.1.5.1 Zambo

Como datos de entrada se obtuvo los siguientes datos para calcular necesidad hídrica del cultivo de la mora tenemos la evapotranspiración de todos los meses, las precipitaciones de la zona, el tipo de cultivo, la duración de cada etapa, el coeficiente de cultivo en cada etapa, profundidad de raíz, conductividad eléctrica del suelo saturado (CEe), fraccionamiento de agotamiento y la eficiencia del sistema de riego que se pretende usar se observa en la tabla 37.

Tabla 37. Datos de entrada para calcular evapotranspiración del zambo.

DATOS DE ENTRADA					
Meses	**Eto mm/día**	**Etapas del Cultivo**	**Días por etapa**	**Kc -**	**Precipitación mm**
Enero	34,7186	I	25	0,80	46,72
Febrero	29,4452	II	35	1,00	52,568
Marzo	29,195	III	35	1,00	61,065
Abril	26,851	IV	25	0,80	69,018
Mayo	27,41363				53,703
Junio	24,9474				28,593
Julio	46,5044				16,945
Agosto	27,267				15,665
Septiembre	28,2292				25,975
Octubre	35,5388				51,293
Noviembre	31,6754				66,178
Diciembre	31,8546				48,108
Cultivo		Zambo			
Profundidad Raíz (m)		1			
Frecuencia (días)		3			
Riego		Goteo			
Cea		0,19			
Cea Max		100%	13		
Frac. Agotamiento		0,35			
Eficiencia		0,9	90%		

Los resultados de la evapotranspiración del cultivo (ETc) o la necesidad hídrica de los cultivos del zambo se da en base a la duración de los días en cada etapa fenológica ya que cada ETc se

da de forma diferente según las condiciones climatológicas de cada mes en su etapa de crecimiento, los resultados de la Etc del tomate de árbol se dan en la tabla 38.

Tabla 38. Evapotranspiración del cultivo del zambo en sus diferentes etapas.

I Etapa		II Etapa		III Etapa		IV Etapa	
Días x Etapa	**25**	**Días x Etapa**	**35**	**Días x Etapa**	**35**	**Días x Etapa**	**25**
	Días		**Días**		**Días**		**Días**
Junio	25	**Junio**	5	**Julio**	1	**Septiembre**	25
Etc (mm/día)	19,9579	**Julio**	30	**Agosto**	31	Etc (mm/día)	22,583
		Etc (mm/día)	24,947	**Septiembre**	3		
		Etc (mm/día)	46,504	Etc (mm/día)	46,504		
				Etc (mm/día)	27,267		
				Etc (mm/día)	28,229		

Se observa que la evapotranspiración del cultivo del zambo es mayor a diferencia de los otros cultivos en el primer mes de la primera etapa y cuarta etapa se observa que son valores que relativamente bajos a diferencia la primera y tercera etapas que sobrepasa los 40 (mm/día), esto se da debido a las diferentes condiciones climatológicas de cada mes haciendo que justamente en el mes de julio sea mayor la necesidad hídrica.

De forma resumida el consumo de agua de cada planta se puede observar en la figura 5 donde se refleja el requerimiento hídrico de cada frutal de forma mensual, así observando en base a las condiciones climatológicas y edafológicas que el cultivo con mayor requerimiento hídrico es el zambo, con una necesidad hídrica de 1441,624 mm/mensual en el mes de julio justamente en su segunda etapa de crecimiento, mientras que el cultivo con un requerimiento bajo es el de caña de azúcar con una necesidad hídrica de 128,835 mm/mensual en el mes de junio justamente en su primera etapa fenológica. Estos datos indican que a comparación de la investigación realizada por el INIAP donde nos muestra que el requerimiento hídrico promedio del banano en la costa del litoral es de 150 mm/mensual [2], mientras que en la sierra específicamente en el cantón de la Mana provincia de Cotopaxi el requerimiento hídrico promedio del banano es de 359,74 mm/mensual. Y esta diferencia se da específicamente por las condiciones climáticas y edafológicas de la zona.

