

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN CONSERVACIÓN DE
SUELOS Y AGUA



**NECESIDADES HÍDRICAS DEL *Theobroma cacao* L. (CACAO) EN LA ETAPA DE
PRODUCCIÓN, FUNDO MIRAFLORES, NUEVO BAMBAMARCA- TOCACHE**

Tesis

Para optar el título de:

INGENIERO EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA

PRESENTADO POR:

SHALLE BRULLER RAMIREZ SILVA

Tingo María – Perú

2023



ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS N°075-2023-FRNR-UNAS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 18 de julio del 2023, a horas 04:00 p.m. de la Escuela Profesional de Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua de la Facultad de Recursos Naturales Renovables para calificar la tesis titulada:

“NECESIDADES HÍDRICAS DEL *Theobroma cacao* L. (CACAO) EN LA ETAPA DE PRODUCCIÓN, FUNDO MIRAFLORES, NUEVO BAMBAMARCA - TOCACHE”.

Presentado por el Bachiller: RAMIREZ SILVA, SHALLE BRULLER, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara **APROBADO** con el calificativo de “MUY BUENA”.

En consecuencia, el sustentante queda apto para optar el Título Profesional de **INGENIERO EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA** que será aprobado por el Consejo de Facultad, Tramitándolo al Consejo Universitario para el otorgamiento del Título Correspondiente.

Tingo María, 04 de setiembre de 2023

Ing. M. Sc. JOSÉ D. LEVANO CRISOSTOMO
PRESIDENTE



Ing. M. Sc. ERLE OTTO J. BUSTAMANTE SCAGLIONI
MIEMBRO

Ing. M. Sc. JAIME J. CHAVEZ MATIAS
MIEMBRO

Dr. LUCIO MANRIQUE DE LARA SUAREZ
ASESOR



"Año de la unidad, la paz y el desarrollo"

CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 255- 2023 - CS-RIDUNAS

El Director de la Dirección de Gestión de Investigación de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quien suscribe,

CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Investigación; aprobó el proceso de revisión a través del software TURNITIN, evidenciándose en el informe de originalidad un Índice de similitud no mayor del 25% (Art. 3° - Resolución N° 466-2019-CU-R-UNAS).

Programa de Estudio:

Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua

Tipo de documento:

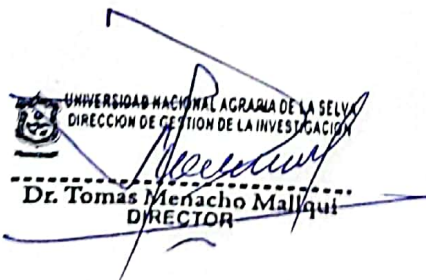
Tesis

X

Trabajo de investigación

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE DE SIMILITUD
NECESIDADES HÍDRICAS DEL Theobroma cacao L. (CACAO) EN LA ETAPA DE PRODUCCIÓN, FUNDO MIRAFLORES, NUEVO BAMBAMARCA- TOCACHE	SHALLE BRULLER RAMIREZ SILVA	17 % Diecisiete

Tingo María, 19 de setiembre de 2023


UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
DIRECCION DE GESTION DE LA INVESTIGACION
Dr. Tomas Menacho Mallqui
DIRECTOR



VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN OFICINA DE INVESTIGACIÓN

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

REGISTRO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO UNIVERSITARIO, INVESTIGACIÓN DOCENTE Y TESISISTA

(Resol. 113-2019-CU-R-UNAS)

I. Datos generales de Pregrado

Universidad	:	Universidad Nacional Agraria de la Selva
Facultad	:	Facultad de Recursos Naturales Renovables
Título de tesis	:	Necesidades hídricas del <i>Theobroma cacao</i> L. (cacao) en la etapa de producción, fundo Miraflores, Nuevo Bambamarca- Tocache.
Autor	:	Ramírez Silva, Shalle Bruller.
Asesor de tesis	:	Dr. Manrique De Lara Suarez, Lucio.
Escuela Profesional	:	Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua.
Programa de investigación	:	Ciencia Básica.
Línea(s) de investigación	:	Climatología.
Eje temático de investigación	:	Determinación de índices climáticos.
Lugar de ejecución	:	Tocache.
Duración	:	Inicio : 01 – 09 – 2019 Término : 29 – 02 – 2020
Financiamiento	:	FEDU : 0 soles Propio : 5 695,00 soles Otros : 0 soles

Bach. Ramírez Silva, Shalle Bruller
Tesisista

Tingo María - Perú, mayo 2023

Dr. Manrique De Lara Suarez, Lucio
Asesor

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres, Omar Ramírez Vidal y Úrsula Silva Eguizábal por su motivación y soporte incondicional en mi formación profesional.

A mis hermanas Luz Jackelin Ramírez Silva, Yoselin Ramírez Silva, Jasmelin Ramírez Silva, Nuveluz Ramírez Silva y Chaylin Cahori Ramírez Silva, por el apoyo y motivación constante que recibo de ellas, mis más sinceros agradecimientos, son el motor de mi vida.

A mi tío Godofredo Valdivia Carlos y a mi Primo Jorge Valdivia Ramírez, quienes constantemente me brindaron su apoyo moral, fortaleza y me inculcaron la pasión por la agricultura les aprecio mucho.

AGRADECIMIENTOS

Durante el desarrollo de mi formación profesional, personal y la presente investigación, diversas personas aportaron directa e indirectamente, a quienes deseo expresar mis sinceros agradecimientos:

A Dios mi creador, por su amor quien bendice mi vida he ilumina mi camino infatigablemente.

A mi alma mater “Universidad Nacional Agraria de la Selva” y a todos los profesores y el personal administrativo que conforman dicha institución prestigiosa por su apoyo e instrucción.

A mi asesor el Dr. Lucio Manrique De Lara, quien me brindo las pautas y facilito los equipos para que sea posible este trabajo de investigación.

A los miembros de jurado de la presente investigación: MSc. José Lévano Crisóstomo, MSc. Erle Otto Javier Bustamante Scaglioni y MSc. Jaime Chávez Matías, quienes con su minuciosidad y voluntad hicieron realidad la sustentación del informe de tesis.

A mi colega Raulito Barja Lorenzo, Sandy Hellen Sánchez Oliva y Juan Turpo Morales por su criterio y apoyo en las diversas actividades de campo y redacción.

ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Relación suelo-agua-planta.....	3
2.1.1. El agua en el suelo	3
2.1.2. Agua disponible en el suelo.....	3
2.1.3. El flujo o movimiento de agua en el suelo.....	6
2.2. Necesidad hídrica de las plantas	7
2.2.1. Evaporación	7
2.2.2. Transpiración	7
2.2.3. Evapotranspiración	7
2.2.4. Evapotranspiración potencial (ETP).....	8
2.3. Métodos para determinar la evapotranspiración potencial (ETP).....	8
2.3.1. Métodos directos que permiten determinar la ETP	8
2.3.2. Métodos indirectos para determinar de la ETo.....	9
2.3.3. Coeficiente del cultivo (Kc).....	12
2.3.4. Precipitación efectiva (Pe).....	12
2.4. Necesidad de riego en los cultivos.....	13
2.4.1. Evaluación del estado de la humedad del suelo con sensores	14
2.4.2. Evaluación del estado de humedad del suelo con tensiómetros	14
2.5. Cultivo de <i>Theobroma cacao</i> L. (cacao).....	15
2.5.1. Taxonomía	15
2.5.2. Morfología del cultivo	15
2.5.3. Requerimientos edafoclimáticos.....	16
2.5.4. Ciclo fisiológico del <i>Theobroma cacao</i> L. (cacao)	17
2.5.5. Necesidad de riego del cultivo de cacao.....	17
III. MATERIALES Y MÉTODOS	19
3.1. Descripción general del lugar de estudio	19
3.1.1. Clima.....	19
3.1.2. Suelo	19
3.2. Materiales, herramientas y equipos.....	20
3.2.1. Materiales	20

3.2.2.	Material biológico.....	20
3.2.3.	Herramientas de campo	20
3.2.4.	Equipos	20
3.2.5.	Programas de computo	21
3.3.	Metodología	21
3.3.1.	Actividades preliminares del establecimiento del experimento	21
3.3.2.	Cálculo de la evapotranspiración potencial (ETP) utilizando el lisímetro de drenaje y la ecuación de FAO Penman-Monteith.....	23
3.3.3.	Estimación del estado de humedad en el suelo del <i>Theobroma cacao</i> L. (cacao).....	24
3.3.4.	Estimación de la lámina de riego del <i>Theobroma cacao</i> L. (cacao).....	25
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	26
4.1.	Evapotranspiración potencial (ETP) método del lisímetro de drenaje y Fao Penman – Monteith	26
4.2.	Estado de humedad del suelo en la parcela de (<i>Theobroma cacao</i> L.) cacao.	33
4.3.	Lámina de riego para el cultivo de <i>Theobroma cacao</i> L. (cacao) en la zona de Nuevo Bambamarca – Tocache	41
V.	CONCLUSIONES	46
VI.	PROPUESTAS A FUTURO	47
VII.	REFERENCIAS	48
	ANEXOS	53

ÍNDICE DE TABLAS

Tablas	Página
1. Propiedades físicas e hidráulicas de los suelos.	4
2. Profundidad de la raíz, humedad del suelo accesible (f) y contenido de humedad disponible (HFA) para clases texturales y cultivos diferentes cuando la ETP fue de 5 a 6 mm/día.	5
3. Interpretación de la lectura del tensiómetro	15
4. Ciclo vegetativo, reproductivo y requerimiento climático del cultivo de cacao.....	17
5. Acumulados mensuales de oferta y demanda en m ³ (2010-2016)	18
6. Vías de acceso hacia la zona de trabajo	19
7. Variables meteorológicas monitoreados durante el periodo de investigación.	26
8. Evapotranspiración de referencia acumulada, promedia, máxima y mínima.	32
9. Registro de humedad del suelo por días para profundidades de 20,00 cm, 40,00 cm y 60,00 cm.	34
10. Evapotranspiración del cultivo de <i>T. cacao</i> L., estimado con la ET ₀ de FAO Penman Monteith y un Kc estándar de 0.90 para el cultivo de Cacao.....	41
11. Humedad del suelo monitoreado en la parcela de <i>Teobroma cacao</i> L. para una profundidad acumulada de 60,00 cm.	42
12. Lamina de riego para el cultivo de <i>Teobroma cacao</i> L. en el periodo de los seis meses.....	43
13. Resultados de evapotranspiración de referencia diaria método del lisímetro de drenaje.....	54
14. Resultados de evapotranspiración de referencia diaria método FAO Penman Monteith.	55
15. Datos recopilados para la prueba de infiltración en la parcela de investigación.	58
16. Resultados del cálculo de infiltración promedia método de Kostiakov.....	58
17. Datos meteorológicos recabados durante el periodo de duración de la investigación.	59
18. Características técnicas del sensor de humedad del suelo de perfil múltiple.....	64
19. Radiación solar extraterrestre en mm/día (Allen et al., 1998) (Original en MJ·m ⁻² ·día ⁻¹ ; 1 mm/día = 2,45 MJ·m ⁻² ·día ⁻¹).....	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figuras	Página
1. Característica de un pasto de referencia.....	10
2. Detalle del corte vertical del lisímetro de drenaje.....	22
3. Variación temporal de la temperatura media diaria para el periodo de duración de la investigación.....	27
4. Variación temporal de la humedad relativa en la zona de estudio.....	28
5. Variación temporal de la velocidad de viento diaria en la zona de estudio.....	29
6. Variación temporal de la radiación solar diaria en la zona de estudio.....	30
7. Variación temporal de las precipitaciones diarias acumuladas 24 horas.....	31
8. Variación temporal de la ETo diaria determinada por los métodos de FAO Penman Monteith y Lisímetro en la zona de estudio.....	33
9. Variación de humedad del suelo en (mm) para el perfil de 20,00 cm de profundidad y agua disponible.....	38
10. Variación de humedad del suelo en (mm) para el perfil de 40,00 cm de profundidad.....	39
11. Variación de humedad del suelo en (mm) para el perfil de 60,00 cm de profundidad.....	40
12. Variación del contenido de humedad del suelo actual, parámetros hídricos del suelo y el riego para el periodo de 01/09/2019 a 29/02/2020.....	44
13. Curva de infiltración promedio método Kostiakov.....	59
14. Resultados del análisis del suelo.....	64
15. Excavación para la colocación de la maceta y el recipiente de almacenamiento de agua drenada.....	66
16. Colocación de maceta en la excavación realizada.....	66
17. Instalación del pluviómetro.....	67
18. Prueba de circulación del agua al depósito de almacenamiento.....	67
19. Instalación anillo Infiltrómetro de doble anillo.....	68
20. Prueba de infiltración.....	68
21. Calicata a profundidad de 1,00 m.....	69
22. Instalación del sensor de perfil múltiple del suelo.....	69
23. Instalación y crecimiento del cultivo de referencia en la maceta.....	70
24. Instalación del tensiómetro Irrometer y lecturas de humedad.....	70

RESUMEN

Las recientes deficiencias hídricas en la atmósfera y el suelo limitan el normal desarrollo del cultivo de cacao y requieren ser conocidas para garantizar la producción e incrementar el rendimiento. El objetivo de esta investigación fue determinar las necesidades hídricas del *Theobroma cacao* L. (CACAO) durante la etapa de producción desde setiembre 2019 hasta febrero 2020, se determinó la evapotranspiración de referencia mediante el método de Penman-Monteith (Allen et. al, 2006) y un lisímetro de drenaje, a la vez se evaluó el estado de humedad en el suelo de la planta a 20,00; 40,00 y 60,00 cm de profundidad, finalmente se determinó la lámina de riego para cubrir las deficiencias. Durante la etapa del ciclo vegetativo (reposo y poda) y ciclo reproductivo (floración), para los meses de setiembre, octubre y noviembre. Las mayores pérdidas por evapotranspiración de referencia calculada y observada para el cultivo fueron de 5,19; 5,30 y 5,20 mm^{-día} y 5,98; 5,98 y 5,64 mm^{-día} respectivamente, la variación diaria de la humedad del suelo para los 182 días del periodo de duración de la investigación a 20,00 cm de profundidad fue de 34,07 mm, a 40,00 cm 14,64 mm y a 60,00 cm 12,26 mm, las láminas de riego máximas en m³ cubrir el déficit hídrico fueron de 946,90 m³/mes/ha, 798,80 m³/mes/ha y 815,80 m³/mes/ha. Se recomienda el riego para cubrir las deficiencias de agua durante el inicio de la etapa de producción del cultivo.

Palabra clave: cacao, evapotranspiración de referencia, humedad del suelo, lámina de riego.

ABSTRACT

The recent water deficiencies in the atmosphere and the soil, limit the normal development of the cacao crop, and their acknowledgement is required in order to guarantee the production and increase the yield. The objective of this research was to determine the water needs of *Theobroma cacao* L. (cacao) during the production stage, from September 2019 to February 2020. The referential evapotranspiration was determined using the Penman-Monteith method (Allen et. al, 2006) and a drainage lysimeter; at the same time, the state of the humidity of the planting soil at 20.00, 40.00, and 60.00 of depth was evaluated. Finally, the watering layer for covering deficiencies was determined. During the vegetative cycle stage (rest and pruning) and the reproductive cycle (flowering) [throughout] the months of September, October, and November, the greatest loss due to calculated referential evapotranspiration and that observed for the crop were 5.19, 5.30, and 5.20 mm^{-día} and 5.98, 5.98, and 5.64 mm^{-día}, respectively. The daily variation of the moisture in the soil during the 182 days that the research lasted was 34.07 mm at 20.00 cm of depth, 14.64 mm at 40.00 cm, and 12.26 mm at 60.00 cm. The maximum watering layers in m³ to cover the water deficiency were 946.90 m³/month/acre, 798.80 m³/month/acre, and 815.80 m³/month/acre. It is recommended that the watering [be done] to cover the deficiencies in water during the beginning of the production stage for the crop.

Keywords: cacao, referential evapotranspiration, moisture of the soil, watering layer

I. INTRODUCCIÓN

El agua está indispensablemente ligada a la agricultura y la civilización. El presente y, lo que es más importante, nuestro futuro, dependen de cómo abordemos los problemas asociados al abasto insuficiente del agua. (IICA, 2017).

El uso de técnicas de irrigación es una opción para mejorar la producción en regiones donde las lluvias acumuladas durante el año no satisfacen los requerimientos biofísicos de la agricultura o se distribuyen de manera desigual a lo largo del año (Cevallos, 2008; citado en FAO, 2005).

Según Orozco (2016), pocos estudios han evaluado los requerimientos hídricos del cultivo de cacao en campo, un árbol en edad productiva (mayor o igual a 5 años) requiere de 4 a 6 mm. de agua por día, sin embargo, ante un futuro agroclimático más árido y con menos lluvias, exige conocer su estado.

Según VOCES (2016), un medio de comunicación local, informa, desde el año 2009 miles de hectáreas de cultivos, se han visto perjudicados por sequías prolongadas e inusuales en el Huallaga Central. Agosto de 2017, una sequía devastó las plantaciones de cacao en el Centro Poblado Nuevo Bambamarca y las comunidades aledañas en la provincia de Tocache, San Martín, afectando 450 hectáreas, damnificando a muchas familias (RPP, 2017).

Según De Almeida y Valle (2010) señalan que los estados sensibles del cultivo de cacao a la sequía extrema afectan el crecimiento y el rendimiento. El agua disponible en la atmosfera y el suelo en meses de escasas no es suficiente, esto dificulta un normal desarrollo del cultivo de cacao lo cual requiere incorporar el déficit hídrico por riego.

Frente a esta situación insatisfecha del problema se formula la siguiente interrogante ¿Cuánto es la necesidad hídrica de la planta de *Theobroma cacao* L. (cacao) para obtener su respuesta productiva?; planteándose la hipótesis: la determinación de necesidad hídrica mejorará la producción del *Theobroma cacao* L. (cacao) en Nuevo Bambamarca. La investigación permitirá determinar la necesidad hídrica de *T. cacao* L. en la fase de producción en épocas de escasas de lluvias. Ante lo expuesto, se plantearon como objetivos los siguientes:

Objetivo principal

- Determinar las necesidades hídricas del *Theobroma cacao* L. (cacao) en la etapa de producción.

Objetivos específicos

- Determinar la evapotranspiración potencial (ETP) utilizando el lisímetro de drenaje y la ecuación de FAO Penman – Monteith.
- Evaluar el estado de humedad en el suelo del *Theobroma cacao* L. (cacao).
- Determinar la lámina de riego del *Theobroma cacao* L. (cacao).

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Relación suelo-agua-planta

Goyal (2007), citado por Pardos (2011), afirma que conocer de la interacción suelo, agua y planta es fundamental en el riego del cultivo para la agricultura. Un tipo de cultivo posee un requerimiento hídrico específico, y cada tipo de suelo tiene sus propias características que, directa o indirectamente, afectan el aporte de agua para las plantas. La disponibilidad de agua en el perfil del suelo en un momento determinado es cambiante, porque es el resultado neto de lluvias o irrigación, que la que se pierde por evaporación del suelo, transpiración de la planta o infiltración profunda. A su vez, el agua disponible para las plantas depende del sistema radicular y de las características hidrológicas del suelo.

2.1.1. El agua en el suelo

El propósito de la irrigación es restaurar la demanda de agua del suelo causadas por la evaporación y la transpiración. A mismo tiempo, se dota al medio de cultivo de las condiciones de humedad adecuadas para su correcto desarrollo. La retención de humedad en el suelo y su distribución en las raíces es vital para el desarrollo, manejo y productividad de las plantas (Vásquez, et al., 2017).

Desde un punto de vista hidrológico, el suelo actúa como una serie de tamices el cual hace que el agua ingrese a él y retenga parte de ella, provocando la acumulación de agua por retención capilar; el resto se filtra a la capa inferior creando un almacenamiento temporal o no capilar. En el primer caso, las plantas utilizan agua capilar, pero parte se pierde por evaporación; en el segundo caso, el agua se mueve por gravedad hacia abajo a través de poros (gránulos) lo suficientemente grandes, y el agua se usa paralelamente al flujo de agua subterránea (Monsalve, 1999).

2.1.2. Agua disponible en el suelo

El agua disponible en el suelo de uso vegetal oscila a capacidad de campo (CC, 0,33 bar) y punto de marchitez permanente (PMP, 15 bar). Al mantener la humedad del suelo por encima de la capacidad de campo, hay peligro de escases del aire en el suelo que limite el crecimiento normal del cultivo. Esto sucede para aquellos suelos de drenaje limitado la humedad cercana a PMP causa daño permanente a nivel fisiológico. De hecho, si se mantiene esta humedad, el cultivo quedara muerto (Vásquez, et al., 2017).

– Capacidad de campo (CC)

La capacidad de retención de agua del campo se define como la máxima capacidad del suelo para retener agua sin generar dificultades en el drenaje, que se logra,

dependiendo de las propiedades físicas del suelo, en intervalos de 6 y 72 horas luego que la lluvia haya permitido que el suelo se sature temporalmente. Esto significa que prácticamente se ha detenido la filtración o el autodrenaje. En condiciones de transpiración cero, la capacidad de campo también se puede definir como la retención de agua en el suelo en ($\Delta\theta / \Delta t \rightarrow 0$) (con el tiempo el contenido de agua en el suelo tiende a ser cero). Cabe mencionar que la humedad a capacidad de campo es el mismo al estado energético de agua dentro del suelo alrededor de 0,33 bar para suelo pesado (arcilla) y 0,10 bar para aquellos suelos de textura arenosa (Vásquez, et al., 2017).

– **Punto de marchitez permanente (PMP)**

Se define así al estado de humedad del suelo en que las plantas muestran signos de marchitamiento, defoliación y caída de frutos, por el escaso ingreso de agua desde el suelo hacia los cultivos; el estado energético promedio correspondiente a 15 bar esto varía de acuerdo al cultivo y su estado fisiológico.

Se requiere un gradiente potencial para que fluya el agua. La cantidad de flujo depende tanto de la pendiente como de la conductividad hidráulica del suelo. Durante la transpiración, se crea un gradiente en cuatro medios diferentes: suelo, raíces, hojas y atmósfera. La Tabla 1. muestra diferentes tipos de distribución de tamaño de partículas de suelo y rango de poros, densidad aparente, capacidad de campo, punto de marchitez permanente y contenido de agua en el suelo. (Vásquez, et al., 2017).

Tabla 1. Propiedades físicas e hidráulicas de los suelos.

Clase textural del suelo	Porosidad del suelo (%)	Densidad aparente d_{ap} (gr/cm ³)	Capacidad de campo θ_{cc} (%)	Punto de marchitamiento permanente θ_{pmp} (%)	Humedad total aprovechable	
					Peso del suelo seco ($\theta_{cc} - \theta_{pmp}$) (%)	Volumen del suelo ($\theta_{cc} - \theta_{pmp}$)* D_{ap} (%)
Arenoso	38	1,65	9	4	5	8
	(32-42)	(1,55-1,80)	(6-12)	(2-6)	(4-6)	(6-10)
Franco arenoso	43	1,5	14	6	8	12
	(40-47)	(1,40-1,60)	(10-18)	(4-8)	(6-10)	(9-15)
Franco	47	1,4	22	10	12	17
	(43-39)	(1,35-1,50)	(18-26)	(8-12)	(10-14)	(14-20)
Franco arcilloso	49	1,35	27	13	14	19
	(47-51)	(1,35-1,40)	(23-31)	(11-15)	(12-16)	(16-22)
Arcilloso arenoso	51	1,3	31	15	16	21
	(49-53)	(1,25-1,35)	(27-35)	(13-17)	(14-18)	(18-23)
Arcilloso	53	1,25	35	17	18	23
	(51-55)	(1,20-1,30)	(31-39)	(15-19)	(16-20)	(20-25)

Fuente: Vásquez, et al. (2017).

Otros autores reportaron que los suelos arcillosos, francos y arenosos tenían una porosidad que oscilaba entre 53% a 61%, 47% a 53% y 30% a 47%, respectivamente (Vásquez, et al., 2017).

