

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS



Determinación de las necesidades hídricas del cultivo (Theobroma cacao L.) en el fundo Nueva Esperanza I – Papayal -Zarumilla - Tumbes -2024

TESIS

Para optar el título profesional de ingeniero agrícola

PRESENTADA POR:

Bach. José Nilson Pardo Cespedes

Tumbes – Perú

2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS



Determinación de las necesidades hídricas del cultivo de (Theobroma cacao L.) en el fundo Nueva Esperanza I – Papayal - Zarumilla - Tumbes -2024

Tesis aprobada en forma y estilo por:

Dr. Napoleón Puño Lecarnaque (presidente)

iD 0000-0002-5008-8085

Dr. Carlos Alberto Deza Navarrete (secretario)

iD 0000-0002-3324-3741

Dr. José Modesto Carrillo Sarango (vocal)

iD 0000-0003-0841-3064

Tumbes - Perú

2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS




Determinación de las necesidades hídricas del cultivo de (Theobroma cacao L.) en el fundo Nueva Esperanza I – Papayal - Zarumilla - Tumbes -2024

Los suscritos declaramos que la tesis es original en su contenido y forma.

José Nilson Pardo Cespedes (autor)

Dr. José Modesto, Carrillo Sarango (asesor)

 0000-0003-0841-3064

Tumbes-Perú

2025



“Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana”

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Tumbes, a los tres días del mes de febrero del dos mil veinticinco, siendo las diez horas, se reunieron en forma presencial los integrantes del jurado calificador designados mediante **RESOLUCIÓN N° 0113-2024/UNTUMBES-VRACAD-FCA-D**; **Dr. Napoleón Puño Lecarnaque** (Presidente), **Dr. Carlos Alberto Deza Navarrete** (Secretario), **Dr. José Modesto Carrillo Sarango** (Vocal), reconociendo en la misma resolución además, al **Dr. José Modesto Carrillo Sarango**, como Asesor, para evaluar, calificar y deliberar la sustentación de la tesis titulada, **“Determinación de las necesidades hídricas del cultivo de cacao en el fundo Nueva Esperanza I – Papayal – Zarumilla – Tumbes 2024”**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Agrícola, presentado por el **Bach. José Nilson Pardo Céspedes**. Concluida la sustentación y absueltas las preguntas, por parte del sustentante y después de la deliberación, el jurado, según el artículo N° 75 del Reglamento de Tesis para Pregrado y Posgrado de la Universidad Nacional de Tumbes, lo declaran APROBADO, por UNANIMIDAD, con el calificativo de MUY BUENO. Se hace conocer al sustentante, que deberá levantar las observaciones finales hechas al informe final de tesis, que el jurado le indica.

En consecuencia, queda **APTO** para continuar con los trámites correspondientes a la obtención del título profesional de Ingeniero Agrícola, de conformidad con lo estipulado en la Ley Universitaria N° 30220, el Estatuto, Reglamento General, Reglamento General de Grados y Títulos y Reglamento de Tesis de la Universidad Nacional de Tumbes. Siendo las ONCE horas con Diez minutos del mismo día, se dio por concluida la ceremonia académica, procediendo a firmar el acta en presencia del público asistente.

Tumbes, 3 de febrero del 2025

Dr. Dr. NAPOLEON PUÑO LECARNAQUE
DNI N° 00225904
ORCID N° 0000-0002-5008-8085
PRESIDENTE

Dr. CARLOS ALBERTO DEZA NAVARRETE
DNI N° 16532820
ORCID N° 0000-0002-3324-3741
SECRETARIO

Dr. JOSE MODESTO CARRILLO SARANGO
VOCAL
DNI N° 00223850
ORCID N° 0000-0002-0841-3084

- C.C. - JURADOS (03)
- ASESOR Y (CO ASESOR)
- INTERESADO
- DECANATO)
- SEC. ACADÉMICA
- ARCHIVO

Determinación de las necesidades hídricas del cultivo (Theobroma cacao L.) en el fundo Nueva Esperanza I – Papayal -Zarumilla - Tumbes -2024

INFORME DE ORIGINALIDAD

9%

INDICE DE SIMILITUD

9%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

3%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

hdl.handle.net

Fuente de Internet


Dr. JOSÉ MODESTO CARRILLO SARANGO
Código ORCID: 0000-0003-0841 3064

1%

2

vdocuments.com.br

Fuente de Internet

1%

3

1library.co

Fuente de Internet

1%

4

Submitted to Universidad Nacional de Tumbes

Trabajo del estudiante

<1%

5

repositorio.unas.edu.pe

Fuente de Internet

<1%

6

repositoriotec.tec.ac.cr

Fuente de Internet

<1%

7

cdn.www.gob.pe

Fuente de Internet


<1%

8


repositorio.unsaac.edu.pe

Fuente de Internet

<1%

9	dspace.unl.edu.ec Fuente de Internet	<1 %	
10	fdocuments.es Fuente de Internet	<1 %	
11	repositorio.uleam.edu.ec Fuente de Internet	<1 %	
12	repositorio.utn.edu.ec Fuente de Internet	 Dr. JOSÉ MODESTO CARRILLO SARANGO Calle ORCID: 0000-0003-0841-3064	<1 %
13	repositorio.untumbes.edu.pe Fuente de Internet	<1 %	
14	dspace.utb.edu.ec Fuente de Internet	<1 %	
15	vsip.info Fuente de Internet	<1 %	
16	doaj.org Fuente de Internet	<1 %	
17	repositorio.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	<1 %	
18	repositorio.unprg.edu.pe Fuente de Internet	<1 %	
19	www.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %	

20	DIANA ISABEL QUEVEDO TEJADA. "Desarrollo de un modelo conceptual dinámico suelo-vegetación para zonas áridas y semiáridas", Universitat Politecnica de Valencia, 2010 Publicación	<1 %	
21	Submitted to Organismo de Evaluación y Fiscalización Trabajo del estudiante	<1 %	
22	www.repositorio.upla.edu.pe Fuente de Internet	<1 %	
23	repositorio.unc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %	
24	fdocuments.ec Fuente de Internet	 Dr. JOSÉ MODESTO CARRILLO SARANGO Código ONCID: 0000-0003-0841 3064	<1 %
25	"Encyclopedic Dictionary of Landscape and Urban Planning", Springer Nature, 2010 Publicación	<1 %	
26	repositorio.unac.edu.pe Fuente de Internet	<1 %	
27	repositorio.unica.edu.pe Fuente de Internet	<1 %	
28	ridum.umanizales.edu.co Fuente de Internet	<1 %	
29	qdoc.tips Fuente de Internet	<1 %	

30	oldri.ues.edu.sv Fuente de Internet	<1 %	
31	www.produccionvegetalunrc.org Fuente de Internet	<1 %	
32	www.bonsaipoint.com Fuente de Internet	<1 %	
33	Submitted to Universidad Privada del Norte Trabajo del estudiante	<1 %	
34	docs.google.com Fuente de Internet	<1 %	
35	es.scribd.com Fuente de Internet	 Dr. JOSÉ MODESTO CARRILLO SARANGO Código ORCID: 0000-0003-0841-3064	<1 %
36	idoc.tips Fuente de Internet	<1 %	
37	repositorio.chapingo.edu.mx:8080 Fuente de Internet	<1 %	
38	Amira G. Siniscalchi, Maria Soledad Diaz, Rubén José Lara. "Sustainable long-term mitigation of floods and droughts in semiarid regions: Integrated optimal management strategies for a salt lake basin", Ecohydrology, 2022 Publicación	<1 %	
39	es.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %	

40 tesis.ucsm.edu.pe <1 %
Fuente de Internet

41 Submitted to Universidad Nacional Abierta y a <1 %
Distancia, UNAD,UNAD
Trabajo del estudiante

42 Submitted to Universidad Tecnologica del <1 %
Peru
Trabajo del estudiante

43 www.mitma.gob.es <1 %
Fuente de Internet


Dr. JOSÉ MODESTO CARRILLO SARANGO
Código ORCID: 0000-0003-0841-3064

Excluir citas Activo

Excluir bibliografía Activo

Excluir coincidencias < 15 words

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco a Dios por guiar mis pasos, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad, por brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo de felicidad.

Agradezco a mis padres por ser mi motor de impulso, por haberme tenido la paciencia necesaria por motivarme a seguir adelante.

A mi asesor de tesis, Dr. José Modesto Carrillo Sarango, por su orientación, paciencia y valiosos aportes que contribuyen al desarrollo de este trabajo.

A mis amigos y colegas, quienes me brindaron palabras de aliento y compartieron conmigo momentos de esfuerzo y aprendizaje.

Finalmente, a todas aquellas personas e instituciones que, de alguna manera, contribuyeron a la realización de esta investigación.

DEDICATORIA

A mis padres “Anibal y Charito”

A mis hermanos “Juan Y. y Darlin H.”

A mi familia y amigos

Dedicado para todos ustedes

ÍNDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN	19
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	22
2.1. ANTECEDENTES.....	22
2.1.1. Nivel internacional.....	22
2.1.2. Nivel nacional	23
2.2. MARCO CONCEPTUAL.....	25
2.2.1. Generalidades del cultivo	25
2.2.2. Requerimientos climáticos para el cultivo del cacao	26
2.2.3. Requerimientos Edáficos del Cacao.	27
2.2.4. Necesidades hídricas del cultivo de cacao.	29
2.2.5. Factores climáticos y edáficos en la determinación de las necesidades hídricas.	29
2.2.6. Técnicas y metodologías para la determinación de las necesidades hídricas.	30
2.2.7. Prácticas de manejo de riego por inundación.	35
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	36
3.1. UBICACIÓN DEL ÁREA EN ESTUDIO.....	36
3.1.1. Ubicación geopolítica.....	37
3.1.2. Ubicación geodésica.....	37
3.2. MATERIALES, EQUIPOS, HERRAMIENTAS Y OTROS.....	38
3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	39

3.3.1. POBLACIÓN.....	39
3.3.2. MUESTRA.....	39
3.4. DIAGRAMA METODOLÓGICO.....	39
3.4.1. Etapa I. Analizar los factores climáticos y edáficos del fundo Nueva Esperanza I.	40
3.4.2. Etapa II. Desarrollar técnicas precisas para determinar las necesidades hídricas del cultivo de cacao en el fundo Nueva Esperanza I.	43
3.4.3. Etapa III: Recomendar las practicas optimas de manejo de riego por inundación en el fundo Nueva Esperanza I.....	46
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	47
4.1. RESULTADOS.....	47
4.1.1. ANÁLISIS DE FACTORES CLIMÁTICOS Y EDÁFICOS DEL FUNDO.....	47
4.1.2. DETERMINACIÓN DE LAS NECESIDADES HÍDRICAS DEL CULTIVO DE CACAO EN FUNDO NUEVA ESPERANZA I.....	57
4.1.3. RESULTADOS DE LA OBSERVACIÓN DE CAMPO Y EVALUACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DEL AGUA EN EL FUNDO NUEVA ESPERANZA I.....	78
4.2. DISCUSIÓN.....	79
4.2.1. FACTORES CLIMÁTICOS Y SU IMPACTO EN EL CULTIVO DE CACAO.....	79
4.2.2. CARACTERÍSTICAS EDÁFICAS Y SU RELACIÓN CON LA RETENCIÓN DE AGUA.....	79
4.2.3. EVAPOTRANSPIRACIÓN Y BALANCE HÍDRICO.....	80
V. CONCLUSIONES.....	81

VI. RECOMENDACIONES	82
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	83
ANEXOS.....	85

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: MAPA DE UBICACIÓN DEL ÁREA EN ESTUDIO	36
FIGURA 2: MAPA DE UBICACIÓN GEOPOLÍTICA.	37
FIGURA 3: MAPA DE UBICACIÓN GEODÉSICA.	37
FIGURA 4: MAPA DE UBICACIÓN DE LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA.	41
FIGURA 5: MAPA DE PUNTOS DE REFERENCIA PARA EL MUESTREO.	42
FIGURA 6: MEDIDOR DE HUMEDAD DE SUELO.	44
FIGURA 7: MAPA DE PUNTOS DE MEDICIÓN DE HUMEDAD EN EL FUNDO.	45
FIGURA 8: ANÁLISIS TENDENCIA DE TMAX °C (2014-2023)	48
FIGURA 9: ANÁLISIS DE TENDENCIA TMIN °C (2014-2023).	48
FIGURA 10: ANÁLISIS DE TENDENCIA DE HUMEDAD RELATIVA %.	49
FIGURA 11: ANÁLISIS DE TENDENCIA DE PRECIPITACIÓN (MM).	50
FIGURA 12: ANÁLISIS DE TENDENCIA DE VELOCIDAD DEL VIENTO (M/S).	51
FIGURA 13: ANÁLISIS DE TENDENCIA DE HORAS DE SOL.	52
FIGURA 14: ANÁLISIS DE TENDENCIA DEL TENSÍOMETRO N°1.	63
FIGURA 15: ANÁLISIS DE TENDENCIA DEL TENSÍOMETRO N°2.	64
FIGURA 16: ANÁLISIS DE TENDENCIA DEL TENSÍOMETRO N°3.	64
FIGURA 17: ANÁLISIS DE TENDENCIA DEL TENSÍOMETRO N°4.	65
FIGURA 18: ANÁLISIS DE TENDENCIA DEL TENSÍOMETRO N°5.	66
FIGURA 19: ANÁLISIS DE TENDENCIA DEL TENSÍOMETRO N°6.	66
FIGURA 20: ANÁLISIS DE TENDENCIA DEL TENSÍOMETRO N°7	67
FIGURA 21: ANÁLISIS DE TENDENCIA DEL TENSÍOMETRO N°8.	68
FIGURA 22: FORMULAS INDIRECTAS PARA CC% Y PMP%.	69
FIGURA 23: COMPARATIVO DE EFICIENCIA DE USO DE AGUA PARA RIEGO.	72
FIGURA 24: GRÁFICA N° 15 DE BALANCE HÍDRICO DEL CULTIVO DE CACAO.....	76
FIGURA 25: PANEL FOTOGRÁFICO DE EXTRACCIÓN DE MUESTRA DE SUELO.	92
FIGURA 26: PANEL FOTOGRÁFICO DE MEDICIONES DE CAMPO.....	101
FIGURA 27: PANEL FOTOGRÁFICO DE APLICACIÓN DE RIEGO.....	103

FIGURA 28: PANEL FOTOGRÁFICO DE OBSERVACIÓN DE CAMPO.	112
FIGURA 29: PANEL FOTOGRÁFICO DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA EN EL FUNDO.	114

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: CLASIFICACIÓN DE NIVEL DE HUMEDAD.	44
TABLA 2: CLASIFICACIÓN DE NIVEL DE INTENSIDAD SOLAR.	44
TABLA 3: COEFICIENTE DEL CULTIVO DE CACAO	45
TABLA 4: CLASIFICACIÓN DE TEXTURA DE SUELO.	53
TABLA 5: PH Y CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL SUELO	54
TABLA 6: CLASIFICACIÓN DE CONDUCTIVIDAD ELECTICA (CE).....	54
TABLA 7: CLASIFICACIÓN DE PH DEL SUELO.	55
TABLA 8: DETERMINACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA.....	55
TABLA 9: PERMEABILIDAD DEL SUELO.	56
TABLA 10: VARIABLES CLIMATOLÓGICAS.....	57
TABLA 11: CC% Y PMP%	69
TABLA 12: PROMEDIO PONDERADO DE CC% Y PMP%	70
TABLA 13: FRECUENCIA DE RIEGO MENSUAL.	71
TABLA 14: DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA HÍDRICA DEL CULTIVO DE CACAO	73
TABLA 15: DETERMINACIÓN DE LA OFERTA HÍDRICO.	74
TABLA 16: DETERMINACIÓN DE LA OFERTA HÍDRICA.....	75
TABLA 17: BALANCE HÍDRICO PARA EL CULTIVO DE CACAO.....	76
TABLA 18: VALORES DEL FACTOR DE PONDERACIÓN W, A DIFERENTES TEMPERATURAS Y ALTITUDES.	86
TABLA 19: DURACIÓN MÁXIMA DIARIA DE HORAS DE FUERTE INSOLACIÓN "N" EN DIFERENTES MESES Y LATITUDES.	86
TABLA 20: LA RADIACIÓN EXTRATERRESTRE "RA" EXPRESADA EN EQUIVALENTES DE EVAPORACIÓN MM/DÍA.	87
TABLA 21: EFECTO DE LA TEMPERATURA F(T).	87
TABLA 22: PRESIÓN DE SATURACIÓN DEL VAPOR "EA" EN MBAR, EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA MEDIA DEL AIRE T EN C°.....	88
TABLA 23: FACTOR DE AJUSTE "C".....	88
TABLA 24: TEMPERATURA MÁXIMA MEDIA MENSUAL (°C).	89
TABLA 25: TEMPERATURA MÍNIMA MEDIA MENSUAL (°C).	89
TABLA 26: HUMEDAD RELATIVA MEDIA MENSUAL (MM).	90
TABLA 27: PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL (MM).	90
TABLA 28: VELOCIDAD DEL VIENTO (M/S).	91

TABLA 29: HORAS DE SOL MEDIA MENSUAL.....	91
TABLA 30: PERMEABILIDAD DE LAS MUESTRAS DE SUELO.....	97
TABLA 31: INTERPOLACIÓN DE LA VARIABLE "N" DURANTE EL AÑO.....	98
TABLA 32: INTERPOLACIÓN DE LA VARIABLE "RA" DURANTE EL AÑO.....	98
TABLA 33: INTERPOLACIÓN DE VARIABLE "C" DURANTE EL AÑO.....	99
TABLA 34: INTERPOLACIÓN DE LA VARIABLE "W" DURANTE EL AÑO.....	99
TABLA 35: INTERPOLACIÓN DE LA VARIABLE "EA" DURANTE EL AÑO.....	100
TABLA 36: INTERPOLACIÓN DE LA VARIABLE F(T) DURANTE EL AÑO.....	100

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: TABLAS DE PARÁMETROS PARA CALCULAR LA ECUACIÓN DE PENMAN MODIFICADA.....	86
ANEXO 2: DATOS RECOPIADOS DE VARIABLES METEOROLÓGICAS DE LA ESTACIÓN TUMPIS PARA LOS ANÁLISIS DE TENDENCIA.....	89
ANEXO 3: RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA DE SUELO EN EL FUNDO NUEVA ESPERANZA I.....	92
ANEXO 4: LABORATORIO DE SUELO DE LA FACULTAD CIENCIAS AGRARIAS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES.....	94
ANEXO 5: CÁLCULOS PARA LA DETERMINACIÓN DE TEXTURA DE SUELO.....	96
ANEXO 6: CLASIFICACIÓN DE LA TEXTURA DE SUELO SEGÚN LOS PORCENTAJES DE ARCILLA, ARENA Y LIMO...96	96
ANEXO 7: TABLA DE RESULTADOS DE LA MEDICIÓN DE PERMEABILIDAD.....	97
ANEXO 8: DETERMINACIÓN DE LA FRECUENCIA DE RIEGO.....	97
ANEXO 9: TABLAS DE INTERPOLACIÓN DE VARIABLES DE PENMAN MODIFICADA DE CADA MES.....	98
ANEXO 10: MEDICIONES DE CAMPO DE HUMEDAD RELATIVA E INTENSIDAD SOLAR.....	101
ANEXO 11: REGISTRO DE RIEGO EN EL FUNDO NUEVA ESPERANZA I.....	103
ANEXO 12: CÁLCULOS PARA DETERMINAR LAS NECESIDADES HÍDRICAS.....	104
ANEXO 13: RESOLUCIÓN DE LA OFERTA DE AGUA.....	110
ANEXO 14: RESULTADOS DEL MONITOREO DE RECURSO HÍDRICO.....	112
ANEXO 15: EVALUACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN HÍDRICA EN EL FUNDO AGRÍCOLA.....	113
ANEXO 16: GRAFICAS DE TENDENCIA POR MESES DURANTE LOS AÑOS.....	114

RESUMEN

El presente estudio titulado “Determinación de las necesidades hídricas del cultivo de cacao en el fundo Nueva Esperanza I – Papayal – Zarumilla – Tumbes – 2024” se analizó factores climáticos, edáficos y el manejo hídrico del cultivo de cacao. Los datos climáticos (2014 – 2023) revelaron que las temperaturas máximas presentaron una tendencia al alza, mientras que las mínimas descendieron gradualmente, afectando la disponibilidad hídrica. La humedad relativa mostró un incremento favorable para el cultivo, pero la precipitación evidenció fluctuaciones críticas que exigen un manejo adaptativo.

El análisis edáfico identificó suelos franco arenosos con un buen drenaje, aunque limitada retención de agua y nutrientes. El pH (5,76 – 6,25) y la baja conductividad eléctrica fueron adecuados para el cacao. La materia orgánica (3 – 11,2 t/ha) en las 2,56 ha del fundo. Sugiere la necesidad de fertilización adicional mediante abonos orgánicos.

Las mediciones de humedad del suelo reflejaron una relación inversa con la intensidad solar, mostrando pérdida de humedad en periodos de alta radiación.

El análisis anual de las necesidades hídricas del cacao muestra variaciones en la evapotranspiración y las demandas netas de agua, influenciadas por las condiciones climáticas. Con una eficiencia del sistema de riego del 30%, el volumen de agua requerido en un área de 2,56 Ha varío entre 9,650.76 m^3 en febrero y 16,748.59 m^3 diciembre.

La infraestructura hídrica presentó deficiencias, generando déficits de riego que afectarán la uniformidad del cultivo. El balance hídrico indicó una demanda insatisfecha durante la mayor parte del año, destacando la importancia de ajustar la frecuencia de riego en función de la evapotranspiración y las características del suelo.

Palabras clave: Necesidades hídricas, infraestructura hídrica, evapotranspiración.

ABSTRACT

The present study titled "Determination of Water Requirements for Cocoa Cultivation in the Nueva Esperanza I Estate – Papayal – Zarumilla – Tumbes – 2024" analyzed climatic and edaphic factors, as well as water management for cocoa cultivation. Climatic data (2014–2023) revealed an upward trend in maximum temperatures, while minimum temperatures gradually decreased, affecting water availability. Relative humidity showed a favorable increase for the crop, but precipitation displayed critical fluctuations requiring adaptive management.

The soil analysis identified sandy loam soils with good drainage, although with limited water and nutrient retention. The pH (5.76–6.25) and low electrical conductivity were suitable for cocoa. Organic matter content (3–11.2 t/ha) in the 2.56 ha of the estate suggests the need for additional fertilization through organic amendments.

Soil moisture measurements reflected an inverse relationship with solar intensity, showing moisture loss during periods of high radiation.

The annual analysis of cacao water needs showed variations in evapotranspiration and net water demands, influenced by climatic conditions. With an irrigation system efficiency of 30 %, the water volume required in an area of 2.56 ha ranged from 9,650.76 m^3 in February to 16,748.59 m^3 in December.

The water infrastructure showed deficiencies, causing irrigation deficits that will affect crop uniformity. The water balance indicated an unmet demand during most of the year, highlighting the importance of adjusting irrigation frequency based on evapotranspiration and soil characteristics.

Keywords: Water needs, water infrastructure, evapotranspiration.

I. INTRODUCCIÓN

El cacao (*Theobroma Cacao* L.) es uno de los cultivos más importante en muchas regiones tropicales del mundo, debido a su valor económico, La eficiencia hídrica en la agricultura se ha convertido en un tema de vital importancia en contexto actual de cambio climático y escasez de recursos hídricos. Calcular la evapotranspiración resulta fundamental, ya que permite estimar las demandas y la frecuencia de riego al cultivo de referencia. En este sentido, el cultivo de cacao, que es una de las actividades principales y fuente de ingreso para muchas regiones tropicales, enfrenta desafíos significativos en la relación con el agua.

Esta investigación se enfoca en la determinación de las necesidades hídricas en el cultivo de cacao en el fundo Nueva Esperanza I durante el año 2024, con un énfasis particular en la evapotranspiración y los requerimientos de riego. Según (G Allen, et al. 2006) la evapotranspiración es la conjunción de dos procesos distintos mediante los cuales el agua se pierde: uno a través de la superficie del suelo a través de la evaporación, y otro por a través de la transpiración de las plantas, constituye un proceso fundamental que determina la demanda de agua del cultivo y su interacción con el medio ambiente. Por otro lado, los requerimientos de riego son esenciales para garantizar un suministro adecuado de agua que satisfaga las necesidades del cultivo sin comprometer la productividad ni la calidad del cultivo.

El objetivo principal de esta tesis es proporcionar una evaluación detallada y precisa de necesidades hídricas del cultivo de cacao en el fundo Nueva Esperanza I, con el fin de informar y mejorar la práctica de manejo del agua en esta área. A través de la recopilación y análisis de datos meteorológicos, mediciones de campo y modelos de simulación, se pretende obtener una comprensión más profunda de los procesos de evapotranspiración y los requerimientos de riego del cacao en condiciones locales específicas. Los resultados de esta investigación contribuyan significativamente al saber científico y práctico en el ámbito de la gestión del agua agrícola, al tiempo que proporcionen recomendaciones y directrices específicas para mejorar las necesidades hídricas y la sostenibilidad del cultivo de cacao en el fundo Nueva Esperanza I. El riego es un elemento crucial para el desarrollo económico y la sostenibilidad agrícola en el Perú, siendo especialmente relevante para cultivos como el cacao.

Según el Banco Mundial (2013), una gestión adecuada del agua no solo impulsa la productividad agrícola, sino que también contribuyen a reducir la pobreza y adaptarse al cambio climático. En el caso del cultivo de cacao, las enfermedades y el estrés hídrico representan factores críticos que pueden ocasionar pérdidas de hasta el 100 % de la cosecha en condiciones ambientales adversas (Cruz Landero, 2014). Para garantizar una producción óptima, es esencial mantener la humedad del suelo en un rango del 50 al 70%, mediante un manejo adecuado del riego. El cacao es particularmente vulnerable a la falta de agua, lo que impacta directamente en su rendimiento. Este cultivo requiere entre 1500 y 2500 mm anuales de agua, dependiendo de las condiciones climáticas y agronómicas (Vargas Acosta, 2022). Sin embargo, en muchas regiones, como en el fundo Nueva Esperanza I, no se cuenta con sistemas de riego adecuados para compensar las pérdidas ocasionadas por la evapotranspiración, especialmente en la temporada de verano, cuando la disponibilidad del agua es limitada. Esto resulta en una baja productividad y una rentabilidad limitada para el agricultor.

El manejo eficiente del agua es una prioridad para la sostenibilidad agrícola. Según Campos et al. (2018), el uso de herramientas como estaciones meteorológicas y el análisis del suelo son estrategias clave para monitorear la humedad y prevenir el estrés hídrico en el cultivo. Estos enfoques permiten tomar decisiones precisas sobre las cantidades y frecuencia de riego necesarias adaptadas a las condiciones locales y las necesidades específicas de cada cultivo (Mitma Huamaní, 2015). Sin embargo, en fundo Nueva Esperanza I, la falta de estudios específicos sobre la evapotranspiración y las demandas hídricas del cacao dificulta la implementación de estrategias de riego eficientes.

En este contexto, la presente investigación se centra en determinar las necesidades hídricas del cultivo de cacao en fundo Nueva Esperanza I, ubicado en la provincia de Zarumilla. Este estudio busca proporcionar datos precisos sobre la evapotranspiración y los requerimientos hídricos del cultivo, lo que permitirá implementar sistemas de riego más eficientes. Estos no solo mejorarán la calidad y el rendimiento del cacao, sino que también contribuirán al uso sostenible del recurso hídrico y al desarrollo económico y social de la comunidad.

Para alcanzar estos objetivos, esta investigación busca:

1. Analizar los factores climáticos y edáficos que influyen en el cultivo de cacao en el fundo Nueva Esperanza I.
2. Desarrollar técnicas necesarias para determinar las necesidades hídricas del cultivo, considerando valores locales de evapotranspiración y características del suelo.
3. Recomendar prácticas de manejo de riego por inundación, adaptadas a las condiciones del fundo Nueva Esperanza I, que permitan optimizar el uso del agua.

La importancia de este estudio radica en su justificación práctica, social, técnica y económica. Desde el punto de vista práctico, determinar la evapotranspiración y los requerimientos hídricos del cacao permitirá gestionar el riego de manera eficiente, garantizando que las plantas reciban la cantidad adecuada en el momento oportuno. Esto no solo mejorará el rendimiento y la calidad del cacao, sino que también reducirá los costos asociados con el uso excesivo de agua. En términos sociales, una gestión hídrica eficiente aumentará la productividad y rentabilidad del cultivo, beneficiando directamente al agricultor y a su familia, al tiempo que contribuirá al desarrollo económico de la comunidad.

Desde la perspectiva técnica, esta investigación emplea métodos científicos avanzados para obtener datos precisos y confiables sobre las necesidades hídricas del cacao, lo que permitirá desarrollar soluciones prácticas que impulsen la sostenibilidad agrícola en la región. Finalmente, desde el enfoque económico, un manejo adecuado del riego puede incrementar significativamente la rentabilidad del cultivo, generando mayores ingresos para el agricultor y fortaleciendo la economía local.

Esta investigación busca no solo resolver los desafíos específicos del fundo Nueva Esperanza I, sino también aportar conocimientos que puedan ser replicados en otras regiones agrícolas del Perú, promoviendo prácticas sostenibles de riego y mejorando la resiliencia de los sistemas productivos frente al cambio climático.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES

2.1.1. Nivel internacional

(Macías Dumes & Pino Peralta, 2023) en su revista “Valor económico de la huella hídrica de cacao arriba (Theobroma Cacao)”. Para fomentar el aprovechamiento sostenible del agua, calcularon el impacto del cultivo de cacao en el uso del agua, evaluando la evapotranspiración del agua verde y el agotamiento del agua azul en la cuenca de los ríos. Sus proyecciones fueron con la metodología de Hoekstra et al. (2021). Lo cual utilizaron datos locales con el software CROPWAT 8.0.

Concluyen que la huella hídrica verde del cultivo de cacao es menor que el promedio nacional de Ecuador. Además, el impacto económico del uso del agua en el cultivo es inferior al valor económico total del consumo de agua de los hogares y negocios en una región de Guayaquil.

