

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA



TESIS DE GRADO

DETERMINACIÓN DEL ESTADO HÍDRICO DEL CULTIVO DE NARANJA (*Citrus sinensis* L. Osbeck) CON EL USO DE DENDRÓMETROS EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL SAPECHO

JULIO CESAR CONDARCO REYNAGA

LA PAZ-BOLIVIA

2023

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS

FACULTAD DE AGRONOMÍA

CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

DETERMINACIÓN DEL ESTADO HÍDRICO DEL CULTIVO DE NARANJA (*Citrus sinensis* L. Osbeck) CON EL USO DE DENDRÓMETROS EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL SAPECHO

Tesis de Grado

Presentado como requisito

para optar el Título de

Ingeniero Agrónomo

JULIO CESAR CONDARCO REYNAGA

Asesor(es):

PhD. René Chipana Rivera _____

Ing.M.Sc. Carlos Eduardo Choque Tarqui _____

Tribunal Examinador:

Ing. Marcela Daniela Mollericona Alfaro _____

Ing. Celso Ticona Quispe _____

Ing. Lorenzo Quelali Mamani _____

APROBADO

Presidente Tribunal Examinador _____

La Paz – Bolivia

2023

DEDICATORIA

A mis padres: Humberto Condarco Mamani y
Jacoba Reynaga Berrios, por el amor y el apoyo
incondicional que me dieron a lo largo de los años.

A mis hermanos, Gustavo, Jhimber, Jimena, Luz, Sandy,
Marisol y Luis, por su inmenso apoyo.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme sabiduría, fortaleza, fe y sobre todo por ser mi guía en los momentos difíciles y permitirme concluir esta tarea con satisfacción en el alma.

A la carrera de Ingeniería Agronómica perteneciente a la Facultad de Agronomía de la Universidad Mayor de San Andrés por acogerme en sus aulas y a todo el plantel docente por la formación recibida.

A la Estación Experimental de Sapecho y administrativos por el constante apoyo generoso.

A mis asesores Dr. Rene Chipana Rivera, Ing.M.Sc. Carlos Choque Tarqui, por su colaboración desinteresada en la ejecución del presente trabajo de investigación.

Al tribunal revisor, Ing. Marcela Daniela Mollericona, Ing. Celso Ticona, Ing. Lorenzo Quelali, por su apoyo en la revisión de este trabajo de investigación.

A mis compañeros tesisistas, Efraín, Jacob, Luis y Oscar y estudiantes en formación, por su apoyo incondicional en momentos dificultosos de la investigación.

Al Ing. Johnny Ticona Aliaga (†), por sus enseñanzas de no retroceder y cumplir con mis objetivos.

Agradezco a todas aquellas personas que hicieron posible la realización de esta investigación.

CONTENIDO GENERAL

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTOS.....	ii
CONTENIDO GENERAL.....	iii
INDICE GENERAL.....	iv
INDICE DE TABLAS.....	vii
INDICE DE FIGURAS.....	viii
INDICE DE ANEXOS.....	x
RESUMEN	xi
ABSTRACT.....	xii

INDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Antecedentes	2
1.2. Planteamiento del problema.....	2
1.3. Justificación	3
2. OBJETIVOS	4
2.1. Objetivo general	4
2.2. Objetivos específicos	4
2.3. Hipótesis	4
3. REVISION BIBLIOGRAFICA	5
3.1. El agua y la agricultura.....	5
3.2. Comportamiento del agua en el suelo	5
3.2.1. Características físicas del suelo	6
3.2.2. Estados del agua del suelo.....	8
3.3. Relación agua – suelo – planta	9
3.3.1. Evaporación	10
3.3.2. Transpiración.....	10
3.3.3. Evapotranspiración.....	10
3.3.4. Factores que climáticos que influyen en la evapotranspiración.....	11
3.4. Necesidades hídricas de los cultivos.....	12
3.4.1. Cálculo de la evapotranspiración de referencia	13
3.4.2. Déficit de presión de vapor	13
3.5. El riego.....	14
3.5.1. Tipos de riego.....	14
3.6. Dendrómetros	15
3.7. Indicadores de estrés hídrico	16
3.7.1. Máxima contracción diaria	16
3.8. Programación de riego	16
3.9. Taxonomía de la naranja.....	17
3.9.1. Necesidades hídricas de la naranja	18

4.	MATERIALES Y METODOS.....	19
4.1.	Localización	19
4.1.1.	Características edafoclimáticas	19
4.1.2.	Vegetación	21
4.1.3.	Fauna	21
4.2.	Materiales	21
4.2.1.	Material de campo	22
4.2.2.	Material de gabinete	22
4.2.3.	Material biológico.....	22
4.2.4.	Equipos	22
4.3.	Metodología	22
4.3.1.	Metodología de la investigación.....	22
4.3.2.	Identificación de plantas	22
4.3.3.	Análisis de suelo.....	23
4.3.4.	Pruebas de infiltración	25
4.3.5.	Instalación de Dendrómetros	26
4.3.6.	Mantenimiento de los dendrómetros	27
4.3.7.	Medición de la variación del diámetro del tronco	27
4.3.8.	Análisis climático	28
4.3.9.	Programación de riego	30
4.3.10.	Evaluación agronómica	31
4.4.	Diseño experimental	31
4.4.1.	Modelo Estadístico	32
4.4.2.	Características del área experimental.....	32
4.4.3.	Variables de estudio	33
4.4.4.	Croquis del área experimental	34
5.	RESULTADOS Y DISCUSION	35
5.1.	Infiltración.....	35
5.2.	Características físicas del suelo	35
5.3.	Precipitación	36
5.4.	Temperatura	38
5.5.	Programación de riego.....	39

5.5.1. Programación de riego para los diferentes tratamientos	41
5.6. Relación de DPV y ETc.....	42
5.7. Fluctuaciones de diámetro del tronco.....	43
5.7.1. Contracción diaria del tronco	44
5.7.2. Análisis de la Evapotranspiración y la contracción diaria del tronco por tratamiento	44
5.7.3. Análisis de la Determinación de la CDT y la ETc para cada tratamiento	47
5.7.4. Evaluación de la CDT y DPV para los diferentes tratamientos.....	51
5.7.5. Evaluación de comportamiento del DPV y la CDT	55
5.8. Variables agronómicas.....	58
5.8.1. Diámetro de tronco	58
5.8.2. Análisis de floración.....	63
5.8.3. Número de frutos	64
6. CONCLUSIONES.....	66
7. RECOMENDACIONES.....	68
8. BIBLIOGRAFIA.....	69
9. ANEXOS	77

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Taxonomía de la naranja.....	17
Tabla 2 Datos climáticos periodo 1996 – 2012, SENAMHI.....	20
Tabla 3 Características físicas del suelo del área experimental	36
Tabla 4 . Precipitación semanal	37
Tabla 5 Programación de riego mediante el método USDA	39
Tabla 6 Aplicación de riego a los diferentes tratamientos.....	41
Tabla 7 Determinación de la CDT y la ETc, en los tratamientos.....	50
Tabla 8 Determinación de la contracción diaria del tronco y DPV	54
Tabla 9 Análisis de varianza para el incremento de diámetro del tronco después de los 30 días	58
Tabla 10 Prueba de medias del diámetro del tronco a los 30 días	59
Tabla 11 Análisis de varianza para el incremento de diámetro del tronco después de los 60 días	60
Tabla 12 Prueba de medias del diámetro del tronco a los 60 días	60
Tabla 13 Análisis de varianza para el incremento de diámetro del tronco después de los 90 días	61
Tabla 14 Prueba de medias para el diámetro del tronco a los 90 días	61
Tabla 15 Número de frutos.....	64

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación geográfica de la Estación Experimental de Sapecho	19
Figura 2 Precipitación efectiva mensuales (periodo de registro 1996 - 2015).....	20
Figura 3 Identificación de plantas.....	23
Figura 4 Descripción de horizontes	23
Figura 5 Secado del suelo y pesaje del suelo	25
Figura 6 Toma de muestra del suelo	25
Figura 7 Prueba de infiltración	26
Figura 8 Instalación de dendrómetros	27
Figura 9 Coeficientes de cultivo (Kc) de la naranja	29
Figura 10 Croquis del Diseño Experimental	34
Figura 11 Velocidad de infiltración del agua en el suelo.....	35
Figura 12 Precipitación acumulada (mm).....	37
Figura 13 Registro de temperaturas durante el periodo de estudio	38
Figura 14 Balance hídrico durante el periodo de estudio.....	40
Figura 15 Aplicación de riego.....	41
Figura 16 Relación entre la Evapotranspiración del cultivo (ETc) y el Déficit de Presión de Vapor (DPV), durante el periodo de evaluación	43
Figura 17 Comportamiento del ETc y CDT del tratamiento T1.	45
Figura 18 Comportamiento del ETc y CDT del tratamiento T2	46
Figura 19 Comportamiento del ETc y CDT del tratamiento T3	47
Figura 20 Relación entre; la contracción diaria del tronco (CDT) T1 (lamina de riego al 100%) la evapotranspiración del cultivo (ETc)	48
Figura 21 Relación entre; la contracción diaria del tronco (CDT) T2 (lamina de riego al 50%) la evapotranspiración del cultivo (ETc)	49
Figura 22 Relación entre; la contracción diaria del tronco (CDT) T3 (lamina de riego al 0%) la evapotranspiración del cultivo (ETc)	50
Figura 23 Relación entre; Contracción diaria del tronco (CDT), T1 (lamina de riego al 100%) y el Déficit de Presión de Vapor (DPV)	52
Figura 24 Relación entre; Contracción diaria del tronco (CDT), T2 (lamina de riego al 50%) y el Déficit de Presión de Vapor (DPV)	53

Figura 25 Relación entre; Contracción diaria del tronco (CDT), T3 (lamina de riego al 0%) y el Déficit de Presión de Vapor (DPV)	54
Figura 26 Comportamiento de DPV y CDT del tratamiento T1	55
Figura 27 Comportamiento de CDT y DPV del tratamiento T2	56
Figura 28 Comportamiento de CDT y DPV del tratamiento T3	57
Figura 29 Prueba de medias para diámetro del tronco	62
Figura 30 Evaluación de floración	63

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Datos del proceso de infiltración	77
Anexo 2. Clasificación de la velocidad de infiltración.....	77
Anexo 3. Resumen de las propiedades Físicas del suelo según texturas	78
Anexo 4. Rangos de velocidad de infiltración básica de los diferentes perfiles de suelo	78
Anexo 5. Triangulo de texturas	79
Anexo 6. Análisis físico químico de suelos	80
Anexo 7. Programación de riego	81
Anexo 8. Datos de Déficit de Presión de Vapor.....	84
Anexo 9. Variaciones del diámetro del tronco	88
Anexo 10. Instalación en campo de termo higrómetro.....	90
Anexo 11. Instalación de dendrómetros	90

RESUMEN

El presente estudio se llevó en los predios de la Estación Experimental de Sapecho, la misma que está ubicada en el Municipio de Palos Blancos a 278 km de la ciudad de La Paz, a una altitud de 450 msnm, una precipitación anual de 1600 mm/año. Debido a la escasa información sobre los métodos de riego, conocer el estado hídrico de la planta facilita la aplicación de riego ayuda con la baja productividad a consecuencia del cambio climático y escasas lluvias.

Esta investigación se realizó con el objetivo de determinar el estado hídrico del cultivo de naranja (*Citrus sinensis* L. Osbeck) con el uso de dendrómetros, para este estudio se trabajó bajo un diseño de bloques completamente al azar (DBCA) con tres bloques y tres tratamientos, donde se evaluó las variables: contracción diaria del tronco (CDT), variables climáticas: temperatura, precipitación pluvial, humedad relativa, evapotranspiración de cultivo (ETc), déficit de presión de vapor (DPV), las variables agronómicas fueron: diámetro del tronco, número de flores y número de frutos. Los datos obtenidos se sometieron a un análisis de coeficiente de correlación de Pearson ($P\text{-valor} \leq 0,05$) para determinar la relación que existe entre parámetros derivados de las fluctuaciones del diámetro del tronco, el DPV y ETc. Se observó que el CDT en los tratamientos presentaron un porcentaje de determinación con el ETc de T1 25%, T2 65% y T3 69% y con el DPV de T1 20%, T2 53% y T3 66%, el porcentaje de determinación del DPV y ETc fue de 86%. Los resultados mostraron que el CDT es un indicador del estrés hídrico. Con respecto a las variables agronómicas el crecimiento del diámetro del tronco, T1) 5,65cm, T2) 3,87 cm y T3) de 2,47 cm. En la evaluación de número de flores los datos obtenidos del T1) es de 71 flores por rama, T2) 60 flores y 42 flores por rama en el tratamiento sin riego, en efecto el riego reduce el estrés hídrico e incrementa la floración. Debido a la edad del cultivo la cantidad de frutos fue muy reducida una gran cantidad de frutos en desarrollo fueron abortadas por el árbol de naranja. La programación de riego con el uso de dendrómetros facilita la programación de riego y ayuda a reducir los efectos adversos del estrés hídrico en el cultivo de naranja.

Palabras clave: estrés hídrico, contracción, correlación, déficit de presión de vapor

ABSTRACT

The present study was conducted on the premises of the Sapecho Experimental Station, which is located in the municipality of Palos Blancos, 278 km from the city of La Paz, at an altitude of 450 meters above sea level, with an annual rainfall of 1600 mm/year. Due to the scarce information on irrigation methods, knowing the water status of the plant facilitates the application of irrigation helps with the low productivity as a result of climate change and low rainfall. This research was conducted with the objective of determining the water status of the orange crop (*Citrus sinensis* L. Osbeck) with the use of dendrometers. For this study, a completely randomized block design (CRBD) with three blocks and three treatments was used to evaluate the following variables: daily trunk shrinkage (DT), climatic variables: temperature, rainfall, relative humidity, crop evapotranspiration (ETc), vapor pressure deficit (VPD), and agronomic variables: trunk diameter, number of flowers and number of fruits. The data obtained were subjected to Pearson correlation coefficient analysis ($P\text{-value} \leq 0.05$) to determine the relationship that exists between parameters derived from fluctuations in trunk diameter, DPV and ETc. It was observed that the CDT in the treatments presented a percentage of determination with the ETc of T1 25%, T2 65% and T3 69% and with the DPV of T1 20%, T2 53% and T3 66%, the percentage of determination of the DPV and ETc was 86%. The results showed that CDT is an indicator of water stress. With respect to agronomic variables, trunk diameter growth, T1) 5.65 cm, T2) 3.87 cm and T3) 2.47 cm. In the evaluation of the number of flowers, the data obtained from T1) is 71 flowers per branch, T2) 60 flowers and 42 flowers per branch in the treatment without irrigation, in effect irrigation reduces water stress and increases flowering. Due to the age of the crop the amount of fruits was very reduced and a large number of developing fruits were aborted by the orange tree. Irrigation scheduling with the use of dendrometers facilitates irrigation scheduling and helps to reduce the adverse effects of water stress on the orange crop.

Key words: wáter stress, contraction, correlation, vapor pressure deficit

1. INTRODUCCIÓN

De acuerdo con Bruinsma (2003), la producción mundial de alimentos depende del agua, no solo en forma de precipitación, sino también como riego, las tierras de regadío representan solamente el 18% de las tierras agrícolas a nivel mundial.

El agua desempeña un papel crucial en la producción local y mundial de alimentos. Más de un 80% de las tierras agrícolas del mundo depende de la lluvia; en esas regiones, la productividad de los cultivos depende únicamente de una precipitación suficiente para satisfacer la demanda evaporativa y la consiguiente distribución de humedad del suelo (Bates *et al*, 2008).

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (2020), las tierras con regadío constituyen 3.3 millones de km² aproximadamente, estas representan solo el 2.5% de la superficie terrestre, que representa el 20% de la tierra cultivada y que genera el 40% de la producción agrícola.

La superficie bajo riego en Bolivia solo cubre el 9.7% de la superficie cultivada que alcanza 2.61 millones de hectáreas, el mayor porcentaje de cultivos bajo riegos se encuentran en las zonas áridas del país, en cuanto área irrigada del total el 95% se utiliza el riego por superficie, el 4% riego por aspersión y el 1% riego localizado (IICA, 2010).

En el municipio de Palos Blancos en su agricultura la superficie cultivada es de 16.304,57 ha. El cultivo de naranja ocupa un 28.71%, le sigue el cacao con un 25.99%, el plátano (postre) con 13.06% y plátano (banana) con 8.53% y el 23.71% entre otros cultivos, no se tiene sistemas de riego para los cultivos (CECAD, 2017).

El dendrómetro es un instrumento que mide las variaciones de diámetro del tronco de dilatación y contracción, mostrando la forma en la que la planta utiliza el agua y las tendencias de comportamiento en periodos largos, el dendrómetro se utiliza para monitorizar el crecimiento a escala temporal, para comprender mejor las interacciones entre los mecanismos fisiológico, ambientales y entender a qué factores ambientales responden las plantas (Del Valle, 2011)

Zambrano (2014), indica que la cantidad de agua que requiere el cultivo de naranja oscila entre los 1200 – 1500 mm/años bien distribuidos durante el año, en zonas donde la

sequía prevalece el riego es indispensable para que el cultivo se desarrolle sin ningún problema. El naranjo agrio es menos exigente al riego, mientras que el naranjo dulce se desarrolla bien con altas precipitaciones.

1.1. Antecedentes

Según Vélez *et al.* (2012), el déficit hídrico durante la fase de floración y el cuajado del fruto ocasiona la caída de flores y frutos pequeños, disminuyendo los volúmenes de producción, la aplicación de riego del 90% y 60% de las necesidades del cultivo no mostraron diferencias en el número de frutos por árbol, mientras que la producción se vio disminuida de un 5% a un 15%.

De acuerdo con De la Rosa (2013), en su estudio realizado para desarrollar líneas de referencia capaces de predecir valores de potencial hídrico del tallo y la máxima contracción diaria en base a variables climáticas, en donde la humedad volumétrica se mantuvo cercanos a la capacidad de campo y el potencial hídrico del tallo mostro valores mínimos anuales de aproximadamente -1MPa, en cuanto a la máxima contracción diaria presento un patrón similar al de las variables climatológicas.

Díaz (2015), indica que la máxima contracción diaria es considerada un índice confiable de las fluctuaciones del diámetro del tronco para la programación y automatización del riego, las ecuaciones de referencia pueden ser obtenidas en árboles bien regados dentro de la misma parcela, dentro de los factores que pueden afectar los valores obtenidos de las lecturas son la carga productiva, la edad del cultivo y el tamaño del árbol.

1.2. Planteamiento del problema

El cultivo de naranja (*Citrus sinensis* L. Osbeck), tiene una sensibilidad en el rendimiento de frutos en relación al estrés hídrico, siendo el suministro de agua muy importante durante la floración y fijación de los frutos. La programación del riego es un asunto crítico, no se debe aplicar el riego fuera de la zona de las raíces del árbol que no pueda absorber, los cítricos en general pueden tener raíces bastante profundas pero la mayoría de las raíces activas se encuentran en los primeros dos pies de profundidad. Equipos como los dendrómetros ayuda a identificar las necesidades hídricas de los árboles, así obtener una

programación de riego eficaz con poca pérdida de agua y generando mayor aprovechamiento del líquido elemento.

1.3. Justificación

Actualmente la producción de cítricos bajo sistemas de riego en la región de Alto Beni es casi nula o escasa ya sea por la falta de información sobre los métodos de riego y los altos costos que los mismos representan por lo cual se debe realizar investigación que ayuden a mejorar la producción de cítricos con métodos modernos y eficaces.

Con la realización de esta investigación se pretende obtener una nueva forma de producción de naranja, con la aplicación de riego, utilizando indicadores de estrés hídrico como ser los dendrómetros para la programación.

De esta manera se pretende incentivar con técnicas de producción a los agricultores y potenciar su rendimiento del cultivo de naranja considerando diferentes énfasis en la programación de riego con las contracciones máximas del tronco.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Determinar el estado hídrico del cultivo de naranja (*Citrus sinensis* L. Osbeck) a partir del uso dendrómetros en la Estación Experimental de Sapecho.

2.2. Objetivos específicos

- Establecer la programación de riego a partir de la oscilación y contracción diaria del tronco.
- Evaluar la sensibilidad de la Contracción Diaria del Tronco (CDT), el estado hídrico del cultivo de naranja bajo la aplicación de diferentes láminas de riego.
- Evaluar el efecto de diferentes láminas de riego en el comportamiento agronómico del cultivo de naranja.

2.3. Hipótesis

Ho. La aplicación de riego no afecta en el crecimiento del diámetro del tronco en los diferentes tratamientos.

Ha. Al menos uno de los tratamientos presenta un mayor crecimiento del diámetro del tronco.

3. REVISION BIBLIOGRAFICA

3.1. El agua y la agricultura

El sector agrícola es el mayor consumidor de agua en el mundo con un 65% ya que no se tiene un sistema de riego eficiente, razón por la que provoca pérdidas excesivas del líquido elemento, le sigue el sector industrial con 25% y el uso doméstico, comercial, servicio urbano el 10%, esto genera que muchas regiones hallan alcanzado el límite de aprovechamiento del agua lo que lleva a su sobre explotación (Avilés , 2006).

Salazar (2014), señala que el uso eficiente del agua en la agricultura es fundamental para garantizar la producción alimentaria y el trabajo de los agricultores, la eficiencia en el uso del agua es la relación existente entre la biomasa presente en un cultivo por unidad de agua utilizada por éste en un determinado momento

Como indica Fernández (2010), que el agua es elemento esencial para la vida siendo un factor limitante, para la agricultura y la producción de cultivos, la necesidad del agua para el desarrollo de las antiguas civilizaciones humanas hizo que estas se asentaran en cercanías de ríos que suministraban agua para a sus cultivos así realizar una agricultura de regadío

El sector agrícola es responsable de la extracción del 70% de los recursos hídricos, el uso industrial el 20% y el uso doméstico el 10%, la agricultura por regadío produce el 40% de los alimentos en un 20% de la superficie cultivada en el mundo (Mejías, 2017).

Se estima que el riego de tierras agrícolas consume entre el 33% y el 90% de los recursos hídricos en el mundo lo cual convierte este método en ineficiente que afecta el recurso hídrico, para lograr un uso eficiente del agua es necesario la optimización del riego, con una alta productividad en el racionamiento de agua mediante métodos que contribuyan al incremento de los rendimientos económicos (Betancourt *et al.* 2017).

3.2. Comportamiento del agua en el suelo

El contenido de agua en el suelo tiene un efecto principal sobre la disponibilidad de agua para el desarrollo de las plantas, es el mayor componente de protoplasma, es indispensable para que las plantas realicen la fotosíntesis y la transformación de

almidones en azúcar, actúa como solvente en el cual los nutrientes se mueven dentro de las partes de la planta (Cisneros, 2003).

El suelo además de actuar como el soporte de las plantas es reservorio de agua y de minerales que son absorbidos por las raíces, en el suelo comprende un sistema disperso formado por tres fases: sólida líquida y gaseosa, de las cuales se desprende el comportamiento del agua en el suelo, cuya consecuencia es la existencia de interfaces: sólido-líquido, sólido-gas y líquido-gas (Pariani, 2005).

El comportamiento del agua en el suelo depende de las propiedades físico-químicas y de las fuerzas que ejercen sobre la misma, incluso aquellas que se oponen al movimiento del agua en el suelo. El agua siempre está en movimiento, siendo la rapidez con la que se mueve y su dirección de importancia en procesos que se da en la biosfera (Callisaya, 2018).

El agua es determinante para el desarrollo de las plantas y principal medio de transporte de sustancias nutritivas que toman del suelo, el consumo de agua dependerá del tipo de cultivo como también el clima de la zona, el agua es imprescindible para que las plantas realicen su proceso de desarrollo y crecimiento (Fernández, 2010)

3.2.1. Características físicas del suelo

Los factores formadores de suelos se refieren a los agentes, fuerzas o condiciones que influyen sobre el material del suelo con la capacidad de cambiarlo o modificarlo son condiciones ambientales externas al suelo tales como: los organismos (que afectan al suelo físico y químicamente), clima (precipitación, temperatura, los vientos y los fenómenos de evapotranspiración), material parental, relieve y el tiempo (Ramírez , 1997)

El suelo es un sistema complejo compuesto de partículas sólidas (minerales y orgánicas), agua en estado de solución del suelo y aire. El aire y el agua ocupan espacios o poros comprendidos en una matriz sólida. La estructura del suelo, la textura y la porosidad son características que afectan al suelo en la retención del agua (Fuentes & García , 1999).

Los suelos se forman a partir de roca alterada, sedimentos o de material biológico en descomposición, mediante procesos de alteración mecánica o química. Estos procesos

varían en su complejidad, dependen del material de origen, de la topografía, del clima, del tiempo transcurrido y de la vegetación (Silva *et al.* 2013).

3.2.1.1. Textura

Se refiere a la proporción relativa de los separados del suelo: arena, limo y arcilla que se encuentren en una muestra de suelo, con el tiempo esta puede presentar cambios e influye en el uso del suelo principalmente en: el movimiento del agua y aire, en el manejo de suelo, en la fertilización y la determinación de la génesis del suelo (Owen, 1995).