– **Humedad total aprovechable (HAT)**

Se define así al rango de humedad de que existe entre la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente. También es conocido en los libros como agua útil, agua disponible, y reserva de humedad útil.

– **Profundidad de raíces**

De forma general, se puede decir que, si se divide la profundidad radicular media de cualquier cultivo en 4 partes iguales, la proporción del total de agua que asimila la planta de arriba hacia abajo será: 40%, 30%, 20% y 10%. correspondiente.

– **Fracción de agua en el suelo fácilmente disponible (f)**

Teóricamente sabemos que la disponibilidad de agua del suelo para las plantas se encuentra entre la capacidad de campo y punto de marchitez permanente; De hecho, hay plantas que no pueden absorber toda esta agua, y los agricultores no esperarán a que el suelo se quede sin agua para reponer mediante un riego.

– **Humedad fácil de aprovechar (HFA)**

De acuerdo a lo mencionado anteriormente, se puede ver que la humedad total aprovechable (HAT) significa que la planta es fisiológicamente capaz de usar solo una fracción de la humedad disponible del suelo. Esta fracción se llama "humedad fácilmente aprovechable" (HFA) (Vásquez, et al., 2017).

Tabla 2. Profundidad de la raíz, humedad del suelo accesible (f) y contenido de humedad disponible (HFA) para clases texturales y cultivos diferentes cuando la ETP fue de 5 a 6 mm/día.

Cultivos	Prof. Raíces (m)	Fracción de agua fácilmente disponible en el suelo (f)	Humedad fácil de aprovechar (HAF) Para texturas diferentes (mm/m)		
			Fina	Mediana	Gruesa
Alfalfa	1,0 – 2,0	0,55	110	75	35
Plátano	0,5 – 0,9	0,35	70	50	20
Remolacha	0,6 – 1,0	0,50	100	70	35
Apio	0,3 – 0,5	0,20	40	25	10
Cítricos	1,2 – 1,5	0,50	100	70	30
Trébol	0,6 – 0,9	0,35	70	50	20
Cacao	0,7 – 2,1	0,20	40	30	15
Algodón	0,7 – 1,7	0,65	130	90	40
Pepino	0,7 – 1,2	0,50	100	70	30

Fuente: Vásquez, et al. (2017).

Si la ETP es de 3-4 mm/día o menos, incrementar en un 30 %. Con una ETP de 8 mm/día o más, los valores se reducen en un 30% (Vásquez, et al., 2017).

2.1.3. El flujo o movimiento de agua en el suelo

Cuando el agua del suelo está en equilibrio, el potencial total en el sistema es constante y, por lo tanto, no hay ningún movimiento del agua en el suelo. El flujo de agua en el suelo se da cuando los medios de equilibrio se rompen y se generan diferencias de potencial entre los diferentes puntos del sistema.

– Infiltración

La infiltración es la cantidad de agua en movimiento que ingresa verticalmente a la superficie del suelo producto de la acción de las fuerzas gravitacionales y capilares, esta cantidad de agua quedará retenida en el suelo o llegará al nivel freático del acuífero, aumentando el volumen de este (UNALM, 2004) citado por (Gualpa, 2014).

Los agentes más relevantes que afectan la tasa de infiltración son:

- Propiedades físicas del suelo.
- Materia orgánica y carbonatos sobre el suelo.
- Contenido de agua en el suelo (inicial y saturación).
- Uniformidad en el suelo.
- Flora microbiana en el suelo.
- Temperatura del suelo y agua.
- Cobertura vegetal.
- Uso del suelo.
- Cantidad de aire atrapado en el suelo.
- Compactación del suelo.

– Velocidad de infiltración

Se conoce como infiltración el ingreso de agua al suelo, y está condicionada por los cambios del volumen del agua y de la presión en la superficie del suelo cuando este es expuesto a una lluvia o irrigación (Seoáñez, 1999) citado por (Gualpa, 2014).

Para el cálculo de infiltración acumulada se usa la siguiente ecuación:

$$I_{cum} = A * t^b \quad (1)$$

Dónde: I_{cum} : Lámina infiltrada acumulada, mm.

A: Infiltración instantánea, mm.

t: Tiempo transcurrido el cual el agua se encuentra sobre el suelo (min).

b: Pendiente de la recta de la curva de I_{cum} .

2.2. Necesidad hídrica de las plantas

La importancia del riego tecnificado consiste en cuantificar los requerimientos hídricos de los cultivos. Es un factor fundamental utilizado para determinar el tamaño de la infraestructura de riego y proyectar riego para los cultivos a nivel de parcela. La estimación de la cantidad de agua consumida por las plantas, conocida como evapotranspiración real, se realiza mediante varios métodos. Es frecuente el uso de variables climáticas como la evaporación de un tanque clase A, temperatura, humedad relativa, radiación solar y otras (Vásquez, et al., 2017).

2.2.1. Evaporación

La FAO (2006) se refiere al proceso mediante el cual el agua líquida cambia a un estado de vapor de agua como (evaporación) y se elimina de la superficie del evaporador (eliminación de vapor). El agua se evapora de muchos tipos de superficies, como lagos, ríos, caminos, suelo y vegetación húmeda.

La evaporación es un medio físico donde el agua cambia del estado líquido a vapor. La evaporación es una fase del ciclo hidrológico influenciada por variables meteorológicas: viento, temperatura, humedad relativa, radiación, composición y color del suelo, entre otros. En el caso de las plantas, al hablar de evaporación, nos referimos a la evaporación del agua del suelo (Vásquez, et al., 2017).

2.2.2. Transpiración

Es la pérdida por evaporación del agua líquida que se encuentra dentro del tejido vegetal y luego liberada a la atmósfera. El medio de cultivo pierde agua principalmente por sus estomas. Estos son pequeños agujeros de las hojas de la planta a través de los cuales los gases y el vapor de agua de los cultivos escapan a la atmósfera (FAO, 2006).

2.2.3. Evapotranspiración

Sucede cuando el agua pasa a la atmósfera por la evaporación del agua del suelo y la transpiración de los cultivos. Es complejo y no solo depende de los factores climáticos que intervienen en la evaporación, sino también de la fisiología y morfología de la planta, el suelo y su contenido de agua (Vásquez, et al., 2017).

FAO (2006) menciona que, la evapotranspiración de las plantas se determina multiplicando la evapotranspiración de referencia por el coeficiente del cultivo, el coeficiente de cultivo representa la diferencia entre la evapotranspiración del área cultivada y el área de cultivo de referencia.

2.2.4. Evapotranspiración potencial (ETP)

Esto ocurre en plantas pequeñas (generalmente pastos) que cubren la superficie del suelo, que están en crecimiento permanente y aporte adecuado y estable de agua.

El Comité Técnico Sobre Requerimientos de Riego de la Sociedad Americana de Ingeniería Civil (ASCE) utilizó como cultivo de referencia a la alfalfa para los cálculos de evapotranspiración. Algunos estudiosos de riego han utilizado otras variedades de césped (Vásquez, et al., 2017).

2.3. Métodos para determinar la evapotranspiración potencial (ETP)

Los métodos para determinar la evapotranspiración potencial hay muchos. Los más populares son: muestreo de humedad del suelo, lisímetro, tanque evaporímetro, balance hídrico, balance energético; y métodos empíricos.

De todos los métodos, las aplicaciones más prácticas son los métodos del lisímetro y los de tanques evaporímetros (Vásquez, et al., 2017).

2.3.1. Métodos directos que permiten determinar la ETP

Los lisímetros, los evaporadores de Clase A y el muestreo de suelo que permiten calcular la humedad, se consideran métodos directos para calcular la ETP. El uso del lisímetro se considera más preciso ya que incluye al pasto de referencia. El siguiente método utiliza las variables climáticas (radiación, temperatura, velocidad del viento y humedad relativa), las estimaciones basadas en este método, en ausencia de más información, son las más adecuadas (Vásquez, et al., 2017).

a) Método del lisímetro

La forma directa y precisa de medir la evapotranspiración potencial, es mediante un dispositivo llamado lisímetro para un período de tiempo determinado.

Dentro del lisímetro hay un cultivo estándar o pasto que se analiza para determinar el agua que se pierde por evaporación y transpiración. Esta técnica es ampliamente utilizada en investigaciones.

Los tipos de lisímetro pueden ser de:

- El lisímetro de balance permite que la capacidad de retención de agua del suelo sea estable y el volumen de agua consumida por los cultivos es la diferencia entre volumen de agua aplicada y el volumen de agua drenada.
- El lisímetro de peso determina el peso del consumo de agua por las plantas. Es determinado por la disminución de peso entre los aportes de agua.

El cálculo de la evapotranspiración potencial mediante el lisímetro es posible a la siguiente ecuación:

$$ET_c = R + P - D \pm \Delta H_s \quad (2)$$

Donde:

ET_c : Evapotranspiración real (mm).

R : Riego (mm).

P : Precipitación sobre el lisímetro (mm).

D : Drenaje del lisímetro (mm).

ΔH_s : Variación de la humedad del suelo (mm).

Según Puppo y García (2010) mencionan que, el método utilizado (Magnani, et al., 1990;) asume que, el volumen de agua del suelo del lisímetro siempre está a capacidad de campo (CC) al inicio de cada ciclo diario, entonces ΔH_s = 0.

Vásquez, et al. (2017) afirman que mediante este método también es posible determinar la evapotranspiración real y potencial del cultivo a estudiar.

2.3.2. Métodos indirectos para determinar de la ETo

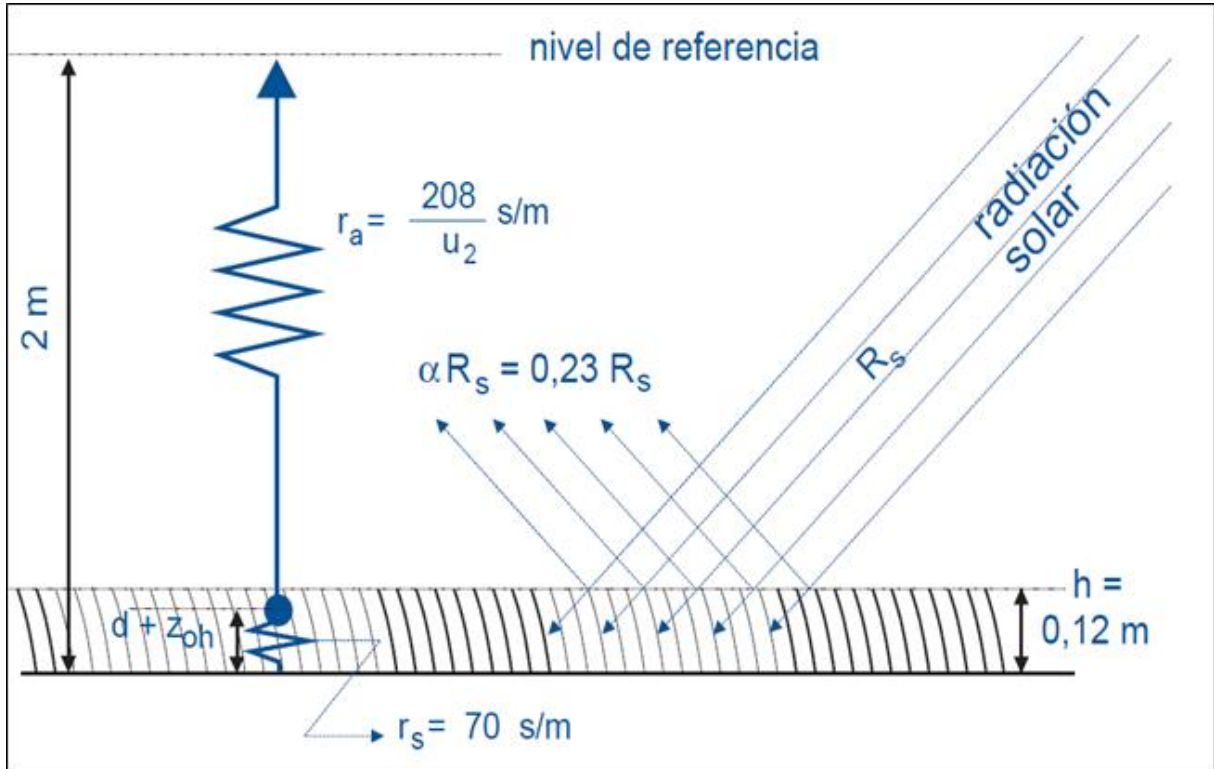
Se consideran métodos indirectos e incluyen ecuaciones planteadas por diferentes estudiosos. Se basan en el uso de parámetros climatológicos como variables que influyen en la tasa de evapotranspiración potencial. Estas fórmulas, están desarrollados para regiones específicas. Las ecuaciones más relevantes y aplicativos son las siguientes:

Método de Hargreaves, FAO Penman-Monteith, Blaney-Criddle, Radiación y otros (Vásquez, et al., 2017).

a) Método de FAO Penman-Monteith

Los investigadores de la FAO estandarizaron este método para calcular la evapotranspiración de referencia de una manera que estandariza varios métodos existentes para determinar la ETo. Se desarrolló utilizando la definición de un cultivo de referencia hipotético con altura de 0,12 m, resistencia superficial de 70 s/m y un albedo de 0,23, el cual representa la evapotranspiración de un área amplia. De cultivo verde de elevación semejante, con crecimiento activo y riego adecuado.

El pasto de referencia fue introducido con la finalidad de evitar precisar sobre parámetros de evapotranspiración únicos en cada etapa de crecimiento de la planta. El cultivo de referencia muy estudiado es la alfalfa con respecto a sus características aerodinámicas y superficiales y es aprobado como cultivo de referencia (FAO, 2006).



Fuente: Adaptado de FAO (2006).

Figura 1. Característica de un pasto de referencia.

La ecuación FAO Penman-Monteith para determinar la evapotranspiración de referencia es la siguiente:

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34 u_2)} \quad (3)$$

Dónde:

ET_0 : Evapotranspiración de referencia (mm día^{-1}).

Δ : Pendiente de la curva de presión de vapor ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$).

R_n : Radiación neta en la superficie del cultivo ($\text{MJ m}^{-2}\text{día}^{-1}$).

G : Flujo del calor de suelo ($\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$).

γ : Constante psicrométrica ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$).

T : Temperatura media del aire a 2 m de altura ($^\circ\text{C}$).

u_2 : Velocidad del viento a 2 m de altura (m s^{-1}).

e_s : Presión de vapor de saturación (kPa).

e_a : Presión real de vapor (kPa).

La ecuación FAO Penman-Monteith es una expresión, precisa y sencilla de las variables físicos y fisiológicos que regulan el proceso de la evapotranspiración. La ecuación usa variables climáticas como radiación solar, temperatura del aire, humedad relativa y velocidad del viento. Ello garantiza la precisión de los cálculos, es necesario medir los datos climáticos o convertirlos a una altura de 2 m, sobre una gran área cubierta de cultivo verde, que cubre totalmente el suelo y sin restricciones de agua (Allen, et al., 2006) Citado por (FAO, 2006).

b) Formula de Hargreaves

La fórmula de Hargreaves para el cálculo de evapotranspiración potencial solo requiere datos de temperaturas y radiación solar la expresión es la siguiente:

$$ET_0 = 0,0135(T_{med} + 17,78)R_s \quad (4)$$

Donde:

ET_0 : evapotranspiración potencial diaria (mm/día)

T_{med} : temperatura media (mm)

R_s : radiación solar incidente, convertida en mm/día

La radiación solar incidente, se evalúa a partir de la radiación solar extraterrestre, la fórmula es la siguiente:

$$R_s = R_0 * KT * (t_{max} - t_{min})^{0,5} \quad (5)$$

Donde:

R_s : radiación solar incidente (mm/día)

R_0 : radiación solar extraterrestre (Tabla N° 19)

KT : coeficiente

t_{max} : temperatura diaria máxima.

t_{min} : temperatura diaria mínima.

Los valores de R_0 están tabulados y las temperaturas máximas y mínimas son variables que se puede obtener de estaciones meteorológicas, la R_0 se puede obtener de tabla, pero en función de la latitud y del mes, la R_0 de Allen, et al. (1998) está en MJulio/m²/día, pero en la Tabla N°19 se presenta en mm^{-día}.

El coeficiente KT es un coeficiente empírico que se puede calcular a partir de datos de presión atmosférica, pero Hargreaves (citado por Samani, 2000) recomienda $KT = 0.162$ para zonas del interior y $KT 0,190$ para zonas costeras.

2.3.3. Coeficiente del cultivo (Kc)

El coeficiente de cultivo, es una expresión mediante el cual se mide el desarrollo de la planta o cobertura del suelo para los cuales se estimará el uso de agua. El valor de Kc es afectado principalmente: fisiología del cultivo, tiempo de siembra, tasa de crecimiento de la planta, duración del periodo vegetativo, medios climáticos y periodos de lluvia o irrigación, principalmente en la fase de crecimiento (Vásquez, 1992).

Según Allen, et al. (2006) citado por FAO (2006), el coeficiente de cultivo (Kc) para el cultivo de referencia es 1,0 siempre y cuando el cultivo se desarrolla bajo condiciones estándar libre de enfermedades, con buena fertilización, que crece en un área extenso bajo condiciones óptimas de humedad del suelo.

Del Cioppo (2016) Afirma que el coeficiente de cultivo (Kc) para el cacao oscila entre 0,6 -1,0 dependiendo de la época.

Los datos publicados por la Universidad Agraria del Ecuador en el proyecto IG-CV-087 financiado por PROMSA (Romero y Proaño, 2008), el factor de cultivo (Kc) del cacao se fijó en 0,90 para las cuatro etapas fisiológicas (cultivo en producción).

Arias y Daniel (2019), tomaron en consideración para un estudio en el fundo Cantagallo – Tocache – San Martin, considero el valor de Kc de 1,0. Tal como sugiere (Allen et al. 1998) un valor de Kc de 1,0 - 1,05, para una planta de cacao adulta de canopy completamente desarrollado de 3 metros de altura.

Al estimar la evapotranspiración de referencia (ER), se tienen en cuenta las variables climatológicas. La ER es un indicador de la demanda climática, el coeficiente de cultivo cambia esencialmente con las características específicas del cultivo, solo levemente en relación al clima. Es por ello que los valores del coeficiente de cultivo sean estándar entre diferentes áreas geográficas y climas. Este es la razón para el uso de la metodología del coeficiente de cultivo, y los valores de Kc desarrollados en estudios previos (FAO, 2006).

2.3.4. Precipitación efectiva (Pe)

La acumulación de agua en el reservorio (suelo), la lluvia constituye un porcentaje alto (en algunos casos el agua total del suelo), pero la precipitación disponible para el cultivo en su etapa de desarrollo es sólo una parte de ella; el resto se pierde por escorrentía superficial, percolación y evaporación (Vásquez, et al., 2017).

El cacao es un cultivo que necesita suficiente agua para su proceso fisiológico. La lluvia es una variable climática cambiante durante el año. Su distribución varía considerablemente entre regiones y es un factor determinante para el manejo de un cultivo (Macías, 2013).

2.4. Necesidad de riego en los cultivos

Es necesario predecir con precisión el volumen de agua requerida para lograr rendimientos óptimos en diferentes cultivos. Desde este punto de vista, hay una fórmula racional de cálculo de la necesidad de agua, considerando los factores climáticos (básicas en la determinación de evapotranspiración), las más cercanas al lugar y del uso suelo - agua y planta (Olarte, 1987).

El volumen de agua que necesita un cultivo para su proceso fisiológico en su entorno es conocido como la evapotranspiración real (ETA). Pero la planta está directamente relacionada al sistema de "aportes" y "perdidas" de agua; y por lo que participa en el balance hídrico.

$$D_a = ETA - (Pe + CA + N) \quad (6)$$

Siendo:

D_a : Requerimiento hídrico del cultivo para un tiempo determinado (mm)

ETA : Evapotranspiración real (mm)

Pe : Precipitación efectiva (mm)

CA : Variación de la lámina de la capacidad de retención del suelo inicial y final para un periodo determinado (mm)

N : Contribución del nivel freático (mm)

N y CA son considerados cero para los estudios de irrigación; Entonces la demanda de agua de la planta se expresará mediante la fórmula:

$$D_a = ETA - Pe \quad (7)$$

La demanda de agua de los cultivos es conocido como uso consuntivo, este requerimiento es conocido como (ET_c), las variables climáticas que actúan en ella son: agua disponible, variedad del cultivo, método de siembra y etapa fisiológico de la planta. La evapotranspiración o requerimiento de una planta cualquiera se determina con la siguiente ecuación: (Granda, 2006) citado por (Gualpa, 2014).

$$ET_c = ET_o \times K_c \quad (8)$$

Siendo:

ET_c : Evapotranspiración del Cultivo (mm).

ET_o : Evapotranspiración del cultivo de referencia o potencial (mm).

K_c : Coeficiente del cultivo, adimensional.

Los cultivos de cacao pueden necesitar riego suplementario o de conservación durante etapas temporales de déficit hídrico. Al instalar una parcela de cacao es necesario tener en cuenta que en el lugar no exista periodos secos por encima de los tres meses.

Es recomendable regar el cultivo de cacao con 100,00 mm de volumen para aquellos periodos secos (Arévalo, et al., 2017).

2.4.1. Evaluación del estado de la humedad del suelo con sensores

La evaluación de la humedad del suelo es importante con la finalidad de contribuir a la agricultura y así mejorar la productividad, conservar el agua, disminuir el impacto ambiental y reducir costos. La evaluación del estado de humedad del suelo puede ayudar en la toma de decisiones en la planificación de riego, como cuánto y cuándo regar (Enciso, et al., 2007).

Los sensores de humedad del suelo Odyssey miden la constante dieléctrica del suelo para determinar su contenido de humedad y el registrador de datos registra esta información. Estos datos se pueden ver como una medida porcentual o volumétrica en un gráfico u hoja de cálculo que le brinda una representación visual. (ODYSSEY, 2022).

Para los cultivos de regadío, se ha demostrado que el rendimiento por volumen de agua puede mejorar el correcto uso del agua de riego en la mayoría de los casos. Para hacer esto, se necesita conocer el estado de humedad del suelo en la zona radicular. (Enciso, et al., 2007).

2.4.2. Evaluación del estado de humedad del suelo con tensiómetros

Este es un método simple que se usa para determinar, total o parcialmente, el estado energético del agua en el suelo, inventado por Richards y Gardner en 1936.

Un tensiómetro es un dispositivo que mide la fuerza que retiene el agua en el suelo. El tensiómetro actúa como una raíz mecánica, que indica en un rango de 0 a 0,1 MPa la fuerza requerida por la planta para extraer agua, registra fluctuaciones de tensión cuando no supera los 0,08 MPa. La punta de cerámica es permeable a los solutos y al agua, pero impermeable al suelo y al aire, por lo que no se detecta potencial de solutos (Gutierrez, 2001).

Guía general de lectura del tensiómetro. Recomendaciones – Interpretaciones del Sensor (Irrrometer).

Tabla 3. Interpretación de la lectura del tensiómetro

Lectura de la tensión del suelo	Interpretación
0 a 10 cb (kPa)	Suelo saturado
10 a 30 cb (kPa)	El suelo está adecuadamente humedecido (excepto en arenas gruesas, que están comenzando a perder agua).
30 a 60 cb (kPa)	Margen habitual para el riego (para la mayoría de suelos).
60 a 100 cb (kPa)	Margen usual para riego en arcilla pesada.

Fuente: adaptado de Gutierrez (2001).

2.5. Cultivo de *Theobroma cacao* L. (cacao)

El cultivo de cacao crece en las selvas tropicales de América del Sur. Sus almendras son la materia prima para la elaboración de chocolate, cosmética, farmacéutica y otras industrias secundarias (ICT, 2004). Esta especie se encuentra en regiones lluviosas del trópico, entre 20° de latitud norte a 20° latitud sur.

2.5.1. Taxonomía

Según Benito (1992) la clasificación taxonómica es la siguiente:

División: Fanerógamas.

Clase : Angiospermas.

Orden : Málvales.

Familia: Malvaceae.

Género: *Theobroma*.

