



**UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**

TESIS DE GRADO

TEMA

**CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN MEDIANTE TRES
MÉTODOS Y DETERMINACIÓN DE LAS NECESIDADES DE
RIEGO EN LOS CULTIVOS DE PEPINO Y PIMIENTO EN LA
FINCA “LA MARÍA”**

Previo a la Obtención del Título de:

Ingeniera Agrónoma

AUTORA

SANDRA CAROLINA CHAVEZ ARTEAGA

DIRECTOR DE TESIS

Ing. Agric. LEONARDO GONZALO MATUTE MATUTE M.Sc.

Quevedo - Ecuador

2015

DECLARACION DE AUTORIA Y SESION DE DERECHOS

Yo, **SANDRA CAROLINA CHAVEZ ARTEAGA** declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Técnica Estatal de Quevedo, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, y por la normatividad institucional vigente.

SANDRA CAROLINA CHAVEZ ARTEAGA

CERTIFICACION DEL DIRECTOR DE TESIS

El suscrito, Ing. Agric. Leonardo Gonzalo Matute Matute MSc, Docente de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, certifica que la Egresada Sandra Carolina Chávez Arteaga, realizó la tesis de grado previo a la obtención del título de Ingeniero Agrónomo titulada **“Cálculo de la evapotranspiración mediante tres métodos y determinación de las necesidades de riego en los cultivos de pepino y pimiento en la “Finca la María”, bajo mi dirección, habiendo cumplido con todas las disposiciones reglamentarias establecidas.**

Ing. Agric. Leonardo Gonzalo Matute Matute M.Sc
DIRECTOR DE TESIS



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

Presentado al Consejo Directivo como Requisito Previo a la Obtención del
Título de Ingeniera Agrónoma.

TÍTULO DE LA TESIS:

**“CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN MEDIANTE TRES MÉTODOS
Y DETERMINACIÓN DE LAS NECESIDADES DE RIEGO EN LOS CULTIVOS
DE PEPINO Y PIMIENTO EN LA FINCA LA MARÍA”.**

Aprobado:

Ing. Agron. Ramiro Remigio Gaibor Fernández M.Sc
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE TESIS

Ing. Agron. Ignacio Antonio Sotomayor Herrera M.Sc
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Econ. Flavio Raúl Ramos Martínez M.Sc
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Quevedo – Ecuador

2015

AGRADECIMIENTO Y DEDICATORIA

Agradecimiento

La autora de la presente investigación quiere dejar constancia de su sincero agradecimiento a las personas que hicieron posible la culminación de la misma.

A la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Institución digna y grande que me acogió como estudiante.

Le agradezco a mi asesor, Ing. Leonardo Matute M.Sc por su apoyo y motivación para la exitosa culminación de esta investigación de tesis.

Al Ing. Ramiro Gaibor Fernández M.Sc, por su disposición de ayudarnos siempre.

Al Econ. Flavio Ramos Martínez M.Sc, por su ayuda incondicional en cada una de las actividades realizadas en la investigación.

Al Ing. Ignacio Sotomayor, por su ayuda en el desarrollo de esta investigación y por aportar con su conocimiento en la realización de la misma.

A mis padres, hermanos quienes me han brindado la oportunidad de cumplir uno de mis objetivos, contando siempre con su apoyo incondicional.

Sandra Chávez Arteaga

Dedicatoria

A DIOS, mis padres, hermanos porque siempre creyeron en mí y me sacaron adelante con mucho esfuerzo, dándome ejemplos dignos de superación y entrega, gracias a ustedes. Hoy puedo ver alcanzada mi meta, ya que siempre estuvieron apoyándome en los momentos difíciles de mis estudios, y porque el orgullo que sienten por mí, fue lo que me hizo ir hasta el final.

Es dedicada para ustedes, por lo mucho que valen, porque los admiro por su fortaleza y entrega a los que aman.

A todos ellos por ser pilares fundamentales en este proyecto de mi vida y compartir el sueño de obtener el título de Ingeniera Agrónoma.

La Autora

INDICE

Pág.

PORTADA.....	i
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y SESIÓN DE DERECHOS	ii
CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DE TESIS.....	iii
TRIBUNAL DE TESIS	iv
AGRADECIMIENTO Y DEDICATORIA	v
Agradecimiento.....	v
Dedicatoria.....	v
ÍNDICE DE CONTENIDO	vi
ÍNDICE DE CUADROS	vi
ÍNDICE DE ANEXOS	vi
RESUMEN EJECUTIVO	vii
ABSTRACT.....	viii

CAPÍTULO I MARCO CONTEXTUAL DE LA INVESTIGACIÓN..... 1

1. Introducción.....	2
1.2 Objetivos.....	4
1.2.1 General.....	4
1.2.2 Específicos.....	4
1.3 Hipótesis.....	4

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN5

2.1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	6
2.1.1 Cultivo de pimiento.....	6
2.1.2 Taxonomía.....	6
2.1.3 Importancia económica	6
2.1.4 Requerimientos climáticos	6
2.1.4.1 Temperatura.....	7
2.1.4.2 Precipitación	7

2.1.4.3	Luminosidad	7
2.1.4.4	Altitud.....	7
2.1.4.5	Suelos.....	7
2.2	Cultivo de pepino.....	7
2.2.1	Taxonomía.....	7
2.2.2	Temperatura y clima apropiados.....	8
2.2.3	Humedad relativa óptima	8
2.2.4	Luminosidad	8
2.2.5	Tipo de suelo.....	8
2.3	Invernaderos	9
2.4	Necesidades hídricas de los cultivos	10
2.4.1	Capacidad de campo (CC).....	11
2.4.2	Punto de marchitez permanente (PM)	11
2.4.3	Balance hídrico.....	11
2.4.3.1	Ecuación general del balance hídrico	12
2.4.4	Evaporación	13
2.4.4.1	Factores que intervienen en la evaporación	13
2.4.4.2	Transpiración.....	13
2.4.4.3	Balance hídrico de los cultivos (ETc).....	15
2.4.4.4	Manejo de las variables del balance hídrico de los cultivos	19
2.5	Métodos de estimación de la evapotranspiración.....	19
2.5.1.	Método de Blaney-Criddle.....	19
2.5.2.	Método del Tanque Evaporímetro clase A.....	20
2.5.3.	Metodo de Thornthwaite	20
2.6.	Riego por goteo.....	21
2.6.1.	Componentes del sistema de riego.....	21
2.6.1.1.	Fuente de Presión	21

2.6.1.2. Línea de presión.....	22
2.6.1.3. Cabezal de riego	22
2.6.1.4. Porta regantes.....	22
2.6.1.5. Emisores.....	22
2.6.1.6. Eficiencia del sistema por goteo	23
2.6.2. Cantidad de agua absorbida por los cultivos (factor cultivo)	23
2.6.3. Disponibilidad de agua en el suelo (factor suelo)	24

CAPÍTULO III METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN26

3.1. Materiales y Métodos	26
3.1.1. Ubicación... ..	26
3.1.2. Características agroclimáticas	26
3.1.3. Factor en estudio	26
3.2. Tipo de investigación	26
3.3. Diseño de la Investigación	27
3.3.1. Delineamiento experimental	27
3.3.2 Manejo del experimento.....	27
3.4. Variables registradas y metodologia de investigación.....	27
3.4.1. Recopilación de datos meteorológicos	27
3.4.2. Evapotranspiración potencial mensual (ETP)	28
3.4.3. Determinación de la evapotranspiración potencial en campo abierto e invernadero en períodos de 5 días con el método del tanque evaporímetro clase A.....	28
3.4.4. Necesidades de riego	28
3.4.4.1. Humedad equivalente	29
3.4.4.2. Capacidad de campo (CC)	29
3.4.4.3. Punto de marchitez permanente.....	30

3.4.4.4. Capacidad de retención de agua	30
3.4.4.5. Determinación de la humedad del suelo	30
3.4.4.6. Necesidades de agua de riego	31
3.4.4.7. Riego.....	31
 CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	32
4.1. Resultados.....	33
4.1.1. Información meteorológica.....	33
4.1.2. Temperatura y humedad relativa a nivel de invernadero y campo abierto	34
4.1.3. Evapotranspiración.....	36
4.1.4. Evapotranspiración potencial en campo abierto e invernadero.....	36
4.1.5. Balance hídrico para el cultivo de pepino	38
4.1.6. Reposición de consumo de agua en el cultivo de pepino.....	39
4.1.7. Balance hídrico para el cultivo de pimiento	39
4.1.8. Reposición del consumo de agua en el cultivo de pimiento	41
4.1.9. Programación de riego al cultivo de pepino y pimiento	43
4.2. Discusión.....	44
 CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	46
5.1. Conclusiones.....	47
5.2. Recomendaciones.....	49
 CAPÍTULO VI BIBLIOGRAFÍA	51
6.1. Literatura Citada.....	51
 CAPÍTULO VII ANEXOS.....	55

ÍNDICE DE CUADROS

Pág.

CUADROS

N° 1. Valores promedios en 10 años correspondientes a temperatura (°C), humedad relativa (%), precipitación (mm), evaporación (mm) y heliofania (horas) procedentes de la Estación Agrometeorológica Pichilingue	34
N° 2. Valores promedios de temperatura y humedad relativa para períodos de 5 días registrados en condiciones de invernadero y campo abierto en el estudio de evapotranspiración real y necesidades de riego	35
N° 3. Evaluación de la evapotranspiración potencial (ETP) entre los métodos de Blaney Criddle, Thornthwaite y Tanque Evaporímetro Clase en el periodo 2005-2014.....	37
N° 4. Evaluación de la evapotranspiración mediante el Método del Tanque Evaporímetro clase A en campo abierto e invernadero mediante el periodo de investigación	37
N° 5. Cálculo del balance hídrico para el cultivo de pepino en invernadero	38
N° 6. Cálculo del balance hídrico para el cultivo de pimiento en invernadero.....	41
N° 7. Balance hídrico con reposición al 40% de consumo de la lámina de agua disponible en el cultivo de pepino	58
N° 8. Balance hídrico con reposición al 60% de consumo de la lámina de agua disponible en el cultivo de pepino	59
N° 9. Balance hídrico con reposición al 40% de consumo de la lámina de agua disponible en el cultivo de pimiento	60
N° 10. Balance Hídrico con reposición al 60% de consumo de la lámina de agua disponible en el cultivo de pimiento	61

GRÁFICOS

N° 1. Riego mediante la reposición de la lámina de agua al 40% de consumo en el cultivo de pepino	40
N° 2. Riego mediante la reposición de la lámina de agua al 60% de consumo en el cultivo de pepino	40
N° 3. Riego mediante la reposición de la lámina de agua al 40% de consumo en el cultivo de pimiento	42
N° 4. Riego mediante la reposición de la lámina de agua al 60% de consumo en el cultivo de pimiento	42
N° 5. Valores promedios de temperatura °C correspondientes al período 2005-2014.....	56
N° 6. Valores promedios de humedad relativa correspondientes al período 2005-2014.....	56
N° 7. Valores promedios de heliofania correspondientes al período 2005-2014.....	57
N° 8. Valores promedios de precipitación y evaporación correspondientes al período 2005-2014.....	57
N° 9. Evapotranspiración Potencial de los métodos de Thornthwaite, Blaney Criddle y el Tanque Evaporimetro clase A.....	58

ÍNDICE DE ANEXOS

Pág.

ANEXO DE IMAGEN

N° 7.1. Medición de altura de planta	65
N° 7.2. Riego por goteo	65
N° 7.3. Tanque evaporímetro clase A.....	65
N° 7.4. Medición diaria de temperatura y humedad relativa en invernadero	66
N° 7.5. .Medición de evaporación diaria	66
N° 7.6. Fruto de pimiento	67
N° 7.7. Fruto de pepino.....	67

RESUMEN

La presente investigación se efectuó en La Finca la María ubicada en el km 7,5 de la vía Quevedo el Empalme, titulada “ Cálculo de la evapotranspiración mediante tres métodos y determinación de las necesidades de riego en los cultivos de pepino y pimiento; teniendo como objetivos: Recolectar y analizar datos climatológicos de la zona; Calcular la Evapotranspiración Potencial y Real para los cultivos de pepino y pimiento y Proponer una programación de riego para los cultivos a campo abierto e invernadero.

Los métodos para el cálculo de la ETP fueron Thornthwaite, Blaney - Criddle y Tanque Clase A, determinándose la ETP en base a un periodo de 10 años (2005-2014), con información climatológica de la Estación Agrometeorológica “Pichilingue - INAMHI”.

Del análisis de los resultados se definió que los métodos de Blaney Criddle y Thornthwaite superaron al de Tanque Evaporímetro clase A en 67,8 mm y 48,3 mm, respectivamente.

En conclusión: la determinación de la ETP fue la base para el cálculo del balance hídrico, donde se consideró la textura para determinar la capacidad de retención de agua en capacidad de campo, punto de marchitez permanente, y el coeficiente del cultivo basado en el tipo y estadio del mismo con lo cual se calculó los requerimientos hídricos de los cultivos de pimiento y pepino. En donde los requerimientos de riego fluctuaron entre 41.1 mm y 46.5 mm para un periodo (65 días), entre la reposición de agua al 40 y 60 % del consumo de la lámina.

ABSTRACT

This research was conducted in La Finca Maria located at km 7.5 of the road Empalme Quevedo, entitled "Calculation of evapotranspiration by three methods and determine the irrigation needs of crops cucumber and pepper; having as objectives: Collect and analyze climate data in the area; Calculate the potential and actual evapotranspiration for cucumber and pepper crops and propose a schedule irrigation for crops in open field and greenhouse.