La textura representa el porcentaje en que se encuentran distribuidos los elementos que constituyen el suelo; arena gruesa, arena media, arena fina, limo, arcilla. El suelo presente una buena estructura cuando la proporción de los elementos que lo constituyen le dan la posibilidad de ser un soporte capaz de favorecer la fijación del sistema radicular de las plantas, su nutrición y su infiltración de agua (Rucks *et al.* 2004).

La textura hace referencia a la composición granulométrica de la fracción inorgánica del suelo, las partículas minerales del suelo están establecidas por su tamaño, es diversa su clasificación que se utilizan en la actualidad, aunque todos aceptan de manera establecida los términos de grava, arena, limo y arcilla, la partícula del suelo afecta tanto a su superficie interna como al número y tamaño de los poros (López , 2006).

Las propiedades físicas como lo es la textura, expresa la distribución del tamaño de las partículas sólidas de las que está compuesto el suelo ya que por este medio se pueden estimar ciertos atributos como ser: la capacidad productiva, el comportamiento mecánico, capacidad de retención de agua, velocidad de infiltración, densidad aparente, capacidad de usos contrastándola con la profundidad y pendiente (Pereira *et al.* 2011).

3.2.1.2. Estructura

Formada a partir de la agregación de las partículas del suelo, es la responsable de la aireación, infiltración, humedad y temperatura del suelo, posee la resistencia de que los agregados del suelo no sean destruidos, que se le denomina estabilidad estructural (Ramírez , 1997).

Los arreglos de las partículas del suelo son definidos como estructura, considerando que son los agregados o elementos estructurales que se forman por la agregación de las fracciones granulométricas.

La estructura determina el espacio entre las partículas del suelo que son sobresalientes los macro poros, según su nivel de observación estas pueden hablar de macroestructura o microestructura (Rucks *et al.* 2004).

Se entiende como estructura a las fracciones de partículas de: arena, limo y arcilla, que se agrupan entre sí para formar diferentes agregados: granular, laminar, columnas, los suelos que no tengan buena estructura son considerados de baja productividad (Chipana *et al.* 2018).

3.2.1.3. Densidad aparente

Es la media en la que se determina el espacio poroso del suelo, la compactación y la facilidad de circulación de agua y aire, su valor varía según los cambios que se produzcan en el suelo respecto al volumen de los poros ya que tiene la capacidad de almacenaje de agua en el suelo (Carrazón, 2007)

La densidad aparente es la relación entre el peso de una muestra de suelo y el volumen que ella ocupa, y su valor es diferente para cada tipo de suelo si bien para suelos con textura similar (Fernández, 2010).

3.2.2. Estados del agua del suelo

El suelo es un sistema complejo constituido por material sólido, líquido y gaseoso, donde la parte líquida es el agua que llena en su totalidad o parcialmente los espacios libres entre partículas y que varían en su composición química y su facilidad de movimiento (Gurovich, 1985)

3.2.2.1. Punto de Marchitez Permanente

Es el porcentaje de humedad retenida a una tensión de 15 atm en la cual las plantas no pueden reponer el agua suficiente para recobrar su turgencia y la planta se marchita

permanentemente, el punto de marchitez permanente depende también de la especie vegetal, de la cantidad de agua utilizada, la profundidad de las raíces entre otros. Representa el agua no disponible, agua que se encuentra fuertemente retenida por diferentes fuerzas y que a las plantas se les dificulta su aprovechamiento (Cisneros, 2003).

El agua del suelo se va perdiendo progresivamente por la evaporación o al ser absorbida por las plantas, el momento en el que las plantas ya no puedan absorber más agua de la que necesitan estas empiezan a marchitarse irreversiblemente es denominado punto de marchitez permanente (Fuentes & García , 1999)

3.2.2.2. Capacidad de campo

Representa la cantidad de agua retenida, posteriormente que el exceso de agua por riego o por precipitación ha sido drenado por acción de la gravedad (Bracamonte, 1998).

Es el máximo nivel de humedad que el suelo puede retener, en este estado los poros contienen tanto como aire como agua, mientras que los poros pequeños aún están repletos de agua, es considerado también como el contenido de humedad que es ideal para el crecimiento de los cultivos (Carrazón, 2007).

3.3. Relación agua – suelo – planta

Considerando la acción continua en la relación suelo – planta – atmosfera el agua se mueve en el sentido de potenciales decrecientes con el fin de satisfacer la demanda, para mantener el flujo constante de agua esta debe estar disponible en el suelo (Pariani, 2005).

El agua que absorbe la planta a través de las raíces, parte de esa agua provee el hidrogeno necesario para la materia vegetal, mientras que la mayor parte es usada en la transpiración hacia la atmosfera, a través de las estomas que estos se abren en presencia de suficiente agua, en cambio ante escases de agua las estomas se cierran (Briceño *et al.* 2012).

3.3.1. Evaporación

Cisneros (2003), señala que el agua perdida en forma de vapor de agua de la superficie del suelo, agua o en la superficie de las hojas de las plantas, se ve afectado por varios factores entre estos: la radiación solar, latitud en la que se encuentra la superficie, estación del año, hora del día, presión de vapor, el viento y la presión atmosférica

Considerada evaporación al proceso en el que el agua líquida se pasa a ser vapor de agua la cual se retira de la superficie evaporante, el agua se evapora de lagos, ríos, caminos, suelos y de la vegetación mojada, este proceso requiere de un factor imprescindible que es la energía, que son proporcionadas por: la radiación solar y la temperatura ambiente (Allen *et al.* 2006).

3.3.2. Transpiración

Los cultivos pierden agua a través de los estomas, estas son pequeñas aberturas ubicadas en las hojas de las plantas de las cuales atraviesan los gases y el vapor de agua hacia la atmosfera, la transpiración es influenciada por las características del cultivo, el medio en el que se producen y las practicas que se realizan en el cultivo (Allen *et al.* 2006)

El proceso de vaporización del agua líquida contenida en el tejido vegetal y la remoción del agua hacia la atmosfera es denominado como transpiración, gran parte del agua que ingresa a la planta es transpirada y solo una pequeña cantidad es utilizada por la planta, los cultivos pierden este vapor de agua a través de los estomas que se encuentran en las hojas (Briceño *et al.* 2012).

3.3.3. Evapotranspiración

Es denominado evapotranspiración a la cantidad de agua transpirada por el cultivo y evaporada por la superficie donde se asienta el cultivo, el rendimiento del cultivo es proporcional a las mejores condiciones climáticas (Fuentes & García , 1999)

Carrazón (2007), menciona que la mayor parte del agua en la planta no permanece en ella esta es liberada a la atmosfera en forma de vapor de agua a través de las hojas, este

proceso tiene más relevancia durante días cálidos, secos, con existencia de vientos y cielos despejados, donde la evapotranspiración es la suma del proceso de transpiración que realizan las plantas y la evaporación del agua del suelo que rodea al cultivo

El cultivo consume agua a través de las raíces para su desarrollo que permite la producción, y esta pasa a la atmosfera por las hojas y la evaporación desde el suelo que depende las condiciones climáticas y el tipo de cultivo (Fernández, 2010).

3.3.4. Factores que climáticos que influyen en la evapotranspiración

3.3.4.1. Temperatura

El calor emitido por la tierra y la radiación solar que absorbe la atmosfera elevan las temperaturas, el aire circundante sensibilizado por acción del calor transfiere energía al cultivo, es entonces cuando se ejerce cierto control en la evapotranspiración, esta acción varía dependiendo si el día esta soleado y cálido a un día nublado y fresco (Allen *et al.* 2006).

El consumo de agua por las plantas se puede ver afectada por factores externos siendo la temperatura una de ellas, cuando esta es elevada por un cielo despejado y caluroso las plantas absorben más agua para continuar con su desarrollo ya que la transpiración dentro de la planta se incrementa (Briceño *et al.* 2012)

3.3.4.2. Humedad relativa

Según Martínez (2007), la humedad relativa se describe como el contenido de vapor de agua presente, cociente entre la fracción molar de vapor de agua en un espacio dado y la fracción molar del vapor de agua en su condición de vapor

Conocida como la relación entre la cantidad de agua que el aire contiene a cierta temperatura y la cantidad de agua que podría tener contener si estuviera saturado a la misma temperatura, la humedad relativa puede verse afectado con el cambio de temperatura durante el día (Allen *et al.* 2006).

Es el cociente en porcentaje entre la cantidad de vapor de agua que contiene el aire y cantidad que necesitaría contener para que esta se saturase, en relación a los cultivos una humedad relativa elevada hace que la planta pierda agua a un ritmo mucho menor que cuando esta es baja (Briceño *et al.* 2012).

3.3.4.3. Velocidad del viento

El efecto del viento en un sistema de riego por aspersión, es un punto a tomar en cuenta dado que la eficacia del riego dependerá de este, puede verse afectada en la distribución pareja de riego sobre la superficie ocasionando pérdidas de agua y eficacia de área regada (Mujeriego, 1990).

Dada las características del viento son importantes para el computo de la evapotranspiración, esta varía según su altitud puede presentar una velocidad y dirección distinta, es expresada como el promedio sobre el intervalo determinado de tiempo (Allen *et al.* 2006)

3.4. Necesidades hídricas de los cultivos

Según Gurovich (1985), se denomina como uso-consumo a la cantidad de agua utilizada por las diferentes especies vegetales estas sean vegetación natural o cultivos destinados al consumo para la formación de tejidos, el agua se pierde a través de las hojas.

La deficiencia de agua cada vez es más crítica debido al cambio climático, determinar el déficit hídrico en cultivos a reponer con riego ayuda a elevar la tasa de rendimiento, la necesidad de agua y su utilización en los cultivos son dependientes de los factores climáticos, botánicos y edáficos (Gonzales & Hernández , 2000)

Según el estado fenológico del cultivo, las condiciones climáticas como ser; la temperatura, humedad relativa y la velocidad del viento, las características físicas del suelo, son algunos factores que influyen en la demanda de agua en los cultivos (IIA, 2000)

3.4.1. Cálculo de la evapotranspiración de referencia

3.4.1.1.1. Método Hargreaves

El método Hargreaves más usado en investigaciones que requiere datos de temperatura máxima y mínima como parámetros de medición su uso en campo es el más utilizado dado a su facilidad de conseguir datos climáticos de estaciones meteorológicas cercanas (Almorox & Aguirre , 2012).

Toro & Arteaga (2015), indican que la estimación de la evapotranspiración es necesaria para la calcular el requerimiento de agua en los cultivos, la programación y gestión de recursos del agua, para ello existe distintos métodos que han sido empleados a lo largo del tiempo uno de ellos la ecuación de Hargreaves que ayuda a estimar el cálculo de la evapotranspiración con datos meteorológicos fácilmente disponibles.

$$ET_o = 0,0023(T_{media} + 17,8)(T_{max} - T_{min})^{0,5} Ra$$

Donde:

ET_o: Evapotranspiración de referencia (mm)

T_{media}: Temperatura media (°C)

T_{max}: Temperatura máxima(°C)

T_{min}: Temperatura mínima (°C)

Ra: Radiación extraterrestre (MJ/m²dia)

3.4.2. Déficit de presión de vapor

López et al. (2009), mencionan que el déficit de presión de vapor es la diferencia entre la presión de saturación y la presión actual de vapor, donde la presión actual de vapor será más baja que la presión de vapor de saturación cuando el aire no se satura, un DPV igual a cero indica que el ambiente sostiene el máximo vapor de agua posible.

La cantidad de moléculas de agua que se puede almacenar en el aire depende de la temperatura, mientras mayor sea la temperatura del aire más alta será la capacidad de

almacenar vapor de agua y mayor será la presión de saturación de vapor (Allen *et al.* 2006).

$$DPV = e_s - e_a$$

Donde:

DPV = Déficit de Presión de Vapor

e_s = Presión de saturación de vapor (kPa)

e_a = Presión real de vapor (kPa)

3.5. El riego

El agua requerida por los cultivos es aportada de forma natural por las precipitaciones, pero cuando estas no abastecen las necesidades que tiene el cultivo o son muy escasas es necesario aportar el líquido elemento al cultivo de forma artificial a través del riego, en base a las necesidades hídricas que tiene cada cultivo es que se realiza el riego (Cisneros, 2003).

Acuña (2014), define como la aplicación sistemática del agua adicional a la precipitación a la zona radicular del cultivo, para su crecimiento óptimo y también para cubrir las necesidades de lavado de sales y así evitar su acumulación en el perfil del suelo, se aplica riego solamente cuando el agua de precipitación es escasa o no coincide con los períodos de máxima demanda de las plantas

3.5.1. Tipos de riego

Existe una gran cantidad de sistemas de riego, el mismo que se emplea dependiendo; al tipo de suelo en que se aplique, el tipo de cultivo y de la calidad del agua que emplearemos en el riego (Carretero *et al.* 2006)

Demin (2014), indica que los métodos de riego se pueden clasificarse del siguiente modo:

Riego por superficie, riego que se caracteriza por tener bajos costos de inversión y no requiere consumo de energía, estos poseen gran pérdida de agua por infiltración, pero

se compensa por la capacidad de incrementar la eficiencia del mismo. Existe varias formas de regar por superficie: por surcos, por tendido y por melga

Riego Presurizado, en un sistema de riego presurizado el agua es conducido por tuberías, el agua se encuentra con cierta presión permitiendo que la misma llegue a las plantas, evitando la pérdida de agua por infiltración en la conducción y distribución, un sistema de riego presurizado tiene un costo elevado por sus diferentes accesorios y materiales que es compensado por eficiencia, estos pueden ser: por goteo, por micro aspersión y por aspersión.

3.6. Dendrómetros

Según Mingot (1988), indica que el dendrómetro es un instrumento que mide las variaciones del diámetro del tronco, mostrando el uso que da la planta al agua y las tendencias de comportamiento en periodos largos, el uso que se le da a este instrumento es de monitorear el crecimiento en escala temporal y así comprender la interacción que existe entre los mecanismos fisiológicos y ambientales.

El dendrómetro es un instrumento que mide las variaciones de diámetro del tronco, mostrando la forma en la que la planta utiliza el agua y las tendencias de comportamiento en periodos largos, el dendrómetro se utiliza para monitorizar el crecimiento a escala temporal, para comprender mejor las interacciones entre los mecanismos fisiológico, ambientales y entender a qué factores ambientales responden las plantas (Del Valle, 2011).

Es un sensor de desplazamiento lineal de alta precisión empleado en el campo agronómico para medir las variaciones en el crecimiento del tronco de los árboles o de los frutos y con ello obtener parámetros con los que conocer el estado hídrico de las plantas, su crecimiento, como le influyen las condiciones ambientales o gestionar riegos (De la Flor, 2019).

3.7. Indicadores de estrés hídrico

El estrés hídrico no solo es ocasionado por la escases de agua en donde la transpiración es supera al consumo de agua por la planta, también se atribuye a las bajas temperaturas en el ambiente como también al exceso de salinidad en el suelo (Moreno, 2008).

El agua que se evapora en el área superficial de la planta funciona como estabilizador de la temperatura de las hojas, cuando el cultivo se somete a un estrés hídrico los estomas se cierran ya que estos son responsables de la mayor proporción de perdida de agua en las plantas (López & Arteaga , 2009)

3.7.1. Máxima contracción diaria

Avedaño (2015), indica que las programaciones de riego en base a mediadas de la máxima contracción diaria se basan en valores absolutos dichos resultados manifestaron ventajas respecto de la programación de riego con tensiómetros.

Goldhamer et al, (2004), indican que, para identificar las respuestas de los árboles al déficit de agua, se utilizó oscilaciones diarias del contenido de agua en el suelo - planta, las contracciones máximas y mínimas respondieron antes que el potencial hídrico del tallo al medio día y el potencial hídrico de la hoja antes del amanecer o al mediodía.

Los valores altos en las contracciones diarias del tronco se producen cuando la perdida de agua es mucho mayor a las ganancias, ya sean estas ganancias por riego o por precipitaciones, la absorción radicular es menor al caer la tarde y la absorción es mayor en horas de la mañana hasta la puesta del sol (De la Rosa *et al.*, 2014).

La oscilación del diámetro del tronco ocurre en ciclos durante 24 horas, donde los valores máximos son registrados antes del alba y los valores mínimos durante la tarde, la diferencia de entre estos dos valores se conoce como la máxima contracción diaria (MXC), conocido también como contracción diaria del tronco (CDT) (Moreno *et al.*, 2007).

3.8. Programación de riego

Se le denomina como programación de riego al método que permite determinar el nivel óptimo de agua que se aplicara al cultivo, esto permite establecer la frecuencia y el tiempo de riego tomando en cuenta las condiciones edafoclimáticas, para la programación de

riego es necesario tomar en cuenta la cantidad de agua que consume el cultivo y la cantidad de agua que el suelo pueda almacenar (Ortega & Acevedo , 1999).

La programación de riego inicia considerando una estrategia adecuada para el cultivo calculando la dosis y la frecuencia de riego que permita la distribución homogénea al cultivo, tomando en cuenta parámetros climáticos y características del suelo (Fernández *et al.* 2015).

Para un adecuado manejo del agua en la agricultura es necesario realizar una programación de riego, el cual identifica el momento y la cantidad de agua que se requiera para el desarrollo del cultivo, el cuyo manejo se puede realizar bajo diferentes criterios agronómicos (Otero *et al.* 2017).

3.9. Taxonomía de la naranja

Según Morin (1985) citado por Pardo (2021), la naranja se clasifica en:

Tabla 1.

Taxonomía de la naranja

Nombre común	Naranja
Nombre científico:	<i>Citrus sinensis</i>
Reino:	Vegetal
Orden:	Geraniales
Familia:	Rutáceas

La naranja pertenece a la familia de las Rutáceas, presenta hojas unifoliadas de nerviación reticular de peciolo alado, las flores aparecen posterior al reposo invernal situadas en las axilas de las hojas, su fruto es una baya denominada hesperidio que surge a consecuencia del crecimiento del ovario, de raíz sólida, blanca y en condiciones óptimas del cultivo presenta gran cantidad de pelos radiculares superficiales (González & Tullo, 2019).

3.9.1. Necesidades hídricas de la naranja

Los cítricos entran en estado de reposo inducido por las bajas temperaturas, mientras que en climas cálidos y con buenas precipitaciones los cítricos no entran en estado de reposo, en etapa de sequía no se desarrollan con normalidad, se estima que la precipitación ideal de la naranja oscila entre los 900 a 1500 mm, bien distribuidos durante el año, en una hectárea la precipitación requerida es de 9000 a 15000 m³ (Hernandez , 1991).

Según Gonzáles & Tullo (2019), señalan que la mayor exigencia de agua por el cultivo de cítricos sucede durante el desarrollo vegetativo y el crecimiento de frutos, el consumo anual de agua por planta varía de 600 a 1200 mm, dependiendo a la variedad y porta – injerto.

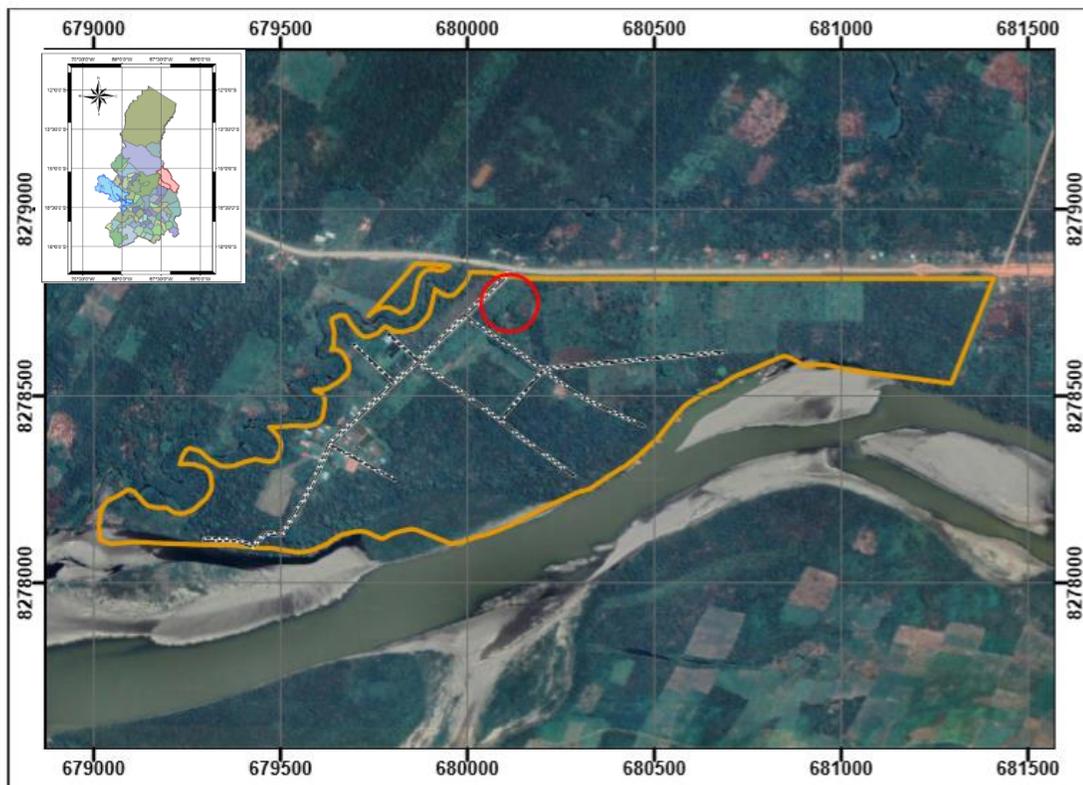
4. MATERIALES Y METODOS

4.1. Localización

El presente trabajo de investigación se realizó en la Estación Experimental de Sapecho (EES), localidad Sapecho, a una distancia aproximada de 270 km desde la ciudad de La Paz, geográficamente se localiza a una latitud sur $15^{\circ}33'53,57''$, longitud oeste $67^{\circ}19'11,23''$ y una altitud de 450 m.s.n.m.

Figura 1

Ubicación geográfica de la Estación Experimental de Sapecho



Fuente: Choque (2022)

4.1.1. Características edafoclimáticas

4.1.1.1. Clima

La región presenta un clima subtropical, húmedo con variaciones estacionales; registrando temperaturas mínimas de $19,2^{\circ}\text{C}$, máximas de $31,6^{\circ}$ y temperatura media de

25,4°C. Las bajas temperaturas se presentan en los meses de junio, julio y parte de agosto las cuales alcanzan una mínima de 16,5 °C (Ticona & Choque, 2017).

Los mismos autores indican que, las precipitaciones más bajas se dan en el mes de agosto de 31,8 mm y presentando fuertes precipitaciones en el mes de enero de 196,5 mm, la humedad relativa media 82,6% y predominancia del viento Noreste 46,3 km/h.

Tabla 2.

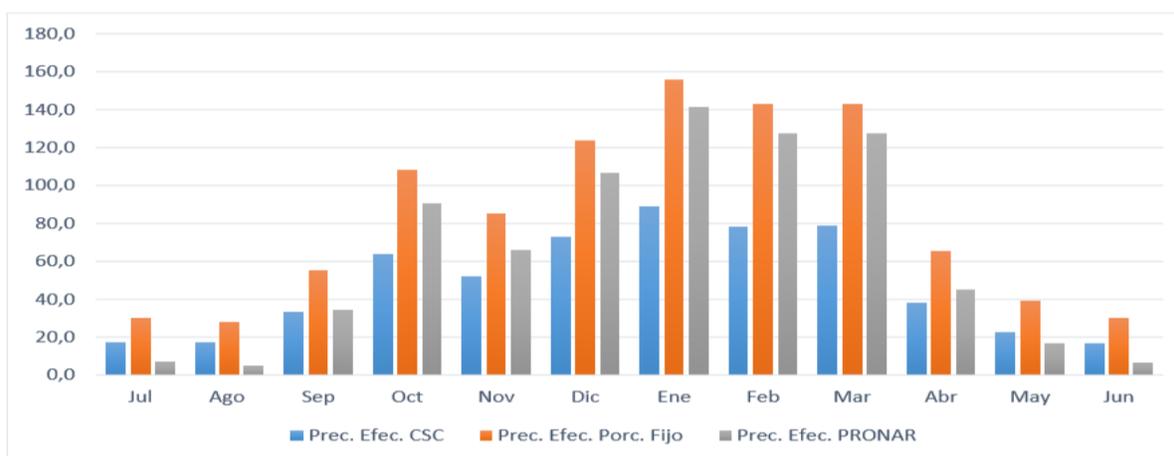
Datos climáticos periodo 1996 – 2012, SENAMHI

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM.
T máx. °C	32,5	31,7	32	31,9	29,2	28,4	29,1	31,3	33	33,4	33	32,8	31,525
T mín. °C	21,2	21,4	21,1	20	18,2	17,6	16,5	16,5	17,3	19,6	20,3	21	19,225
T med. °C	26,9	26,6	26,6	26	23,7	23,0	22,8	23,9	25,2	26,5	26,7	26,9	25,4
PP (mm)	196,5	186	193	88,2	54,6	42,2	40,6	31,8	71	136,6	108,6	163,2	109,4
H.R. (%)	83,6	85,5	84,6	84,9	85,4	85,5	83	80,9	78	78,3	80,5	82,4	82,7

Fuente: Ticona & Choque (2017)

Figura 2

Precipitación efectiva mensuales (periodo de registro 1996 - 2015)



Fuente: Ticona & Choque (2017)

En la figura 2, se muestra la precipitación que ocurre durante el año, la presencia continua de lluvia inicia en septiembre mostrando una precipitación mayor en el mes de enero con

148 mm, a partir del mes de abril las precipitaciones son muy reducidas donde en el mes de agosto se registra precipitaciones menores a 30 mm.