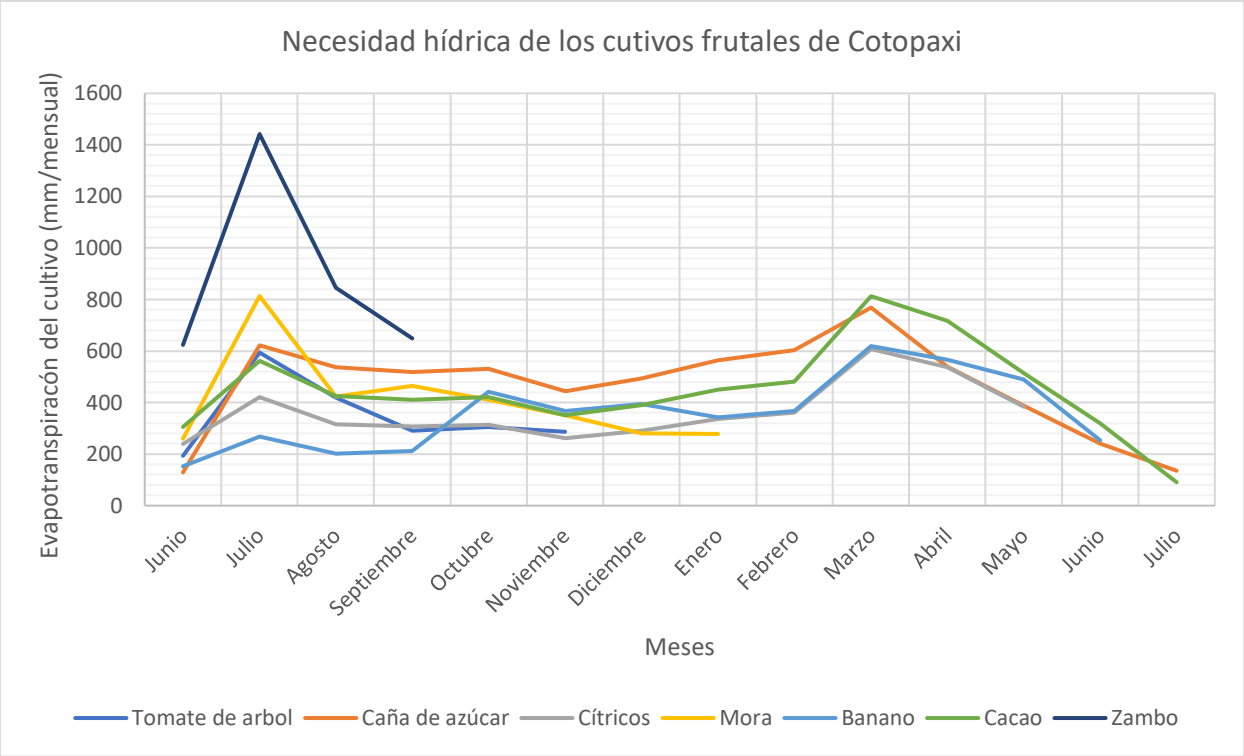

Figura 5. Necesidad hídrica mensual de los cultivos frutales de Cotopaxi

5.4.2 Cronograma de riego.

Se tomo en cuenta para el diseño de los cronogramas de riego las épocas más secas de cada zona, ya que en esas fechas es donde el cultivo necesita una administración viable del agua para así poder cumplir su labor de producción y optimizar el recurso hídrico al momento del riego.

5.4.2.1 Sigchos.

5.4.2.1.1 Caña de azúcar

Conociendo la evapotranspiración del cultivo de la caña de azúcar se determina el cronograma de riego del cultivo mediante un sistema de riego por goteo y teniendo una frecuencia de 3 días de riego, se logró determinar el cronograma de riego para los 405 días como se observa en la tabla 39.

Tabla 39. Cronograma de riego para la caña de azúcar.

	Caña de Azúcar				
	Etapas Fenológicas	**Duración por etapas**	**Fecha de establecimiento del cultivo**	**Frecuencia de riego**	**Tiempo**
Tiempo de Riego (horas)	Etapa I	35	1 de Junio - 5 de Julio	3 Días	1,23
	Etapa II	60	6 de Julio - 3 de Septiembre	3 Días	4,07
	Etapa III	190	4 de Septiembre - 12 de Marzo	3 Días	4,20
	Etapa IV	120	13 de Marzo - 10 de Julio	3 Días	3,06

5.4.2.1.2 Tomate de árbol

Conociendo la evapotranspiración del cultivo de la caña de azúcar se determina el cronograma de riego del cultivo mediante un sistema de riego por goteo y teniendo una frecuencia de 3 días de riego, se logró determinar el cronograma de riego para los 180 días como se observa en la tabla 40.

Tabla 40. Cronograma de riego para el tomate de árbol.