Methods for calculating the ETP were Thornthwaite, Blaney - Criddle and Tank Class A ETP determined based on a 10-year period (2005-2014), with climatological information of the Agrometeorology "Pichilingue - INAMHI" station.

Analysis of the results was defined methods of Thornthwaite and Blaney Criddle outperformed Evaporimeter Tank Class A 67.8 mm and 48.3 mm, respectively.

In conclusion, the determination of the ETP was the basis for the calculation of the water balance, where the texture is considered to determine the water retention capacity at field capacity, wilting point, and the crop coefficient based on the type and stage whereby the same water requirements of crops was calculated pepper and cucumber. Where irrigation requirements fluctuated between 41.1 mm and 46.5 mm for a period (65 days), the replacement of water between 40 and 60% consumption of the sheet.

CAPÍTULO I
MARCO CONTEXTUAL DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Introducción

El cálculo de la evapotranspiración es de importancia ya que con esto se pueden calcular las necesidades hídricas de los cultivos como es el caso del pimiento y pepino, ya que a ésta se la define como una variable que engloba la pérdida de agua de los cultivos por transpiración y del suelo por evaporación en mm y depende en el tiempo de diversos factores como clima, suelo y cultivo.

La **(FAO,2010,)**, define la evapotranspiración del cultivo de referencia, “Etc”, como la tasa de evapotranspiración de una superficie extensa de gramíneas, de 12 centímetros y un albedo de 0.23. El cultivo es asumido como uniforme, en crecimiento activo y sin limitaciones de agua.

Debido al poco conocimiento de cómo emplear estos métodos en la agricultura en nuestra zona se planteó esta investigación cuyos objetivos se fundamentaron en recoger información de la Estación Meteorológica Pichilingue del INHAMI, de los registros de diez años (2005-2014) e invernadero ubicado en la Finca “La María”, con datos diarios para cada uno de los cultivos.

Existen varios métodos basados en el status del agua en uno o más componentes del sistema, suelo-planta-atmósfera. Para ello, pueden emplearse varios métodos que requieren la medición de distintos datos entre ellos: Blaney Criddle, basado en temperatura, porcentaje de horas luz, y el factor de corrección; Thornthwaite, temperatura media, porcentaje de horas luz; y el Tanque evaporímetro clase A, basado en la evaporación diaria del tanque.

Para este cálculo se utilizaron tres métodos, Blaney Criddle, Thornthwaite para el cálculo de la ETP en base a registros de diez años y el Tanque evaporímetro clase A, para registrar datos en el invernadero durante la época de desarrollo del cultivo, los cuales se analizaron mediante la prueba t para determinar cuál de ellos es el más adaptable a nuestra zona, y poder determinar así una programación de riego para los cultivos antes mencionados.

Cuando se utiliza la práctica de riego se debe aplicar la cantidad necesaria para cubrir las necesidades hídricas de un cultivo. Cuando se excede la aplicación de agua en el riego ocurre el lavado de fertilizantes y desperdicio mientras que una aportación de agua inferior a las necesidades del consumo de la planta puede llegar a provocar problemas como déficit hídrico y por lo tanto se reduce la producción.

1.2 Objetivos

1.2.1 General

Determinar las necesidades de riego para los cultivos de pimiento y pepino en base a la evapotranspiración calculada por tres métodos.

1.2.2 Específicos

- Recolectar y analizar datos climatológicos de la Finca “La María”.
- Calcular la evapotranspiración potencial y evapotranspiración Real para los cultivos de pimiento (*Capsicum annum L.*) y pepino (*Cucumis sativus*)
- Proponer una programación de riego para los cultivos en campo abierto e invernadero.

1.3 Hipótesis

El método del tanque evaporímetro es más adaptable para el cálculo de la evapotranspiración dada disponibilidad de información en las condiciones de clima del cantón Quevedo, provincia de Los Ríos.

CAPITULO II
MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN

2.1 Fundamentación Teórica

2.1.1 Cultivo de pimiento

2.1.2 Taxonomía

Familia: Solanáceas

Género: Capsicum

Especie: annum

Nombre Científico: *Capsicum annum* L..

Nombre Común: Pimienton, pimiento **(Vallejo, 2013)**

2.1.3 Importancia económica

La importancia del cultivo de pimiento se debe a que es un cultivo con varios destinos de consumo entre ellos: en fresco y para conserva **(Vallejo, 2013)**.

En el Ecuador el cultivo de pimiento se está estableciendo como uno de los cultivos de gran importancia estimándose que se siembran alrededor de 1 420 ha, con un rendimiento promedio de 4.58 t/ha **(Vallejo, 2013)**. Este cultivo se ve favorecido por las características geográficas, que tiene nuestro país, siendo sembrado en la Costa y parte de la Sierra, según las condiciones climáticas. La variedad el ciclo vegetativo entre la siembra y la cosecha puede ser de 4 a 6 meses **(Pinto, 2013)**.

2.1.4 Requerimientos climáticos

Dependiendo del clima y el suelo el cultivo de pimiento, tiene los siguientes requerimientos **(Pinto, 2013)**:

2.1.4.1 Temperatura

El cultivo de pimiento es susceptible a las bajas temperaturas por lo que prefiere una temperatura óptima de clima cálido o templado. La germinación de la semilla y el desarrollo vegetativo requieren temperaturas entre 22°C a 25 °C, en la floración y la fructificación 26°C a 28 °C. Ya que en las bajas temperaturas los frutos se deforman y tienen menor tamaño **(Pinto,2013)**.

2.1.4.2 Precipitación

El cultivo de pimiento necesita una precipitación media de 1750 a 2500 mm distribuidas en todo el periodo del cultivo **(Tirado, 2010)**

2.1.4.3 Luminosidad

Es un cultivo que requiere de 6 a 8 horas /sol al día **(Pinto,2013)**

2.1.4.4 Altitud

Se adapta bien hasta los 1.800 msnm, ya que en alturas superiores tienen sus limitaciones **(Pinto,2013)**.

2.1.4.5 Suelos

Este cultivo requiere suelos, profundos, ligeros, fértiles y sueltos, con drenaje, y ricos en materia orgánica, con un pH que oscile entre los 6,5 a 7,5 **(Pinto,2013)**.

2.2 Cultivo de pepino

2.2.1 Taxonomía

Orden: Cucurbitales

Familia: Cucurbitaceae

Género: Cucumis

Nombre científico: *Cucumis sativus* **(Infoagro, 2010)**

2.2.2 Temperatura y clima apropiados

El pepino requiere temperaturas en el día de 20 °C y 30 °C, apenas tienen incidencia en la producción aunque a mayor temperatura se obtiene mayor producción. Temperaturas inferiores a 17 °C ocasionan mal formaciones en frutos y hojas **(González & Reyes, 2013)**.

2.2.3 Humedad relativa óptima

El pepino requiere óptimos intervalos de humedad relativa pudiendo situarse en 50-90 % dependiendo de la temperatura. Sin embargo, existen riesgos de reducir la producción cuando existen excesos de humedad en el día, cuando disminuye la transpiración y en consecuencia la fotosíntesis **(González & Reyes, 2013)**.

2.2.4 Luminosidad

El pepino es una planta que se desarrolla con normalidad incluso en días con menos de 12 horas de luz. Si hay mayor cantidad de radiación solar habrá mayor producción **(González & Reyes, 2013)**.

2.2.5 Tipo de suelo

El pepino se adapta a cualquier tipo de suelo de estructura suelta, con buen drenaje, suficiente contenido de materia orgánica y un pH que oscila entre 5,5 y 7. Los suelos que reúnen estas características y son idóneos para el cultivo de pepino son los franco-arenosos.

La planta es moderadamente tolerante a la salinidad ya que si existe elevada concentración de sales en el suelo, esto provoca dificultad en la absorción del

agua de riego, y la planta presenta crecimiento lento, hojas pequeñas y de color oscuro. Los frutos presentaran mal formaciones **(Moreira, 2015)**.

2.3 Invernaderos

A través de los años muchos cultivos se han visto afectados por factores climáticos adversos, lo que ha creado la necesidad de desarrollar ambientes alternativos para la producción, como el caso de los invernaderos, con la finalidad de sobrellevar este tipo de problemas **(Cobo, 2012)**.

Un invernadero es una estructura cerrada, que permite el cultivo de distintas especies mediante el manejo de factores climáticos como el viento, la lluvia, el sol, la luminosidad, la temperatura; brindando de esta forma las condiciones óptimas para una mayor productividad **(Cobo ,2012)**.

Con el paso de los años han venido evolucionando los invernaderos por lo cual en la actualidad se encuentran varios tipos según se atienda a determinadas características de sus elementos constructivos, ya que podemos encontrar invernaderos con estructura constituida por madera, metal o concreto. La cubierta es un componente importante ya que su elección debe satisfacer los requerimientos del cultivo. Se pueden utilizar plásticos aunque en ocasiones se requiere de cristales dependiendo del cultivo y del manejo que requieran. Los invernaderos poseen sistemas de ventilación que sirven para el manejo de la temperatura y la humedad **(Gasso & Solomando, 2011)**.

Las principales ventajas que se toman en cuenta al momento de la implementación de un invernadero son: el aumento del rendimiento por unidad de superficie y calidad de los cultivos. Se obtiene un ahorro de agua y fertilizantes, mejor control de plagas y enfermedades, producción fuera de época, ya que se pueden controlar las condiciones que requiera el cultivo en cualquier época, posibilidad de obtener más de un ciclo de cultivo.

También se puede encontrar posibles desventajas como el alto costo inicial en la implementación del invernadero, altos costos de producción relacionados a los de campo abierto **(Santos et al, 2010)**.

El uso de invernaderos no es nuevo en nuestro país, actualmente existen agricultores que conocen el manejo de este sistema de producción. Sin embargo, persiste el vacío en el comportamiento de variables meteorológicas dentro de los invernaderos.

El conocimiento de los requerimientos de agua del cultivo es indispensable para realizar una planificación correcta del riego y mejorar la eficiencia de los mismo proveyendo al cultivo de la cantidad de agua suficiente para satisfacer plenamente sus necesidades.

En la agricultura forzada se modifican algunos factores ambientales que provocan cambios en la evapotranspiración.

Para esto, se ha utilizado métodos empíricos, para la determinación de evapotranspiración bajo invernadero, pero no se sabe con exactitud si estos valores se correlacionan bien con la evapotranspiración real dentro de éstos, ya que los datos de evapotranspiración de medida directamente son prácticamente inexistentes.

2.4 Necesidades hídricas de los cultivos

Para el crecimiento de las plantas, las raíces toman agua desde el suelo. La mayor cantidad de ésta se evapora por las hojas a través de la transpiración. El agua escapa por evaporación cuando en la superficie del suelo como en las hojas existe una superficie abierta de agua. La necesidad de agua de los cultivos se define como evapotranspiración, donde están incluidas la evaporación y transpiración. Se la suele expresar en mm/día, o mm/mes **(Grundfos, 2012)**.

2.4.1 Capacidad de campo (CC)

Se encuentra en función de la naturaleza física del suelo y de su contenido de humedad expresado en porcentaje base peso seco, a una energía de retención que oscila entre 1/10 a 1/3 de bar. Indica el límite superior o máximo de agua útil para la planta que queda retenida en el suelo contra la fuerza de gravedad (Zotarelli, et al 2015).

2.4.2 Punto de marchitez permanente (PM)

Es el grado de humedad del suelo que rodea la zona radicular de la vegetación, tal que las fuerzas de succión de las raíces es menor que las de retención del agua por el terreno. Cuando la planta no puede absorber toda la demanda de agua se alcanza el punto de marchitez temporal, cuando ya no puede absorber agua del suelo alcanza el punto de marchitez permanente (Udelar, 2009)

Igualmente, una gran diversidad de factores influye en la disponibilidad del agua del suelo, tales como la distribución, profundidad y actividad de los sistemas radiculares, evapotranspiración, tensión de humedad, permeabilidad, entre otros.

2.4.3 Balance hídrico

El balance hídrico tiene gran importancia para los cultivos en virtud de que permite establecer los requerimientos hídricos. En efecto una eventual escasez o un posible exceso hídrico en cualesquiera de las fases vegetativas puede causar pérdidas parciales o totales del cultivo.

El balance hídrico permite establecer las ganancias y las pérdidas de agua que se registran en un área dada, lo cual es útil para los siguientes fines:

- Planeación y operación adecuada de riego y drenaje
- Manejo de los recursos hídricos de una zona o región

- Estudios de predicción de rendimientos agrícolas
- Elaboración de calendarios agrícolas
- Para estudios de predicción de inundaciones y sequías
- Estudios sobre erosión del suelo
- Permite elaborar clasificaciones climáticas y agroclimáticas
- Estudios de lixiviación o lavado de nutrientes químicos del suelo
- En general el uso del balance hídrico involucra el manejo racional de un gran volumen de datos meteorológicos, por lo cual se deduce que es este un elemento con el cual la agrometeorología presta un invaluable servicio a la agricultura.

2.4.3.1 Ecuación general del balance hídrico

El estudio de los aportes, el movimiento y las salidas de agua en una determinada zona constituyen la esencia del balance hídrico, todo lo cual se puede sintetizar en la ecuación siguiente:

$$P = ET + \Delta HS + I + E$$

Dónde:

- P = Precipitación (+ riego sí se suministra)
- ET = Evapotranspiración
- ΔHS = Cambios en la humedad del suelo
- I = Infiltración
- E = Escorrentía

El balance puede ser diario, semanal, década o mensual; depende de las necesidades o fines en estudio, esto es la planificación del manejo de los recursos hídricos a corto, mediano o largo plazo, respectivamente.