4.1.1.2. Suelo

Al existir una variada gradiente altitudinal, se presentan diferentes relieves topográficos y pendientes variables. La ubicación de la región correspondiente al área de transición entre los yungas y el trópico genera características propias entre ambas. La primera caracterizada por la presencia constante de serranías, laderas frecuentes a lo largo de su faja y ríos en quebradas profunda (Gobierno Autónomo de Palos Blancos, 2008-2012).

Franco y franco arenoso en los horizontes superiores; con franco arcilloso, arcillo y arcillo arenoso, en algunos sectores con franco arenoso, arenoso franco y arenoso en los horizontes inferiores (GAMPB, 2016-2020)

4.1.2. Vegetación

Los Yungas de Bolivia se definen como la región de bosques tropicales mayormente húmedos de la cordillera oriental y el Sub Andino. En el transcurso de los últimos años la presión humana se ha incrementado, afectando gradualmente las características de la cobertura vegetal (GAMPB, 2016-2020).

4.1.3. Fauna

Existe una diversidad importante de especies correspondientes al recurso fauna que forman parte importante del ecosistema local de la región. Como una fuente importante de albergue de la biodiversidad se tiene la Reserva de la Biosfera y Territorio Indígena Pílon Lajas ubicado al noroeste del municipio y al sureste con el Parque Nacional Isiboro Secure, perteneciente al departamento de Cochabamba (GAMPB, 2008-2012).

4.2. Materiales

Para realizar con la investigación fueron empleados los siguientes materiales:

4.2.1. Material de campo

Los materiales que se emplearon son: estacas de madera, cinta métrica, flexo metro, cámara fotográfica, bolsas de plástico, calibrador vernier, libreta de campo, bolsas plásticas, pala, machete, espátula y cilindros

4.2.2. Material de gabinete

Computadora, material de escritorio, programa Microsoft, programa InfoStat.

4.2.3. Material biológico

Árboles de naranja de la variedad valencia tardía de una edad aproximada de 4 a 5 años.

4.2.4. Equipos

Anillos infiltrómetros, cilindros para determinar la densidad aparente, pluviómetros, aforador, pala, flexómetro, dendrómetros, termo higrómetros.

4.3. Metodología

4.3.1. Metodología de la investigación

La metodología que se utilizó en la investigación fue con un enfoque cuantitativo tomando en cuenta que las variables serán cuantificables (Hernández *et al.* 1997).

4.3.2. Identificación de plantas

Para la identificación de plantas en estudio se eligieron árboles de naranja que presenten características similares como ser: área foliar, diámetro del tronco, número de ramas, altura homogénea y edad.

Figura 3

Identificación de plantas



4.3.3. Análisis de suelo

Figura 4

Descripción de horizontes



Para el estudio de suelos se realizó la apertura de una calicata con dimensiones de 1x1x1 metros en la parcela de investigación en la primera semana de agosto, con el fin de observar el movimiento del agua, así como sus propiedades hidro físicas, además de

identificar los horizontes del suelo. Se ha tomado muestras de cada horizonte para realizar el análisis textural, densidad aparente en el laboratorio de EES; mientras que el análisis de punto de marchites permanente, capacidad de campo se realizó en el laboratorio de LAFASA.

- **Análisis textural**

Para determinar la textura del suelo se utilizó el método de sedimentación y lecturas con el hidrómetro de Bouyoucos que mide el contenido de sólidos en suspensión. La misma que consiste en utilizar 50 gramos de suelo, 5 gramos de hexametáfosfato de sodio en un vaso de precipitado y agua destilada, agitando la mezcla por 10 minutos para luego traspasar la solución agitada a una probeta y aforarla a 1000 ml con agua destilada. Una vez obtenida la suspensión suelo agua se realizó la lectura con el hidrómetro y el termómetro a los 40 segundos, dos horas, para finalmente realizar los cálculos determinando el porcentaje de los grupos de partículas. Los resultados fueron expresados en porcentaje.

- **Densidad aparente**

En el análisis de densidad aparente se tomaron muestras no alteradas de análisis de los horizontes A y C, con sus respectivas repeticiones, posteriormente se los pesaron en una balanza digital para luego ser llevadas a la mufla por un lapso de 24 horas.

Una vez secas las muestras se volvieron a pesar, determinándose la relación entre la masa del suelo seco y el volumen total.

$$Dap = \frac{Ms}{Vt} \quad \text{(Ec. 1)}$$

Donde:

Dap: Densidad aparente

Ms: Masa de suelo seco

Vt: Volumen total

Figura 5

Secado del suelo y pesaje del suelo



- Punto de marchitez permanente y capacidad de campo

En la toma de muestras para análisis de Punto de marchitez permanente y capacidad de campo se utilizaron dos cilindros a profundidades de 0 a 20 y 20 a 40 cm, luego enviados al laboratorio de la Facultad de Agronomía y se evaluaron por el método de las ollas de Richards.

Figura 6

Toma de muestra del suelo



4.3.4. Pruebas de infiltración

Las pruebas de infiltración se realizaron utilizando el método de los cilindros infiltro metros de doble cilindro con dos repeticiones en la parcela experimental.

Para la evaluación, se analizaron las ecuaciones de Velocidad de Infiltración y de la lámina de Infiltración Acumulada de Kostiyavok señalado por Callisaya (2018):

- Velocidad de Infiltración: Definido como el volumen de agua que entra en el perfil del suelo por unidad de tiempo.

$$Z_{in} = KT^a \quad (\text{Ec. 2})$$

- Lamina de Infiltración Acumulada: Definido como la cantidad de agua que pasa a través de la superficie del suelo en un determinado tiempo.

$$I = \frac{Z_{in}}{T} = aKT^a \quad (\text{Ec. 3})$$

Figura 7

Prueba de infiltración



4.3.5. Instalación de Dendrómetros

Se realizó la instalación de los dendrómetros una vez establecido el área de investigación, previamente se realizó la limpieza de cada uno de los equipos y la lubricación correspondiente con aceite lubricante a cada uno de los dendrómetros.

La instalación se realizó en el tallo de naranja, a 20 cm de la superficie del suelo previa la limpieza de malezas con la ayuda de un machete en un radio de 1 metro, con la ayuda de alcohol se desinfecto la zona donde se realizó la instalación, la calibración se efectuó en el punto 5 como marcador del dendrómetro.

Figura 8

Instalación de dendrómetros



4.3.6. Mantenimiento de los dendrómetros

El mantenimiento de los dendrómetros se realizó cada 20 días con el fin de disminuir el error en las lecturas a causa del crecimiento del tronco, este mantenimiento se realizó en horas de la tarde al finalizar la última lectura del día, se aplicó aceite lubricante a todos los dendrómetros para que no ocurra oxidación en los equipos.

4.3.7. Medición de la variación del diámetro del tronco

La toma de datos de las variaciones del diámetro del tronco se utilizaron dendrómetros de la marca AEC que tiene un coeficiente de dilatación a 0.

Las lecturas de datos de los dendrómetros se efectuaron cada dos horas a partir de las 6 de la mañana hasta las 6 de la tarde, realizándose 7 lecturas diarias paralelamente se realizó lectura de datos de temperatura y humedad relativa máxima, mínima y media.

Para un mejor registro de los datos de la contracción máxima del tronco (CDT) se realizó la transformación de unidades que el equipo registra que son en milímetros (mm) a micras (μm).

La contracción máxima del tronco (CDT) es la diferencia entre la máxima contracción diaria (MCD) y la mínima contracción diaria (MNCD).

4.3.8. Análisis climático

Para la evaluación climática del área de estudio se instaló un termómetro digital en la parcela de estudio, las variables climáticas evaluadas fueron: temperatura (máxima, mínima y media) humedad relativa (máxima, mínima y media) y precipitación pluvial.

Para la medición de precipitación se instaló un pluviómetro en la parcela de investigación.

- Evapotranspiración de referencia

Para el cálculo de evapotranspiración de referencia se utilizó el método de Hargreaves con los datos climáticos disponibles. Recomendado por Allen *et al.* (2006), en el caso de variables faltantes.

$$ET_o = 0,0023(T_{media} + 17,8)(T_{max} - T_{min})^{0,5} Ra \quad (\text{Ec. 4})$$

Donde:

ET_o : Evapotranspiración de referencia (mm/día⁻¹)

T_{media} : Temperatura media (°C)

T_{max} : Temperatura máxima (°C)

T_{min} : Temperatura mínima (°C)

- Evapotranspiración de cultivo

Una vez obtenido la evapotranspiración de referencia (ET_o) se procedió al cálculo de la evapotranspiración de cultivo mediante la siguiente fórmula.

$$ET_c = ET_o * K_c \quad (\text{Ec. 5})$$

Donde:

ET_c : Evapotranspiración del cultivo (mm días⁻¹).

ET_o : Evapotranspiración de referencia (mm días⁻¹).

K_c : Coeficiente de cultivo (adimensional)

FAO (2014), indica que para realizar el cálculo de la evapotranspiración del cultivo en naranja los coeficientes del cultivo en diferentes etapas fenológicas son:

Figura 9

Coefficientes de cultivo (Kc) de la naranja

Cultivo	Kc inicial	Kc med	Kc final	altura de planta
Cítricos, sin cobertura del suelo				
– 70% cubierta vegetativa	0,70	0,65	0,70	4
– 50% cubierta vegetativa	0,65	0,60	0,65	3
– 20% cubierta vegetativa	0,50	0,45	0,55	2
Cítricos, con cobertura activa del suelo o malezas	0,75	0,70	0,70	
– 70% cubierta vegetativa	0,75	0,70	0,70	4
– 50% cubierta vegetativa	0,80	0,75	0,80	3
– 20% cubierta vegetativa	0,85	0,85	0,85	2

Fuente:(FAO, 2014).

Se consideró el coeficiente de cultivo 0.85 para la fase del cultivo de cítrico con una edad de 3 a 4 años, mismo que fue utilizado en el presente estudio.

- Déficit de presión de vapor

El déficit de presión de vapor se obtiene mediante la diferencia entre la presión la presión de saturación de vapor y la presión real de vapor que se expresa en kPa, según Allen *et al.* (2006).

$$DPV = e_s - e_a$$

Donde:

DPV = Déficit de Presión de Vapor

e_s = Presión de saturación de vapor (kPa)

e_a = Presión real de vapor (kPa)

Los valores de la presión de saturación de vapor se obtuvieron mediante la siguiente ecuación:

$$e_s = \frac{e^0(Tmax) + e^0(Tmin)}{2}$$

Donde:

e_s = Presión de saturación de vapor (kPa)

$e^o T_{max}$ = Presión de saturación de vapor a temperatura máxima

$e^o T_{min}$ = Presión de saturación de vapor a temperatura mínima

El valor de presión real de vapor se obtuvo con la siguiente ecuación:

$$e_s = \frac{e^o(T_{min}) \frac{HR_{max}}{100} + e^o(T_{max}) \frac{HR_{min}}{100}}{2}$$

$e^o T_{max}$ = Presión de saturación de vapor a temperatura máxima

$e^o T_{min}$ = Presión de saturación de vapor a temperatura mínima

HR_{max} = Humedad relativa máxima

HR_{min} = Humedad relativa mínima

4.3.9. Programación de riego

Para determinar el requerimiento de riego que nos indique la cantidad de agua que se aplicó al cultivo, se tomó en cuenta la evapotranspiración y la precipitación efectiva.

La ecuación utilizada para hallar el requerimiento fue:

$$Rr = Et - Pe \text{ (Ec. 6)}$$

Donde:

Rr = requerimiento de riego (cm)

Et = evapotranspiración (cm)

Pe = precipitación efectiva (cm)

La precipitación efectiva fue calculada por el método USDA, tomando en cuenta que los datos fueron recolectados semanalmente, la programación de riego fue efectuada con datos climáticos semanales registrados diariamente.

4.3.10. Evaluación agronómica

Para la recolección de datos agronómicos posterior a la identificación de las unidades a estudio se seleccionó 2 ramas primarias con un promedio de hasta 8 ramas secundarias, de las cuales se recolecto datos de flores y frutos.

- Número de flores

Para evaluación de esta variable se contabilizó todas las flores que hayan pasado la etapa de botón floral esta actividad se realizó cuatro veces durante la investigación cada 20 días.

- Número de frutos

Pasada la floración se contabilizó todos los frutos que hayan podido desarrollarse con normalidad esta evaluación se realizó desde el inicio de la presencia de frutos hasta la culminación de la investigación.

- Diámetro del tronco

La recolección de datos del diámetro del tronco se realizó con la ayuda de un vernier a una altura de 25 centímetros de la superficie del suelo, datos recolectados cada 30 días durante el estudio.

4.4. Diseño experimental

Para el análisis y la interpretación de los datos obtenidos de las variables agronómicas en estudio se empleó un Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA) con tres tratamientos y tres repeticiones debido a que el área experimental no es uniforme y cuenta con un cultivo asociado con plantas de banano y árboles de naranja muy antiguos. Para la evaluación y comparación de medias de los tratamientos se empleó la prueba de Duncan al 5% de significancia. (Vicente, 2015)

4.4.1. Modelo Estadístico

$$X_{ij} = \mu + \beta_j + \alpha_i + \varepsilon_{ij}$$

Dónde:

X_{ij} = Una observación cualquiera

μ = Media General

β_j = Efecto del j – esimo bloque

α_i = Efecto del i – esimo Tratamiento

ε_{ij} = Error experimental

TRATAMIENTOS

Se evaluaron 3 árboles de naranja por tratamiento.

T1 = Riego al 100%

Al 100% de la demanda hídrica en función al valor de la Evapotranspiración del cultivo.

T2 = Riego al 50%

Se aplicó el riego al 50% del requerimiento de agua, para identificar los efectos de un leve estrés hídrico.

T3 = Testigo

Sin riego, bajo constante estrés hídrico.

4.4.2. Características del área experimental

El área experimental cuenta con plantaciones establecidas de naranjos, su área es de 5000 m² (0.5 ha) la edad de las plantas oscila entre los 4 a 5 años, esto se debe a que se realizó refallos después del trasplante de plantines debido a la mortandad que presentaron, la densidad de plantación es de 6 metros por 6 metros, la parcela está asociada con cultivos de banano ubicados en los callejones sin afectar el marco de plantación.

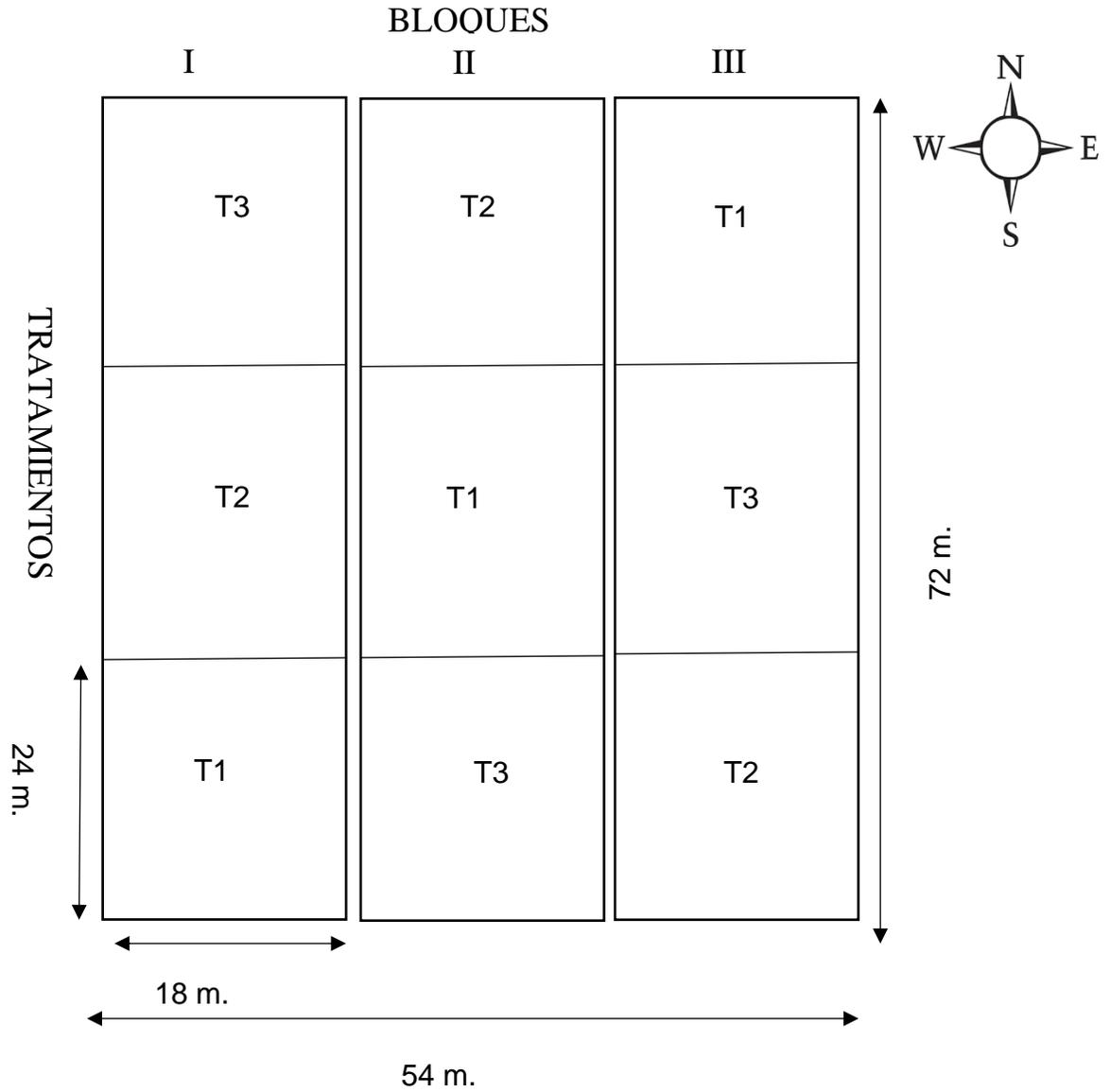
4.4.3. Variables de estudio

- Temperatura
- Humedad relativa
- Precipitación pluvial
- Capacidad de campo
- Punto de marchitez permanente
- Déficit de presión de vapor
- Evapotranspiración del Cultivo
- Máxima contracción diaria
- Mínima contracción diaria
- Diámetro del tronco
- Número de flores
- Número de frutos
- Contracción diaria del tronco

4.4.4. Croquis del área experimental

Figura 10

Croquis del Diseño Experimental



Fuente: Elaboración propia

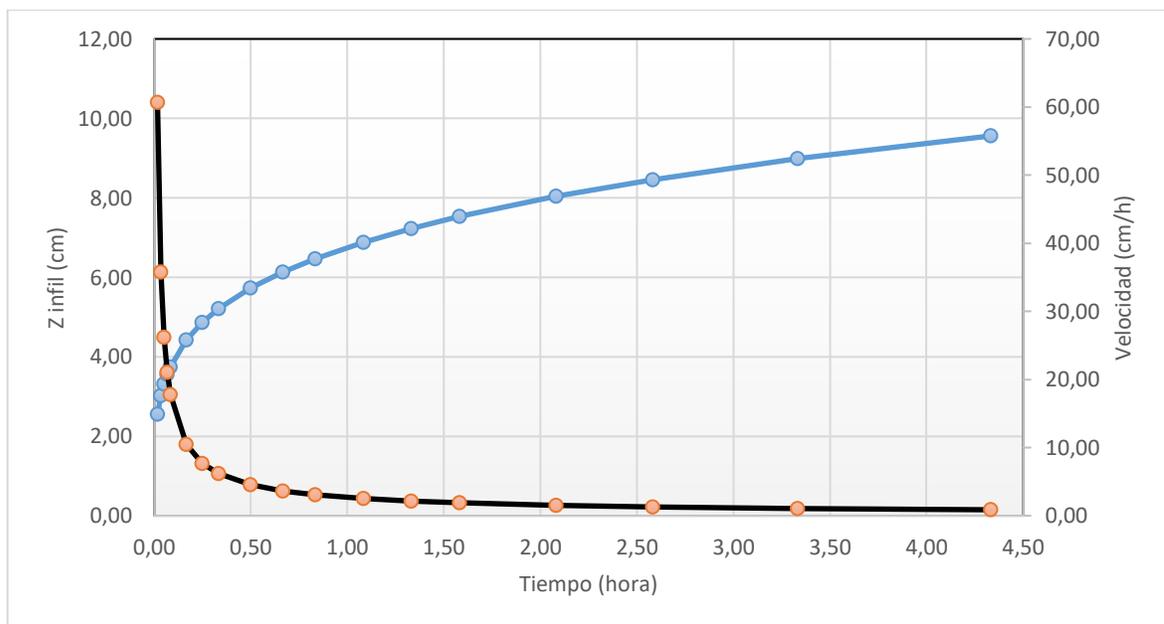
5. RESULTADOS Y DISCUSION

5.1. Infiltración

Con los datos obtenidos en campo se pudo determinar que el área de estudio tiene una infiltración básica de 3.39 mm/h, esto se debe a la textura que tiene el suelo es muy pesada (limo-arcillosa) lo cual permite que el paso del agua sea reducido. Como se puede apreciar en la figura 11 la velocidad de infiltración es rápida al iniciar el proceso de infiltración en el suelo y va disminuyendo a medida que el suelo va mojándose.

Figura 11

Velocidad de infiltración del agua en el suelo



5.2. Características físicas del suelo

A partir de los resultados obtenidos en el laboratorio de la Estación Experimental de Sapecho y el laboratorio de suelos de la Facultad de Agronomía LAFASA, se obtuvo los siguientes parámetros de las muestras de suelo obtenidas en la parcela de estudio: Capacidad de Campo (CC), Punto de Marchitez Permanente (PMP), Densidad Aparente (Dap).

El muestreo de suelo se realizó según la metodología propuesta por López (2006), el cual indica que para el estudio de los horizontes se debe realizar una completa descripción de

las características físicas y químicas en laboratorio, como resultado del análisis físico del suelo a una profundidad de 1 m se reporta una textura arcillosa con una densidad aparente $1,30 \text{ g cm}^{-3}$, la capacidad de campo (CC) 28% y el punto de marchites permanente (PMP) 16% como se muestra en siguiente la siguiente tabla.

Tabla 3

Características físicas del suelo del área experimental

Prof. (cm)	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Clase Textural	Dap. ($\text{g} \cdot \text{cm}^3$)	CC (%)	PMP (%)
0-100	18.8	20.0	61.2	FA	1.30	28	16

Nota. Dap: Densidad aparente; CC: Capacidad de campo; PMP: Punto de marchitez permanente; FA: Franco arcilloso

En la tabla 3 se tiene las características físicas del suelo, según sus contenidos de arena limo y arcilla una textura Franco arenosa, densidad aparente media sin grado de compactación, así también la humedad a capacidad de campo y en el punto de marchitez permanente, en base a peso.

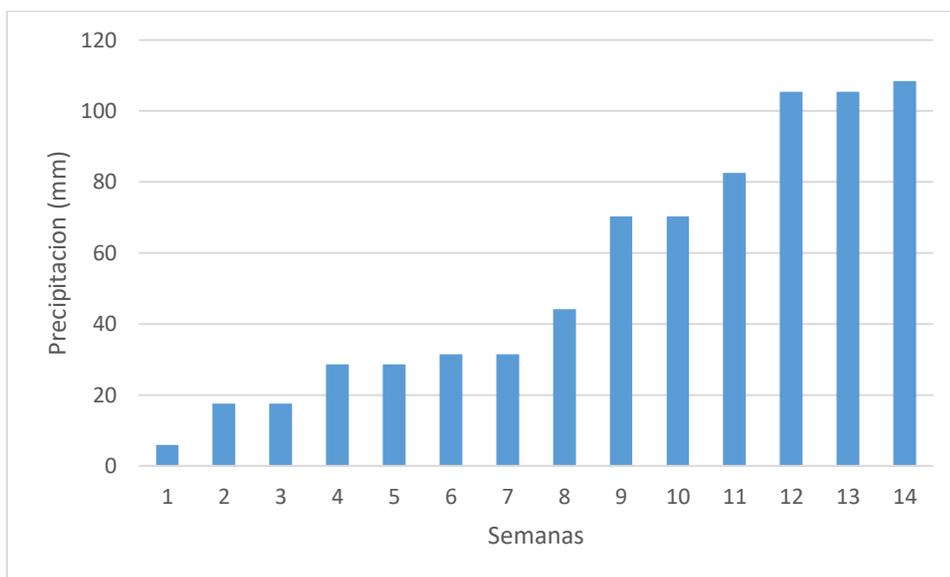
5.3. Precipitación

La precipitación fue registrada diariamente y evaluada por semana, durante el periodo de estudio se registró un valor total de precipitación de 108.41 mm. La precipitación máxima alcanzada se presentó en el mes de octubre alcanzado un máximo de 51.08 mm; mientras el valor mínimo fue de 13.91 mm en el mes de septiembre.