Especie: *Theobroma cacao* L.

2.5.2. Morfología del cultivo

Vera (1993) manifiesta que, el cacao es un cultivo perenne tropical que crece en elevaciones desde 0,00 m sobre el nivel del mar a los 1000 m sobre el nivel del mar. El tamaño depende de la variedad y condiciones edafoclimáticas.

a) Raíz

Paredes (1983) afirma que, la raíz principal puede alcanzar un tamaño de 1,20 a 1,50 m, a veces hasta 2,0 m de acuerdo a las condiciones edafoclimáticas. La mayoría de las raíces secundarias se desarrollan en los primeros 20-25 cm, las cuales son conocidos como raíces laterales o adicionales. La mayoría de ellas se ubican en un 85-90% a una profundidad de 20-25 cm del suelo alrededor de la planta, estas raíces se ubican en la parte superior en contacto con la capa de humus que normalmente cubre el suelo.

b) Tallo

Paredes (1983) menciona que, el tallo crece verticalmente (ortotrópico) hasta formar el primer verticilo entre 80 a 100 cm de altura. Está cubierto de pequeñas hojas distribuidas en espiral.

c) Hojas

INIAP (1993) afirma que, es simple, completo y pigmentado, y el color de este pigmento es muy variable, muchas veces verde bastante variable. Los tamaños de las hojas varían ampliamente, interactuando fuertemente con el ambiente; es más grande cuando carece de luz.

d) Flores

Navarro (2006) menciona que las flores se originan agrupados conocido como cojines florales y crecen sobre el tallo principal y las ramas. Las flores nacen en tallos donde la hoja haya caído y siempre aparecen en la misma área del tallo; por esta razón, es importante no dañar el cojín floral y así tener buena producción.

e) Frutos

Vera (1993) afirma que, la mazorca de cacao, es un fruto de gran tamaño sostenido por un pedúnculo fuerte y fibroso; Su forma es variada, generalmente ovalada, pero de oblonga a casi redonda, con 10 surcos longitudinales principales.

2.5.3. Requerimientos edafoclimáticos**a) Suelo**

El cacao crece a 1200 metros sobre el nivel del mar el suelo ideal para el cultivo del cacao es el suelo aluvial, profundo y fértil (ICT, 2004). En general, el suelo debe ser fértil, suelto y profundo, rico en materia orgánica, pH 6-7 y bien drenado. El ICT (2004) señala que, el suelo más adecuado es el suelo aluvial con una textura franca: arcillo arenosa.

b) Precipitación

El cacao necesita 1800-2500 mm de lluvia para su desarrollo, bien repartidos a lo largo del año. Paredes (2001) señala que el cultivo de cacao requiere suficiente agua para llevar a cabo sus procesos metabólicos. La precipitación es una variable climática que más cambia en el año. Su distribución varía considerablemente entre regiones y es un factor en el manejo del cultivo.

c) Temperatura y luminosidad

El cacao requiere temperaturas moderadas de 24-26°C y humedad relativa de 70 a 80% (Camaren, 2005).

ICT (2004) señala que, la luz es un factor climático primordial en el crecimiento del cultivo de cacao. La intensidad de luz inferior al 50% reduce el rendimiento, pero la intensidad de luz mayor al 50% aumenta el rendimiento.

d) Evapotranspiración

Arias, (2019) en un estudio realizado para el periodo (2010-2016) en el fundo Cantagallo – Tocache – San Martín – Perú, determinó la evapotranspiración promedio para el mes de setiembre de 3.48 mm/día, octubre de 3.44 mm/día, noviembre de 3.56 mm/día, diciembre de 3.31 mm en /día, enero de 3.27 mm/día y febrero de 3.04 mm/día.

2.5.4. Ciclo fisiológico del *Theobroma cacao* L. (cacao)

El cacao posee tres etapas fisiológicas distintas, pero que ocurren simultáneamente con el resto de la etapa: periodo de floración 6 meses; periodo de desarrollo de fruto y llenado de granos 6 meses; periodo de maduración del fruto 6 meses; no hay periodo de descanso, pero hay de 1 a 2 meses donde baja el rendimiento esto sucede al inicio de la nueva floración (Chávez y Mansilla, 2004).

Tabla 4. Ciclo vegetativo, reproductivo y requerimiento climático del cultivo de cacao

Meses	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene
Estados Fenológicos	Ciclo Vegetativo											
	Crecimiento Vegetativo				Crecimiento De hojas				Reposo-Poda	Formación de Yemas Foliare		
Ciclo Reproductivo												
Maduración de Frutos		Cosecha				Inducción		Botones Florales y Floración			Fructificación (Llenado de Mazorca)	
Temperatura Optima (°C)	22 - 25	22 - 25	22 - 25	22 - 25	22 - 25	22 - 25	22 - 25	22 - 25	22 - 25	22 - 25	22 - 25	22 - 25
Temperatura Critica (°C)	<17 a 32>	<17 a 32>	<17 a 32>	<17 a 32>	<17 a 32>	<17 a 32>	<17 a 32>	<17 a 32>	<17 a 32>	<17 a 32>	<17 a 32>	<17 a 32>
Humedad Optima (%)	>85	>85	>85	>85	>85	>85	>85	>85	>85	>85	>85	>85
Déficit hídrico	Tolerante	Tolerante	Sensible	Sensible	Sensible	Sensible	Sensible	Sensible	Sensible	Sensible	Tolerante	Tolerante
Periodo Vegetativo	182	243	304	365	62	123	154					
Periodo X Fase (días)	28	61	61	61	61	62	61	31				

Fuente: adaptado de MINAG (2011).

2.5.5. Necesidad de riego del cultivo de cacao

Arias, (2019) en la investigación realizada en el fundo Cantagallo – Tocache – San Martín – Perú, para el cultivo de cacao variedad forastero CCN-51 con manejo

agronómico intensivo, plantación a cielo descubierto, con edad productiva de 7 años, con tipo de suelo de textura franco arcilloso, densidad aparente 1,4 toneladas/metro cubico. Determinó que el déficit hídrico crítico se presentó en los periodos de junio – setiembre en el cual sugiere prácticas de riego.

Tabla 5. Acumulados mensuales de oferta y demanda en m³(2010-2016)

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Demanda m³/mes/ha	1013,7	851,2	930,0	840,0	861,8	780,0	886,6	1029,2	1044,0	1066,4	1068,0	1026,1
Oferta m³/mes/ha	1488,0	1671,0	1331,0	802,0	1182,0	404,0	523,0	576,0	381,0	1186,0	1014,0	1250,0
Balance Hídrico de Riego m³/mes/ha	-474,3	-819,8	-401,0	38,0	-320,2	376,0	363,6	453,2	663,0	-119,6	54,0	-223,9

Fuente: Arias, (2019).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Descripción general del lugar de estudio

Esta investigación se realizó en el Fundo Miraflores, ubicado en el Caserío Filadelfia del Centro Poblado Nuevo Bambamarca, distrito Tocache, provincia Tocache, región San Martín. Se localiza con coordenadas geográficas a: 8°8'50.85"S Latitud Sur, 76°33'57.14"O Longitud Oeste y una altitud de 502 m.s.n.m.

El acceso a la zona de estudio, se realiza por la carretera asfaltada Fernando Belaunde Terry tramo (Tocache – Nuevo Bambamarca) luego se ingresa con dirección sureste a través de la carretera afirmada tramo (Nuevo Bambamarca – Caserío Filadelfia). Finalmente, el ingreso a la parcela es por una trocha carrozable a 2,5 Km se ingresa hacia la margen derecha. El recorrido total desde la ciudad de Tocache en automóvil es de 30 minutos aproximadamente.

Tabla 6. Vías de acceso hacia la zona de trabajo

De – a	Vía de acceso	Transporte	Distancia (KM)	Tiempo (H y MIN.)
Tocache – Nuevo Bambamarca	Carretera Asfaltada	Automóvil, Motos, etc. transporte Publico, etc.	18,00	25 min
Nuevo Bambamarca – Caserío Filadelfia	Carretera Afirmada	Automóvil, Motos, etc. transporte Publico, etc.	3,00	10 min

3.1.1. Clima

La zona de estudio presenta un clima cálido sub – tropical húmedo, con una temperatura promedio de 26,5°C, humedad relativa promedio entre 87% a 89%. La precipitación media anual es 2,367.00 mm. Las temporadas lluviosas son los meses de octubre a marzo y las temporadas secas de mayo a septiembre (Vargas y Maco, 2006).

3.1.2. Suelo

La zona de estudio posee un suelo de clase textural franco arenoso, cuya densidad aparente es de 1,5 g/cc, con capacidad de campo de 15% y punto de marchites permanente de 7,1 %, con un PH de 5,64 a partir de 1,00 metro de profundidad la textura es más gruesa.

3.2. Materiales, herramientas y equipos

3.2.1. Materiales

- Bolsas de plástico 06 unidades.
- Balde de 18L
- Jarra de plástico 2L
- Rotulador.
- Tubo de PVC.
- Accesorios de PVC.
- Libreta de apuntes y lapicero.
- Botas.
- Maceta.

3.2.2. Material biológico

- *Stenotaphrum secundatum* (Grass americano).
- *Teobroma Cacao* L. (cacao) variedad CCN51.

3.2.3. Herramientas de campo

- Barreno.
- Wincha.
- Lampa.
- Poseadora.
- Pico.
- Nivel.
- Martillo.

3.2.4. Equipos

- Cronómetro.
- Infiltrómetro de doble anillo.
- Lisímetro.
- Pluviómetro.
- Probeta de 100,00 ml
- Tensiómetro de 15,00 cm marca Irrometer
- Sensor de humedad de perfil múltiple (20,0; 40,0; 60,0; 80.0 cm) marca Odyssey.
- Cámara digital.
- Laptop.

3.2.5. Programas de computo

- Hoja de cálculo (Microsoft Excel).
- Software (Odyssey Multi-Profile Soil Moisture V.3.1).

3.3. Metodología

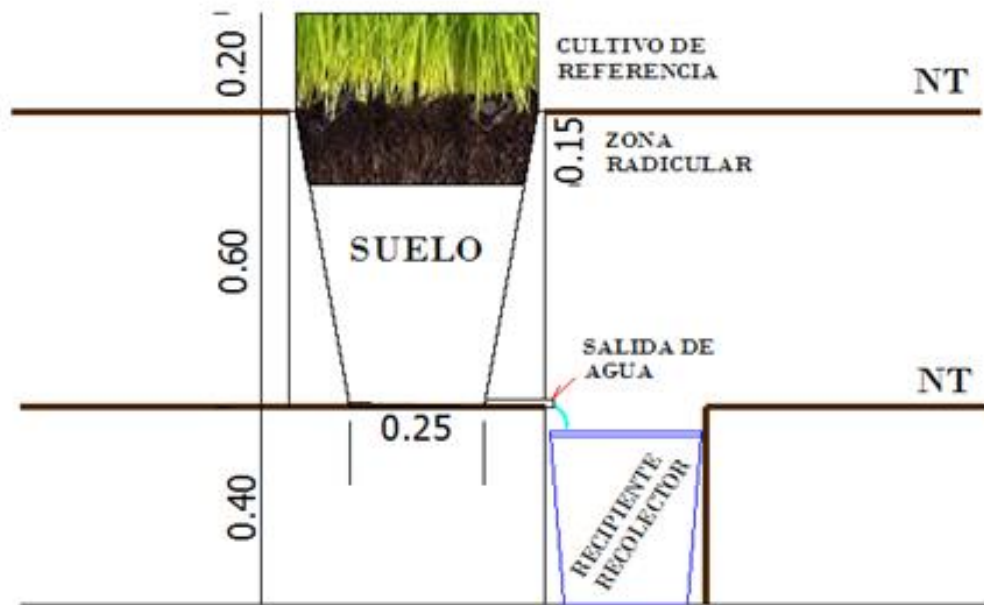
El método de investigación, “observación” y “descriptivo”. Según la naturaleza del tema, se observa de manera controlada las principales variables de evapotranspiración de referencia y el estado de humedad del suelo y se describe la cantidad de agua necesaria para restituir la demanda de agua de la planta de cacao por la evapotranspiración.

3.3.1. Actividades preliminares del establecimiento del experimento

El pluviómetro se instaló a 2,00 m del lisímetro con un soporte de madera de 1,50 m de altura, orientado al Sur.

El lisímetro se instaló a campo abierto, con cultivo de referencia en la superficie de la maceta el gras americano. El proceso de instalación del lisímetro fue:

- Excavar un hoyo con dimensiones de 1,00 m x 1,00 m x 1,00 m de profundidad para la colocación de la maceta de concreto con dimensiones de 0,45 m de base mayor, 0,25 m de base menor y 0,60 m de altura. Así mismo para la ubicación del recipiente recolector se consideró el desnivel de terreno natural, excavando un hoyo de 0,40 m x 0,40 m x 0,50 m de profundidad.
- En la parte inferior de una de las caras de la maceta de concreto existe un orificio de drenaje de 2” de diámetro, donde se colocó una reducción de PVC de 1” de diámetro con un tubo de 0,50 m, en el otro extremo se acopló un codo de 90° de PVC para drenar el agua al recipiente recolector.
- El suelo incorporado a la maceta cumplía con las condiciones mecánicas y físicas ideales para el crecimiento del cultivo de referencia.
- La instalación del cultivo de referencia fue por el sistema de siembra cuadrangular (0,05 m x 0,05 m) dentro de la superficie de la maceta, se efectuó previo humedecimiento del suelo.
- El tensiómetro Irrometer de 0,15 m de alcance, se colocó en la parte superficial de la maceta junto al cultivo de referencia. Para el proceso de instalación del tensiómetro se realizaron las siguientes actividades:
- Se retiró tapa del tensiómetro para humectar cápsula de cerámica en un recipiente con agua durante una noche, luego colocamos el tensiómetro (suelo) presionando lentamente al nivel del manómetro, se enrazó con agua el tubo de cuerpo, finalmente para la eliminación de burbujas de aire se utilizó la bomba de succión.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 2. Detalle del corte vertical del lisímetro de drenaje

El sensor de humedad del suelo de perfil múltiple se instaló entre la intercesión de 4 plantas de cacao cuya edad fue de 10 años, sistema de siembra tres bolillos de 3,00 m x 3,00 m. la medición del contenido de humedad se efectuó a profundidades de 0,20 m, 0,40 m, 0,60 m y 0,80 m. En el proceso de instalación del sensor de humedad del suelo de perfil múltiple se realizaron las siguientes actividades:

- Se identificó un área homogénea y representativa donde se realizó una perforación de 1,00 m con ayuda de un barreno del mismo diámetro del sensor, luego se introdujo el dispositivo hasta la altura del registrador de datos, seguidamente se humedeció el suelo alrededor del equipo.
- Se instaló el software Odyssey Multi-Profile Soil Moisture V3.1 a una computadora portátil. Mediante un cable USB se procedió la calibración del equipo conectando el sensor con el equipo portátil, para ello antes se introdujo datos conforme al manual tales como: desplazamientos por cada profundidad, pendiente, capacidad de campo y recarga, del mismo modo se introdujo datos manuales del operador tales como: nombre del lugar, número de serie del equipo, numero de lugar y profundidad de raíz. Luego se puso en marcha la toma de datos del contenido de humedad en un intervalo de 5,00 minutos por un periodo de 1,00 hora con fines de calibración, comprobando así el funcionamiento del equipo.

- El registro de datos del contenido de humedad del suelo a diferentes profundidades, se realizó en intervalos de tiempos de las 0:00 horas, 06:00 horas, 12:00 horas y 18:00 horas por un periodo de seis meses (septiembre 2019 – febrero 2020), la descarga de datos se efectuó cada fin de mes.

3.3.2. Cálculo de la evapotranspiración potencial (ETP) utilizando el lisímetro de drenaje y la ecuación de FAO Penman-Monteith

a) Método del lisímetro de drenaje

La ETP se determinó mediante el balance hídrico en el lisímetro de drenaje, evaluando en campo, el drenaje (D), variación del estado de humedad del suelo (ΔH_s), riego (R) y la precipitación (P).

La lectura del agua drenada (D) se realizó cada 6,00 horas durante el día con ayuda de una probeta graduada de 100,00 ml, las lecturas se efectuaron a las 6,00 horas, 12,00 horas y 18,00 horas.

La lectura de la precipitación se efectuó cada 12,00 horas, a las 7,00 horas y las 19,00 horas. Mediante el uso de una probeta graduada de 100,00 ml.

La variación del estado de humedad del suelo registrada por el tensiómetro Irrrometer de 15,00 cm de profundidad, fueron recogidas con lecturas a las 6,00 horas, 12,00 horas y 18,00 horas.

El riego se efectuó solo en la primera semana de haber instalado el cultivo de referencia, con la finalidad de brindarle las condiciones óptimas. La estimación de evapotranspiración potencial se hizo mediante la Formula de Hargreaves, a partir de datos históricos de temperatura de la estación Tananta, el coeficiente del cultivo del Grass para condiciones óptimas ($K_c = 1$) con ello se obtuvo la evapotranspiración del cultivo el cual vendría a ser la lámina de riego, al considerar la frecuencia de riego de 1.00 día y la eficiencia de aplicación al 100%.

La ecuación para determinar la ETP por el método del lisímetro, de acuerdo a (Puppo y García, 2010).

$$ET_c = R + P - D \pm \Delta H_s \quad (2)$$

Donde:

ET_c : Evapotranspiración real (mm).

R : Riego (mm).

P : Precipitación sobre el lisímetro (mm).

D : Drenaje del lisímetro (mm).

ΔH_s : Variación de la humedad del suelo (mm).

b) Método de FAO Penman-Monteith

La ecuación usada para el cálculo de evapotranspiración potencial de acuerdo a la FAO (2006).

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34 u_2)} \quad (3)$$

La recolección de datos se efectuó de la estación meteorológica Tananta tales como: temperatura mínima y máxima (°C), humedad relativa (%), temperatura bulbo seco y húmedo (°C), horas sol, velocidad del viento (m/s), así como información de latitud, longitud y altitud de la ubicación de la estación meteorológica, dichas variables meteorológicas fueron introducidos a una hoja de cálculo de Excel para determinar la evapotranspiración potencial.

3.3.3. Estimación del estado de humedad en el suelo del *Theobroma cacao* L. (cacao)

La recolección de datos del sensor de perfil múltiple se efectuó mensualmente, el equipo nos proporciona datos de humedad volumétricos en intervalos de tiempo programado para profundidades de 20,00 cm, 40,00 cm, 60,00 cm y 80,00 cm en formato .csv y gráficos.

- Para efectuar las mediciones con el sensor de perfil múltiple se tuvo ciertas consideraciones de las características físicas del suelo y el tipo de medición. Se eligió medición volumétrica para facilitar el proceso de acumulación de lecturas de humedad por cada perfil en unidades milimétricas.
- Hay datos estándar que se introdujeron al equipo como es el caso de pendiente de 500 para mediciones volumétricas y los datos de desplazamiento que ya vienen establecidos de fábrica.
- La programación de lecturas cada 6,00 horas se efectuaron para observar las fluctuaciones diarias del estado de humedad.
- Las recolecciones de datos crudos se efectuaron mensualmente con la ayuda del equipo portátil, la programación de lecturas se establece cada vez que se descarga la información del registrador.
- El procedimiento de análisis de datos de humedad se efectuó en una hoja de cálculo de Excel. El sensor nos brinda cuatro lecturas al día los cuales se

promediaron por cada profundidad y dichos promedios se acumularon hasta la profundidad de los 60,00 cm ya que la mayor cantidad de raíces del cacao se distribuyen a esta profundidad.

3.3.4. Estimación de la lámina de riego del *Theobroma cacao* L. (cacao)

La determinación de la lámina de riego se efectuó con los datos meteorológicos de temperaturas máximas y mínimas, precipitación, horas sol y otros parámetros (cálculo de ET_0), seguidamente se calculó la evapotranspiración del cultivo de cacao cuyo K_c utilizado fue de 0,90 para todas las etapas fenológicas conforme al estudio realizado en Ecuador, por las condiciones semejantes de manejo sin sombra y variedad CCN-51 esto debido a que la (FAO, 2006) recomienda el uso de valores de K_c desarrollados en estudios previos debido que su variación es leve en relación al clima.

La variación del contenido de humedad del suelo promedio acumulado por los 60,00 cm de profundidad, con toda esta información se estimó la lámina de riego mediante la ecuación:

$$D_a = ETA - (Pe + CA + N) \quad (6)$$

- D_a : Requerimiento hídrico del cultivo para un tiempo determinado (mm).
- ETA : La determinación de la evapotranspiración real o actual se calculó en una hoja de Excel mediante el método de FAO Penman-Monteith y luego se multiplico por el K_c del cacao. Para determinar el (ET_c).
- Pe : Los datos de precipitación se recabaron diariamente en el área de estudio.
- CA : La capacidad de retención del suelo se monitoreo con el sensor de humedad del suelo.
- N : El aporte eventual del nivel freático fue considerado cero tal como menciona (Granda, 2006) citado por (Gualpa, 2014) para la planificación de proyectos de riego.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Evapotranspiración potencial (ETP) método del lisímetro de drenaje y Fao Penman – Monteith

En la Tabla 7, se muestra información meteorológica recopilada de la estación Tananta (temperatura, velocidad del viento, humedad relativa y radiación solar). La precipitación se midió con el pluviómetro instalado en la zona de estudio, la estación se encuentra ubicada a 3,65 km del lugar de estudio.

Tabla 7. Variables meteorológicas monitoreados durante el periodo de investigación.

Mes	T. prom °C	T. min °C	T. max °C	U ₂ (m/s)	HR %	P (mm)	Rs(MJ m ⁻² día ⁻¹)
Set	26,04	19,94	32,14	1,03	70,79	87,62	15,67
Oct	26,26	21,11	31,42	1,09	78,08	380,26	15,10
Nov	26,77	21,56	31,97	0,97	85,86	372,54	16,32
Dic	26,57	22,18	30,96	0,96	89,85	403,39	15,47
Ene	27,06	22,23	31,90	0,96	88,60	421,06	13,49
Feb	26,50	22,06	30,94	0,97	87,45	299,15	15,13

T. prom: temperatura promedio, T. min: temperatura mínima, T. max: temperatura máxima, U₂: velocidad del viento, HR: humedad relativa, P: precipitación, Rs: radiación solar.

Fuente: Elaborado con el registro de la estación meteorológica Tananta recopilado de la página de SENAMHI y datos recopilados en el área de investigación.

Según Camaren (2005), refiere que el cacao requiere una temperatura moderada de 24 a 26°C y una humedad relativa de 70 a 80%. En la investigación la temperatura promedio mensual está entre los intervalos de 26,04 a 27,06°C, ligeramente superior a la temperatura que refiere el autor, el promedio mensual de la humedad relativa osciló de 70,79 a 89,85%.

Variación de temperatura

En la figura 3, se presenta el comportamiento de la temperatura media diaria del 01/09/2019 a 29/02/2020.