2.4.4 Evaporación

Es la transformación del agua líquida a vapor de agua y es removida desde la superficie del suelo. El agua se evapora de superficies como lagos, ríos, suelos y vegetación húmeda **(Briceño et al, 2012)**

2.4.4.1 Factores que intervienen en la evaporación

En la evaporación intervienen factores de orden climático: La radiación solar, temperatura del aire, la humedad relativa, entre otros parámetros, que se consideran en la evaporación **(Briceño et, al 2012)**

2.4.4.2 Transpiración

Es el proceso mediante el cual el agua líquida, pasa de líquido a vapor a través del metabolismo de la planta, siendo uno de los primeros determinantes del balance energético de la hoja y del estado hídrico de la planta **(Squeo & Leon, 2007)**.

Aspectos biológicos de la transpiración

- **Transpiración por las Hojas:** El agua se pierde en forma de vapor a través de distintas partes de la planta, principalmente por las hojas. La transpiración está íntimamente relacionada con una función de vital importancia para el crecimiento de las plantas, la fotosíntesis. Las moléculas de agua perdidas por su evaporación en los estomas, son reemplazadas por el agua de los conductos del xilema que forman sus nerviaciones **(Jímenez, 2013)**.
- **Movimiento a través del tallo:** El agua se desplaza desde la raíz y a través del tallo llega hasta los tejidos de las hojas. Esta acción se la realiza por los vasos ascendentes de la planta (xilema).

- **Captación de agua por las raíces:** El agua es absorbida por ósmosis desde la solución acuosa del suelo hacia las células de la raíz, principalmente por la zona pilífera. El agua se desplaza hasta las zonas más interiores, alcanzando los vasos conductores de la planta.
- **Estructuras foliares que facilitan la transpiración**

Estomas: Están formados por un poro llamado ostiolo, que está limitado por dos células oclusivas. Gracias a los estomas se realiza la transpiración del vapor de agua y el intercambio de gases entre la planta y el aire circundante.

La planta al mantener los estomas abiertos, capta el anhídrido carbónico y mediante el proceso fotosintético lo transforma en parte de su propio alimento, pero, inevitablemente, también pierde agua que se escapa en forma de vapor a la atmósfera circundante **(Martin et al, 2012)**.

Las moléculas de agua perdidas de esta forma, son sustituidas por el agua disponible en el suelo; de esta manera, mientras los estomas están abiertos y el agua se evapora por las hojas, las raíces incorporan agua desde el suelo y el transporte ascendente del agua en la planta es continuo **(Martin et al, 2012)**.

- **Estructuras foliares que dificultan la transpiración**

Las células oclusivas de los estomas pueden cerrarlos bajo diversos estímulos (falta de agua en la planta o elevadas concentraciones de dióxido de carbono en la cámara subestomática, entre otros) frenando así la transpiración **(Martin et al, 2012)**.

Variables que influyen en la transpiración

- **Temperatura**

En temperaturas altas las plantas tienden a transpirar mucho más, lo cual favorece que la cantidad de agua que contiene el aire aumente, lo cual influenciando que exista una mayor pérdida de agua en las plantas **(Maldonado, 2013)**.

- **Radiación Solar**

Cuando hay un exceso de radiación solar, aumenta la transpiración, ya que los estomas se abren con la luz para que se realice la fotosíntesis y así facilite la transpiración **(Maldonado , 2013)**

- **Humedad relativa**

Cuando hay un bajo contenido de humedad en la atmósfera hace que exista una gran diferencia entre el contenido acuoso de la hoja y el aire circundante, lo cual facilita la transpiración **(Maldonado , 2013)**

- **Velocidad del viento**

El viento hace que se incremente la transpiración ya que arrastra el vapor de agua que rodea a la superficie de las hojas **(Maldonado , 2013)**

2.4.4.3 Balance hídrico de los cultivos (ETc)

Evapotranspiración

Es la cantidad de agua utilizada por las plantas para realizar funciones de transpiración más el agua que se evapora de la superficie del suelo en el cuál se desarrollan **(Cisneros, 2005)**.

Evapotranspiración potencial (ETP)

Es la máxima evaporación que se produciría en una superficie completamente cubierta de vegetación y sin límites en el recurso hídrico. Es calculada en función de variables climáticas como: temperatura, radiación, viento, evaporación **(Cruz, 2010)**.

Evapotranspiración de los cultivos (ETc)

Se utiliza el procedimiento de la FAO

$ET_c = \text{Evapotranspiración de referencia} * \text{Coeficiente de cultivo}$

Coeficiente de cultivo

La evapotranspiración que sucede en una superficie cultivada puede ser estimada en base a datos meteorológicos como la temperatura, radiación solar, velocidad de viento y humedad relativa, empleando el modelo de Penman sugerida por la FAO **(Arbulú, 2014)**

Las diferencias entre evaporación y transpiración del cultivo de referencia con respecto al cultivo, son integradas como el coeficiente del cultivo (K_c). Este permite calcular la evapotranspiración real de un cultivo a partir de la evapotranspiración potencial (ETP) **(Arbulú, 2014)**

Características del Coeficiente de Cultivo (K_c)

Existen cuatro características principales que representan el efecto combinado del K_c :

1) Altura del cultivo: Esta tiene relación con la interacción que se produce entre el cultivo y el viento, así como la dificultad en el paso del agua desde las plantas hacia la atmósfera **(Arbulú, 2014)**.

2) Reflectancia del cultivo: Es la fracción de la radiación solar que es reflejada por el cultivo, la cual a su vez es la principal fuente de energía para el proceso de evapotranspiración **(Arbulú, 2014)**.

3) Resistencia del cultivo: Se refiere a la resistencia del cultivo a la transferencia del agua y está relacionada con el área foliar, la cual a su vez es la cantidad de hojas por superficie del cultivo **(Arbulú, 2014)**.

4) Evaporación del Cultivo: Es la evaporación que se produce desde el suelo, también está afectado por la cobertura vegetal **(Arbulú, 2014)**.

Etapas de crecimiento del cultivo.

El período de crecimiento puede dividirse en cuatro etapas o fases:

1. Fase inicial.

Esta ocurre desde el período de siembra o establecimiento, en la cual la planta cubre poca superficie de suelo (10%).

2. Fase de desarrollo

Se caracteriza por ser el estado de máximo crecimiento; se prolonga desde el final de la fase anterior hasta alcanzar un 70-80% de cobertura superficial; en estas condiciones el coeficiente K_c alcanza su valor más alto.

3. Fase de mediados de temporada

Es el estado intermedio que se inicia desde el final de la etapa anterior hasta la maduración del cultivo; abarca las fases de floración y fructificación; en algunos cultivos se puede prolongar hasta muy cerca del momento de recolección.

4. Fase de finales de temporada

Es el estado que va desde el final de la fase anterior hasta lograr la plena maduración o la cosecha **(Valverde, 2007)**.

Los balances hídricos aplicados a los cultivos, tienen su relación en las necesidades hídricas del cultivo en estudio. Existen diferencias apreciables

entre la Evapotranspiración potencial y la Evapotranspiración de los cultivos; esta última es la que determina las necesidades hídricas de los cultivos, su principal diferencia radica en el tipo de cultivo y el estado de desarrollo del mismo.

Considerando que existe una evidente relación entre estos dos factores la ETP y la Etc, la misma que puede expresarse como $ETc/ETP = Kc$ para un cultivo determinado. La Evapotranspiración de los cultivos es: $ETc = ETP \times Kc$, donde Kc tiene valores diferentes para cada tipo de cultivo y su estado de desarrollo. Existen diferentes estudios que muestran en tablas los valores de Kc para cada cultivo en su diferente estado de desarrollo.

Las necesidades de agua de los cultivos se pueden expresar en los siguientes puntos:

- La ETP es un punto de referencia para conocer las necesidades hídricas de los cultivos.
- Existen diferencias muy apreciables entre la ETP y la ETc
- Los puntos de diferencias tiene que ver con el tipo de cultivo y su estado de desarrollo
- La relación existente se da a través del coeficiente de los cultivos Kc , siendo $Kc = ETc/ETP$.
- El Kc asume generalmente cuatro estados de desarrollo de los cultivos
a) Estado inicial, desde la germinación, crecimiento inicial hasta llegar a cubrir el 10 % de la superficie del suelo, b) Estados de desarrollo activo, desde fin del estado anterior hasta cuando el cultivo cubre el 80 % de la superficie del suelo cultivado c) Estado de mediados del período agrícola: desde fin del estado anterior hasta inicio de la maduración, y Estado de finales del período agrícola; desde el inicio de maduración hasta la maduración completa, o la recolección de los frutos.

2.4.4.4 Manejo de las variables del balance hídrico de los cultivos

- Se establece la fecha de siembra
 - Se determina la longitud del ciclo vegetativo y la duración de cada período
 - Se determina el Kc par cada uno de los cuatro estadios del cultivo
- (Ordoñez, 2012).**

2.5 Métodos de estimación de la evapotranspiración

La gran parte de los métodos que se utilizan para calcular la evapotranspiración son de tipo teórico, ya que primero, se formula el modelo para luego ser evaluado por mucho tiempo en el campo. Estos métodos toman en cuenta las pérdidas por transpiración y evaporación de cada zona **(Ruales, 2013).**

Los más utilizados son:

2.5.1. Método de Blaney-Criddle

Para el cálculo de la evapotranspiración potencial se usa la siguiente fórmula:

$$f = p (0,46 T + 8,13)$$

Donde;

f = factor f de Blaney Criddle

p = porcentaje diario medio de horas diurnas anuales, que se determina en relación con un mes y una latitud dados.

T = promedio de las temperaturas máximas y mínimas diarias en °C

Este método toma en cuenta, además de la temperatura y las horas de sol diarias, el tipo de cultivo, la duración del su ciclo vegetativo, la temporada de siembra y la zona. El ciclo vegetativo de un cultivo es el tiempo de transcurrir entre la siembra y la cosecha y, por supuesto, varía de cultivo a cultivo .Harry

F. Blaney y Wayne D. Criddle lograron perfeccionar su fórmula en el oeste de los Estados Unidos, donde haciendo intervenir la temperatura media mensual y el porcentaje de horas-luz, así como un coeficiente que depende del cultivo se puede estimar el uso consuntivo **(Campos, 2012)**.

2.5.2. Método del Tanque Evaporímetro tipo A

Para el cálculo de la evapotranspiración potencial se usa la siguiente fórmula:

$$ETP = \text{evaporación} * kt$$

Dónde:

ETP: Evapotranspiración potencial

Kt: coeficiente del tanque

El uso de los datos de evaporación tomados de un tanque, es un método muy preciso porque integra los efectos de todos los factores climáticos (temperatura, humedad, velocidad del viento y luz solar) que afectan la evapotranspiración del cultivo **(Valverde, 2007)**.

El tanque evaporímetro es circular, con un diámetro de 120.7 cm, y una profundidad de 25 cm. El nivel del agua se mantiene 5 o 7.5 cm debajo del borde. Debe ser construido de higerro galvanizado de 0.8 mm de espesor y está sobre una plataforma a 15 cm arriba de la superficie del suelo. Los cultivos que se encuentran alrededor del tanque evaporímetro no deben ser más altos de 1 m **(Odar & Ramirez, 2014)**.

2.5.3. Método de Thornthwaite

Para el cálculo de la evapotranspiración potencial se usó la siguiente formula:

$$ETPs.aj. = 16 (10 T/i)^{a_i}$$

Dónde:

ETP s.aj.= evapotranspiración potencial sin ajustar en mm.

T = temperatura media mensual en °C

$a = 0.000000675I^3 - 0.0000771I^2 - 0.01792I + 0.49239$; constante

I = índice calórico anual, que se obtiene mediante la suma de los 12 valores diarios i que a su vez obedece a la fórmula:

$i = (T/5)^{1.514}$; en donde:

i= índice calórico mensual.

Con los escasos registros que se poseen de la evapotranspiración potencial Thornthwaite de los EE.UU en 1948 calculó una formula general que parece valedera a la vez en las regiones semiáridas y semilluviosas, mediante la cual se pueden obtener los valores de ETP sin ajustar; es decir correspondientes a un mes tipo de 30 días, de 12 horas de heliofanía posible **(Manzano, 2009)**.

2.6. Riego por goteo

Es un método de riego localizado por medio del cual se puede aplicar agua a través de emisores en forma de gotas de manera lenta y uniforme a baja presión, Estos emisores se los conoce como “goteros” y van instalados cerca de la zona radical de las plantas. La descarga de cada gotero está en un rango de entre 2 a 4 litros por hora **(Shock & Welch, 2013)**.

2.6.1. Componentes del sistema de riego

2.6.1.1. Fuente de Presión: se le denomina a una bomba que es la encargada de succionar el agua desde un reservorio hacia las líneas de presión. También se puede utilizar tanque de agua que se encuentre ubicado a una altura de por lo menos 10 metros sobre el nivel del terreno que se desea regar a regar **(Celorio, Chica, Espinales , & Molina, 2010)**.

2.6.1.2. Línea de presión

Constituido por una tubería de PVC, cuyo diámetro depende del tamaño de la parcela a la que se le aplicará este tipo de riego y que permite conducir las aguas desde la bomba hacia los cabezales, presurizando en su recorrido el agua al ganar presión hidrodinámica gracias a la topografía del lugar al tener pendiente a favor **(Rengifo, 2010)**.

2.6.1.3. Cabezal de riego

El cabezal de riego está formado por un conjunto de elementos que sirve para controlar la presión y caudal al sistema, filtrar el agua, inyectar fertilizante y medir volúmenes **(Mata, Hernandez, Sarmiento, & Sigala, 2014)**.