Como se observa en la figura 12 la precipitación acumulada es inferior a los requerimientos de agua por el cultivo durante el periodo de estudio, para cubrir las necesidades de agua por el cultivo se administró riego en base a los requerimientos pertinentes.

Figura 12

Precipitación acumulada (mm) durante el periodo de estudio



Como se observa en la tabla 4 la precipitación registrada no cubre las necesidades hídricas demandadas por el cultivo, la evapotranspiración es mayor a la precipitación lo cual indica que existe un déficit hídrico.

En la misma tabla se observa existe semanas donde la precipitación fue nula lo cual afecta en gran medida en el desarrollo normal del cultivo la cantidad de agua requerida fue aplicada en forma de riego.

Tabla 4.

Precipitación semanal

Fecha de evaluación	ETC (mm)	PP (mm)
16-ago-21- a 22-ago-21	36,2	5,86
23-agos-21 a 29-ago-21	29,4	11,73
30-agos-21 a 05-sep-21	40,4	0
06-sep-21 a 12-sep-21	36,6	10,96
13-sep-21 a 19-sep-21	43,2	0
20-sep-21 a 26-sep-21	44,5	2,95

27-sep-21 a 03-oct-21	51,5	0
04-oct-21 a 10-oct-21	46,9	12,71
11-oct-21 a 17-oct-21	38,1	26,16
18-oct-21 a 24-oct-21	45	0
25-oct-21 a 31-oct-21	51,2	12,21
01-nov-21 a 07-nov-21	39,2	22,83
08-nov-21 a 14-nov-21	48	0
15-nov-21 a 16-nov-21	10,1	3

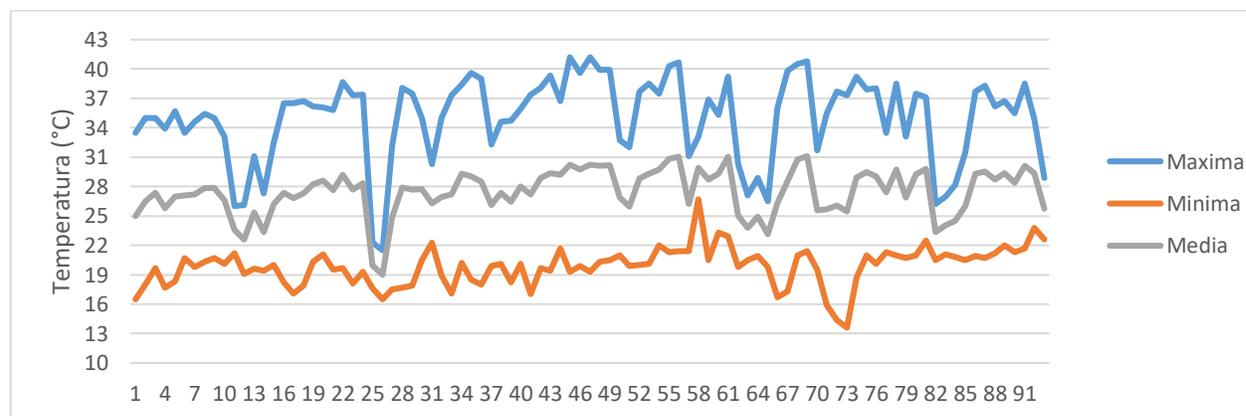
5.4. Temperatura

El análisis de temperaturas máximas, mínimas y medias durante la investigación se muestran en la figura 13, lo cual muestran valores promedio de 35°C como temperatura máxima, 19,83 °C temperatura mínima y de 27,4 temperatura media respectivamente.

Las temperaturas más altas se registran en los meses de septiembre y octubre, meses en la que el cultivo se encuentra en etapa de floración, estas elevadas temperaturas pueden provocar efectos adversos en la polinización y en el desarrollo de frutos. La temperatura mínima extrema registrada fue de 13,6 °C en fecha 27 de octubre y la temperatura máxima extrema registrada fue de 41,2°C en fecha 29 de septiembre.

Figura 13

Registro de temperaturas durante el periodo de estudio



Los factores climáticos que ejercen influencia sobre los Cítricos, se destacan la temperatura y la humedad. En un rango de temperatura inferior a 10 °C y superior a 39 °C, el desenvolvimiento metabólico de las plantas es prácticamente interrumpido (Cucho, 2021).

5.5. Programación de riego

Se realizó la programación de riego mediante el uso del método de USDA que indica que se debe realizar la diferencia entre ETc y Pe, si el valor es positivo existe demanda de agua y si fuera negativo no se requiere agua. El método indica que el coeficiente de precipitación depende de la relación entre la evapotranspiración y la precipitación.

Tabla 5

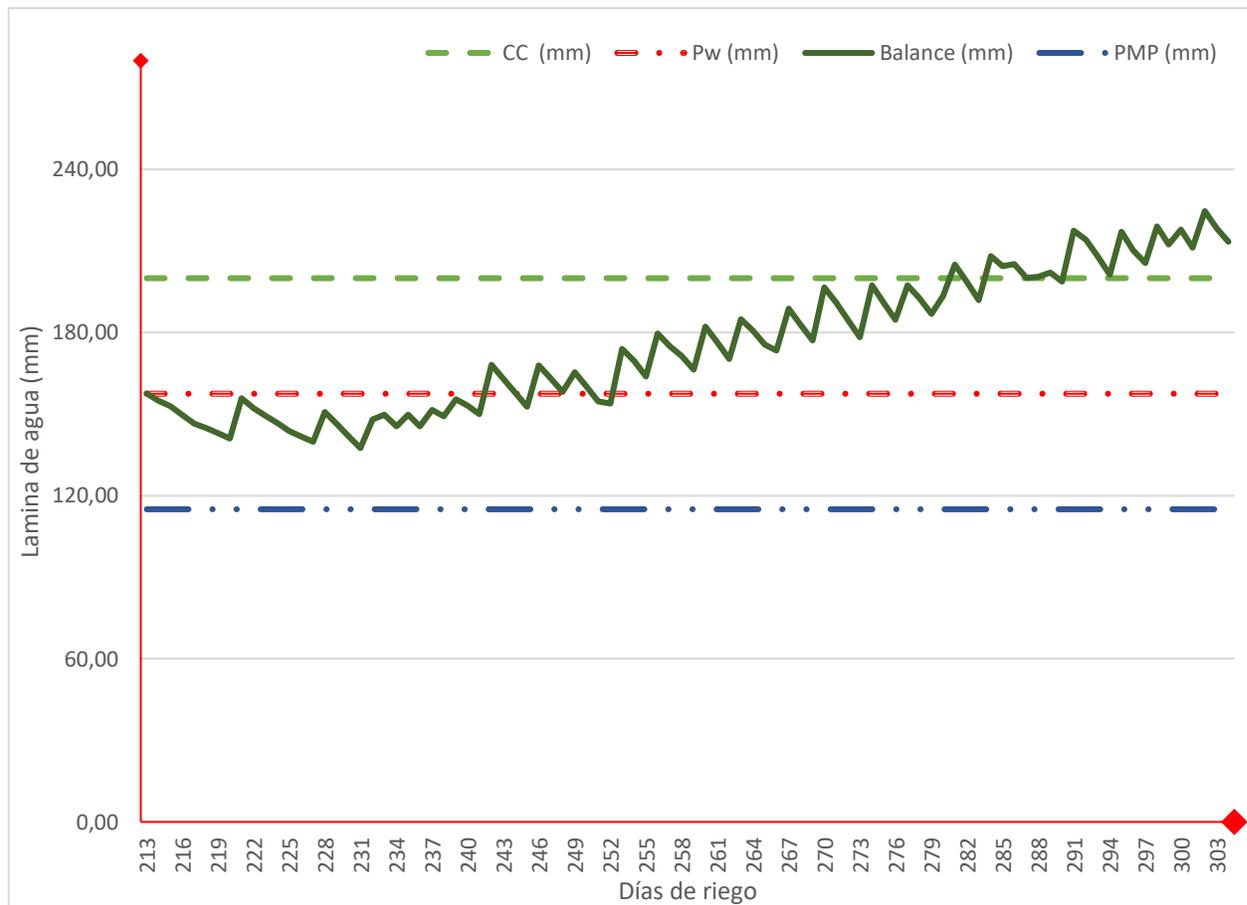
Programación de riego mediante el método USDA

ETc (mm)	PP (mm)	Pe (mm)	Riego (mm)
36,2	5,9	5,8	30,4
29,4	11,7	11,5	17,9
40,4	0	0	40,4
36,6	11	10,8	25,8
43,2	0	0	43,2
44,5	3	2,9	41,6
51,5	0	0	51,5
46,9	12,7	12,5	34,4
38,1	26,2	25,1	13
45	0	0	45
51,2	12,2	12	39,2
39,2	22,8	22	17,2
48	0	0	48
10,1	3	3	7,1
560,3	108,5	105,6	454,7

Bajo el método USDA utilizado la aplicación de riego durante todo el periodo de evaluación fue de 454.7 mm distribuidos en 14 semanas, complementario a las precipitaciones pluviales.

Figura 14.

Balance hídrico durante el periodo de estudio



PMP: Punto de Marchitez Permanente CC: Capacidad de Campo Pw: Punto de umbral de riego

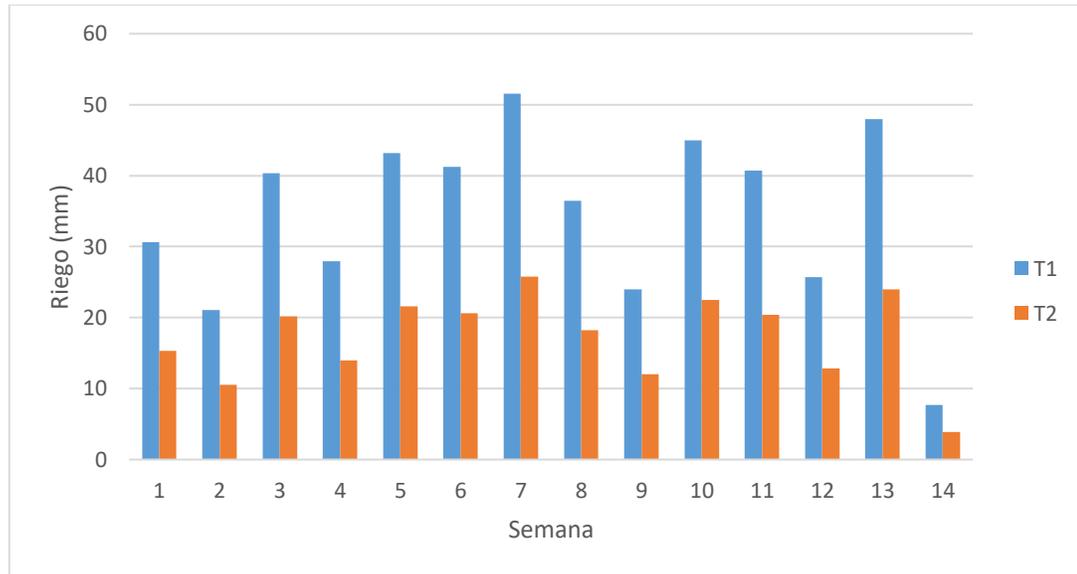
En la figura 14 se observa la cantidad de agua requeridas según el umbral de riego, capacidad de campo y punto de marchitez permanente, en la programación de riego el balance hídrico no debe alcanzar el punto de marchitez para lo cual se aplicó riego por superficie durante 14 semanas.

Como se observa en la figura 14 la programación de riego indica que se inicia el día 213 del calendario a partir el cual se realiza el riego el día 228, durante el periodo de evaluación el nivel del agua no descendió por debajo del umbral de riego, más aún el punto de marchitez permanente en los niveles inferiores se abastecieron con agua en forma de riego.

5.5.1. Programación de riego para los diferentes tratamientos

Figura 15

Aplicación de riego



T1: tratamiento 1

T2: tratamiento 2

La aplicación de riego para cada unidad el tratamiento uno (T1), fue del 100% del requerimiento distribuidos en 2 eventos de riego por semana.

Cada unidad del tratamiento dos (T2), recibió una lámina de riego del 50% del requerimiento de riego, distribuidos en 2 intervalos de riego por semana.

Tabla 6.

Aplicación de riego a los diferentes tratamientos

Fecha de evaluación	Riego(mm)	Riego (mm)
	T1 (100%)	T2 (50%)
16-ago-21- a 22-ago-21	30,4	15,2
23-agos-21 a 29-ago-21	17,9	8,95
30-agos-21 a 05-sep-21	40,4	20,2

06-sep-21 a 12-sep-21	25,8	12,9
13-sep-21 a 19-sep-21	43,2	21,6
20-sep-21 a 26-sep-21	41,6	20,8
27-sep-21 a 03-oct-21	51,5	25,75
04-oct-21 a 10-oct-21	34,4	17,2
11-oct-21 a 17-oct-21	13	6,5
18-oct-21 a 24-oc-21	45	22,5
25-oct-21 a 31-oct-21	39,2	19,6
01-nov-21 a 07-nov-21	17,2	8,6
08-nov-21 a 14-nov-21	48	24
15-nov-21 a 16-nov-21	7,1	3,55
	454,7	227,35

5.6. Relación de DPV y ETc

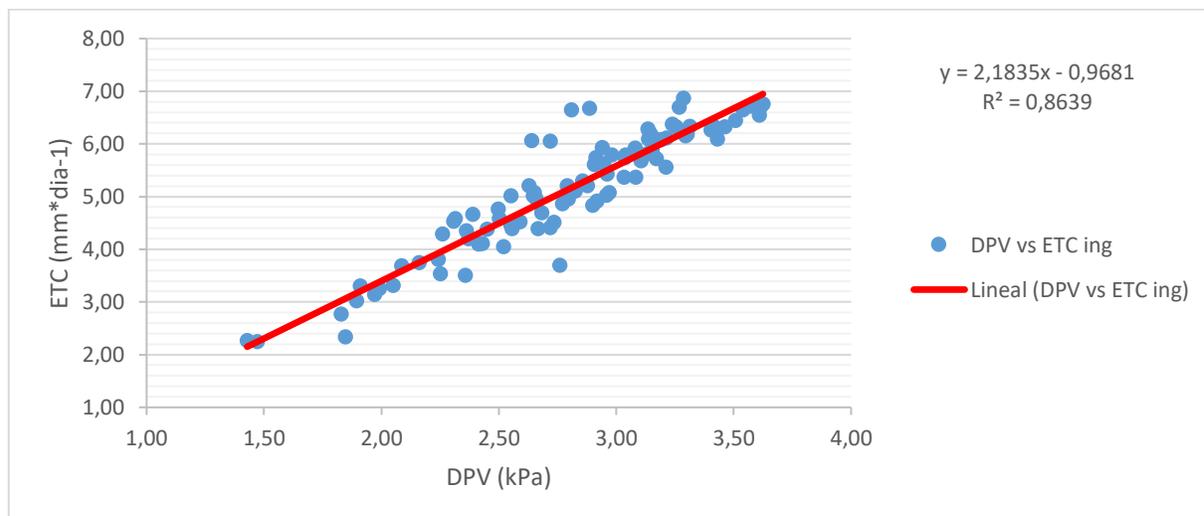
El déficit de presión de vapor muestra ser una variable climática apropiada en la programación de riego considerando los dendrómetros muestran una sensibilidad al cambio de variables climáticos.

La recolección de datos del déficit de presión de vapor se realizado cada día durante el periodo de 93 días se muestra en el anexo 8.

La relación del déficit de presión de vapor (DPV) y evapotranspiración de cultivo (ETc) es altamente significativo debido que se obtuvo un coeficiente de determinación de 86% para todo el periodo de evaluación y con un coeficiente de correlación de 93%, como se observa en la figura 16 donde las asociaciones de las variables quedan muy próxima a la recta de pendiente positiva

Figura 16

Relación entre la Evapotranspiración del cultivo (ETc) y el Déficit de Presión de Vapor (DPV), durante el periodo de evaluación.



5.7. Fluctuaciones de diámetro del tronco

Dentro de los indicadores de déficit hídrico se encuentra la medición de las fluctuaciones del tronco donde las mismas presentaban mayor sensibilidad al déficit hídrico por las noches hecho que está relacionado a la absorción radicular que permite la rehidratación de los tejidos conductores, lo que permite que el tronco alcance máximo diámetro (De la Rosa, 2013).

El mismo autor señala que las contracciones del tronco se producen cuando las pérdidas de agua mediante la transpiración son mayores que la precipitación o riego, debido a la absorción radicular.

Se observó que durante el periodo de evaluación que las contracciones del tronco alcanzan una elevada contracción pasadas el medio día, esta acción de la planta es debido a las altas temperaturas en horas de la tarde, donde la evapotranspiración es alta y se hace presente el estrés hídrico.

5.7.1. Contracción diaria del tronco

Los registros continuos de las fluctuaciones de tronco realizadas durante la investigación señalados en anexo 9, demuestran que las máximas contracciones del tronco se dan en horas de la mañana y durante la puesta del sol, a continuación, se muestra las relaciones que existen entre las máximas contracciones diarias del tronco y la evapotranspiración del cultivo de naranja (ETc), también se muestra la correlación entre el déficit de presión de vapor (DPV).

Durante el periodo de estudio la contracción diaria del tronco indica una diferencia entre la máxima contracción diaria y la mínima contracción diaria lo cual significa que existieron factores que alteraron la cantidad de agua que el tronco pueda almacenar durante el día. Ayaque *et al.* (2020) señalan que esta acción se debe a la pérdida de agua debido a la transpiración del tallo principalmente vía floema.

5.7.2. Análisis de la Evapotranspiración y la contracción diaria del tronco por tratamiento

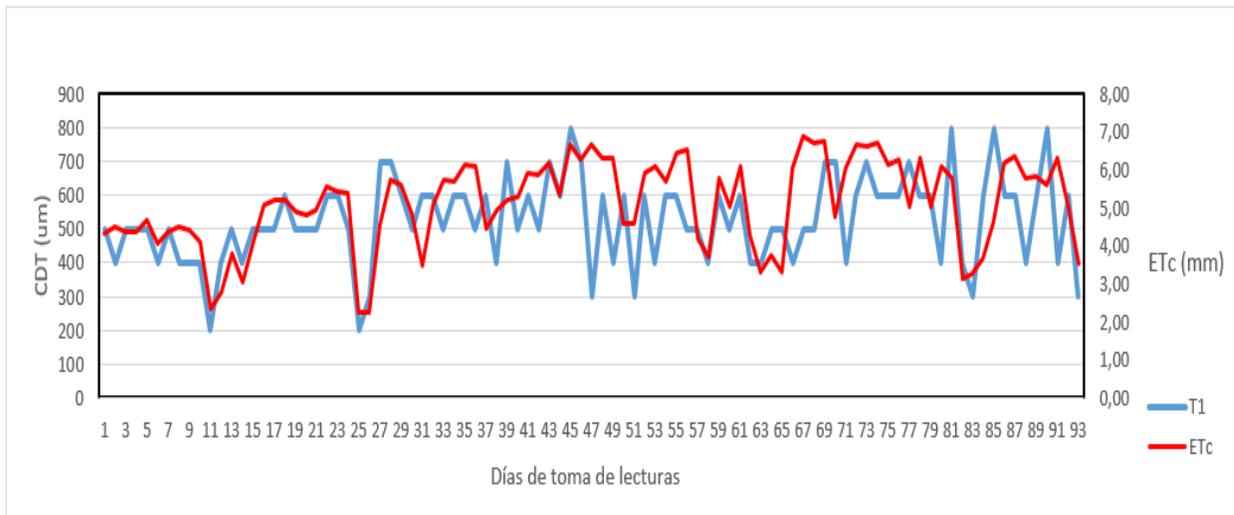
Este análisis se realizó con valores recogidos diariamente de la contracción diaria del tronco y evapotranspiración del cultivo para cada tratamiento como se observa a continuación.

En la figura 17 señala que la variación de la contracción del diámetro del tronco tiende a ser mayor cuando la evapotranspiración del cultivo incrementa, el riego disminuye el incremento de dichas variaciones debido a que el cultivo no presenta déficit hídrico.

Según Villaseñor (2013), indica que las altas temperaturas provocan un incremento de la presión de la humedad del suelo e incrementan la variación de la contracción y dilatación del tallo.

Figura 17.

Comportamiento del ETc y CDT del tratamiento T1



ETc: Evapotranspiración del cultivo CDT: Contracción diaria del tronco

T1: tratamiento 1

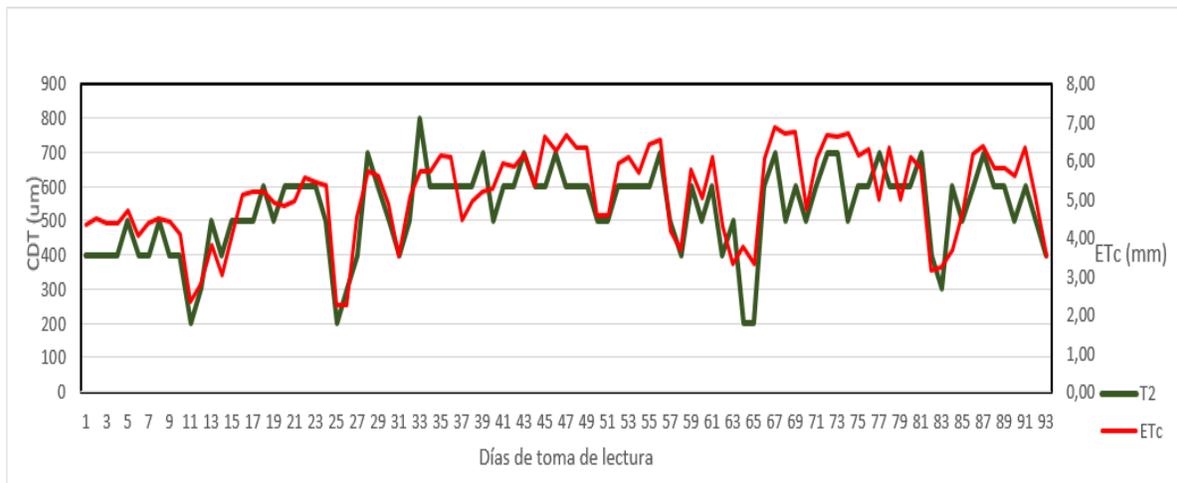
En la figura 18 se muestra una variación de la contracción del diámetro del tronco relacionado con la evapotranspiración del cultivo, debido a que el tratamiento T2 estuvo bajo 50% del riego requerido notaron un incremento en las contracciones debido a que el tratamiento se veía afectado por un leve estrés hídrico.

Ayaque, *et al.* (2020), señalan que el DPV y ETc dependen en parte de las variaciones de temperatura y humedad, son medidas referenciales para poder evaluar el balance hídrico de la planta.

De la Rosa *et al.* (2014), mencionan que las contracciones del tronco son mayores debido al estrés hídrico donde el agua perdida por medio de la transpiración es mayor que las entradas de agua por absorción radicular.

Figura 18

Comportamiento del ETc y CDT del tratamiento T2



ETc: Evapotranspiración del cultivo

CDT: Contracción diaria del tronco

T2: Tratamiento 2

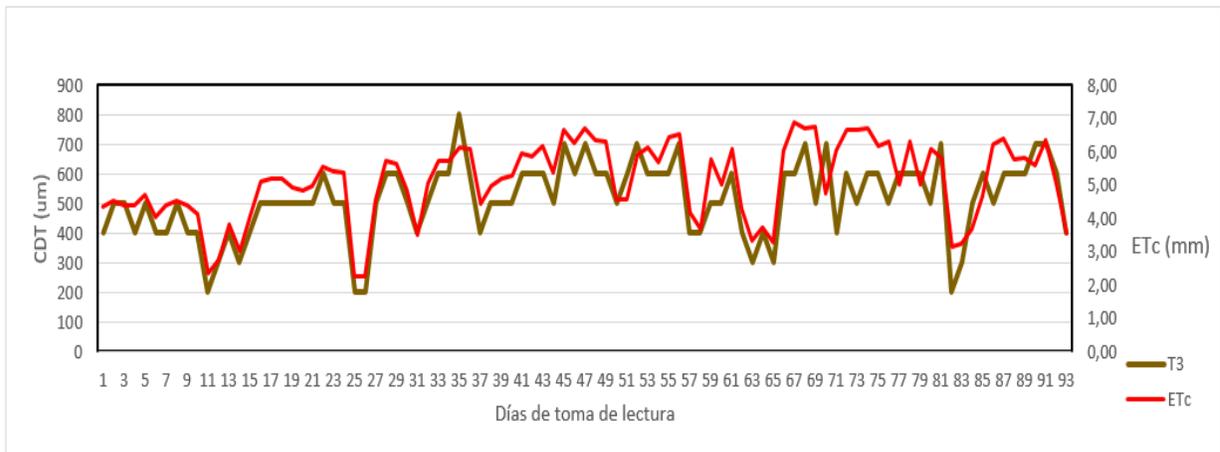
La figura 19 muestra que el tratamiento T3 sin riego, las contracciones del diámetro del tronco se vieron incrementadas debido al estrés hídrico los valores reflejados en la figura indican que el CDT va incrementado a mayor déficit hídrico.