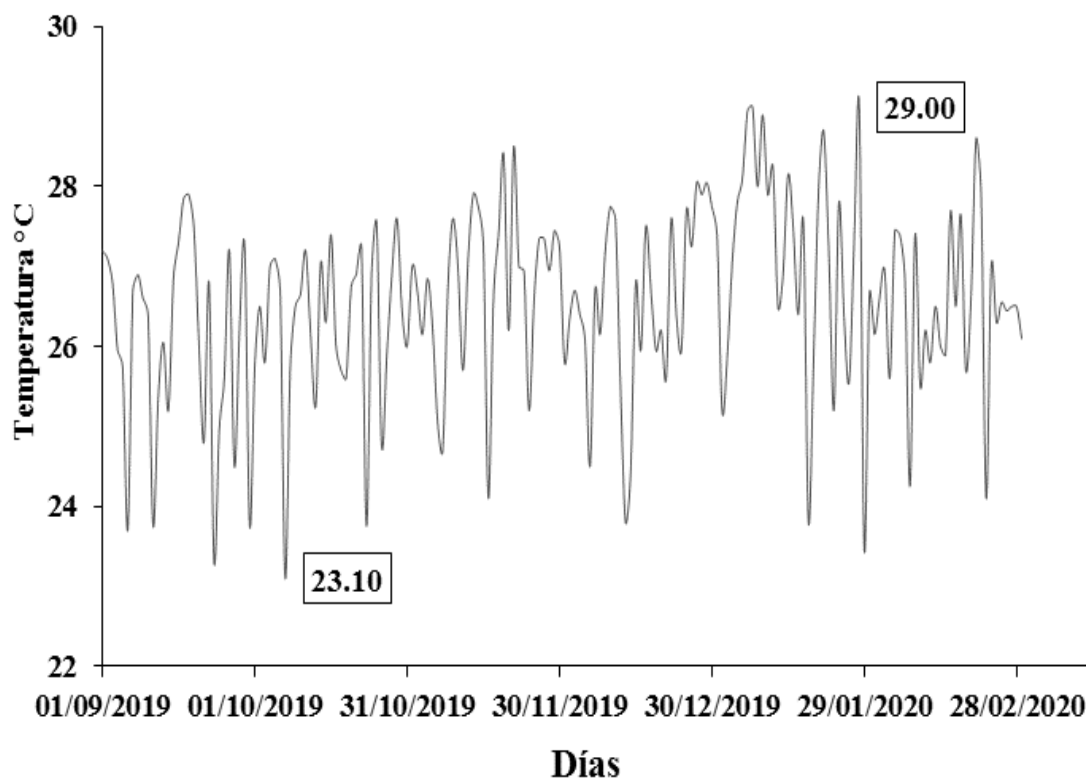


Figura 3. Variación temporal de la temperatura media diaria para el periodo de duración de la investigación.

Según MINAG (2011) refiere que la temperatura óptima en todo el ciclo vegetativo y reproductivo del cacao esta entre 22,00°C y 25,00°C, y es crítico cuando se encuentra por debajo de los 17,00°C o es superior a los 32,00°C. En la investigación la temperatura promedio mínimo fue de 23,10°C correspondiente al ciclo vegetativo (formación de yemas foliares) siendo una temperatura promedio optima, y la temperatura promedio máxima fue de 29,00°C para el ciclo reproductivo (llenado de mazorca) superior a la temperatura optima, pero por debajo de lo critico; no se registraron temperaturas promedio por debajo de los 17,00°C ni superiores a los 32,00°C. Según Hardy (1958) en un estudio exhaustivo de los procesos de crecimiento del cacao en diferentes regiones del mundo, identificó las siguientes temperaturas críticas del aire para la producción comercial de cacao: la temperatura media anual no debe ser $< 22^{\circ}\text{C}$, la temperatura mínima diaria media no debe ser $< 15^{\circ}\text{C}$, y el mínimo absoluto no debe ser $< 10^{\circ}\text{C}$.

Humedad relativa

En la figura 4, se muestra el comportamiento de la humedad relativa promedio del 01/09/2019 a 29/02/2020.

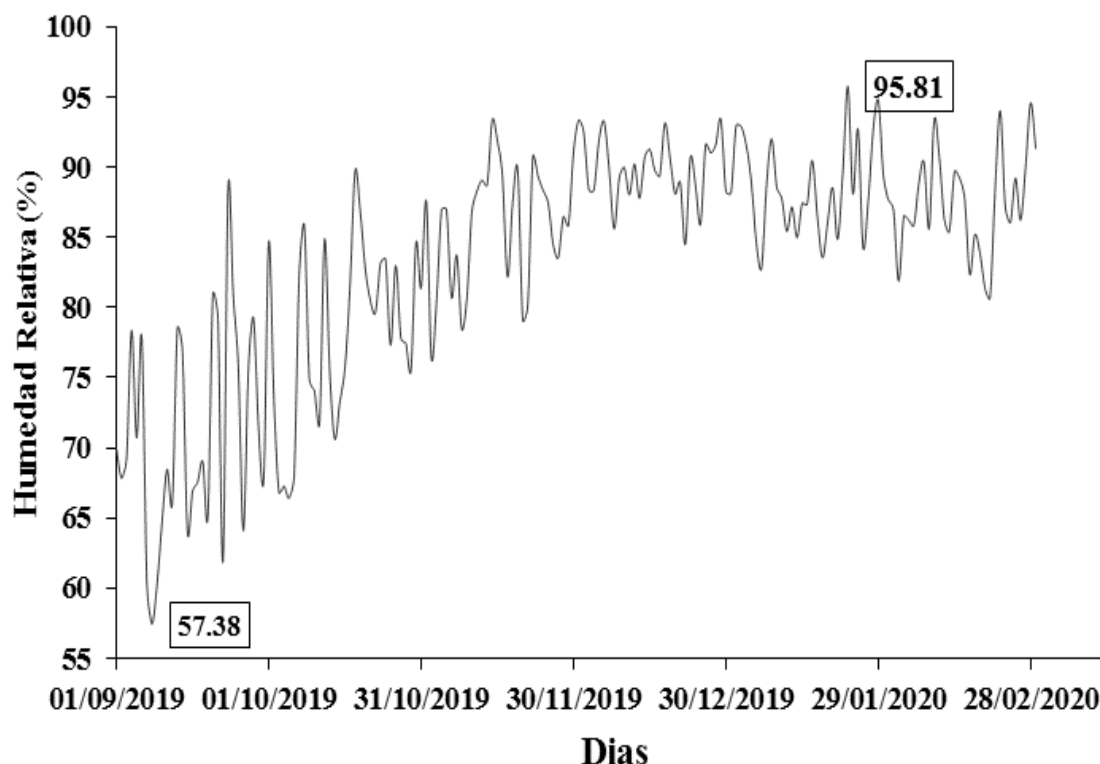


Figura 4. Variación temporal de la humedad relativa en la zona de estudio.

La humedad relativa óptima para los estados fenológicos del cacao según MINAG (2011) es cuando se encuentran superiores al 85%; en la investigación para los tres primeros meses correspondiente al ciclo vegetativo (poda y formación de yemas foliares) y el ciclo reproductivo (inducción y floración) la humedad relativa promedio se presentó por debajo de lo ideal, siendo el valor el mínimo de 57,38% registrada el día 08/09/2019. Por lo que se precisa que en estos tres primeros meses la pérdida de agua fue mayor en comparación a los tres últimos meses. Sabiendo que la humedad del aire está relacionada con el consumo de agua por las plantas por consiguiente la necesidad de riego, a mayor humedad del aire la necesidad de riego es mínimo, y si el aire está más seco la aplicación de riego es mayor. (FAO, 2006); la humedad relativa promedio diaria máxima fue de 95,81%, se registró en el ciclo reproductivo (llenado de mazorcas) en el mes de enero. Según Sale (1970) Al transferir plantas de humedad relativa baja (50-60%) o media (70-80%) a humedad alta (90-95%), demostró que la floración se podía inducir por el alivio de la temperatura atmosférica.

Velocidad del viento

En la figura 5, se muestra el comportamiento temporal de la velocidad del viento del 01/09/2019 a 29/02/2020.

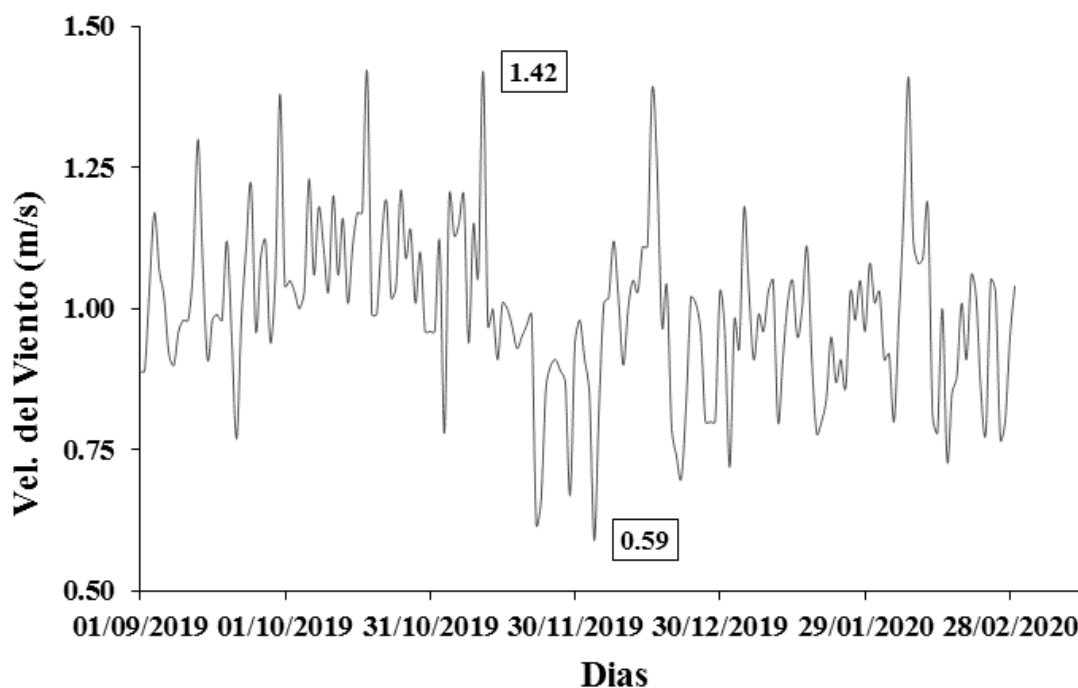


Figura 5. Variación temporal de la velocidad de viento diaria en la zona de estudio.

FAO (2006) afirma que, bajo condiciones húmedas la velocidad del viento afecta la evapotranspiración en un grado mucho menos importante que bajo climas áridos en los que variaciones pequeñas en la velocidad del viento pueden dar lugar a importantes variaciones en la evapotranspiración. La velocidad de viento máxima diaria fue de 1,42 m/s registrada el 11 de noviembre 2019, en el ciclo vegetativo (floración), y la velocidad mínima fue de 0,59 m/s ocurrió el día 04 de diciembre del 2019, en el ciclo reproductivo (fructificación). En Estados Unidos (Wisconsin) en un experimento se confirmó que el viento puede dañar físicamente el cultivo de cacao. Sin embargo, de particular interés fue la observación de que un aumento en la velocidad del viento de 1,5 - 3,0 m/s a 6,0 m/s aumentó la conductancia estomática, pero redujo la transpiración. Aparentemente, esto fue el resultado de una reducción de hojas por efectos de daños mecánicos del aire, déficit de saturación asociado al enfriamiento de las hojas por el viento (Gomes y Kozlowski, 1989). En la figura 5, se aprecia que la velocidad del viento se mantiene constante con un valor máximo por debajo de 1,5 m/s.

Radiación solar

En la figura 6, se muestra el comportamiento de la radiación solar del 01/09/2019 a 29/02/2020.

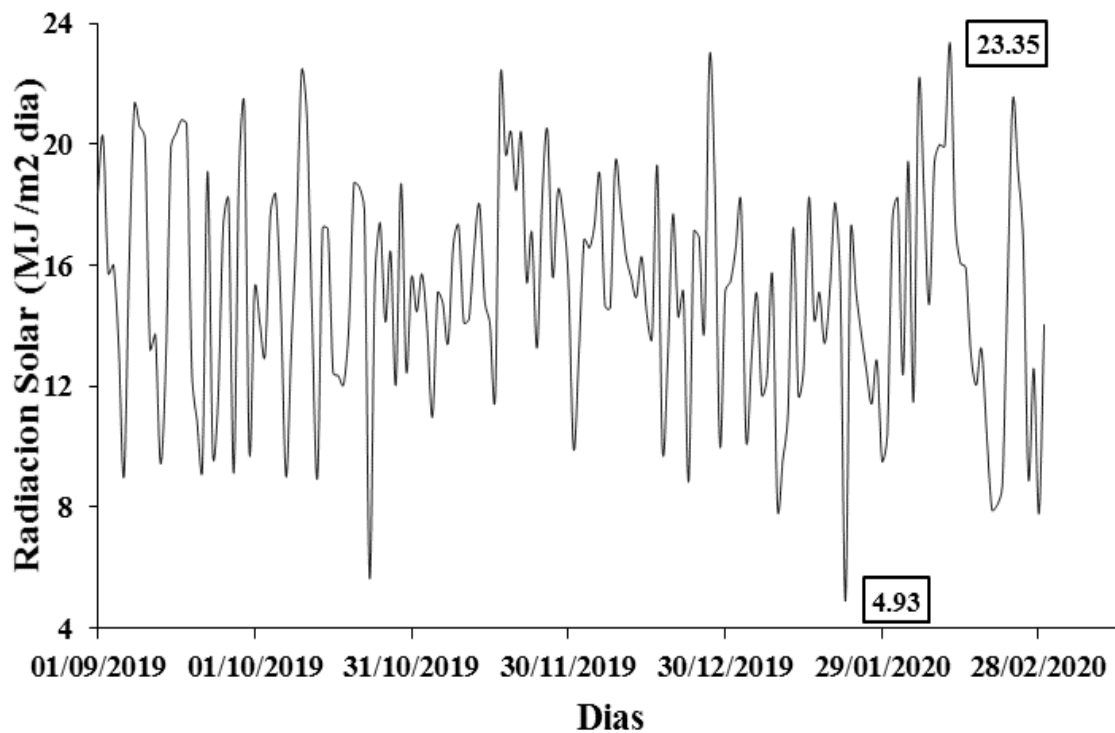


Figura 6. Variación temporal de la radiación solar diaria en la zona de estudio.

Según FAO (2006) menciona que, la radiación solar interviene en el proceso de evapotranspiración ya que de ello depende la cantidad de energía disponible para evaporar el agua. Estos valores son derivados de la duración real diaria (promedio) del sol brillante (horas por día). En la investigación el día 22 de enero del 2020 correspondiente al ciclo vegetativo (formación de yemas) y ciclo reproductivo (fructificación - llenado de mazorcas) la radiación fue de 4,93 MJ/m²/día; por lo que se afirma que hubo una mínima pérdida de agua en ese día, mientras tanto el día 11 de febrero 2020 la radiación fue de 23,35 MJ/m²/día para el ciclo vegetativo (formación de yemas) y ciclo reproductivo (fructificación llenado de mazorcas), por lo que se puede afirmar que las pérdidas de agua por evaporación fueron altas.

Según Hutcheon (1977) la apertura estomática parcial a intensidades de luz bajas es una característica de las especies tolerantes a la sombra como el cacao, al igual que la capacidad de las estomas para responder rápidamente a los cambios en la intensidad de luz. Las estomas de las plantas de cacao cultivadas en el campo bien regadas generalmente permanecieron abiertos a plena luz del sol.

Precipitación

En la figura 7, se muestra la distribución de la precipitación diaria del 01/09/2019 a 29/02/2020.

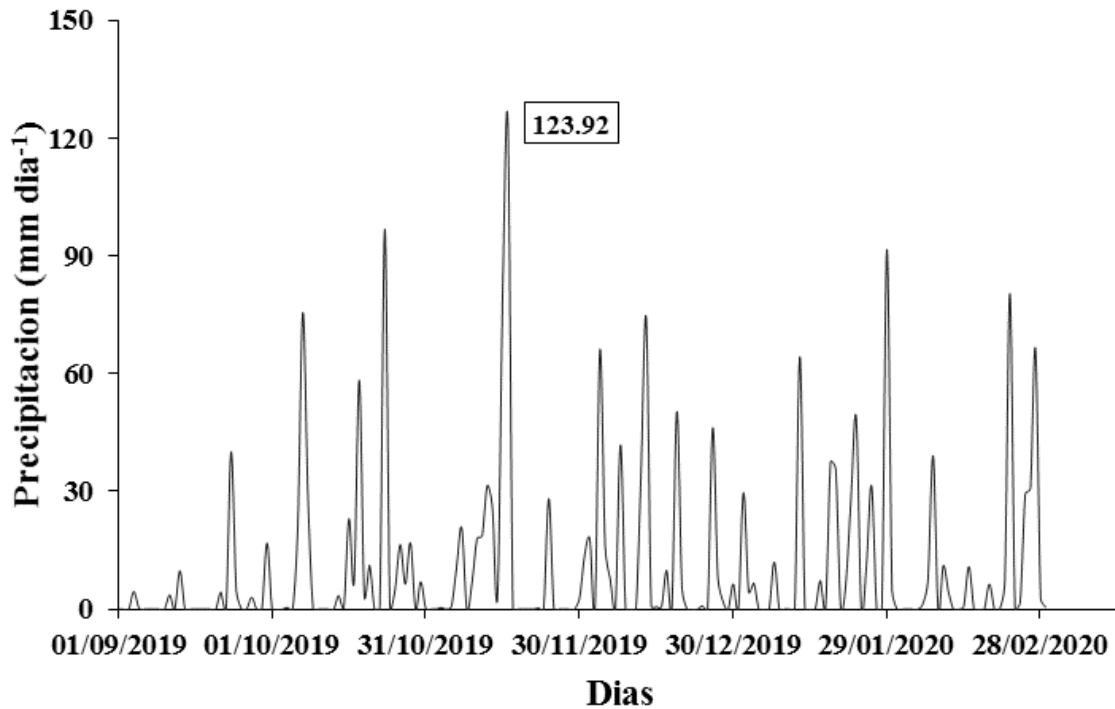


Figura 7. Variación temporal de las precipitaciones diarias acumuladas 24 horas.

Según FAO (2006) afirma que, la precipitación es parámetro climatológico fundamental para que las plantas lleven a cabo su proceso fisiológico. Según MINAG (2011), para el ciclo vegetativo (reposo-poda) y ciclo reproductivo (floración) el déficit hídrico es sensible; la presencia de precipitación en el mes de setiembre 2019 fue escasa justo después de la (poda) e inicios de (formación de yemas foliares) por lo que es preciso mencionar que fue necesario el riego, en el mes de octubre hubo un ligero incremento de las precipitaciones y se mantuvo constante, la precipitación máxima diaria se registró el 16 de noviembre 2019, pero hubo periodos cortos de escasas de lluvia tal es el caso del 17 al 23 de noviembre. Generando así un déficit hídrico temporal. (Wood, 1985) menciona que, la lluvia es el factor ambiental más importante que influye en los rendimientos del cacao. Según Lahive, et al., (2019) una precipitación promedio de entre 1400 y 2000 mm/año es suficiente para sustentar el crecimiento de los árboles de cacao, y menos de 1200 mm/año produce déficit de agua en el suelo y reduce el crecimiento y el rendimiento. Sin embargo, la distribución anual de las precipitaciones suele ser más importante que la cantidad total anual. En la zona de estudio la precipitación media anual es 2,367.00 mm. (Vargas y Maco, 2006).

Evapotranspiración

En la tabla 8, se presenta la evapotranspiración determinados por los métodos de FAO Penman Monteith y Lisímetro de drenaje.

Tabla 8. Evapotranspiración de referencia acumulada, promedia, máxima y mínima.

	ET ₀ Método FAO Penman Monteith						ET ₀ Método del Lisímetro					
	Meses											
	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb
ET ₀ mm/mes	122,53	129,76	128,52	126,28	119,73	117,59	114,97	123,41	125,17	121,73	123,17	107,31
ET ₀ Prom,	4,08	4,19	4,28	4,07	3,86	4,05	3,83	3,98	4,17	3,93	3,97	3,70
ET ₀ Min.	2,80	2,36	3,28	2,99	2,52	2,89	2,03	2,25	2,33	2,25	2,38	2,18
ET ₀ Max.	5,19	5,30	5,20	5,23	4,66	5,40	5,98	5,98	5,64	5,72	6,89	6,95

Según Vásquez, et al. (2017) mencionan que la evapotranspiración ocurre al pasar el agua a la atmosfera de la superficie del suelo (evaporación) y los cultivos (transpiración). La ETo máxima mensual ocurrió en el ciclo vegetativo (formación de yemas foliares) y ciclo reproductivo (floración), resultando la ETo por el método FAO Penman Monteith de 129,76 mm/mes correspondiente a octubre y por el método del lisímetro de 125,17 mm/mes correspondiente a noviembre.

La ETo mínima mensual ocurrió en el ciclo reproductivo (maduración de frutos), resultando la ETo por el método FAO Penman Monteith de 117,59 mm/mes y por método del lisímetro 107,31 mm/mes ambos en el mes de febrero. A nivel mensual se puede afirmar que la mayor pérdida de agua por evapotranspiración ocurrió en el ciclo vegetativo (formación de yemas foliares) y el ciclo reproductivo (floración). La ETo es uno de los indicadores para la toma de decisiones sobre cuánto de agua es necesario reponer y así mantener en equilibrio el sistema.

La evapotranspiración de referencia acumulada durante la investigación por el método de FAO Penman Monteith fue 744,41 mm y por el método del lisímetro fue 715,76 mm. La ETo máxima diaria por el método FAO Penman Monteith y Método del Lisímetro se presentó en el mes de febrero con (5,40 y 6,95 mm/día) respectivamente.

Arias, (2019) con el método de FAO Penman Monteith para el periodo (2010-2016) en el fundo Cantagallo - Tocache - San Martin, determinó la evapotranspiración de referencia promedia para setiembre de 3.48 mm/día, octubre de 3.44 mm/día, noviembre de 3.56 mm/día, diciembre de 3.31 mm en /día, enero de 3.27 mm/día y febrero de 3.04 mm/día.

En la figura 8, se presenta el comportamiento de la evapotranspiración diaria del 01/09/2019 a 29/02/2020.

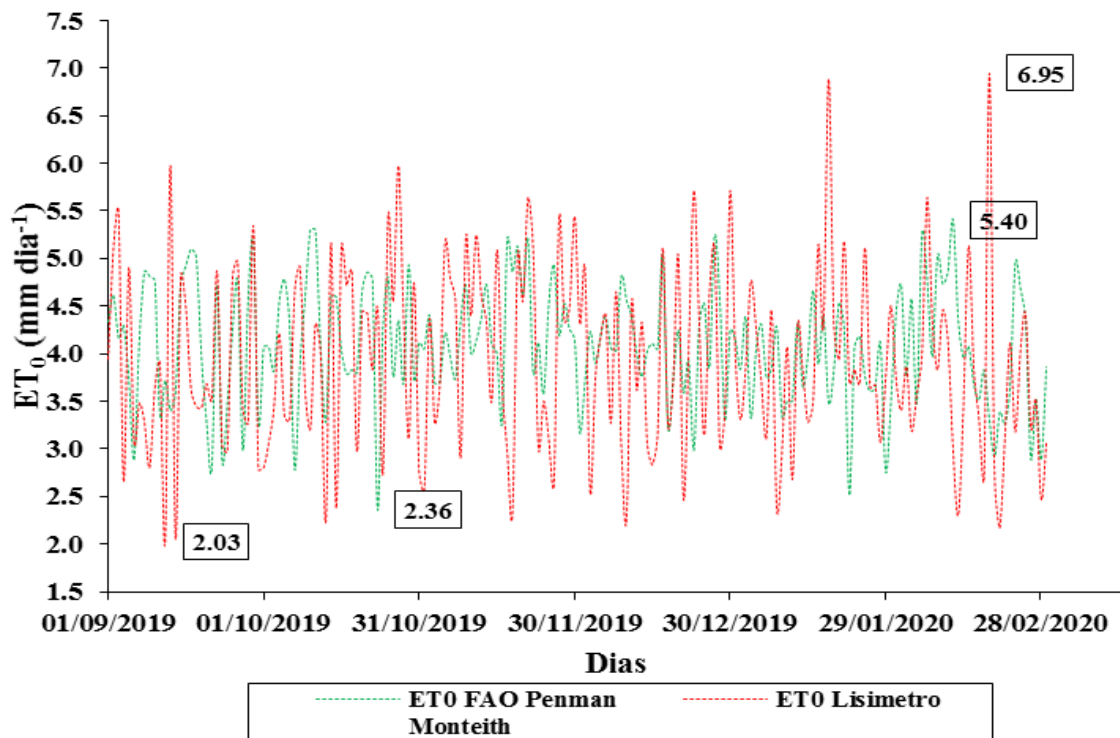


Figura 8. Variación temporal de la ET_0 diaria determinada por los métodos de FAO Penman Monteith y Lisímetro en la zona de estudio.