Los cabezales constan básicamente de:

- Válvula de compuerta
- Válvula de aire
- Filtro de anillos
- Arco de riego con válvula de bola.

2.6.1.4. Porta regantes

Tubería de PVC que permite conducir el agua hacia cada uno de los laterales donde se instalarán las cintas de goteo **(Rengifo, 2010)**.

2.6.1.5. Emisores

Están constituidos por las cintas de goteo, que permiten emitir caudales de aproximadamente 1 a 2 litros por hora por cada gotero (ubicados cada 20 cm, o más). Las cintas trabajan con presiones nominales de hasta 10 metros de columna de agua **(Rengifo, 2010)**.

2.6.1.6. Eficiencia del sistema de riego

La eficiencia de aplicación de agua es determinada directamente en la superficie factible de regar sin causar déficit hídrico del cultivo. Sin embargo, aun cuando los sistemas de riego por goteo alcanzan eficiencias teóricas del orden del 90 al 95%, en la práctica un mal manejo puede ocasionar una merma relevante en el desempeño del sistema, con pérdidas de agua de diversa naturaleza. En términos generales, se considera eficiente un método de riego cuando el agua aplicada al cultivo es utilizada en un porcentaje superior al 70%.

La eficiencia de riego puede definirse como la resultante de la ponderación de tres aspectos:

- Eficiencia de aplicación: determina la parte del agua que no es retenida en la zona radicular, en relación al total del agua aplicada al suelo.
- Eficiencia del almacenamiento: determina la parte del agua aplicada que quedo almacenada en el suelo, en relación a la necesaria para llevar al suelo, en relación a la necesaria para llevar al suelo a capacidad de campo.
- Eficiencia de uniformidad: determina la uniformidad de entrega de agua por los emisores al suelo.

2.6.2. Cantidad de agua absorbida por los cultivos (factor cultivo)

La frecuencia de riego, es el intervalo de días que deben suceder entre dos riegos sucesivos, para obtener un óptimo rendimiento y calidad del producto de un determinado cultivo **(Barreto, 2011)**

Depende de varios factores, principalmente, del tipo de cultivo, existiendo plantas que se afectan con mayor facilidad que otras cuando se produce déficit de humedad en el suelo. De igual forma, depende del estado de desarrollo vegetativo del cultivo. Las deficiencias de humedad en el suelo afectan a los rendimientos, especialmente cuando suceden en periodos críticos para la

planta (germinación, floración y polinización). Por otra parte, el desarrollo del sistema radicular tiene enorme influencia en la capacidad de absorción del agua para un determinado cultivo **(Barreto, 2011)**

2.6.3. Disponibilidad de agua en el suelo (factor suelo)

La disponibilidad del agua en el suelo depende de la distribución porcentual de las partículas de área, limo y arcilla (textura) y del tamaño, forma y grado de agregación de las mismas (estructura).

El agua del suelo se encuentra alrededor de estas partículas. La capacidad de retención de agua del suelo está directamente relacionada con la superficie específica o interna, que es inversamente proporcional al tamaño de partículas.

En otras palabras, un suelo arcilloso, o de textura fina, retendrá más agua que un suelo arenoso. Por otra parte, el agua se mueve más fácil y con mayor rapidez en un suelo arenoso y en un suelo con estructura estable. Por ello, estos suelos deben regarse con más frecuencia y en cantidades más pequeñas para evitar pérdidas de agua por percolación por debajo de la zona de las raíces.

La determinación de la capacidad de almacenamiento de agua en un suelo es primordial para estimar la lámina de agua que puede estar a disposición de los cultivos. La lámina disponible es la máxima cantidad de humedad que puede ser utilizada por las plantas y expresa la cantidad de agua que un suelo puede almacenar entre sus variables hidrodinámicas

CAPÍTULO III
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Materiales y Métodos

3.1.1. Ubicación

La presente investigación se realizó en el período correspondido entre el 18 de febrero al 28 de junio del año 2015. En la Finca “La María”, propiedad de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ), situada en el km 7.5 de la vía Quevedo-El Empalme cantón Quevedo de la Provincia de Los Ríos. Sus coordenadas geográficas son 01° 06” de latitud Sur y 79° 29’ de longitud Occidental, localizada a una altura de 73 metros sobre el nivel del mar.

3.1.2. Características agroclimáticas¹

La zona donde se realizó la experimentación tiene un clima tropical húmedo, con una temperatura media anual de 24,8°C, precipitación anual de 1988.2 mm, humedad relativa media del 85% y un promedio anual de 898.66 horas de Heliofania. El suelo es de textura franco arcilloso.

3.1.3. Factores en estudio

Se estudiaron dos factores conformados por el cálculo de Evapotranspiración mediante tres métodos y la determinación de las necesidades de riego en los cultivos de pepino y pimiento.

3.2. Tipo de Investigación

La investigación fue de tipo descriptiva porque describe el comportamiento de las diferentes variables en el transcurso del periodo de investigación, teniendo como objetivo principal el saber por qué se basa en procedimientos y para que ocurren los sucesos.

¹ Datos considerados del anuario 2005-2014 de la Estación Agrometeorológica Pichilingue (INAMHI)

Es analítica porque se basa en procedimientos de mayor complejidad que en la investigación descriptiva, ya que fundamentalmente se basa en establecer las diferencias entre los elementos descritos a través de un análisis que conduce a conclusiones válidas.

3.3. Diseño de la Investigación

Para la comparación de los métodos de determinación de la evapotranspiración potencial (ETP) se empleó la prueba t de student al 95 % de probabilidad

3.3.1. Delineamiento experimental

El área total del ensayo fue de 153,6 m². Cada parcela experimental estuvo constituida por 5 hileras y 5 plantas por cada hilera.

3.3.2. Manejo del experimento

En la presente investigación se estudiaron dos hortalizas en invernadero:

Pimiento: Híbrido Quetzal

Pepino: Híbrido Diamante F1

Se realizaron todas las labores agrícolas necesarias y oportunas para el normal desarrollo y rendimiento de los cultivos.

3.4. Variables a tomar y metodología de investigación

3.4.1. Recopilación de datos meteorológicos

Se extrajo la información de la temperatura (°C), humedad relativa (%), precipitación (mm), evaporación (mm) y heliofanía (horas), en valores mensuales del período de diez años (2005-2014) de la Estación

Agrometeorológica Pichilingue (INAMHI), la misma que sirvió para determinar los promedios mensuales, sumando los datos de cada parámetro de manera individual y dividiendo para el número de datos para la determinación de la medida correspondiente.

3.4.2. Evapotranspiración potencial mensual (ETP)

Se establecieron la Evapotranspiración Potencial mediante los métodos de:

Thornthwaite, Blaney - Criddle y el Tanque evaporímetro clase A, mediante las formulas correspondientes y procedimientos matemáticos necesarios con lo cual se establecieron los valores mensuales representativos de diez años (2005-2014).

3.4.3. Determinación de la evapotranspiración potencial (ETP) en campo abierto e invernadero en periodos de 5 días con el método del tanque evaporímetro clase A.

Los valores de la ETP según el Método del Tanque se determinó registrando datos diarios de evaporación a las 7 am, acumulándolos cada 5 días para su mejor estudio, ajustando los datos de evaporación a la fórmula:

$$ETP = E_v \times K_t$$

Dónde:

E_v = evaporación

K_t = coeficiente del tanque

3.4.4. Necesidades de riego

Para la determinación de las necesidades de riego, se elaboró el Balance hídrico para el cultivo de pimiento y pepino en invernadero.

Para el efecto se consideraron algunos aspectos para determinar la cantidad de agua a regar.

3.4.4.1. Humedad equivalente

Con la determinación de la textura del suelo en las capas de 0-30 y 30-60 cm donde se determinaron los porcentajes de arena, limo y arcilla y la densidad aparente se empleó la siguiente formula:

$$\% \text{ H.E} = 0,027 (\% \text{ ARENA}) + 0,187 (\% \text{ LIMO}) + 0,555 (\% \text{ ARCILLA});$$

$$\% \text{ H.E} = 0,027 (35\%) + 0,187 (40\%) + 0,55 (25\%)$$

$$\% \text{ H.E} = 22,25 \%$$

Dónde:

H.E = Humedad equivalente

0,027 = Constante para el porcentaje de arena

0,187 = Constante para el porcentaje de limo

0,555 = Constante para el porcentaje de arcilla

3.4.4.2. Capacidad de campo (C.C)

El cálculo de la capacidad de campo se basó en el conocimiento de la Humedad Equivalente (H.E) multiplicando por la constante 0,865 y más una constante de 2,62 que es igual a:

$$\text{H.C.C} = 0,865 (22,25\%) + 2,62$$

$$\text{H.C.C} = 21,9 \%$$

3.4.4.3. Punto de marchitez permanente

El punto de Marchitez Permanente se determinó en base a la capacidad de campo (C.C), multiplicado por una constante de 0,55 donde:

$$\text{PMP} = \text{C.C} * (0,55)$$

$$\text{PMP} = 21.9 \% * 0.55$$

$$\text{PMP} = 11.9 \%$$

3.4.4.4. Capacidad de retención de agua

La capacidad de Retención de Agua se pudo determinar en Capacidad de Campo y Punto de Marchitez Permanente utilizando la fórmula siguiente:

C.R.A._{CC} = Capacidad de campo * (densidad aparente)* (Profundidad de la capa en m)* constante (10) que realizando la operación tenemos lo siguiente:

$$\text{C.R.A.}_{\text{CC}} = 21,9 * 0,97 * 0,30 * (10)$$

$$\text{C.R.A.}_{\text{CC}} = 63,72 \text{ mm}$$

$$\text{C.R.A.}_{\text{PMP}} = \text{C.R.A.}_{\text{CC}} * 0,55$$

$$\text{C.R.A.}_{\text{PMP}} = 63,72 * 0,55$$

$$\text{C.R.A.}_{\text{PMP}} = 35,05 \text{ mm}$$

3.4.4.5. Determinación de la humedad del suelo

Para la determinación de la humedad del suelo se extrajo una muestra de suelo de 100-200 g de peso representativa de la capa en estudio; inmediatamente se la colocó en un recipiente hermético para llevarla al laboratorio donde se pesó una muestra neta de 100 g de suelo húmedo, en una balanza de precisión más

el peso del recipiente y luego se depositó en una estufa a 105 °C de temperatura por un tiempo ininterrumpido de 24 horas.

Esta muestra luego del tiempo indicado se pesó para determinar el porcentaje de humedad que contenía ese suelo, para lo cual se empleó la siguiente formula:

$$\% \text{ HUMEDAD} = \frac{\text{Peso suelo húmedo neto} - \text{Peso de suelo seco}}{\text{Peso de suelo seco}} \times 100$$

3.4.4.6. Necesidades de agua de riego

El agua que necesita un cultivo es suministrada en forma de lluvia, en forma de riego o ambas (combinación de lluvia + riego), por tanto la necesidad de agua de riego (NR) se calculó en función de la siguiente fórmula:

$$\text{NR} = \text{ET}_C - P_C$$

Dónde:

NR = Necesidades de agua de riego

ET_C = Evapotranspiración real del cultivo

Pe = Precipitación efectiva (mm)

$$\text{ET}_C = \text{ETP} * K_c$$

3.4.4.7. Riego

Se empleó el riego por goteo el mismo que se encuentra instalado en el invernadero

Características:

Diámetro de la tubería lateral: Líneas 8mm

Espaciamiento entre goteros: 30 cm

Espaciamiento entre laterales 80 cm

Presión de trabajo: 1 BAR – 1 ATM

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

4.1.1. Información meteorológica

En el cuadro 1, se presentan los promedios de temperatura (°C), humedad relativa (%), precipitación (mm), evaporación (mm), heliofanía (horas), para los meses de enero a diciembre calculada para el periodo 2005-2014.

La mayor temperatura media correspondió al mes de marzo con 25,8 °C, mientras que el menor promedio se presentó en el mes de agosto con 23,4 °C.

La humedad relativa para la época lluviosa fluctuó entre 80 y 87% y en la época seca entre 79 y 87%; siendo el mes de noviembre el de menor humedad.

La mayor precipitación promedio mensual correspondió a febrero con 493,4 mm oscilando de 92,8 mm para diciembre a 419,1 mm para marzo (época lluviosa), mientras en la época seca los promedios fluctuaron de 3,9 (mm) en octubre a 23,1 mm junio.

El mayor promedio mensual de evaporación corresponde a diciembre con 117,3 mm oscilando de 65,5 en enero a 107,5 mm para marzo en la época lluviosa, mientras en la época seca los promedios fluctúan de 83,8 mm en junio a 94,1 mm en noviembre.

La mayor heliofanía promedio mensual corresponde a marzo 111,6 horas oscilando de 52,4 en diciembre a 104,0 horas para abril en la época lluviosa, mientras en la época seca los promedios fluctúan de 46,4 horas para noviembre a 69,2 horas para septiembre.

.

CUADRO 1. VALORES PROMEDIOS EN 10 AÑOS CORRESPONDIENTES A TEMPERATURA (°C), HUMEDAD RELATIVA (%), PRECIPITACIÓN (MM), EVAPORACIÓN (MM) Y HELIOFANÍA (HORAS) PROCEDENTES DE LA ESTACIÓN AGROMETEOROLÓGICA PICHILINGUE.