Ortuño et al. (2006), señalan que los limoneros sometidos a la suspensión del riego durante 50 días muestran un grado de estrés hídrico, las contracciones mínimas redujeron en respuesta al estrés mientras que las contracciones máximas aumentaron, demostrando que la intensidad de señal del flujo de savia aumentó durante el periodo de estrés hídrico.

Díaz et al. (2015), señalan que las fluctuaciones del diámetro del tronco guardan una pequeña relación con la disponibilidad de agua en el suelo, por lo que una variación en esta puede afectar los valores de la contracción máxima del tronco.

Figura 19

Comportamiento del ETc y CDT del tratamiento T3



ETc: Evapotranspiración del cultivo

CDT: Contracción diaria del tronco

T3: tratamiento 3

El valor de las contracciones diarias del tronco se mantuvo sobre las 400 µm durante el primer mes de evaluación, el incremento de los valores CDT están relacionados con valores de ETc, estos valores presentan un aumento debido al desarrollo vegetativo del cultivo (Ayaque et al. 2020).

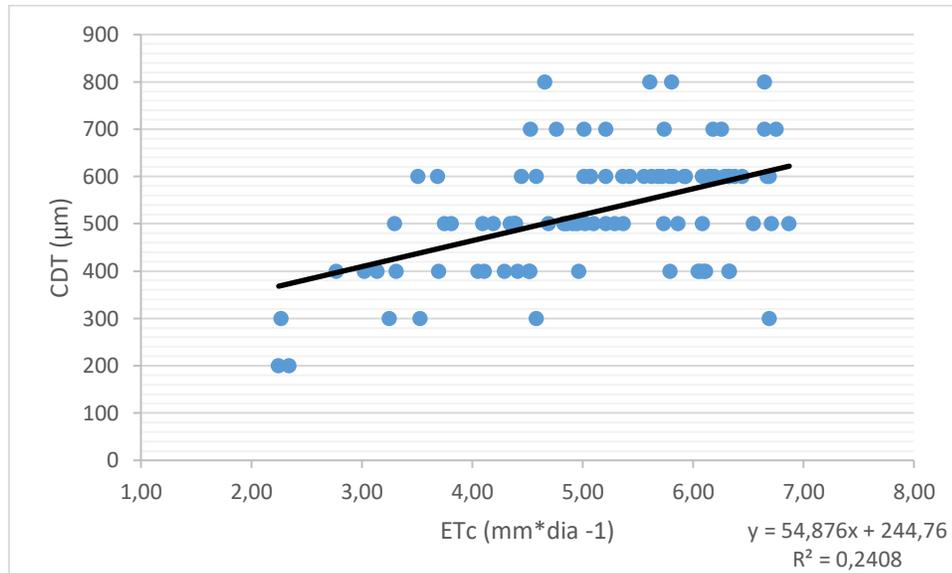
5.7.3. Análisis de la Determinación de la CDT y la ETc para cada tratamiento

En este análisis se evaluó la determinación que existe en la CDT y la ETc con datos obtenidos diariamente como se muestra a continuación.

Durante el periodo de evaluación del tratamiento (T1), se obtuvo un coeficiente de correlación de 49% y coeficiente de determinación de 24% en la correlación de la contracción máxima del tronco y la evapotranspiración del cultivo.

Figura 20

Relación entre; la contracción diaria del tronco (CDT) T1 (lamina de riego al 100%) la evapotranspiración del cultivo (ETc)



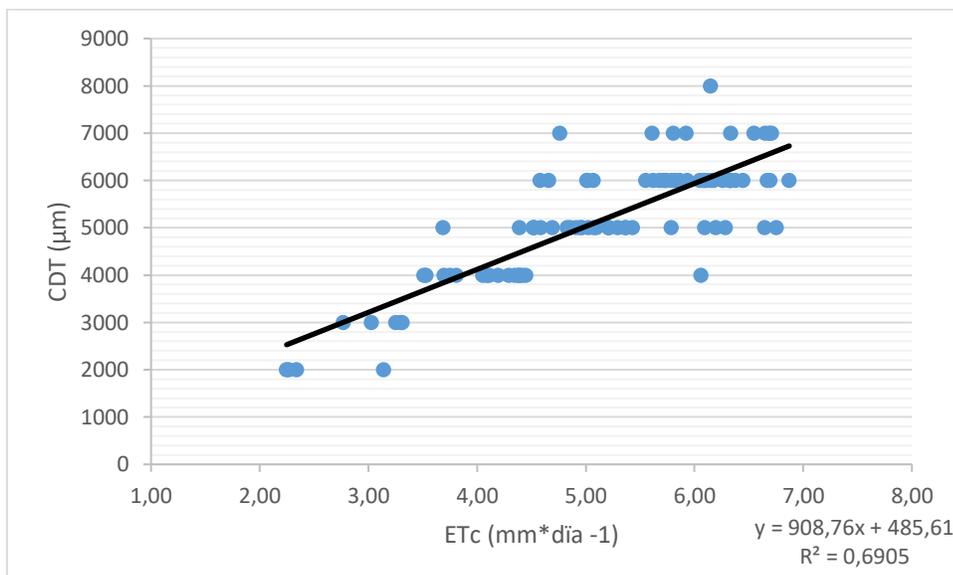
Hernández & Espinoza (2018), indican que al tener un alto grado de correlación entre dos variables no necesariamente implica que exista una relación causa-efecto, ya que se debe considerar elementos biológicos, físicos, químicos o de otra índole y no solo el valor del coeficiente de correlación.

Ayaque et al. (2020), mencionan que dentro de los parámetros derivados de la variación del diámetro del tronco se encuentra la magnitud de la máxima contracción diaria del tronco (CDT), siendo esta variable la diferencia del valor del diámetro diario máximo del tronco (DDMX) y el valor del diámetro diario mínimo del tronco (DDMN) medido en 24 horas.

Como se muestra en la figura 21, a partir de la contracción diaria del tronco (CDT) y la evapotranspiración del cultivo (ETc) en el tratamiento (T2) se registró un coeficiente de determinación de 65 % y coeficiente de correlación de 80%.

Figura 22

Relación entre; la contracción diaria del tronco (CDT) T3 (lamina de riego al 0%) la evapotranspiración del cultivo (ETc)



De la Rosa (2013), señala que las fluctuaciones del diámetro del tronco muestran importante sensibilidad al déficit hídrico dado que los estomas se encuentran cerrados por la noche que permite la rehidratación de los tejidos conductores, lo que permite que el tronco alcance su máximo diámetro, con la salida del sol se inicia la transpiración y los tejidos pierden parte de sus reservas hídricas provocando la contracción del tronco que finaliza por la tarde cuando se produce el mínimo diámetro de tronco.

Tabla 7

Determinación de la CDT y la ETc, en los tratamientos

		T1	T2	T3
ETC	r	0.49	0.80	0.69
	R ²	24%	65%	69%
	P -valor	0,0001	0,0001	0,0001

Nota. ETc = evapotranspiración del cultivo; r = Coeficiente de correlación Pearson; R2 = Coeficiente de determinación; P-valor = Valor de significancia

La tabla 7 muestra que el tratamiento T3 muestra un mayor coeficiente de determinación entre la evapotranspiración del cultivo y la contracción diaria del tronco, este valor se debe a que las contracciones del tronco son influenciadas por el ETc, este efecto se muestra en la sensibilidad de las dilataciones del tronco en forma ascendente a medida que la evapotranspiración del cultivo sube a si mismo se muestra que el p-valor= 0,0001 que es menor a 0,05 lo cual señala que es altamente significativo.

De la Rosa (2013), señala que las variables climáticas actúan sobre los valores de la máxima contracción diaria siendo estas dependientes de dichas variables, por lo que para su interpretación es necesario datos referencia de árboles regados sin condiciones limitantes de agua.

Díaz *et al.*, (2015), señalan que las fluctuaciones del diámetro del tronco guardan una pequeña relación con la disponibilidad de agua en el suelo, por lo que una variación en esta puede afectar los valores de la contracción máxima del tronco.

Ayaque et al., (2020), mencionan que dentro de los parámetros derivados de la variación del diámetro del tronco se encuentra la magnitud de la máxima contracción diaria del tronco (CDT), siendo esta variable la diferencia del valor del diámetro diario máximo del tronco (DDMX) y el valor del diámetro diario mínimo del tronco (DDMN) medido en 24 horas.

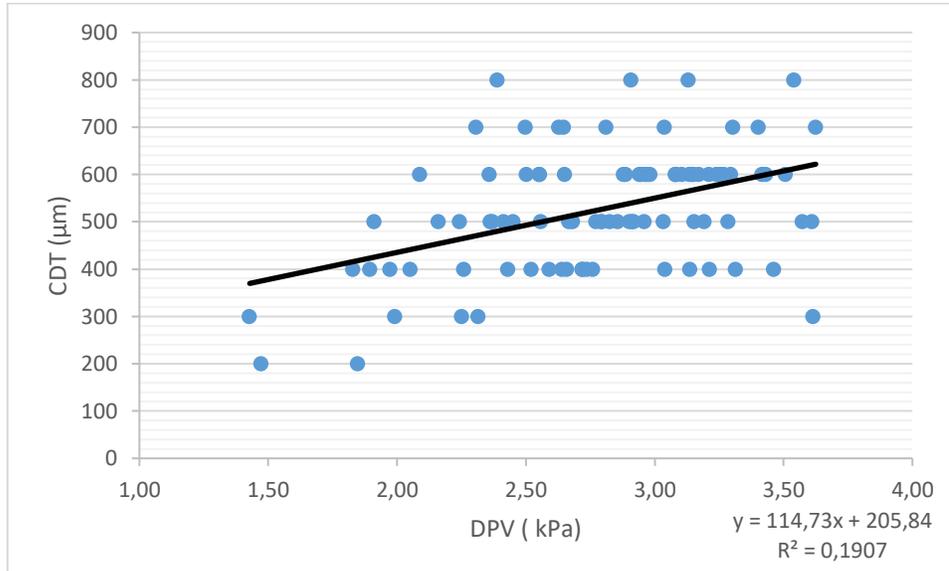
5.7.4. Evaluación de la CDT y DPV para los diferentes tratamientos

Con los datos obtenidos por día durante todo el periodo de estudio se realizó la correlación de Pearson entre la CDT y el DPV resultados que se observan a continuación.

Los valores de la contracción diaria del tronco en el tratamiento (T1) son dependientes del déficit de presión de vapor obteniendo un coeficiente de correlación moderada de 44% y un coeficiente de determinación de 19%, esto indica que: a mayor incremento del déficit de presión de vapor mayor será los valores de la contracción diaria del tronco.

Figura 23

Relación entre; Contracción diaria del tronco (CDT), T1 (lamina de riego al 100%) y el Déficit de Presión de Vapor (DPV)



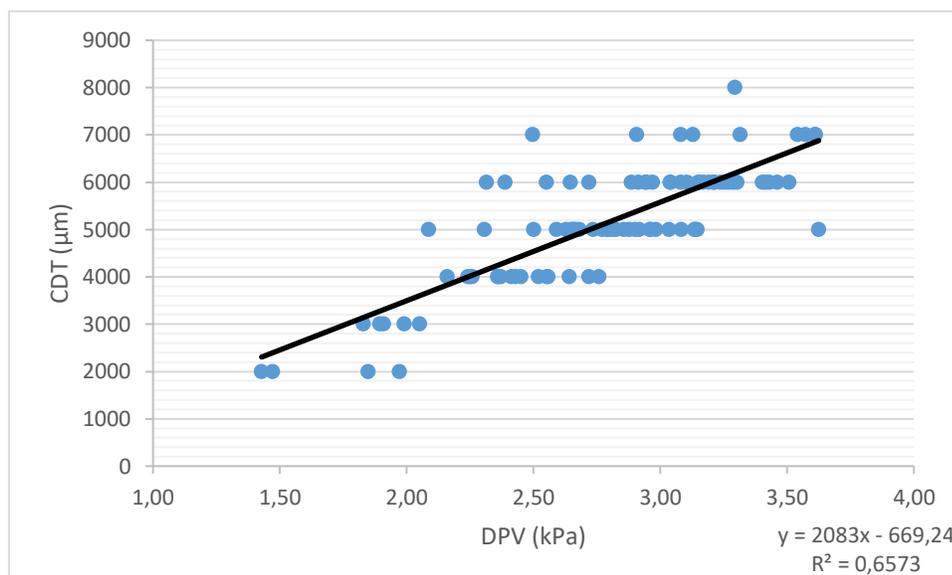
De la Rosa (2013), señala que las variables climáticas actúan sobre los valores de la máxima contracción diaria siendo estas dependientes de dichas variables, por lo que para su interpretación es necesario datos referencia de árboles regados sin condiciones limitantes de agua.

Goldhamer et al. (2004), indican que, para identificar las respuestas de los árboles de melocotoneros al déficit de agua, se utilizó oscilaciones diarias del contenido de agua en el suelo - planta, las contracciones máximas y mínimas respondieron antes que el potencial hídrico del tallo al medio día y el potencial hídrico de la hoja antes del amanecer o al mediodía.

La relación entre; la contracción diaria y el déficit de presión de vapor en el tratamiento (T2), presento un coeficiente de determinación mediana de 53% y un coeficiente de correlación altamente positiva de 73%, para todo el periodo de evaluación.

Figura 25

Relación entre; Contracción diaria del tronco (CDT), T3 (lamina de riego al 0%) y el Déficit de Presión de Vapor (DPV)



Ayaque et al. (2020), mencionan que dentro de los parámetros derivados de la variación del diámetro del tronco se encuentra la magnitud de la máxima contracción diaria del tronco (CDT), siendo esta variable la diferencia del valor del diámetro diario máximo del tronco (DDMX) y el valor del diámetro diario mínimo del tronco (DDMN) medido en 24 horas.

Tabla 8

Determinación de la contracción diaria del tronco y DPV

		T1	T2	T3
DPV	r	0.44	0.73	0.81
	R ²	19%	53%	66%
	P -valor	0,0001	0,0001	0,0001

Nota. DPV = déficit de presión de vapor; r = Coeficiente de correlación Pearson; R² = Coeficiente de determinación; P-valor = Valor de significancia

Como se muestra en la tabla 8 la determinación de la contracción diaria del tronco (CDT) y el déficit de presión de vapor (DPV), el tratamiento T3 muestra un mayor coeficiente de determinación de 66% para todo el periodo de evaluación mientras que el menor valor de coeficiente de determinación es del tratamiento T1, estos valores muestran la relación que existe entre ambas variables debido a que el alza de temperatura afecta en los cambios del DPV, estos cambios climáticos inducen a los árboles de naranjo a un estrés hídrico.

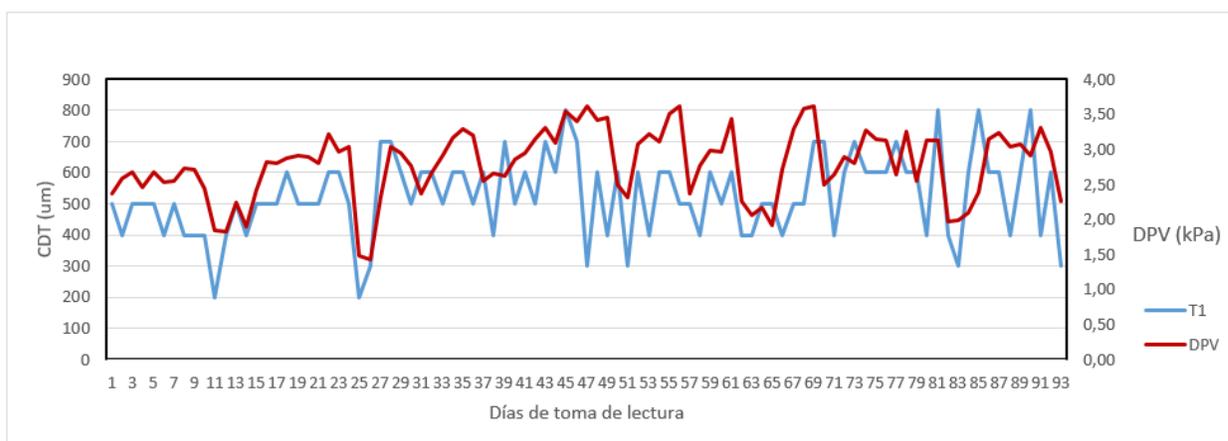
Taiz & Zeiger (2006) plantean que el estrés ejerce una influencia negativa sobre la planta y las respuestas celulares incluyen cambios en la división celular y en la arquitectura de la pared celular, con un aumento de la tolerancia al estrés de las células.

Goldhamer *et al.* (2004), indican que, para identificar las respuestas de los árboles de melocotoneros al déficit de agua, se utilizó oscilaciones diarias del contenido de agua en el suelo - planta, las contracciones máximas y mínimas respondieron antes que el potencial hídrico del tallo al medio día y el potencial hídrico de la hoja antes del amanecer o al mediodía.

5.7.5. Evaluación de comportamiento del DPV y la CDT

Figura 26

Comportamiento de DPV y CDT del tratamiento T1



DPV: Déficit de presión de vapor

CDT: Contracción diaria del tronco

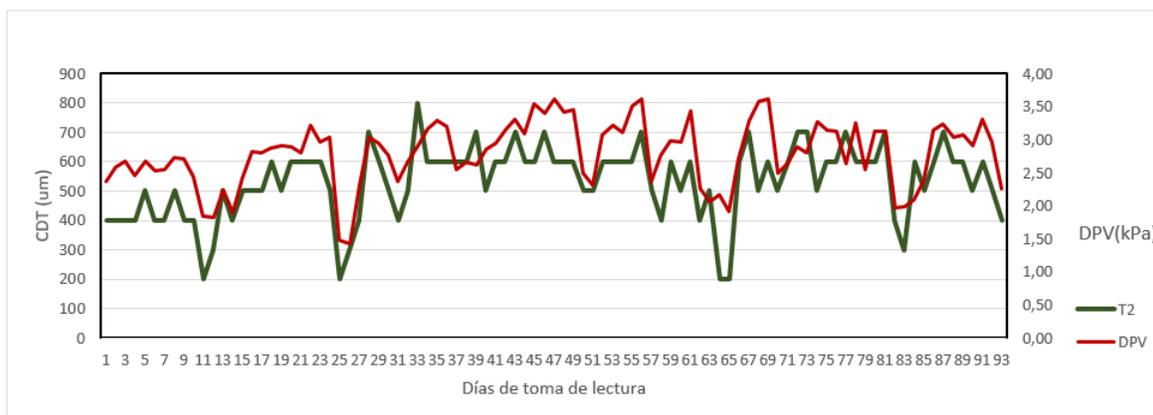
T1: tratamiento 1

Las escasas precipitaciones y las altas temperaturas registradas durante todo el periodo de estudio, ocasiona que se registren elevados valores de CDT, sin embargo, la aplicación de riego en el tratamiento T1 muestra que las contracciones se mantienen en valores mínimos, a partir de los días 21 al 27 se registraron temperaturas cercanas a 18°C, como se muestra en la figura este descenso temperatura influye en el CDT, si los periodos donde se registran altos valores de DPV continúan el cultivo empieza a entrar a un estado de estrés hídrico.

De la Rosa (2013), señala que las variables climáticas actúan sobre los valores de la máxima contracción diaria siendo estas dependientes de dichas variables, por lo que para su interpretación es necesario datos referencia de árboles regados sin condiciones limitantes de agua.

Figura 27

Comportamiento de CDT y DPV del tratamiento T2



DPV: Déficit de presión de vapor

CDT: Contracción diaria del tronco

T2: tratamiento 2

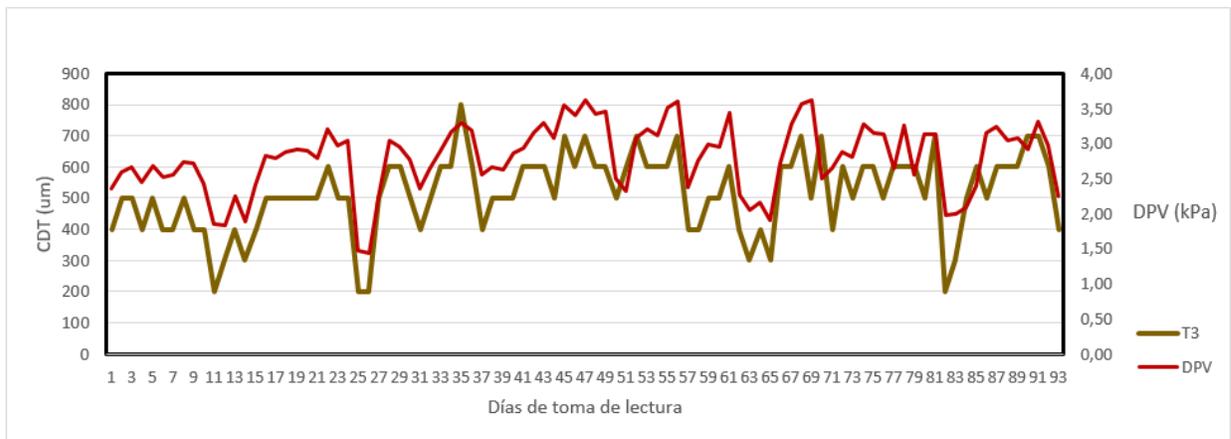
La distribución de agua en el tratamiento T2 al 50% de agua requerida, influye en la variación de CDT logrando mantener lecturas por debajo del DPV como se muestra en la figura 27, el DPV se ve afectado por el descenso e incremento de temperatura. El alza de temperatura en los meses de septiembre y octubre alcanzado máximas de 40 °C, manifestando mayor estrés hídrico.

Prieto (2011), señala que, a medida que DPV es mayor la tasa transpiratoria (TT) incrementa, este incremento no es ilimitado dado que la tasa transpiratoria (TT) deja de aumentar ante valores elevados de DPV lo que induce al cierre estomático lo que provoca la disminución de la conductancia foliar.

Taiz & Zeiger (2006) plantean que el estrés hídrico ejerce una influencia negativa sobre la planta, las respuestas celulares incluyen cambios en la división celular y en la arquitectura de la pared celular, con un aumento de la tolerancia al estrés hídrico de las células.

Figura 28

Comportamiento de CDT y DPV del tratamiento T3



DPV: Déficit de presión de vapor

CDT: Contracción diaria del tronco

T3: tratamiento 3

En la figura 28 se puede observar que el tratamiento T3 al estar afectado por déficit hídrico continuo manifiesta lecturas de CDT mayores en comparación a otros tratamientos lo cual indica que el cultivo entra en un estado de estrés hídrico afectado por la alta evaporación de agua tanto del suelo como de la planta.

5.8. Variables agronómicas

A continuación, se detallan los resultados obtenidos de la investigación con relación a las variables agronómicas. Considerando diámetro del tronco número de flores y número de frutos.

5.8.1. Diámetro de tronco

El análisis estadístico para la variable agronómica, del diámetro del tronco los resultados de la evaluación con riego al 100%, riego al 50% y sin riego, las siguientes tablas muestran los resultados obtenidos en intervalos de evaluación de 30 días desde el inicio hasta la conclusión de la investigación.

Cucho (2021), indica que la evaluación del diámetro del tronco puede no mostrar diferencia significativas debido al ciclo del cultivo y a las respuestas fisiológicas que presenta los árboles de naranja.

5.8.1.1. Evaluación del diámetro del tronco a los 30 días

En la tabla 9, la variable diámetro del tronco de los 30 días después de los primeros riegos, demuestra un valor que resulta ser significativo.

Tabla 9

Análisis de varianza para el incremento de diámetro del tronco después de los 30 días

FV	SC	GL	CM	F	p-valor	Sig.
Bloque	0,11	2	0,06	2,35	0,2110	NS
Tratamiento	0,65	2	0,33	13,57	0,0165	**
Error	0,10	4	0,02			
Total	0,86	8				

CV = 16.96 %

El análisis de varianza determina que el grado de confiabilidad es aceptable, el coeficiente de variación es de 16.96% se encuentra por debajo de 30% rango permitido para el análisis de varianza, muestran que los datos se encuentran alejados o dispersos dando a conocer que se realizó un manejo adecuado en los diferentes tratamientos.

Podestá *et.al.* (2010), señalan que los efectos del estrés hídrico sobre el crecimiento vegetativo varia a mayor restricción hídrica, con una reposición hídrica del 50 % del ETC, el estrés producido disminuyo el crecimiento de brotes, área foliar y el crecimiento del área del tronco es menor.

Tabla 10

Prueba de medias del diámetro del tronco a los 30 días

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
T1	1,18	3	0,09	A
T2	1,01	3	0,09	A
T3	0,86	3	0,09	B

En la tabla 10 muestra la comparación del diámetro del tronco a los 30 días, donde los tratamientos bajo riego del 100% y 50% estadísticamente son iguales teniendo promedios de 1,18 cm y 1,01 cm, siendo el tratamiento sin riego el que presenta menor crecimiento del diámetro del tronco con un promedio de 0,86 cm.