Vásquez, et al. (2017) afirman que, la estimación de la ET_0 es importante si se desea plantear proyectos o programar riego. En la investigación la ET_0 mínima diaria por el método de FAO Penman Monteith fue de 2,36 mm/día, y por el método del lisímetro de 2,03 mm/día. Ambos para el ciclo vegetativo (formación de yemas foliares) y ciclo reproductivo (floración) correspondiente a los meses de septiembre - noviembre respectivamente. En el gráfico se observa la tendencia de la ET_0 , los dos métodos poseen un patrón común.

4.2. Estado de humedad del suelo en la parcela de (*Theobroma cacao* L.) cacao.

La humedad del suelo se monitoreo con el sensor Odisey de perfil múltiple, cada seis horas, obteniendo así cuatro lecturas por día, aquellos valores se promediaron por cada profundidad del perfil del suelo, con ello se determinó el volumen total de agua almacenada en el horizonte de 60, 00 cm.

Tabla 9. Registro de humedad del suelo por días para profundidades de 20,00 cm, 40,00 cm y 60,00 cm.

Profundidad	Ciclo Vegetativo y Reproductivo	Meses	Días														
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
20,00 cm	Reposo-Poda	Sep	24,02	24,23	31,15	30,80	26,27	23,61	23,95	25,79	24,80	24,14	23,99	25,57	26,21	26,04	26,75
		Oct	30,48	30,03	30,00	29,85	30,26	30,84	31,11	31,14	31,09	31,04	30,99	30,87	30,79	30,70	30,75
	Formación de Yemas Foliars	Nov	24,88	25,68	29,68	29,60	29,45	30,24	30,19	30,07	30,66	30,41	30,52	30,45	30,44	30,40	30,58
		Dic	34,01	34,26	33,70	34,22	34,53	33,36	33,10	34,11	32,62	32,51	32,33	33,63	32,16	31,69	31,46
	Fructificación (Llenado de Mazorca)	Ene	31,91	31,44	30,61	30,47	30,46	30,40	30,68	30,37	30,28	30,21	30,07	31,45	30,25	30,26	30,57
		Feb	30,52	30,47	30,33	30,19	30,20	30,24	30,70	30,38	30,62	30,91	30,70	30,57	30,60	30,61	30,63
40,00 cm	Reposo-Poda	Sep	16,15	16,18	16,23	16,19	15,90	16,19	16,24	16,24	16,22	16,22	16,26	16,20	16,24	16,27	16,27
		Oct	27,55	27,58	27,60	27,61	27,62	27,69	28,12	28,39	28,47	28,45	28,24	28,16	28,16	28,09	28,06
	Formación de Yemas Foliars	Nov	22,44	24,19	29,42	29,45	29,42	29,42	29,39	29,44	29,51	29,61	29,72	29,75	29,74	29,76	29,83
		Dic	29,08	30,95	30,12	31,32	31,42	30,60	30,60	31,24	30,81	30,89	30,89	31,86	31,52	31,20	31,08
	Fructificación (Llenado de Mazorca)	Ene	31,24	31,71	31,22	30,01	28,62	28,62	28,78	28,59	28,52	28,52	28,50	28,81	28,44	28,43	28,53
		Feb	28,63	28,61	28,60	28,52	28,50	28,51	28,69	28,50	28,54	28,91	28,67	28,58	28,59	28,60	28,58
60,00 cm	Reposo-Poda	Sep	16,27	16,26	16,44	16,59	20,65	24,90	24,95	24,89	24,85	24,89	24,92	24,90	24,90	24,91	24,89
		Oct	25,62	25,65	25,70	25,74	25,73	25,75	26,15	27,20	27,36	27,26	27,19	27,15	27,10	27,02	26,95
	Formación de Yemas Foliars	Nov	23,06	24,26	27,47	27,50	27,35	27,30	27,27	27,31	27,34	27,40	27,58	27,84	27,83	27,81	27,84
		Dic	30,08	31,53	30,84	31,99	31,99	31,21	30,97	31,57	31,06	30,85	30,78	31,68	31,75	31,42	31,07
	Fructificación (Llenado de Mazorca)	Ene	30,42	30,03	29,64	28,53	27,91	27,94	27,99	28,00	27,99	27,99	27,98	28,03	28,03	28,01	28,00
		Feb	28,20	28,19	28,16	28,14	28,13	28,12	28,18	28,17	28,16	28,17	28,17	28,16	28,16	28,16	28,16

Profundidad	Ciclo Vegetativo y Reproductivo	Meses	Días																
			16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
20,00 cm	Reposo-Poda	Sep	26,47	26,32	25,82	24,89	24,26	23,75	23,60	25,64	25,80	24,80	24,14	23,98	25,57	26,22	26,04		
	Formación de Yemas Foliare	Oct	30,60	30,76	30,92	30,99	31,12	31,14	31,20	31,19	31,14	31,21	31,20	31,19	31,36	31,38	31,36	31,30	
		Nov	30,65	30,20	30,16	30,11	29,99	29,80	29,71	29,57	29,91	29,87	29,79	29,82	29,75	29,66	29,67		
		Dic	31,41	31,56	31,59	32,80	31,15	30,99	31,04	32,25	32,76	32,60	32,93	32,05	31,71	31,44	31,42	31,26	
	Fructificación (Llenado de Mazorca)	Ene	30,22	30,20	30,71	30,37	30,33	30,39	30,53	30,82	30,60	30,66	30,69	30,53	30,58	30,79	30,62	30,61	
Feb		30,67	30,61	31,02	30,56	30,58	30,75	30,79	30,75	30,78	30,75	30,89	30,87	30,76	30,76				
40,00 cm	Reposo-Poda	Sep	16,40	16,42	16,38	16,31	16,24	16,16	16,09	16,32	16,24	16,22	16,22	16,26	16,20	16,24	16,25		
	Formación de Yemas Foliare	Oct	28,00	28,07	28,31	28,64	28,76	28,74	28,62	28,40	28,38	28,40	28,46	28,45	28,60	28,86	28,82	28,55	
		Nov	29,89	29,75	29,68	29,69	29,67	29,64	29,61	29,59	29,57	29,52	29,54	29,59	29,62	29,63	29,62		
		Dic	31,10	31,26	31,32	32,41	31,22	31,10	31,22	32,92	32,62	32,31	32,50	32,03	31,80	31,16	31,10	31,01	
	Fructificación (Llenado de Mazorca)	Ene	28,41	28,39	28,62	28,31	28,34	28,40	28,47	28,73	28,76	28,66	28,88	28,69	28,65	28,76	28,64	28,64	
Feb		28,56	28,57	28,78	28,56	28,53	28,57	28,72	28,76	28,71	28,73	28,81	28,98	28,82	28,78				
60,00 cm	Reposo-Poda	Sep	24,95	25,03	24,99	24,97	24,92	24,89	24,86	24,85	24,89	24,85	24,89	24,92	24,90	24,90	24,90		
	Formación de Yemas Foliare	Oct	26,87	26,85	26,88	27,12	27,35	27,43	27,39	27,40	27,40	27,41	27,41	27,40	27,44	27,52	27,52	27,51	
		Nov	27,70	27,61	27,52	27,50	27,48	27,44	27,34	27,31	27,28	27,30	27,34	27,37	27,38	27,39	27,39		
		Dic	31,06	31,21	31,43	31,92	31,74	31,64	31,87	34,43	34,10	32,49	32,20	31,79	31,48	31,14	31,02	30,55	
	Fructificación (Llenado de Mazorca)	Ene	28,00	27,98	27,99	28,11	28,05	28,01	28,04	28,16	28,27	28,23	28,25	28,26	28,21	28,32	28,28	28,23	
Feb		28,16	28,15	28,14	28,13	28,12	28,13	28,22	28,32	28,28	28,29	28,36	28,50	28,47	28,42				

Según MINAG (2011) afirma que, el déficit hídrico es sensible en el ciclo vegetativo (reposo - poda) y el ciclo reproductivo (inducción y floración). La variación del contenido de humedad del suelo a 20,00 cm de profundidad en el mes de setiembre fue de 23,60 mm a 31,15 mm, el promedio de 25,49 mm y el total mensual de 764,56 mm. Siendo setiembre el periodo de inicio de la temporada lluvias es razonable el déficit hídrico.

Según Carr y Lockwood (2011) afirma que, la floración se inhibe por el estrés hídrico, pero la floración ocurre poco después que finaliza la estación seca. Para la etapa (formación de yemas foliares) en el mes de octubre la variación fue de 29,85 mm a 31,38 mm, el promedio de 30,90 mm y el total mensual de 957,91 mm; en noviembre la variación fue de 24,88 mm a 30,66 mm, el promedio de 29,73 mm y el total mensual de 891,83 mm y en diciembre la variación fue de 30,99 mm a 34,53 mm, el promedio de 32,47 mm y el total del mes de 1006,60 mm. A partir del mes de octubre el estado de humedad del suelo aumentó, pero presento una ligera caída en noviembre debido a periodos cortos de escasas de lluvias. Al analizar el perfil superficial de 20,00 cm donde la interacción suelo planta y atmosfera es mayor, el estado de humedad del suelo es directamente proporcional a las precipitaciones. Siendo así diciembre el mes con mayor registro de volumen de agua acumulada en el suelo. Para la etapa de fructificación (llenado de mazorcas) en el mes de enero la variación fue de 30,07 mm a 31,91 mm, el promedio de 30,58 mm y el total mensual de 947,98 mm y en el mes de febrero la variación fue de 30,19 mm a 31,02 mm, el promedio de 30,63 mm y el total mensual de 888,15 mm. Durante los 182 días del periodo de duración de la investigación para el perfil de 20,00 cm la variación diaria del contenido de humedad del suelo fue de 34.07 mm.

Según Carr y Lockwood (2011) afirman que, el crecimiento de hojas y brotes ocurre con el inicio de las lluvias después de una estación seca. La variación del contenido de humedad del suelo a 40,00 cm de profundidad en el mes de setiembre para el ciclo vegetativo (reposo - poda) fue de 15,90 mm a 16,42 mm, el promedio de 16,23 mm y el total mensual de 486,87 mm. Setiembre es el mes donde inicia la temporada de lluvias, por lo que las primeras precipitaciones no llegan recargar el suelo a mayor profundidad, por ello la retención fue mínima a 40,00 cm de profundidad. Para el ciclo reproductivo (formación de yemas foliares) en el mes de octubre la variación fue de 27,55 mm a 28,86 mm, el promedio 28,25 mm y el total mensual de 875,75 mm; en noviembre la variación fue de 22,44 mm a 29,89 mm, el promedio de 29,19 mm y el total mensual de 875,66 mm y en diciembre la variación fue de 29,08 mm a 32,92 mm, el promedio de 31,31 mm y el acumulado mensual de 970,60 mm. En los meses de octubre y noviembre el estado de humedad suelo acumulado mensual se mantuvo constante y en diciembre hubo un ligero incremento todo ello influenciado por las

precipitaciones. Para la etapa de fructificación (llenado de mazorcas) en el mes de enero la variación fue de 28,31 mm a 31,71 mm, el promedio 28,90 mm y el total mensual de 895,79 mm y en el mes de febrero la variación fue de 28,50 mm a 28,98 mm, el promedio 28,65 mm y el total mensual de 830,83 mm. La variación diaria del contenido de humedad del suelo durante el periodo de los 182 días de duración de la investigación para el perfil de 40.00 cm fue de 14.64 mm.

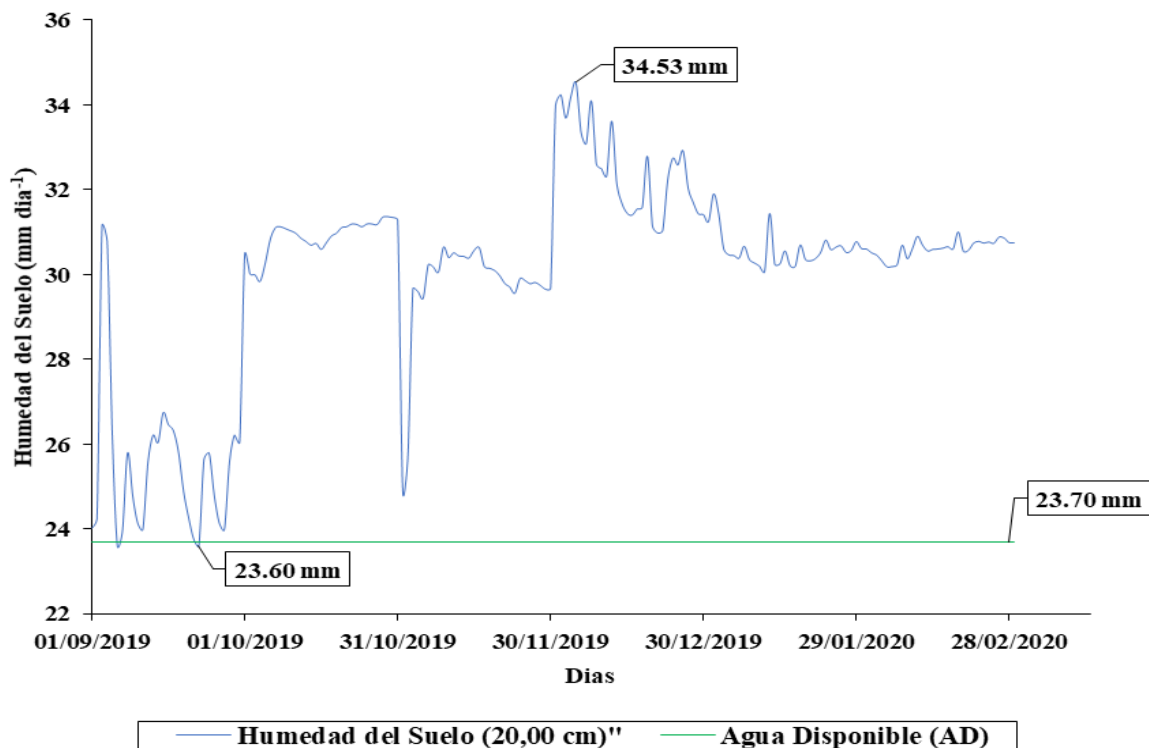
Según Schwendenmann, et al. (2010) afirma que, el desarrollo reproductivo del cacao es más sensible a la limitación de agua que el crecimiento vegetativo. La variación del contenido de humedad del suelo a 60,00 cm de profundidad. En el mes de setiembre para el ciclo vegetativo (reposo - poda) fue de 16,26 mm a 25,03 mm, siendo el promedio de 23,63 mm y el total mensual de 708,85 mm. Si comparamos el estado de humedad del suelo de los tres estratos para el mes de setiembre se puede notar que en el perfil del suelo a 40,00 cm la retención mensual acumulada es menor. Para el ciclo reproductivo (formación de yemas foliares) en el mes de octubre la variación fue de 25,62 mm a 27,52 mm, siendo el promedio 26,92 mm y el total mensual de 834,41 mm; en noviembre la variación fue de 23,06 mm a 27,84 mm, el promedio de 27,21 mm y el total mensual de 816,43 mm y en diciembre la variación fue de 30,08 mm a 34,43 mm, el promedio de 31,57 mm y el acumulado mensual de 978,78 mm. A partir de octubre, noviembre y diciembre la precipitación hizo que el estado de humedad del suelo aumente coincidiendo así con el ciclo reproductivo donde la demanda hídrica es mayor. Para la etapa de fructificación (llenado de mazorcas) en el mes de enero la variación fue de 27,91 mm a 30,42 mm, el promedio 28,28 mm y el total mensual de 876,80 mm y en el mes de febrero la variación fue de 28,12 mm a 28,50 mm, el promedio 28,21 mm y el total mensual de 818,04 mm. Según Vásquez, et al. (2017) si se divide la profundidad radicular media de cualquier cultivo en 4 partes iguales, la proporción del total de agua que asimila la planta de arriba hacia abajo será: 40%, 30%, 20% y 10%. Por lo que es preciso afirmar que a los 20,00 cm la planta aprovecha más agua que a los 40,00 y 60,00 cm. Durante el periodo de los 182 días que duro la investigación para el perfil de 60,00 cm la variación diaria del contenido de humedad del suelo fue de 12.26 mm.

Humedad del suelo a profundidad de 0,00 – 20,00 cm

En la figura 9, se muestra la relación del estado de humedad del suelo a 20,00 cm y los parámetros hídricos del suelo.

La interacción suelo, agua, planta y atmosfera en el perfil superficial es más marcada, por ello el contenido de humedad del suelo a 20,00 cm de profundidad es inestable. Por lo que es necesario conservar el estado de humedad suelo óptimo. En la figura 9, para el

mes de septiembre el estado de humedad del suelo en los días 06 y 22 se encuentran por debajo del agua disponible, el cual indica que fue necesario reponer ese volumen de agua mediante riego. A partir del 27 de septiembre 2019 el contenido de humedad del suelo presento un incremento y se mantuvo constante durante todo el mes de octubre y el primer día de noviembre hubo una caída bien marcada el cual empezó a recuperarse a partir del 03 de noviembre y así permanecer constante durante el mes, diciembre fue el mes en el cual el suelo almacenó la mayor cantidad de agua, siendo el valor máximo registrado del contenido de humedad del suelo de 34,53 mm correspondiente al día 05 de diciembre a partir de este día el contenido de humedad presento una ligera caída y se mantuvo constante hasta fines de febrero.



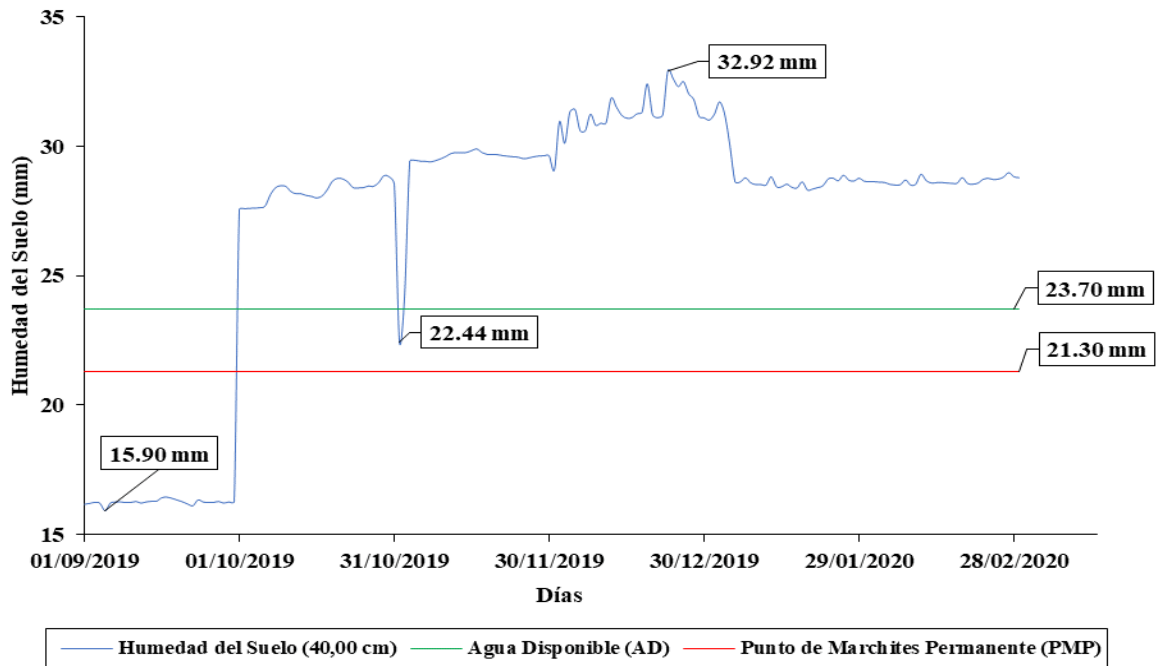
Capacidad de Campo (CC): 15% (22.50 mm); Punto de Marchitez Permanente (PMP): 7.10% (10.65 mm); Densidad Aparente (DA): (1.5 g/cc) y Analisis del Suelo por perfil: (60,00 cm).

Figura 9. Variación de humedad del suelo en (mm) para el perfil de 20,00 cm de profundidad y agua disponible.

Según Carr y Lockwood (2011) afirman que, a pesar de la aparente sensibilidad del cacao a la sequía, a la fecha no hay resultados de experimentos de riego. El agua disponible es de 23,70 mm día⁻¹, mientras el volumen mínimo de la humedad del suelo en septiembre fue de 23,60 mm día⁻¹ por lo tanto el volumen a reponer es de 10,00 mm día⁻¹.

Humedad del suelo a profundidad de 20,00 – 40,00 cm

En la figura 10, se muestra la relación del estado de humedad del suelo a 40,00 cm y los parámetros hídricos del suelo.



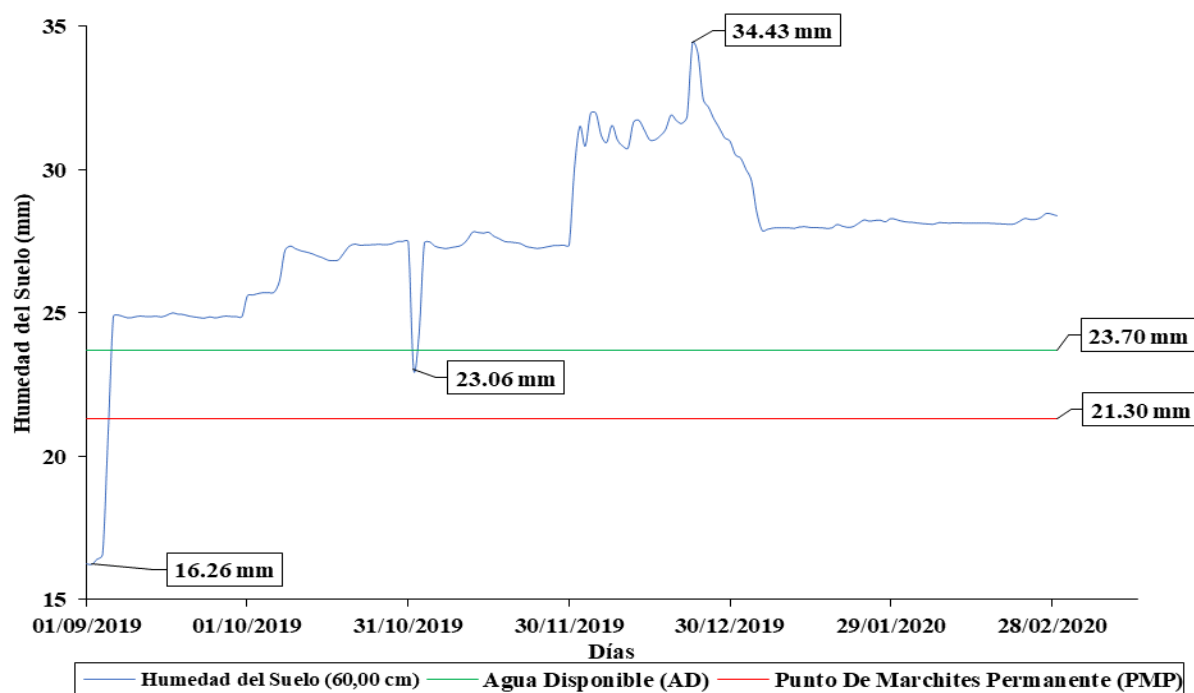
Capacidad de Campo (CC): 15% (22.50 mm); Punto de Marchitez Permanente (PMP): 7.10% (10.65 mm); Densidad Aparente (DA): (1.5 g/cc) y Analisis del Suelo por perfil: (60,00 cm).

Figura 10. Variación de humedad del suelo en (mm) para el perfil de 40,00 cm de profundidad.