(Hernández Arango, 2019) en su tesis de pregrado titulada “Sistema de riego automatizado por micro aspersión para el cultivo de cacao en el Municipio de Cabuyaro, Meta”. Determina que la automatización de riego en el cultivo de cacao permite controlar la aplicación del agua según las necesidades del cultivo, asegurando un uso eficiente del recurso hídrico y optimizando la producción, también nos indica que en la actualidad existen dispositivos que monitorean variables clave del sistema de riego, como la demanda, los equipos de bombeo, válvulas y sensores de humedad. Estos dispositivos permiten el seguimiento y control del sistema, asegurando su correcto funcionamiento y la gestión eficiente del agua y la energía.

(Cornejo Zambrano, 2023) en su tesis de pregrado titulada “Frecuencia de riego para el cultivo de cacao (Theobroma sp) en fase de desarrollo para la época seca”. Determina que las frecuencias de riego más efectivas para los factores analizados, de consideraron los del tratamiento (T1) y (T2), consistentes en dos riegos diarios y un riego al día, respectivamente. La frecuencia de riego calculadas para el cultivo de cacao mostró un mejor promedio en la estatura, la cantidad de brotes y el grosor del tallo, optimizando las propiedades agronómicas de las plantas de cacao.

(Aveiga Falcones, 2017) en su tesis de pregrado titulada “Determinación del régimen

de riego de proyecto para los cultivos cacao y maíz en las condiciones edafoclimáticas del cantón Chone” en sus resultados. Para el cultivo de cacao, este cálculo realiza de enero a diciembre, considerando una extensión de raíz de 70 cm y un kc de 0.9 adecuado para su fase de crecimiento y el clima del cantón (calidad – tropical).

- En suelos de textura fina, determino que se necesitan 12 riegos, con una contribución acumulada a lo largo del año de 5498 m³ de agua por hectárea entre mayo y diciembre.
- En suelos de textura media, determino que se necesitan 13 riegos, con una contribución acumulada a lo largo del año de 5665 m³ de agua por hectárea entre mayo y diciembre.

Concluye. En la cantidad de agua necesaria según las directrices de riego para el cultivo de cacao durante un año, con una eficiencia del 0.85 en el sistema de riego por aspersión, es de 4763 m³ por hectárea en suelos de textura fina y de 4815 m³ por hectárea en suelos de textura media.

(Valdivieso López , 2017) en su tesis “Optimización de la asignación de agua de riego para los cultivos de área de influencia del sistema Carrizal – Chone” determina que las necesidades totales de riego y la planificación de riego para distintos cultivos, pueden ser de utilidad para el sector agrícolas, con elaboración de calendarios y dosis de riego específicas para cada cultivo, teniendo en cuentas los datos climáticos, suelo y estadios de desarrollo de los cultivos.

2.1.2. Nivel nacional

(Ramirez Silva, 2023) en su tesis “Necesidades hídricas del teobroma cacao I. (cacao) en la etapa de producción, fundo Miraflores, Nuevo Bambamarca – Tocache” concluye. Que la evapotranspiración potencial estimada mediante el método Penmam – Monteith fluctuó entre 2,36 y 5,40 mm/día durante los seis meses de investigación, registró una cifra mínima promedio en 3,86 mm/día y una cifra máximo promedio de 4,28 mm/día, totalizando 744,40 mm para todo el período de estudio. Por otro lado, determino cantidad de agua requerida para el riego varía según el mes: en septiembre se requieren 94,69 mm, en octubre 79,88 mm, en diciembre 49,94 mm, enero 50,32 mm y en febrero 57,85 mm. Resulta en septiembre se destaca

como el mes más crítico, por otro la cantidad estimada por hectárea para compensar la insuficiencia de agua fue de 946,90 m³/ha en septiembre, 798,80 m³/ha en octubre, 815,80 m³/ha en noviembre, 499,40 m³/ha en diciembre, 503,20 m³/ha en enero, 578,50 m³/ha en febrero.

(Zambrano Chávez, 2023) en su tesis “Diagnóstico del suelo y requerimientos hídricos para el cultivo de cacao (*theobroma cacao*) en la finca San Vicente, la Troncal” concluye. Que en los resultados de la evapotranspiración de referencia muestran un máximo de 4.62 mm/día en marzo y abril, y un mínimo promedio de 3.06 mm/día en noviembre, basándose en su diagnóstico y los requerimientos hídricos de cultivo, destaca la importancia de una gestión eficiente del agua, dada la escasa precipitación efectiva, que representa solo un tercio del año, y el nivel freático ubicado a 10 metros de profundidad. Recomienda la implementación de programa riego que arrojó una necesidad anual de riego de 1087.3 mm, completamentada con una contribución de 1453.7 mm por precipitación.

(Blaya, et al., 2019) en su propuesta de tesis doctoral “Estudio de indicadores de estrés hídrico de suelo y planta y su aplicabilidad a la programación automática del riego deficitario en frutales” concluyen. Que en áreas seca y semiáridas, donde la oferta de agua es el principal desafío para la producción agrícola, el empleo de técnicas de riego deficitario, junto con la aplicación de tecnologías modernas podría promover una mayor utilización eficiente del agua y la sostenibilidad de la agricultura de riego.

(Ortiz Palomino, 2018) en su tesis “Evapotranspiración del cultivo para calcular la demanda de agua del tomate (*lycopersicum esculentum*) en condición de invernadero y campo abierto a 2760 msnm – Ayacucho” concluye. En la evapotranspiración del cultivo tomate en condiciones de invernadero muestra una variación significativa a lo largo del año. Durante el mes de junio, se registra un mínimo de 0,58 mm por día, mientras que en agosto alcanza su máximo valor de 1.77 mm por día. Por otro lado, evapotranspiración en campo abierto, utilizando datos de la estación meteorológica de INIA, muestra variaciones similares, con un mínimo de 1,01 mm por día en junio y un máximo de 3,33 mm por día en octubre.

(Cervantes Ortega & Huachua Tispimana, 2018) en su tesis “Determinación de la

evapotranspiración del cultivo de pecano (*carya illinoensis koch*) variedad mahan en la zona baja del valle de Ica” concluyen. Que en sus resultados obtenidos para calcular la evapotranspiración del cultivo de pecano en las condiciones específicas del valle de Ica son significativos, ya que empleó la metodología recomendada por la FAO. Determinaron un valor de evapotranspiración del cultivo de pecano de 7, 231.80 m³/ha por campaña.

(Mesias Restrepo, 2019) en su tesis “Implementación de una herramienta informática de agricultura específica por sitio (AEPS) para el cálculo balance hídrico priorizado en el cultivo de caña de azúcar” concluye. En que determinar las frecuencias de riego fue crucial para asignar los recursos hídricos necesarios para compensar los déficits de precipitación, destacando la necesidad de infraestructura para la evacuación del exceso de humedad. En el estudio se enfocó basado en el equilibrio entre precipitación y evapotranspiración, e integrado factores como el clima, el suelo y la plata permitiendo desarrollar una propuesta efectiva de riego.

(de Aragón) en su artículo “Simposio sobre optimización de los recursos hídricos” concluye. Que el impacto del agua en la agricultura es significativo, y existen numerosas conexiones entre el agua, el suelo y la vegetación. Se anticipa que el uso de agua en España se duplicará en menos de treinta años. Por lo tanto, es fundamental optimizar el uso de la escorrentía superficial y administrar de manera efectiva los acuíferos subterráneos. Esto permitirá afrontar futuras sequías en mejores condiciones y controlar las inundaciones que pueden causar daños significativos.

2.2. MARCO CONCEPTUAL.

2.2.1. Generalidades del cultivo

2.2.1.1. Cacao

El cacao es una planta perteneciente de la familia Sterculiaceae y al género Theobroma, es nativo de Sudamérica, posiblemente de las cuencas hidrográficas de la Amazonia y Oricono, donde se descubrió en su hábitat natural, creciendo bajo la cubierta de grandes árboles autóctonos (Sabando & Molina, 2018, pág. 20)

Taxonomía del cacao:

Según (Macías Zambrano, 2013), la taxonomía del cacao es la siguiente:

- a. Orden: Malvales
- b. Familia: Esterculiáceas
- c. Tribu: Bitnerieas
- d. Género: Theobroma
- e. Especie: Theobroma Cacao L.

2.2.1.1.1. Morfología del cacao

- a) Sistema radicular:** La forma y el crecimiento de las raíces del cacao depende primordialmente de la estructura, textura y la consistencia del suelo, la raíz principal crece unos 2 m de profundidad en suelos sueltos, poseen numerosas raíces secundarias que salen en los lados en los primeros 30 centímetros del suelo.
- b) Tronco:** Es perpendicular y su forma varía según las podas de formación, también teniendo una estructura leñosa.
- c) Flores:** Son diminutas y se agrupan en pequeños racimos llamados cojines florales, que pueden contener entre 40 y 60 flores. Estas brotan del tronco y de las ramas de formación, sostenidas por un pedúnculo del cual están unidas las flores.

2.2.2. Requerimientos climáticos para el cultivo del cacao

El manual de cultivo de cacao elaborado por el Ministerio de Agricultura (Arce, 2003), identifica seis condiciones climáticas importantes para el cultivo de cacao.

- a) Precipitación:** El cacao requiere una cantidad adecuada de agua para llevar a cabo sus funciones metabólicas. La lluvia es el elemento climático que experimenta más cambio a lo largo del año. Su distribución varía significativamente de una región a otra y juega un papel fundamental. La precipitación adecuada para el cacao se sitúa entre 1600 y 2500 mm, repartida de manera equitativa a lo largo de todo el año.
- b) Temperatura:** La temperatura es un factor crucial para el desarrollo, floración y maduración del cacao. La temperatura media anual ideal es aproximadamente 25 C°. Las temperaturas bajas afectan la velocidad de crecimiento vegetativo.

c) Altitud: El cacao prospera en regiones tropicales, siendo cultivado desde el nivel del mar hasta los 800 metros de altitud.

Sin embargo, cerca del Ecuador, las plantaciones pueden desarrollarse adecuadamente a altitudes mayores, que varían entre 1000 y 1400 metros sobre el nivel del mar.

d) Factores de cultivo: cuando evaluamos la evaporación y transpiración en cultivos extensos y bien gestionados, debemos tener en cuenta la clase de cultivo, su variedad y su fase de desarrollo. Estas diferencias, como la resistencia a la transpiración, la altura y la cobertura del suelo, generan distintos niveles de pérdida de agua, hasta en condiciones ambientales estándar comparables. La evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar (ETc) refleja la cantidad de agua que la atmósfera requiere para la evaporación sobre cultivos óptimamente manejados y ambientalmente adecuados, alcanzando su potencial de producción en condiciones climáticas específicas.

e) Luminosidad: La cantidad de luz que necesita el cacao varía según su etapa de desarrollo. Para cultivos menores de 4 años, se requiere entre el 40 y el 50% de horas de luz al día, mientras que, para cultivos mayores de 4 años, se necesita entre el 60 y el 75% de luz diaria.

2.2.3. Requerimientos Edáficos del Cacao.

2.2.3.1. Tipo de suelo

Para plantar cacao, es preferible elegir suelos de textura franco – arcillosa que cuenta con un sistema de drenaje adecuado y una inclinación que evite la acumulación excesiva de agua (Guerrero Guerrero, 2019).

2.2.3.2. Drenaje

Esto está determinado por el clima local, la forma del terreno, la propensión del área a inundaciones y la capacidad natural del suelo para retener la humedad adecuadamente y permitir una buena circulación de aire. Los problemas de drenaje interno pueden surgir debido a la disposición de diferentes texturas en las capas del suelo (Arce, 2003).

Por ejemplo, cuando hay arcilla en las capas más profundas, el movimiento rápido

del agua puede verse obstaculizado, lo que lleva a procesos de oxidación y reducción que causan manchas en el suelo.

2.2.3.3. pH del suelo

El cacao prospera mejor cuando el pH del suelo esta entre 6.0 y 6.5, lo que facilita altos rendimientos. No obstante, puede adaptarse a condiciones extremas, desde suelos muy ácidos hasta muy alcalinos, con valor de pH que varían entre 4.5 y 8.5. Cuando el pH es inferior a 4.5 o superior a 8.5, la producción puede disminuir considerablemente, se recomienda aplicar enmiendas para corregir el pH del suelo (Arce, 2003).

2.2.3.4. Sustancia orgánica

La presencia de sustancia orgánica es crucial para mejorar la salud del suelo y, por ende, la nutrición de las plantas. Su cantidad influye en las propiedades físicas y biológicas del suelo en el cultivo. Además, contribuye a mejorar las estructuras del suelo, facilitando su descomposición. Un aspecto relevante de la sustancia orgánica es que sirve como fuente de alimento para los microorganismos del suelo, que desempeñan un papel activo en la formación y desarrollo del suelo (Arce, 2003).

2.2.3.5. Saturación.

Según (Lanfranco, et al., 2014), se refiere al estado en cual los espacios del suelo están saturados de agua, de modo que ya no pueden retener más agua. En otras palabras, es cuando el suelo está completamente empapado de agua y cualquier exceso de agua no puede ser absorbido, lo que puede llevar a problemas de encharcamiento.

2.2.3.6. Punto de marchitamiento permanente (PMP).

El punto de marchitez permanente (PMP) se refiere al nivel de húmeda más bajo en el cual una planta no puede absorber agua del suelo ni recobrase de la pérdida hídrica, incluso planta en esas condiciones de humedad carecerá de la capacidad para obtener agua.

2.2.3.7. Capacidad de campo (CC).

(Jaramillo Jaramillo, 2002), define como el nivel de humedad que permanece en el

suelo después de que sus macro poros han completado el drenaje.

Esta condición de humedad se alcanza después de permitir que el suelo saturado drene completamente, generalmente en un período de 48 a 72 hora.

2.2.4. Necesidades hídricas del cultivo de cacao.

En términos de riego, el agua disponible para las plantas es aquella presente entre la capacidad de retención de agua del suelo y el punto en el que las plantas no pueden recuperar la humedad. Es esencial evitar que la humedad del suelo descienda hasta el punto de marchitez, ya que esto podría reducir significativamente los rendimientos. Por ello, el riego debe ajustarse al umbral productivo, considerando el avance del desarrollo de la planta, la composición del suelo y las técnicas de riego empleadas. Las raíces del cacao no son uniformes: las raíces son ancha y ramificadas en la capa superior del suelo, volviéndose más finas y menos densas en profundidad, resultando en una variación irregular de humedad en distintas capas del área radicular (Sabando Lucas & Molina Aquino, 2013).

2.2.5. Factores climáticos y edáficos en la determinación de las necesidades hídricas.

Según la (FAO, 2006), las condiciones atmosféricas, las particularidades del cultivo, la gestión agrícola y el entorno de crecimiento son elementos que influyen en la pérdida de agua por evaporación y transpiración. Los divide en tres factores:

- a) Variables climáticas:** los relevantes factores climáticos que influyen en la evapotranspiración incluyen la radiación solar, la temperatura del aire, la humedad atmosférica y la velocidad del viento. Se ha desarrollado diversos **métodos para estimar la evaporación tomando en cuenta los factores.** La capacidad de evaporación de la atmósfera puede representarse mediante la evapotranspiración de referencia de los cultivos de (ET_o). La ET_o refleja la pérdida de agua de una superficie de cultivo estándar.
- b) Factores de cultivo:** cuando evaluamos la evaporación y transpiración en cultivos extensos y bien gestionados, debemos tener en cuenta la naturaleza

del cultivo, su diversidad genética y su etapa de crecimiento. Estas diferencias, como la resistencia a la transpiración, la altura y la cobertura del suelo.

Generan distintos niveles de pérdida de agua, incluso en condiciones estándar ambientales similares. La evapotranspiración del cultivo refleja la cantidad de agua que la atmósfera requiere de los cultivos para evaporarse, óptimamente manejados y ambientalmente adecuados, alcanzando su potencial de producción en condiciones climáticas específicas.

c) Manejo y condiciones ambientales: factores como la salinidad, la pobreza del suelo, la falta de fertilización adecuada, la presencia de capas dura en el suelo, la ausencia de control de enfermedades y el manejo deficiente del suelo puede limitar el crecimiento de los cultivos y disminuir la evaporación y transpiración. También es importante considerar la cobertura del suelo, la densidad de plantación.

2.2.6. Técnicas y metodologías para la determinación de las necesidades hídricas.

2.2.6.1. Evapotranspiración.

Según (G Allen, et al., 2006), que es un elemento crucial en el equilibrio hídrico y desempeña un papel fundamental al determinar las necesidades de agua de los cultivos y, por ende, en la planificación del riego. Se utiliza el termino Et porque es difícil distinguir entre los fenómenos de evaporación y transpiración, ya que ocurre simultáneamente.

2.2.6.2. Evapotranspiración del cultivo de referencia (ETc).

Se introdujo el concepto de evapotranspiración de referencia para analizar la demanda de evaporación u transpiración atmosférica, sin verse influenciado por el tipo de cultivo, su desarrollo o las prácticas de manejo. Dado que en la superficie de evapotranspiración de referencia hay una disponibilidad abundante de agua, los factores del suelo no afectan la ET. Al vincular la ET a una superficie específica, se establece un punto de referencia que permite comprar la ET de otras áreas. Esto evita la necesidad de establecer niveles de ET para cada cultivo y período de

crecimiento. Asimismo, se facilita la comparación de valores de evapotranspiración de referencia medidos o estimados en distintas ubicaciones o épocas del año, ya que todos hacen referencia a la ET bajo la misma superficie de referencia (Allen, et al., 2006). Se expresa de la siguiente ecuación.

Ecuación 1: Evapotranspiración del cultivo

$$ET_c = ET_o * K_c$$

Donde:

ET_c = Evapotranspiración del cultivo.

K_c = Coeficiente de cultivo.

Coeficiente de cultivo (K_c).

También denominado “coeficiente cultural”, este valor varía según el tipo de cultivo y su fase vegetativa, y suele calcularse por meses o por etapas específicas en las que su valor experimenta cambios a lo largo del ciclo del cultivo (Gualpa, 2014).

2.2.6.3. Método Penman Monteith Modificada.

La ecuación original de Penman consistía en dos términos: el término de energía o radiación y el término aerodinámico. Esta ecuación calcula la evaporación de una superficie de agua abierta teniendo en cuenta conjuntamente el viento y la humedad. El método modificado fue presentado por Doorenbos. TRANSSACCIONES WSEAS sobre MEDIO AMBIENTE y DESARROLLO (Hajare, Raman, & Dharkar, 2009) y Pruitt (1977). Este método introdujo una versión simplificada y aceptada de la ecuación, junto con un factor de corrección que considera las condiciones climáticas y nocturnas, ofreciendo los mejores resultados con errores mínimos para un cultivo de referencia. Es fácil de adoptar u proporcionar resultados cuando se disponen datos medidos de temperatura, humedad, viento y horas de sol. Es un método preciso para estimar la evapotranspiración, ya que utiliza casi todos los parámetros meteorológicos responsables del proceso, la ecuación modificada de Penman por la (FAO, 2006) se presenta a continuación.

Ecuación 2: Penman modificada

$$ET_o = c[W.R_n + (1 - W).f(u).(ea - ed)]$$

Donde:

ET_o = Evapotranspiración del cultivo de referencia (mm/día).

R_n = Radiación neta de evaporación equivalente (mm/día).

W = La temperatura, la altitud relaciona con el peso edad factor para el efecto de la radiación sobre la ET_o .

$f(u)$ = Función relacionada con el viento.

U = Velocidad del viento en Km/día.

$ea - ed$ = Déficit de presión de evaporación (m bar).

c = Factor de ajuste (relación U día/noche) efecto para la HR máxima y para R_s .

R_s = Radiación de onda corta entrante medido o estimado como en el método de radiación R_n radiación neta de onda larga (mm/día), que es función de la temperatura, presión de vapor y duración de sol.

ea = Presión de vapor de saturación en el aire medio temperatura en o / C (mbar)

ed = presión de vapor real media del aire (m bar).

Ecuación 3: Para calcular R_s .

$$R_s = \left(0.25 + 0.5 \frac{n}{N}\right) . Ra$$

Donde:

n = Horas de sol

N = Duración máxima diaria media de las horas fuertes de insolación en diferentes meses y latitudes.

Ra = La radiación extraterrestre.

Ecuación 4: Para calcular ed .

$$ed = \frac{ea * RH}{100}$$

Donde:

ea = Presión de saturación.

RH = Humedad relativa.

Ecuación 5: Para calcular $f(ed)$.

$$f(ed) = 0.34 - 0.044 * \sqrt{ed}$$

Ecuación 6: Para calcular $f(n/N)$.

$$f\left(\frac{n}{N}\right) = 0.1 + 0.9 * \left(\frac{n}{N}\right)$$

Donde:

n = horas de sol

N = duración máxima diaria media.

Ecuación 7: Para calcular Rnl .

$$Rnl = f(T) * f(ed) * f\left(\frac{n}{N}\right)$$

$f(T)$ = Efecto de la temperatura.

Ecuación 8: Para calcular Rn .

$$Rn = 0.75Rs - Rnl$$

Ecuación 9: Para calcular $f(u)$.

$$f(u) = 0.27 \left(1 + \frac{u}{100}\right)$$

Donde:

u = velocidad de viento km/día.

2.2.6.4. Balance hídrico.

Según Torres (1995), citado por (Mesias Restrepo, 2019), el balance hídrico se asemeja a una contabilidad del agua en el suelo, evaluando las ganancias y pérdidas de humedad.

El contenido de agua en el suelo aumenta con la precipitación (P) o el riego (R). Las pérdidas de humedad se deben principalmente a la transpiración de los cultivos (Tr) y a la evaporación desde la superficie del suelo (Ev). El balance entre estas

ganancias y pérdidas determina los cambios en el contenido de humedad del suelo (CHS) durante un periodo específico.

La ecuación básica del balance hídrico se expresa mediante la fórmula N°5.

$$\Delta S = P + I - ET - R \dots 5$$

Donde:

ΔS = Almacenamiento de agua del sistema.

P = Precipitación.

ET = Evapotranspiración.

R = Escorrentía.

Componentes del balance hídrico.

1. Entrada de agua.

- Precipitación (P): es cualquier tipo de hidrometeoro que se precipita desde la atmósfera y alcanza la superficie terrestre. Este evento abarca la lluvia, nieve, granizo, etc.
- Riego (R): es el proceso mediante el cual se suministra agua de manera artificial a las plantas y cultivos.

2. Salidas de agua.

- Evaporación: es la transformación de estado por el cual el agua que está en forma líquida se transforma en vapor de agua y se elimina de la superficie en la que ocurre este proceso. (Allen, et al., 2006).
- Transpiración: Implica la transformación del agua líquida presente en los tejidos de la planta en vapor, seguida de su liberación hacia la atmósfera. La principal vía de pérdida de agua de los cultivos es a través de las estomas, unos pequeños orificios ubicados en las hojas que permiten el paso de gases y vapor de agua desde la planta hacia la atmósfera (Allen, et al., 2006).
- Escorrentía: agua que fluye sobre la superficie hacia ríos, lago y eventualmente hacia el océano.

3. Almacenamiento de agua.

- Almacenamiento en el suelo: es la habilidad del suelo para retener agua y nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas. Esto incluye el agua disponible en los poros del suelo y los nutrientes que pueden ser absorbidos por las raíces según las necesidades de las plantas.

2.2.7. Prácticas de manejo de riego por inundación.

El riego por inundación es un método común que implica la saturación del suelo con agua mediante la inundación de una parcela. Se describe algunas prácticas efectivas para el manejo de adecuado de este tipo de riego.

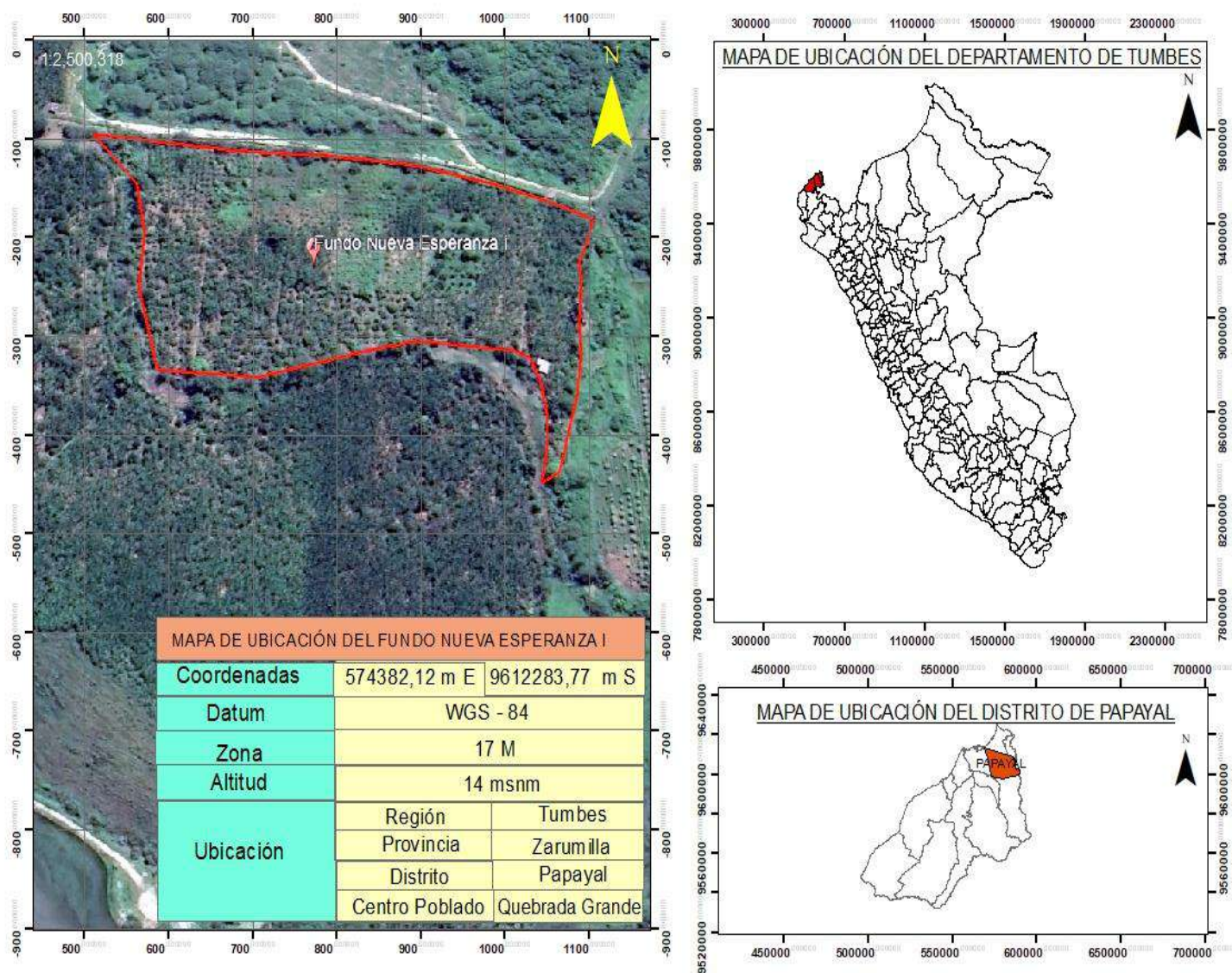
1. Nivelación del terreno: antes de inundar el área, es crucial nivelar el terreno para garantizar una distribución uniforme del agua. La nivelación adecuada ayuda evitar la acumulación de agua en algunas partes y la escasez en otras, maximizando la eficiencia del riego.
2. Control del tiempo y la duración de la inundación: controlar cuidadosamente el tiempo y la duración de la inundación para evitar el exceso de agua y minimizar las pérdidas por escorrentía.
3. Rotación de cultivos: puede ayudar a maximizar la eficiencia del riego por inundación. Al alterna entre cultivo con diferentes necesidades hídricas y sistemas radiculares, se puede optimizar el uso del agua y reducir el riesgo de problemas de salinidad y compactación del suelo.
4. Control de malezas: el control efectivo de malezas en el campo de cultivo ayuda a reducir la competencia por el agua y los nutrientes, lo que permite una mejor absorción del agua por parte de los cultivos y una distribución más uniforme durante el riego por inundación.
5. Gestión de la salinidad: el riego por inundación puede contribuir a la acumulación de sales en el suelo, especialmente en áreas con agua subterránea salina.
6. Monitoreo del nivel freático: es importante monitorear la saturación excesiva del suelo y el deterioro de la calidad del agua. Se deben tomar medidas para drenar el exceso de agua si es necesario, especialmente en durante periodos de lluvia intensa o inundaciones.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN DEL ÁREA EN ESTUDIO.

La investigación se llevó a cabo en el fundo denominado Nueva Esperanza I, localizado en el centro poblado de Quebrada Grande, perteneciente a la provincia de Zarumilla, en el departamento de Tumbes. Ubicado a 16 km al norte de la ciudad de Tumbes y 11 km al sur de la provincia de Aguas Verdes, posicionándose estratégicamente entre estas dos localidades.

Figura 1: Mapa de ubicación del área en estudio



3.1.1. Ubicación geopolítica.

Figura 2: Mapa de ubicación geopolítica.



CENTRO POBLADO	QUEBRADA GRANDE
DISTRITO	PAPAYAL
PROVINCIA	ZARUMILLA
REGIÓN	TUMBES

3.1.2. Ubicación geodésica.

Figura 3: Mapa de ubicación geodésica.



3.2. MATERIALES, EQUIPOS, HERRAMIENTAS Y OTROS.

3.2.1. Materiales

- ✓ Herramienta de campo (lampa).
- ✓ Bolsas de muestreo de suelo.
- ✓ Libreta de apuntes.
- ✓ Cinta métrica.
- ✓

3.2.2. Equipos

- ✓ Equipos de estación meteorológica.
- ✓ Sensor de humedad del suelo.
- ✓ Medidor de pH y conductividad eléctrica.
- ✓ Balanzas.
- ✓ GPS.
- ✓ Cámara fotográfica.
- ✓ Procesador de datos (laptop).

3.2.3. Software

- ✓ Microsoft Word 2020.
- ✓ Microsoft Excel 2020.
- ✓ ArcGis 10.5.
- ✓ Google Earth pro.

3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA.