Longitud: 79 ° 27' W

Latitud: 01° 05'S

Elevación: 75 m

Meses	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)	Precipitación (mm)	Evaporación (mm)	Heliofanía (horas)
ENE	25,0	87	373,5	65,5	61,0
FEB	25,3	86	493,4	67,2	101,5
MAR	25,8	87	419,1	107,5	111,6
ABR	25,7	87	410,3	78,3	104,0
MAY	25,1	87	133,8	67,9	71,9
JUN	24,2	87	23,1	83,8	51,3
JUL	23,6	87	12,5	87,8	53,4
AGO	23,4	85	8,5	86,9	61,5
SEP	24,1	83	6,8	87,8	69,2
OTC	24,3	80	3,9	87,8	55,9
NOV	24,5	79	10,7	94,1	46,4
DIC	25,4	80	92,8	117,3	52,4
MEDIA	24,7	85	1988,2	86,0	70,0

Fuente: Datos tomados del anuario de la Estación Meteorológica Pichilingue (INIAP)

Elaborado por: Autora

4.1.2. Temperatura y humedad relativa a nivel de invernadero y campo abierto.

En el cuadro 2, se presentan los datos promedios de temperatura correspondiente a los meses de abril, mayo y junio calculados en periodos de cinco días en condiciones de invernadero y campo abierto.

En condiciones de invernadero los valores de temperatura resultaron con promedios superiores 27.0 °C, mientras que en campo abierto fue de 26.3 °C.

Respecto a los datos de humedad relativa se observó que en condiciones de campo abierto fue superior con 85.9 % mientras que en invernadero fue de 84,5 %.

CUADRO 2. VALORES PROMEDIOS DE TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA PARA PERIODOS DE 5 DÍAS REGISTRADOS EN CONDICIONES DE INVERNADERO Y CAMPO ABIERTO EN EL ESTUDIO DE EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL Y NECESIDADES DE RIEGO

Mes	Abril (22-26)	Mayo (27-31)								Junio (01-25)					Media
Períodos de 5 días	5	10	15	20	25	30	35	40		45	50	55	60	65	
Temperatura °C.															
Invernadero	27,2	28,0	27,5	27,1	26,9	27,5	27,2	27,0		26,6	26,1	26,7	26,8	26,3	27.0
Estación Meteorológica Pichilingue	26,4	26,8	26,5	26,3	26,2	26,5	26,4	26,3		26,1	25,8	26,1	26,2	25,9	26.3
Humedad %															
Invernadero	85	83	85	86	86	85	84	84		85	84	85	84	84	84.5
Estación Meteorológica Pichilingue	86	83	86	87	88	86	85	86		87	85	87	86	85	85.9

Fuente: Datos registrados del invernadero en la Finca La María y de la Estación Experimental Tropical Pichilingue- INAMHI
Elaborado por: Autora

Evapotranspiración

En el cuadro 3, se presentan los datos de la evaluación de la evapotranspiración potencial mediante el cálculo con los métodos de Thornthwaite, Blaney Criddle y el Tanque Evaporímetro clase A. Con información de temperatura media mensual, índice calórico mensual y anual, latitud del lugar y factor de corrección para Thornthwaite y promedio de temperatura máxima y mínima diaria, porcentaje diario medio de horas diurnas anuales para Blaney Criddle para el periodo 2005-2014, para los meses de Enero a Diciembre.

Según el método de Thornthwaite el menor valor de ETP fue de 94.0 mm que corresponde al mes de Agosto y el mayor valor 127,7 mm para marzo, siendo la media mensual de 109.9 mm. En cambio con el método de Blaney Criddle la menor ETP alcanzó a 121.5 mm para el mes de febrero y la mayor fue de 136.4 mm en el mes de marzo con una media mensual de 129.3 mm, que al ser comparada con Thornthwaite resultó estadísticamente superior, según la prueba t de student.

En el método del tanque evaporímetro clase A el menor valor correspondió al mes de junio con 50.5 mm mientras que la mayor ETP se registró en diciembre con 73.8 mm, con una media mensual de 61.5 mm que es estadísticamente inferior a los métodos de Thornthwaite y Blaney Criddle.

4.1.3. Evapotranspiración potencial en campo abierto e invernadero

En el cuadro 4, se presentan los valores de evapotranspiración potencial (ETP) para períodos de 5 días en condiciones de campo abierto e invernadero. El promedio de la ETP a campo abierto 11,1 mm fue estadísticamente superior al promedio de ETP en condiciones de invernadero que registró 5,4 mm con valores que fluctuaron para campo abierto entre 8,0 mm y 13,8 mm por cada periodo, mientras que en invernadero el menor valor fue de 3,8 mm y el mayor 7,5 mm.

CUADRO 3. EVALUACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL (ETP) ENTRE LOS MÉTODOS DE BLANEY CRIDDLE, THORNTHWAITE Y TANQUE EVAPORIMETRO CLASE A EN EL PERIODO 2005-2014.

MESES	Thorntwaite (mm)	Blaney Criddle (mm)	Tanque evaporímetro clase A (mm)
Enero	115,8	133,3	54,2
Febrero	108,4	121,5	51,9
Marzo	127,7	136,4	68,9
Abril	122,6	132,0	61,3
Mayo	116,5	133,6	57,8
Junio	103,5	126,0	50,5
Julio	96,6	127,1	52,8
Agosto	94,0	127,1	58,3
Septiembre	100,2	123,0	67,0
Octubre	106,5	130,2	69,7
Noviembre	105,0	126,9	72,4
Diciembre	121,6	134,5	73,8
MEDIA	109,9 b	129,3 a	61,5 c

* Promedios con la misma letra no difieren estadísticamente según la prueba t.

Fuente: Datos tomados del anuario de la Estación Experimental Pichilingue INAMHI

Elaborado por: Autora

CUADRO 4. EVALUACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL MEDIANTE EL MÉTODO DEL TANQUE EVAPORIMETRO CLASE A EN CAMPO ABIERTO E INVERNADERO MEDIANTE EL PERÍODO DE INVESTIGACIÓN

Meses	Nº de días	Evapotranspiración Potencial (ETP mm)	
		Campo abierto	Invernadero
22 - 26 abril	5	8,5	7,5
27 - 01 mayo	10	13,8	5,3
02 - 06 mayo	15	10,7	5,3
07 - 11 mayo	20	8,6	6,8
12 - 16 mayo	25	10,2	3,8
17 - 21 mayo	30	12,8	5,3
22 - 26 mayo	35	13,7	9,0
27 - 31 mayo	40	11,1	4,5
01 - 05 junio	45	13,1	5,3
06 - 10 junio	50	11,6	4,5
11 - 15 junio	55	9,9	3,8
16 - 20 junio	60	12,7	4,5
21 - 25 junio	65	8,0	4,5
Promedio		11,1a	5,4b

* Promedios con la misma letra no difieren estadísticamente según la prueba t.

Fuente: Datos registrados en la Finca la María perteneciente a la UTEQ

Elaborado por: Autora

4.1.4. Balance hídrico para el cultivo de pepino

En el cuadro 5, se presenta el cálculo del balance hídrico para el cultivo de pepino en períodos de 5 días empleando el método del tanque evaporímetro clase “A” con registros de evaporación diaria en condiciones de invernadero. La mayor evaporación fue de 9,95 mm, que se registró entre los 15 y 20 días de edad del cultivo, que al transformarse en ETP fue de 7,5 mm esto es 3,5 mm de evapotranspiración de cultivo que no fue necesariamente la mayor demanda de agua en razón de que el cultivo estaba en los primeros estadios con un Kc de 0,47

La evapotranspiración de cultivo para el periodo siembra - floración fue de 29,6 mm lo que significa los requerimientos hídricos necesarios para suplir de agua el periodo indicado, con la información de la evapotranspiración de cultivo (ETc) en periodos de 5 días se pudo determinar la variación de la humedad disponible en el suelo hasta los 39 días presentándose en el último día déficit hídrico.

CUADRO 5. CÁLCULO DEL BALANCE HÍDRICO PARA EL CULTIVO DE PEPINO EN INVERNADERO

Período de 5 días	Nº de días	EV (mm)	Kp del tanque	ETP (mm)	Kc	ETc (mm)	Lámina (mm)	Def
							28,68	
15 - 20 mayo	5	4,9	0,75	3,7	0,31	1,1	27,5	
20 - 25 mayo	10	9,9	0,75	7,4	0,36	2,7	24,9	
25 - 30 mayo	15	9,9	0,75	7,5	0,47	3,5	21,4	
30 - 04 junio	20	5,8	0,75	4,4	0,61	2,7	18,7	
04 - 09 junio	25	6,8	0,75	5,2	0,77	4,0	14,7	
09 - 14 junio	30	4,9	0,75	3,7	1,10	4,1	10,6	
14 - 19 junio	35	4,9	0,75	3,7	1,10	4,1	6,5	
19 - 25 junio	40	8,9	0,75	6,7	1,10	7,4		-0,9
Total		56,5		42,4	5,8	29,6	124,1	-0,9

Fuente: Datos registrados del Invernadero en la Finca la María perteneciente a la UTEQ
Elaborado por: Autora

4.1.5. Reposición de consumo de agua en el cultivo de pepino

Cuando se trabajó con la lámina de reposición de agua al 40 % de consumo en el mismo balance hídrico de líneas anteriores, (Gráfico 1) se hizo necesario agregar 10 mm a los 20 días después de la siembra; 8,1 mm a los 30 días y 11,5 mm a los 40 días; esto es 29,6 mm en el periodo. (Ver anexo, cuadro 7)

Utilizando la lámina de reposición de agua al 60 % de consumo, (Gráfico 2) se hizo necesario agregar 14,0 mm a los 25 días después de la siembra, que deberían agregarse en condiciones de riego superficial (Ver anexo cuadro 8).

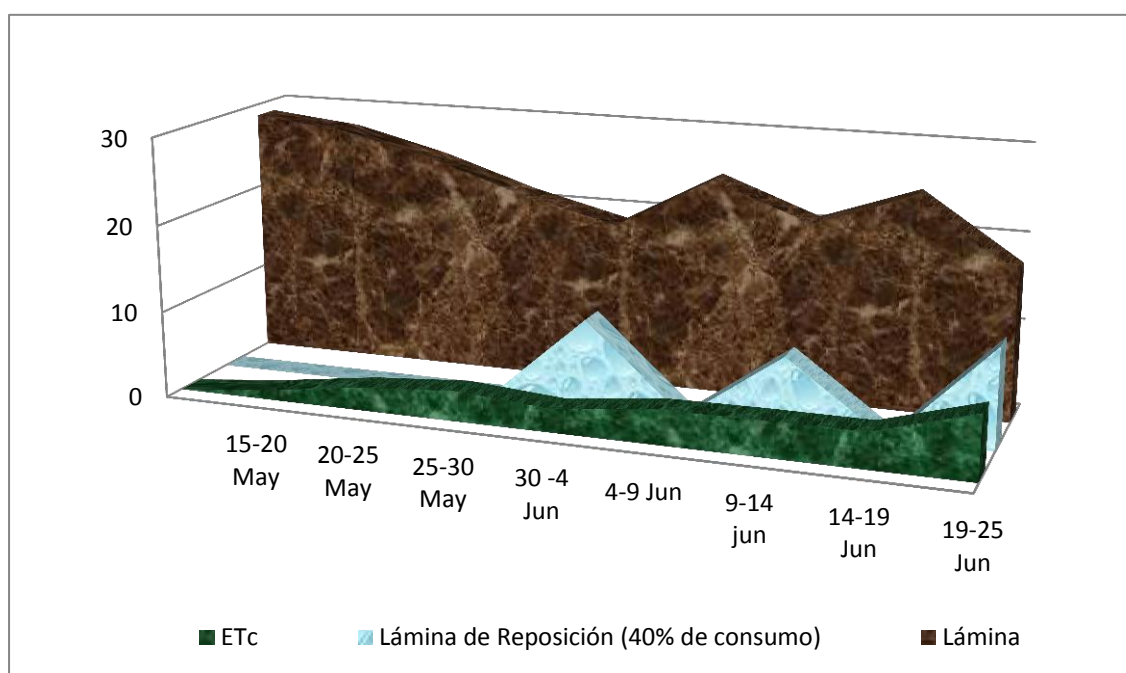
4.1.6. Balance hídrico para el cultivo de pimiento

En el cuadro 6, se presenta el balance hídrico para el cultivo de pimiento en periodos de 5 días empleando el método del tanque clase “A” con registros de evaporación diaria con en condiciones de invernadero.

La mayor evaporación fue de 11,98 y se registró en los 35 días de edad del cultivo, que al transformarse en ETP fue de 9,0 mm lo que condujo a una evapotranspiración de cultivo de 6,5 mm que no fue necesaria la mayor demanda de agua en razón de que el K_c fue de 0,72.