Estos resultados indican que los tratamientos T1 y T2 obtuvieron mejor crecimiento en a los 30 días de evaluación debido a que se cumplieron los requerimientos de agua necesarios para su desarrollo y crecimiento de la planta a diferencia del tratamiento sin riego se muestra que el estrés hídrico afecta al crecimiento del tronco.

5.8.1.2. Evaluación del diámetro del tronco a los 60 días

En la tabla 11, la variable diámetro del tronco de los 60 días después de los primeros riegos, demuestra un valor que resulta ser significativo.

El uso de bloques no muestra ninguna significancia lo cual indica que la presencia de cultivos externos como ser; banano y árboles de naranja, la uniformidad del terreno no afecta al cultivo en estudio.

Tabla 11*Análisis de varianza para el incremento de diámetro del tronco después de los 60 días*

FV	SC	GL	CM	F	p-valor	Sig.
Bloque	1,28	2	0,64	1,35	0,3572	NS
Tratamiento	6,44	2	3,22	6,77	0,0520	*
Error	1,90	4	0,48			
Total	9,62	8				

CV = 29.62

El análisis de varianza determina que el grado de confiabilidad es aceptable, el coeficiente de variación es de 29.62% se encuentra por debajo de 30% rango permitido para el análisis de varianza, muestran que los datos se encuentran alejados o dispersos dando a conocer que se realizó un manejo adecuado en los diferentes tratamientos.

El coeficiente de determinación 80% indica que los datos se ajustan al modelo dando una certeza de utilizar el diseño de Duncan para su precisión.

Tabla 12*Prueba de medias del diámetro del tronco a los 60 días*

Tratamiento	Medias	n	E.E.		
T1	3,44	3	0,40	A	
T2	2,15	3	0,40	A	B
T3	1,39	3	0,40		B

Según la prueba de medias a los 60 días de evaluación del diámetro del tronco como se muestra en la tabla 12, el tratamiento T1 muestra un crecimiento promedio de 3,44 cm, tratamiento T2 el promedio fue de 2,15 cm, el desarrollo y crecimiento se ve influenciado por la aplicación de riego cubriendo las necesidades hídricas de la planta, no obstante, el estrés hídrico ocasiona que el crecimiento sea mínimo ya que el tratamiento T3 muestra un promedio de 1,39 cm.

5.8.1.3. Evaluación del diámetro del tronco a los 90 días

En la tabla 13, la variable diámetro del tronco de los 90 días después de los primeros riegos, demuestra un valor que resulta ser significativo.

Tabla 13

Análisis de varianza para el incremento de diámetro del tronco después de los 90 días

FV	SC	GL	CM	F	p-valor	Sig.
Bloque	0,30	2	0,15	0,14	0,8755	NS
Tratamiento	15,07	2	7,54	6,92	0,0503	*
Error	4,36	4	1,09			
Total	19,73	8				

CV = 26.14%

El análisis de varianza determina que el grado de confiabilidad es aceptable, el coeficiente de variación es de 26.14% se encuentra por debajo de 30% rango permitido para el análisis de varianza, muestran que los datos se encuentran alejados o dispersos dando a conocer que se realizó un manejo adecuado en los diferentes tratamientos.

El coeficiente de determinación 78% indica que los datos se ajustan al modelo dando una certeza de utilizar el diseño de Duncan para su precisión.

Según González & Catel (2003), indican que el crecimiento del perímetro del tronco esta negativamente relacionado con la intensidad de estrés alcanzado como también por periodo de duración en el cultivo de clementina, debido a que los cítricos son sensibles al déficit hídrico.

Observando la tabla 14, para el diámetro del tronco la aplicación de riego al 100% ha generado un promedio de 5,63 cm seguido del tratamiento al 50% de requerimiento de riego con un promedio de 3,87 cm, siendo ambos tratamientos que mejor crecimiento del tronco han generado, en comparación al tratamiento sin riego que muestra un crecimiento promedio de 2,47 cm, estadísticamente la aplicación de riego incrementa el desarrollo del tronco.

Tabla 14

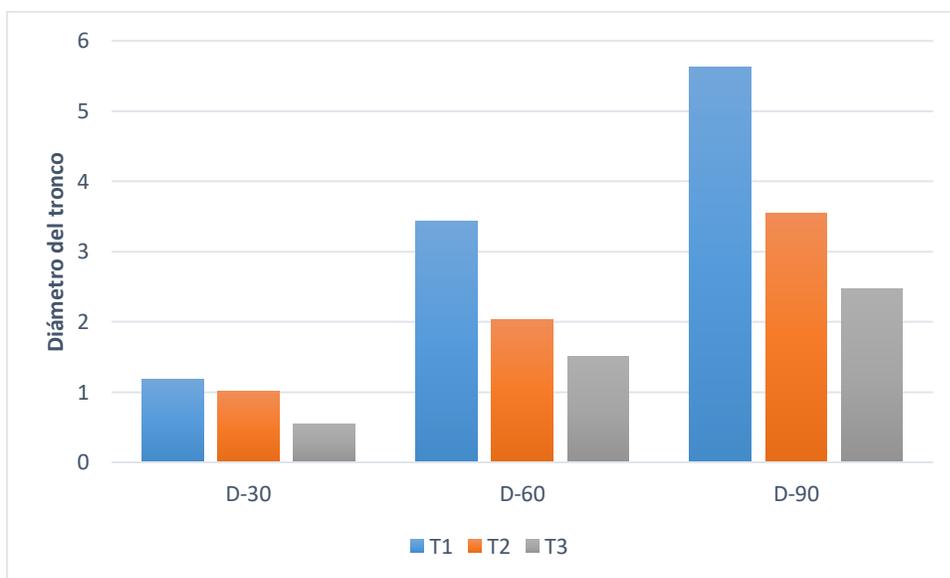
Prueba de medias para el diámetro del tronco a los 90 días

Tratamiento	Medias	n	E.E.		
T1	5,63	3	0,60	A	
T2	3,87	3	0,60	A	B
T3	2,47	3	0,60		B

Estadísticamente en todas las evaluaciones se puede apreciar que existe diferencia significativa entre medias. En la figura 29 se puede observar una diferencia numérica entre las evaluaciones del diámetro del tronco entre los tratamientos de: riego al 100%, riego al 50% y sin riego. En los primeros días de evaluación D-30 que se muestra en la figura 29 se puede apreciar que la diferencia numérica es mínima, sin embargo, esta diferencia es ampliada acorde a los días de aplicación, tal es caso que en la evaluación D-90 se aprecia un cambio numérico favorable a la aplicación de riego al 100%, esto demuestra la eficiencia y el aumento en el diámetro del tronco.

Figura 29

Prueba de medias para el incremento de diámetro del tronco



Nota. Días después del inicio de la evaluación

Cucho (2021), señala la edad del cultivo, el ciclo del cultivo y las respuestas fisiológicas pueden afectar en la evaluación del cultivo pudiendo no encontrar diferencias significativas estadísticamente.

5.8.2. Análisis de floración

La estimulación floral dada por la aplicación de lámina de riego, el tratamiento T2 presenta mayor índice de número de flores siendo este presentado un promedio de 71 flores por rama, mientras que el T1 presento 60 flores por rama y el T3 muestra una floración de 42 flores por rama, este alto valor de número de flores a causa de la aplicación de lámina agua al T1 (100%) y T2 (50%) estimula la floración temprana pero esta fue sometida a un estrés térmico, dando paso a la caída o aborto de flores afectando así el rendimiento de frutos.

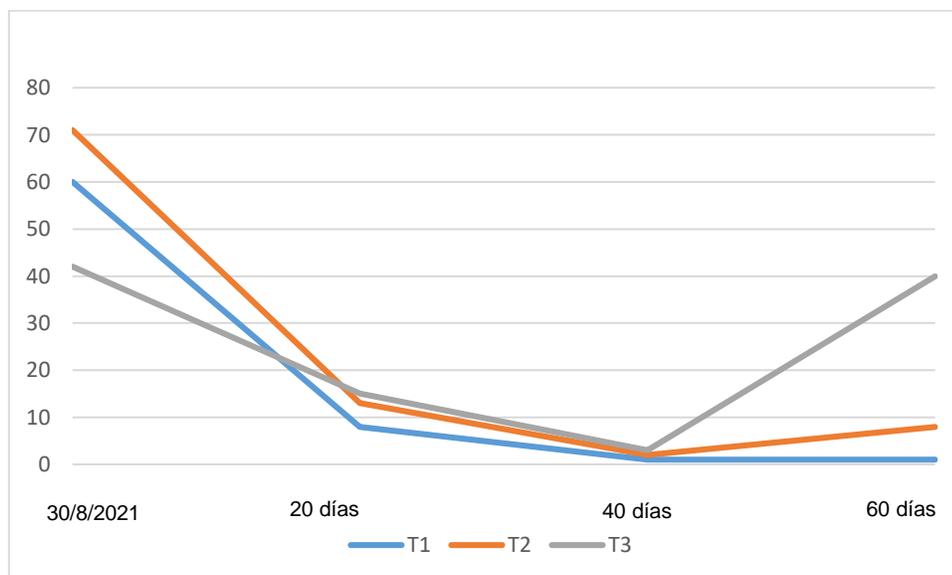
El tratamiento testigo que no se le aplico riego muestra una diferencia significativa en la floración en comparación de otros tratamientos, observándose una mejora en el rendimiento de frutos dado que la caída y aborto de flores a consecuencia del estrés solar a causa de las elevadas temperaturas no afectaron a la formación de frutos, debido a que las plantas no fueron estimuladas con riego y florecieron a causa de lluvias no se vieron afectadas en su fisiología por estrés solar.

Chavez & Gutiérrez (2017), señalan que el estrés hídrico a causa de las altas temperaturas afecta en diferentes formas en la producción de etileno en distintas especies de plantas, debido a que la producción de hormonas se incrementa hasta los 35° C, este siendo el punto en que dichas hormonas decrecen, mientras que a partir de los 40° C inhibe en el desarrollo de las hormonas.

En la figura 30 se muestra que las plantas de cítricos empezaron a presentar flores a partir del 30 de agosto, donde se inició con el registro de floración con intervalos de 20 días hasta el 29 de octubre.

Figura 30

Evaluación de floración



T1: tratamiento 1

T2: tratamiento 2

T3: tratamiento 3

5.8.3. Número de frutos

Al realizar la evaluación se evidencio que el número de frutos disminuyo considerablemente en cada registro de datos, esto se debe a la edad de los árboles de naranjo, los mismos que tienen una edad entre 4 a 5 años siendo ciclo de producción a partir del quinto año, tanto las flores como los frutos empezaron a ser abortados debido a la edad de los árboles.

Tabla 15

Número de frutos

Fecha	T1	T2	T3
30/8/2021	60	71	42
19/9/2021	8	13	15
9/10/2021	1	2	3
28/10/2021	1	8	3

En la tabla 15 se muestra la pérdida de frutos debió a la edad del cultivo, uno de los factores determinante para la pérdida de frutos se debe al registro de altas temperaturas en el desarrollo del fruto ya que estas mostraban marchitamiento.

Según (González & Catel, 2003), el efecto del estrés hídrico en naranjos Valencia se manifiesta en el crecimiento vegetativo, de igual forma se puede inducir brotaciones fuera de temporada aplicando riego después de un déficit hídrico.

6. CONCLUSIONES

Con los objetivos planteados y los resultados obtenidos en la presente investigación se llegaron a las siguientes conclusiones.

Los resultados obtenidos demostraron que es posible la elaboración de líneas de referencia con base a la MCD con respecto de las variables climáticas que es una de las principales herramientas para la programación de riego basado en la medición de las CDT.

- Existe una relación estrecha entre la evapotranspiración del cultivo y el déficit de presión de vapor en el que, si la evapotranspiración aumenta, incrementara el déficit de presión de vapor.
- Las plantas sometidas a evaluación mostraron una caracterización del comportamiento diario en las medidas de máxima y mínima contracción diaria lo cual permitió entender la dinámica de crecimiento del cultivo, a causa del déficit hídrico en el tratamiento T3) la fluctuación máxima alcanzada durante todo el periodo de estudio fue de 5300 μ m y la fluctuación mínima alcanzada fue del tratamiento T2) con 3200 μ m.
- La evaluación del comportamiento del CDT y de la MCD, tiende a tener una relación estrecha con las variables climáticas, debido a su dependencia de las temperaturas, requiriendo un profundo estudio en los ciclos fenológicos y ciclos productivos.
- El desarrollo de los naranjos se ve influenciado por la aplicación de riego, mostrando diferencia significativa pudiendo verse afectado por el déficit hídrico, mismas características se muestran en todas las variables de estudio.
- La diferencia significativa en los tratamientos con y sin riego en la evaluación del diámetro del tronco muestran una diferencia numérica: tratamiento T1) 1,18 cm, T2) 1,01cm y T3) 0,55cm en la primera lectura a los 30 días, el promedio de crecimiento con riego del tratamiento baja condiciones de riego después de 60 días mostro una diferencia numérica mayor que los otros tratamientos siendo: T1) 3,44 cm, T2) 2,2 cm y T3) 1,39cm. Al finalizar la evaluación de la

variable diámetro del tallo los tratamientos bajo riego mostraron un mejor crecimiento del tallo pudiendo alcanzar el tratamiento T1) 5,65 cm a los 90 días de evaluación, el tratamiento bajo riego al 50% alcanzo 3,87 cm y el tratamiento sin riego alcanzo un crecimiento promedio de 2,47 cm.

- La floración en los árboles bajo riego mostró una pérdida de flores debido a las altas temperaturas registradas en el mes de septiembre alcanzado una máxima de 41°C, los tratamientos en el que se aplicó riego presentaron mayor caída de flores debido que el riego estimulo la floración temprana ocasionando el aborto temprano de flores el bajo rendimiento de frutos se debe a la edad cultivo debido a que el rendimiento incrementa a partir del quinto año.
- Se rechaza la hipótesis nula (H_0) por tanto existe diferencias de crecimiento en los tratamientos bajo la aplicación de riego y así reducir el estrés hídrico.

7. RECOMENDACIONES

A partir de los estudios y discusiones presentados en esta investigación se recomienda:

Se recomienda realizar el trabajo de investigación en diferentes etapas fenológicas del cultivo tanto en floración y fructificación para así contar con una programación de riego más aplicable.

Para realizar el riego por superficie en el cultivo de naranja, se debe tomar en cuenta el área radicular del árbol y así poder aprovechar mejor la distribución de agua.

Se recomienda realizar el mantenimiento cada quince días de los dendrómetros, la calibración de los mismos para así evitar errores al momento de lecturas diarias.

Así mismo realizar esta actividad de calibración en horas de la tarde pasada la última lectura del día.

Se debe tener en cuenta que disponer un equipo climatológico o estación meteorológica ayuda a obtener registros precisos de datos climáticos que facilitan al momento de la programación de riego.

En base a los diferentes tratamientos que se realizó el estudio se recomienda la aplicación de riego al 100% del requerimiento debido a que presenta menor estrés hídrico.

Se recomienda evaluar otras variables en relación a las fluctuaciones del tronco como ser: Tasa de crecimiento potencial y Tasa de crecimiento real con la Evapotranspiración del cultivo y el Déficit de presión de vapor a diferentes regímenes de riego.

Así mismo se recomienda evaluar los índices de productividad bajo diferentes regímenes de riego durante el periodo fenológico de producción.

8. BIBLIOGRAFIA

- Acuña, C. (2014). Diseño de un sistema integrado de riego superficial (surcos, melgas y cuadros) en el terreno designado como área experimental de la Escuela de Ingeniería Agrícola del Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago. *Tesis de Grado*. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago.
- Allen, R., Pereira, L., Raes, D., & Smith, M. (2006). *Evapotranspiración del cultivo guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Roma: FAO.
- Almorox, J., & Aguirre, M. (2012). Calibración del modelo de Hargreaves para la estimación de la evapotranspiración de referencia en Coronel Dorrego, Argentina. *Dpto. de Agronomía. Universidad Nacional del Sur. Altos de Palihue.*, 101-109.
- Avilés, H. (2006). El valor del agua en la agricultura. *LA GRANJA*, 28-31.
- Ayaque, S., Dadther, H., & Macedo, D. (2020). Uso de los parámetros de fluctuación del diámetro del tronco registrado continuamente como indicadores del estado hídrico y crecimiento real de la vid. *Manglar*, 313-320.
- Bates, B., Kundzewicz, Z., & Wu, S. (2008). *El Cambio Climático y el Agua*. OMM Y PNUMA.
- Betancourt, C., Tartabull, T., & Labaut, Y. (2017). El manejo integrado del agua en la agricultura: necesidad de implementación y aspectos vinculados. *Revista científica Agrosistemas*, 40-54.
- Bracamonte, O. (1998). Evaluación de cuatro intervalos de riego sobre el rendimiento de frutos y evapotranspiración del cultivo de miltomate "Phylaxis philadelphica Lam" en el Centro Experimental Docente Agronomía. *Tesis de Grado*. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- Briceño, M., Álvarez, F., & Barahona, U. (2012). *Manual Riego y Drenaje*. Honduras: PROMIPAC.

- Bruinsma, J. (2003). *World Agriculture Towards 2015/2030*. FAO.
- Butrón, C. (2017). Calibración de la Ecuación FAO Penman-Monteith para calcular la Evapotranspiración de Referencia (ET_o) en condiciones de invernadero en el centro Experimental de Cota Cota. *Tesis de Maestría*. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia.
- Callisaya, j. (2018). Aplicación de tres láminas de riego por aspersion en el cultivo de alfalfa en la Estación Experimental de Choque naira - La Paz. *Tesis de Maestría*. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia.
- Carrazón, J. (2007). *Manual práctico para el diseño de sistemas de minirriego*. Honduras: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO)
- Carretero , I., Doussinague, C., & Villena , E. (2006). *Manual Práctico de Agricultura*. Madrid, España: Cultural S.A.
- CECAD. (2017). *Plan Territorial de Desarrollo Integral*. GEF.
- Chávez, N., & Gutiérrez, M. (2017). Respuesta al estrés por calor en los cultivos I. Aspectos moleculares, bioquímicos y fisiológicos. *Agronomía Mesoamericana*, 237-253.
- Chipana, R., Ticona , R., Mena , F., & Quispe, J. (2018). Manual de técnicas de manejo y conservación de suelos para productores del Municipio de Ayo Ayo. *Manual*. Facultad de Agronomía - UMSA, La Paz, Bolivia.
- Cisneros, R. (2003). Apuntes de la materia de riego y drenaje. Potosí, Bolivia: Centro de Investigación y Estudios de Posgrado y área de Agrogeodésica.
- Cucho, G. (2021). Determinación del momento óptimo de riego por goteo en el cultivo de naranja (*Citrus sinensis* L.) en la Estación Experimental Sapecho. *Tesis de Grado*. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia.

- De la Flor, B. I. (2019). Diseño y desarrollo de un sistema de adquisición de datos autónomo basado en Arduino para su utilización en campo. (*Tesis de maestría*). Universidad Politécnica de Valencia, Valencia.
- De la Rosa, J. (2013). Utilidad del uso de las líneas de referencia de las fluctuaciones de diámetro de tronco y el potencia hídrico de tallo para la programación del riego de nectarino temprano. *Agricultural Water Management*, 31-39.
- De la Rosa, J., Pérez, A., & Conesa, M. (2014). Contracción temprana de diámetro del tronco un nuevo indicador altamente sensible al estrés hídrico en nectarina extra tempranos. *Scientia Horticulturae*, 147-153.
- Del Valle, J. (5 de Septiembre de 2011). *El dendrómetro instrumento para evaluar el estado fenológico de la planta*. Obtenido del blog de Galtel: <https://galtel.wordpress.com/2011/09/05/en-dendrometro-como-instrumento-para-evaluar-el-estado-fenologico-de-la-planta/>
- Demin, P. (2014). *Aportes para el mejoramiento del manejo de los sistemas de riego : métodos de riego: fundamentos, usos y adaptaciones*. Catamarca: INTA.
- Díaz, H. Y., Torrecillas, A., & Rodríguez, P. (2015). Fluctuaciones del diámetro del tronco como indicador de estrés en frutales y su uso en el manejo de riego. *Cultivos Tropicales*, 59-66.
- FAO. (8 de Febrero de 2014). *Estudio FAO riego y drenaje. Evapotranspiración del cultivo*. Obtenido de <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/009/x0490s/x0490s.pdf>
- FAUTAPO. (2014). *Texto guía del participante Producción de Cítricos*. Sucre, Bolivia: Fundación Educación para el Desarrollo.
- Fernández , J., Romero, R., Pérez, A., & Cuevas , V. (2015). *Estrategias y programación del riego*. Sevilla: Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

- Fernández , R. (2010). *Manual de Riego para Agricultores*. Sevilla: JUNTA DE ANDALUCIA.
- FERTI BOX. (21 de Agosto de 2019). *Déficit de presión de vapor (DPV)*. Recuperado el 10 de Junio de 2021, de FERTI BOX ANÁLISIS AGRÍCOLAS: https://www.fertibox.net/single-post/__dpv
- Fuentes, J., & García , G. (1999). *Técnicas de Riego "Sistemas de Riego en la Agricultura"* (Primera Edición ed.). México: MUNDI-PRENSA MÉXICO, S.A. DE C.V.
- GAMPB. (2008-2012). *Plan de Desarrollo Municipal (PDM)*. Sud Yungas: Gobierno Municipal de Palos Blancos.
- GAMPB. (2016-2020). *Plan Territorial de Desarrollo Integral (PTDI)*. Sud Yungas: Gobierno Autónomo Municipal de Palos Blancos.
- Goldhamer, D., Fereres, E., Mata, M., Girona, J., & Cohen, M. (2004). Sensitivity of Continuous and Discrete Plant and Soil Water Status Monitoring in Peach Trees Subjected to Deficit Irrigation. *Irrigation Scienc*, 11-19.
- Gonzales , C., Quinteros , M., & Quinteros , Q. (2017). *Lisímetros Volumétricos*. Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Gonzáles , L., & Tullo, C. (2019). *Guía Técnica Cultivo de Cítricos*. San Lorenzo: FCA,UNA.
- Gonzales, A., & Hernández , B. (2000). Estimación de las necesidades hídricas del tomate. *Terra Latinoamericana*, 45-50.
- Grossiord, C., Buckley, T., Cernusak, L., & Novick, K. (2020). Plant responses to rising vapor pressure deficit. *Tansley review*, 1550-1562.
- Gurovich, L. (1985). *Fundamentos y diseño de sistema de riego*. San José, Costa Rica: IICA.
- Hernández, D. (1991). *Guía Tecnología Cultivos de Cítricos*. San Carlos: Ministerio de Agricultura y Ganadería Región Huetar Norte.

- Hernández , J., & Espinoza, J. (2018). Sobre el uso adecuado del coeficiente de correlación de Pearson: definición, propiedades y suposiciones. *AVFT*, 587-595.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (1997). *Metodología de la Investigación*. México: HILL INTERAMERICANA DE MÉXICO, S.A.
- Howell, T., & Evett, S. (2004). The Penman-Monteith Method. *Servicio de Investigación Agrícola, Laboratorio de Investigación de Conservación y Producción*, 14.
- IIA. (2000). *Estimación de la demanda de agua en los cultivos*. Coquimbo: Gobierno Regional de Coquimbo.
- IICA. (2010). *El Riego en los Países del Cono Sur*. Montevideo, Uruguay: Plataforma Tecnológica Regional de Riego del PROCISUR.
- Levatti, H., Ledesma, A., & Pere, P. (2009). Deseccación y Deformación de suelos Arcillosos. *Congreso de Métodos Numéricos en Ingeniería* (pág. 14). Barcelona: SEMNI.
- López, A. (2006). *Manual de Edafología*. Sevilla, España: Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química.
- López, R., & Arteaga , R. (2009). Índice de estrés hídrico como un indicador del momento de riego en cultivos agrícolas. *Agricultura técnica en México*, 97-111.
- Martines, E. (2007). Definiciones de humedad y su equivalencia. *ENME*, 1-5.
- Mejías, P. (2017). Marco mundial sobre escasez de agua en la agricultura. Italia: FAO.
- Miras-Avalos, J., Pérez, F., & Alcobendas, R. (2016). Using midday stem water potential for scheduling deficit irrigation in midlating peach trees under Mediterranean conditions. *Irrig.Sci*, 161-173.
- Moreno, L. (2008). Plant responses to water deficit stress. *Departamento de Agronomía, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia*, 183-190.