3.3.1. Población.

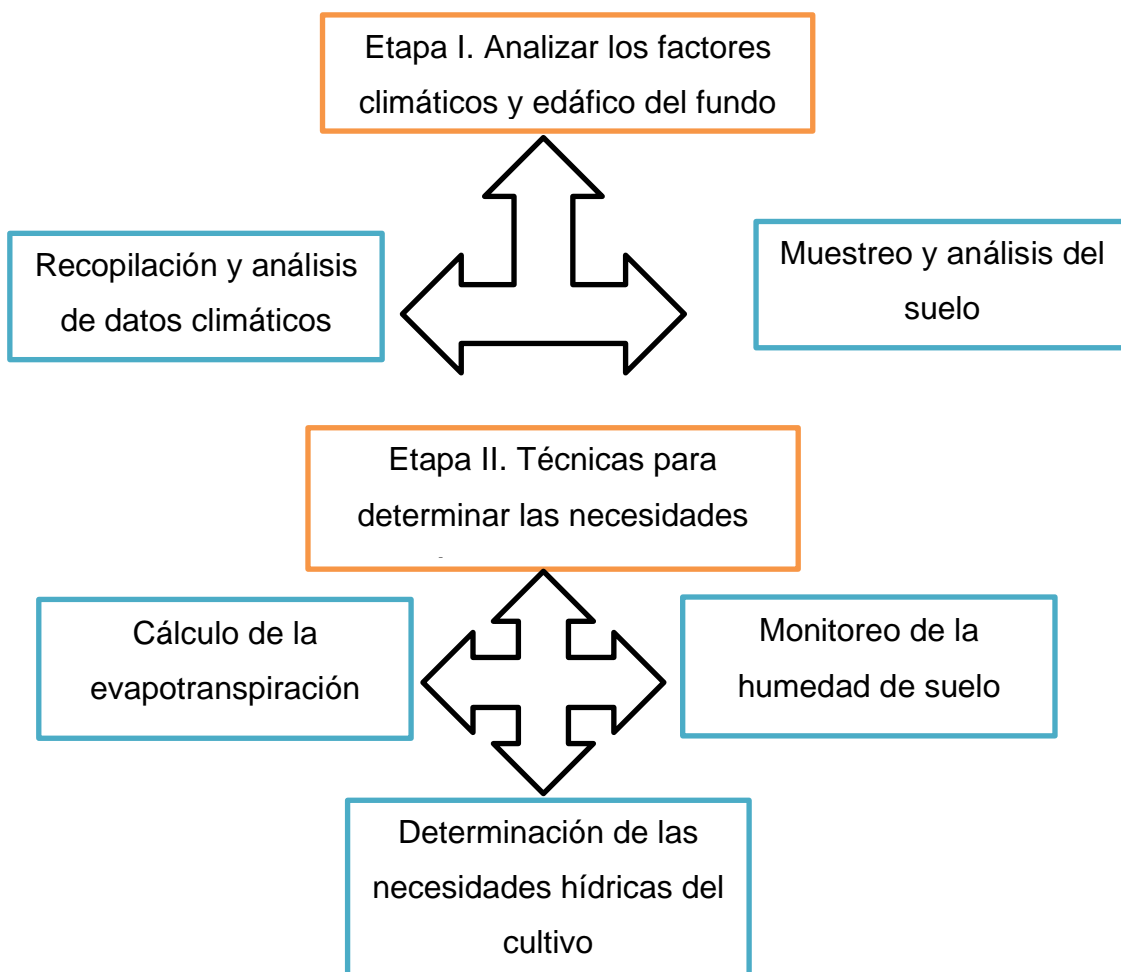
La población de estudio incluye todas las plantas de cacao cultivadas en 2.56 hectáreas del fundo Nueva Esperanza I, donde cada planta está sembrada intervalos de 4 metros.

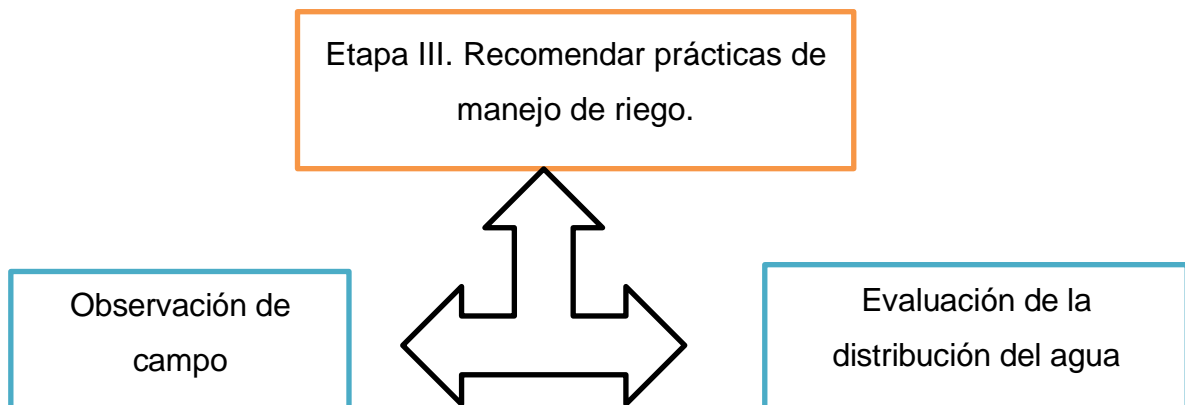
3.3.2. Muestra.

La muestra estará formada por todas las plantas de cacao cultivadas en el fundo de Nueva Esperanza I.

3.4. Diagrama metodológico

El siguiente diagrama metodológico se resumen en etapas.





3.4.1. Etapa I. Analizar los factores climáticos y edáficos del fundo Nueva Esperanza I.

3.4.1.1. Recopilación y análisis de datos climáticos.

Para llevar a cabo un análisis climático detallado y preciso durante el periodo 2014-2023, es esencial contar con datos de alta calidad proveniente de fuentes confiables. En este estudio, se dé especial énfasis a los datos recopilados por estaciones meteorológicas, en particular la estación Tumpis, ya que esta proporciona mediciones precisas y continuas de los parámetros climáticos claves. Garantizando la confiabilidad y exactitud en los resultados, en comparación con otras estaciones.

Se recopilaron datos históricos de variables climatológicas para el período de los años 2014 al 2023, organizados a escala mensual. Estos datos se registraron en archivo de Excel en formato tabular, con columnas para el año y las distintas variables climatológicas. Para analizar las tendencias a lo largo del tiempo, se crearán gráficos de línea para identificar si hay fluctuaciones significativas o eventos extremos que puedan influir en la tendencia general.

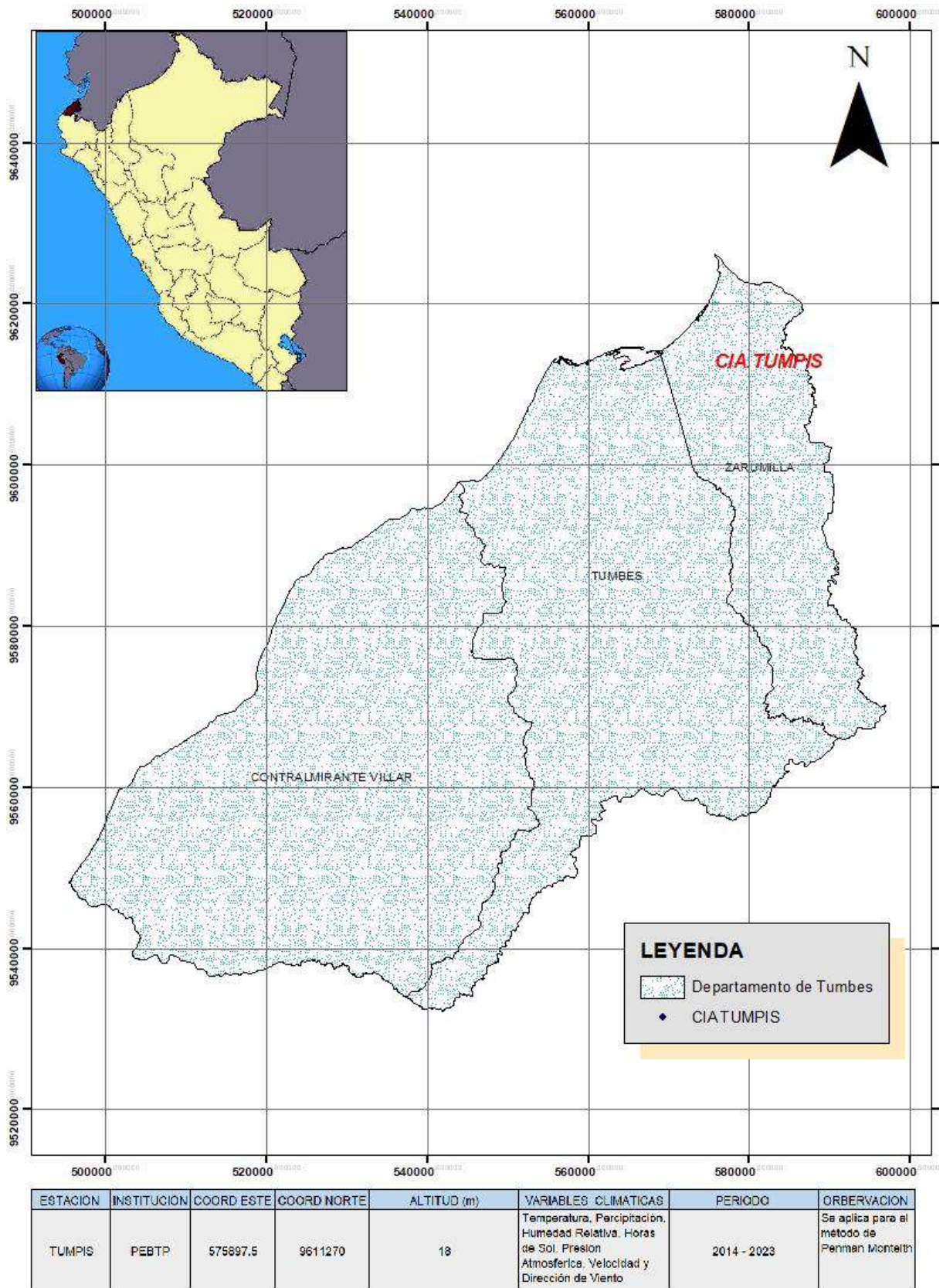


Figura 4: Mapa de ubicación de la Estación Meteorológica.

3.4.1.2. Muestreo y análisis de suelo (factores edáficos)

El muestreo y análisis de suelo son procesos fundamentales para comprender y manejar de manera efectiva la fertilidad y salud del suelo.

1. Selección de sitios de muestra.

Figura 5: Mapa de puntos de referencia para el muestreo.



- Se identificaron áreas representativas del fundo considerando la uniformidad del suelo y el historial del cultivo de cacao, que tiene un promedio de 12 años.
- Dividir el área en unidades homogéneas y establecer un patrón de muestreo de Zigzag que garantice una cobertura adecuada.

2. Toma de muestra.

- Utilizar la herramienta del barreno para la recopilación de muestras de suelo.
- Número y distribución de muestras, compuestas por 4 submuestras por puntos.
- Profundidades de muestreo, las cuatro profundidades estándar (0 – 20 cm, 20 - 40 cm, 40- 60cm, 60 – 80 cm) del fundo.

3. Preparación de muestra

- Proceso de homogeneización en bolsas de plásticos, cada una etiquetada según la profundidad de muestreo.
 - Eliminación de impurezas como piedras, raíces y restos de cultivo.
4. Parámetros a medir: textura del suelo, pH y conductividad eléctrica, contenido de materia orgánica y permeabilidad.
5. Método de análisis: laboratorio de análisis de suelos utilizando métodos estándar.

3.4.2. Etapa II. Desarrollar técnicas precisas para determinar las necesidades hídricas del cultivo de cacao en el fundo Nueva Esperanza I.

Para implementar técnicas precisas para determinar las necesidades hídricas del cultivo de cacao en el fundo Nueva Esperanza I, es esencial combinar el cálculo de la evapotranspiración con el monitoreo constante de la humedad del suelo y el uso de coeficiente de cultivo. Un plan detallado para cada uno de los pasos.

3.4.2.1. Cálculo de la evapotranspiración (ET).

Implementación del método de Penman – Monteith para calcular la ETo.

1. Datos históricos necesarios para el cálculo.
 - Temperatura del aire: mínima y máxima diaria.
 - Humedad relativa: mínima y máxima diaria.
 - Radiación solar: duración de insolación.
 - Velocidad del viento: medida a 2 metros sobre el suelo.

Procedimiento.

- Desarrollar el cálculo de Evapotranspiración mediante la fórmula de Penman modificada.

3.4.2.2. Monitoreo de la humedad del suelo.

1. Método.

- Tensiómetro: medir con tensiómetro a una profundidad de 10 cm en áreas representativas del cultivo.

Figura 6: Medidor de humedad de suelo.



Porcentaje mínimo y máximo del medidor de humedad es de 22% - 99%.

Lo clasifica en 5 niveles.

Tabla 1: Clasificación de nivel de humedad.

DRY+	DRY	NOR	WET	WET+
Seco +	Seco	Normal	Húmedo	Húmedo +

Tabla 2: Clasificación de nivel de intensidad solar.

LOW-	LOW	LOW+	NOR-	NOR	NOR+	HGH-	HGH	HGH+
Mucho bajo	Muy baja	Ligeramente baja	Poco bajo	Normal	Poco alto	Ligeramente alto	Muy alto	Mucho alto

2. Frecuencia.

- Realizar mediciones en días intercalado, promediando los resultados al mediodía de cada día durante el mes de septiembre de 2024.
- Se aumenta la frecuencia si se anticipan periodo de estrés hídrico (sequia, temperaturas extremas).

3. Procedimiento.

- Instalar de 2 a 8 tensiómetros en diferentes ubicaciones del fundo donde se encuentra el cultivo de cacao.



Figura 7: Mapa de puntos de medición de humedad en el fundo.

- Calibrar los equipos según las instrucciones del fabricante.
- Analizar la relación entre humedad e intensidad solar.
- Calcular la frecuencia de riego basado en el análisis de suelo del fundo y de la evapotranspiración del cultivo.

3.4.2.3. Determinación de las necesidades hídricas del cultivo.

Procesos.

Uso del coeficiente cultivo según la (FAO, 2006).

Tabla 3: Coeficiente del cultivo de cacao

Cultivo	$k_{cb\ ini}$	$k_{cb\ med}$	$k_{cb\ fin}$
Cacao	0,9	1,00	1,5

Fuente: Adaptado a la (FAO, 2006).

- Cálculo de la Evapotranspiración del cultivo de cacao mediante la fórmula $ET_c = ET_o * K_c$.
- Usan los valores de Evapotranspiración del cultivo para programar y planificar el riego del cultivo de cacao y asegura que las necesidades hídricas del cultivo se suplan adecuadamente en su etapa de producción.

3.4.3. Etapa III: Recomendar las practicas optimas de manejo de riego por inundación en el fundo Nueva Esperanza I.

Para optimizar el manejo de riego por inundación en el fundo Nueva Esperanza I, se proponen una serie de pasos que incluyen la evaluación de las practicas actuales, y analizar los datos con base en los resultados obtenidos.

3.4.3.1. Observación de campo.

Inspección visual

- Realizar una inspección detallada del sistema de riego y el área de cultivo de cacao.
- Observación la infraestructura de riego, como canales, compuertas.

Registró de observaciones.

- Tomar notas sobre la distribución del agua, posibles fugas o perdidas y la uniformidad del riego.

3.4.3.2. Evaluación de la distribución del agua.

Observación de la cobertura.

- Observar visualmente si el agua se distribuye uniformemente sobre toda el área de cultivo.
- Identificar áreas donde haya falta de cobertura o exceso de agua.

Inspección de fugas.

- Buscar signos de fugas en el sistema de riego, como charcos o áreas húmedas fuera del área de cultivo.
- Identifica y registrar cualquier pérdida de agua que pueda ocurrir durante el riego.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS.

4.1.1. Análisis de factores climáticos y edáficos del fundo.

4.1.1.1. Análisis de factores climáticos

Se analizaron las principales variables climáticas (temperatura máxima y mínima, humedad relativa, precipitación, velocidad del viento y horas de sol) en el Fundo Nueva Esperanza I durante el periodo 2014 – 2023. Estas variables tienen una influencia directa en el crecimiento y desarrollo del cultivo de cacao, una especie particularmente sensible a las fluctuaciones climáticas, especialmente en términos de temperatura y de disponibilidad de agua. **(Ver anexo 2).**

Los datos climáticos registrados en la estación meteorológica Tumpis refleja condiciones mayormente favorables para el cultivo de cacao, aunque se identificaron algunas variaciones significativas que podrían influir en su desarrollo.

Análisis de tendencia de las variables climáticas

- Temperatura máxima.

La figura N° 8 de la tendencia temperatura máxima anual en el período comprendido entre 2014 y 2023, revela patrones de variabilidad interanual significativas, junto a una tendencia al alza, los datos muestran variaciones significativas de un año a otro. En 2015, se observa un pico en la temperatura máxima, alcanzando aproximadamente 30,5 °C. Sin embargo, los años siguientes presentan una disminución, con un mínimo en 2018 y 2019 donde las temperaturas bajan a cerca de 29.0 °C. Esta variabilidad podría estar influenciada por fenómenos climáticos de corto plazo. Como el fenómeno de El Niño o La Niña, tiene implicaciones importantes para la región en estudio, en la el aumento de las temperaturas puede afectar negativamente los ciclos del cultivo de cacao, reduciendo la productividad y aumentando la demanda de agua para riego.

Figura 8: Análisis tendencia de Tmax °C (2014-2023)



- Temperatura mínima.

En la figura N° 9 muestra una tendencia decreciente en las temperaturas mínimas entre 2014 y 2023, con fluctuaciones significativas. Se observa un pico en 2015 seguido de un descenso hasta 2018, y un aumento abrupto en 2023. La línea de tendencia lineal indica la disminución general de las temperaturas mínimas a lo largo del tiempo. Este comportamiento puede estar relacionado con cambios climáticos de la región de Tumbes. En el cultivo de cacao podría afectar a los rendimientos de cultivos sensibles a las heladas, y el aumento de las mínimas en 2023 podría incrementar la presión sobre los recursos hídricos y la productividad.

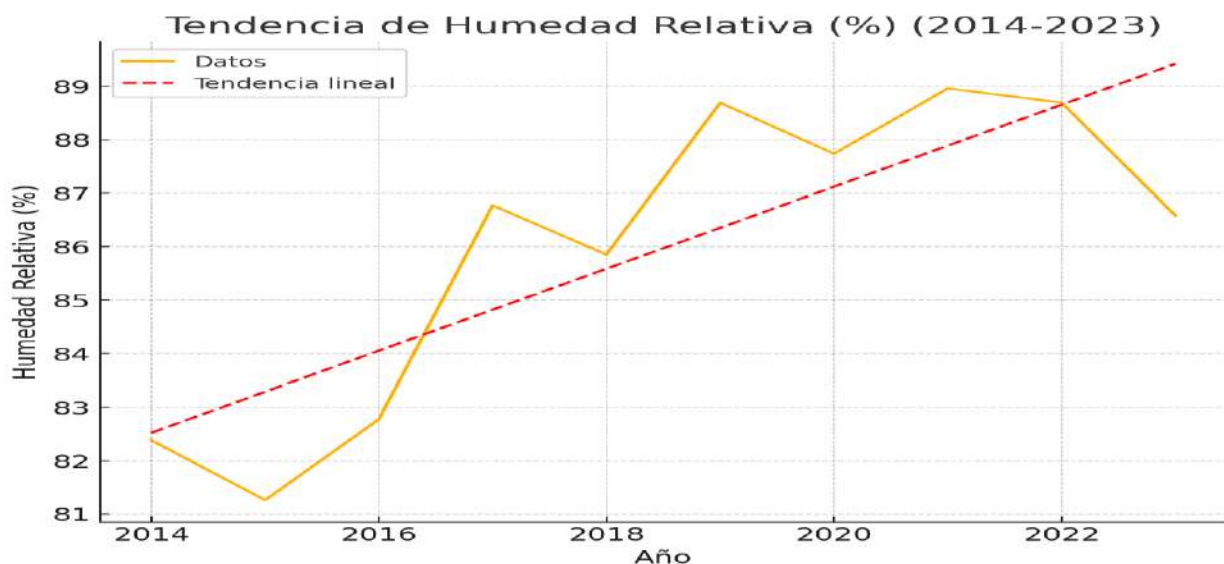
Figura 9: Análisis de tendencia Tmin °C (2014-2023).



- Humedad relativa.

La figura N° 10 muestra la evolución de la humedad relativa entre los años 2014 y 2023, con una tendencia creciente. Los datos (línea amarilla) fluctúan, pero la tendencia lineal (línea roja) indica un aumento sostenido de la humedad relativa en el periodo analizado. Se observa fluctuaciones significativas entre los años, con valores mínimos cercanos al 81% en 2015 y máximos superiores al 89% en 2021. Sin embargo, la tendencia general es de aumento, lo que implica condiciones más húmedas en promedio a lo largo de los años. La línea de tendencia lineal muestra un incremento constante en la humedad relativa, lo cual es relevante para el cultivo de cacao. Es un cultivo que prospera en condiciones de humedad alta, por lo que este aumento en la humedad relativa puede tener implicaciones positivas para el crecimiento y desarrollo.

Figura 10: Análisis de tendencia de Humedad relativa %.

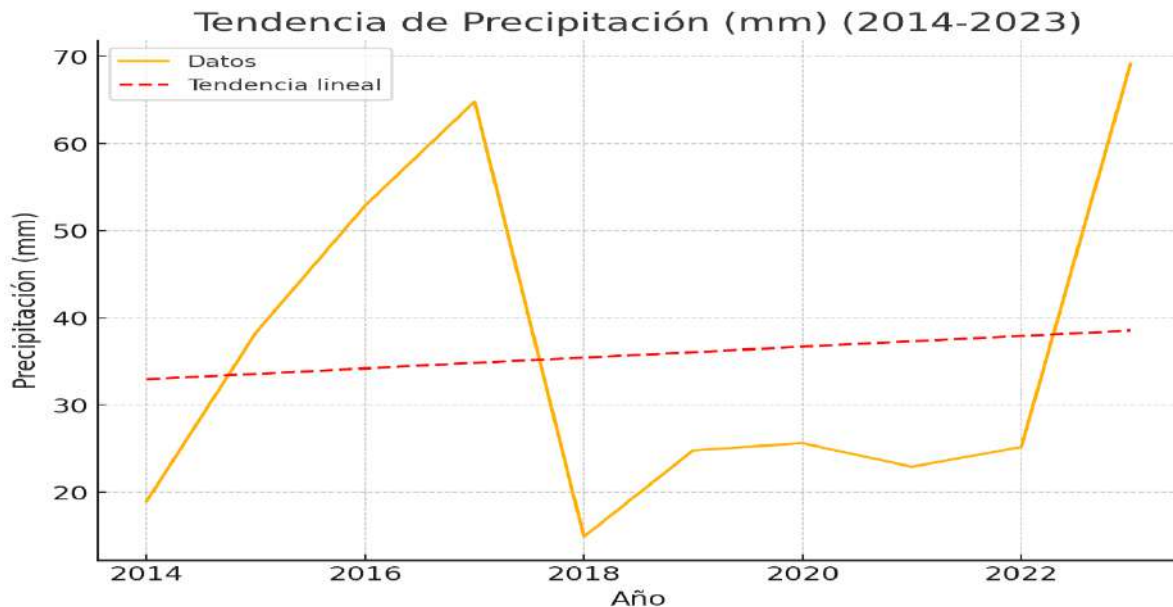


- Precipitación.

La figura N°11 muestra la tendencia de la precipitación anual en el periodo de 2014 a 2023. La línea amarilla que representa los datos observados muestra variaciones considerables a lo largo de los años. En particular, se observan picos en 2016 y 2023, donde la precipitación alcanza valores cercanos a los 70 mm. Sin embargo, también se presentan periodos con disminuciones importantes, como en 2018, donde los valores caen por debajo de los 30 mm. Las fluctuaciones en la precipitación implican que los requerimientos hídricos del cultivo de cacao pueden variar considerablemente entre los años dependiendo de la cantidad de lluvia disponible. En los años con precipitaciones bajas (como 2018), pueden ser necesario complementar el riego para

asegurar un crecimiento adecuado del cultivo. Por otro lado, en años con precipitaciones elevadas, como 2023, es posible que haya exceso de agua. Un equilibrio adecuado en la gestión del agua es crucial para evitar tanto el estrés hídrico como el anegamiento.

Figura 11: Análisis de tendencia de precipitación (mm).



- Velocidad de viento (m/seg).

La figura N°12 muestra la tendencia de la velocidad del viento en m/s durante el periodo 2014 – 2023, con fluctuaciones anuales y una tendencia general decreciente. La línea amarilla, que representa los datos observados, muestra variaciones significativas de un año a otro, se aprecian picos de velocidad del viento cercanos a los 2.10 m/seg en 2015 y 2020, mientras que, en los años 2016, 2018 y 2022, la velocidad del viento cae por debajo de los 1,90 m/seg. Estas variaciones pueden estar relacionadas con fenómenos meteorológicos puntuales.

A pesar las fluctuaciones, la tendencia lineal (línea roja punteada) muestra un descenso progresivo en la velocidad del viento a lo largo de los años, situándose en promedio por debajo de los 2.00 m/seg en el último tramo del período. Esta tendencia decreciente puede indicar una disminución en la intensidad de los vientos predominantes en la región de Tumbes.

Figura 12: Análisis de tendencia de velocidad del viento (m/s).

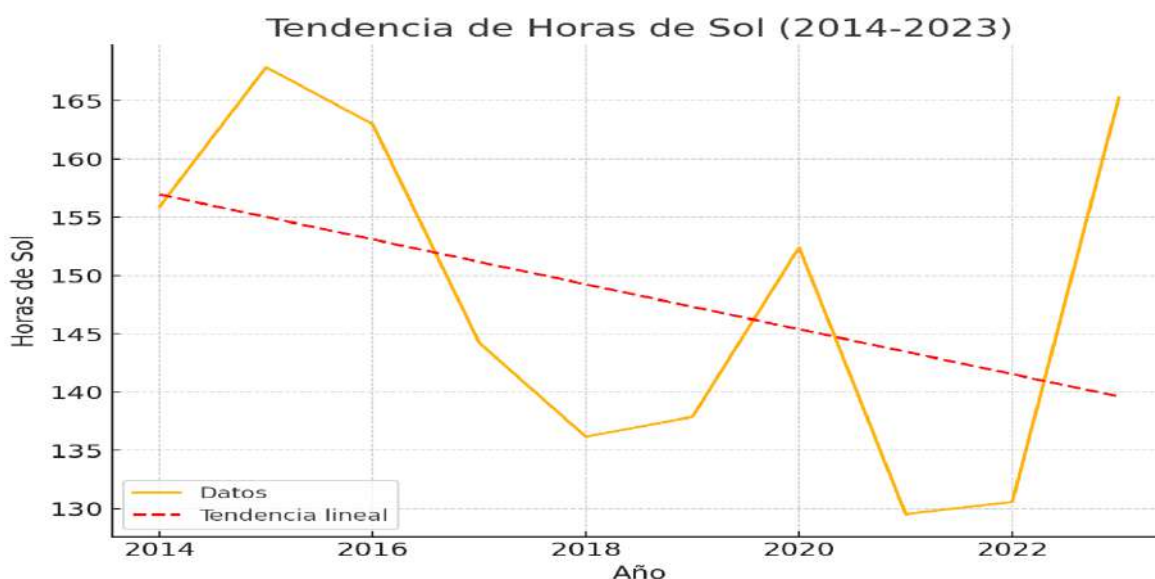


- Horas de sol.

La figura N° 13 muestra la tendencia de las horas de sol a lo largo de los años 2014 a 2023, con fluctuaciones significativas y una tendencia general decreciente. La línea amarilla que representa los datos observados muestra variaciones considerables en las horas de sol anuales. Se observa un máximo en torno a las 165 horas en 2015, mientras que en 2019 y 2021 se observaron mínimos cercanos a 130 horas. Esto indica que las horas de luz solar no son constantes y varían de un año a otro debido a factores como la nubosidad. A pesar de las fluctuaciones interanuales, la línea (roja punteada) muestra un descenso gradual en las horas de sol promedio durante el período estudiado. Esta tendencia puede estar vinculada a un aumento de la nubosidad en las condiciones climáticas.

Unas disminuciones en las horas de sol pueden afectar negativamente la fotosíntesis del cultivo de cacao, reduciendo el crecimiento y su desarrollo productivo.

Figura 13: Análisis de tendencia de Horas de sol.



4.1.1.2. Análisis de factores edáficos.

El análisis de suelo realizado en el fundo Nueva Esperanza I permitió analizar las características edáficas clave a diferentes profundidades. Los resultados obtenidos en el laboratorio de suelos de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Tumbes incluyen los siguientes parámetros. **(ver anexo 4)**

Muestras recolectadas a diferentes intervalos de profundidad.

Muestra 1: 0 – 20 cm.

Muestra 2: 20 – 40 cm.

Muestra 3: 40 – 60 cm.

Muestra 4: 60 – 80 cm

1. Textura del suelo.

En la tabla N° 3, representa los resultados de las proporciones de arena, limo y arcillas para las cuatro muestras de suelo tomadas a diferentes profundidades del fundo Nueva Esperanza I, junto con su clasificación textural. **(ver anexo 5)**

Tabla 4: Clasificación de textura de suelo.

Muestra	Arena %	Limo %	Arcilla %	Clase Textural
1	65.68	18.32	16	Franco arenoso.
2	69.68	12.32	18	Franco arenoso
3	75.68	6.32	18	Arenoso Franco
4	83.68	6.32	10	Arenoso Franco

Interpretación de la clase textural de cada muestra tomada:

Muestra 1. Esta textura indica un suelo franco arenoso, lo que sugiere que en la capa superficial del suelo tiene buena capacidad de drenaje y aireación, aunque su capacidad de retención de agua y nutrientes es moderada. Esto podría implicar que los cultivos en esta capa requieren un riego más frecuente.

Muestra 2. Este suelo también se clasifica como franco arenoso, pero con un contenido de arcilla ligeramente mayor. Esta composición sigue proporcionando buen drenaje y aireación, con una capacidad moderada para retener agua. La presencia de más arcilla sugiere que podría retinar más nutrientes en comparación con la muestra 1.

Muestra 3. Con un mayor contenido de arena, esta muestra clasificada como arenoso franco indica un suelo de textura más suelta y mejor drenaje que las dos primeras. Sin embargo, la menor cantidad de limo y arcilla implica que este suelo retendrá menos aguas y nutrientes, lo que podría aumentar la necesidad de fertilización y riego más constantes.

Muestra 4. Este suelo arenoso franco tiene el contenido más alto de arena de todas las muestras, lo que lo convierte en un suelo extremadamente suelto y de rápido drenaje. Si bien es ideal para evitar problemas de exceso de agua, es el más pobre en retención de nutrientes y agua, lo que requiere un manejo cuidadoso del riego.