	Tomate de árbol				
	Etapas Fenológicas	**Duración por etapas**	**Fecha de establecimiento del cultivo**	**Frecuencia de riego**	**Tiempo**
Tiempo de Riego (horas)	Etapa I	35	1 de Junio - 5 de Julio	3 Días	1,82
	Etapa II	45	6 de Julio - 19 de Agosto	3 Días	3,87
	Etapa III	70	20 de Agosto - 28 de Octubre	3 Días	2,04
	Etapa IV	30	29 de Octubre - 27 de Noviembre	3 Días	2,43

5.4.2.2 Pujilí

5.4.2.2.1 Cítricos

Conociendo la evapotranspiración del cultivo de los cultivos de cítricos se determina el cronograma de riego del cultivo mediante un sistema de riego por goteo y teniendo una frecuencia de 3 días de riego, se logró determinar el cronograma de riego para los 365 días como se observa en la tabla 41.

Tabla 41. Cronograma de riego para los cítricos.

	Cítricos				
	Etapas Fenológicas	**Duración por etapas**	**Fecha de establecimiento del cultivo**	**Frecuencia de riego**	**Tiempo**
Tiempo de Riego (horas)	Etapa I	60	1 de Junio - 30 de Julio	3 Días	2,26
	Etapa II	90	31 de Julio - 28 de Octubre	3 Días	2,31
	Etapa III	120	29 de Octubre - 25 de Febrero	3 Días	2,17
	Etapa IV	95	26 de Febrero - 31 de Mayo	3 Días	3,28

5.4.2.3 La Mana

5.4.2.3.1 Banano

Conociendo la evapotranspiración del cultivo de los cultivos de cítricos se determina el cronograma de riego del cultivo mediante un sistema de riego por goteo y teniendo una frecuencia de 3 días de riego, se logró determinar el cronograma de riego para los 390 días como se observa en la tabla 42.

Tabla 42. Cronograma de riego para el banano.

	Banano				
	Etapas Fenológicas	**Duración por etapas**	**Fecha de establecimiento del cultivo**	**Frecuencia de riego**	**Tiempo**
Tiempo de Riego (horas)	Etapa I	120	1 de Junio - 28 de Septiembre	3 Días	1,41
	Etapa II	90	29 de Septiembre - 27 de Diciembre	3 Días	2,85
	Etapa III	120	28 de Diciembre - 26 de Abril	3 Días	3,04
	Etapa IV	60	27 de Abril - 25 de Junio	3 Días	3,43

5.4.2.3.2 Cacao

Conociendo la evapotranspiración del cultivo de los cultivos de cítricos se determina el cronograma de riego del cultivo mediante un sistema de riego por goteo y teniendo una frecuencia de 3 días de riego, se logró determinar el cronograma de riego para los 400 días como se observa en la tabla 43.

Tabla 43. Cronograma de riego para el cacao.

	Cacao				
	Etapas Fenológicas	**Duración por etapas**	**Fecha de establecimiento del cultivo**	**Frecuencia de riego**	**Tiempo**
Tiempo de Riego (horas)	Etapa I	30	1 de Junio - 30 de Junio	3 Días	2,15
	Etapa II	75	1 de Julio - 13 de Septiembre	3 Días	3,2
	Etapa III	120	14 de Septiembre - 11 de Enero	3 Días	2,79
	Etapa IV	175	12 de Enero - 5 de Julio	3 Días	3,84

5.4.2.4 Pangua

5.4.2.4.1 Mora

Conociendo la evapotranspiración del cultivo de mora se determina el cronograma de riego del cultivo mediante un sistema de riego por goteo y teniendo una frecuencia de 3 días de riego, se logró determinar el cronograma de riego para los 240 días como se observa en la tabla 44.

Tabla 44. Cronograma de riego para la Mora.

	Mora				
	Etapas Fenológicas	**Duración por etapas**	**Fecha de establecimiento del cultivo**	**Frecuencia de riego**	**Tiempo**
Tiempo de Riego (horas)	Etapa I	20	1 de Junio - 20 de Junio	3 Días	0,99
	Etapa II	40	21 de Junio - 30 de Julio	3 Días	4,49
	Etapa III	120	31 de Julio - 27 de Noviembre	3 Días	3,12
	Etapa IV	60	28 de Noviembre - 26 de Enero	3 Días	1,90

5.4.2.5 Latacunga

5.4.2.5.1 Zambo

Conociendo la evapotranspiración del cultivo del zambo se determina el cronograma de riego del cultivo mediante un sistema de riego por goteo y teniendo una frecuencia de 3 días de riego, se logró determinar el cronograma de riego para los 120 días como se observa en la tabla 45.