- Mujeriego, R. (1990). *Riego con agua residual municipal regada, Manual práctico*. Catalunya: Universitat Politècnica de Catalunya.
- Ortega , S., & Acevedo , C. (1999). *Programación del Riego*. Talca: Comisiion Nacional de Riego Departamento de Proyectos.
- Ortuño, F., García, Y., Conejero, W., Ruiz, C., Alarcón, J., & Torrecillas, A. (2006). Potenciales hídricos de tallo y hoja, intercambio de gases, flujo de savia y fluctuaciones del diámetro del tronco para detectar estrés hídrico en limoneros. *Dpto. Ingeniería Agrícola, Universidad Centro Occidental Lisandro Alvarado*, 1-8.
- Otero, Á., Montoya , F., & García , C. (2017). *Programación de Riego*. Uruguay: Unidad de Comunicación y Transferencia de Tecnología del INIA .
- Owen, E. (1995). Características físico-químicas del suelo y su incidencia en la absorción de nutrimentos, con énfasis en el cultivo de la palma de aceite. *Palmas*, 31-39.
- Pardo, C. (2021). Evaluación de productos Orgánicos para el control de la Mancha Aureolada (*Thanatephorus cucumeris* (Frank.) Donk) en naranja (*Citrus sinensis*) en la Estación Experimental Sapecho. *Tesis de Grado*. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz.
- Pariani, S. (2005). Relación agua-suelo-planta - Efectos del agua sobre el rendimiento. *Ficha N°3*. Universidad Nacional de Luján, Buenos Aires, Argentina.
- Pereira , C., Maycotte, C., & Restrepo, B. (2011). *Edafología 1* (Primera Edición ed.). Colombia: Espacio Gráfico Comunicaciones S.A.
- Podestá, L., Sánchez, E., Vallone, R., & Morábito, J. (2010). Efecto del riego deficitario controlado sobre el crecimiento vegetativo en plantaciones jóvenes de cerezo (*Prunus avium* L.). *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 42(1), 73-91.

- Prieto, S. (2011). Respuesta de la tasa transpiratoria a cambios en el déficit de presión de vapor en condiciones hídricas contrastantes en genotipos de soja de diferente eficiencia transpiratoria. *Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria*, 1-6.
- Ramírez , R. (1997). *Propiedades Físicas Químicas y Biológicas de los Suelos*. Santa Fe de Bogotá, Colombia: PRODUMEDIOS.
- Roy, I., Rivas , R., Pérez, M., & Palacios, L. (2019). Correlación: no toda correlación implica causalidad. *Rev. alerg. Méx*, 354-360.
- Rucks, L., García, F., Kaplán, A., Ponce de León, j., & Hill, M. (2004). *Propiedades Físicas del Suelo*. Montevideo, Uruguay: Dpto. Suelos y Aguas.
- Salazar , R. (2014). La eficiencia en el uso del agua en la agricultura controlada. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 177-183.
- Silva , N., López , O., & Tallon, R. (2013). Edafología, Palinología y Antropología Física aplicadas a la Arqueología Ambiental. *Estudios do Quaternário*, 1-14.
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2006). *Fisiología vegetal* (Vol. 2). Los Angeles: UNIVERSITAT JAUME I.
- Ticona, J., & Choque, C. (2017). UBICACION GEOGRAFICA ESTACION EXPERIMENTAL DE SAPECHO. *Facultad de Agronomía*. UMSA, Palos Blancos, Sud Yungas, Bolivia.
- Toro, T., Arteaga, R., Vázquez, A., & Ibáñez, A. (2015). Modelos para estimar la evapotranspiración de referencia en la zona norte bananera del Urabá Antioqueño (Colombia). *Agrociencia*, 821-836.
- UNESCO. (2020). *AGUA Y CAMBIO CLIMÁTICO*.
- Vélez, J., Álvarez , J., & Alvarado, O. (2012). El Estrés Hídrico en Cítrico (Citrus spp.). *ONRINOQUIA*, 32-39.

- Villaseñor, O. (2013). Bases ecofisiológicas para manejo del estrés hídrico en plantaciones de *Cedra odorata* L. en una zona semiárida del valle del Yaqui, Sonora, Mexico. Tesis Doctoral. Universidad de Pinar del Río, Pinar del Río
- Zambrano, C. R. (2014). Conservación de zumo de Naranja (*Citrus sinensis*) utilizando dosis de miel de abeja y canela como conservante natural. (*Tesis de Grado*). Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Manabí, Ecuador.

9. ANEXOS

Anexo 1. Datos del proceso de infiltración

Nro	X		Y		X'	Y'	X ²	X*Y	Zin	I	Tiempo	Tiempo	Z
	ins	acum	ins	acum									
1	1	1	2,3	2,30	0,00000	0,36173	0,00000	0,00000	2,560532	0,6066	0,0167	1,0	2,30
2	1	2	0,7	3,00	0,30103	0,47712	0,09062	0,14363	3,017491	0,3574	0,0333	2,0	3,00
3	1	3	0,3	3,30	0,47712	0,51851	0,22764	0,24739	3,32172	0,2623	0,05	3,0	3,30
4	1	4	0,2	3,50	0,60206	0,54407	0,36248	0,32756	3,556	0,2106	0,0667	4,0	3,50
5	1	5	0,6	4,10	0,69897	0,61278	0,48856	0,42832	3,749042	0,1776	0,0833	5,0	4,10
6	5	10	0,6	4,70	1,00000	0,67210	1,00000	0,67210	4,418106	0,1047	0,1667	10,0	4,70
7	5	15	0,4	5,10	1,17609	0,70757	1,38319	0,83217	4,863548	0,0768	0,25	15,0	5,10
8	5	20	0,3	5,40	1,30103	0,73239	1,69268	0,95287	5,206572	0,0617	0,3333	20,0	5,40
9	10	30	0,5	5,90	1,47712	0,77085	2,18189	1,13864	5,731509	0,0453	0,5	30,0	5,90
10	10	40	0,4	6,30	1,60206	0,79934	2,56660	1,28059	6,135751	0,0363	0,6667	40,0	6,30
11	10	50	0,3	6,60	1,69897	0,81954	2,88650	1,39238	6,468838	0,0307	0,8333	50,0	6,60
12	15	65	0,3	6,90	1,81291	0,83885	3,28665	1,52076	6,883671	0,0251	1,0833	65,0	6,90
13	15	80	0,1	7,00	1,90309	0,84510	3,62175	1,60830	7,230752	0,0214	1,3333	80,0	7,00
14	15	95	0,1	7,10	1,97772	0,85126	3,91139	1,68355	7,531208	0,0188	1,5833	95,0	7,10
15	30	125	0,4	7,50	2,09691	0,87506	4,39703	1,83492	8,037122	0,0152	2,0833	125,0	7,50
16	30	155	0,1	7,60	2,19033	0,88081	4,79755	1,92927	8,457319	0,0129	2,5833	155,0	7,60
17	45	200	1,1	8,70	2,30103	0,93952	5,29474	2,16186	8,983753	0,0106	3,3333	200,0	8,70
18	60	260	2,1	10,80	2,41497	1,03342	5,83210	2,49569	9,559863	0,0087	4,3333	260,0	10,80
Σ					25,03143	13,28004	44,02137	20,65001					

Anexo 2. Clasificación de la velocidad de infiltración

Clasificación	Velocidad de infiltración
Muy lenta	Menor a 0.10
Lenta	0,10 – 0,50
Moderadamente lenta	0,50 - 2
Moderada	2 - 6
Moderadamente rápida	6 – 12
Rápida	12 – 25
Muy rápida	Mayores a 25

Anexo 3. Resumen de las propiedades Físicas del suelo según texturas

Textura	Porosidad Total (%)	Densidad Aparente (gr/cm ³)	CC (%)	ppm (%)	Agua disponible		
					Humedad gravimétrica (%)	Humedad volumétrica (%)	Capacidad de Retención (cm/m)
Arenoso	38 (32 – 42)	1.65 (1.55) – 1.80)	9 (6 – 12)	4 (2 – 6)	5 (4 – 6)	8 (6 – 10)	8 (7 – 10)
Franco - Arenoso	43 (40 – 47)	1.50 (1.40 – 1.60)	14 (10 – 18)	6 (4 – 8)	8 (6 – 10)	12 (9 – 15)	12 (9 – 15)
Franco	47 (43 – 49)	1.40 (1.35 – 1.50)	22 (18 – 26)	10 (6 – 12)	12 (10 – 14)	17 (14 – 20)	17 (14 – 19)
Franco - arcilloso	49 (47 – 51)	1.33 (1.30 – 1.40)	27 (23 – 31)	13 (12 – 15)	14 (12 – 16)	19 (16 – 22)	19 (17 – 22)
Arcillo - arenoso	51 (49 – 53)	1.30 (1.25 – 1.35)	31 (27 – 35)	15 (14 – 18)	16 (14 – 18)	21 (18 – 23)	21 (18 – 23)
Arcilloso	53 (51 – 55)	1.25 (1.20 – 1.30)	36 (31 – 39)	17 (16 – 20)	18 (16 – 20)	23 (20 – 25)	23 (20 – 25)

Fuente: (Cucho, 2021)

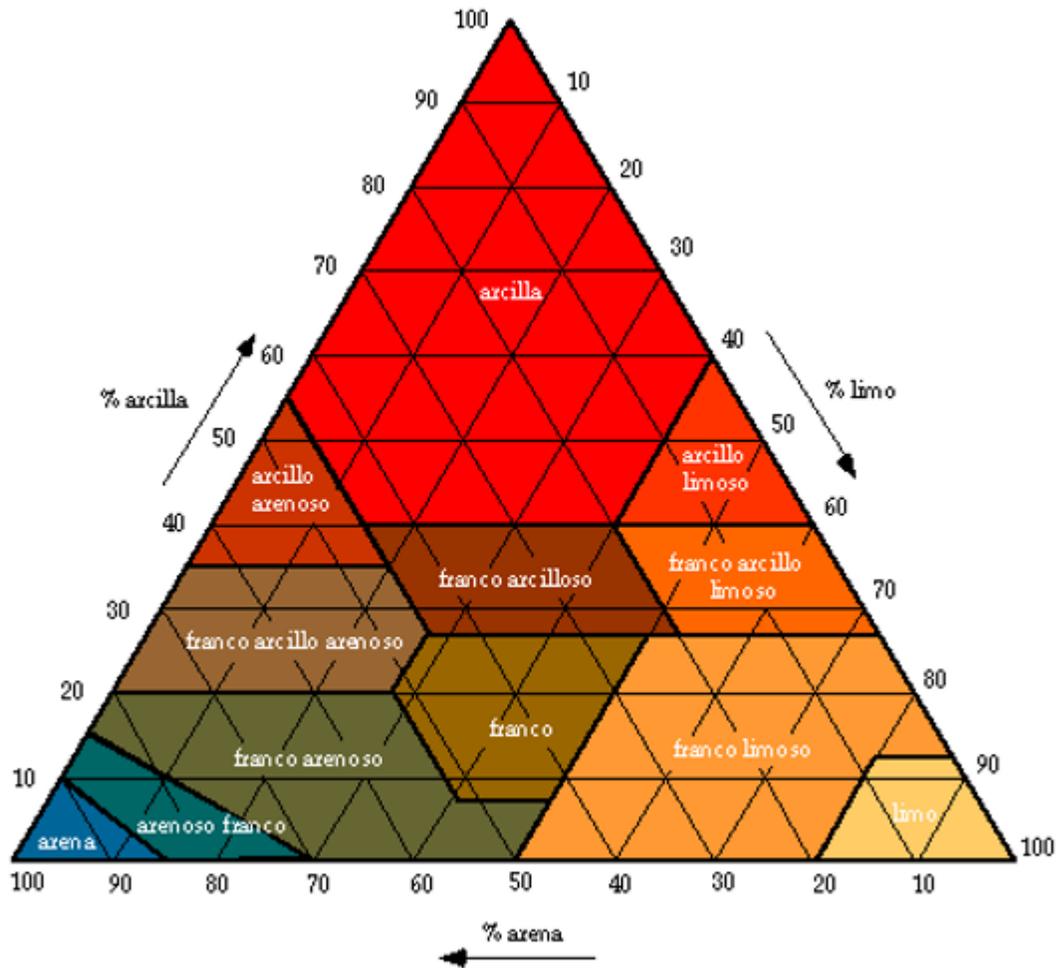
Anexo 4. Rangos de velocidad de infiltración básica de los diferentes perfiles de suelo

Textura del suelo	Infiltración básica. Rango de Variación (mm/h)	Ib. promedio (mm/h)
Arena	25 – 50	50
Franco – arenoso	13 – 15	25
Franco	7,5 – 20	12,5
Franco – limoso	2 -15	7,5
Arcilloso – limoso	0,2 – 5	2,6

Arcilla	0,1 – 1	0,5
---------	---------	-----

Fuente: (Cucho, 2021)

Anexo 5. Triangulo de texturas



Triangulo textural de USD

Anexo 6. Análisis físico químico de suelos



UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
LABORATORIO DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA
EN SUELOS Y AGUAS (LAFASA)



RES: FAC.AGRO.LAB. N° 341

ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE SUELOS

INTERESADO: Carlos Eduardo Choque Tarqui

SOLICITUD: LAF341 21

FECHA DE ENTREGA: 06/12/2021

PROCEDENCIA: Departamento La Paz

Municipio Laja

Provincia Los Andes

Productor Julio Cesar Condarco R.

PARAMETRO	UNIDAD	RESULTADO	MÉTODO
Humedad CC	%	28	Ollas a presión de Richards
Humedad PMP	%	16	Ollas a presión de Richards


Ph.D. Roberto Miranda Casas
LABORATORIO DE SUELOS

Anexo 7. Programación de riego

Fecha	J	dr	φ	δ	X	ω_s	Ra	Ra	Ra	Tmax	Tmin	Tmed	ETo	PP	Kc	Etc	CC	PMP	Pw	Riego	Balance
		rad	rad	rad		rad	MJ/m2/dia	mm/dia	°C	°C	°C	°C	mm	mm			(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
1-ago	213	0,9714	-0,272	0,3113	0,992	1,481	28,9	11,798	30,3	18,1	24,2	3,98	0,00	0,85	3,382	200,00	115,00	157,50	0	157,50	
2-ago	214	0,9717	-0,272	0,3067	0,992	1,482	29,0	11,847	24,2	15,1	19,65	3,08	0,00	0,85	2,615	200,00	115,00	157,50	0	154,88	
3-ago	215	0,972	-0,272	0,302	0,992	1,484	29,1	11,898	21,6	16,8	19,2	2,22	0,00	0,85	1,884	200,00	115,00	157,50	0	153,00	
4-ago	216	0,9723	-0,272	0,2972	0,993	1,485	29,3	11,949	31,4	21	26,2	3,90	0,00	0,85	3,313	200,00	115,00	157,50	0	149,69	
5-ago	217	0,9727	-0,272	0,2923	0,993	1,487	29,4	12,001	29,2	18,1	23,65	3,81	0,00	0,85	3,238	200,00	115,00	157,50	0	146,45	
6-ago	218	0,973	-0,272	0,2873	0,993	1,488	29,5	12,054	18,8	15,1	16,95	1,85	0,00	0,85	1,574	200,00	115,00	157,50	0	144,88	
7-ago	219	0,9733	-0,272	0,2823	0,993	1,490	29,7	12,107	17,8	11,5	14,65	2,27	0,00	0,85	1,927	200,00	115,00	157,50	0	142,95	
8-ago	220	0,9736	-0,272	0,2771	0,994	1,491	29,8	12,161	18,4	12,8	15,6	2,21	0,00	0,85	1,878	200,00	115,00	157,50	0	141,07	
9-ago	221	0,974	-0,272	0,2719	0,994	1,493	29,9	12,216	32,5	18,6	25,55	4,54	0,00	0,85	3,858	200,00	115,00	157,50	18,57	155,78	
10-ago	222	0,9743	-0,272	0,2666	0,994	1,495	30,1	12,271	31,4	18,1	24,75	4,38	0,00	0,85	3,721	200,00	115,00	157,50	0	152,06	
11-ago	223	0,9747	-0,272	0,2612	0,994	1,496	30,2	12,327	26,7	19,3	23	3,14	0,00	0,85	2,673	200,00	115,00	157,50	0	149,39	
12-ago	224	0,9751	-0,272	0,2558	0,995	1,498	30,3	12,383	25,7	18,2	21,95	3,10	0,00	0,85	2,634	200,00	115,00	157,50	0	146,76	
13-ago	225	0,9754	-0,272	0,2502	0,995	1,500	30,5	12,440	25,5	15,1	20,3	3,51	0,00	0,85	2,986	200,00	115,00	157,50	0	143,77	
14-ago	226	0,9758	-0,272	0,2446	0,995	1,501	30,6	12,498	17,8	11,5	14,65	2,34	0,00	0,85	1,989	200,00	115,00	157,50	0	141,78	
15-ago	227	0,9762	-0,272	0,239	0,995	1,503	30,8	12,555	18,4	12,8	15,6	2,28	0,00	0,85	1,939	200,00	115,00	157,50	0	139,84	
16-ago	228	0,9766	-0,272	0,2332	0,996	1,505	30,9	12,614	33,5	16,5	25	5,12	0,00	0,85	4,349	200,00	115,00	157,50	15,31	150,80	
17-ago	229	0,977	-0,272	0,2274	0,996	1,506	31,0	12,672	35	18	26,5	5,32	0,00	0,85	4,523	200,00	115,00	157,50	0	146,28	
18-ago	230	0,9774	-0,272	0,2215	0,996	1,508	31,2	12,731	35	19,7	27,35	5,17	0,00	0,85	4,393	200,00	115,00	157,50	0	141,89	
19-ago	231	0,9778	-0,272	0,2156	0,996	1,510	31,3	12,791	33,9	17,7	25,8	5,16	0,00	0,85	4,386	200,00	115,00	157,50	0	137,50	
20-ago	232	0,9783	-0,272	0,2095	0,996	1,512	31,5	12,850	35,7	18,3	27	5,52	0,00	0,85	4,692	200,00	115,00	157,50	15,31	148,12	
21-ago	233	0,9787	-0,272	0,2035	0,997	1,513	31,6	12,910	33,5	20,7	27,1	4,77	5,86	0,85	4,052	200,00	115,00	157,50	0	149,92	
22-ago	234	0,9791	-0,272	0,1973	0,997	1,515	31,8	12,970	34,6	19,8	27,2	5,16	0,00	0,85	4,388	200,00	115,00	157,50	0	145,54	
23-ago	235	0,9796	-0,272	0,1911	0,997	1,517	31,9	13,031	35,4	20,3	27,85	5,31	0,00	0,85	4,517	200,00	115,00	157,50	10,5	151,52	
24-ago	236	0,98	-0,272	0,1849	0,997	1,519	32,1	13,091	35	20,7	27,85	5,20	0,00	0,85	4,416	200,00	115,00	157,50	0	147,10	
25-ago	237	0,9805	-0,272	0,1786	0,997	1,520	32,2	13,152	33,1	20,1	26,6	4,84	10,31	0,85	4,114	200,00	115,00	157,50	0	153,30	
26-ago	238	0,9809	-0,272	0,1722	0,998	1,522	32,4	13,212	26	21,2	23,6	2,75	0,00	0,85	2,342	200,00	115,00	157,50	0	150,96	
27-ago	239	0,9814	-0,272	0,1658	0,998	1,524	32,5	13,273	26,1	19,1	22,6	3,26	0,00	0,85	2,772	200,00	115,00	157,50	10,5	158,69	
28-ago	240	0,9819	-0,272	0,1593	0,998	1,526	32,7	13,334	31,1	19,6	25,35	4,49	1,42	0,85	3,813	200,00	115,00	157,50	0	156,29	
29-ago	241	0,9824	-0,272	0,1528	0,998	1,528	32,8	13,395	27,3	19,4	23,35	3,56	0,00	0,85	3,027	200,00	115,00	157,50	0	153,27	

30-ago	242	0,9828	-0,272	0,1463	0,998	1,530	33,0	13,456	32,5	20	26,25	4,82	0,00	0,85	4,095	200,00	115,00	157,50	20,19	169,36
31-ago	243	0,9833	-0,272	0,1397	0,998	1,532	33,1	13,517	36,5	18,2	27,35	6,00	0,00	0,85	5,101	200,00	115,00	157,50	0	164,26
1-sep	244	0,9838	-0,272	0,133	0,999	1,534	33,3	13,577	36,5	17,1	26,8	6,13	0,00	0,85	5,212	200,00	115,00	157,50	0	159,05
2-sep	245	0,9843	-0,272	0,1264	0,999	1,535	33,4	13,638	36,7	17,9	27,3	6,13	0,00	0,85	5,211	200,00	115,00	157,50	0	153,84
3-sep	246	0,9848	-0,272	0,1197	0,999	1,537	33,6	13,698	36,2	20,3	28,25	5,78	0,00	0,85	4,915	200,00	115,00	157,50	20,19	169,11
4-sep	247	0,9853	-0,272	0,1129	0,999	1,539	33,7	13,759	36,1	21,1	28,6	5,68	0,00	0,85	4,831	200,00	115,00	157,50	0	164,28
5-sep	248	0,9858	-0,272	0,1061	0,999	1,541	33,9	13,819	35,8	19,5	27,65	5,83	0,00	0,85	4,955	200,00	115,00	157,50	0	159,33
6-sep	249	0,9864	-0,272	0,0993	0,999	1,543	34,0	13,879	38,7	19,7	29,2	6,54	0,00	0,85	5,556	200,00	115,00	157,50	13,9	167,67
7-sep	250	0,9869	-0,272	0,0925	0,999	1,545	34,1	13,938	37,3	18,1	27,7	6,39	0,00	0,85	5,430	200,00	115,00	157,50	0	162,24
8-sep	251	0,9874	-0,272	0,0856	0,999	1,547	34,3	13,997	37,4	19,3	28,35	6,32	0,00	0,85	5,370	200,00	115,00	157,50	0	156,87
9-sep	252	0,9879	-0,272	0,0787	1,000	1,549	34,4	14,056	22,3	17,6	19,95	2,64	1,50	0,85	2,248	200,00	115,00	157,50	0	156,12
10-sep	253	0,9885	-0,272	0,0718	1,000	1,551	34,6	14,115	21,5	16,5	19	2,67	9,46	0,85	2,269	200,00	115,00	157,50	13,9	177,21
11-sep	254	0,9889	-0,272	0,0648	1,000	1,553	34,7	14,173	32,2	17,5	24,85	5,33	0,00	0,85	4,529	200,00	115,00	157,50	0	172,68
12-sep	255	0,9895	-0,272	0,0579	1,000	1,555	34,9	14,231	38,1	17,7	27,9	6,75	0,00	0,85	5,740	200,00	115,00	157,50	0	166,94
13-sep	256	0,9901	-0,272	0,0509	1,000	1,557	35,0	14,289	37,5	17,9	27,7	6,62	0,00	0,85	5,624	200,00	115,00	157,50	21,6	182,92
14-sep	257	0,9906	-0,272	0,0439	1,000	1,559	35,1	14,346	35	20,5	27,75	5,72	0,00	0,85	4,862	200,00	115,00	157,50	0	178,06
15-sep	258	0,9912	-0,272	0,0369	1,000	1,561	35,3	14,402	30,3	22,3	26,3	4,13	0,00	0,85	3,510	200,00	115,00	157,50	0	174,55
16-sep	259	0,9917	-0,272	0,0299	1,000	1,562	35,4	14,459	35	18,9	26,95	5,97	0,00	0,85	5,073	200,00	115,00	157,50	0	169,47
17-sep	260	0,9923	-0,272	0,0229	1,000	1,564	35,6	14,514	37,3	17,1	27,2	6,75	0,00	0,85	5,736	200,00	115,00	157,50	21,6	185,34
18-sep	261	0,9928	-0,272	0,0158	1,000	1,566	35,7	14,569	38,4	20,2	29,3	6,73	0,00	0,85	5,721	200,00	115,00	157,50	0	179,62
19-sep	262	0,9934	-0,272	0,0088	1,000	1,568	35,8	14,624	39,6	18,5	29,05	7,23	0,00	0,85	6,150	200,00	115,00	157,50	0	173,47
20-sep	263	0,9939	-0,272	0,0017	1,000	1,570	36,0	14,678	39	18	28,5	7,16	0,00	0,85	6,085	200,00	115,00	157,50	20,6	187,98
21-sep	264	0,9945	-0,272	-0,005	1,000	1,572	36,1	14,731	32,3	19,9	26,1	5,24	0,00	0,85	4,450	200,00	115,00	157,50	0	183,53
22-sep	265	0,995	-0,272	-0,012	1,000	1,574	36,2	14,784	34,6	20,1	27,35	5,84	0,00	0,85	4,967	200,00	115,00	157,50	0	178,57
23-sep	266	0,9956	-0,272	-0,019	1,000	1,576	36,3	14,836	34,7	18,2	26,45	6,13	2,95	0,85	5,211	200,00	115,00	157,50	0	176,31
24-sep	267	0,9962	-0,272	-0,026	1,000	1,578	36,5	14,887	35,9	20,1	28	6,23	0,00	0,85	5,296	200,00	115,00	157,50	20,6	191,61
25-sep	268	0,9967	-0,272	-0,033	1,000	1,580	36,6	14,938	37,4	17	27,2	6,98	0,00	0,85	5,933	200,00	115,00	157,50	0	185,68
26-sep	269	0,9973	-0,272	-0,04	1,000	1,582	36,7	14,988	38,1	19,7	28,9	6,90	0,00	0,85	5,867	200,00	115,00	157,50	0	179,81
27-sep	270	0,9979	-0,272	-0,047	1,000	1,584	36,8	15,038	39,3	19,4	29,35	7,27	0,00	0,85	6,181	200,00	115,00	157,50	25,85	199,48
28-sep	271	0,9984	-0,272	-0,054	1,000	1,586	37,0	15,087	36,7	21,7	29,2	6,31	0,00	0,85	5,366	200,00	115,00	157,50	0	194,11
29-sep	272	0,999	-0,272	-0,061	1,000	1,588	37,1	15,135	41,2	19,3	30,25	7,82	0,00	0,85	6,650	200,00	115,00	157,50	0	187,46
30-sep	273	0,9996	-0,272	-0,068	1,000	1,590	37,2	15,182	39,6	19,9	29,75	7,37	0,00	0,85	6,261	200,00	115,00	157,50	0	181,20
1-oct	274	1,0001	-0,272	-0,075	1,000	1,592	37,3	15,228	41,2	19,3	30,25	7,87	0,00	0,85	6,691	200,00	115,00	157,50	25,85	200,36
2-oct	275	1,0007	-0,272	-0,082	0,999	1,594	37,4	15,274	39,9	20,3	30,1	7,45	0,00	0,85	6,330	200,00	115,00	157,50	0	194,03
3-oct	276	1,0013	-0,272	-0,089	0,999	1,596	37,5	15,319	39,9	20,5	30,2	7,45	0,00	0,85	6,329	200,00	115,00	157,50	0	187,70