2. pH y conductividad eléctrica del suelo.

El análisis de las cuatro muestras de suelo proporciona información esencial sobre los parámetros de pH y conductividad eléctrica (CE), los cuales son determinantes para evaluar la aptitud del suelo en el cultivo de cacao. Los resultados obtenidos se observan en la siguiente tabla.

Tabla 5: pH y conductividad eléctrica del suelo

Muestra	Temperatura °C	Conductividad eléctrica (ds/m)	Ph
1	26	0.2	5.76
2	28	0.128	5.81
3	25	0.1	5.87
4	25	0.2	6.25

Los valores de CE obtenidos en las muestras varían entre 0.1 ds/m y 0.2 ds/m y se clasifica como un suelo Muy baja salinidad, según su clasificación Tabla 5. Para el cultivo de cacao, que es sensible a la salinidad, estos niveles son óptimos. La baja CE sugiere que el suelo tiene una adecuada capacidad de retención de agua y nutrientes. Al ser un cultivo que prospera en suelos con un buen equilibrio hídrico, se beneficiara de las condiciones que presenta el suelo analizado, minimizando el riesgo de estrés hídrico y promoviendo un desarrollo radicular saludable.

Tabla 6: Clasificación de conductividad electica (CE).

	Rango	Categoría
Conductividad eléctrica (EC) mmohos/cm o dS/m	0.1 - 0,5	Muy baja
	0 - 1,0	Baja
	1,1 - 2,0	(Buena gama de cultivos)
	2,1 - 2,5	Ligeramente alta
	> 2,5	Alta

Fuente: <https://www.grupoclinicagricola.com/metodos-quimicos.html>

Los valores de pH obtenidos varían de 5.76 a 6.25, indicando un nivel de ligeramente ácido, según los rangos de pH del suelo en agua destilada desionizada, en una relación 1:2, 5 suelo: agua (tabla 6). La acides del suelo también favorece la actividad de microorganismo benéficos que promueven la salud y la disponibilidad de nutrientes. Un pH controlado puede prevenir problemas de toxicidad de metales pesados, que pueden ser más prevalentes en suelos ácidos.

Tabla 7: Clasificación de pH del suelo.

	Rango	Categoría
pH en Agua	4.5 - 5,5	Acido
	5,6 - 6,0	Ligeramente ácido
	6,1 - 7,0	Prácticamente neutro
	7,1 - 7,5	Ligeramente alcalino
	> 7,6	Alcalino

Fuente: <https://www.grupoclinicagricola.com/metodos-quimicos.html>

3. Materia orgánica.

En la tabla se presentan los resultados obtenidos en el laboratorio. La determinación de la materia orgánica se calculó utilizando la ecuación.

Ecuación 10: Materia orgánica.

$$M.o = 10^4 * da * p * \frac{m.o}{100}$$

Tabla 8: Determinación de la materia orgánica.

Muestra	m.o %	Profundidad de muestra (m)	Densidad aparente	Materia orgánica (tn/ ha)
1	0.1	0.1	1.5	1.5
2	0.2	0.3	1.5	9

El análisis de suelo muestra que el terreno presenta un contenido de materia orgánica variable, con valores entre 1.5 y 9 toneladas por hectárea. Para el cultivo de cacao, estos niveles de materia orgánica son moderados, proporcionando nutrientes esenciales, pero con margen para optimizar la fertilidad y la retención de humedad, factores críticos para el desarrollo saludable del cacao. En el fundo Nueva Esperanza I de 2.56 hectáreas, se estima una cantidad total de 13.17 toneladas de materia orgánica, lo cual apoya viabilidad del cultivo, aunque se sugiere incrementar estos niveles mediante prácticas como incorporación de abonos orgánicos y la conservación de residuos del cultivo.

4. Permeabilidad.

Análisis de permeabilidad basado resultados del laboratorio de suelo (**ver anexo 7**).

Muestra 1: Presenta una disminución de infiltración desde 300 mm en los primeros 15 minutos hasta 140 mm en los 60 minutos. Su clase estructural es franco arenoso con una permeabilidad moderada, que se estabiliza progresivamente. Esto sugiere una estructura que permite el paso del agua sin pérdida excesiva de humedad. La capacidad de retención es moderada, lo cual es adecuado para el cultivo de cacao que requieren una humedad equilibrada.

Muestra 2: La infiltración de la muestra 2 comienza en 350 mm a los 15 minutos y disminuye a 190 mm en los 60 minutos, similar a la muestra 1, esta muestra franco arenosa muestra una permeabilidad media – alta. Esto indica un suelo que permite una rápida infiltración inicial, estabilizándose luego de un tiempo. Este comportamiento es típico de suelos franco arenoso con buena capacidad de drenaje y retención moderada, ideal para cultivo de cacao que necesitan riego frecuente pero moderado.

Muestra 3. Su clase estructural es arenoso franco, la muestra tiene una permeabilidad alta, caracterizada por una infiltración inicial rápida que disminuye gradualmente. Esta estructura favorece el drenaje rápido y tiene una baja capacidad de retención, lo que indica que este suelo necesitará riegos frecuentes para mantener niveles de humedad adecuados para el cultivo de cacao.

Muestra 4. Tiene mayor la tasa inicial de infiltración al igual que la muestra 3, este suelo arenoso franco presenta una permeabilidad muy alta, permitiendo que el agua se infiltre rápidamente sin retención significativa.

Resumen de permeabilidad en la siguiente tabla

Tabla 9: Permeabilidad del suelo.

Muestra	Clase textural	Permeabilidad	Observaciones
1	Franco arenoso	Moderada	Buena infiltración inicial con estabilización progresiva.
2	Franco arenoso	Media – Alta	Alta infiltración inicial con moderada retención.
3	Arenoso franco	Alta	Rápida infiltración, baja retención, requiere riego frecuente.
4	Arenoso franco	Muy alta	Infiltración muy rápida, baja retención adecuado para riegos frecuentes.

4.1.2. Determinación de las necesidades hídricas del cultivo de cacao en fundo Nueva Esperanza I.

4.1.2.1. Determinación de la evapotranspiración.

A continuación, en la tabla N° 10 representan los datos de las variables climatológicas obtenidas de la estación Tumpis (**ver anexo 2)**

ESTACIÓN TUMPIS

Latitud: 03° 31''

Distrito: Tumbes

Longitud: 80

Provincia: Tumbes

Altitud: 18 msnm

Región: Tumbes

Tabla 10: Variables Climatológicas

VARIABLES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Tmin °C	23.64	23.81	23.86	23.73	23.23	21.83	21.24	20.62	20.95	21.41	21.38	22.89
Tmax °C	31.16	31.43	31.45	31.68	30.98	29.61	28.28	27.47	27.52	27.67	28.04	30.10
Tmed °C	27.40	27.62	27.66	27.71	27.11	25.72	24.76	24.05	24.24	24.54	24.71	26.50
HR %	83.80	85.90	87.03	85.18	86.00	85.83	86.70	86.73	86.78	87.92	85.86	83.94
Vel. Viento m/s	2.50	1.97	1.92	1.83	1.69	1.70	1.95	2.12	2.23	2.15	2.13	2.01
Vel. Viento km/dia	216.00	170.21	165.89	158.11	146.02	146.88	168.48	183.17	192.67	185.76	184.03	173.66
Horas SOL	4.89	4.79	5.47	6.17	5.52	4.94	4.79	4.80	4.50	3.77	4.26	4.62
V dia / V noche	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00

Cálculos de cada variable de la Ecuación de Penman modificada, evaluado mensualmente.

Variables:

C: coeficiente de ajuste

W: Factor de ajuste

Rn: Radiación neta

f(u): Función del viento

ea: Presión de vapor saturado

ed: Presión de vapor actual.

Cálculos:

- Datos de variables climatológicas

RH= humedad relativa.

n= Horas de sol.

u= velocidad de viento Km/día.

- Cálculo de las variables de la ecuación de Penman modificado para cada mes, utilizando tablas e interpolaciones (**ver anexo 1**).

W= Factor de ponderación (ver Tabla 18).

N= Horas de fuerte insolación (ver Tabla 19).

Ra= La radiación extraterrestre (ver Tabla 20).

f(t)= Efecto de la temperatura (ver Tabla 21).

ea= Presión de saturación (ver Tabla 22).

C= Factor de ajuste (ver Tabla 23).

- Cálculo por fórmula.

De la ecuación 3: Para calcular Rs.

$$R_s = \left(0.25 + 0.5 \frac{n}{N}\right) \cdot R_a$$

De la ecuación 4: calcular ed.

$$e_d = \frac{ea * RH}{100}$$

De la ecuación 5: Para calcular $f(ed)$.

$$f(ed) = 0.34 - 0.044 * \sqrt{ed}$$

De la ecuación 6: Para calcular $f(n/N)$.

$$f\left(\frac{n}{N}\right) = 0.1 + 0.9 * \left(\frac{n}{N}\right)$$

De la ecuación 7: Para calcular Rnl .

$$Rnl = f(T) * f(ed) * f\left(\frac{n}{N}\right)$$

De la ecuación 8: Para calcular Rn .

$$Rn = 0.75Rs - Rnl$$

De la ecuación 9: Para calcular $f(u)$.

$$f(u) = 0.27 \left(1 + \frac{u}{100}\right)$$

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
--	-------	---------	-------	-------	------	-------	-------	--------	-----------	---------	-----------	-----------

RH	83.80	85.90	87.03	85.18	86.00	85.83	86.70	86.73	86.78	87.92	85.86	83.94
n	4.89	4.79	5.47	6.17	5.52	4.94	4.79	4.80	4.50	3.77	4.26	4.62
N	12.24	12.24	12.1	12.03	11.96	11.89	11.89	11.96	12.03	12.17	12.24	12.31
Ra	15.45	15.78	15.62	14.95	13.87	13.27	13.47	14.35	15.12	15.58	15.45	15.33
Rs	6.95	7.03	7.44	7.57	6.67	6.07	6.08	6.47	6.61	6.31	6.55	6.71

C	1.08	1.08	1.11	1.1	1.07	1.05	1.05	1.06	1.07	1.06	1.07	1.07
W	0.76	0.77	0.77	0.77	0.76	0.75	0.74	0.73	0.73	0.74	0.74	0.76

ea	36.54	37	37.09	37.19	35.93	33.07	31.24	29.9	30.26	30.83	31.15	34.65
ed	30.62	31.78	32.28	31.68	30.90	28.38	27.09	25.93	26.26	27.11	26.75	29.09
f(ed)	0.097	0.092	0.090	0.092	0.095	0.106	0.111	0.116	0.115	0.111	0.112	0.103

f(t)	16.18	16.22	16.23	16.24	16.1	15.83	15.59	15.41	15.46	15.53	15.58	16
-------------	-------	-------	-------	-------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	----

f(n/N)	0.460	0.452	0.507	0.562	0.515	0.474	0.463	0.461	0.437	0.379	0.413	0.438
Rnl	0.718	0.674	0.740	0.842	0.792	0.792	0.801	0.824	0.773	0.653	0.724	0.719
Rn	4.494	4.600	4.836	4.836	4.209	3.764	3.760	4.026	4.183	4.079	4.189	4.313
u	216.00	170.21	165.89	158.11	146.02	146.88	168.48	183.17	192.67	185.76	184.03	173.66
f(u)	0.853	0.730	0.718	0.697	0.664	0.667	0.725	0.765	0.790	0.772	0.767	0.739

Los valores calculados se integran en la ecuación de Penman modificada para obtener una estimación precisa de la evapotranspiración de referencia en mm/día para cada mes.

Eto	5.00	4.77	5.02	5.068	4.281	3.784	3.744	3.984	4.180	3.991	4.257	4.563
------------	------	------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

4.1.2.2. Mediciones de humedad de suelo.

El monitoreo de la humedad del suelo en el fundo Nueva Esperanza I, se llevó a cabo mediante mediciones con los tensiómetros, realizadas en 8 puntos representativos del terreno a una profundidad de 10 cm, profundidad donde las raíces secundarias del cacao absorben el recurso hídrico y sus nutrientes. La medición se efectuó 4 días después de aplicar el riego en el predio agrícola (**ver anexo 10**). La frecuencia de las mediciones se establece con un intervalo de 4 días.

T1		
Fecha de medición	Humedad	Intensidad solar
4/09/2024	WET+	LOW+
8/09/2024	WET	HGH-
12/09/2024	NOR	HGH+
16/09/2024	DRY	LOW+
20/09/2024	DRY	NOR-
24/09/2024	WET+	LOW-
28/09/2024	WET+	NOR-
2/10/2024	WET+	NOR

T2		
Fecha de medición	Humedad	Intensidad solar
4/09/2024	WET+	NOR-
8/09/2024	WET	HGH
12/09/2024	DRY	HGH+
16/09/2024	DRY	HGH-
20/09/2024	DRY+	HGH
24/09/2024	WET+	LOW+
28/09/2024	WET	HGH+
2/10/2024	WET+	HGH+

T3		
Fecha de medición	Humedad	Intensidad solar
4/09/2024	WET+	LOW+
8/09/2024	WET+	HGH
12/09/2024	WET	NOR-
16/09/2024	DRY	NOR
20/09/2024	DRY+	NOR
24/09/2024	WET+	LOW-
28/09/2024	WET	NOR
2/10/2024	WET+	HGH

T4		
Fecha de medición	Humedad	Intensidad solar
4/09/2024	WET+	LOW+
8/09/2024	WET+	LOW+
12/09/2024	NOR	HGH+
16/09/2024	DRY+	HGH+
20/09/2024	DRY+	HGH
24/09/2024	DRY+	NOR
28/09/2024	DRY+	HGH+
2/10/2024	WET+	NOR+

T5		
Fecha de medición	Humedad	Intensidad solar
4/09/2024	WET+	NOR+
8/09/2024	NOR	HGH
12/09/2024	DRY	HGH
16/09/2024	DRY+	HGH-
20/09/2024	DRY+	HGH+
24/09/2024	WET+	NOR+
28/09/2024	WET+	NOR+
2/10/2024	WET+	HGH+

T6		
Fecha de medición	Humedad	Intensidad solar
4/09/2024	WET+	NOR-
8/09/2024	WET	HGH-
12/09/2024	DRY	NOR-
16/09/2024	DRY+	HGH+
20/09/2024	DRY+	NOR-
24/09/2024	WET+	LOW+
28/09/2024	WET+	HGH
2/10/2024	WET+	LOW+

T7		
Fecha de medición	Humedad	Intensidad solar
4/09/2024	WET+	HGH-
8/09/2024	NOR	HGH+
12/09/2024	DRY+	NOR
16/09/2024	WET+	NOR+
20/09/2024	NOR	NOR+
24/09/2024	WET+	NOR
28/09/2024	WET+	NOR
2/10/2024	WET+	LOW+

T8		
Fecha de medición	Humedad	Intensidad solar
4/09/2024	WET+	NOR+
8/09/2024	WET+	NOR
12/09/2024	WET	LOW+
16/09/2024	DRY+	LOW+
20/09/2024	DRY+	NOR
24/09/2024	WET+	LOW-
28/09/2024	WET+	HGH+
2/10/2024	WET+	NOR+

- En las mediciones del 16/09/2024, se observa que el tensiómetro N° 7 registró un rango de humedad WET +, lo cual indica que se realizó una aplicación de riego (ver anexo) únicamente en el área donde está ubicado dicho tensiómetro. La primera aplicación de riego fue el 31/08/2024, y se realizó un nuevo riego fue el 13/09/2024, ya que el área representativa se encontraba seca. Esto ocurrió 14 días después del primer riego efectuado en el fundo Nueva Esperanza I, cuando se comenzaron las mediciones, cabe destacar que la aplicación de riego de en esa área representativa no fue realizada por el turno de agua que otorga la comisión de regantes de Puerto El Cura, sino por un reservorio ubicado en el fundo (**ver anexo 11**).
- Durante las mediciones, se aplicó un semi riego el 21/09/2024 (**ver anexo 11**), proporcionado por la comisión de regantes, por lo que no fue posible completar el riego en toda el área del fundo. Esto refleja en las mediciones del tensiómetro N° 4 entre el 24 al 28 de septiembre, que muestran un rango de DRY+, indicando que el suelo estaba MUY SECO.
- Se destaca, a través de las mediciones de humedad del suelo en el fundo, que la comisión de regantes de Puerto El Cura no tiene un manejo adecuado en cuanto al riego, ya que no respeta una frecuencia de riego adecuada para este cultivo. Las mediciones se realizaron después del riego del 31/08/2024, y el siguiente turno de riego otorgado el 28/09/2024 presenta una diferencia de 28 días, lo cual evidencia una falta de regularidad en el suministro de agua.
- La intensidad solar tiene una relación directa con la humedad del suelo, ya que una mayor exposición al sol incrementa la evaporación del agua, las mediciones con el tensiómetro muestran un rango de alta intensidad solar, expresado como HGH+, lo que evidencia el impacto de la radiación solar en la

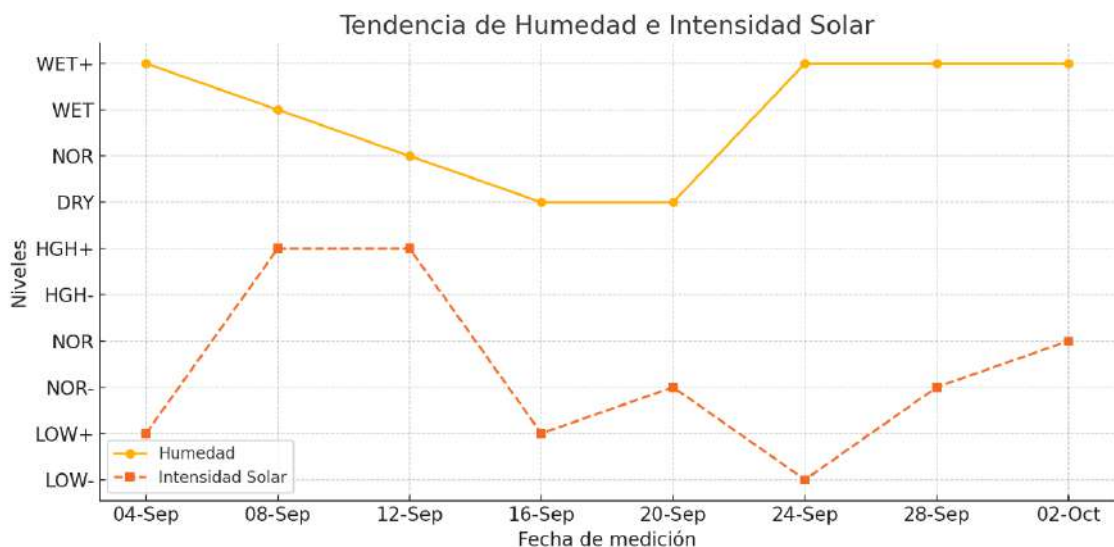
perdida de humedad del suelo. Además, el porcentaje de sombra proporcionado por el cultivo de cacao juega un papel crucial en la conservación de la humedad. Estos resultados son esenciales para comprender las interacciones entre la radiación solar, el manejo del riego, y las prácticas de sombra, lo cual puede tener implicaciones importantes en la gestión hídrica eficiente del cultivo.

a) Análisis de tendencia de humedad e intensidad solar.

La figura N° 14 muestra las siguientes tendencias:

- Humedad: Disminuye de “WET”+ a “DRY” entre el 4 y 16 de septiembre, indicando una pérdida de humedad. A partir del 20 de septiembre, la humedad aumenta y se estabiliza en “WET+” , por consecuencia que hubo aplicación de riego el 21 de dicho mes.
- Intensidad solar: Aumenta a HGH+ hasta el 12 de septiembre, luego desciende hasta su nivel más bajo “LOW-” el 24 de septiembre. Posteriormente, sube y se estabiliza cerca de “NOR”

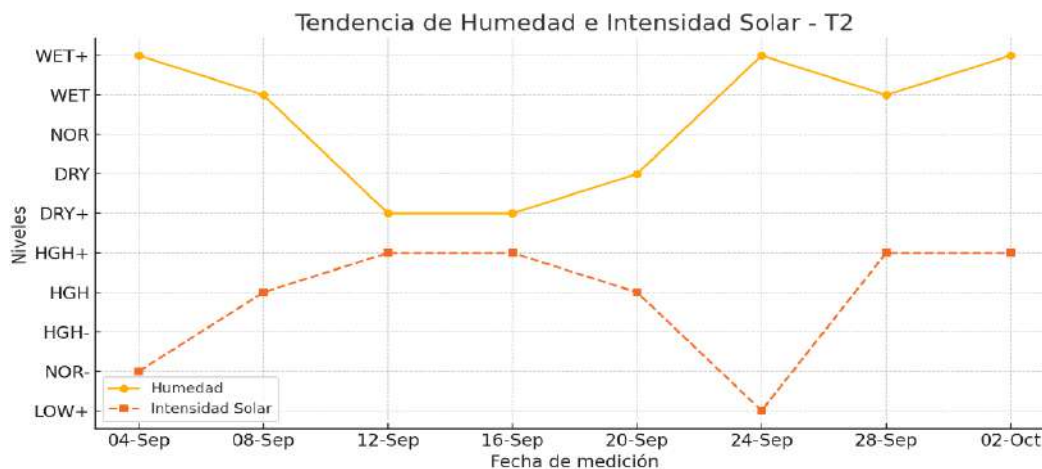
Figura 14: Análisis de tendencia del tensiómetro N°1.



- La figura N° 15, muestra que la humedad disminuye desde “WET+” a “DRY” en la primera mitad de septiembre, coincidiendo con el aumento en la intensidad solar hasta “HGH+”. A partir del 20 de septiembre, cuando la intensidad solar baja a “LOW+”, la humedad se recupera a “WET+” porque lo que ubo aplicación de riego y se mantiene alta incluso cuando la intensidad solar vuelve a subir. Esto indica que una menor exposición solar ayuda a conservar la humedad del

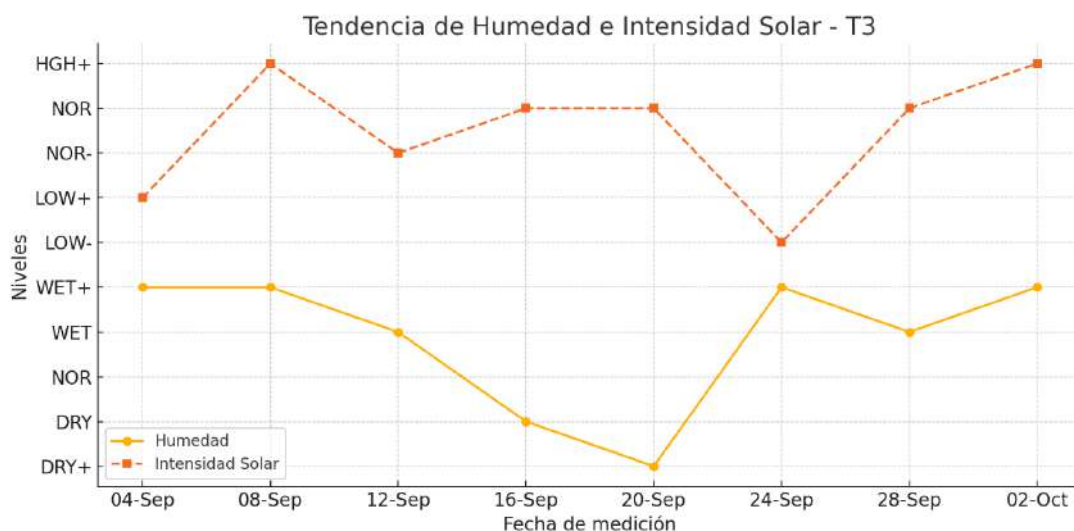
suelo, lo cual es clave para planificar el riego según los niveles.

Figura 15: Análisis de tendencia del tensiómetro N°2.



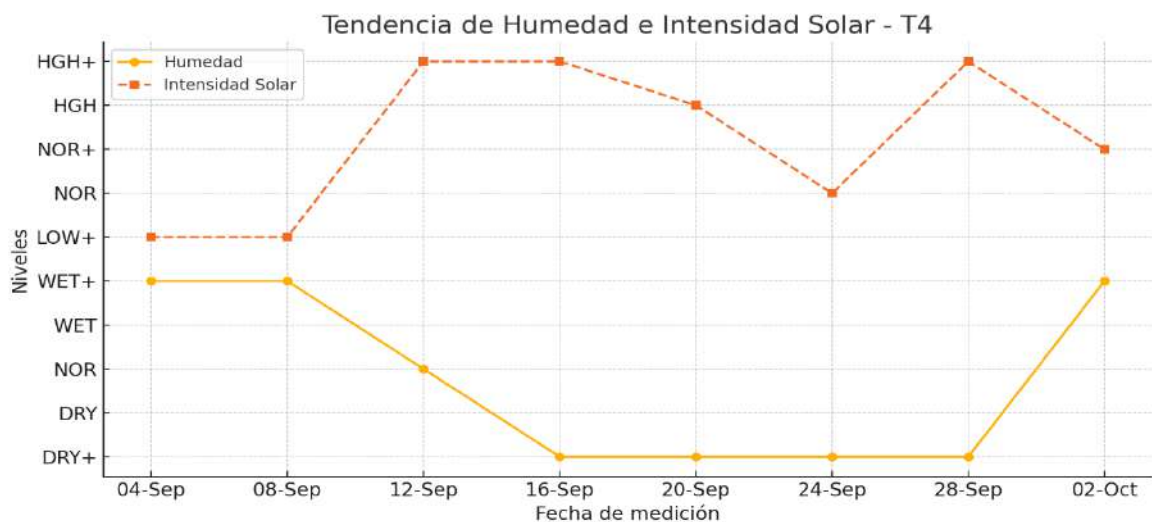
- En la figura N°16, muestra una relación inversa entre intensidad solar y humedad. Cuando la intensidad solar aumenta del 4 al 16 de septiembre, la humedad disminuye, mientras que al bajar la intensidad solar el 20 al 24 de septiembre, la humedad se recupera por lo que hubo aplicación de un riego el 21 de septiembre y la humedad se recupera. Al final, aunque la intensidad solar vuelve a subir el 28 de septiembre en adelante, la humedad se mantiene en niveles altos ya que el 29 hubo otra aplicación de riego.

Figura 16: Análisis de tendencia del tensiómetro N°3.



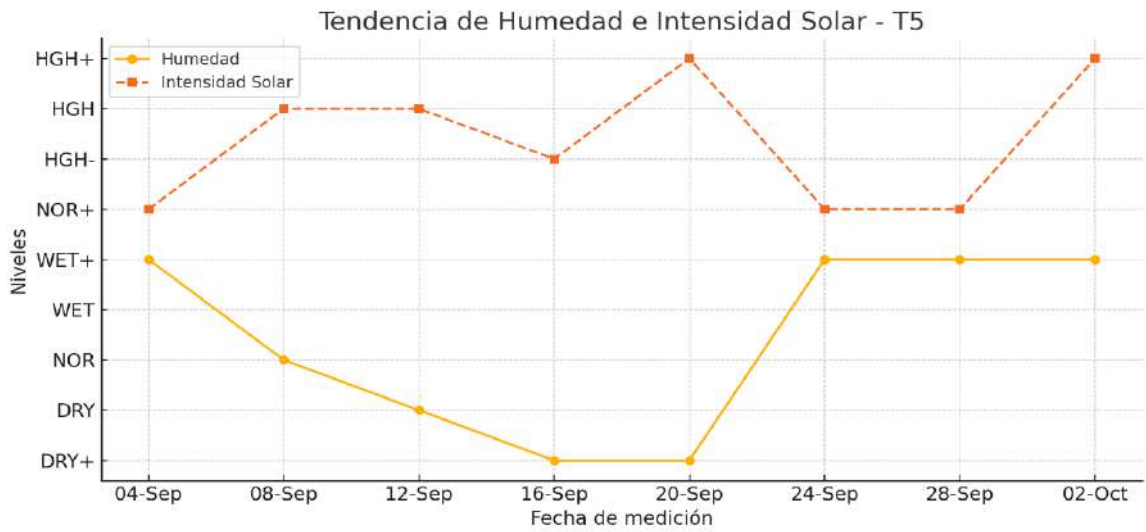
- En la figura N°17, muestra una disminución desde “WET+” a “DRY+” entre 4 y el 24 de septiembre, manteniéndose en niveles bajos debido a alta intensidad solar. Finalmente, la humedad se recupera a “WET+” el 2 de octubre cuando hubo una aplicación de riego el 29 de septiembre un atraso de riego de que trae consecuencia con el estrés hídrico del cultivo de cacao. Esto sugiere la necesidad de ajustar el riego durante periodos de alta exposición solar para mantener la humedad de suelo.

Figura 17: Análisis de tendencia del tensiómetro N°4.



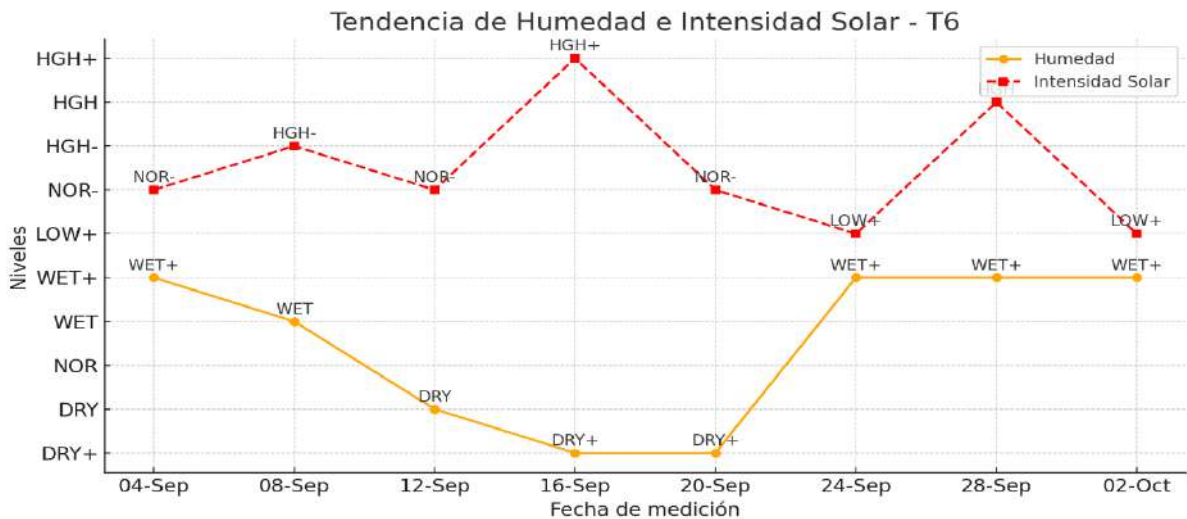
- En la figura N° 18, muestra niveles altos a principios de septiembre, disminuye ligeramente a mediados de mes y alcanza un pico máximo a principios de octubre. Estos períodos de alta exposición solar al principio y al fin del período probablemente contribuyan al secado del suelo, lo que indica la necesidad de aumentar el riego para mantener la humedad

Figura 18: Análisis de tendencia del tensiómetro N°5.