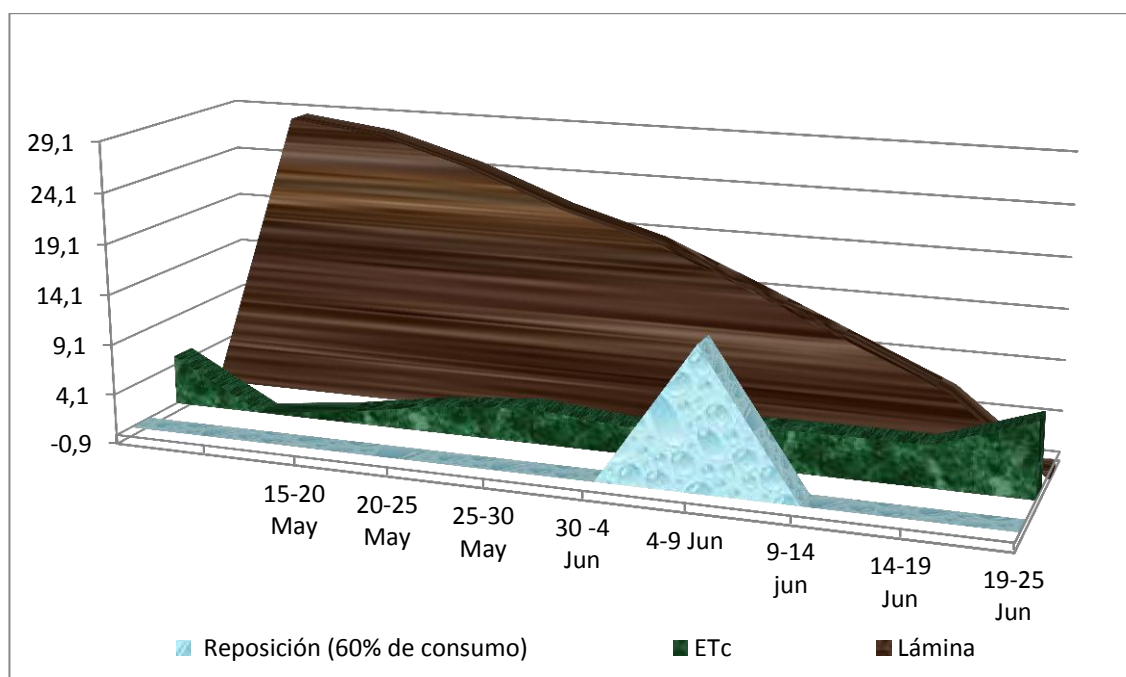
La evapotranspiración de cultivo para el periodo siembra - floración fue de 46,3 mm lo que significa los requerimientos hídricos necesarios para suplir de agua el periodo indicado, con la información de la evapotranspiración de cultivo (ETc) en periodos de 5 días se pudo determinar la variación de la humedad disponible en el suelo hasta los 40 días presentándose en los últimos 5 periodos déficit hídrico.

Gráfico 1. Riego mediante la reposición de la lámina de agua al 40% de consumo en el cultivo de Pepino



Fuente: Datos registrados en el invernadero en la finca la María
Elaborado por Autora

Grafico 2. Riego mediante la reposición de la lámina de agua al 60% de consumo en el cultivo de pepino



Fuente: Datos registrados en el invernadero en la finca La María perteneciente a la UTEQ
Elaborado por: Autora

CUADRO 6. CÁLCULO DEL BALANCE HÍDRICO PARA EL CULTIVO DE PIMIENTO EN INVERNADERO

Periodo de 5 días	Nº de días	Ev (mm)	Kp del tanque	ETP (mm)	Kc	ETc (mm)	Lámina (mm)	Déficit (mm)
							28,68	
22 - 27 abril	5	9,9	0,75	7,5	0,35	2,6	26,1	
27 - 02 mayo	10	6,9	0,75	5,2	0,35	1,8	24,2	
02 - 07 mayo	15	6,9	0,75	5,2	0,36	1,9	22,4	
07 - 12 mayo	20	8,9	0,75	6,7	0,43	2,9	19,5	
12 - 17 mayo	25	4,9	0,75	3,7	0,54	2,0	17,4	
17 - 22 mayo	30	6,9	0,75	5,2	0,63	3,3	14,2	
22 - 27 mayo	35	11,9	0,75	9,0	0,72	6,5	7,7	
27 - 01 junio	40	5,9	0,75	4,5	0,82	3,7	4,0	
01 - 05 junio	45	6,9	0,75	5,2	0,89	4,7	0,0	-0,7
05 - 10 junio	50	5,9	0,75	4,5	0,95	4,3	0,0	-4,9
10 - 15 junio	55	4,9	0,75	3,7	1,00	3,7	0,0	-8,7
15 - 20 junio	60	5,9	0,75	4,5	1,00	4,5	0,0	-13,1
20 - 25 junio	65	5,9	0,75	4,5	1,00	4,5	0,0	-17,6
Total		92,7				46,3	135,4	-45,0

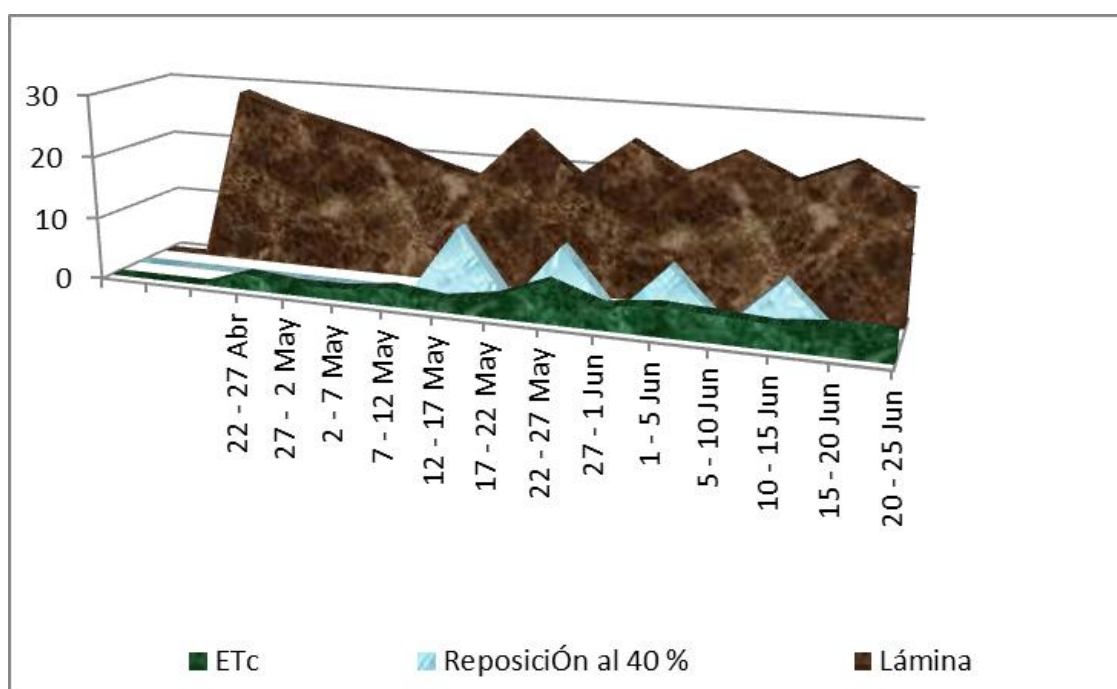
Fuente: Datos registrados del invernadero en la Finca la María perteneciente a la UTEQ
Elaborado por: Autora

4.1.7. Reposición del consumo de agua en el cultivo de Pimiento

Cuando se trabajó con la lámina de reposición de agua al 40 % de consumo en el mismo balance hídrico de líneas anteriores, (Gráfico 3) se hizo necesario agregar 11,2 mm de agua a los 25 días después de la siembra; 9,8 mm a los 35 días y 8,3 mm a los 45 días; 8,0 mm a los 55 días esto es un 37,3 mm en el periodo.

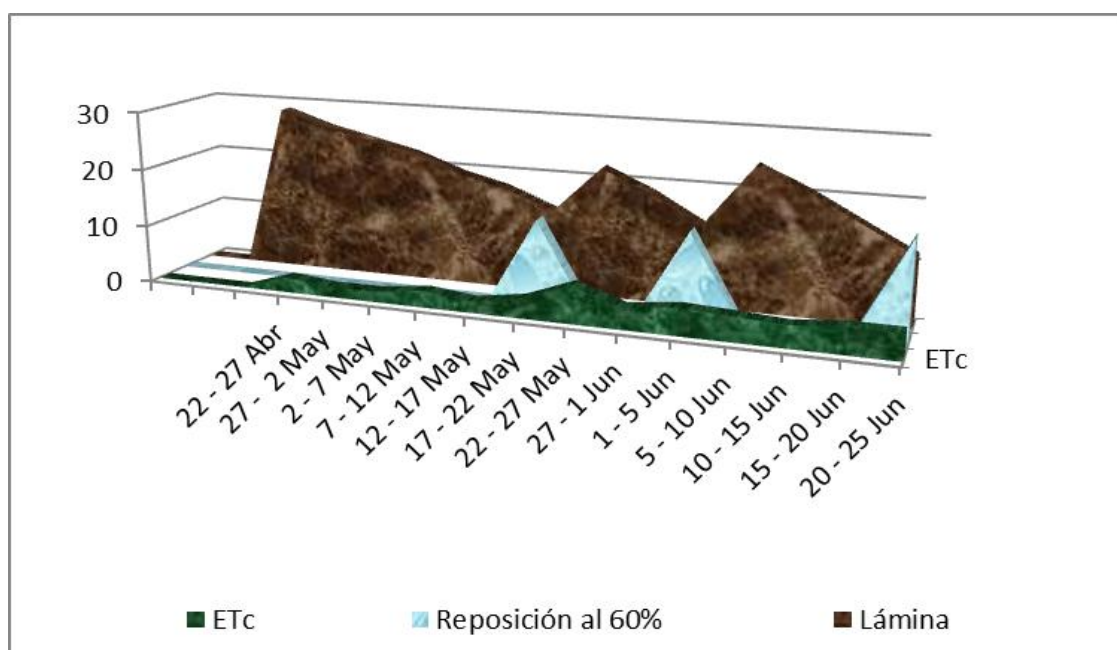
Utilizando la lámina de reposición de agua al 60 % de consumo, (Gráfico 4) se hizo necesario agregar 14,5 mm a los 30 días; 14,8 mm a los 45 días; 17,0 mm a los 65 días, esto es un 46,3 mm agregados en condiciones de riego superficial.

Grafico 3. Riego mediante la reposición de la lámina de agua al 40% de consumo en el cultivo de Pimiento



Fuente: Datos registrados en el invernadero de la Finca la María perteneciente a la UTEQ
Elaborado por Autora

Grafico 4. Riego mediante la reposición de la lámina de agua al 60% de consumo en el cultivo de pimienta



Fuente: Datos registrados del invernadero en la Finca La María perteneciente a la UTEQ
Elaborado por Autora

4.1.8. Programación de riego al cultivo de pepino y pimiento

Haciendo inferencia al consumo de agua al 40 % y la dotación de riego del cultivo de pepino en mm/m^2 hacia el área útil de la parcela que es $3,2 \text{ m}^2$, la cantidad de agua es de riego es de 32 l/m^2 a los 20 días, $25,9 \text{ l/m}^2$ a los 30 días y $36,8 \text{ l/m}^2$ a los 40 días.

En el consumo de agua al 60 % y dotación de riego del cultivo de pepino en mm/m^2 hacia el área útil de la parcela que es $3,2 \text{ m}^2$, la cantidad de agua de riego es $57,9 \text{ mm}$ a los 20 días.

En el cultivo de pimiento el consumo de agua al 40% y dotación de riego de la parcela que fue de $3,2 \text{ m}^2$, la cantidad de riego aplicada fue de $5,8 \text{ l/m}^2$, a los 25 días, $31,4 \text{ l/m}^2$ a los 35 días; $26,6 \text{ l/m}^2$ a los 45 días y $25,6 \text{ l/m}^2$ a los 55 días., y en el consumo de 60 % de agua en la misma parcela, la cantidad de agua de riego que se dotó fue de $46,4 \text{ l/m}^2$ a los 35 días; $47,3 \text{ l/m}^2$ a los 45 días; $54,4 \text{ l/m}^2$ a los 65 días.

4.2. Discusión

La información meteorológica tomada de los registros climatológicos de la Estación Meteorológica Pichilingue correspondientes al período 2005-2014, sirvió de base para el cálculo de la Evapotranspiración Potencial empleando los métodos de Thornthwaite, Blaney Criddle y el Tanque clase A.

En el cálculo se determinó que los métodos teóricos presentaron valores mayores que los obtenidos con el método del tanque superándolo en 67.8 mm con el método de Blaney Criddle y 48.3 mm con Thornthwaite, lo que puede deberse a que en el método de Thornthwaite su cálculo se basa en la heliofanía en un mes tipo de doce horas de sol como indica **Manzano, (2009)** y en el método de Blaney Criddle en su cálculo interviene la temperatura media mensual y el porcentaje de horas luz (**Campo, 2012**), a diferencia del método del tanque evaporímetro clase A que para su cálculo integra los efectos de todos los factores climáticos como: temperatura, humedad, velocidad de viento y luz solar que afectan la evapotranspiración (**Valverde, 2007**).

Los mayores valores de evapotranspiración potencial (ETP) con el método de Thornthwaite, se registró en el mes de marzo 127.7 mm y abril 122.6, mientras que con el método de Blaney Criddle fue en marzo (136.4 mm) y diciembre (134.5 mm), con valores que fluctuaron entre 122.6 mm y 136.4 mm; mientras que con el tanque clase A, los valores mayores de ETP correspondieron a diciembre y noviembre.

La determinación de la ETP sirvió de base para el cálculo del Balance Hídrico donde se consideró la textura del suelo para la determinación de la Capacidad de Retención de Agua en Capacidad de Campo y Punto de Marchitez Permanente y por otra parte el coeficiente de cultivo (K_c), que depende del tipo y estadio del cultivo en razón de que la evapotranspiración guarda relación con la cobertura del suelo por el cultivo, concordando con lo manifestado por la Organización de las Naciones Unidas Para la Alimentación y la Agricultura (**FAO sf Sepor, 2015**), quienes manifiestan que el consumo de agua o

evapotranspiración que ocurre en una superficie cultivada puede ser estimada a partir de datos meteorológicos (temperatura, humedad relativa, radiación solar, velocidad de viento). En el análisis del comportamiento de la ETP en condiciones de campo abierto e invernadero empleando datos en periodos de cada 5 días del 22 de abril al 25 de junio provenientes de un tanque de evaporación instalado en las mismas condiciones se obtuvo un promedio de 11,1 mm para campo abierto, superando a la ETP del invernadero que obtuvo 5,4 mm; lo que significa que a campo abierto la ETP supera alrededor de 105,6 % a las condiciones de invernadero, lo que puede deberse a que a campo abierto influye la radiación solar el viento que en condiciones de invernadero son insignificantes.