Tabla 45. Cronograma de riego para el Zambo.

	Zambo				
	Etapas Fenológicas	**Duración por etapas**	**Fecha de establecimiento del cultivo**	**Frecuencia de riego**	**Tiempo**
Tiempo de Riego (horas)	Etapa I	25	1 de Junio - 25 de Junio	3 Días	4,19
	Etapa II	35	26 de Junio - 30 de Julio	3 Días	7,5
	Etapa III	35	31 de Julio - 3 de Septiembre	3 Días	7,14
	Etapa IV	25	4 de Septiembre - 28 de Septiembre	3 Días	4,74

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- Se logro obtener literatura relacionada a la investigación lo que sirvió de guía para el trabajo de investigación y así poder finalizar con resultados favorables, además con la cual sirvió como fuente de comparación para observar los diversos cambios que se dan la evapotranspiración de cada cultivo dependiendo tanto como factores climáticos, edafológicos y geográficos observando así que cada cultivo tiene su propia necesidad para poder generar una buena producción y por último optimizar de manera favorable el recurso hídrico de la zona de investigación.
- En base a las condiciones que se tenía en la zona de estudio se logró determinar que el mejor método para calcular la evapotranspiración del cultivo fue el de Penman Monteith, debido a que toma más variables en consideración al momento del cálculo, posterior a eso se logró analizar que la mejor manera de realizar los cálculos fue tomando como datos los que nos proporciona la FAO y así con esos datos se pudo realizar los cronogramas de riego para cada uno de los cultivos frutales de la zona.
- Se aplico el mejor método según las condiciones presentadas en el proyecto de investigación, además presentar información importante para la toma de decisiones al momento de la producción de cultivos frutales, conociendo antes de su sembrar cual sería la necesidad de agua del cultivo y con qué frecuencia regar el cultivo para así obtener una mejor producción.

6.2 RECOMENDACIONES

- Para la obtención de los resultados de los datos de evapotranspiración es recomendable utilizar métodos que recopilen la mayor cantidad de variables, por ello el método mas recomendable es el *Método de Penman Monteith modificado por la FAO*, ya que es aquí donde se utilizan datos como temperaturas, vientos, heliofanías, radiación solar, flujos de

calor entre otros. A diferencia de otros métodos como el de *Thornthwaite modificado* donde solo toma valores de temperaturas, números de días del mes y duración astronómica del día o el método de *Método de Blaney y Criddle* donde se toma nomas las variables de temperatura, hora luz y cubierta vegetal.

- Para la obtención de los parámetros hidráulicos del suelo como la capacidad de campo y punto de marchitez permanente se recomienda utilizar métodos mas certificados y realizados en campo, a diferencia de los métodos estándares.

7. REFERENCIAS

[1] G. M. Ordóñez González, «Determinación de las necesidades hídricas del cultivo de fresa (fragaria vesca l.) en el sector El Porvenir», bachelorThesis, Loja, 2018. Accedido: 18 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: https://dspace.unl.edu.ec//handle/123456789/21326

[2] A. Puyutaxi y F. Marcelo, «Clima, suelos, nutrición y fertilización de cultivos en el Litoral ecuatoriano», dic. 1992, Accedido: 21 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/1631

[3] L. T. Chávez, «Requerimientos hídricos de cultivos bajo sistemas de fertirrigación», *Terra Latinoam.*, vol. 17, n.º 3, pp. 237-245, 1999.

[4] D. Reich, «Israel Lidera al Mundo en el Reciclaje del Agua». Accedido: 21 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.fluencecorp.com/es/israel-lider-mundial-en-reciclado-de-agua/

[5] MAGAP, «Ministerio de Agricultura y Ganadería». Accedido: 20 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.agricultura.gob.ec/

[6] GAD CANTÓN LA MANA, «PDOT-PUGS – Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón La Maná – Provincia de Cotopaxi – Ecuador». Accedido: 20 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: https://lamana.gob.ec/pdot-pugs/

[7] GAD CANTÓN SIGCHOS, «PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL CANTÓN SIGCHOS 2021-2040». Accedido: 20 de julio de 2024.