- Los datos de la figura N° 19, muestra una relación inversa entre la intensidad solar y la humedad del suelo. Una alta intensidad solar a mediados de septiembre corresponde a una baja humedad, lo que indica pérdida de humedad. a medida que la intensidad solar disminuye hacia el final del período, la humedad se recupera y estabiliza porque se le aplico riego el 21 de septiembre. Sugiere ajustar prácticas de riego en función de la exposición Solar puede ayudar a mantener la humedad.

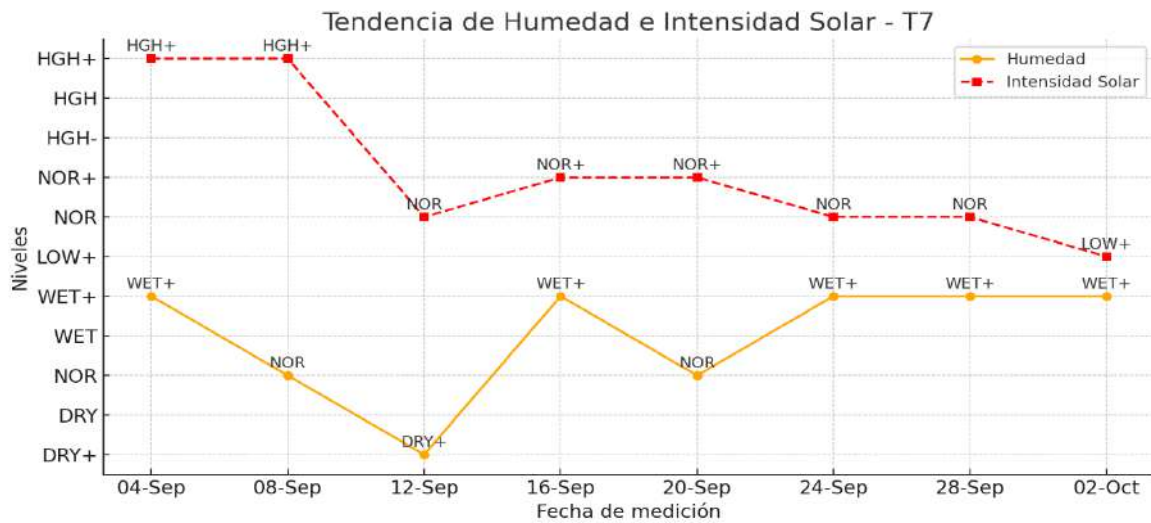
Figura 19: Análisis de tendencia del tensiómetro N°6.



- En la figura N° 20, la humedad disminuye cuando la intensidad solar es alta, a través de un riego el 16 de septiembre se recupera y estabiliza la humedad. Esto muestra una relación inversa: alta intensidad solar reduce la humedad,

mientras que menor intensidad permite retenerla.

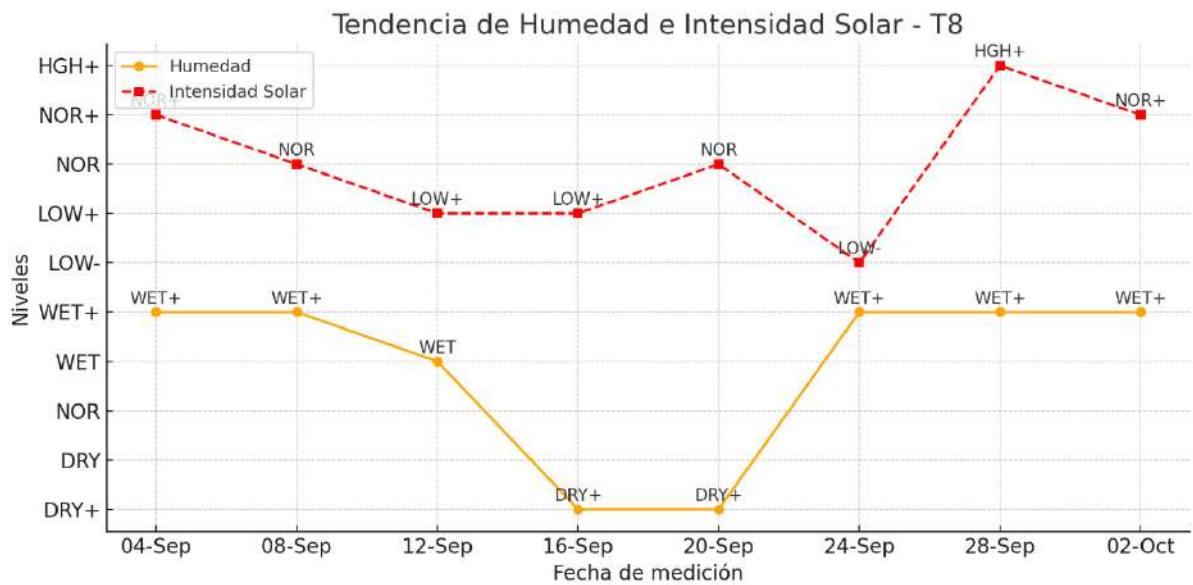
Figura 20: Análisis de tendencia del tensiómetro N°7



La figura N° 21 muestran las tendencias de humedad e intensidad solar.

- Humedad: Inicialmente alta en “WET+”, la humedad disminuye a “DRY+” a mediados de septiembre, lo que indica pérdida de humedad. Luego se recupera y se estabiliza en “WET+” a partir de fines de septiembre. Este patrón sugiere que los niveles de humedad responden a los cambios en la intensidad solar, y una mayor intensidad contribuye a la pérdida de humedad.
- Intensidad solar: Comienza en niveles moderados “NOR+” y “NOR” y desciende a “LOW-” el 24 de septiembre. Sin embargo, alcanza un pico máximo de “HGH+” el 28 de septiembre antes de volver a “NOR+” a principios de octubre. Los niveles de intensidad más alta conducen el secado del suelo.

Figura 21: Análisis de tendencia del tensiómetro N°8.



Resumiendo, el análisis que hay en relación de humedad e intensidad solar de las mediciones de los tensiómetros sobre el área representativa del fundo

1. Relación Inversa entre humedad e intensidad solar: en todas las gráficas se observa una tendencia inversa clara entre la humedad del suelo y la intensidad solar. Los periodos de alta intensidad solar coinciden con niveles bajos de humedad, mientras que disminución en a la exposición solar favorece a la retención de humedad.
2. Fluctuaciones en intensidad solar: En cada período, la intensidad solar varía entre niveles altos y bajos, afectando directamente los niveles de humedad. Los altos niveles de intensidad como “HGH+” y “HGH” llevan a la evaporación de agua en el suelo, mientras que los niveles moderados como “NOR” y “LOW-” permiten que el suelo conserve más humedad.
3. Implicación para el riego: Estos patrones indican que ajustar el riego en función de la intensidad solar podría ser efectivo para mantener la humedad del suelo en niveles óptimos. Durante periodos de alta intensidad solar, se recomienda aumentar el riego para compensar la pérdida de humedad, mientras que, en periodos de menos intensidad solar, el suelo retiene mejor la humedad de manera natural.

b) Cálculo de la frecuencia de riego con el análisis de suelo y la evapotranspiración del cultivo.

- Determinación de indirecta de la CC% y PMP%.

Figura 22: Formulas indirectas para CC% y PMP%.

$$CC = (0,48*a) + (0,162*L) + (0,023*A) + 2,62$$

$$PMP = (0,302*a) + (0,102*L) + (0,0147*A)$$

FUENTE: Fuentes, 2003.

Donde:

CC: Capacidad de campo.

PMP: Punto marchites permanente.

a: Contenido de arcilla %.

L: Contenido de limo%.

A: Contenido de arena%.

En la tabla 11, representa los valores de capacidad de campo y punto marchites permanente de cada perfil del suelo.

Tabla 11: CC% y PMP%

Muestra	CC%	PMP%
0-20	15.52	8.13
20-40	13.05	6.58
40-60	10.31	4.86
60-80	9.20	4.16

Cálculo del promedio ponderado.

Para CC	para PMP
- $CC_{0-20} = 15.52 * 20 = 310.32$	- $PMP_{0-20} = 8.13 * 20 = 162.60$
- $CC_{20-40} = 13.05 * 20 = 261.04$	- $PMP_{20-40} = 6.58 * 20 = 131.62$
- $CC_{40-60} = 10.31 * 20 = 206.20$	- $PMP_{40-60} = 4.86 * 20 = 97.13$
- $CC_{60-80} = 9.20 * 20 = 183.96$	- $PMP_{60-80} = 4.16 * 20 = 83.17$

Promedio ponderado del perfil (0 – 80cm), considerando de cada capa, se calculó un valor promedio ponderado de capacidad de campo y de punto de marchitez permanente como se muestra en la tabla 11. Este valor representativo del perfil permite obtener una visión general de la retención de agua en el suelo, clave para el diseño de estrategias de riego y la gestión hídrica eficiente en el cultivo de cacao.

Tabla 12. Promedio ponderado de CC% y PMP%

	Sumatoria $\sum CC$, $\sum PMP$	Profundidad total del perfil	Promedio ponderado
CC %	961.54	80 Cm	12.02
PMP%	474.54	80 Cm	5.93

- Determinación de frecuencia de riego.

Ecuación 11: Frecuencia de riego.

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

Donde:

Fr : frecuencia de riego.

Ln : lamina neta (mm).

ETreal : evapotranspiración real o del cultivo (mm/día).

Ecuación 12: Lamina neta (mm).

$$Ln: \frac{(CC\% - PMP\%)}{100} * \rho_a * P_s$$

Donde:

Ln : lamina neta (mm).

CC% : capacidad de campo.

PMP% : punto de marchites permanente.

ρ_a : densidad del suelo.

P_s : profundidad del suelo o de la raíz del cultivo.

En el cálculo se determinando una lámina neta de 109.6 mm, lo cual refleja la cantidad de agua requerida para satisfacer las demandas del cultivo de cacao bajo condiciones climáticas y edáficas analizadas. Este valor es clave para planificar y ajustar las estrategias de riego.

Se calcula la frecuencia de riego para los 12 meses, como se muestra en la tabla siguiente.

Tabla 13: Frecuencia de riego mensual.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
Fr	14.69	15.37	14.62	14.47	17.09	19.35	19.51	18.26	17.41	18.26	17.16	16.07

- Se deduce que la frecuencia más corta se observa en abril (14.47 a 15 días) y meses como marzo (14.62 días a 15 días). Indicando un aumento en la demanda hídrica a mayor tiempo de riego por condiciones climáticas y fenológica del cultivo cacao.

- se deduce una frecuencia más larga los meses de julio (19.51 a 20 días) y junio (19.51 a 20 días) presentan intervalos de riegos más largos, lo que se determina que en estos periodos las condiciones climáticas y del suelo permiten que el agua esté disponible por más tiempo.

c) Determinación de las necesidades hídricas del cultivo de cacao.

- Determinación de la demanda.

La tabla 14 presenta un análisis detallado de los parámetros relacionados con el consumo de agua en el cultivo de cacao, considerando la evapotranspiración, la precipitación efectiva y otros factores relacionados para calcular la demanda hídrica necesaria para el cultivo de cacao en 2.56 hectárea.

La eficiencia de riego es de 30 %, por lo que se observó en campo, es un canal de conducción por gravedad, los tramos del canal están semi revestido, por lo cual se considera perdidas por filtración, evaporación.

Figura 23: Comparativo de eficiencia de uso de agua para riego.

COMPARATIVO DE EFICIENCIA DE USO DE AGUA PARA RIEGO

País	Eficiencia de uso de agua para riego
Perú	30%
India	54%
Egipto	53%
Arabia Saudita	43%
China	36%
México	31%
Colombia	25%
Chile	20%
Brasil	17%



Fuente: Anexo 02 – PP 0042 Aprovechamiento de los recursos hídricos para uso agrario; ANA

Tabla 14: Determinación de la demanda hídrica del cultivo de cacao

PARÁMETRO	UNIDAD	MESES											
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1. Evapotransp. de Referencia (ETo)	(mm/día)	5.00	4.77	5.02	5.07	4.28	3.78	3.74	3.98	4.18	3.99	4.26	4.56
2. Kc cultivo de cacao		1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
3. Evapotransp. de Cultivo (ETc)	(mm/día)	7.50	7.16	7.52	7.60	6.42	5.68	5.62	5.98	6.27	5.99	6.39	6.84
4. Precipitación Efectiva	(mm/día)	1.44	3.12	3.84	1.53	0.90	0.33	0.04	0.08	0.02	0.12	0.06	0.51
5. Necesidades Netas	(mm/día)	6.05	4.03	3.69	6.07	5.52	5.35	5.58	5.90	6.25	5.86	6.32	6.33
6. Eficiencia de aplicación del sistema	(%)	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00
7. N° días del mes	(días)	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
8. Necesidades Totales	(mm/día)	20.18	13.45	12.29	20.24	18.40	17.83	18.59	19.66	20.82	19.55	21.07	21.10
	(m3/ha/día)	201.82	134.50	122.91	202.40	183.95	178.30	185.90	196.61	208.24	195.47	210.73	211.05
	(m3/ha/mes)	6,256.32	3,765.92	3,810.25	6,072.06	5,702.51	5,348.91	5,762.86	6,094.88	6,247.35	6,059.66	6,321.93	6,542.42
9. Área total	(ha)	2.56	2.56	2.56	2.56	2.56	2.56	2.56	2.56	2.56	2.56	2.56	2.56
10. Volumen demandado	(m3/mes)	16,016.17	9,640.76	9,754.24	15,544.48	14,598.43	13,693.20	14,752.93	15,602.88	15,993.21	15,512.74	16,184.14	16,748.59

Interpretación de los resultados:

- La evapotranspiración de referencia: muestra una tendencia a disminuir de enero 5.00 mm/día a julio 3.74 mm/día, alcanzando su valor más bajo en los meses de invierno debido a menores temperaturas y radiación solar. En análisis, la ETc ajustada al coeficiente de cultivo con un Kc= 1.5, presentó valores máximos en enero 7.50 mm/día y marzo 7.60 mm/día, indicando mayores requerimientos hídricos en estos periodos.
- Precipitación efectiva: los aportes de lluvia efectivos fueron más significativas durante enero 1.44 mm/día y marzo 3.12 mm/día. En los meses de junio a agosto, la caída fue casi nula, lo que resalta la dependencia del riego para satisfacer las necesidades

hídricas del cultivo de cacao.

- Necesidades netas y totales: fueron mayores en 5.35 mm/día y julio 5.58 mm/día, debido a la baja precipitación. Estas cifras se tradujeron en necesidades totales más altas en términos volumétricos durante estos meses. Los requerimientos totales de agua alcanzaron su máximo en diciembre 16.748,59 m³ y el mínimo en febrero 9.640,76 m³, con una tendencia estacional asociada a las condiciones climáticas.
- Demanda hídrica anual: total de agua para el área cultivada de 2.56 hectáreas alcanzó un volumen anual estimado de 174,041,75 m³, distribuidos de manera desigual a lo largo de los meses, con una mayor concentración en la estación seca.
- Determinación de la oferta.

El análisis está basado en el área de 2,56 hectáreas cultivada de cultivo de cacao, que es constante para todo el período. El volumen de agua está respaldado por la Resolución Administrativa N° 052 – 2018 – ANA – AAA. JZ – ALA. T (**ver anexo 13**).

Tabla 15: Determinación de la oferta hídrico.

N°	Área Bajo Riego (ha)	Documento que Acredita la Disponibilidad Hídrica	Unidad	Meses												Total
				Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
1	2.56	RD N° 052 -2018 - ANA-AAA. J- ALA. T	m3	2,231.00	2,378.00	2,256.00	8,135.00	11,135.00	8,906.00	9,406.00	3,256.00	8,285.00	8,785.00	5,756.00	7,406.00	77,935.00
(*)	2.56	Volumen Asignado al proyecto	m3	2,231.00	2,378.00	2,256.00	8,135.00	11,135.00	8,906.00	9,406.00	3,256.00	8,285.00	8,785.00	5,756.00	7,406.00	77,935

- Oferta hídrica.

Tabla 16: Determinación de la oferta hídrica.

N°	Descripción	Cálculo	Unidad	Meses												Total
				Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
a	Caudal Asignado por la OUA	Dato	l/s	0.8	1.0	0.8	3.1	4.2	3.4	3.5	1.2	3.2	3.3	2.2	2.8	
b		Dato	m ³ /hr	3.00	3.54	3.03	11.30	14.97	12.37	12.64	4.38	11.51	11.81	7.99	9.95	
c	Tiempo de Riego por Dotación	Dato	hr/ha	140.63	150.00	140.63	159.38	178.13	187.50	168.75	168.75	168.75	168.75	159.38	150.00	
d	Área de Riego	Dato	ha	2.56	2.56	2.56	2.56	2.56	2.56	2.56	2.56	2.56	2.56	2.56	2.56	
e	Tiempo de Riego Total por Dotación	(c x d)	hr	360.00	384.00	360.00	408.00	456.00	480.00	432.00	432.00	432.00	432.00	408.00	384.00	
f	N° de Días del Mes	Dato	días	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	
g	Frecuencia de Riego Parcelario	Dato	días	15	16	15	17	19	20	18	18	18	18	17	16	
h	Número de Riegos al Mes	(f / g)	N°	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
i	Volumen Ofertado para el Proyecto (*)	(b x e x h)	m ³ /mes	2,231.00	2,378.00	2,256.00	8,135.00	11,135.00	8,906.00	9,406.00	3,256.00	8,285.00	8,785.00	5,756.00	7,406.00	77,935
j		(i / d)	m ³ /ha/mes	871	929	881	3,178	4,350	3,479	3,674	1,272	3,236	3,432	2,248	2,893	30,443
k		(j / f)	m ³ /ha/día	28.11	33.18	28.43	105.92	140.31	115.96	118.52	41.03	107.88	110.70	74.95	93.32	998.31

Volumen mensual representa el volumen de agua mensual ofertado para el proyecto en m^3/mes , que se distribuye de forma variable durante el año. Los meses de mayor oferta hídrica son mayo ($11,135 m^3/mes$), y abril ($8,135 m^3/mes$), mientras que los valores más bajos se registran en enero ($2,231 m^3/mes$) y marzo ($2,256m^3/mes$). Esto refleja una fuerte variación estacional del recurso hídrico disponible.

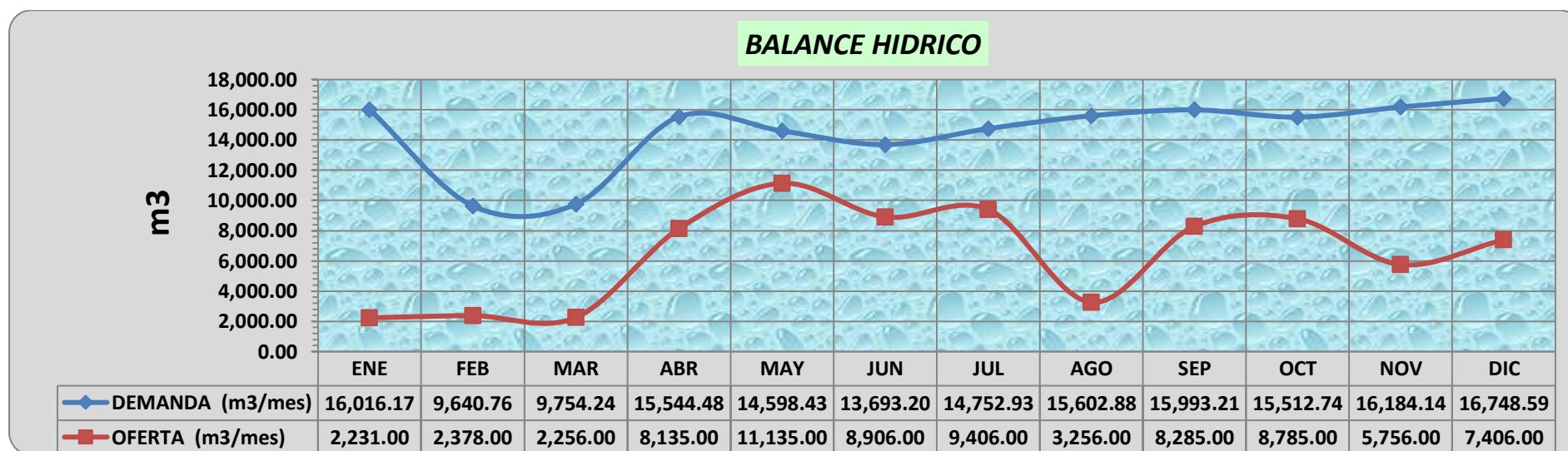
Volumen ofertado en términos de hectárea, este indicador detalla volumen en $m^3/ha/mes$, mostrando valores más altos en mayo ($4,350 m^3/ha/mes$) y abril ($3,178 m^3/ha/mes$), y más bajo en los meses iniciales del año como enero ($871 m^3/ha/mes$).

- Balance hídrico.

Tabla 17: Balance hídrico para el cultivo de cacao.

PARAMETRO	MESES											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OFERTA (m3/mes)	2,231.00	2,378.00	2,256.00	8,135.00	11,135.00	8,906.00	9,406.00	3,256.00	8,285.00	8,785.00	5,756.00	7,406.00
DEMANDA (m3/mes)	16,016.17	9,640.76	9,754.24	15,544.48	14,598.43	13,693.20	14,752.93	15,602.88	15,993.21	15,512.74	16,184.14	16,748.59
BALANCE (m3/mes)	-13,785.17	-7,262.76	-7,498.24	-7,409.48	-3,463.43	-4,787.20	-5,346.93	-12,346.88	-7,708.21	-6,727.74	-10,428.14	-9,342.59

Figura 24: Gráfica N° 15 de balance hídrico del cultivo de cacao.



La grafica N° 15 muestra el balance hídrico mensual para el cultivo de cacao en el fundo Nueva Esperanza I, donde se comparan la demanda hídrica de cultivo en (m^3/mes) y la oferta disponible en (m^3/mes).

- La demanda hídrica presenta una tendencia fluctuante a lo largo del año, con valores máximos en enero ($16,016.17 m^3$) y diciembre ($16,748.28 m^3$), coincidiendo posiblemente con periodos de mayor desarrollo fenológico y condiciones climáticas que incrementan la evapotranspiración del cultivo de cacao.

Los valores más bajos se registran en marzo ($9,754.24 m^3$) y febrero ($9,640.76 m^3$), lo que podría relacionarse con una menor actividad fenológica del cultivo o condiciones climáticas más favorables para la conservación de humedad.

- La oferta de agua también varia considerablemente a lo largo del año, alcanzando su punto máximo en mayo ($11,135.00 m^3$) y valores mínimos en agosto ($3,256.00 m^3$). Esto sugiere una dependencia importante de las condiciones climáticas o la disponibilidad de recurso hídrico durante el año.

Déficit y excedente hídrico.

- Durante los meses como enero, febrero, marzo, julio, agosto, noviembre y diciembre, la oferta hídrica es significativamente inferior a la demanda, generando déficit hídrico que podría impactar negativamente en la producción al cultivo de cacao.
- Se observa un déficit hídrico recurrente en la mayoría de los meses del año, lo que indica la necesidad de estrategias de manejo del agua.
- Solo en mayo la oferta supera levemente la demanda, generando un excedente que podría aprovecharse para compensar el déficit de otros meses.

El análisis del balance hídrico en el cultivo de cacao es desfavorable en la mayoría de los meses, con un déficit marcado en épocas críticas como enero y diciembre. Es fundamental optimizar la gestión hídrica mediante la planificación del riego.

4.1.3. Resultados de la observación de campo y evaluación de la distribución del agua en el fundo Nueva Esperanza I.

Con el fin de optimizar el manejo del riego por inundación, se llevaron a cabo inspecciones visuales y evaluaciones de campo para analizar la infraestructura de riego y la distribución del recurso hídrico en el fundo Nueva Esperanza.

4.1.3.1. Resultados de observación de campo.

Se inspecciona que el canal terciario, encargado de satisfacer el suministro hídrico al fundo, presenta una sección de forma trapezoidal y carece de revestimiento. La distancia desde el lateral principal hasta el fundo es de aproximadamente 1 km **(ver anexo 14)**. A lo largo de este recorrido, se identificaron pérdidas significativas de agua debido a filtración, evaporación y retención, agravadas por la presencia de malezas en el canal. Estas malezas no solo reducen la capacidad del flujo, sino que también generan obstrucciones que incrementan las pérdidas hídricas. **(Ver anexo 14)**.

En cuanto al lateral 13, un canal de orden secundario, este cuenta con una compuerta que regula el flujo hacia el canal terciario que abastece al fundo. Sin embargo, se evidencia que las pérdidas también ocurren debido a una regulación inadecuada de la compuerta por parte del gestor del canal secundario. Además, el canal terciario no presenta una suficiente fuerza de arrastre (jalada), lo que dificulta el transporte eficiente del recurso hídrico hacia el fundo. **(Ver anexo 14)**

4.1.3.2. Resultados de la evaluación de la distribución de agua.

se evaluó que, en algunas áreas del fundo, la separación terreno del cultivo presentan desniveles significativos, lo que provoca una falta de uniformidad en el riego. En una poza representativa del fundo se midió que, en un extremo. Las plantas de cacao recibían una lámina de agua de 20 cm, mientras que en el lado opuesto apenas alcanzaba los 5 cm. Esta desigual distribución del agua genera un riego irregular que afecta negativamente el desarrollo uniforme del cultivo. Además, los canales principales del fundo carecen de taludes definidos y se encuentran parcialmente enterrados, lo que dificulta el flujo adecuado del recurso hídrico y favorece la formación de embalsamientos en ciertas zonas. También se detectaron filtraciones hacia los bordes de los canales, ocasionando pérdidas significativas de agua.

4.2. DISCUSIÓN.

La presente investigación ha aportado una comprensión detallada de las necesidades hídricas del cultivo de cacao en el fundo Nueva Esperanza I, destacando la importancia de los factores climáticos, edáficos y del manejo hídrico.

4.2.1. Factores climáticos y su impacto en el cultivo de cacao.

Los resultados evidenciaron tendencias significativas en las variables climáticas analizadas durante el período 2014 – 2023. La temperatura máxima presentó un incremento gradual, lo que coincide con las proyecciones de cambios climáticos globales (Banco Mundial, 2013). Este aumento de temperaturas puede generar un impacto negativo en los ciclos fenológicos del cacao, incrementando la demanda hídrica. En contraste, las temperaturas mínimas mostraron una disminución progresiva, un fenómeno que podría afectar el crecimiento inicial de las plantas incrementando el riesgo de estrés térmico (Hernández Arango, 2019).

La humedad relativa creciente es una condición favorable para el cacao, al ser una especie adaptada a climas húmedos (Sabando Lucas y Molina Aquino, 2013). Sin embargo, las fluctuaciones en la precipitación anual, como las observadas en 2018 y 2023, sugieren la necesidad de un manejo adaptativo del riego para garantizar la disponibilidad constante de agua (Valdivieso López , 2017).

4.2.2. Características edáficas y su relación con la retención de agua.

El análisis edáfico reveló que el suelo del fundo presenta una textura mayormente franco arenosa, lo que asegura un buen drenaje, pero limita la capacidad de retención de agua y nutrientes. Esta característica coincide con lo reportado por (Guerrero Guerrero, 2019), quien enfatiza la importancia de un manejo intensivo en suelos con estas propiedades.

El Ph del suelo (5.76 a 6.25) se encuentra del rango óptimo para el cultivo de cacao, favoreciendo la absorción de nutrientes y la actividad microbiana benéfica (Arce, 2003). No obstante, la materia orgánica, con valores que oscilan entre 3 y 11.2 toneladas por hectárea, aunque modera, podría ser mejorada mediante la incorporación de abonos orgánicos, como se sugiere en estudios previos (Zambrano Chávez, 2023).

4.2.3. Evapotranspiración y balance hídrico.

La evapotranspiración, calculada mediante el método de Penman – Monteith modificada, varió según las condiciones climáticas locales, con picos en los meses de mayor radiación solar. Este hallazgo subraya la necesidad de ajustar la frecuencia de riego para evitar pérdidas de humedad en los periodos de mayor demanda hídrica (Allen et al., 2006). La relación inversa entre la humedad del suelo y intensidad solar observada coincide con los resultados de (Mitma Huamaní, 2015), quien destaca la importancia del monitoreo constante para prevenir el estrés hídrico.

El balance hídrico anual reflejó una demanda insatisfecha en varios meses, lo que puede atribuirse a la infraestructura hídrica deficiente. Este aspecto es crítico, ya que la falta de una distribución uniforme del agua afecta directamente la productividad del cultivo, como señala (Blaya et al., 2019).

Manejo del riego.

El manejo del riego por inundación en el fundo Nueva Esperanza I mostró oportunidades de mejora. Las observaciones de campo destacaron la necesidad de nivelar el terreno y optimizar los canales de distribución para minimizar pérdidas por escorrentía. Estas recomendaciones están alineadas con lo propuesto por (Campos et al., 2018), quienes enfatizan que el control adecuado de la distribución del agua puede incrementar la eficiencia del riego hasta en un 30%.

Implicancias.

Los resultados de esta investigación proporcionan una base sólida para implementar estrategias de manejo hídrico adaptadas a las condiciones locales del fundo Nueva Esperanza I.

- 1. Incorporar sensores de humedad:** para un monitoreo continuo y ajuste en tiempo real de la frecuencia de riego.
- 2. Optimizar la infraestructura hídrica:** nivelando el terreno y mejorando los canales de distribución.
- 3. Incrementar el contenido de materia orgánica:** mediante la aplicación de abonos orgánicos que mejoren la retención de agua y nutrientes.
- 4. Desarrollar un programa de riego eficiente:** basado en las fluctuaciones climáticas y los resultados del balance hídrico.