El cálculo del balance hídrico permitió definir la variabilidad del agua disponible en periodos de cinco días para la capa de 0-30 cm, se observa que el mayor consumo de agua se registra a partir de los 30 días de edad del cultivo, cuando su coeficiente de cultivo alcanza su valor máximo que es 1,1, periodo en el cual el agua disponible del suelo muestra mayor agotamiento, observándose que a los 35 días de edad el suelo solo contenía 6,5 mm de agua disponible para las plantas mostrando déficit hídrico a los 40 días, lo que es un indicativo de requerimiento hídrico que puede suplirse con riego coincidiendo con **Fernández et al (2010)** quienes sostienen que el requerimiento de riego de los cultivos o necesidades netas se define como la suma de la evapotranspiración del cultivo cuando es menor que la precipitación efectiva.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- ✓ Los Métodos de Thornthwaite, Blaney Criddle, son llamados métodos empíricos o teóricos, por que basan su cálculo de la ETP en datos de temperatura, humedad atmosférica y tablas que facilitan determinados índices para su cálculo.
- ✓ La ETP calculada por medio de los métodos Thornthwaite, Blaney Criddle, presentan valores superiores en 48,3 mm y 67,8 mm respectivamente, en relación con el método de Tanque evaporímetro clase A. en un periodo de diez años (2005-2014)
- ✓ El conocimiento de la textura del suelo permite determinar la capacidad de retención de agua (mm), como también los valores a capacidad de campo y punto de marchitez permanente cuya diferencia establece la cantidad de agua disponible para un cultivo.
- ✓ La diferencia en el valor de la ETP en condiciones de campo abierto e invernadero fue muy marcada, superando en 120,7 mm al de invernadero en un periodo de 65 días,
- ✓ Con la determinación de la ETP y los coeficientes de los cultivos de Pepino y Pimiento (K_c), se determinó el Balance Hídrico en condiciones de invernadero para periodos de cinco días.
- ✓ Con el conocimiento de la disponibilidad de agua y la evapotranspiración mediante el balance hídrico se pudo determinar las necesidades de riego para el cultivo de pepino empleando el método del Tanque Evaporímetro clase A, fue de 124,1 mm, mientras que para el cultivo de pimiento fue de 135,4 mm en condiciones de invernadero.
- ✓ Los requerimientos de riego fluctuaron entre 37,3 mm y 46.3 mm para un periodo (65 días), entre la reposición de agua al 40% y 60 % del consumo de la lámina de agua.

- ✓ La media de temperatura para el ciclo vegetativo de los cultivos de Pepino y Pimiento en invernadero estuvo en 27.0 °C y campo abierto en 26.3 °C.
- ✓ La humedad relativa para el ciclo vegetativo de los cultivos de Pepino y Pimiento estuvo en 84.5 % en el invernadero y campo abierto en 85.9%.

5.2. Recomendaciones

- ✓ Considerar la dotación de riego en campo abierto, comparando la reposición del agua consumida por el cultivo y evaporada por el suelo a fin de dotar agua de riego en relación a los requerimientos mínimos del cultivo
- ✓ Emplear el método de cálculo de la ETP en función de la disponibilidad de información meteorológica que demanda cada método.
- ✓ Analizar prueba en condiciones de la época seca, es decir junio a noviembre, meses en los que es más común la siembra de hortalizas en la zona y por tanto los requerimientos de riego son diferentes a sus resultados.

CAPÍTULO VI
BIBLIOGRAFÍA

6.1. Literatura Citada

Briceño, M., Álvarez, F., & Barahona, U. (4 de marzo de 2012). Manual de riego y drenaje. El Zamorano-Honduras: Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Obtenido de <http://es.slideshare.net/reneecapaza/evaporacion-y-evapotranspiracion-climatologia>

Briceño, M., Álvarez, F., & Barahona, U. (21 de junio de 2012). Manual de Riego y Drenaje. El Zamorano-Honduras: Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Obtenido de <http://www.ecured.cu/index.php/evapotranspiración>

Campos, R. (2012). Metodo de Blaney Criddle. El collao-perú: scribd. Obtenido de <http://es.scribd.com/doc/115912084/metodo-de-blaney-criddle#scribd>

Celorio, C., Chica, M., Espinales, R., & Molina, W. (2010). Implementación de un sistema de riego por goteo para el cultivo de cebolla (*allium cepa.*) En la hacienda “La Teodomira”, Santa Ana-Ecuador: Universidad Técnica de Manabí.

Cisneros, R. (2005). Apuntes de la materia de la materia de riego y drenaje. San Luis Potosí: Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

Cobo, R. (2012). “Efecto de la fertilización a base de biol en la producción de pimiento (*Capsicum annum L*) híbrido Quetzal bajo condiciones de invernadero” Tesis. Quito: Universidad San Francisco de Quito.

Cruz, D. (2010). Estimación de la evapotranspiración real(etr) para la Cuenca del Río la Antigua, VERACRUZ: estado actual y ante escenarios de cambio Climático. Veracruz: Universidad Veracruz Ana. Obtenido de <http://cdigital.uv.mx/bitstream/123456789/29550/1/CruzTorres.pdf>

FAO-56 Evapotranspiracion de referencia (2010) Obtenido de: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/009/x0490s/x0490s01.pdf>

- Felmer, S., Almarza, P., Garcia, F., & Silva, L. (2012).** Resultados de la instalacion de pozos de observación de los niveles de agua sub-superficial, en huertos de ciruelo europeo. Santa cruz-Chile: INIA.
- Gasso, F., & Solomando, S. (2011).** Estructura e instalaciones de un invernadero. Cataluña: Universidad Politècnica de Catalunya.
- Giraldez, J., Vanderlinden, K., & Berge, H. (2009).** La evaporación del agua del suelo bajo control atmosférico. Tenerife: Universidad de Córdoba.
- González, B., & Reyes, A. (2013).** Producción de pepino bajo invernadero en valles altos del Estado de México. instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Recuperado el 29 de 06 de 2015, de <http://www.agromatica.es/cultivo-del-pepino/>
- Grundfos. (10 de Febrero de 2012).** Manual de Riego. Obtenido de http://cbs.grundfos.com/export/sites/dk.grundfos.cbs/BGE_Spain/downloads/Download_Files/Manual_de_Riego_ES.pdf
- Jiménez, B. (2013).** Características fisiotécnicas y efecto de podas en genotipos de Melón. Cohauila-Mexico: Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Maldonado, J. (2013).** El agua en la planta. Obtenido de <https://prezi.com/qusz7mefp88i/untitled-prezi/>
- Manzano, M. (2009).** Hidrología subterránea (itop) / hidrogeología (itm). Cartagena: Universidad Politécnica de Cartagena. Obtenido de http://www.upct.es/~minaees/hidrogeologia_1.pdf
- Martin, M., Calvo, M., García, E., Morcillo, J., Reyero, C., & Vidal, M. (2012).** El ciclo del agua. Madrid-España: Universidad Complutense de Madrid.
- Mata, S., Hernandez, M., Sarmiento, H., & Sigala, J. (2014).** Producción de planta de *Agave durangensis* en sistema de acolchado y riego por goteo. Durango-Mexico: Comision Editorial del CEVAG.

- Moreira, J. (2015).** Estudio del comportamiento postcosecha del pepino (*Cucumis sativus*) sometido a enfriamiento con tres temperaturas y tres tiempos de inmersión. Manta: Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí.
- Odar, E., & Ramirez, O. (Febrero de 2014).** Uso del tanque evaporímetro para la agricultura. Virú-Peru: proyecto especial Chavimochic. Obtenido de <http://www.chavimochic.gob.pe/portal/Ftp/Informacion/Folletos/2014/Evaporimetro.pdf>
- Pinto, M. (13 de 11 de 2013).** El cultivo del Pimiento y el clima en el Ecuador. Quito : INAMHI - Ecuador. Obtenido de <http://186.42.174.231/meteorologia/articulos/agrometeorologia/El%20%20cultivo%20del%20pimiento%20y%20el%20clima%20en%20el%20Ecuador.pdf>
- Ramos, M., & Baez, D. (2013).** Diseño y construcción de un sistema de riego por aspersión en una parcela demostrativa en el cantón Cevallos. Riobamba-Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Ruales, G. (2013).** Hidrología 30172. Pasto-Colombia: Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Obtenido de <http://datateca.unad.edu.co/contenidos/30172/MODULO%20HIDROLOGIA/identificacin.html>
- Santos, B., Obregón , H., & Salamé , T. (12 de Abril de 2010).** Producción de hortalizas en ambientes protegidos: estructuras para la agricultura protegida. Tecolostote-nicaragua: departamento de horticultural sciences, UF/IFAS Extensión. Obtenido de <http://agronomicatecnoparque.blogspot.com/2010/04/tomate-sembrar-cielo-abierto-o-en.html>
- Sepor. (2015).** Coeficiente de cultivo (Kc). Santiago-Chile: Universidad de Talca.

Shock, C., & Welch, T. (2013). Técnicas para la agricultura sostenible. Oregon-Estados Unidos: Oregon State University.

Squeo, F., & León, M. (01 de 05 de 2007). Transpiración. La Sereana-Chile: Universidad de la Sereana. Recuperado el 6 de junio de 2015, de <http://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/Transpiracion.pdf>

Udelar. (Agosto de 2009). Módulo Hidrología. Obtenido de http://www.fing.edu.uy/imfia/imfiaweb/sites/default/files/03_Agua_en_el_Suelo_2009.pdf

Vallejo, J. (2013). Elaboración de un manual guía técnico práctico del cultivo de hortalizas de mayor importancia socioeconomica de la Región Interandina. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/2037/1/T-UCE-0004-37.pdf>

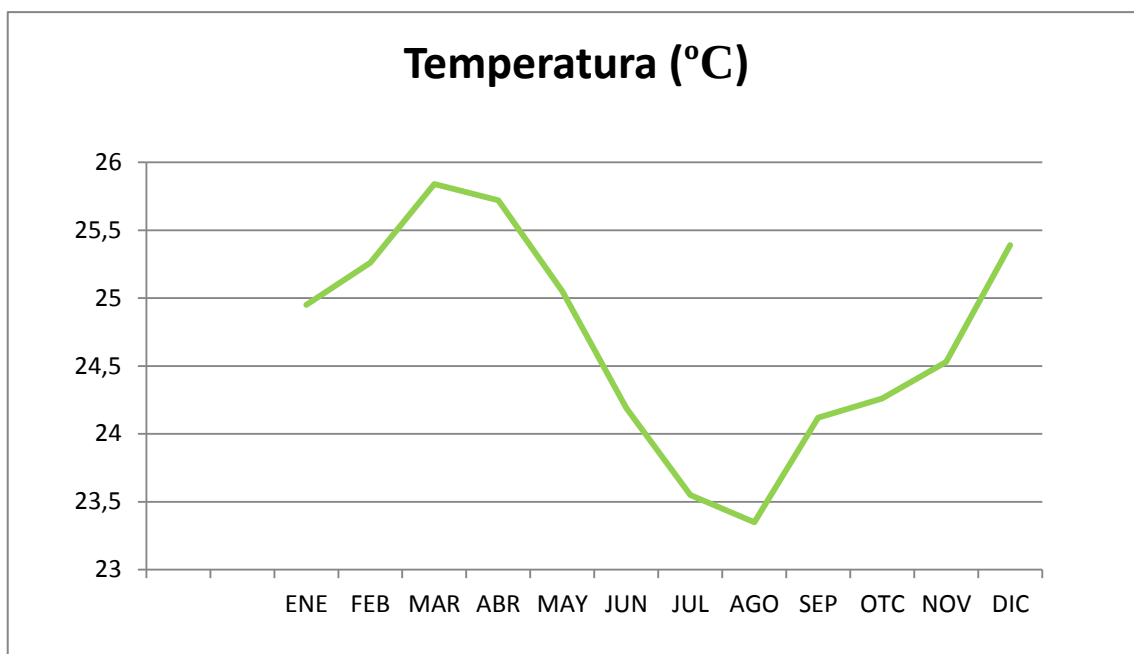
Valverde, J. (2007). Riego y Drenaje. San José-Costa Rica: Universidad Estatal a Distancia.