[En línea]. Disponible en: https://www.gadmsigchos.gob.ec/new/index.php?option=com_content&view=article&id=363&Itemid=643

[8] GAD CANTÓN PANGUA, «PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL CANTÓN PANGUA», GAD MUNICIPAL DE PANGUA. Accedido: 20 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: https://pangua.gob.ec/informativo/

[9] GAD CANTÓN PUJILI, «PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMINETO TERRITORIAL DEL CANTÓN PUJILI», Gadmic Pujilí. Accedido: 20 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.municipiopujili.gob.ec/pujili/

[10] GAD CANTÓN LATACUNGA, «PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL CANTON LATACUNGA 2020-2040». Accedido: 20 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: https://latacunga.gob.ec/es/municipalidad.html

[11] SENAGUA, «DIAGNÓSTICO DE LAS ESTADÍSTICAS DEL AGUA EN ECUADOR», 2017. [En línea]. Disponible en: https://silo.tips/download/diagnostico-de-las-estadisticas-del-agua-en-ecuador-informe-final

[12] A. A. Gamboa Barrio, «Balance hídrico como medio de gestión del uso del agua para mejorar la productividad en el cultivo de banano (Musa Paradisiaca) en el Ecuador.», bachelorThesis, BABAHOYO: UTB, 2024, 2024. Accedido: 20 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/16134

[13] P. LLoret, «Cuencas Hidrográficas - Primera Edición», Camaren. Accedido: 21 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: https://camaren.org/cuencas-hidrograficas-primera-edicion/

[14] FAO, «Seminario internacional sobre pronosticar, planificar, preparar: cómo evitar que la sequía se convierta en hambruna.» Accedido: 21 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.fao.org/home/es

[15] M. del M. Hidalgo García, «La influencia del cambio climático en la seguridad alimentaria», *Cuad. Estrateg.*, n.º 161, pp. 67-89, 2013.

[16] H. Medrano, J. Bota, J. Cifre, J. Flexas, M. Ribas-Carbó, y J. Gulías, «Eficiencia en el uso del agua por las plantas», *Investig. Geográficas Esp*, n.º 43, pp. 63-84, 2007.

[17] M. J. Álvarez Álvarez y H. A. Álvarez Plúa, «Parámetros hídricos: Cultivo de maíz en el Valle de Joa, Ecuador», 2018, Accedido: 21 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5081

[18] INAMHI, «Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología – INAMHI». Accedido: 22 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.inamhi.gob.ec/

[19] S. B. Sardiñas *et al.*, «Distribución espacial de la temperatura del aire en la provincia de Cienfuegos», *Rev. Cuba. Meteorol.*, vol. 29, n.º 3, sep. 2023, Accedido: 22 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.redalyc.org/journal/7019/701977565009/

[20] J. L. Mahiques Zaragoza, «La metereología: Conceptos básicos al alcance de todos», *3c Empresa Investig. Pensam. Crít.*, vol. 2, n.º 5, p. 3, 2013.

[21] L. Carrasco-Ríos, «EFECTO DE LA RADIACIÓN ULTRAVIOLETA-B EN PLANTAS», *Idesia Arica*, vol. 27, n.º 3, pp. 59-76, dic. 2009, doi: 10.4067/S0718-34292009000300009.

[22] Z. L. Ignacio, C. D. A. Emilia, F. S. Julio, y S. B. Carlos, *PROBLEMAS DE METEOROLOGÍA Y CLIMATOLOGÍA*. Editorial UNED, 2017.

[23] F. and A. O. of the U. Nations, *Evapotranspiracion Del Cultivo: Guias Para Determinacion Los Requerimientos de Agua de Los Cultivos (Estudios Fao: Riego Y Drenaje)*. Food & Agriculture Org., 2006.

[24] I. M. Uribe, «Valoración del viento como fuente de energía eólica en el estado de Guerrero», *Ingeniería*, vol. 22, n.º 3, pp. 30-46, 2018.

[25] M. Morales y C. César, «Edafología 1», ene. 2011, Accedido: 22 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/productos/4776/

[26] A. Aguirre Hernández, «EL MANEJO DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA EN FERTIRRIEGO», CASO DE ESTUDIO, CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA, Mexico, 2009.

[27] M. D. L. Á. Agostini, M. G. Monterubbianesi, G. A. Studdert, y S. Maurette, «Un método simple y práctico para la determinación de densidad aparente», *Cienc. Suelo*, vol. 32, n.º 2, pp. 171-176, dic. 2014.

[28] A. Castellanos-Navarrete *et al.*, «Contenido de humedad del suelo: guía útil para comparar las prácticas de manejo de cultivo», 2013, Accedido: 22 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: http://hdl.handle.net/10883/4030

[29] P. Quichimbo, J. Guamán, M. Cajamarca, y A. J. Aguirre, «EVALUACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO POR GRAVIMETRÍA Y REFLECTOMETRÍA», *Ecuad. ES Calid.*, vol. 4, n.º 1, Art. n.º 1, sep. 2016, doi: 10.36331/revista.v4i1.25.