4-oct	277	1,0018	-0,272	-0,096	0,999	1,598	37,6	15,364	32,7	21	26,85	5,39	0,00	0,85	4,585	200,00	115,00	157,50	18,2	201,32
5-oct	278	1,0024	-0,272	-0,103	0,999	1,600	37,7	15,407	32	19,9	25,95	5,39	0,00	0,85	4,582	200,00	115,00	157,50	0	196,74
6-oct	279	1,003	-0,272	-0,11	0,999	1,601	37,9	15,450	37,7	20	28,85	6,97	0,00	0,85	5,925	200,00	115,00	157,50	0	190,81
7-oct	280	1,0035	-0,272	-0,116	0,999	1,603	38,0	15,492	38,5	20,1	29,3	7,20	12,71	0,85	6,116	200,00	115,00	157,50	0	197,40
8-oct	281	1,0041	-0,272	-0,123	0,999	1,605	38,1	15,533	37,5	22	29,75	6,68	0,00	0,85	5,682	200,00	115,00	157,50	18,2	209,92
9-oct	282	1,0047	-0,272	-0,13	0,999	1,607	38,2	15,573	40,3	21,3	30,8	7,58	0,00	0,85	6,447	200,00	115,00	157,50	0	203,48
10-oct	283	1,0052	-0,272	-0,136	0,999	1,609	38,3	15,613	40,7	21,4	31,05	7,70	0,00	0,85	6,547	200,00	115,00	157,50	0	196,93
11-oct	284	1,0058	-0,272	-0,143	0,998	1,611	38,3	15,651	31,1	21,4	26,25	4,94	20,35	0,85	4,196	200,00	115,00	157,50	0	213,08
12-oct	285	1,0064	-0,272	-0,15	0,998	1,613	38,4	15,689	33,1	26,7	29,9	4,35	0,00	0,85	3,700	200,00	115,00	157,50	0	209,38
13-oct	286	1,0069	-0,272	-0,156	0,998	1,615	38,5	15,726	36,9	20,5	28,7	6,81	0,00	0,85	5,787	200,00	115,00	157,50	12	215,60
14-oct	287	1,0075	-0,272	-0,163	0,998	1,617	38,6	15,762	35,3	23,3	29,3	5,91	0,00	0,85	5,025	200,00	115,00	157,50	0	210,57
15-oct	288	1,008	-0,272	-0,169	0,998	1,618	38,7	15,798	39,2	22,9	31,05	7,16	0,00	0,85	6,088	200,00	115,00	157,50	12	216,48
16-oct	289	1,0086	-0,272	-0,175	0,998	1,620	38,8	15,833	30,3	19,8	25,05	5,05	5,81	0,85	4,296	200,00	115,00	157,50	0	218,00
17-oct	290	1,0091	-0,272	-0,182	0,997	1,622	38,9	15,866	27,1	20,5	23,8	3,90	0,00	0,85	3,313	200,00	115,00	157,50	0	214,68
18-oct	291	1,0097	-0,272	-0,188	0,997	1,624	39,0	15,899	28,9	20,9	24,9	4,41	0,00	0,85	3,752	200,00	115,00	157,50	22,5	233,43
19-oct	292	1,0102	-0,272	-0,194	0,997	1,626	39,0	15,932	26,5	19,8	23,15	3,88	0,00	0,85	3,300	200,00	115,00	157,50	0	230,13
20-oct	293	1,0107	-0,272	-0,2	0,997	1,627	39,1	15,963	36	16,7	26,35	7,12	0,00	0,85	6,050	200,00	115,00	157,50	0	224,08
21-oct	294	1,0113	-0,272	-0,207	0,997	1,629	39,2	15,994	39,8	17,3	28,55	8,08	0,00	0,85	6,871	200,00	115,00	157,50	0	217,21
22-oct	295	1,0118	-0,272	-0,213	0,996	1,631	39,3	16,023	40,5	21	30,75	7,90	0,00	0,85	6,713	200,00	115,00	157,50	22,5	233,00
23-oct	296	1,0123	-0,272	-0,219	0,996	1,633	39,3	16,052	40,8	21,4	31,1	7,95	0,00	0,85	6,756	200,00	115,00	157,50	0	226,24
24-oct	297	1,0129	-0,272	-0,224	0,996	1,634	39,4	16,081	31,7	19,5	25,6	5,60	0,00	0,85	4,763	200,00	115,00	157,50	0	221,48
25-oct	298	1,0134	-0,272	-0,23	0,996	1,636	39,5	16,108	35,5	15,9	25,7	7,13	0,00	0,85	6,062	200,00	115,00	157,50	20,4	235,82
26-oct	299	1,0139	-0,272	-0,236	0,996	1,638	39,5	16,135	37,7	14,4	26,05	7,85	0,00	0,85	6,673	200,00	115,00	157,50	0	229,14
27-oct	300	1,0144	-0,272	-0,242	0,995	1,640	39,6	16,161	37,3	13,6	25,45	7,82	12,21	0,85	6,649	200,00	115,00	157,50	0	234,70
28-oct	301	1,0149	-0,272	-0,247	0,995	1,641	39,7	16,186	39,2	18,7	28,95	7,88	0,00	0,85	6,695	200,00	115,00	157,50	0	228,01
29-oct	302	1,0154	-0,272	-0,253	0,995	1,643	39,7	16,210	37,9	21	29,45	7,24	0,00	0,85	6,153	200,00	115,00	157,50	20,4	242,26
30-oct	303	1,0159	-0,272	-0,259	0,995	1,645	39,8	16,234	38	20,1	29,05	7,40	0,00	0,85	6,288	200,00	115,00	157,50	0	235,97
31-oct	304	1,0164	-0,272	-0,264	0,994	1,646	39,8	16,257	33,5	21,3	27,4	5,90	0,00	0,85	5,015	200,00	115,00	157,50	0	230,95
1-nov	305	1,0169	-0,272	-0,269	0,994	1,648	39,9	16,279	38,5	21	29,75	7,44	0,00	0,85	6,328	200,00	115,00	157,50	12,9	237,53
2-nov	306	1,0174	-0,272	-0,275	0,994	1,649	39,9	16,301	33,1	20,7	26,9	5,90	0,00	0,85	5,014	200,00	115,00	157,50	0	232,51
3-nov	307	1,0179	-0,272	-0,28	0,994	1,651	40,0	16,322	37,5	21	29,25	7,17	10,69	0,85	6,095	200,00	115,00	157,50	0	237,11
4-nov	308	1,0183	-0,272	-0,285	0,993	1,652	40,0	16,342	37,1	22,5	29,8	6,83	0,00	0,85	5,808	200,00	115,00	157,50	0	231,30
5-nov	309	1,0188	-0,272	-0,29	0,993	1,654	40,1	16,361	26,2	20,5	23,35	3,70	0,00	0,85	3,141	200,00	115,00	157,50	12,9	241,06
6-nov	310	1,0193	-0,272	-0,295	0,993	1,655	40,1	16,380	27	21,1	24,05	3,83	12,14	0,85	3,254	200,00	115,00	157,50	0	249,94
7-nov	311	1,0197	-0,272	-0,3	0,993	1,657	40,2	16,398	28,2	20,8	24,5	4,34	0,00	0,85	3,687	200,00	115,00	157,50	0	246,26
8-nov	312	1,0202	-0,272	-0,304	0,992	1,658	40,2	16,416	31,5	20,5	26	5,48	0,00	0,85	4,660	200,00	115,00	157,50	24	265,60
9-nov	313	1,0206	-0,272	-0,309	0,992	1,660	40,3	16,433	37,7	20,9	29,3	7,29	0,00	0,85	6,199	200,00	115,00	157,50	0	259,40
10-nov	314	1,0211	-0,272	-0,314	0,992	1,661	40,3	16,450	38,3	20,7	29,5	7,50	0,00	0,85	6,378	200,00	115,00	157,50	0	253,02
11-nov	315	1,0215	-0,272	-0,318	0,992	1,663	40,3	16,465	36,2	21,2	28,7	6,82	0,00	0,85	5,794	200,00	115,00	157,50	0	247,23
12-nov	316	1,0219	-0,272	-0,322	0,991	1,664	40,4	16,481	36,7	22	29,35	6,85	0,00	0,85	5,822	200,00	115,00	157,50	24	265,40
13-nov	317	1,0224	-0,272	-0,327	0,991	1,665	40,4	16,495	35,5	21,3	28,4	6,60	0,00	0,85	5,612	200,00	115,00	157,50	0	259,79
14-nov	318	1,0228	-0,272	-0,331	0,991	1,667	40,4	16,509	38,5	21,7	30,1	7,45	0,00	0,85	6,334	200,00	115,00	157,50	0	253,46
15-nov	319	1,0232	-0,272	-0,335	0,991	1,668	40,5	16,523	34,9	23,8	29,35	5,97	0,00	0,85	5,072	200,00	115,00	157,50	0	248,39
16-nov	320	1,0236	-0,272	-0,339	0,990	1,669	40,5	16,536	28,9	22,6	25,75	4,16	3,00	0,85	3,532	200,00	115,00	157,50	3,9	251,76

Anexo 8. Datos de Déficit de Presión de Vapor

Fecha	T(max)	T(min)	HR(max)	HR(min)	$e^0(T_{max})$	$e^0(T_{mix})$	e_s	e_a	DPV
16/8/2021	33,5	16,5	44	29	5,17	1,88	3,53	1,16	2,36
17/8/2021	35	18	45	28	5,62	2,06	3,84	1,25	2,59
18/8/2021	35	19,7	44	28	5,62	2,30	3,96	1,29	2,67
19/8/2021	33,9	17,7	46	28	5,29	2,03	3,66	1,21	2,45
20/8/2021	35,7	18,3	45	28	5,84	2,10	3,97	1,29	2,68
21/8/2021	33,5	20,7	46	28	5,17	2,44	3,81	1,29	2,52
22/8/2021	34,6	19,8	50	28	5,50	2,31	3,90	1,35	2,56
23/8/2021	35,4	20,3	44	28	5,75	2,38	4,07	1,33	2,74
24/8/2021	35	20,7	43	28	5,62	2,44	4,03	1,31	2,72
25/8/2021	33,1	20,1	46	29	5,06	2,35	3,71	1,27	2,43
26/8/2021	26	21,2	44	32	3,36	2,52	2,94	1,09	1,85
27/8/2021	26,1	19,1	40	31	3,38	2,21	2,80	0,97	1,83
28/8/2021	31,1	19,6	42	30	4,52	2,28	3,40	1,16	2,24
29/8/2021	27,3	19,4	43	31	3,63	2,25	2,94	1,05	1,89
30/8/2021	32,5	20	42	29	4,89	2,34	3,61	1,20	2,41
31/8/2021	36,5	18,2	40	28	6,11	2,09	4,10	1,27	2,83
1/9/2021	36,5	17,1	39	28	6,11	1,95	4,03	1,24	2,79
2/9/2021	36,7	17,9	39	27	6,17	2,05	4,11	1,23	2,88
3/9/2021	36,2	20,3	39	27	6,01	2,38	4,19	1,28	2,92
4/9/2021	36,1	21,1	40	28	5,97	2,50	4,24	1,34	2,90
5/9/2021	35,8	19,5	40	28	5,88	2,27	4,07	1,28	2,80
6/9/2021	38,7	19,7	39	27	6,88	2,30	4,59	1,38	3,21
7/9/2021	37,3	18,1	39	27	6,38	2,08	4,23	1,27	2,96
8/9/2021	37,4	19,3	38	27	6,41	2,24	4,33	1,29	3,03
9/9/2021	22,3	17,6	42	34	2,69	2,01	2,35	0,88	1,47
10/9/2021	21,5	16,5	38	34	2,56	1,88	2,22	0,79	1,43
11/9/2021	32,2	17,5	40	29	4,81	2,00	3,40	1,10	2,31
12/9/2021	38,1	17,7	40	27	6,66	2,03	4,34	1,30	3,04

Fecha	T(max)	T(min)	HR(max)	HR(min)	$e^0(T_{max})$	$e^0(T_{min})$	ϵ_s	ϵ_a	DPV
13/9/2021	37,5	17,9	39	28	6,45	2,05	4,25	1,30	2,95
14/9/2021	35	20,5	38	28	5,62	2,41	4,02	1,25	2,77
15/9/2021	30,3	22,3	37	30	4,32	2,69	3,50	1,15	2,36
16/9/2021	35	18,9	40	29	5,62	2,18	3,90	1,25	2,65
17/9/2021	37,3	17,1	40	27	6,38	1,95	4,16	1,25	2,91
18/9/2021	38,4	20,2	38	28	6,77	2,37	4,57	1,40	3,17
19/9/2021	39,6	18,5	38	27	7,22	2,13	4,67	1,38	3,30
20/9/2021	39	18	38	27	6,99	2,06	4,53	1,34	3,19
21/9/2021	32,3	19,9	28	29	4,84	2,32	3,58	1,03	2,55
22/9/2021	34,6	20,1	40	29	5,50	2,35	3,93	1,27	2,66
23/9/2021	34,7	18,2	39	28	5,53	2,09	3,81	1,18	2,63
24/9/2021	35,9	20,1	38	28	5,91	2,35	4,13	1,27	2,86
25/9/2021	37,4	17	38	27	6,41	1,94	4,18	1,23	2,94
26/9/2021	38,1	19,7	37	27	6,66	2,30	4,48	1,32	3,15
27/9/2021	39,3	19,4	37	27	7,10	2,25	4,68	1,38	3,30
28/9/2021	36,7	21,7	36	27	6,17	2,60	4,38	1,30	3,08
29/9/2021	41,2	19,3	40	27	7,86	2,24	5,05	1,51	3,54
30/9/2021	39,6	19,9	37	26	7,22	2,32	4,77	1,37	3,40
1/10/2021	41,2	19,3	37	26	7,86	2,24	5,05	1,44	3,61
2/10/2021	39,9	20,3	38	27	7,34	2,38	4,86	1,44	3,42
3/10/2021	39,9	20,5	38	26	7,34	2,41	4,87	1,41	3,46

Fecha	T(max)	T(min)	HR(max)	HR(min)	$e^0(T_{max})$	$e^0(T_{min})$	ϵ_s	ϵ_a	DPV
4/10/2021	32,7	21	40	29	4,95	2,49	3,72	1,21	2,50
5/10/2021	32	19,9	46	29	4,75	2,32	3,54	1,22	2,32
6/10/2021	37,7	20	40	27	6,52	2,34	4,43	1,35	3,08
7/10/2021	38,5	20,1	38	27	6,81	2,35	4,58	1,37	3,21
8/10/2021	37,5	22	43	27	6,45	2,64	4,55	1,44	3,11
9/10/2021	40,3	21,3	39	27	7,49	2,53	5,01	1,51	3,51
10/10/2021	40,7	21,4	36	27	7,66	2,55	5,10	1,49	3,61
11/10/2021	31,1	21,4	38	30	4,52	2,55	3,53	1,16	2,37
12/10/2021	33,1	26,7	45	29	5,06	3,50	4,28	1,52	2,76
13/10/2021	36,9	20,5	39	28	6,24	2,41	4,33	1,34	2,98
14/10/2021	35,3	23,3	37	28	5,72	2,86	4,29	1,33	2,96
15/10/2021	39,2	22,9	39	27	7,07	2,79	4,93	1,50	3,43
16/10/2021	30,3	19,8	37	29	4,32	2,31	3,31	1,05	2,26
17/10/2021	27,1	20,5	37	28	3,59	2,41	3,00	0,95	2,05
18/10/2021	28,9	20,9	38	30	3,98	2,47	3,23	1,07	2,16
19/10/2021	26,5	19,8	38	31	3,46	2,31	2,89	0,98	1,91
20/10/2021	36	16,7	39	28	5,94	1,90	3,92	1,20	2,72
21/10/2021	39,8	17,3	37	27	7,30	1,97	4,64	1,35	3,29
22/10/2021	40,5	21	35	27	7,57	2,49	5,03	1,46	3,57
23/10/2021	40,8	21,4	36	27	7,70	2,55	5,12	1,50	3,62
24/10/2021	31,7	19,5	26	29	4,67	2,27	3,47	0,97	2,50

Fecha	T(max)	T(min)	HR(max)	HR(min)	$e^0(T_{max})$	$e^0(T_{min})$	e_s	e_a	DPV
25/10/2021	35,5	15,9	38	28	5,78	1,81	3,79	1,15	2,64
26/10/2021	37,7	14,4	38	27	6,52	1,64	4,08	1,19	2,89
27/10/2021	37,3	13,6	38	27	6,38	1,56	3,97	1,16	2,81
28/10/2021	39,2	18,7	36	27	7,07	2,16	4,61	1,34	3,27
29/10/2021	37,9	21	40	27	6,59	2,49	4,54	1,39	3,15
30/10/2021	38	20,1	39	27	6,62	2,35	4,49	1,35	3,14
31/10/2021	33,5	21,3	36	29	5,17	2,53	3,85	1,21	2,65
1/11/2021	38,5	21	38	27	6,81	2,49	4,65	1,39	3,26
2/11/2021	33,1	20,7	38	29	5,06	2,44	3,75	1,20	2,55
3/11/2021	37,5	21	37	27	6,45	2,49	4,47	1,33	3,14
4/11/2021	37,1	22,5	37	28	6,31	2,73	4,52	1,39	3,13
5/11/2021	26,2	20,5	38	28	3,40	2,41	2,91	0,93	1,97
6/11/2021	27	21,1	42	29	3,57	2,50	3,03	1,04	1,99
7/11/2021	28,2	20,8	39	30	3,82	2,46	3,14	1,05	2,09
8/11/2021	31,5	20,5	38	29	4,62	2,41	3,52	1,13	2,39
9/11/2021	37,7	20,9	38	27	6,52	2,47	4,49	1,35	3,15
10/11/2021	38,3	20,7	36	27	6,73	2,44	4,59	1,35	3,24
11/11/2021	36,2	21,2	35	26	6,01	2,52	4,26	1,22	3,04
12/11/2021	36,7	22	35	28	6,17	2,64	4,41	1,33	3,08
13/11/2021	35,5	21,3	37	27	5,78	2,53	4,16	1,25	2,91
14/11/2021	38,5	21,7	36	27	6,81	2,60	4,70	1,39	3,31
15/11/2021	34,9	23,8	35	28	5,59	2,95	4,27	1,30	2,97
16/11/2021	28,9	22,6	36	31	3,98	2,74	3,36	1,11	2,25

Anexo 9. Variaciones del diámetro del tronco

MCD (μm)			MNCD (μm)			CDT (μm)		
T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3
4900	4800	5100	4400	4400	4700	500	400	400
5100	5000	5000	4700	4600	4500	400	400	500
4900	5000	4500	4400	4600	4000	500	400	500
5000	5100	4700	4500	4700	4300	500	400	400
5100	5000	4600	4600	4500	4100	500	500	500
4900	4800	4700	4500	4400	4300	400	400	400
5100	5100	4800	4600	4700	4400	500	400	400
4900	5000	4700	4500	4500	4200	400	500	500
4900	4900	4700	4500	4500	4300	400	400	400
5200	5100	4900	4800	4700	4500	400	400	400
5000	5000	4600	4800	4800	4400	200	200	200
5200	5100	4900	4800	4800	4600	400	300	300
5300	5300	5000	4800	4800	4600	500	500	400
5200	5200	5000	4800	4800	4700	400	400	300
5200	5200	5000	4700	4700	4600	500	500	400
4700	4700	5200	4200	4200	4700	500	500	500
4700	4700	5200	4200	4200	4700	500	500	500
4800	4700	4800	4200	4100	4300	600	600	500
4700	4700	4700	4200	4200	4200	500	500	500
4800	4700	5000	4300	4100	4500	500	600	500
4700	4600	4900	4200	4000	4400	500	600	500
4600	4400	4800	4000	3800	4200	600	600	600
4600	4500	4500	4000	3900	4000	600	600	500
4400	4400	4600	3900	3900	4100	500	500	500
4500	4500	4600	4300	4300	4400	200	200	200
4600	4600	4800	4300	4300	4600	300	300	200
5000	4800	4900	4300	4400	4400	700	400	500
4900	4800	4900	4200	4100	4300	700	700	600
4800	4800	4900	4200	4200	4300	600	600	600
4500	4500	5100	4000	4000	4600	500	500	500
4600	4500	5200	4000	4100	4800	600	400	400
4700	4900	5100	4100	4400	4600	600	500	500
4600	4500	5300	4100	3700	4700	500	800	600
4500	4200	4800	3900	3600	4200	600	600	600
4600	4100	5000	4000	3500	4200	600	600	800
4700	4200	4600	4200	3600	4000	500	600	600
4800	4100	4500	4200	3500	4100	600	600	400
4800	4300	4600	4400	3700	4100	400	600	500
4400	4200	4600	3700	3500	4100	700	700	500
4100	4100	4800	3600	3600	4300	500	500	500
4300	4100	4600	3700	3500	4000	600	600	600
4400	3900	4800	3900	3300	4200	500	600	600
4900	4100	4500	4200	3400	3900	700	700	600

4700	4000	4400	4100	3400	3900	600	600	500
4600	4000	4500	3800	3400	3800	800	600	700
4700	4000	4300	4000	3300	3700	700	700	600
4500	4000	4800	4200	3400	4100	300	600	700
4600	3900	5000	4000	3300	4400	600	600	600
4500	3800	4900	4100	3200	4300	400	600	600
4700	4300	5200	4100	3800	4700	600	500	500
4500	4200	4800	4200	3700	4200	300	500	600
4500	4300	5200	3900	3700	4500	600	600	700
4200	4200	5100	3800	3600	4500	400	600	600
4600	4400	4900	4000	3800	4300	600	600	600
4800	4700	4800	4200	4100	4200	600	600	600
5000	5000	5000	4500	4300	4300	500	700	700
5100	5300	4900	4600	4800	4500	500	500	400
5000	5000	4800	4600	4600	4400	400	400	400
5200	5000	5100	4600	4400	4600	600	600	500
4900	4900	5300	4400	4400	4800	500	500	500
5100	5300	5000	4500	4700	4400	600	600	600
4900	4900	4900	4500	4500	4500	400	400	400
5100	5000	4800	4700	4500	4500	400	500	300
5200	4800	5000	4700	4600	4600	500	200	400
5200	4600	5000	4700	4400	4700	500	200	300
5100	4800	5200	4700	4200	4600	400	600	600
5100	5200	5100	4600	4500	4500	500	700	600
5200	5000	5200	4700	4500	4500	500	500	700
5300	4900	5200	4600	4300	4700	700	600	500
5200	4800	5200	4500	4300	4500	700	500	700
5100	4800	5000	4700	4200	4600	400	600	400
5000	5000	5100	4400	4300	4500	600	700	600
5100	5100	5200	4400	4400	4700	700	700	500
5200	5000	4800	4600	4500	4200	600	500	600
5100	5100	4900	4500	4500	4300	600	600	600
5300	5000	4600	4700	4400	4100	600	600	500
5200	5000	4800	4500	4300	4200	700	700	600
5000	4900	4900	4400	4300	4300	600	600	600
4900	4800	5100	4300	4200	4500	600	600	600
5000	4600	5000	4600	4000	4500	400	600	500
5100	4700	5300	4300	4000	4600	800	700	700
5000	4600	4900	4600	4200	4700	400	400	200
4900	4600	5000	4600	4300	4700	300	300	300
5100	5000	5100	4500	4400	4600	600	600	500
5100	4900	4900	4300	4400	4300	800	500	600
4800	4600	4600	4200	4000	4100	600	600	500
5200	4700	4800	4600	4000	4200	600	700	600
5100	4500	4900	4700	3900	4300	400	600	600
4900	4600	4700	4300	4000	4100	600	600	600
5000	4900	4900	4200	4400	4200	800	500	700
4900	4800	4800	4500	4200	4100	400	600	700
5000	4900	4500	4400	4400	3900	600	500	600
4900	4900	4700	4600	4500	4300	300	400	400

Anexo 10. Instalación en campo de termo higrómetro



Anexo 11. Instalación de dendrómetros