En el análisis del estado humedad del suelo por perfil se aprecia que a 40,00 cm de profundidad en el mes de setiembre la retención de humedad estuvo por debajo del punto de marchitez permanente el cual es crítico para el cultivo de cacao. Vásquez, et al. (2017) afirma que, la humedad cercana a PMP causa daño permanente al cultivo a nivel fisiológico. Al ser setiembre el mes donde inicia ciclo vegetativo (poda) y ciclo reproductivo (inducción y floración) el déficit hídrico es sensible. El volumen mínimo en setiembre fue 15,90 mm día⁻¹. A finales del mes de octubre y primeros días de noviembre también hubo un déficit hídrico con volumen de 22,44 mm día⁻¹, por debajo del agua disponible. Según Hutcheon (1997) en Ghana, al mantener los 0,30 m superiores del suelo a capacidad de campo a través del riego aumento la producción de vainas en un 40% durante una estación seca severa y redujo la incidencia de la marchitez de cherelle (un proceso de adelgazamiento de la fruta en el cacao).

Humedad del suelo a profundidad de 40,00 – 60,00 cm

En la figura 11, se muestra la relación del estado de humedad del suelo a 60,00 cm, con los parámetros hídricos del suelo.



Capacidad de Campo (CC): 15% (22.50 mm); Punto de Marchitez Permanente (PMP): 7.10% (10.65 mm); Densidad Aparente (DA): (1.5 g/cc) y Analisis del Suelo por perfil: (60,00 cm).

Figura 11. Variación de humedad del suelo en (mm) para el perfil de 60,00 cm de profundidad.

Vásquez, et al. (2017) afirma que, la planta es fisiológicamente capaz de usar solo una fracción de la humedad disponible del suelo. La fracción de agua fácilmente disponible en el suelo para el cultivo de cacao es de 0,20% del total de agua disponible. A los 40,00 cm de profundidad en la primera semana de setiembre hubo un déficit hídrico por debajo del (PMP), el estado de humedad suelo fue de 16,26 mm día⁻¹ siendo el estado de humedad a (PMP) de 21,30 mm día⁻¹. En los primeros días del mes de noviembre hubo ausencia temporal de precipitación ello influyó en el bajo contenido de humedad del suelo, la humedad del suelo mínimo fue de 23,06 mm día⁻¹, por debajo del agua disponible que es 23,70 mm día⁻¹.

Según Moser, et al. (2010) Una gran proporción de raíces del cacao el (80%) se encuentran en los 0,20 - 0,40 m superiores. En la calicata que se realizó se observó que la mayoría de las raíces secundarias se encuentran entre los 0,20 – 0,60 m.

4.3. Lámina de riego para el cultivo de *Theobroma cacao* L. (cacao) en la zona de Nuevo Bambamarca – Tocache

Tabla 10. Evapotranspiración del cultivo de T. cacao L., estimado con la ET_0 de FAO Penman Monteith y un K_c estándar de 0.90 para el cultivo de Cacao.

Días	Evapotranspiración del cultivo "Cacao"					
	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb
1	3,90	3,66	3,65	2,85	3,46	4,24
2	4,15	3,66	3,96	3,34	3,94	3,38
3	3,75	3,44	3,33	3,81	2,99	4,12
4	3,86	4,08	3,34	3,51	3,65	3,13
5	3,35	4,30	3,79	3,77	3,88	4,72
6	2,60	3,88	3,57	3,95	3,38	4,29
7	3,71	2,51	3,37	3,65	3,47	3,57
8	4,38	3,50	3,91	3,63	3,85	4,52
9	4,33	4,13	4,25	4,33	3,01	4,26
10	4,29	4,77	3,61	4,11	3,15	4,37
11	3,02	4,77	3,72	3,94	3,16	4,86
12	3,35	3,66	3,94	3,59	3,89	3,92
13	3,06	2,96	4,25	3,38	3,29	3,56
14	3,23	4,14	3,69	3,63	3,59	3,66
15	4,26	4,13	3,60	3,70	4,20	3,31
16	4,43	3,63	2,95	3,65	3,50	3,16
17	4,59	3,41	4,67	4,53	3,95	3,45
18	4,51	3,45	4,37	2,91	3,14	2,98
19	3,57	3,42	4,61	3,36	3,45	2,63
20	2,95	4,19	4,15	3,82	4,08	3,04
21	2,52	4,37	4,68	3,23	3,83	2,94
22	4,25	4,30	3,43	3,53	2,26	3,28
23	2,59	2,13	3,71	2,69	3,67	4,46
24	3,13	3,84	3,22	3,86	3,77	4,22
25	3,82	4,32	4,07	4,08	3,39	3,90
26	4,27	3,38	4,44	3,47	3,24	2,61
27	2,69	3,92	3,77	4,71	3,29	3,17
28	4,13	3,32	4,08	4,12	3,69	2,60
29	4,67	4,44	3,83	2,97	2,49	3,47
30	2,93	3,36	3,73	3,82	3,14	
31		3,70		3,73	3,98	
ETc mm/mes	110,27	116,79	115,66	113,65	107,76	105,83
ETc Prom,	3,68	3,77	3,86	3,67	3,48	3,65
ETc Min.	2,52	2,13	2,95	2,69	2,26	2,60
ETc Max.	4,67	4,77	4,68	4,71	4,20	4,86

La ETc del cacao se determinó con la ET_0 (FAO Penman Monteith), ya que la ET_0 es el indicador de la demanda climática (FAO, 2006). Mientras el K_c es variable de acuerdo a las condiciones particulares del cultivo esto permite la transferencia de valores de K_c entre distintas zonas y climas. por ello se usó el K_c de 0,90 propuesto por PROMSA (Romero y Proaño, 2008) para todas las etapas fenológicas de un estudio realizado en Ecuador. La

mayor tasa de evapotranspiración mensual se registró en octubre con 116,79 mm/mes y en febrero la mínima con 105,83 mm/mes y la ETc promedio diario durante los 6 meses estuvo entre los intervalos de 3,48 mm día⁻¹ a 3,86 mm día⁻¹.

Si comparamos los resultados ETc prom. determinados en el fundo Cantagallo por Arias, (2019) en setiembre, la variación es de 0,20mm/día, octubre 0,33mm/día, noviembre 0,30mm/día, diciembre 0,36mm/día, enero 0,21mm/día y febrero 0,61mm/día.

Tabla 11. Humedad del suelo monitoreado en la parcela de *Teobroma cacao* L. para una profundidad acumulada de 60,00 cm.

Días	Humedad del suelo total (mm) "60,00 cm"					
	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb
1	56,44	83,65	70,37	93,16	93,57	87,34
2	56,67	83,26	74,13	96,73	93,17	87,26
3	63,81	83,30	86,56	94,66	91,47	87,09
4	63,58	83,19	86,55	97,52	89,01	86,85
5	62,82	83,61	86,22	97,94	86,98	86,82
6	64,70	84,27	86,95	95,17	86,95	86,87
7	65,13	85,38	86,85	94,67	87,44	87,57
8	66,92	86,72	86,81	96,91	86,95	87,04
9	65,86	86,92	87,50	94,49	86,79	87,31
10	65,24	86,75	87,41	94,24	86,71	87,99
11	65,16	86,42	87,81	94,00	86,54	87,54
12	66,66	86,17	88,04	97,16	88,29	87,30
13	67,35	86,04	88,01	95,42	86,71	87,35
14	67,22	85,81	87,96	94,31	86,69	87,37
15	67,90	85,75	88,24	93,61	87,10	87,37
16	67,81	85,46	88,23	93,57	86,62	87,39
17	67,77	85,68	87,56	94,02	86,56	87,33
18	67,18	86,10	87,35	94,34	87,31	87,94
19	66,17	86,74	87,29	97,13	86,78	87,24
20	65,42	87,22	87,13	94,11	86,72	87,23
21	64,79	87,30	86,88	93,73	86,79	87,44
22	64,55	87,20	86,66	94,13	87,03	87,73
23	66,80	86,99	86,46	99,60	87,70	87,83
24	66,92	86,92	86,76	99,47	87,62	87,77
25	65,87	87,01	86,68	97,39	87,54	87,76
26	65,25	87,07	86,67	97,63	87,81	88,05
27	65,15	87,04	86,78	95,87	87,48	88,34
28	66,67	87,39	86,75	94,99	87,43	88,05
29	67,35	87,75	86,68	93,73	87,86	87,95
30	67,19	87,69	86,68	93,53	87,54	
31		87,35		92,81	87,47	
H° mm/mes	1960,28	2668,07	2583,91	2955,98	2720,57	2537,02
H° Prom,	65,34	86,07	86,13	95,35	87,76	87,48
H° Min.	56,44	83,19	70,37	92,81	86,54	86,82
H° Max.	67,90	87,75	88,24	99,60	93,57	88,34

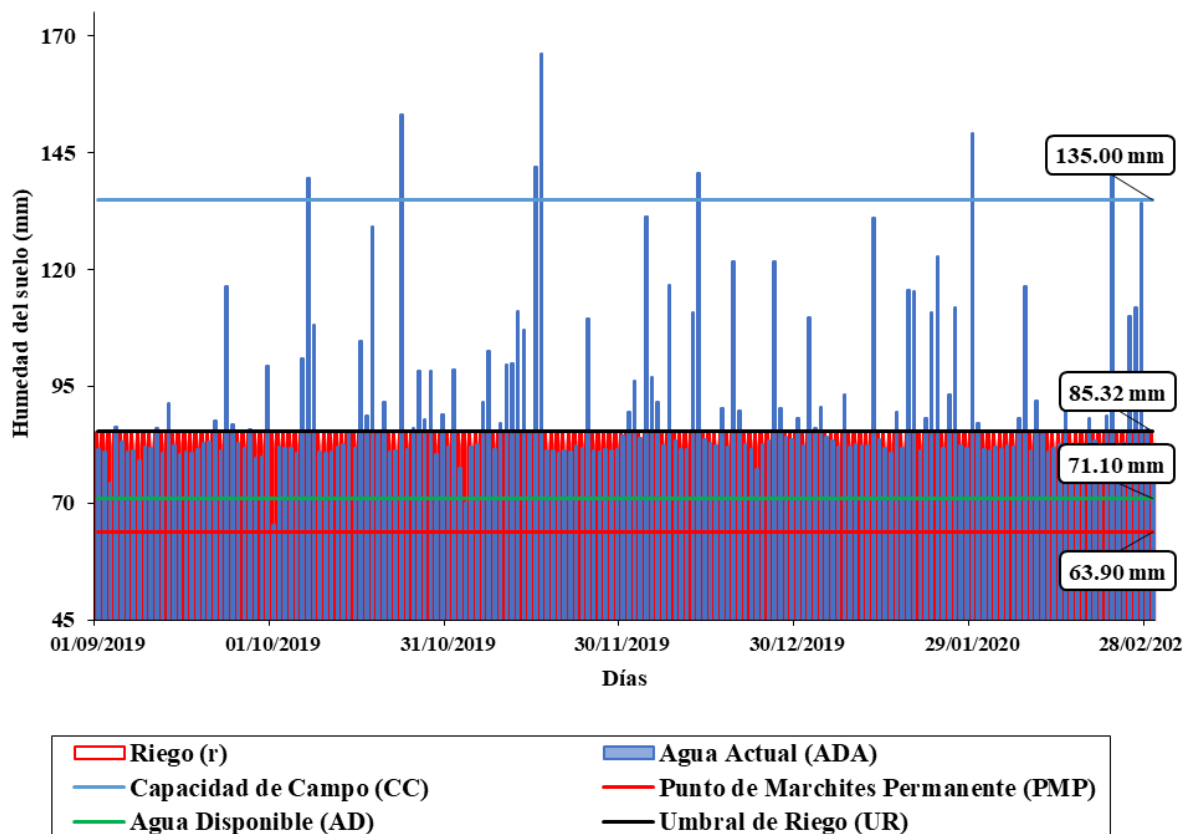
Carr y Lockwood (2011) afirman que, las raíces alcanzan profundidades de 1,5 a 2,0 m, pero la mayor cantidad se encuentran de 0,20 a 0,40 m, y se extienden lateralmente a más de 5,0 m del tallo. La humedad del suelo en el perfil acumulado de 60,00 cm, el almacenamiento promedio mensual varía de 65,34 mm día⁻¹ a 95,35 mm día⁻¹, coincidiendo la mínima retención con el ciclo vegetativo (Poda) y el almacenamiento mínimo diario ocurrió en setiembre con 56,44 mm día⁻¹ coincide con el déficit de precipitación, la retención máxima fue en diciembre con un volumen de 99,60 mm día⁻¹.

Tabla 12. Lamina de riego para el cultivo de *Teobroma cacao* L. en el periodo de los seis meses.

Días	Necesidad hídrica del cultivo de Cacao (mm)					
	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb
1	3.90	20.12	0.00	0.00	0.00	4.11
2	4.38	3.27	7.72	0.00	0.00	3.30
3	10.89	3.48	15.33	1.31	0.00	3.95
4	0.00	3.50	3.33	0.00	1.19	2.90
5	2.27	4.73	2.77	0.00	1.85	3.36
6	4.48	0.00	0.00	0.00	3.35	0.00
7	4.14	0.00	0.00	3.05	0.00	0.00
8	6.17	0.00	3.87	0.00	3.36	4.00
9	3.27	4.33	0.00	1.90	2.85	0.00
10	3.67	4.60	0.00	3.86	3.08	0.61
11	0.00	4.44	0.00	3.70	2.99	4.41
12	4.69	3.42	0.00	0.00	0.00	3.68
13	0.00	2.83	0.00	0.00	1.72	2.87
14	3.10	0.42	0.05	1.77	3.56	0.00
15	4.95	3.60	0.00	2.36	4.61	3.31
16	4.34	0.00	0.00	3.03	0.00	3.18
17	4.55	0.00	4.00	0.00	3.57	3.39
18	3.92	0.00	4.17	3.23	0.00	0.00
19	2.56	0.67	4.55	0.00	0.00	1.93
20	2.20	0.00	4.00	0.00	4.02	3.03
21	0.00	4.44	4.42	2.85	0.00	0.00
22	4.01	4.21	2.90	3.93	0.00	0.00
23	0.00	0.00	3.51	8.16	0.00	4.56
24	0.00	3.77	0.00	2.83	3.69	2.46
25	2.56	0.00	3.99	2.00	0.00	0.00
26	3.65	0.00	4.43	0.00	0.00	0.00
27	0.00	0.00	3.89	0.00	2.95	0.00
28	5.64	0.00	4.04	1.23	3.64	0.00
29	5.36	4.79	3.76	1.71	0.00	2.80
30	0.00	0.00	0.88	0.00	0.00	
31		3.26		3.01	3.91	
Lr mm/mes	94.69	79.88	81.58	49.94	50.32	57.85
Lr m ³ /mes/ha	946.90	798.80	815.80	499.40	503.20	578.50
Lr Prom.	3.16	2.58	2.72	1.61	1.62	1.99
Lr Max.	10.89	20.12	15.33	8.16	4.61	4.56

El volumen requerido para cubrir el déficit hídrico en setiembre fue de 946,90 m³/ha, en octubre 798,80 m³/ha, en noviembre 815,80 m³/ha, en diciembre 499,40 m³/ha, en enero 503,20 m³/ha y en febrero 578,50 m³/ha. Según Arias, (2019) mediante el análisis de datos históricos para periodo (2010-2016) en setiembre el déficit hídrico fue de 663,00 m³/ha, en octubre hubo un excedente de 119,60 m³/ha, en noviembre el déficit fue de 54,00 m³/ha, en diciembre hubo un volumen excedente de 223,90 m³/ha, en enero el excedente fue de 474,30 m³/ha y en febrero el exceso fue de 819,80 m³/ha. Al comparar el déficit hídrico en septiembre hay una subestimación de 283,90 m³/ha, en noviembre de 761,80 m³/ha. En el análisis de datos históricos asumen la pérdida del 50% de la precipitación, he omiten la evaluación del estado de humedad del suelo, ello influye en la necesidad hídrica de planta.

En la figura 12, se muestra la relación del agua actual con los parámetros hídricos del suelo y el riego.



Capacidad de Campo (CC): 15% (22.50 mm); Punto de Marchitez Permanente (PMP):7.10% (10.65 mm); Densidad Aparente (DA): (1.5 g/cc) y Analisis del Suelo por perfil: (60,00 cm).

Figura 12. Variación del contenido de humedad del suelo actual, parámetros hídricos del suelo y el riego para el periodo de 01/09/2019 a 29/02/2020.

La necesidad hídrica del cultivo obedece a la interacción entre suelo, planta y atmosfera, la mayor demanda de agua requerida se presentó en el mes de setiembre con un volumen total de $94,69 \text{ mm mes}^{-1}$, (Meneses et al. 2019) mencionan que solo una proporción muy pequeña (0,5%) del área plantada con cacao en todo el mundo es de regadío. En setiembre solo en ocho días no fue necesario el riego. En octubre el requerimiento hídrico se presentó en 18 días, con un volumen total de $79,88 \text{ mm mes}^{-1}$, en noviembre en 19 días se presentó un déficit hídrico demandando un volumen de $81,58 \text{ mm mes}^{-1}$, en diciembre el requerimiento hídrico fue de $49,94 \text{ mm mes}^{-1}$. En enero fue necesario restituir un volumen de $50,32 \text{ mm mes}^{-1}$ y en febrero hubo 18 días de necesidad de riego con un requerimiento de $57,87 \text{ mm mes}^{-1}$. Estos valores de lámina de riego se calcularon considerando la fracción de humedad fácilmente aprovechable que es el 20% del agua total disponible para el cultivo de cacao Vásquez, et al. (2017).

La evapotranspiración del cultivo representa las pérdidas de agua en el sistema, las precipitaciones influyen directamente en el cambio de estado de humedad del suelo. En Ghana, Smith (1964) encontró que el riego de cacao joven aumento las tasas de crecimiento, adelanto la floración y aumento el número de flores. La necesidad de riego en el mes de setiembre se presentó en 22 días en el ciclo vegetativo (poda), en el mes de octubre hay una disminución de la necesidad de riego respecto al mes anterior, pero hay días en los cuales la humedad se mantiene por debajo del agua disponible, en los meses de noviembre, diciembre, enero y febrero hay días con menos requerimiento hídrico.

La necesidad de riego más crítico se presentó el mes de setiembre a inicios de la etapa de poda del cultivo, es tan importante este ciclo vegetativo ya que define la campaña, también hubo días con necesidades riego en los meses de octubre, noviembre, diciembre, enero y febrero, aunque no son tan críticos, son necesarios ya que en esos meses el cultivo de cacao se encuentra en la etapa de floración y fructificación y de ello depende el rendimiento final.

V. CONCLUSIONES

1. La evapotranspiración de referencia (ET_0) obtenida por el método FAO Penman - Monteith varió de 2,36 a 5,40 mm día⁻¹ durante los seis meses, con un valor promedio mínimo de 3,86 mm día⁻¹ y un promedio máximo de 4,28 mm día⁻¹, sumando un total de 744,40 mm por todo el periodo de investigación. Mientras la evapotranspiración de referencia por el método del lisímetro varió de 2,03 a 6,95 mm día⁻¹, con un valor promedio mínimo de 3,70 mm día⁻¹ y un valor promedio máximo de 4,17 mm día⁻¹, sumando un total de 715,76 mm durante la investigación.
2. La humedad del suelo a 20,00 cm de profundidad en los días 06 de septiembre y 22 de septiembre del 2019 fueron de 23,61 y 23,60 mm respectivamente por debajo del agua disponible que tiene un valor de 23,70 mm. A los 40,00 cm de profundidad para el mes de septiembre los valores de humedad del suelo estuvieron entre intervalos de 15,90 mm a 16,42 mm por debajo del punto de marchitez permanente cuyo valor es 21,30 mm y el 01 de noviembre también se presentó un valor de 22,44 mm el cual se encuentra por debajo del valor de agua disponible. El estado de humedad del suelo a 60,00 cm de profundidad para los primeros días del mes de septiembre, presento valores entre los intervalos de 16,26 mm a 20,65 mm por debajo del PMP, también en el mes de octubre se registró un valor de 23,06 mm el cual se encuentra por debajo del valor de agua disponible. Durante los 182 días del periodo de duración de la investigación para el perfil de 20,00 cm la variación diaria del contenido de humedad del suelo fue de 34,07 mm, para el perfil de 40,00 cm fue de 14,64 mm y para el perfil de 60,00 cm fue de 12,26 mm. La humedad del suelo en el perfil acumulado de 60,00 cm, el almacenamiento promedio mensual varia de 65,34 mm día⁻¹ a 95,35 mm día⁻¹, coincidiendo la mínima retención con el ciclo vegetativo (Poda).
3. La lamina de riego para el mes de septiembre es de 94,69 mm, octubre es de 79,88 mm, noviembre 81,58 mm, diciembre 49,94 mm, enero 50,32 mm y el mes de febrero 57,85 mm. Siendo el mes más crítico septiembre donde se inicia la etapa de poda. El volumen requerido por hectárea para cubrir el déficit hídrico en setiembre fue de 946,90 m³/ha, en octubre 798,80 m³/ha, en noviembre 815,80 m³/ha, en diciembre 499,40 m³/ha, en enero 503,20 m³/ha y en febrero 578,50 m³/ha.

VI. PROPUESTAS A FUTURO

1. Instalar estaciones meteorológicas y monitorear los parámetros climáticos en los valles con cultivos de cacao de la provincia de Tocache.
2. Utilizar lisímetros para una adecuada contabilización de la evapotranspiración del cultivo de cacao durante todo su ciclo vegetativo, evitando problemas de desfase de tiempo de las láminas acumuladas de la precipitación, drenaje y ascenso del nivel freático, especialmente en regiones lluviosas con suelos planos de la llanura del río Huallaga.
3. Monitorear los niveles de humedad del suelo en diferentes tipos y relieves donde se cultiva el cacao en la provincia de Tocache.
4. Continuar con investigaciones sobre el coeficiente del cultivo, estrés hídrico y riego del cultivo del cacao en la provincia de Tocache, para determinar satisfacer el requerimiento hídrico del cultivo del cacao y la mejora en la productividad.