[30] J. I. Loor Ponce, C. A. Jarre Cedeño, y V. P. Emil Cristhian, *BASES TÉCNICAS PARA RIEGO PRESURIZADO*, Primera., vol. 1. Dreams Magnet, LLC, 2013.

[31] E. de J. Guerrero *et al.*, *Manual para el cultivo de frutales en el trópico*. Produmedios, 2012.

[32] J. C. Valverde, *Riego Y Drenaje*. EUNED, 1985.

[33] J. J. Contreras Silva, «Análisis comparativo de cuatro modelos de evapotranspiración de referencia en la microcuenca del río Quinuas», bachelorThesis, 2015. Accedido: 15 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: https://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/21725

[34] J. A. Villazón Gómez *et al.*, «Comparación de métodos empíricos para la estimación de la evapotranspiración de referencia en Holguín, Cuba», *Idesia Arica*, vol. 39, n.º 3, pp. 103-109, 2021, doi: 10.4067/S0718-34292021000300103.

[35] J. M. G. Díaz, «La fórmula de Penman-Monteith FAO 1998 para determinar la evapotranspiración de referencia, ETo», *Terra Nueva Etapa*, vol. XXII, n.º 31, pp. 31-72, 2006.

[36] P. García, L. Puppo, R. Hayashi, y P. Morales, «Metodología para determinar los parámetros hídricos de un suelo a campo». Facultad de Agronomía, Departamento de Suelos y Aguas.

[37] J. G. Coronado y H. M. González, «Una revisión sobre las funciones de pedotransferencias en la determinación de las propiedades hidráulicas de suelo», *Rev. Cienc. Téc. Agropecu.*, vol. 18, n.º 3, pp. 59-62, 2009.

[38] S. C. Intagri, «Importancia de la Evaluación de la Eficiencia de los Sistemas de Riego por Goteo | Intagri S.C.» Accedido: 15 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.intagri.com/articulos/agua-riego/importancia-de-la-evaluacion-de-la-eficiencia-de-los-sistemas-de-riego

[39] Agropinos, «Sistemas de riego por aspersión: Todo lo que debe saber». Accedido: 15 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.agropinos.com/blog/sistema-de-riego-por-aspersion

[40] M. S. González Galdames, «Evaluación del sistema de riego por microaspersión para los predios San José y San Ramón, sector Los Niches, Curicó VII Región.», *https://go.openathens.net/redirector/udec.cl?url=http://tesisencap.udec.cl/chillan/agricola/gonzalez_g_m_s/index.html*, 2004, Accedido: 15 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: http://repositorio.udec.cl/jspui/handle/11594/8453

[41] «Transferencia y Difusión de Herramientas Agronómicas y Soluciones Tecnológicas para Mejorar la Eficiencia y el uso de Agua para Riego en Productores de Vitis Vinífera.», Opia.CL: Observatorio para la Innovación Agraria, Agroalimentaria y Forestal. Accedido: 6 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: https://opia.fia.cl/601/w3-article-100122.html

[42] H. Pacheco *et al.*, «Causas y consecuencias de las lluvias extraordinarias de 2017 en la costa ecuatoriana: el caso de la provincia Manabí», *Bol. Investig. Mar. Costeras - INVEMAR*, vol. 48, n.º 2, pp. 45-70, dic. 2019, doi: 10.25268/bimc.invemar.2019.48.2.766.

[43] J. Reyes Alava, «Comportamiento de la temperatura y la precipitación del perfil costero ecuatoriano en el año 2018», *ACTA OCEANOGRÁFICA DEL PACÍFICO*, vol. 23, n.º 1, p. 10, 17 de enero de 2020.

[44] PREFECTURA DE COTOPAXI, «Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la provincia de Cotopaxi 2021 - 2025». Accedido: 13 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.cotopaxi.gob.ec/index.php/2015-09-20-01-01-40/planificacion-provincial/pdyot

[45] M. F. Játiva Reyes, N. J. Paredes Andrade, A. E. Bonilla Bonilla, y A. L. Barrera Amat, «Determinación de los requerimientos de riego por aspersión en el cultivo de la achira (Canna edulis) y la influencia en sus etapas fenológicas», *Rev. Arbitr. Interdiscip. Koinonía*, vol. 4, n.º 8 (Julio-Diciembre), pp. 908-939, 2019.

8. ANEXO