V. CONCLUSIONES

1. El análisis climático (2014 – 2023) evidencia que las temperaturas máximas en aumento y las mínimas en descenso afectan la disponibilidad hídrica y el rendimiento del cacao. Las variaciones en precipitación y humedad relativa subrayan la necesidad de estrategias de manejo adaptativo para enfrentar fluctuaciones estacionales.
2. El análisis edáfico se concluye que es un suelo franco arenoso, con un buen drenaje, pero limitada retención de agua y nutrientes, requieren de prácticas de manejo como la incorporación de materia orgánica y fertilizantes para mejorar su fertilidad y sostenibilidad. El pH ligeramente ácido y la baja conductividad eléctrica son favorables para el cultivo de cacao,
3. Las mediciones de tensiómetros reflejan una relación inversa entre la humedad del suelo e intensidad solar, indicando pérdidas significativas de humedad en periodos de alta radiación, lo que resalta la necesidad de ajustar la frecuencia de riego según las condiciones climáticas
4. El cultivo de cacao requiere un volumen de agua anual variable, entre $9,640.76 m^3$ y $16,748.59 m^3$ para 2.56 Ha, con mayor demanda en meses de baja precipitación.
5. El balance hídrico mostro déficits marcados en la mayoría de los meses, destacando enero y diciembre como periodos críticos. Esto evidencia que la oferta hídrica no satisface la demanda del cultivo de cacao.
6. La infraestructura hídrica presenta filtraciones, obstrucciones y distribución irregular del agua, lo que genera pérdidas y un riego desigual.

VI. RECOMENDACIONES

- 1.** Implementar un sistema de riego presurizado por goteo eficiente y planificado, basado en los resultados del balance hídrico y la evapotranspiración del cultivo de cacao, para reducir el déficit hídrico en los periodos críticos y garantizar una distribución uniforme del agua en todo el fundo.
- 2.** Revestir los el canal terciario que lleva el flujo hasta el fundo para minimizar perdidas por filtración y evaporación. Además, elimine malezas y ajuste las compuertas del sistema de riego para optimizar la conducción y evitar embalsamientos o desniveles en las pozas.
- 3.** Definir y aplicar una frecuencia de riego basada en las condiciones climáticas, la intensidad solar y las características edáficas del suelo. En periodos de alta radiación solar, se recomienda reducir los intervalos entre riegos para compensar la pérdida de humedad.
- 4.** Desarrollar planes de manejo hídrico adaptativos que consideren la variabilidad climática, como fluctuaciones en precipitación y temperaturas extremas, para minimizar el impacto del estrés hídrico.
- 5.** Considerar la construcción o mejora de reservorios para garantizar el suministro de agua durante los meses mayor déficit hídrico, reduciendo la dependencia de la comisión de regantes del puerto el cura.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acevedo, E. (1979). Interacciones suelo-agua-raíz en el proceso de absorción de agua por las plantas.
- Arce, M. P. (2003). Manual de cultivo del cacao. Peru: Ministerio de Agricultura.
- Aveiga Falcones, D. M. (2017). Determinación del régimen de riego de proyecto para los cultivos cacao y maíz en las condiciones edafoclimáticas del cantón Chone. Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Manta, extensión en Chone. Obtenido de <https://repositorio.ulead.edu.ec/handle/123456789/625>
- Blaya Ros, P. J., Torres Sánchez, R., Blanco Montoya, V., & Domingo Miguel, R. (2019). Estudio de indicadores de estrés hídrico de suelo y planta y su aplicabilidad a la programación automática del riego deficitario en frutales. Universidad Politécnica de Cartagena. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10317/11137>
- Campos Muñoz, C., Arribillaga García, D., Chacón Cruz, G., Uribe Cifuentes, H., & Acuña Bravo, I. (2018). Diagnóstico en gestión y manejo hídrico intrapredial en el área de influencia del canal Faja Maisán. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA. Centro Regional de Investigación INIA Carillanca. Obtenido de <http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR40849.pdf>
- Cervantes Ortega, T. R., & Huachua Tispimana, E. M. (2018). Determinación de la evapotranspiración del cultivo de pecano (*carya illinoensis koch*) variedad mahan en la zona baja del valle de Ica. universidad nacional San Luis Gonzaga de Ica. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.13028/3119>
- Cornejo Zambrano, J. S. (2023). Frecuencias de riego para cultivo de cacao (*Theobroma sp*) en fase de desarrollo para la época seca. Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Manta, Ecuador. Obtenido de <https://repositorio.ulead.edu.ec/handle/123456789/4632>
- Cruz Landero, E. (2014). Requerimientos de habilidades técnicas para la renovación de plantaciones de cacao en Tabasco, México. *Master's thesis*. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT). Obtenido de <http://hdl.handle.net/10521/2493>
- de Aragón, D. G. (s.f.). Simposio sobre optimization de los recursos hídricos.
- FAO. (2006). Organización internacional que cuida del desarrollo de la agricultura y la erradicación del hambre.

- Fuentes Yague, J. L. (2003). *Técnica de riego*. Madrid España: Aedos, S.A.
- G Allen, R., S Pereira, L., Raes, D., & Smith, M. (2006). Evapotranspiración del cultivo.
- Guerrero Guerrero, F. R. (2019). Cultivo de Cacao (*Theobroma cacao linnaeus*) como Rubro para la Sustentabilidad de los Suelos:(Investigacion en Desarrollo). *Revista Scientific*, 4(13), 78 - 89. Obtenido de <https://doi.org/10.29394/Scientific.issn.2542-2987.2019.4.13.4.78-89>
- Hajare, H. V., Raman, N. S., & Dharkar, E. J. (2009). Evapotranspiration studies for Nagpur district. *Wseas transactions on environment and development*(1), 94 - 103.
- Hernández Arango, A. M. (2019). Sistema de riego automatizado por micro aspersión para el cultivo de cacao en el Municipio de Cabuyaro, Meta. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Obtenido de <http://hdl.handle.net/11349/16271>
- Jaramillo Jaramillo, D. F. (2002). Introducción a la ciencia del suelo. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Obtenido de <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/70085/70060838.2002.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Lanfranco, J. W., Pellegrini, A., & Cattani, V. (2014). Contenidos de edafología. *Libros de Cátedra*. Universidad Nacional de la Plata.
- Macías Dumes, J. M., & Pino Peralta, S. L. (2023). Valor económico de la huella hídrica de cacao arriba (*Theobroma Cacao*). 14(41), 94 - 130. *Revista de la Universidad del Zulia*. doi:<https://doi.org/10.46925//rdluz.41.06>
- Mesias Restrepo, E. F. (2019). Implementación de una herramienta informática de agricultura específica por sitio (AEPS) para el cálculo balance hídrico priorizado en el cultivo de Caña de azúcar. Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD de Colombia. Obtenido de <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/31510>
- Mitma Huamaní, S. (2015). Requerimiento hídrico y programación de riego en el cultivo de tara (*Caesalpinia spinosa*). Pacaycasa-Ayacucho 2760 msnm. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. Obtenido de <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/3121>
- Ortiz Palomino, J. A. (2018). Evapotranspiración del cultivo para calcular la

- demanda de agua del tomate (*Lycopersicum esculentum*) en condición de invernadero y campo abierto a 2760 msnm – Ayacucho. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. Obtenido de <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/3156>
- Pardo Rios, G. X. (2011). Diseño de módulo tipo de riego por goteo para cultivos hortícolas en San Vicente de Loja, cantón Santa Elena. La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena. Obtenido de <http://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/883>
- Ramirez Silva, S. B. (2023). Necesidades hídricas del *Theobroma cacao* L.(cacao) en la etapa de producción, fundo Miraflores, Nuevo Bambamarca-Tocache. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.14292/2589>
- Sabando Lucas, L. A., & Molina Aquino, R. R. (2013). Diseño e instalación de un sistema de riego por aspersión en el área de clones del cultivo de cacao (*theobroma cacao* L.), en la ESPAM-MFL. (Bachelor's thesis, Calceta: ESPAM). Obtenido de <http://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/28>
- Santa, M. (1997). Sistemas de riego. Instituto de estudios superior Santa Maria.
- Sobil Olivino, B. S., & Hernández Alberti, I. (2009). Una aproximación a las necesidades de agua del cultivo del Cacao (*Theobroma cacao* L). 12(4). Hombre, Ciencia y Tecnología. Obtenido de <http://hct.cigetgtmo.co.cu/revistahct/index.php/hct/article/view/33>
- Valdivieso López , C. S. (2017). Optimización de la asignación del agua de riego para los cultivos del área de influencia del sistema Carrizal-Chone. Universitat Politècnica de València. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10251/89203>
- Vargas Acosta, D. E. (2022). Sistemas de riego por aspersión subfoliar en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.). (*Bachelor's thesis, BABAHOYO: UTB, 2021*). Universidad Técnica De Babahoyo. Obtenido de <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/11330>
- Zambrano Chávez, A. I. (2023). Dianóstico del suelo y requerimientos hídricos para el cultivo de cacao (*theobroma cacao*) en la finca "San Vicente" la Troncal. Universidad Agraria del Ecuador .

ANEXOS

ANEXO 1: Tablas de parámetros para calcular la ecuación de Penman modificada.

Tabla 18: Valores del factor de ponderación *W*, a diferentes temperaturas y altitudes.

Temperatura °C	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
Altitud (m)																				
0	0,43	0,46	0,49	0,52	0,55	0,58	0,61	0,64	0,66	0,68	0,71	0,73	0,75	0,77	0,78	0,80	0,82	0,83	0,84	0,85
500	0,45	0,48	0,51	0,54	0,57	0,60	0,62	0,65	0,67	0,70	0,72	0,74	0,76	0,78	0,79	0,81	0,82	0,84	0,85	0,86
1.000	0,46	0,49	0,52	0,55	0,58	0,61	0,64	0,66	0,69	0,71	0,73	0,75	0,77	0,79	0,80	0,82	0,83	0,85	0,86	0,87
2.000	0,49	0,52	0,55	0,58	0,61	0,64	0,66	0,69	0,71	0,73	0,75	0,77	0,79	0,81	0,82	0,84	0,85	0,86	0,87	0,88
3.000	0,52	0,55	0,58	0,61	0,64	0,66	0,69	0,71	0,73	0,75	0,77	0,79	0,81	0,82	0,84	0,85	0,86	0,88	0,88	0,89
4.000	0,55	0,58	0,61	0,64	0,66	0,69	0,71	0,73	0,76	0,78	0,79	0,81	0,83	0,84	0,85	0,86	0,88	0,89	0,90	0,90

Fuente: (FAO, 2006)

Tabla 19: Duración máxima diaria de horas de fuerte insolación "N" en diferentes meses y latitudes.

Latitud Norte	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Latitud Sur	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.
50°	8,5	10,1	11,8	13,8	15,4	16,3	15,9	14,5	12,7	10,8	9,1	8,1
48°	8,8	10,2	11,8	13,6	15,2	16,0	15,6	14,3	12,6	10,9	9,3	8,3
46°	9,1	10,4	11,9	13,5	14,9	15,7	15,4	14,2	12,6	10,9	9,5	8,7
44°	9,3	10,5	11,9	13,4	14,7	15,4	15,2	14,0	12,6	11,0	9,7	8,9
42°	9,4	10,6	11,9	13,4	14,6	15,2	14,9	13,9	12,6	11,1	9,8	9,1
40°	9,6	10,7	11,9	13,3	14,4	15,0	14,7	13,7	12,5	11,2	10,0	9,3
35°	10,1	11,0	11,9	13,1	14,0	14,5	14,3	13,5	12,4	11,3	10,3	9,8
30°	10,4	11,1	12,0	12,9	13,6	14,0	13,9	13,2	12,4	11,5	10,6	10,2
25°	10,7	11,3	12,0	12,7	13,3	13,7	13,5	13,0	12,3	11,6	10,9	10,6
20°	11,0	11,5	12,0	12,6	13,1	13,3	13,2	12,8	12,3	11,7	11,2	10,9
15°	11,3	11,6	12,0	12,5	12,8	13,0	12,9	12,6	12,2	11,8	11,4	11,2
10°	11,6	11,8	12,0	12,3	12,6	12,7	12,6	12,4	12,1	11,8	11,6	11,5
5°	11,8	11,9	12,0	12,2	12,3	12,4	12,3	12,3	12,1	12,0	11,9	11,8
0°	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1

Fuente: (FAO, 2006)

Tabla 20: La Radiación extraterrestre “Ra” expresada en equivalentes de evaporación mm/día.

Hemisferio Norte												Latitud	Hemisferio Sur											
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
3.8	6.1	9.4	12.7	15.8	17.1	16.4	14.1	10.9	7.4	4.5	3.2	50°	17.5	14.7	10.9	7.0	4.2	3.1	3.5	5.5	8.9	12.9	16.5	18.2
4.3	6.6	9.8	13.0	15.9	17.2	16.5	14.3	11.2	7.8	5.0	3.7	48°	17.6	14.9	11.2	7.5	4.7	3.5	4.0	6.0	9.3	13.2	16.6	18.2
4.9	7.1	10.2	13.3	16.0	17.2	16.6	14.5	11.5	8.3	5.5	4.3	46°	17.7	15.1	11.5	7.9	5.2	4.0	4.4	6.5	9.7	13.4	16.7	18.3
5.3	7.6	10.6	13.7	16.1	17.2	16.6	14.7	11.9	8.7	6.0	4.7	44°	17.8	15.3	11.9	8.4	5.7	4.4	4.9	6.9	10.2	13.7	16.7	18.3
5.9	8.1	11.0	14.0	16.2	17.3	16.7	15.0	12.2	9.1	6.5	5.2	42°	17.8	15.5	12.2	8.8	6.1	4.9	5.4	7.4	10.6	14.0	16.8	18.3
6.4	8.6	11.4	14.3	16.4	17.3	16.7	15.2	12.5	9.6	7.0	5.7	40°	17.9	15.7	12.5	9.2	6.6	5.3	5.9	7.9	11.0	14.2	16.9	18.3
6.9	9.0	11.8	14.5	16.4	17.2	16.7	15.3	12.8	10.0	7.5	6.1	38°	17.9	15.8	12.8	9.6	7.1	5.8	6.3	8.3	11.4	14.4	17.0	18.3
7.4	9.4	12.1	14.7	16.4	17.2	16.7	15.4	13.1	10.6	8.0	6.6	36°	17.9	16.0	13.2	10.1	7.5	6.3	6.8	8.8	11.7	14.6	17.0	18.2
7.9	9.8	12.4	14.8	16.5	17.1	16.8	15.5	13.4	10.8	8.5	7.2	34°	17.8	16.1	13.5	10.5	8.0	6.8	7.2	9.2	12.0	14.9	17.1	18.2
8.3	10.2	12.8	15.0	16.5	17.0	16.8	15.6	13.6	11.2	9.0	7.8	32°	17.8	16.2	13.8	10.9	8.5	7.3	7.7	9.6	12.4	15.1	17.2	18.1
8.8	10.7	13.1	15.2	16.5	17.0	16.8	15.7	13.9	11.6	9.5	8.3	30°	17.8	16.4	14.0	11.3	8.9	7.8	8.1	10.1	12.7	15.3	17.3	18.1
9.3	11.1	13.4	15.3	16.5	16.8	16.7	15.7	14.1	12.0	9.9	8.8	28°	17.7	16.4	14.3	11.6	9.3	8.2	8.6	10.4	13.0	15.4	17.2	17.9
9.8	11.5	13.7	15.3	16.4	16.7	16.6	15.7	14.3	12.3	10.3	9.3	26°	17.6	16.4	14.4	12.0	9.7	8.7	9.1	10.9	13.2	15.5	17.2	17.8
10.2	11.9	13.9	15.4	16.4	16.6	16.5	15.8	14.5	12.6	10.7	9.7	24°	17.5	16.5	14.6	12.3	10.2	9.1	9.5	11.2	13.4	15.6	17.1	17.7
10.7	12.3	14.2	15.5	16.3	16.4	16.4	15.8	14.6	13.0	11.1	10.2	22°	17.4	16.5	14.8	12.6	10.6	9.6	10.0	11.6	13.7	15.7	17.0	17.5
11.2	12.7	14.4	15.6	16.3	16.4	16.3	15.9	14.8	13.3	11.6	10.7	20°	17.3	16.5	15.0	13.0	11.0	10.0	10.4	12.0	13.9	15.8	17.0	17.4
11.6	13.0	14.6	15.6	16.1	16.1	16.1	15.8	14.9	13.6	12.0	11.1	18°	17.1	16.5	15.1	13.2	11.4	10.4	10.8	12.3	14.1	15.8	16.8	17.1
12.0	13.3	14.7	15.6	16.0	15.9	15.9	15.7	15.0	13.9	12.4	11.6	16°	16.9	16.4	15.2	13.5	11.7	10.8	11.2	12.6	14.3	15.8	16.7	16.8
12.4	13.6	14.9	15.7	15.8	15.7	15.7	15.1	14.1	12.8	12.0		14°	16.7	16.4	15.3	13.7	12.1	11.2	11.6	12.9	14.5	15.8	16.5	16.6
12.8	13.9	15.1	15.7	15.7	15.5	15.5	15.6	15.2	14.4	13.3	12.5	12°	16.6	16.3	15.4	14.0	12.5	11.6	12.0	13.2	14.7	15.8	16.4	16.5
13.2	14.2	15.3	15.7	15.5	15.3	15.3	15.5	15.3	14.7	13.6	12.9	10°	16.4	16.3	15.5	14.2	12.8	12.0	12.4	13.5	14.8	15.9	16.2	16.2
13.6	14.5	15.3	15.6	15.3	15.0	15.1	15.4	15.3	14.8	13.9	13.3	8°	16.1	16.1	15.5	14.4	13.1	12.4	12.7	13.7	14.9	15.8	16.0	16.0
13.9	14.8	15.4	15.4	15.1	14.7	14.9	15.2	15.3	15.0	14.2	13.7	6°	15.8	16.0	15.6	14.7	13.4	12.8	13.1	14.0	15.0	15.7	15.8	15.7
14.3	15.0	15.5	15.5	14.9	14.4	14.6	15.1	15.3	15.1	14.5	14.1	4°	15.5	15.8	15.6	14.9	13.8	13.2	13.4	14.3	15.1	15.6	15.5	15.4
14.7	15.3	15.6	15.3	14.6	14.2	14.3	14.9	15.3	15.3	14.8	14.4	2°	15.3	15.7	15.7	15.1	14.1	13.5	13.7	14.5	15.2	15.5	15.3	15.1
15.0	15.5	15.7	15.3	14.4	13.9	14.1	14.8	15.3	15.4	15.1	14.8	0°	15.0	15.5	15.7	15.3	14.4	13.9	14.1	14.8	15.3	15.4	15.1	14.8

Fuente: (FAO, 2006)

Tabla 21: Efecto de la temperatura $f(T)$.

Temperatura °C	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36
$f(T) = \delta TK'$	11,0	11,4	11,7	12,0	12,4	12,7	13,1	13,5	13,8	14,2	14,6	15,0	15,4	15,9	16,3	16,7	17,2	17,7	18,1

Fuente: (FAO, 2006)

Tabla 22: Presión de saturación del vapor "ea" en mbar, en función de la temperatura media del aire T en C°.

Temperatura °C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
ea mbar	6,1	6,6	7,1	7,6	8,1	8,7	9,3	10,0	10,7	11,5	12,3	13,1	14,0	15,0	16,1	17,0	18,2	19,4	20,6	22,0
Temperatura °C	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
ea mbar	23,4	24,9	26,4	28,1	29,8	31,7	33,6	35,7	37,8	40,1	42,4	44,9	47,6	50,3	53,2	56,2	59,4	62,8	66,3	69,9

Fuente: (FAO, 2006)

Tabla 23: Factor de ajuste "C".

	RH máx = 30%				RH máx = 60%				RH máx = 90%			
Rs mm/día	3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9	12
U día m/seg	U día/U noche = 4,0											
0	0,86	0,90	1,00	1,00	0,96	0,98	1,05	1,05	1,02	1,06	1,10	1,10
3	0,79	0,84	0,92	0,97	0,92	1,00	1,11	1,19	0,99	1,10	1,27	1,32
6	0,68	0,77	0,87	0,93	0,85	0,96	1,11	1,19	0,94	1,10	1,26	1,33
9	0,55	0,65	0,78	0,90	0,76	0,88	1,02	1,14	0,88	1,01	1,06	1,27
	U día/U noche = 3,0											
0	0,86	0,90	1,00	1,00	0,96	0,98	1,05	1,05	1,02	1,06	1,10	1,10
3	0,76	0,81	0,88	0,94	0,87	0,96	1,06	1,12	0,94	1,04	1,18	1,28
6	0,61	0,68	0,81	0,88	0,77	0,88	1,02	1,10	0,86	1,01	1,15	1,22
9	0,46	0,56	0,72	0,82	0,67	0,79	0,88	1,05	0,78	0,92	1,06	1,18
	U día/U noche = 2,0											
0	0,86	0,90	1,00	1,00	0,96	0,98	1,05	1,05	1,02	1,06	1,10	1,10
3	0,69	0,76	0,85	0,92	0,83	0,91	0,99	1,05	0,89	0,98	1,10	1,14
6	0,53	0,61	0,74	0,84	0,70	0,80	0,94	1,02	0,79	0,92	1,05	1,12
9	0,37	0,48	0,65	0,76	0,59	0,70	0,84	0,95	0,71	0,81	0,96	1,06
	U día/U noche = 1,0											
0	0,86	0,90	1,00	1,00	0,96	0,98	1,05	1,05	1,02	1,06	1,10	1,10
3	0,64	0,71	0,82	0,89	0,78	0,86	0,94	0,99	0,85	0,92	1,01	1,05
6	0,43	0,53	0,68	0,79	0,62	0,70	0,84	0,93	0,72	0,82	0,95	1,00
9	0,27	0,41	0,59	0,70	0,50	0,60	0,75	0,87	0,62	0,72	0,87	0,96

Fuente: (FAO, 2006)

ANEXO 2: Datos recopilados de variables meteorológicas de la estación Tumpis para los análisis de tendencia.

ESTACIÓN TUMPIS

Latitud: 03° 31''

Distrito: Papayal

Longitud: 80° 19'

Provincia: Zarumilla

Altitud: 18 msnm

Región: Tumbes

Tabla 24: Temperatura máxima media mensual (°C).

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2014	30.30	31.40	31.70	32.00	30.80	30.80	29.00	27.10	27.10	27.20	28.30	30.10
2015	31.20	31.10	30.70	31.20	31.60	31.20	30.40	28.70	29.40	29.40	30.10	31.70
2016	31.70	32.00	31.60	31.10	31.10	30.30	28.80	27.70	27.80	27.50	27.70	30.30
2017	30.90	31.00	30.90	30.70	30.80	29.20	26.90	27.30	27.00	27.60	26.50	29.80
2018	31.60	31.20	31.60	31.50	29.80	27.90	26.50	26.20	26.50	27.00	28.40	30.00
2019	31.40	31.00	31.40	32.20	31.90	29.50	26.80	26.30	26.30	27.00	28.00	28.90
2020	31.60	31.40	31.30	32.00	31.10	29.10	27.40	26.50	27.30	27.50	28.00	29.30
2021	30.50	31.60	31.80	32.30	28.90	28.80	28.40	26.90	26.90	27.20	27.20	29.30
2022	30.50	31.50	31.90	31.50	31.50	27.40	26.50	27.00	26.10	25.80	26.40	30.00
2023	31.90	32.10	31.60	32.30	32.30	31.90	32.10	31.00	30.80	30.50	29.80	31.60

Fuente: PEBPT

Tabla 25: Temperatura mínima media mensual (°C).

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2014	23.60	23.73	24.30	24.80	24.00	23.10	22.20	21.10	21.30	21.60	21.90	23.00
2015	23.90	24.14	24.20	23.90	23.90	22.50	22.40	21.70	22.00	22.90	23.50	24.00
2016	24.70	24.60	24.70	23.90	22.90	21.60	21.70	20.70	21.40	21.00	20.40	22.90
2017	23.70	23.81	23.80	23.90	23.00	21.90	20.70	20.20	20.90	21.20	19.90	22.50
2018	22.70	23.20	23.30	23.40	22.80	20.80	19.90	20.20	20.40	20.60	22.00	22.40
2019	23.60	23.82	23.90	23.40	23.40	21.90	20.60	19.10	19.80	21.00	22.20	22.60
2020	24.10	24.13	23.70	23.60	23.40	21.60	21.00	19.60	20.20	21.30	20.30	22.60
2021	23.40	23.61	23.30	23.30	21.90	21.20	20.80	20.50	20.60	21.30	20.30	22.50
2022	23.40	23.20	23.50	23.10	23.10	20.70	20.70	20.50	20.20	19.90	20.00	22.40
2023	23.30	23.88	23.90	24.00	23.90	23.00	22.40	22.60	22.70	23.30	23.30	24.00

Fuente: PEBPT

Tabla 26: Humedad relativa media mensual (mm).

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2014	84	80	80	80	84	82	83	85	84	85	81	81
2015	77	82	84	84	84	83	79	81	80	83	80	79
2016	81	84	86	85	80	82	83	82	83	85	84	78
2017	82	87	89	89	87	88	88	89	87	86	86	84
2018	83	86	86	79	87	85	87	88	89	88	86	86
2019	92	89	88	85	84	87	90	88	91	92	91	88
2020	85	90	89	86	85	85	88	90	88	91	88	88
2021	86	87	90	87	90	89	90	91	91	91	89	88
2022	86	88	88	88	88	88	91	88	91	92	90	87
2023	82	86	91	89	91	90	88	86	85	87	84	81

Fuente: PEBPT

Tabla 27: Precipitación total mensual (mm).

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2014	84.10	40.90	1.80	6.80	67.20	7.20	0.20	0.40	2.20	4.50	0.80	11.20
2015	16.80	64.90	267.50	24.70	67.10	6.70	0.10	0.00	0.20	6.60	2.20	2.90
2016	45.60	308.60	110.00	149.00	1.30	3.70	0.50	1.60	2.40	0.80	0.40	10.90
2017	151.50	134.60	341.80	84.60	50.40	1.50	2.60	3.90	1.10	3.00	0.70	2.20
2018	14.40	69.60	17.60	0.90	39.40	0.10	0.10	1.10	0.30	0.80	2.00	32.40
2019	46.90	112.20	48.80	38.30	5.40	1.40	0.30	3.00	0.40	1.30	2.70	36.90
2020	16.60	126.00	132.20	10.40	6.50	1.20	1.60	0.80	0.00	0.10	0.90	11.10
2021	49.00	18.60	150.30	8.50	9.50	5.60	3.30	1.20	0.50	11.20	3.40	13.80
2022	49.00	44.50	85.10	25.00	25.00	56.30	1.60	1.10	0.10	4.50	2.70	7.40
2023	10.70	130.30	443.10	151.20	22.20	16.00	1.50	11.20	0.00	5.90	3.50	34.50

Fuente: PEBPT

Tabla 28: Velocidad del viento (m/s).

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2014	2.40	2.09	1.94	1.73	1.10	0.88	1.79	2.18	2.27	2.21	2.24	2.40
2015	2.89	2.17	2.09	1.77	1.86	1.83	2.06	2.20	2.20	2.06	2.11	2.32
2016	2.39	1.94	1.67	1.83	1.76	1.89	1.96	2.08	2.16	2.05	2.13	1.10
2017	2.47	1.84	1.72	1.64	1.57	1.55	1.86	2.01	2.00	2.05	1.98	2.04
2018	2.44	2.06	2.22	2.08	1.86	1.99	2.02	2.15	2.36	2.29	2.06	2.05
2019	2.40	1.75	1.88	1.96	1.98	2.03	2.02	2.09	2.39	2.23	2.26	2.19
2020	2.67	2.00	1.82	1.87	1.83	1.94	1.91	2.07	2.28	2.27	2.10	2.00
2021	2.46	1.95	1.78	1.66	1.65	1.72	2.02	1.98	2.16	1.89	1.86	1.96
2022	2.45	1.94	1.87	1.58	1.44	1.49	1.85	2.15	2.03	2.01	2.05	2.04
2023	2.59	2.03	1.64	1.52	1.49	1.58	1.76	1.86	2.01	1.91	1.95	2.00

Fuente: PEBPT

Tabla 29: Horas de sol media mensual

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2014	135.90	123.00	170.90	150.40	173.80	159.70	203.00	139.80	139.70	129.50	163.60	181.60
2015	154.90	134.30	168.50	188.10	208.10	193.00	171.40	182.90	169.10	133.90	149.60	160.90
2016	141.40	118.30	150.60	179.80	222.30	191.00	157.20	176.40	143.40	115.40	178.60	181.50
2017	128.30	176.80	145.40	213.00	189.60	126.70	128.30	158.10	99.40	119.60	109.10	136.50
2018	171.80	127.90	170.00	209.40	135.60	147.00	105.30	99.90	132.20	104.70	87.20	142.90
2019	147.30	103.10	147.10	181.40	163.90	158.13	135.70	144.90	150.60	98.72	100.70	123.00
2020	185.00	149.00	194.20	186.00	164.30	143.30	115.50	157.40	130.80	138.00	143.80	121.80
2021	140.64	138.30	178.30	181.70	97.20	109.30	153.70	121.60	118.60	107.50	97.00	110.40
2022	140.64	122.20	186.40	173.60	188.50	87.40	106.90	131.90	97.70	83.40	118.10	130.20
2023	170.10	147.30	182.90	186.10	169.30	166.20	207.60	174.40	167.10	137.20	130.60	144.50

Fuente: PEBPT

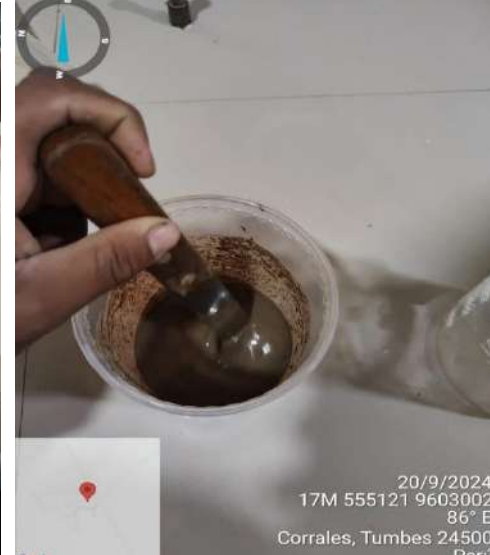
ANEXO 3: *Recolección de la muestra de suelo en el fundo Nueva Esperanza I.*

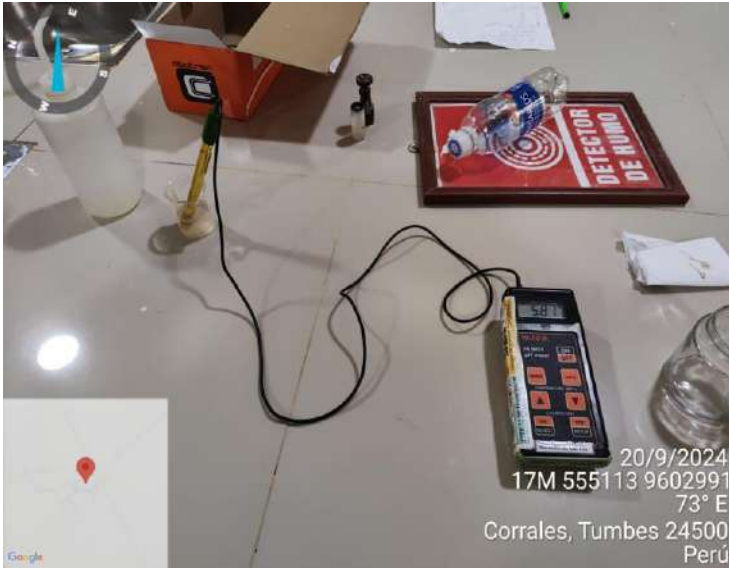
Figura 25: *Panel fotográfico de extracción de muestra de suelo.*





ANEXO 4: Laboratorio de suelo de la Facultad Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional De Tumbes.