VII. REFERENCIAS

- Allen, G. R., Pereira, L., Raes, D., Smith, M. (2006). *Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Serie Cuadernos Técnicos. Roma, Italia. FAO. 298 p. <https://www.fao.org/3/x0490s/x0490s00.htm>
- Allen, R.G., Pereira, L. S., Raes, D. y Smith, M. (1998). *Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements – FAO*. Irrigation and drainage paper 56 p. <http://www.fao.org/docrep/X0490E/X0490E00.htm#Contents>. Versión en español: <ftp://ftp.fao.org/agl/aglw/docs/idp56s.pdf>
- Arias Hidalgo, D. A. (2019). *Diseño de un sistema de riego por goteo automatizado, para el cultivo de cacao (Theobroma Cacao L.) en el fundo Cantagallo, San Martín-Perú*. [Tesis pregrado, Universidad Nacional Agraria la Molina]. Repositorio institucional, UNALM.
<https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/4175/arias-hidalgo-daniel-abraham.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Arvelo, S. M., González, L. D., Maroto, A. S., Delgado, L. T. y Montoya, L. P. (2017). *Manual técnico del cultivo de cacao: prácticas latinoamericanas/Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura; – San José, C.R.: IICA*. 165 p. <https://repositorio.iica.int/bitstream/11324/6181/1/BVE17089191e.pdf>
- Benito, J. (1992). *Tecnificación del cacao en la Selva Peruana. Fundación para el desarrollo Agro (FUNDEAGRO)*. Editorial Grafia, S. A. Lima, Perú. 155 p.
- CAMAREN (Consortio de Capacitación Para el Manejo de los Recursos Naturales Renovables). (2005). *Poscosecha del cacao*. La comercialización del cacao. Ecuador. 39 p. https://camaren.org/wp-content/uploads/2021/05/CACA_AGR_La-comercializacion-del-cacao_RED.pdf
- Carr, M. K.V. y Lockwood, G. (2011). The water relations and irrigation requirements of cocoa (*Theobroma cacao* L). A review. *Experimental Agriculture*, 47(4), 653–676. <https://doi.org/10.1017/s0014479711000421>
- Cevallos, C. (2008). *Diseño y cálculo de un sistema de riego por goteo para 32 ha de cultivos hortícolas y 5 ha de cultivos orgánicos en El Zamorano, Honduras*. [Tesis pregrado, Universidad Zamorano]. Repositorio institucional, UZ. <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/5450/1/CPA-2008-T014.pdf>

- Chávez, A. y Mansilla, J. (2004). *Manual del cultivo de cacao. Ministerio de Agricultura – Pro-Amazonía.*
http://www.econegociosagrícolas.com/ena/files/Manual_del_cultivo_de_cacao_2004.pdf
- De Almeida, A. A. y Valle, R. R. (2010). *Cacao: ecophysiology of growth and production. En: Ecophysiology of Tropical Tree Crops.* Of Plant Biology, Vicosa, Brazil. 37-70 pp.
- Del Cioppo, F. (2016). *Valoración del servicio ecosistémico del agua para riego presurizado del cultivo de cacao (Theobroma cacao L.) en la zona regable chongón del trasvase daule – Santa Elena – Ecuador.* [Tesis Doctoral, Universidad Nacional de Tumbes]. Repositorio institucional, UN TUMBES.
<http://repositorio.untumbes.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12874/198/TESIS%20DOCTORADO%20-%20JAVIER%20DEL%20CIOPPO%20MORSTADT.pdf>
- Enciso, J., Porter, D. y Peries, X. (2007). *Uso de sensores de humedad del suelo para eficientizar el riego.* Texas A&M AgriLife Extension service. 14 p.
<http://riograndewater.org/media/1080/e-618s-irrigation-monitoring-with-soil-water-sensors-spanish-version.pdf>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). (2006). *Estudio FAO riego y drenaje 56. Evapotranspiración del cultivo.*
<http://www.fao.org/3/x0490s/x0490s00.htm>
- Gomes, A. R. S. y Kozłowski, T. T. (1989). Responses of seedlings of two varieties of *Theobroma cacao* to wind. *Tropical Agriculture (Trinidad)*, 66(1), 137–141.
- Gualpa, F. (2014). *Diseño de un proyecto de riego por goteo y microaspersión para el cultivo de cacao en el Congoma.* [Tesis investigativo, Universidad De Las Fuerzas Armadas]. Repositorio institucional, ESPE. <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/8265>
- Gutiérrez, J. (2001). *Comparación de Cinco Métodos para la Determinación del Contenido de Humedad del Suelo.* [Tesis pregrado, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro]. Repositorio institucional, UAAAN.
<http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/5490/T12906%20GUTIERREZ%20MU%C3%B1OZ,%20JUSTINO%20TESIS.pdf?sequence=1>
- Hardy, F. (1958). The effects of air temperature on growth and production in cacao. *Cacao* 3(1), 1–15.
- Hargreaves, G. H. y Samani, Z. A. (1985). *Reference crop evapotranspiration from temperature. Applied Eng. in Agric.*, 1(2), 6-99.

- Hutcheon, W. V. (1977). Growth and photosynthesis of cocoa in relation to environmental and internal factors. Ibadan, Nigeria, 222–232 pp.
- ICT (Instituto de Cultivos Tropicales). (2004). *Manejo Integrado del cultivo y Transferencia de Tecnología en la Amazonia Peruana*. Tarapoto San Martín - Perú. 1ra. Edición. 184 p.
- IICA (Instituto interamericano de cooperación para la agricultura). (2017). *El agua para la agricultura de las américas, México*. 152 p. <http://repositorio.iica.int/bitstream/11324/6148/1/BVE17109367e.pdf>
- INIAP (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias). (1993). *Manual del cultivo de cacao*. 2da ED. Corregida y Aumentada. EET Pichilingue, Quevedo. 135 p.
- Irrrometer. Recomendaciones – interpretaciones del sensor. <https://yamuni.com.mx/wp-content/uploads/2021/02/Manual-de-interpretacio%CC%81n-de-tensiometro.pdf>
- Lahive, F., Hadley, P., Daymond, A. (2019). The physiological responses of cacao to the environment and the implications for climate change resilience. *A review. Agronomy for Sustainable Development*, 39(1), 1-22. [Doi: 10.1007/s13593-018-0552-0](https://doi.org/10.1007/s13593-018-0552-0)
- Lopez, L. R., Ojeda, B. W., López, A. A. y Catalán, V. E. (2013). Método de pulso de calor y fujo de Sávia para medir la transpiración en el cultivo de cacao. *Revista Chapingo*, XII(2), 85-96. <https://www.redalyc.org/pdf/4555/455545057007.pdf>
- Macias, J. (2013). *Propagación vegetativa de Cacao CCN-51 por acodo aéreo con tres dosis de hormonas enraizadoras ANA y AIB*. [Tesis pregrado, Universidad Técnica Estatal De Quevedo]. Repositorio institucional, UTEQ. <https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/538/1/T-UTEQ-0076.pdf>
- Meneses, B. D. H., Bolaños, B. M. M., Gómez, G. L. F., Ramos, Z. H. S. (2019). Evaluation of irrigation and pruning on the phenology and yield of Theobroma cacao L. *Agron.* https://www.researchgate.net/publication/335629798_Evaluation_of_irrigation_and_pruning_on_the_phenology_and_yield_of_Theobroma_cacao_L1
- MINAG (Ministerio de Agricultura). (2011). *Condiciones Agroclimáticas del cultivo de Cacao*. Cartilla., N° 13. Perú. 3 p. http://cadenacacaoca.info/CDOC-Deployment/documentos/condiciones_agroclimaticas_cacao.pdf
- Monsalve, G. (1999). *Hidrología en la ingeniería*. 2° edic. Ed. Grupo Alfa Omega. México D.F., México. 358 p.
- Moser, G., Leuschner, C., Hertel, D., Holscher, D., Kohler, M., Leitner, D., Michalzik, B., Prihastanti, E., Tjitrosemito, S. y Schwendenmann, L. (2010). The drought response of

- cocoa trees (*Theobroma cocoa*) to a 13-month desiccation period in Sulawesi. Indonesia, Agroforest. Syst., in press.
- Navarro, P. (2006). *Guía técnica para promotores, cultivo de cacao en sistemas agroforestales*. 12 p.
- ODYSSEY (Dataflow Systems Ltd, Environmental Monitoring). (2022). *La Humedad del suelo*. <http://odysseydatarecording.com/index.php?route=product/category&path=67>
- Olarte, W. (1987). *Manual de riego por gravedad*. Edit. Comisión de Coordinación de Tecnología Andina- CCTA. Lima-Perú. 144 p.
<https://dokumen.tips/documents/manual-de-riego-por-gravedad-walter-olarte-1987pdf.html>
- Orozco, A. L. (2016). Balance de agua y requerimientos de riego en cacao. Boletín Segundo trimestre 2016 Cacao. Nicaragua. 3 p.
https://www.researchgate.net/publication/306079740_Balance_de_agua_y_requerimientos_de_riego_en_cacao
- Pardos, G. (2011). *Diseño de módulo tipo de riego por goteo para cultivos hortícolas en San Vicente de Loja, Cantón Santa Elena*. [Tesis pregrado, Universidad Estatal Península De Santa Elena]. Repositorio institucional, UPSE.
<http://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/883>
- Paredes, A. (1983). *El cultivo del cacao*. Editorial EUNED. Costa Rica publicaciones UNED Costa Rica. 17-18 p.
- Paredes, M. (2001). *Rehabilitación - Renovación en Cacao*, Convenio USAID/CONTRADROGAS, Lima.
<https://repositorio.midagri.gob.pe/jspui/bitstream/20.500.13036/372/1/cacao%20-%20copia.pdf>
- Puppo, L. y García, M. (2010). Determinación del consumo de agua del duraznero por lisimetría. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 14(1), 1-25 p.
<https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/gxFNDZcq5ksJ9zxKssPSQnk/?lang=es>
- Romero, J y Proaño, J. (2008). *Evaluación del efecto del riego por goteo y microaspersión en la productividad del cacao CCN-51 en un suelo Ustifluventtipic en la zona Chongon – Península de Santa Elena*. XI Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Agraria del Ecuador. 140 p.
- RPP (Radio Programas del Perú). (2017). *Sequía afecta cultivos de cacao en provincia de Tocache*. <https://rpp.pe/peru/san-martin/sequia-afecta-cultivos-de-cacao-en-provincia-de-tocache-noticia-1067891>

- Sale, P. J. M. (1970). Growth and flowering of cacao under controlled atmospheric relative humidities. *Journal of Horticultural Science*, 45(1), 129–132.
- Samani, Z. (2000). Estimating Solar Radiation and Evapotranspiration Using Minimum Climatological Data. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 126(4), 265-267.
- Schwendenmann, L., Veldkamp, E., Moser, G., Holscher, D., Kohler, M., Clough, Y., Anas, I., Djajakirana, G., Erasmi, S., Hertel, D., Leitner, D., Leuschner, C., Michalzik, B., Propastin, P., Tjoa, A., Tschardtke, T. y Van Straaten, O. (2010). Effects of an experimental drought on the functioning of a cacao agroforestry system. *Sulawesi, Indonesia, Glob. Change Biol.* doi:10.1111/j.1365-2486.2009.02034.x, in press, 2010
- SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú) <https://www.senamhi.gob.pe/?&p=estaciones>
- Smith, R. W. (1964). The establishment of cocoa under different soil moisture regimes. *Empire Journal of Experimental Agriculture*, 32(1), 249–256.
- Vargas, R. J. y Maco, G. J. (2006). *Zonificación Ecológica Económica de Tocache*. http://www.iiap.org.pe/upload/Publicacion/zee-tocache/documentos/06_Clima_2006.pdf
- Vásquez, V. A. (1992). *El riego*. 1ra Ed. Edit. ONERN. Lima- Perú. 144 p.
- Vásquez, V. A., Vásquez, R. I., Vásquez, R. C. y Cañamero, K. M. (2017). *Fundamentos de Ingeniería de Riegos*. 1ra Ed. Edit. Printed. Lima - Perú. 442 p. <https://www.fondoeditorialunalm.com/wp-content/uploads/2020/09/ingenieria-de-riegos.pdf>
- Vera, J. (1993). *Material de siembra y propagación*. In manual del cultivo de cacao, 2da edición. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias, Quito-Ecuador. 24-37pp.
- VOCES. (14 de setiembre, 2016). Fuerte sequía afecta cultivos de cacao y cítricos en el Huallaga Central. Periodismo profesional a su servicio. <https://www.diariovoces.com.pe/66081/fuerte-sequia-afecta-cultivos-cacao-citricos-huallaga-central>
- Wood, G.A.R. (1985). *Cocoa*. Longman. London and N.Y. 620 p.

ANEXOS

Anexos: Matriz de datos**Tabla 13.** Resultados de evapotranspiración de referencia diaria método del lisímetro de drenaje.

Días	Meses					
	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero
1	3,95	2,81	2,57	4,32	3,32	3,41
2	5,10	3,08	4,37	4,89	3,86	3,87
3	5,50	3,45	3,28	2,55	4,77	3,20
4	2,66	4,22	3,71	3,76	4,27	3,59
5	4,91	3,35	5,17	4,18	3,72	3,99
6	3,08	3,30	4,79	4,41	3,13	5,64
7	3,48	4,67	4,57	3,28	4,46	4,35
8	3,28	4,91	2,92	4,66	2,38	3,84
9	2,81	3,63	5,23	3,04	2,99	4,47
10	3,64	3,22	4,41	2,25	4,08	4,15
11	3,90	4,32	5,25	4,55	2,69	3,00
12	2,03	4,00	4,62	3,62	4,31	2,31
13	5,98	2,25	4,33	4,33	3,83	3,45
14	2,07	5,17	3,51	3,05	3,29	5,14
15	4,82	2,38	5,10	2,84	3,50	3,85
16	4,50	5,13	3,68	3,15	5,15	3,32
17	3,62	4,72	2,98	5,12	4,29	2,72
18	3,45	4,88	2,33	3,26	6,89	6,95
19	3,44	2,98	5,05	3,73	4,32	2,72
20	3,69	4,45	4,55	5,03	3,95	2,18
21	3,52	4,43	5,64	2,48	5,19	3,13
22	4,88	3,84	5,11	4,06	3,70	4,12
23	3,04	4,48	3,03	5,72	3,85	3,18
24	2,98	2,74	3,51	4,39	3,70	4,03
25	4,82	5,45	3,11	3,15	5,12	4,42
26	4,97	4,56	2,64	4,65	3,65	3,23
27	3,42	5,98	5,44	5,12	3,68	3,52
28	3,28	4,39	4,35	3,02	3,08	2,48
29	5,35	3,11	4,49	3,44	3,75	3,07
30	2,79	4,75	5,45	5,72	4,51	
31		2,77		3,98	3,75	
Eto mm/mes	114,97	123,41	125,17	121,73	123,17	107,31
Eto Prom.	3,83	4,02	4,17	3,93	3,97	3,70
Eto Min.	2,03	2,25	2,33	2,25	2,38	2,18
Eto Max.	5,98	5,98	5,64	5,72	6,89	6,95

Tabla 14. Resultados de evapotranspiración de referencia diaria método FAO Penman Monteith.

Días	ETO Método FAO Penman Monteith					
	Meses					
	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb
1	4,33	4,07	4,05	3,17	3,84	4,72
2	4,61	4,07	4,40	3,71	4,38	3,76
3	4,17	3,82	3,69	4,23	3,32	4,58
4	4,29	4,54	3,71	3,90	4,05	3,48
5	3,73	4,78	4,21	4,19	4,31	5,24
6	2,89	4,31	3,97	4,38	3,75	4,76
7	4,13	2,78	3,74	4,06	3,86	3,97
8	4,86	3,89	4,34	4,03	4,28	5,02
9	4,81	4,59	4,72	4,81	3,34	4,73
10	4,77	5,30	4,01	4,56	3,51	4,85
11	3,35	5,29	4,14	4,38	3,51	5,40
12	3,72	4,07	4,37	3,99	4,32	4,35
13	3,40	3,29	4,72	3,76	3,66	3,96
14	3,59	4,60	4,10	4,03	3,99	4,07
15	4,74	4,59	4,01	4,11	4,66	3,68
16	4,92	4,03	3,28	4,05	3,89	3,51
17	5,10	3,79	5,19	5,03	4,39	3,83
18	5,01	3,83	4,86	3,24	3,49	3,31
19	3,97	3,80	5,12	3,73	3,83	2,92
20	3,28	4,66	4,61	4,25	4,54	3,38
21	2,80	4,86	5,20	3,59	4,25	3,26
22	4,72	4,78	3,81	3,93	2,52	3,65
23	2,88	2,36	4,12	2,99	4,07	4,95
24	3,48	4,26	3,58	4,29	4,18	4,68
25	4,25	4,80	4,52	4,53	3,76	4,33
26	4,74	3,76	4,93	3,86	3,60	2,90
27	2,99	4,35	4,19	5,23	3,65	3,52
28	4,58	3,69	4,53	4,57	4,10	2,89
29	5,19	4,93	4,25	3,30	2,76	3,86
30	3,25	3,73	4,15	4,25	3,49	
31		4,11		4,15	4,42	
ETo mm/mes	122,53	129,76	128,52	126,28	119,73	117,59
ETo Prom.	4,08	4,19	4,28	4,07	3,86	4,05
ETo Min.	2,80	2,36	3,28	2,99	2,52	2,89
ETo Max.	5,19	5,30	5,20	5,23	4,66	5,40

a) Procedimiento para determinar la evapotranspiración de referencia método del lisímetro.

Proceso de cálculo de evapotranspiración para el día 01/09/2019

- **Lectura del tensiómetro**
06:00:00 am. = 51,00 cb.
12:00:00 pm. = 53,00 cb.
06:00:00 pm. = 50,00 cb.
Promedio = 51,33 cb.
- **Factor de conversión de cb a mm.**
 $f = 0,1020$
- **Conversión de la tensión del suelo a (mm)**
 $51,33 \text{ cb} \times 0,1020 = 5,23 \text{ mm}$
- **Variación de la Humedad del suelo (mm) ΔH_s**
 $\Delta H_s = 0,00 \text{ mm}$
- **Precipitación total por día en (mm) pp**
 $pp = 0,00 \text{ mm}$
- **Riego total por día en (mm) r**
 $r = 3,95 \text{ mm}$
- **Drenaje total por día en (mm) d**
06:00:00 am. = 0,00 mm.
12:00:00 pm. = 0,00 mm.
06:00:00 pm. = 0,00 mm.
Total = 0.00 mm

La determinación de la evapotranspiración se efectuó mediante la aplicación de la prueba lógica:

$$\text{Si } (\Delta H_s > 0; pp + r - d + \Delta H_s; pp + r - d - \Delta H_s) = 3,95 \text{ mm}$$

b) Procedimiento para determinar la evapotranspiración de referencia método FAO Penman Monteith.

Los datos meteorológicos usados para el cálculo de evapotranspiración fueron de la estación Tananta y los monitoreados en la parcela de investigación.

- **Información geográfica de la estación Tananta:**
Latitud: $8^{\circ}6'54.86''$; Longitud: $76^{\circ}34'49.77''$; Altitud: 480 msnm.
Presión atmosférica (P): 95,753 kpa
Calor latente de vaporización (λ): 2,45 MJ/kg

Calor específico a presión constante (C_p): 0,001013 MJ/kg/°C

Coefficiente del peso molecular de vapor de agua/aire seco (ϵ): 0,622

Constante psicrométrica (γ): 0,0637 kPa/°C.

Latitud en radianes (ϕ): -0,162 Rad.

Constante solar (G_{sc}): 0,082 MJ/m²/min.

Con información geográfica, datos de temperatura, humedad relativa, radiación solar y la velocidad del viento mediante la ecuación FAO Penman-Monteith se determinó la evapotranspiración:

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34 u_2)} \quad (3)$$

c) Procedimiento para determinar la evapotranspiración del cultivo de cacao.

Cálculo de evapotranspiración del cultivo de cacao para el día 01/09/2019.

- **Evapotranspiración método FAO Penman-Monteith (mm) ET_0 .**

$ET_0 = 4,33$ mm/día

- **Coefficiente del cultivo de cacao (K_c).**

El coeficiente de cultivo (K_c) es variable de acuerdo a las condiciones particulares del cultivo esto permite la transferencia de valores de coeficiente de cultivo entre distintas zonas y climas. por ello se usó el valor de K_c de 0,90 propuesto por PROMSA (Romero y Proaño, 2008) para todas las etapas fenológicas de un estudio anterior realizado en Ecuador. La variedad de cacao evaluado es CCN-51 con tipo de manejo sin sombra.

$K_c = 0,90$

- **Evapotranspiración del cultivo de cacao (mm/día) ET_c .**

$(ET_0 \times K_c): 4,33$ mm/día $\times 0,90 = 3,90$ mm/día

d) Procedimiento para determinar la lámina de riego para el cultivo de cacao.

Cálculo de lámina de riego del cultivo de cacao para el día 01/09/2019.

- **Variación de la humedad del suelo evaluado con el sensor (mm) ΔH_s .**

$\Delta H_s = 0,00$ mm

- **Precipitación efectiva (mm) P_e .**

$P_e = 0,00$ mm

- **Evapotranspiración del cultivo de cacao (mm/día) ET_c .**

$ET_c = 3,90$ mm/día

- **Lamina de riego en (mm/día) L_r .**

$L_r = ET_c - (P_e + \Delta H_s): 3,90$ mm/día $- (0,00$ mm $+ 0,00$ mm) $= 3,90$ mm/día.

Tabla 15. Datos recopilados para la prueba de infiltración en la parcela de investigación.

Lectura N°	Tiempo Parcial	Tiempo Acumulado	Lectura	Enrase	Laminas Parciales	Laminas Acumuladas
Hora	min	min	cm	cm	mm	mm
11:40	0	0	0,00	15,0	0,0	0
11:45	5	5	13,50		15,0	15,0
11:50	5	10	12,80		7,0	22,0
11:55	5	15	12,10	15,0	7,0	29,0
12:00	5	20	13,50		15,0	44,0
12:05	5	25	13,00		5,0	49,0
12:10	5	30	12,40		6,0	55,0
12:20	10	40	11,50	15,0	9,0	64,0
12:30	10	50	13,40		16,0	80,0
12:40	10	60	12,30		11,0	91,0
13:10	30	90	10,30	15,0	20,0	111,0
13:40	30	120	12,30	15,0	27,0	138,0
14:10	30	150	12,40		26,0	164,0

Tabla 16. Resultados del cálculo de infiltración promedio método de Kostiakov.

t en minutos	log t	0,39*log t	Log IP	Ip (mm/h)
5	0,69897	0,27260	2,25115	178,30
10	1,00000	0,39000	2,13375	136,07
15	1,17609	0,45868	2,06507	116,16
20	1,30103	0,50740	2,01634	103,84
25	1,39794	0,54520	1,97855	95,18
30	1,47712	0,57608	1,94767	88,65
40	1,60206	0,62480	1,89894	79,24
50	1,69897	0,66260	1,86115	72,64
60	1,77815	0,69348	1,83027	67,65
90	1,95424	0,76215	1,76159	57,76
120	2,07918	0,81088	1,71287	51,63
150	2,17609	0,84868	1,67507	47,32

t: tiempo en minutos, log t: logaritmo de tiempo, log Ip: logaritmo de infiltración promedio, Ip: infiltración promedio.

Fuente: Elaborado con los datos recopilados de la prueba de infiltración de doble anillo en el área de investigación.

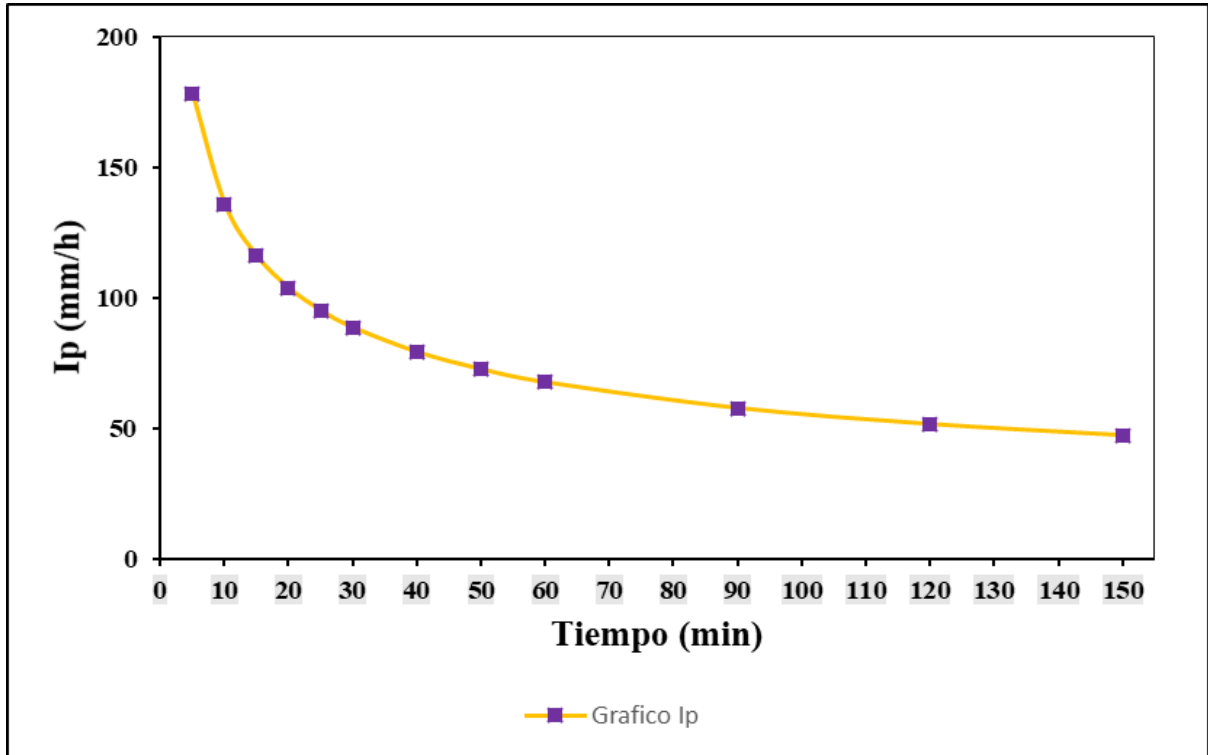


Figura 13. Curva de infiltración promedio método Kostiakov.