20/9/2024
17M 555113 9602991
73° E
Corrales, Tumbes 24500
Perú



20/9/2024
17M 555110 9602990
81° E



20/9/2024
17M 555036 9602916
291° W
Corrales, Tumbes 24500
Perú



20/9/2024
17M 555119 9602997
79° E
Corrales, Tumbes 24500
Perú



19/9/2024
17M 555134 9602972
77° E
Corrales, Tumbes 24500
Perú



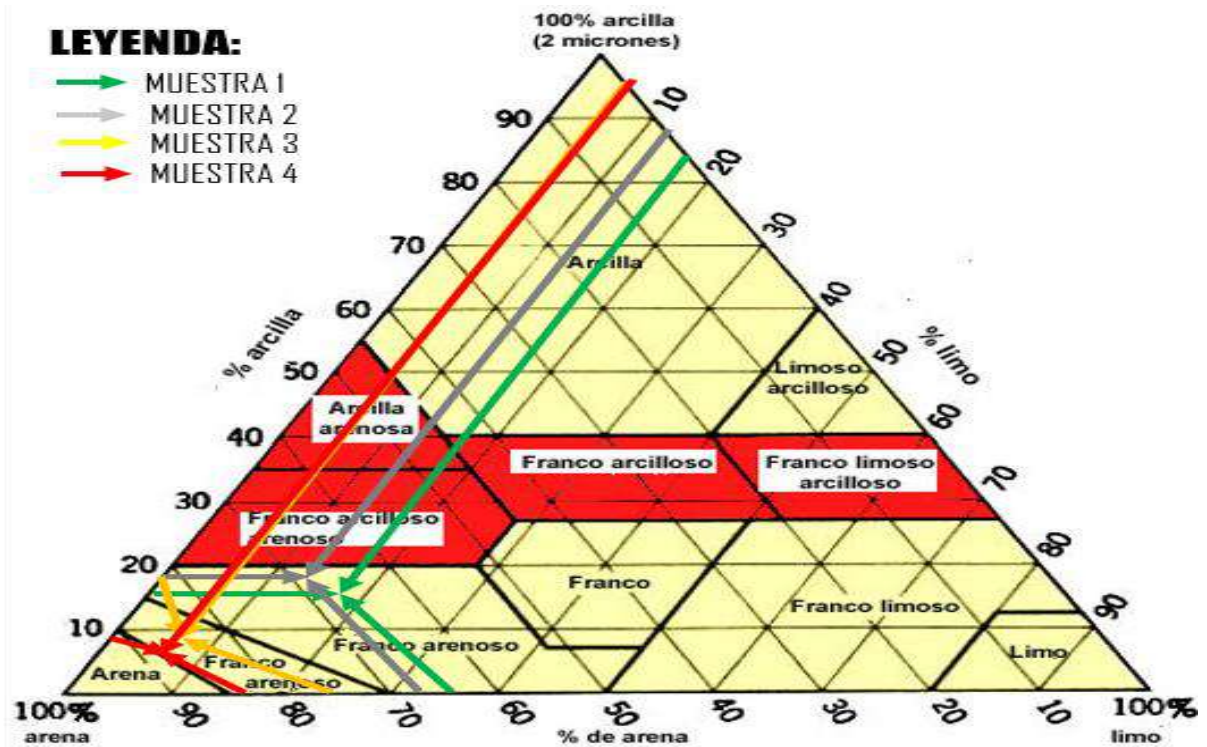
19/9/2024
17M 555118 9602994
348° N
Corrales, Tumbes 24500
Perú

ANEXO 5: Cálculos para la determinación de textura de suelo.

muestra	tiempo	lectura del Hidrometro gr / lts	Temperatura de la suspensión C°	Lectura corregida	% Limo + arcilla	% Arena	% Arcilla	% limo	Clase Textural
0 - 20 cm	40 sg	15	26	17.16	34.32	65.68	18.32	16.00	F. arenoso
	2 hr	7		9.16					
20 - 40 cm	40 sg	13	26	15.16	30.32	69.68	12.32	18.00	F. arenoso
	2 hr	4		6.16					
40 - 60 cm	40 sg	10	26	12.16	24.32	75.68	6.32	18.00	A. franco
	2 hr	1		3.16					
60 - 80 cm	40 sg	6	26	8.16	16.32	83.68	6.32	10.00	A. franco
	2 hr	1		3.16					

convertir C° a F°		temperatura de calibracion de hidrometro	
26 C°	78.8 F°	68.00 F°	
Diferencia de temperaturas			
10.8			
correccion por defecto de temperatura			
2.16			

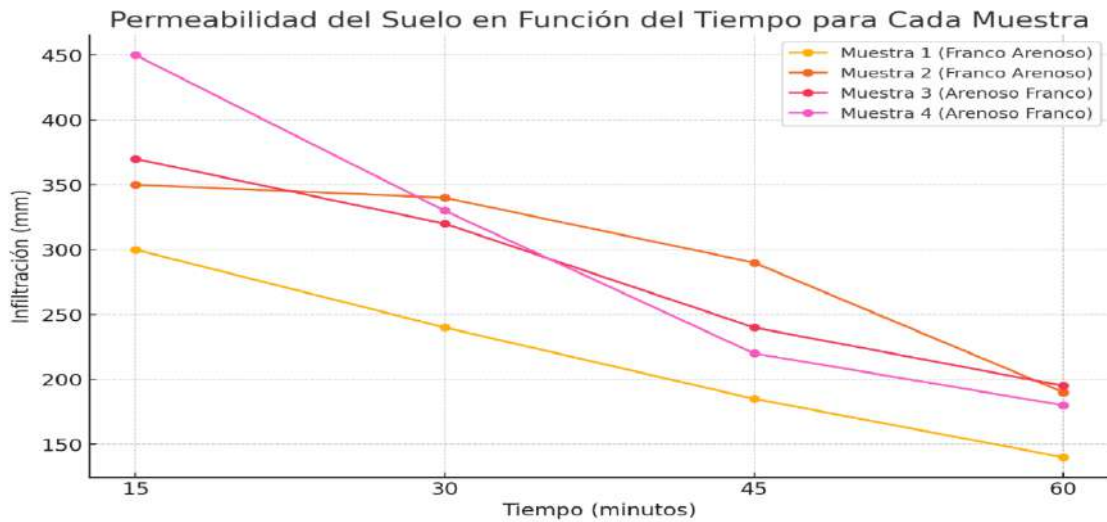
ANEXO 6: Clasificación de la textura de suelo según los porcentajes de arcilla, arena y limo.



ANEXO 7: Tabla de resultados de la medición de permeabilidad.

Tabla 30: Permeabilidad de las muestras de suelo.

muestra	15 minutos	30 minutos	45 minutos	60 minutos
1	300	240	185	140
2	350	340	290	190
3	370	320	240	195
4	450	330	220	180



ANEXO 8: Determinación de la frecuencia de riego.

muestra	CC %	PMP %						
1	15.52	8.13	C0-20	310.3248	PMP0-20	162.60272		
2	13.05	6.58	C20-40	261.0448	PMP20-40	131.61872		
3	10.31	4.86	C40-60	206.2048	PMP40-60	97.14272		
4	9.20	4.16	C60-80	183.9648	PMP60-80	83.17472		
$\sum CC$		961.54	12.01924					
		474.54	5.931736					
							frecuencia de riego	Días
							Ln (mm)	109.57507
								14.61001
								15
								15.303781
								15
								14.571153
								14
								14.417773
								17
								17.067768
								19
								19.291386
								19
								19.497344
								18
								18.323591
								17
								17.476088
								18
								18.293
								17
								17.147899
								16
								16.019747
								16

ANEXO 9: Tablas de interpolación de variables de Penman Modificada de cada mes.

Tabla 31: Interpolación de la variable “N” durante el año.

INTERPOLACIÓN N(ENE)		INTERPOLACIÓN N(FEB)		INTERPOLACIÓN N(MAR)	
0	12.1	0	12.1	0	12.1
3.52	12.24	3.52	12.24	3.52	12.10
5	12.3	5	12.3	5	12.1
INTERPOLACIÓN N(ABR)		INTERPOLACIÓN N(MAY)		INTERPOLACIÓN N(JUN)	
0	12.1	0	12.1	0	12.1
3.52	12.03	3.52	11.96	3.52	11.89
5	12	5	11.9	5	11.8
INTERPOLACIÓN N(JUL)		INTERPOLACIÓN N(AGO)		INTERPOLACIÓN N(SEP)	
0	12.1	0	12.1	0	12.1
3.52	11.89	3.52	11.96	3.52	12.03
5	11.8	5	11.9	5	12
INTERPOLACIÓN N(OCT)		INTERPOLACIÓN N(NOV)		INTERPOLACIÓN N(DIC)	
0	12.1	0	12.1	0	12.1
3.52	12.17	3.52	12.24	3.52	12.31
5	12.2	5	12.3	5	12.4

Tabla 32: Interpolación de la variable “Ra” durante el año.

INTERPOLACIÓN Ra(ENE)		INTERPOLACIÓN Ra(FEB)		INTERPOLACIÓN Ra(MAR)	
4	15.5	4	15.8	4	15.6
3.52	15.45	3.52	15.78	3.52	15.62
2	15.3	2	15.7	2	15.7
INTERPOLACIÓN Ra(ABR)		INTERPOLACIÓN Ra(MAY)		INTERPOLACIÓN Ra(JUN)	
4	14.9	4	13.8	4	13.2
3.52	14.95	3.52	13.87	3.52	13.27
2	15.1	2	14.1	2	13.5
INTERPOLACIÓN Ra(JUL)		INTERPOLACIÓN Ra(AGO)		INTERPOLACIÓN Ra(SEP)	
4	13.4	4	14.3	4	15.1
3.52	13.47	3.52	14.35	3.52	15.12
2	13.7	2	14.5	2	15.2
INTERPOLACIÓN Ra(OCT)		INTERPOLACIÓN Ra(NOV)		INTERPOLACIÓN Ra(DIC)	
4	15.6	4	15.5	4	15.4
3.52	15.58	3.52	15.45	3.52	15.33
2	15.5	2	15.3	2	15.1

Tabla 33: Interpolación de variable "C" durante el año.

tabla para ubicar los datos				tabla para ubicar los datos				tabla para ubicar los datos			
u/Rs	6	6.95	9	u/Rs	6	7.03	9	u/Rs	6	7.44	9
0	1.06		1.10	0	1.06		1.10	0	1.06		1.10
2.5	1.043	Cene = 1.08	1.167	1.97	1.047	Cfeb = 1.08	1.153	1.92	1.047	Cmar = 1.11	1.151
3	1.04		1.18	3	1.04		1.18	3	1.04		1.18

tabla para ubicar los datos				tabla para ubicar los datos				tabla para ubicar los datos			
u/Rs	6	7.57	9	u/Rs	6	6.67	9	u/Rs	6	6.07	9
0	1.06		1.10	0	1.06		1.10	0	1.06		1.10
1.83	1.048	Cabr = 1.10	1.149	1.69	1.049	Cmay = 1.07	1.145	1.7	1.049	Cjun = 1.05	1.145
3	1.04		1.18	3	1.04		1.18	3	1.04		1.18

tabla para ubicar los datos				tabla para ubicar los datos				tabla para ubicar los datos			
u/Rs	6	6.08	9	u/Rs	6	6.47	9	u/Rs	6	6.61	9
0	1.06		1.10	0	1.06		1.10	0	1.06		1.10
1.95	1.047	Cjul = 1.05	1.152	2.12	1.046	Cago = 1.06	1.157	2.23	1.045	Csep = 1.07	1.159
3	1.04		1.18	3	1.04		1.18	3	1.04		1.18

tabla para ubicar los datos				tabla para ubicar los datos				tabla para ubicar los datos			
u/Rs	6	6.31	9	u/Rs	6	6.55	9	u/Rs	6	6.71	9
0	1.06		1.10	0	1.06		1.10	0	1.06		1.10
2.15	1.046	Coct = 1.06	1.157	2.13	1.046	Cnov = 1.07	1.157	2.01	1.047	Cdic = 1.07	1.154
3	1.04		1.18	3	1.04		1.18	3	1.04		1.18

Tabla 34: Interpolación de la variable "W" durante el año.

tabla para ubicar los datos				tabla para ubicar los datos				tabla para ubicar los datos			
Atl/ T°	26	27.4	28	Atl/ T°	26	27.62	28	Atl/ T°	26	27.66	28
0	0.75		0.77	0	0.75		0.77	0	0.75		0.77
18	0.75	Wene = 0.76	0.77	18	0.75	Wfeb = 0.77	0.77	18	0.75	Wmar = 0.77	0.77
500	0.76		0.78	500	0.76		0.78	500	0.76		0.78

tabla para ubicar los datos				tabla para ubicar los datos				tabla para ubicar los datos			
Atl/ T°	26	27.71	28	Atl/ T°	26	27.11	28	Atl/ T°	24	25.72	26
0	0.75		0.77	0	0.75		0.77	0	0.73		0.75
18	0.75	Wabr = 0.77	0.77	18	0.75	Wmay = 0.76	0.77	18	0.73	Wjun = 0.75	0.75
500	0.76		0.78	500	0.76		0.78	500	0.74		0.76

tabla para ubicar los datos				tabla para ubicar los datos				tabla para ubicar los datos			
Atl/ T°	24	24.76	26	Atl/ T°	24	24.05	26	Atl/ T°	24	24.24	26
0	0.73		0.75	0	0.73		0.75	0	0.73		0.75
18	0.73	Wjul = 0.74	0.75	18	0.73	Wago = 0.73	0.75	18	0.73	Wsep = 0.73	0.75
500	0.74		0.76	500	0.74		0.76	500	0.74		0.76

tabla para ubicar los datos				tabla para ubicar los datos				tabla para ubicar los datos			
Atl/ T°	24	24.54	26	Atl/ T°	24	24.71	26	Atl/ T°	26	26.5	28
0	0.73		0.75	0	0.73		0.75	0	0.75		0.77
18	0.73	Woct = 0.74	0.75	18	0.73	Wnov = 0.74	0.75	18	0.75	Wdic = 0.76	0.77
500	0.74		0.76	500	0.74		0.76	500	0.76		0.78

Tabla 35: Interpolación de la variable "ea" durante el año.

INTERPOLACIÓN ea(ENE)		INTERPOLACIÓN ea(FEB)		INTERPOLACIÓN ea(MAR)	
27	35.7	27	35.7	27	35.7
27.4	36.54	27.62	37.00	27.66	37.09
28	37.8	28	37.8	28	37.8
INTERPOLACIÓN ea(ABR)		INTERPOLACIÓN ea(MAY)		INTERPOLACIÓN ea(JUN)	
27	35.7	27	35.7	25	31.7
27.71	37.19	27.11	35.93	25.72	33.07
28	37.8	28	37.8	26	33.6
INTERPOLACIÓN ea(JUL)		INTERPOLACIÓN ea(AGO)		INTERPOLACIÓN ea(SEP)	
24	29.8	24	29.8	24	29.8
24.76	31.24	24.05	29.90	24.24	30.26
25	31.7	25	31.7	25	31.7
INTERPOLACIÓN ea(OCT)		INTERPOLACIÓN ea(NOV)		INTERPOLACIÓN ea(DIC)	
24	29.8	24	29.8	26	33.6
24.54	30.83	24.71	31.15	26.5	34.65
25	31.7	25	31.7	27	35.7

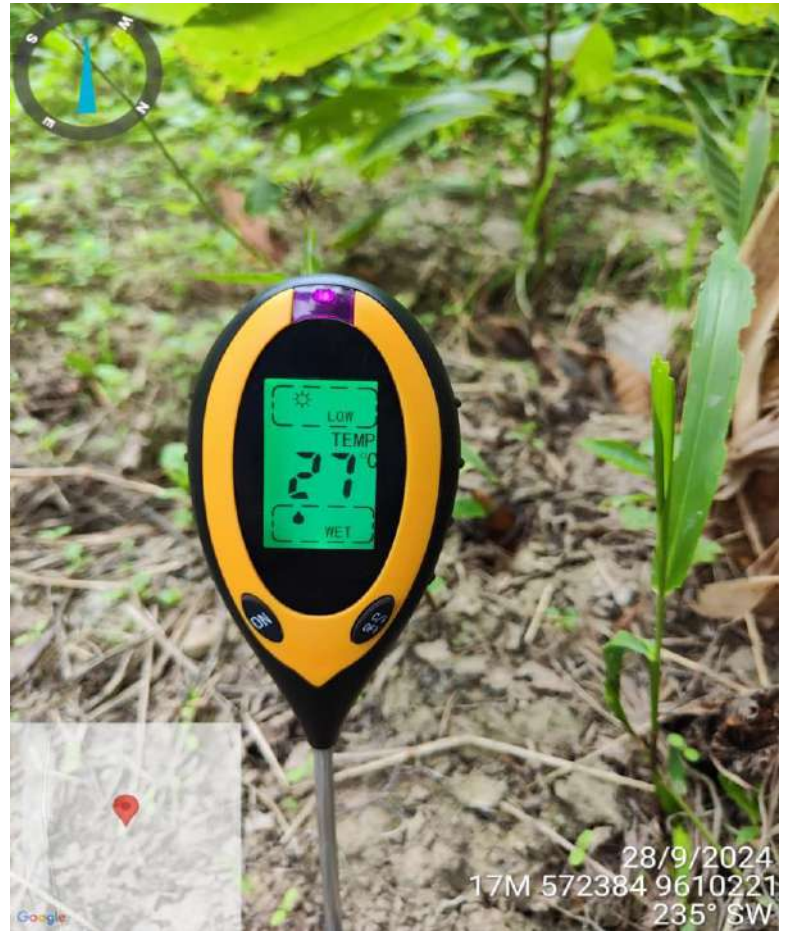
Tabla 36: Interpolación de la variable f(t) durante el año.

INTERPOLACIÓN f(t) (ENE)		INTERPOLACIÓN f(t) (FEB)		INTERPOLACIÓN f(t) (MAR)	
26	15.9	26	15.9	26	15.9
27.4	16.18	27.62	16.22	27.66	16.23
28	16.3	28	16.3	28	16.3
INTERPOLACIÓN f(t) (ABR)		INTERPOLACIÓN f(t) (MAY)		INTERPOLACIÓN f(t) (JUN)	
26	15.9	26	15.9	24	15.4
27.71	16.24	27.11	16.12	25.72	15.83
28	16.3	28	16.3	26	15.9
INTERPOLACIÓN f(t) (JUL)		INTERPOLACIÓN f(t) (AGO)		INTERPOLACIÓN f(t) (SEP)	
24	15.4	24	15.4	24	15.4
24.76	15.59	24.05	15.41	24.24	15.46
26	15.9	26	15.9	26	15.9
INTERPOLACIÓN f(t) (OCT)		INTERPOLACIÓN f(t) (NOV)		INTERPOLACIÓN f(t) (DIC)	
24	15.4	24	15.4	26	15.9
24.54	15.54	24.71	15.58	26.5	16.00
26	15.9	26	15.9	28	16.3

ANEXO 10: Mediciones de campo de humedad relativa e intensidad solar.

Figura 26: Panel fotográfico de mediciones de campo.





ANEXO 11: Registro de riego en el fundo Nueva Esperanza I.

Figura 27: Panel fotográfico de aplicación de riego.



ANEXO 12: Cálculos para determinar las necesidades hídricas.

CUADRO DE INFORMACION CLIMATOLOGICA

FUENTE: PEBPT

ESTACION: Tumpis

LATITUD: 3 31 " SUR

DEPARTAMENTO: Tumbes

LONGITUD: 80 19 " OESTE

PROVINCIA: Zarumilla

ALTITUD: 18 m.s.n.m.

DISTRITO: Papayal

PARAMETRO: TEMPERATURA MÁXIMA MEDIA MENSUAL (°C)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2014	30.30	31.40	31.70	32.00	30.80	30.80	29.00	27.10	27.10	27.20	28.30	30.10
2015	31.20	31.10	30.70	31.20	31.60	31.20	30.40	28.70	29.40	29.40	30.10	31.70
2016	31.70	32.00	31.60	31.10	31.10	30.30	28.80	27.70	27.80	27.50	27.70	30.30
2017	30.90	31.00	30.90	30.70	30.80	29.20	26.90	27.30	27.00	27.60	26.50	29.80
2018	31.60	31.20	31.60	31.50	29.80	27.90	26.50	26.20	26.50	27.00	28.40	30.00
2019	31.40	31.00	31.40	32.20	31.90	29.50	26.80	26.30	26.30	27.00	28.00	28.90
2020	31.60	31.40	31.30	32.00	31.10	29.10	27.40	26.50	27.30	27.50	28.00	29.30
2021	30.50	31.60	31.80	32.30	28.90	28.80	28.40	26.90	26.90	27.20	27.20	29.30
2022	30.50	31.50	31.90	31.50	31.50	27.40	26.50	27.00	26.10	25.80	26.40	30.00
2023	31.90	32.10	31.60	32.30	32.30	31.90	32.10	31.00	30.80	30.50	29.80	31.60
PROMEDIO	31.16	31.43	31.45	31.68	30.98	29.61	28.28	27.47	27.52	27.67	28.04	30.10

CUADRO DE INFORMACION CLIMATOLOGICA

FUENTE: PEBPT

ESTACION: Tumpis

LATITUD: 3 31 " SUR

DEPARTAMENTO: Tumbes

LONGITUD: 80 19 " OESTE

PROVINCIA: Zarumilla

ALTITUD: 18 m.s.n.m.

DISTRITO: Papayal

PARAMETRO: TEMPERATURA MÍNIMA MEDIA MENSUAL (°C)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2014	23.60	23.73	24.30	24.80	24.00	23.10	22.20	21.10	21.30	21.60	21.90	23.00
2015	23.90	24.14	24.20	23.90	23.90	22.50	22.40	21.70	22.00	22.90	23.50	24.00
2016	24.70	24.60	24.70	23.90	22.90	21.60	21.70	20.70	21.40	21.00	20.40	22.90
2017	23.70	23.81	23.80	23.90	23.00	21.90	20.70	20.20	20.90	21.20	19.90	22.50
2018	22.70	23.20	23.30	23.40	22.80	20.80	19.90	20.20	20.40	20.60	22.00	22.40
2019	23.60	23.82	23.90	23.40	23.40	21.90	20.60	19.10	19.80	21.00	22.20	22.60
2020	24.10	24.13	23.70	23.60	23.40	21.60	21.00	19.60	20.20	21.30	20.30	22.60
2021	23.40	23.61	23.30	23.30	21.90	21.20	20.80	20.50	20.60	21.30	20.30	22.50
2022	23.40	23.20	23.50	23.10	23.10	20.70	20.70	20.50	20.20	19.90	20.00	22.40
2023	23.30	23.88	23.90	24.00	23.90	23.00	22.40	22.60	22.70	23.30	23.30	24.00
PROMEDIO	23.64	23.81	23.86	23.73	23.23	21.83	21.24	20.62	20.95	21.41	21.38	22.89

CUADRO DE INFORMACION CLIMATOLOGICA

FUENTE: PEBPT

ESTACION: Tumpis

LATITUD: 3 31 SUR

DEPARTAMENTO: Tumbes

LONGITUD: 80 19 OESTE

PROVINCIA: Zarumilla

ALTITUD: 18 m.s.n.m.

DISTRITO: Papayal

PARAMETRO: HUMEDAD RELATIVA MEDIA MENSUAL (mm)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2014	84	80	80	80	84	82	83	85	84	85	81	81
2015	77	82	84	84	84	83	79	81	80	83	80	79
2016	81	84	86	85	80	82	83	82	83	85	84	78
2017	82	87	89	89	87	88	88	89	87	86	86	84
2018	83	86	86	79	87	85	87	88	89	88	86	86
2019	92	89	88	85	84	87	90	88	91	92	91	88
2020	85	90	89	86	85	85	88	90	88	91	88	88
2021	86	87	90	87	90	89	90	91	91	91	89	88
2022	86	88	88	88	88	88	91	88	91	92	90	87
2023	82	86	91	89	91	90	88	86	85	87	84	81
PROMEDIO	83.80	85.90	87.03	85.18	86.00	85.83	86.70	86.73	86.78	87.92	85.86	83.94

CUADRO DE INFORMACION CLIMATOLOGICA

FUENTE: PEBPT

ESTACION: Tumpis

LATITUD: 3 31 SUR

DEPARTAMENTO: Tumbes

LONGITUD: 80 19 OESTE

PROVINCIA: Zarumilla

ALTITUD: 18 m.s.n.m.

DISTRITO: Papayal

PARAMETRO: PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL (mm)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2014	84.10	40.90	1.80	6.80	67.20	7.20	0.20	0.40	2.20	4.50	0.80	11.20
2015	16.80	64.90	267.50	24.70	67.10	6.70	0.10	0.00	0.20	6.60	2.20	2.90
2016	45.60	308.60	110.00	149.00	1.30	3.70	0.50	1.60	2.40	0.80	0.40	10.90
2017	151.50	134.60	341.80	84.60	50.40	1.50	2.60	3.90	1.10	3.00	0.70	2.20
2018	14.40	69.60	17.60	0.90	39.40	0.10	0.10	1.10	0.30	0.80	2.00	32.40
2019	46.90	112.20	48.80	38.30	5.40	1.40	0.30	3.00	0.40	1.30	2.70	36.90
2020	16.60	126.00	132.20	10.40	6.50	1.20	1.60	0.80	0.00	0.10	0.90	11.10
2021	49.00	18.60	150.30	8.50	9.50	5.60	3.30	1.20	0.50	11.20	3.40	13.80
2022	49.00	44.50	85.10	25.00	25.00	56.30	1.60	1.10	0.10	4.50	2.70	7.40
2023	10.70	130.30	443.10	151.20	22.20	16.00	1.50	11.20	0.00	5.90	3.50	34.50
PROMEDIO	48.46	105.02	159.82	49.94	29.40	9.97	1.18	2.43	0.72	3.87	1.93	16.33

CUADRO DE INFORMACION CLIMATOLOGICA

FUENTE: PEBPT

ESTACION: Tumpis

LATITUD: 3 31

SUR

DEPARTAMENTO: Tumbes

LONGITUD: 80 19

OESTE

PROVINCIA: Zarumilla

ALTITUD: 18

m.s.n.m.

DISTRITO: Papayal

PARAMETRO: VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2014	2.40	2.09	1.94	1.73	1.10	0.88	1.79	2.18	2.27	2.21	2.24	2.40
2015	2.89	2.17	2.09	1.77	1.86	1.83	2.06	2.20	2.20	2.06	2.11	2.32
2016	2.39	1.94	1.67	1.83	1.76	1.89	1.96	2.08	2.16	2.05	2.13	1.10
2017	2.47	1.84	1.72	1.84	1.57	1.55	1.86	2.01	2.00	2.05	1.98	2.04
2018	2.44	2.06	2.22	2.08	1.86	1.99	2.02	2.15	2.36	2.29	2.06	2.05
2019	2.40	1.75	1.88	1.96	1.98	2.03	2.02	2.09	2.39	2.23	2.26	2.19
2020	2.67	2.00	1.82	1.87	1.83	1.94	1.91	2.07	2.28	2.27	2.10	2.00
2021	2.46	1.95	1.78	1.66	1.65	1.72	2.02	1.98	2.16	1.89	1.86	1.96
2022	2.45	1.94	1.87	1.58	1.44	1.49	1.85	2.15	2.03	2.01	2.05	2.04
2023	2.59	2.03	1.64	1.52	1.49	1.58	1.76	1.86	2.01	1.91	1.95	2.00
PROMEDIO	2.50	1.97	1.92	1.83	1.69	1.70	1.95	2.12	2.23	2.15	2.13	2.01

$$Vv(\text{Km/dia}) = (Vv(\text{m/s}) * ((3600 * 24) / 1000))$$

PARAMETRO: VELOCIDAD DEL VIENTO (km/dia)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
PROMEDIO	216	171	166	158	146	146	169	183	193	186	184	174

CUADRO DE INFORMACION CLIMATOLOGICA

FUENTE: PEBPT

ESTACION: Tumpis

LATITUD: 3 31

SUR

DEPARTAMENTO: Tumbes

LONGITUD: 80 19

OESTE

PROVINCIA: Zarumilla

ALTITUD: 18

m.s.n.m.

DISTRITO: Papayal

PARAMETRO: HORAS DE SOL MEDIA MENSUAL

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2014	135.90	123.00	170.90	150.40	173.80	159.70	203.00	139.80	139.70	129.50	163.60	181.60
2015	154.90	134.30	168.50	188.10	208.10	193.00	171.40	182.90	169.10	133.90	149.60	160.90
2016	141.40	118.30	150.60	179.80	222.30	191.00	157.20	176.40	143.40	115.40	178.60	181.50
2017	128.30	176.80	145.40	213.00	189.60	126.70	128.30	158.10	99.40	119.60	109.10	136.50
2018	171.80	127.90	170.00	209.40	135.60	147.00	105.30	99.90	132.20	104.70	87.20	142.90
2019	147.30	103.10	147.10	181.40	163.90	158.13	135.70	144.90	150.60	98.72	100.70	123.00
2020	185.00	149.00	194.20	186.00	164.30	143.30	115.50	157.40	130.80	138.00	143.80	121.80
2021	140.64	138.30	178.30	181.70	97.20	109.30	153.70	121.60	118.60	107.50	97.00	110.40
2022	140.64	122.20	186.40	173.60	188.50	87.40	106.90	131.90	97.70	83.40	118.10	130.20
2023	170.10	147.30	182.90	186.10	169.30	166.20	207.60	174.40	167.10	137.20	130.60	144.50
PROMEDIO	151.60	134.02	169.43	184.95	171.26	148.17	148.46	148.73	134.86	116.79	127.83	143.33
dia/mes	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
	4.89	4.79	5.47	6.17	5.52	4.94	4.79	4.80	4.50	3.77	4.26	4.62

CUADRO DE INFORMACION CLIMATOLOGICA

FUENTE: PEBPT

ESTACION: Tumpis

CODIGO:

LATITUD: 3° 80' SUR

DEPARTAMENTO: Tumbes

LONGITUD: 80° 19' 3.1" OESTE

PROVINCIA: Zarumilla

ALTITUD: 18 m. s. n. m.

DISTRITO: Papayal

PARAMETRO: PRECIPITACION EFECTIVA - METODO USDA S. C. (mm/mes)

Precipitación mensual - untitled

Estación: TUMPIS Método Prec. Ef: Método USDA S.C.

	Precipit.	Prec. efec
	mm	mm
Enero	48.5	44.7
Febrero	105.0	87.4
Marzo	159.8	118.9
Abril	49.9	45.9
Mayo	29.4	28.0
Junio	10.0	9.8
Julio	1.2	1.2
Agosto	2.4	2.4
Septiembre	0.7	0.7
Octubre	3.9	3.8
Noviembre	1.9	1.9
Diciembre	16.3	15.9
Total	429.0	360.8

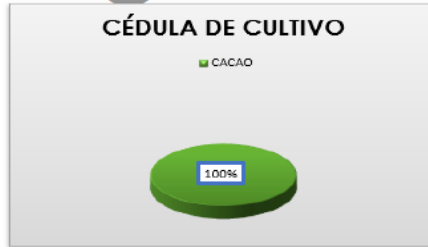
PARAMETRO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Pp Efec (mm/mes)	44.70	87.40	118.90	45.90	28.00	9.80	1.20	2.40	0.70	3.80	1.90	15.90
Horas/mes	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Pp Efec (mm/día)	1.44	3.12	3.84	1.53	0.90	0.33	0.04	0.08	0.02	0.12	0.06	0.51

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

CÉDULA DE CULTIVO

CEDULA DE CULTIVOS		MESES											
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGOS	SET	OCT	NOV	DIC
CA CAO	ha	2.56	2.56	2.56	2.56	2.56	2.56	2.56	2.56	2.56	2.56	2.56	2.56
	Kc	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
Área Total (ha)		2.56	2.56	2.56	2.56	2.56	2.56	2.56	2.56	2.56	2.56	2.56	2.56
Kc		1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50

CÉDULA CAMPAÑA 1 CP		
Cultivo	ha	%
CA CAO	2.56	100
Total	2.56	100



DEMANDA DE AGUA SIN PROYECTO

PROYECTO "NUEVA ESPERANZA I"

PARAMETRO	UNIDAD	MESES											
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1. Evapotransp. de Referencia (E _{T0})	(mm/día)	5.00	4.77	5.00	5.07	4.80	3.78	3.74	3.90	4.18	3.99	4.20	4.50
2. Kc cultivo de cacao		1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
3. Evapotransp. de Cultivo (E _{Tc})	(mm/día)	7.50	7.16	7.52	7.60	7.20	5.67	5.62	5.85	6.27	5.99	6.30	6.75
4. Precipitación Efectiva	(mm/día)	1.44	3.12	3.84	1.53	0.90	0.23	0.04	0.00	0.02	0.12	0.00	0.51
5. Nocuidad de Neta	(mm/día)	6.06	4.03	3.68	6.07	5.52	5.39	5.58	5.90	6.25	5.86	6.32	6.33
6. Eficiencia de aplicación del sistema	(%)	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
7. N° días del mes	(días)	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
8. Nocuidad Total	(mm/día)	20.18	13.45	12.29	20.24	18.40	17.83	18.59	19.64	20.82	19.55	21.07	21.10
	(m ³ /ha/día)	201.82	134.50	122.91	202.40	182.49	178.20	185.90	196.41	208.24	195.47	210.73	211.09
	(m ³ /ha/mes)	6,256.32	3,765.92	3,810.25	6,072.04	5,702.51	5,348.91	5,762.84	6,094.88	6,247.35	6,059.61	6,321.93	6,542.42
9. Área total	(ha)	2.56	2.56	2.56	2.56	2.56	2.56	2.56	2.56	2.56	2.56	2.56	2.56
10. Volumen demandado	(m ³ /mes)	16,016.77	9,640.76	9,794.24	15,244.43	14,593.43	13,493.20	14,752.93	15,602.38	15,993.21	15,512.74	16,184.16	16,749.59
11. Modelo de riesgo	(L/s/ha)	2.34	1.93	1.42	2.34	2.15	2.05	2.15	2.28	2.41	2.28	2.44	2.44
12. Caudal requerido	(L/s)	5.91	3.99	3.64	6.00	5.45	5.20	5.51	5.93	6.17	5.79	6.24	6.28
		174,041.75											

$$ET_c = ET_0 * K_c$$

$$N_n \text{ (mm/día)} = ET_c \text{ (mm/día)} - PE \text{ (mm/día)}$$

$$N_t \text{ (m}^3\text{/ha/día)} = N_n \text{ (mm/día)} * 10$$

$$N_t \text{ (mm/día)} = N_n / Ef$$

$$N_t \text{ (m}^3\text{/ha/mes)} = (N_t \text{ (mm/día)} * 10) * N^\circ \text{ días mes}$$

$$\text{DEMANDA (m}^3\text{/mes)} = N_t \text{ (m}^3\text{/ha/mes)} * \text{AREA}$$

$$MR \text{ (l/s/ha)} = (N_t \text{ (m}^3\text{/ha/día)} * 1000) / (24 * 3600)$$

$$Q \text{ (l/s)} = MR \text{ (l/s/ha)} * \text{AREA (ha)}$$

Demanda mínima	12.29	(mm/día)	Demanda promedi	18.60	(mm/día)	Demanda máximo	21.10	(mm/día)
Modelo de riesgo mínimo	1.42	(L/s/ha)	Modelo de riesgo	2.15	(L/s/ha)	Modelo de riesgo	2.44	(L/s/ha)
Caudal requerido mínimo	3.64	(L/s)	Caudal requerido	5.51	(L/s)	Caudal requerido	6.25	(L/s)

Fuente: Elaboración Propia

GRAFICO DE DEMANDA DE AGUA SIN PROYECTO



ESTIMACIÓN DE LA OFERTA HÍDRICA

Acreditación Hídrica

DOCUMENTO DE ACREDITACIÓN HÍDRICA	LICENCIA	SI	ACREDITACIÓN	NO
DOCUMENTO DE LA ANA QUE SUSTENTA LA ACREDITACIÓN	RD N° 052 -2018 - ANA-AAA. J- ALA. T			

Cálculo de la Oferta Hídrica

CAUDAL AUTORIZADO DE LA FUENTE	4.16	l/s
--------------------------------	------	-----

Ocultar Oferta

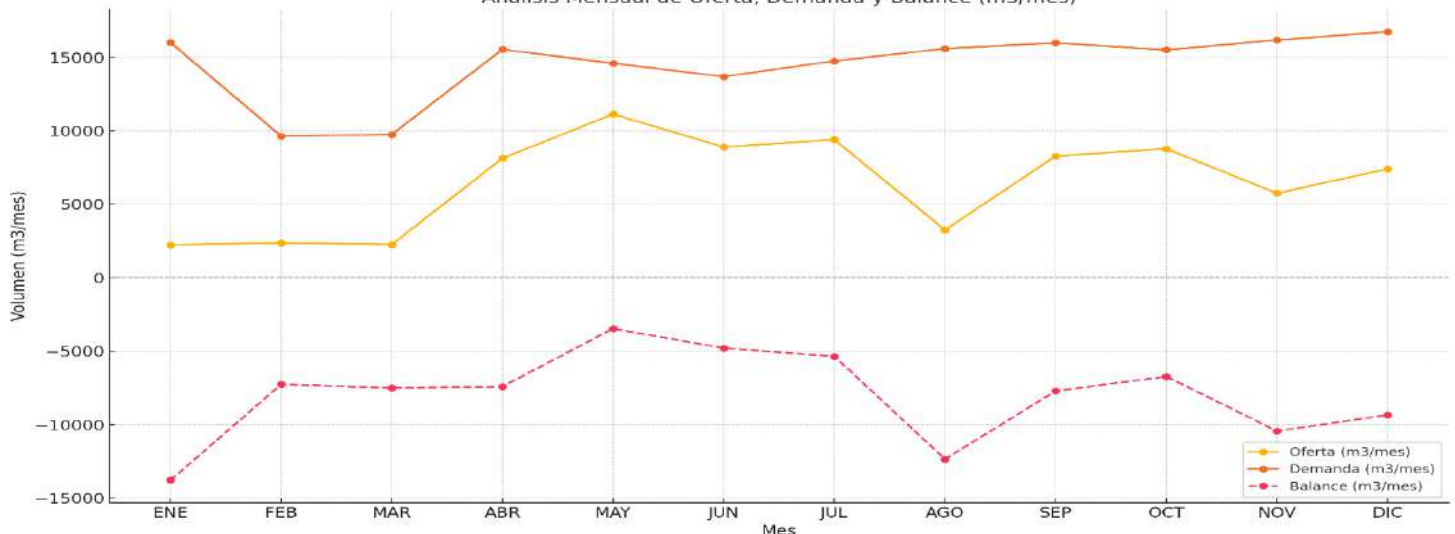
MES PROMEDIO	CAUDAL (l/s)	FRECUENCIA DE DOTACIÓN (cada cuántos días)	TIEMPO DE RIEGO	VOLUMEN DISPONIBLE (m3)
ENE	0.83	15	360	2,231
FEB	0.98	16	384	2,378
MAR	0.84	15	360	2,256
ABR	3.14	17	408	8,135
MAY	4.16	19	456	11,135
JUN	3.44	20	480	8,906
JUL	3.51	18	432	9,406
AGO	1.22	18	432	3,256
SEP	3.20	18	432	8,285
OCT	3.28	18	432	8,785
NOV	2.22	17	408	5,756
DIC	2.77	16	384	7,406
VOLUMEN TOTAL				77,935

FUENTE DE INFORMACIÓN: ALA TUMBES - COMISIÓN DE USUARIOS DEL SUBSECTOR HIDRAULICO PUERTO EL CURA - PAMPA GRANDE.

BALANCE HÍDRICO

N°	Descripción	Cálculo	Unidad	Meses											
				Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
a	Oferta	Dato de Oferta	(m3/mes)	2,231	2,378	2,256	8,135	11,135	8,906	9,406	3,256	8,285	8,785	5,756	7,406
b			(m3/día)	72	85	73	271	359	297	303	105	276	283	192	239
c	Demanda	Dato de Demanda	(m3/mes)	16,016	9,641	9,754	15,544	14,598	13,693	14,753	15,603	15,993	15,513	16,184	16,749
d			(m3/día)	517	344	315	518	471	456	476	503	533	500	539	540
e	Balance Hídrico	(a - c)	(m3/mes)	-13,785	-7,263	-7,498	-7,409	-3,463	-4,787	-5,347	-12,347	-7,708	-6,728	-10,428	-9,343
f		(b - d)	(m3/día)	-444.68	-259.38	-241.88	-246.98	-111.72	-159.57	-172.48	-398.29	-256.94	-217.02	-347.60	-301.37

Análisis Mensual de Oferta, Demanda y Balance (m3/mes)



ANEXO 13: Resolución de la oferta de agua.



RESOLUCION ADMINISTRATIVA N° 052 -2018-ANA-AAA.JZ-ALA. T

Tumbes, 15 OCT 2018

VISTO:

El Expediente Administrativo CUT: 171464-2018, tramitado ante la Administración Local de Agua Tumbes, por Juan Yorlin Pardo Céspedes, sobre otorgamiento de permiso de uso de Agua superficial con fines agrarios, para su predio ubicado en el distrito de Papayal, provincia de Zarumilla, departamento de Tumbes;

CONSIDERANDO:

Que, conforme lo establece el Artículo 15° de la Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos, la Autoridad Nacional del Agua tiene entre otras funciones, otorgar, modificar y extinguir, previo estudio técnico, derechos de uso de agua;



Que, según el numeral 64.1, Artículo 64° del reglamento de la Ley N° 29338, toda persona natural o jurídica, pública o privada, para usar el agua requiere contar con un derecho de uso de agua otorgado por la Autoridad Administrativa del Agua, salvo que se trate de uso primario;

Que, según el numeral 87.2 del artículo 87° del Reglamento de la Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos, aprobado por D.S. 001-2010-AG, los titulares de los permisos, para ejercitar el derecho de uso de agua, requiere previamente que la Autoridad Administrativa a través de sus órganos desconcentrados, declaren el estado de superávit hídrico, de acuerdo con las condiciones hidrológicas de la cuenca. El volumen de agua a usar, está en función a los excedentes que en cada año hidrológico pudieran presentarse;

Que, el peticionario ha solicitado otorgamiento de derecho de permiso de uso de agua superficial con fines agrarios para su predio ubicado en el sector Buena Esperanza, colindante al bloque de riego Puerto El Cura, con área bajo riego de 2.56 ha, en la coordenada UTM WGS 84, 574452 E, 9612235 N;

Que, el predio del solicitante no se acogió al Programa de Formalización de Derechos de Uso de Agua - PROFODUA; por lo que no ha sido considerado su inscripción en el Registro Administrativo de Derechos de Uso de Agua (RADA); el predio se ubica fuera del bloque de riego Puerto El Cura, y habiendo llenado adecuadamente la memoria descriptiva que sustenta el permiso de uso de agua para épocas de superávit hídrico, corresponde otorgar el respectivo derecho de uso de agua, de conformidad con el Reglamento de Procedimientos Administrativos para el Otorgamiento de derechos de Uso de Agua y Autorizaciones de Ejecución de Obras en Fuentes Naturales de Agua,, aprobado con Resolución Jefatural N° 007-2015-ANA;

Que, el administrado acredita la titularidad del predio, mediante Testimonio de la Escritura Pública N° 399, Minuta N° 379, Registro: XIII tomo II año 2018 de la Notaria Marfeny Genoveva Millan Acero del Complejo de Aguas Verdes – Zarumilla;

Que, el expediente ha sido tramitado con arreglo a Ley según el Informe Técnico N° 045-2018-ANA-AAA JZ-ALA T/RMS, emitido por el profesional del área técnica de la Administración Local de Agua, recomienda otorgar el permiso de uso de agua seguido por el Señor Juan Yorlin Pardo Céspedes; para el riego de cultivos de periodo vegetativo corto como lo dispone la Ley de Recursos Hídricos y su Reglamento;

Que de conformidad a las facultades conferidas al Administrador Local de Agua por el artículo 48, literal b), del Decreto Supremo N° 018-2017-MINAGRI, Reglamento de Organización y Funciones de La Autoridad Nacional del Agua;



RESOLUCION ADMINISTRATIVA N° 052 -2018-ANA-AAA.JZ-ALA. T

SE RESUELVE:

ARTÍCULO 1°.- Otorgar el derecho de permiso de uso de agua superficial con fines agrarios, provenientes del río Tumbes, a favor de Juan Yorlin Pardo Céspedes, para el predio de 2.56 ha., ubicado en el sector Buena Esperanza UTM WGS 84 E: 574309 N: 9612285, Distrito de Papayal, Provincia de Zarumilla, Departamento Tumbes, con servidumbre de riego, por el CD. Puerto El Cura, L01 Lateral 13, Sublateral hasta la toma del predio en la coordenada UTM WGS 84,574452 E 9612235 N, de la Comisión de Usuarios del Subsector Hidráulico Puerto El Cura – Pampa Grande, Junta de Usuarios del Sector Hidráulico Menor Tumbes, de acuerdo al siguiente detalle:

Apellidos y Nombres	DNI	Nombre del Predio	Centroide Coord. UTM (WGS 84)		Superficie Bajo Riego (ha)
			Este	Norte	
Juan Yorlin Pardo Céspedes	70048275	Buena Esperanza	574309	9612285	2.56

VOLUMEN DE AGUA MENSUALIZADO

Ag.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Ab.	Ma.	Jun.	Jul.	TOTAL (M3)
3256	8285	8785	5756	7406	2231	2378	2256	8135	11135	8906	9406	77,937

ARTÍCULO 2°.- El derecho de permiso de uso de agua otorgado mediante la presente resolución, sólo es válido para la instalación de cultivos de corto período vegetativo.

ARTÍCULO 3°.- La Autoridad Nacional del Agua ni sus órganos desconcentrados son responsables por las pérdidas o perjuicios que pudieran sobrevenir a quien utilizare el permiso de agua, si los recursos excedentes que lo motivan no permitieran alcanzar el objeto para el cual fue solicitado.

ARTÍCULO 4°.- El administrado, cancelará la tarifa de agua y la retribución económica por el uso de agua a la Junta de Usuarios del Sector Hidráulico Menor Tumbes o a la Comisión de Usuarios del Subsector Hidráulico Puerto el Cura – Pampa Grande de acuerdo a la disponibilidad del recurso hídrico en cada campaña de cultivo.

ARTÍCULO 5°.- Precisar, que de conformidad al artículo 207° de la Ley del Procedimiento Administrativo General, Ley N° 27444, contra la presente resolución se podrá interponer recurso de reconsideración y/o apelación, en el plazo de 15 días hábiles, contabilizados desde el día siguiente de la notificación.

ARTÍCULO 6°.- Notificar la presente Resolución Administrativa, a Juan Yorlin Pardo Céspedes, Comisión de Usuarios del Subsector Hidráulico Puerto El Cura – Pampa Grande, Junta de Usuarios del Sector Hidráulico Menor Tumbes y disponer su publicación en el portal institucional de la Autoridad Nacional del Agua Conforme a Ley.

Regístrese, comuníquese y archívese

AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA
AAA JEGUETEPECHE ZARUMILLA
ADMINISTRACION LOCAL DE AGUA TUMBES

Ing° Segundo Nicolás Pérez Manufo
ADMINISTRADOR LOCAL DE AGUA TUMBES

ANEXO 14: Resultados del monitoreo de recurso hídrico.

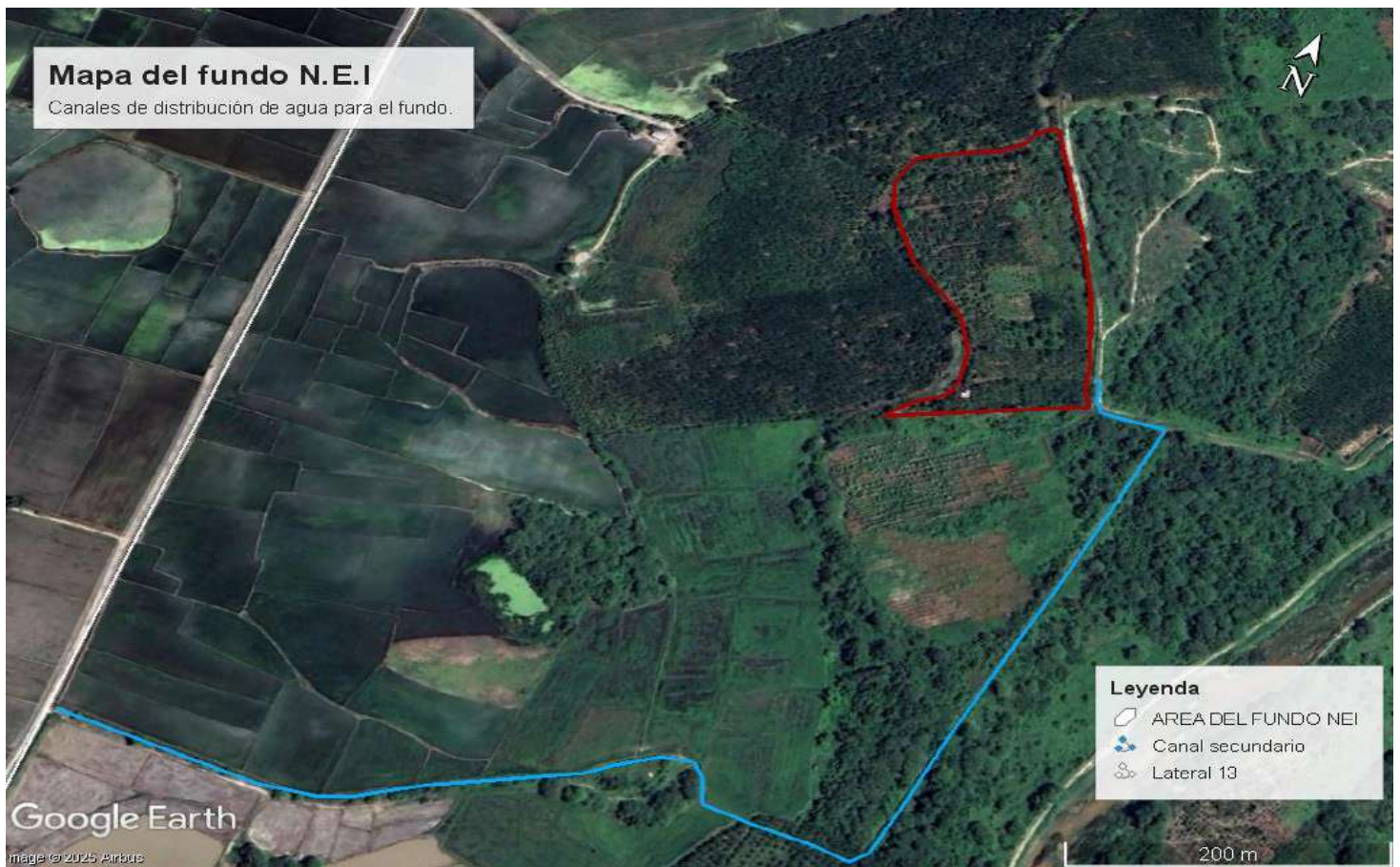


Figura 28: Panel fotográfico de observación de campo.





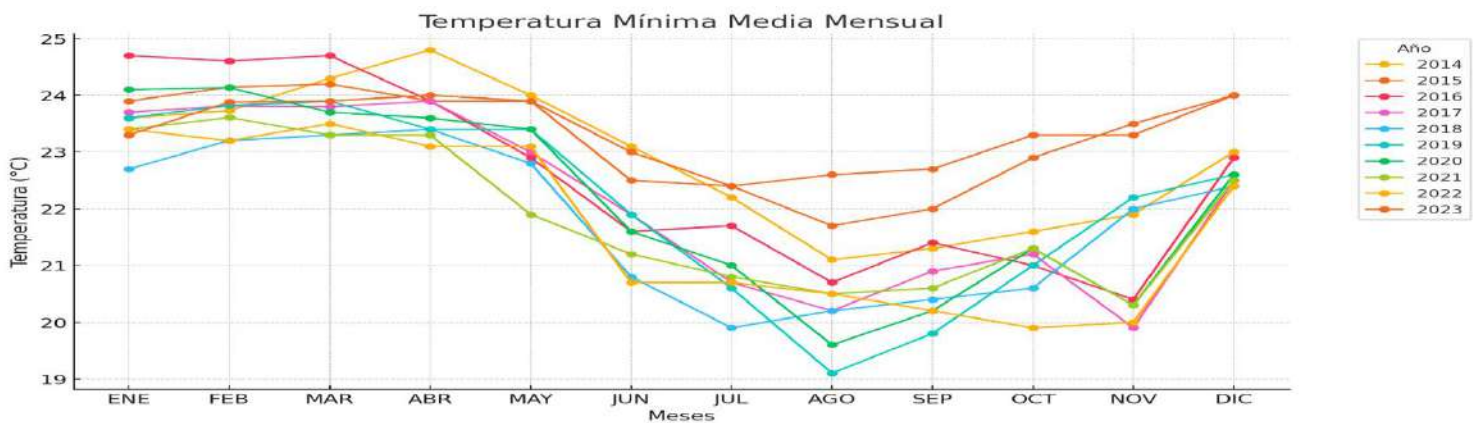
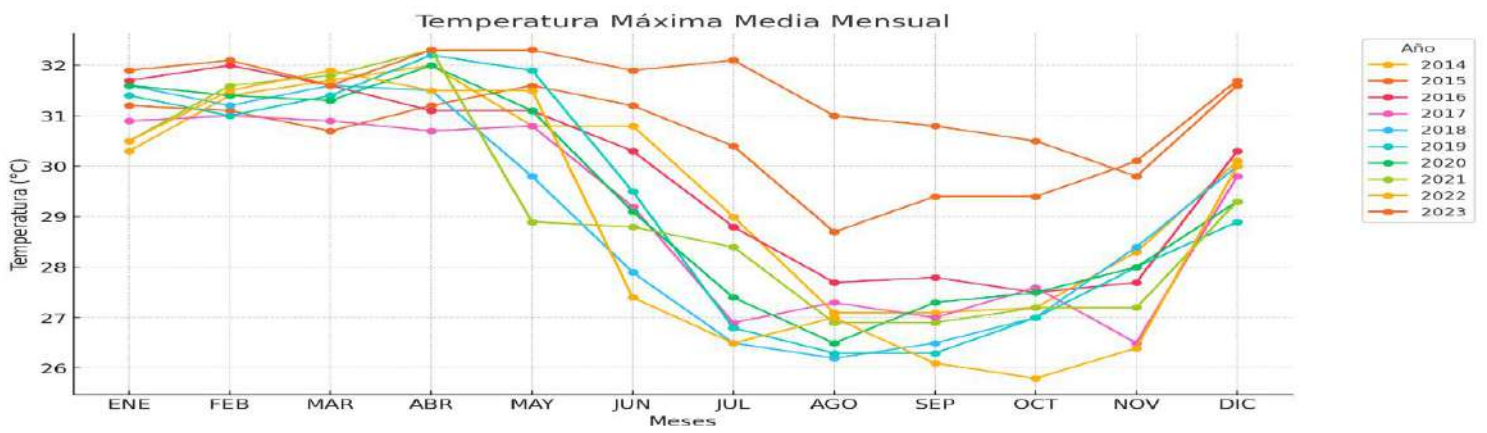
ANEXO 15: Evaluación de la distribución hídrica en el fundo agrícola.



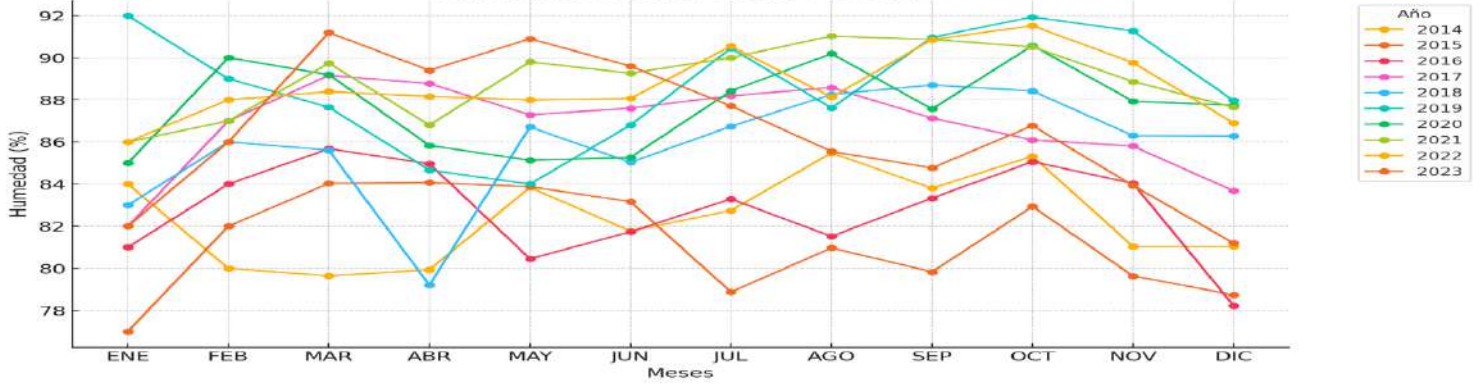
Figura 29: Panel fotográfico de distribución de agua en el fundo.



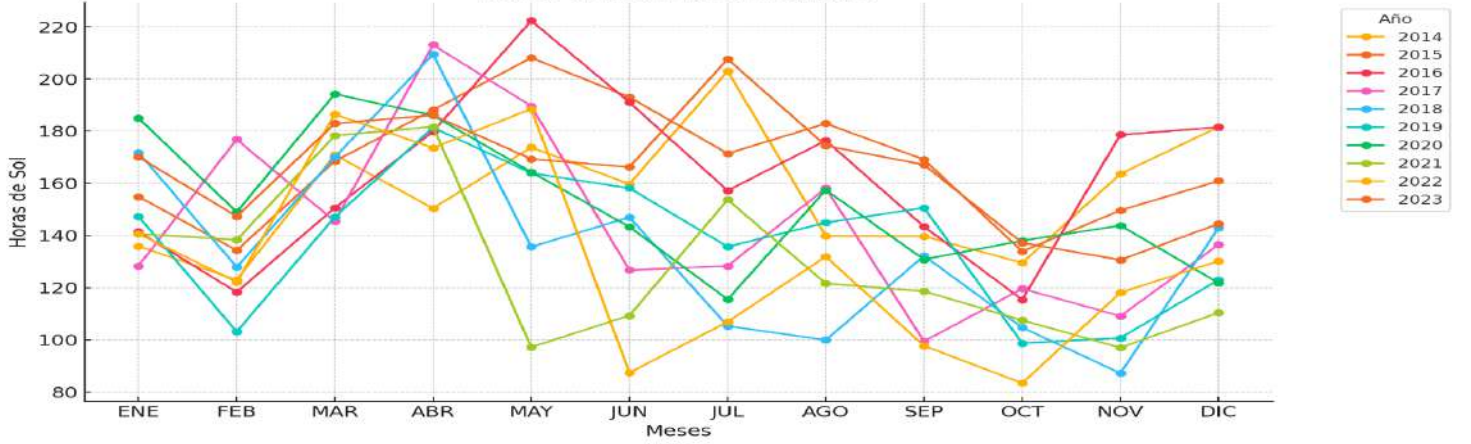
ANEXO 16: Graficas de tendencia por meses durante los años.



Humedad Relativa Media Mensual



Horas de Sol Media Mensual



Precipitación Total Mensual



Velocidad Media del Viento Mensual