Tabla 17. Datos meteorológicos recabados durante el periodo de duración de la investigación.

FECHA	T°C (Max)	T°C (Min)	T°C (media)	U ₂ (m/s)	HR (%)	PP (mm)	Rs (MJ /m2 día)
01-sep-19	34,40	20,0	27,20	0,89	69,94	0,00	18,40
02-sep-19	35,20	19,0	27,10	0,89	67,81	0,00	20,26
03-sep-19	34,00	19,6	26,80	1,04	69,12	0,00	15,76
04-sep-19	34,30	17,6	25,95	1,17	78,38	4,50	16,04
05-sep-19	31,00	20,5	25,75	1,07	70,69	0,32	13,37
06-sep-19	28,00	19,4	23,70	1,02	77,88	0,00	9,04
07-sep-19	33,40	20,0	26,70	0,92	60,25	0,00	16,08
08-sep-19	35,6	18,2	26,90	0,90	57,38	0,00	21,33
09-sep-19	35,20	18,00	26,60	0,96	60,19	0,00	20,60
10-sep-19	35,00	17,80	26,40	0,98	64,69	0,00	20,25
11-sep-19	27,50	20,00	23,75	0,98	68,44	3,65	13,26
12-sep-19	29,70	21,00	25,35	1,07	65,94	0,16	13,74
13-sep-19	30,80	21,30	26,05	1,30	78,50	9,79	9,47
14-sep-19	30,40	20,00	25,20	1,08	77,00	0,00	12,70
15-sep-19	35,20	18,50	26,85	0,91	63,94	0,00	19,93
16-sep-19	35,60	19,00	27,30	0,98	66,88	0,00	20,40
17-sep-19	36,90	18,80	27,85	0,99	67,50	0,00	20,83
18-sep-19	35,80	20,00	27,90	0,98	69,00	0,00	20,69

FECHA	T°C (Max)	T°C (Min)	T°C (media)	U₂ (m/s)	HR (%)	PP (mm)	Rs (MJ /m2 día)
19-sep-19	34,50	20,50	27,50	1,12	65,06	0,00	12,49
20-sep-19	30,90	21,20	26,05	0,95	80,94	0,00	10,87
21-sep-19	27,60	22,00	24,80	0,77	79,25	4,34	9,28
22-sep-19	34,00	19,60	26,80	0,98	61,88	0,00	19,13
23-sep-19	25,60	21,00	23,30	1,11	88,44	40,05	9,80
24-sep-19	28,60	21,30	24,95	1,22	80,94	4,76	11,54
25-sep-19	31,20	20,00	25,60	0,96	75,81	0,21	17,35
26-sep-19	33,40	21,00	27,20	1,09	64,06	0,00	18,18
27-sep-19	27,00	22,00	24,50	1,12	75,62	3,02	9,15
28-sep-19	33,40	19,00	26,20	0,94	79,25	0,00	19,02
29-sep-19	35,00	19,50	27,25	1,05	71,31	0,00	21,33
30-sep-19	25,00	22,50	23,75	1,38	67,69	16,83	9,83
01-oct-19	32,00	19,50	25,75	1,04	84,69	0,00	15,25
02-oct-19	32,20	20,80	26,50	1,05	73,69	0,00	14,11
03-oct-19	30,60	21,00	25,80	1,03	66,81	0,00	13,07
04-oct-19	32,00	22,00	27,00	1,00	67,25	0,48	17,69
05-oct-19	34,20	20,00	27,10	1,03	66,38	0,00	18,37
06-oct-19	31,40	22,00	26,70	1,23	67,94	20,48	14,76
07-oct-19	25,20	21,00	23,10	1,06	82,38	75,50	9,04
08-oct-19	30,00	21,50	25,75	1,18	85,88	28,36	13,26
09-oct-19	33,00	20,00	26,50	1,11	74,88	0,00	17,21
10-oct-19	33,80	19,50	26,65	1,03	74,06	0,00	22,46
11-oct-19	33,40	21,00	27,20	1,20	71,75	0,00	20,91
12-oct-19	32,80	19,50	26,15	1,06	84,88	0,00	14,18
13-oct-19	29,50	21,00	25,25	1,16	75,50	0,00	9,00
14-oct-19	33,60	20,50	27,05	1,01	70,62	3,49	17,26
15-oct-19	33,00	19,60	26,30	1,11	73,25	0,48	17,23
16-oct-19	32,80	22,00	27,40	1,17	75,69	23,07	12,48
17-oct-19	30,80	21,20	26,00	1,17	81,56	6,98	12,38
18-oct-19	29,00	22,40	25,70	1,42	89,75	58,31	12,08
19-oct-19	30,20	21,00	25,60	0,99	86,94	3,39	13,91
20-oct-19	31,20	22,30	26,75	0,99	82,81	11,16	18,73
21-oct-19	33,40	20,40	26,90	1,12	80,50	0,00	18,62
22-oct-19	32,50	22,00	27,25	1,19	79,62	0,00	17,83
23-oct-19	26,50	21,00	23,75	1,02	83,19	96,72	5,67
24-oct-19	32,00	21,80	26,90	1,04	83,44	0,00	15,52
25-oct-19	32,60	22,50	27,55	1,21	77,31	5,03	17,43
26-oct-19	28,50	21,00	24,75	1,09	83,00	16,46	14,15
27-oct-19	31,00	20,80	25,90	1,14	77,81	6,40	16,47
28-oct-19	31,00	22,80	26,90	1,01	77,44	16,88	12,07
29-oct-19	33,20	22,00	27,60	1,10	75,50	0,00	18,73

FECHA	T°C (Max)	T°C (Min)	T°C (media)	U₂ (m/s)	HR (%)	PP (mm)	Rs (MJ /m2 día)
30-oct-19	31,70	21,20	26,45	0,96	84,62	6,98	12,52
31-oct-19	31,00	21,00	26,00	0,96	81,38	0,11	15,63
01-nov-19	32,60	21,40	27,00	0,96	87,62	0,00	14,49
02-nov-19	32,40	21,00	26,70	1,12	76,44	0,00	15,73
03-nov-19	31,70	20,60	26,15	0,78	80,25	0,42	13,92
04-nov-19	31,80	21,90	26,85	1,20	86,94	0,00	11,01
05-nov-19	31,50	21,00	26,25	1,13	87,00	0,69	15,10
06-nov-19	28,60	21,50	25,05	1,15	80,69	10,74	14,77
07-nov-19	28,90	20,50	24,70	1,20	83,75	20,74	13,45
08-nov-19	32,40	21,00	26,70	0,94	78,44	0,00	16,72
09-nov-19	33,20	22,00	27,60	1,15	80,62	6,72	17,33
10-nov-19	31,20	22,80	27,00	1,06	86,88	17,99	14,15
11-nov-19	30,00	21,40	25,70	1,42	88,31	18,73	14,25
12-nov-19	32,40	21,80	27,10	0,97	89,12	31,48	16,58
13-nov-19	33,40	22,40	27,90	1,00	88,75	25,87	18,03
14-nov-19	32,60	22,90	27,75	0,91	93,38	3,60	14,87
15-nov-19	32,40	22,20	27,30	1,01	91,94	80,32	14,09
16-nov-19	27,20	21,00	24,10	1,00	89,44	123,92	11,70
17-nov-19	33,00	20,20	26,60	0,97	82,19	0,00	22,22
18-nov-19	33,80	21,00	27,40	0,93	87,44	0,00	19,70
19-nov-19	34,80	22,00	28,40	0,95	89,88	0,00	20,44
20-nov-19	32,00	20,40	26,20	0,97	79,12	0,00	18,49
21-nov-19	35,20	21,80	28,50	0,99	80,12	0,00	20,38
22-nov-19	31,20	22,80	27,00	0,62	90,75	0,32	15,51
23-nov-19	32,00	21,90	26,95	0,66	89,38	0,00	17,11
24-nov-19	29,00	21,40	25,20	0,86	88,38	28,15	13,29
25-nov-19	32,20	21,00	26,60	0,90	87,50	0,00	18,27
26-nov-19	32,90	21,80	27,35	0,91	84,50	0,00	20,50
27-nov-19	33,10	21,60	27,35	0,89	83,56	0,00	15,64
28-nov-19	32,50	21,40	26,95	0,87	86,50	0,00	18,50
29-nov-19	32,90	22,00	27,45	0,67	85,88	0,00	17,67
30-nov-19	32,30	22,20	27,25	0,94	91,12	2,86	15,55
01-dic-19	29,20	22,40	25,80	0,98	93,38	13,70	9,95
02-dic-19	31,40	21,30	26,35	0,91	92,56	17,99	13,04
03-dic-19	31,00	22,40	26,70	0,85	88,44	0,42	16,86
04-dic-19	30,80	22,00	26,40	0,59	88,38	66,14	16,59
05-dic-19	30,00	22,20	26,10	0,83	91,94	15,93	17,36
06-dic-19	27,00	22,00	24,50	1,01	93,31	7,62	19,03
07-dic-19	31,60	21,80	26,70	1,02	89,94	0,11	14,69
08-dic-19	30,70	21,60	26,15	1,12	85,62	41,80	14,62
09-dic-19	32,00	22,40	27,20	1,02	89,25	0,00	19,42

FECHA	T°C (Max)	T°C (Min)	T°C (media)	U₂ (m/s)	HR (%)	PP (mm)	Rs (MJ /m2 día)
10-dic-19	33,00	22,50	27,75	0,90	90,00	0,00	17,97
11-dic-19	32,60	22,60	27,60	1,00	88,06	0,00	16,35
12-dic-19	29,00	22,00	25,50	1,05	90,25	34,60	15,64
13-dic-19	26,60	21,00	23,80	1,03	87,81	74,13	14,97
14-dic-19	27,00	21,80	24,40	1,11	90,69	0,74	16,31
15-dic-19	31,60	22,00	26,80	1,11	91,31	0,63	14,43
16-dic-19	30,00	21,90	25,95	1,39	89,81	0,58	13,63
17-dic-19	33,00	22,00	27,50	1,25	89,44	9,89	19,29
18-dic-19	30,60	22,80	26,70	0,97	93,19	0,00	9,95
19-dic-19	29,50	22,40	25,95	1,04	90,69	50,32	12,88
20-dic-19	30,40	22,00	26,20	0,79	88,12	5,34	17,71
21-dic-19	28,20	23,00	25,60	0,74	88,94	0,00	14,32
22-dic-19	33,40	21,80	27,60	0,70	84,50	0,00	15,13
23-dic-19	32,20	20,60	26,40	0,83	90,69	0,00	8,88
24-dic-19	29,70	22,20	25,95	1,02	88,81	0,90	17,14
25-dic-19	33,60	21,80	27,70	1,01	85,94	0,00	16,95
26-dic-19	32,20	22,30	27,25	0,96	91,62	46,19	13,89
27-dic-19	32,70	23,40	28,05	0,80	91,06	7,88	22,93
28-dic-19	32,80	23,00	27,90	0,80	91,62	2,01	18,81
29-dic-19	33,60	22,50	28,05	0,80	93,44	0,00	10,05
30-dic-19	32,50	23,00	27,75	1,03	88,31	6,46	15,17
31-dic-19	32,00	22,80	27,40	0,96	88,19	0,00	15,47
01-ene-20	28,00	22,40	25,20	0,72	93,00	29,68	16,58
02-ene-20	29,50	22,20	25,85	0,98	92,94	4,39	18,10
03-ene-20	31,80	22,30	27,05	0,93	91,62	6,67	10,28
04-ene-20	33,20	22,40	27,80	1,18	89,00	0,00	12,85
05-ene-20	33,50	22,70	28,10	1,03	84,62	0,00	15,11
06-ene-20	34,40	23,50	28,95	0,91	82,81	0,00	11,75
07-ene-20	34,00	24,00	29,00	0,99	88,75	12,01	12,33
08-ene-20	32,80	23,20	28,00	0,96	92,06	0,00	15,68
09-ene-20	34,90	22,90	28,90	1,03	88,62	0,00	8,00
10-ene-20	32,80	23,00	27,90	1,05	87,81	0,00	9,57
11-ene-20	34,00	22,50	28,25	0,80	85,44	0,00	11,12
12-ene-20	31,00	22,00	26,50	0,91	87,19	64,23	17,27
13-ene-20	31,80	22,00	26,90	1,01	85,00	0,00	11,74
14-ene-20	33,80	22,50	28,15	1,05	87,44	0,00	12,63
15-ene-20	33,00	22,00	27,50	0,95	87,38	0,00	18,27
16-ene-20	30,90	21,90	26,40	1,00	90,50	7,30	14,26
17-ene-20	33,60	21,50	27,55	1,11	86,50	0,32	15,13
18-ene-20	25,70	21,90	23,80	0,91	83,56	37,41	13,44
19-ene-20	30,00	21,60	25,80	0,78	86,00	35,71	15,17

FECHA	T°C (Max)	T°C (Min)	T°C (media)	U₂ (m/s)	HR (%)	PP (mm)	Rs (MJ /m2 día)
20-ene-20	33,40	22,50	27,95	0,80	88,56	0,00	18,10
21-ene-20	34,20	23,20	28,70	0,84	84,88	6,83	15,49
22-ene-20	32,00	22,40	27,20	0,95	89,62	28,73	4,93
23-ene-20	28,40	22,00	25,20	0,87	95,81	48,78	17,14
24-ene-20	33,40	22,20	27,80	0,91	88,12	0,00	15,17
25-ene-20	31,80	21,00	26,40	0,86	92,75	11,32	13,79
26-ene-20	29,90	21,20	25,55	1,03	84,31	31,43	12,55
27-ene-20	34,60	20,00	27,30	0,98	87,50	0,00	11,44
28-ene-20	35,20	22,80	29,00	1,05	92,75	0,00	12,86
29-ene-20	25,60	21,30	23,45	0,96	94,81	91,53	9,54
30-ene-20	31,40	21,90	26,65	1,08	89,44	4,71	10,41
31-ene-20	30,30	22,00	26,15	1,01	87,69	0,00	17,61
01-feb-20	33,00	20,20	26,60	1,03	87,00	0,00	18,22
02-feb-20	32,90	21,00	26,95	0,91	81,88	0,00	12,41
03-feb-20	29,80	21,40	25,60	0,92	86,50	0,00	19,46
04-feb-20	32,40	22,50	27,45	0,80	86,25	0,00	11,51
05-feb-20	32,00	22,80	27,40	0,98	85,88	1,32	22,01
06-feb-20	30,20	23,50	26,85	1,17	88,88	7,25	18,49
07-feb-20	27,00	21,50	24,25	1,41	90,38	39,05	14,73
08-feb-20	33,00	21,80	27,40	1,12	85,62	0,00	19,41
09-feb-20	28,50	22,50	25,50	1,08	93,38	11,11	20,02
10-feb-20	29,40	23,00	26,20	1,09	90,81	4,44	19,97
11-feb-20	29,60	22,00	25,80	1,18	86,31	0,00	23,35
12-feb-20	33,00	20,00	26,50	0,81	85,44	0,00	17,41
13-feb-20	29,80	22,20	26,00	0,78	89,69	0,74	16,09
14-feb-20	28,80	23,00	25,90	1,00	89,25	10,85	15,94
15-feb-20	33,90	21,50	27,70	0,73	87,81	0,00	13,07
16-feb-20	32,00	21,00	26,50	0,85	82,38	0,00	12,06
17-feb-20	32,80	22,50	27,65	0,88	85,19	0,00	13,26
18-feb-20	30,00	21,40	25,70	1,01	83,94	6,40	10,48
19-feb-20	30,80	22,40	26,60	0,91	81,38	0,00	7,95
20-feb-20	35,00	22,20	28,60	1,06	80,69	0,00	8,09
21-feb-20	32,80	23,00	27,90	1,02	88,44	6,40	8,72
22-feb-20	26,00	22,20	24,10	0,85	94,06	80,32	15,39
23-feb-20	32,20	21,80	27,00	0,78	87,19	0,00	21,48
24-feb-20	30,60	22,00	26,30	1,05	86,06	1,69	19,14
25-feb-20	30,90	22,20	26,55	1,03	89,25	29,37	16,72
26-feb-20	30,40	22,50	26,45	0,77	86,25	30,74	8,97
27-feb-20	31,40	21,60	26,50	0,80	90,06	66,19	12,61
28-feb-20	30,20	22,80	26,50	0,95	94,62	2,70	7,81
29-feb-20	29,00	23,20	26,10	1,04	91,38	0,58	14,06

T°C (Max): temperatura máxima, T°C (min): temperatura mínima, T°C (med): temperatura media, U₂: velocidad del viento, HR: humedad relativa, PP: precipitación, R_s: radiación solar. Fuente: SENAMHI.

Anexo: Características del material

Tabla 18. Características técnicas del sensor de humedad del suelo de perfil múltiple.

Características	Descripción
Inalámbrica	No
Batería de Bajo Costo	No
Dispositivo de Recopilación de Datos	Windows
Almacenamiento de Datos en la Nube	No
Temperatura en Sensor de Humedad	No
Resolución	0,02°C
Precisión	±1,0°C
Temperatura en Registrador	No
Cable del Sensor Extraíble	No
Duración Calculada de la Batería	144 días
Capacidad de Memoria	32000 lecturas
Temperatura de Funcionamiento	0 – 50°C



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Carretera Central Km1.21 - Tingo María - CELULAR 941531359
Facultad de Agronomía - Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología
analisisdesuelosunos@hotmail.com



ANÁLISIS DE SUELOS

SOLICITANTE:													PROCEDENCIA															
RAMIREZ SILVA SHALLA BRULLER													BAMBAMARCA - TOCACHE - SAN MARTIN															
N°	CODIGO DEL LAB.	DATOS DE LA MUESTRA			ANÁLISIS FÍSICO			ANÁLISIS MECÁNICO			pH	M.O.	N	P	K	CAMBIABLES						CICe	Bas. Camb.	Ac. Camb.	Sat. Al			
					Capacidad de Campo	Punto de Marchitez	Densidad Apparente	Arena	Arcilla	Limo						Textura	1:1	%	%	disponible	CIC					Ca	Mg	K
		CULTIVO	EDAD	REF	%	%	g/cc	%	%	%								ppm	ppm									
1	S1381	CACAO	3 AÑOS	M1	18	8.2	1.3	51	16	33	Franco	5.26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
2	S1382	CACAO	3 AÑOS	M2	15	7.1	1.5	65	18	17	Franco Arenoso	5.64	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		

MUESTREADO POR EL SÓLICITANTE
TINGO MARIA, 16 DE OCTUBRE 2019
RECIBO N° 0597198



Ing. W. Mansillo Minaya
JEFE




Figura 14. Resultados del análisis del suelo.

Tabla 19. Radiación solar extraterrestre en mm/día (Allen et al., 1998) (Original en MJ·m⁻²·dia⁻¹; 1 mm/día = 2,45 MJ·m⁻²·dia⁻¹).

HEMISFERIO SUR												
Latitud	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
70	16,9	11,7	6,4	2,0	0,1	0,0	0,0	0,9	4,4	9,6	15,2	18,5
68	16,7	12,0	6,9	2,4	0,3	0,0	0,0	1,3	4,9	10,0	15,3	18,2
66	16,7	12,2	7,4	2,9	0,6	0,0	0,2	1,7	5,3	10,4	15,3	18,0
64	16,7	12,6	7,9	3,4	1,0	0,2	0,5	2,2	5,9	10,7	15,5	17,9
62	16,8	12,9	8,3	3,9	1,4	0,5	0,8	2,6	6,3	11,1	15,6	17,9
60	16,9	13,2	8,8	4,4	1,8	0,8	1,2	3,1	6,8	11,5	15,8	17,9
58	17,0	13,5	9,2	4,9	2,2	1,2	1,6	3,6	7,3	11,8	16,0	18,0
56	17,1	13,8	9,6	5,4	2,7	1,6	2,0	4,0	7,8	12,2	16,1	18,0
54	17,2	14,0	10,0	5,9	3,1	2,0	2,4	4,5	8,2	12,5	16,3	18,1
52	17,3	14,3	10,4	6,4	3,6	2,4	2,9	5,0	8,7	12,8	16,4	18,1
50	17,4	14,5	10,9	6,8	4,1	2,9	3,3	5,5	9,1	13,1	16,6	18,2
48	17,5	14,8	11,2	7,3	4,5	3,3	3,8	6,0	9,5	13,4	16,7	18,2
46	17,6	15,0	11,6	7,8	5,0	3,8	4,2	6,4	9,9	13,7	16,8	18,2
44	17,6	15,2	12,0	8,2	5,5	4,3	4,7	6,9	10,3	13,9	16,9	18,2
42	17,7	15,4	12,3	8,7	6,0	4,7	5,2	7,3	10,7	14,2	17,0	18,2
40	17,7	15,6	12,6	9,1	6,4	5,2	5,7	7,8	11,1	14,4	17,1	18,2
38	17,7	15,7	12,9	9,5	6,9	5,7	6,2	8,2	11,4	14,6	17,1	18,2
36	17,7	15,9	13,2	9,9	7,4	6,2	6,6	8,7	11,8	14,8	17,1	18,1
34	17,7	16,0	13,5	10,3	7,8	6,6	7,1	9,1	12,1	15,0	17,1	18,1
32	17,7	16,1	13,8	10,7	8,3	7,1	7,6	9,5	12,4	15,1	17,1	18,0
30	17,6	16,2	14,0	11,1	8,7	7,6	8,0	9,9	12,7	15,3	17,1	17,9
28	17,6	16,2	14,2	11,5	9,2	8,0	8,4	10,3	13,0	15,4	17,1	17,8
26	17,5	16,3	14,4	11,8	9,6	8,5	8,9	10,7	13,3	15,5	17,1	17,7
24	17,3	16,3	14,6	12,2	10,0	8,9	9,3	11,1	13,5	15,6	17,0	17,6
22	17,2	16,4	14,8	12,5	10,4	9,4	9,8	11,5	13,8	15,7	16,9	17,4
20	17,1	16,3	14,9	12,8	10,9	9,8	10,2	11,8	14,0	15,8	16,8	17,2
18	16,9	16,3	15,1	13,1	11,2	10,2	10,6	12,2	14,2	15,8	16,7	17,0
16	16,8	16,3	15,2	13,4	11,6	10,7	11,0	12,5	14,4	15,8	16,6	16,8
14	16,6	16,2	15,3	13,6	12,0	11,1	11,4	12,8	14,5	15,8	16,4	16,6
12	16,4	16,2	15,4	13,9	12,3	11,5	11,8	13,1	14,7	15,8	16,2	16,3
10	16,1	16,0	15,4	14,1	12,7	11,9	12,2	13,4	14,8	15,7	16,0	16,1
8	15,9	15,9	15,5	14,3	13,0	12,2	12,5	13,6	14,9	15,7	15,8	15,8
6	15,6	15,8	15,5	14,5	13,3	12,6	12,9	13,9	15,0	15,6	15,6	15,5
4	15,3	15,6	15,5	14,7	13,6	13,0	13,2	14,1	15,1	15,5	15,3	15,2
2	15,1	15,5	15,5	14,9	13,9	13,3	13,5	14,4	15,1	15,4	15,1	14,9
0	14,8	15,3	15,5	15,0	14,2	13,6	13,8	14,6	15,2	15,3	14,8	14,5

Anexo A: Panel fotográfico

Figura 15. Excavación para la colocación de la maceta y el recipiente de almacenamiento de agua drenada.



Figura 16. Colocación de maceta en la excavación realizada.



Figura 17. Instalación del pluviómetro.



Figura 18. Prueba de circulación del agua al depósito de almacenamiento.



Figura 19. Instalación anillo Infiltrómetro de doble anillo.



Figura 20. Prueba de infiltración.



Figura 21. Calicata a profundidad de 1,00 m.



Figura 22. Instalación del sensor de perfil múltiple del suelo.



Figura 23. Instalación y crecimiento del cultivo de referencia en la maceta.



Figura 24. Instalación del tensiómetro Irrometer y lecturas de humedad.