Zotarelli, L., Dukes, M., & Morgan, T. (13 de Enero de 2015). Interpretación del contenido de la humedad del suelo Florida: Universidad de Florida. Obtenido de <https://edis.ifas.ufl.edu/pdffiles/AE/AE49600.pdf>

CAPÍTULO VII

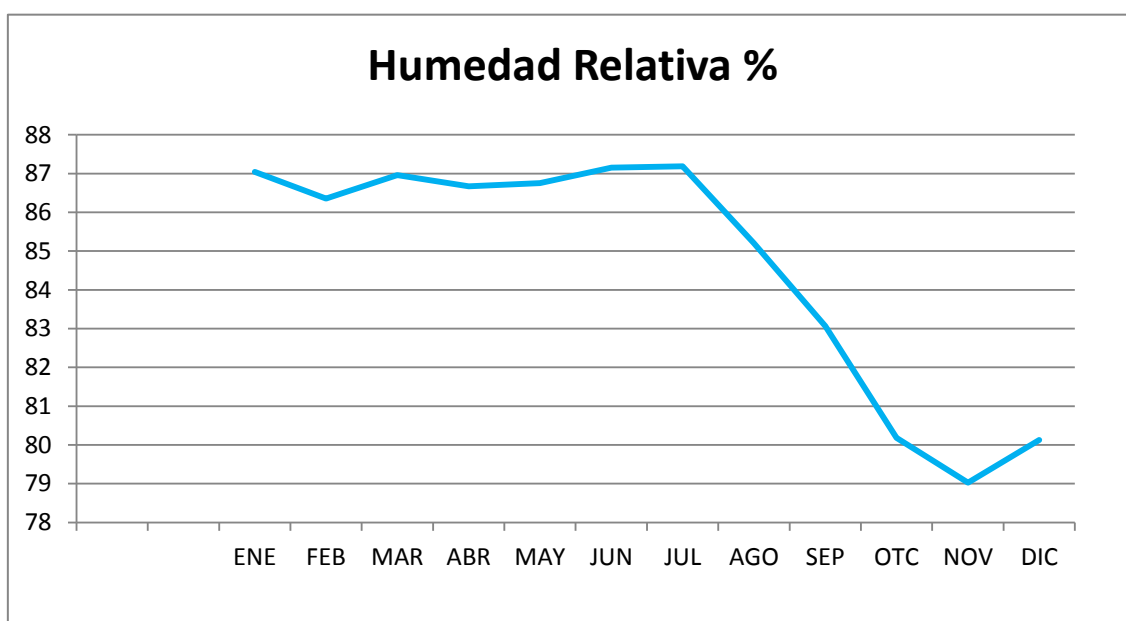
ANEXOS

Grafico 5. Valores promedios de temperatura (°C) correspondientes al periodo 2005-2014



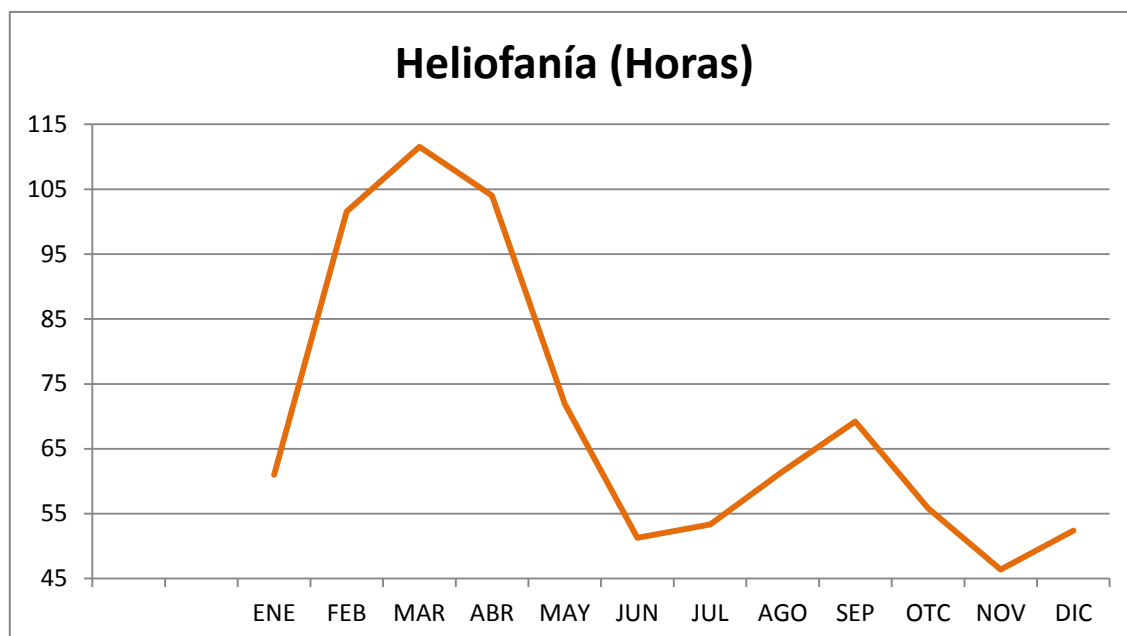
Fuente: Estación Meteorológica Pichilingue INAMHI
Elaborado por Autora

Grafico 6. Valores promedios de humedad relativa correspondientes al periodo 2005-2014.



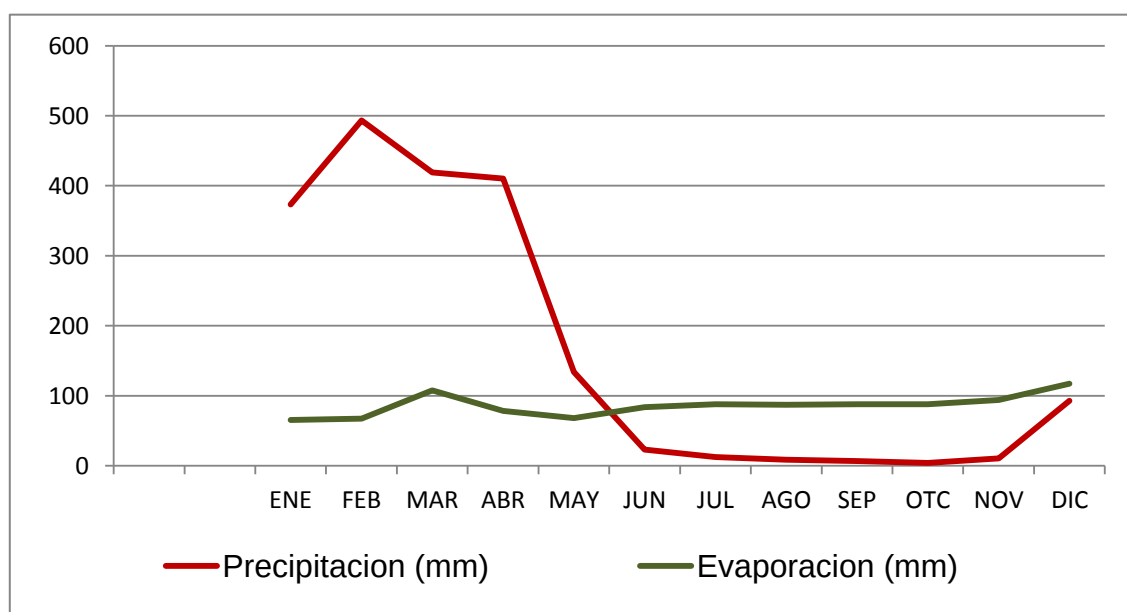
Fuente: Estación Meteorológica Pichilingue INAMHI
Elaborado por Autora

Grafico 7. Valores promedios de heliofanía correspondientes al periodo 2005-2014



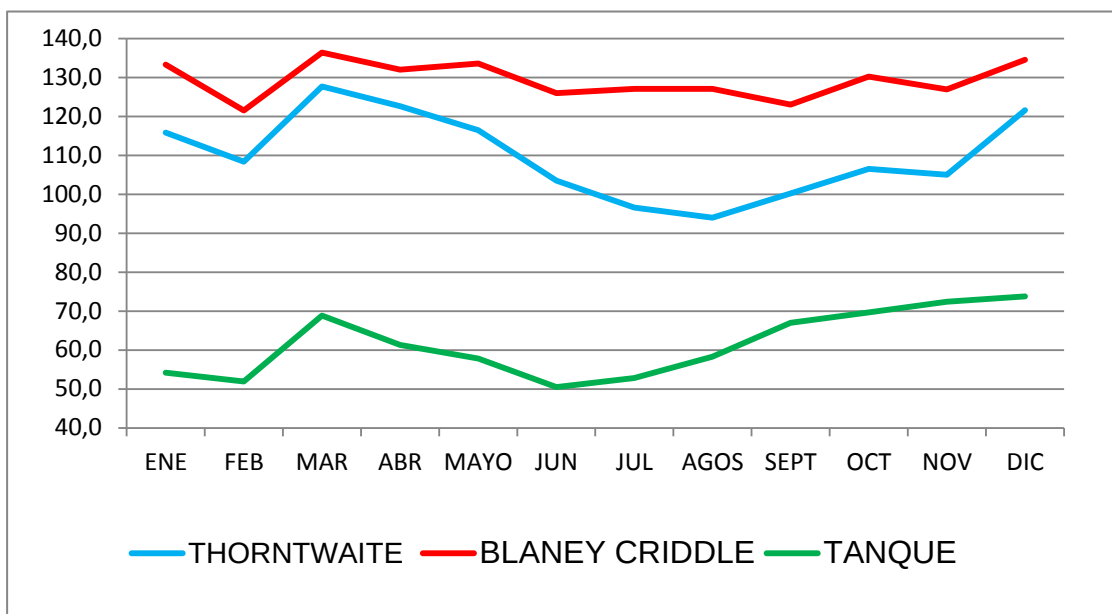
Fuente: Estación Meteorológica Pichilingue INAMHI
Elaborado por Autora

Grafico 8. Valores promedios de precipitación y evaporación correspondientes al periodo 2005-2014



Fuente: Estación Meteorológica Pichilingue INAMHI
Elaborado por Autora

Grafico 9. Evapotranspiración potencial de los métodos de Thornthwaite, Blaney Criddle y el Tanque Evaporímetro clase A correspondientes al periodo 2005-2014



Fuente: Estación Meteorológica Pichilingue INAMHI
Elaborado por Autora

CUADRO 7. BALANCE HÍDRICO CON REPOSICIÓN AL 40 % DE CONSUMO DE LA LÁMINA DE AGUA DISPONIBLE EN EL CULTIVO DE PEPINO.

Periodo de 5 días	EV (mm)	ETP (mm)	Kc	ETc	Lámina (mm)	Reposición (40% de consumo)
		0,75			28,68	
15-20 Mayo	4,91	3,68	0,31	1,1	27,5	
20-25 Mayo	9,92	7,44	0,36	2,7	24,9	
25-30 Mayo	9,95	7,46	0,47	3,5	21,4	
30 -04 Junio	5,89	4,42	0,61	2,7	18,7	10,0
04-09 Junio	6,88	5,16	0,77	4,0	24,7	
09-14 Junio	4,98	3,74	1,10	4,1	20,6	08,1
14-19 Junio	4,99	3,74	1,10	4,1	24,6	
19-25 Junio	8,98	6,74	1,10	7,4	17,2	11,5
TOTAL	56,5	42,4	5,80	29,6	179,4	29,6

Fuente: Datos registrados del invernadero en la Finca la María perteneciente a la UTEQ
Elaborado por: Autora

CUADRO 8. BALANCE HÍDRICO CON REPOSICIÓN AL 60 % DE CONSUMO DE LA LÁMINA DE AGUA DISPONIBLE EN EL CULTIVO DE PEPINO.

Periodo de 5 días	EV (mm)	ETP (mm)	Kc	ETc (mm)	Lámina (mm)	Reposición (60% de consumo)
		0,75			28,68	
15-20 Mayo	4,91	3,7	0,31	1,1	27,5	
20-25 Mayo	9,92	7,4	0,36	2,7	24,9	
25-30 Mayo	9,95	7,5	0,47	3,5	21,4	
30 -04 Junio	5,89	4,4	0,61	2,7	18,7	
04- 09 Junio	6,88	5,2	0,77	4,0	14,7	14,0
09 - 14 junio	4,98	3,7	1,10	4,1	10,6	
14 -19 Junio	4,99	3,7	1,10	4,1	6,5	
19 -25 Junio	8,98	6,7	1,10	7,4	-0,9	
Total	56,5	42,4		29,6	123,2	14,0

Fuente: Datos registrados del invernadero en la Finca la María perteneciente a la UTEQ
Elaborado por: Autora

CUADRO 9. BALANCE HÍDRICO CON REPOSICIÓN AL 40 % DE CONSUMO DE LA LÁMINA DE AGUA DISPONIBLE EN EL CULTIVO DE PIMIENTO.

Periodo de 5 días	Ev (mm)	ETP (mm)	Kc	ETc (mm)	Lámina (mm)	Reposición al 40 %
		0,75			28,68	
22 - 27 Abril	9,94	7,5	0,4	2,6	26,1	
27 - 02 Mayo	6,98	5,2	0,4	1,8	24,2	
02 - 07 Mayo	6,99	5,2	0,4	1,9	22,4	
07 - 12 Mayo	8,98	6,7	0,4	2,9	19,5	
12 - 17 Mayo	4,99	3,7	0,5	2,0	17,4	11,2
17 - 22 Mayo	6,95	5,2	0,6	3,3	25,4	
22 - 27 Mayo	11,98	9,0	0,7	6,5	18,9	9,8
27 - 01 Junio	5,98	4,5	0,8	3,7	25,0	
01 - 05 Junio	6,98	5,2	0,9	4,7	20,3	8,3
05 - 10 Junio	5,98	4,5	1,0	4,3	24,4	
10 - 15 Junio	4,98	3,7	1,0	3,7	20,7	8,0
15 - 20 Junio	5,97	4,5	1,0	4,5	24,2	
20 - 25 Junio	5,97	4,5	1,0	4,5	19,7	
Total	92,7	69,5	9,0	46,3	288,2	37,3

Fuente: Datos registrados del invernadero en la Finca la María perteneciente a la UTEQ
Elaborado por: Autora

CUADRO 10. BALANCE HÍDRICO CON REPOSICIÓN AL 60 % DE CONSUMO DE LA LÁMINA DE AGUA DISPONIBLE EN EL CULTIVO DE PIMIENTO.

Periodo de 5 días	Ev (mm)	ETP (mm)	Kc	Etc (mm)	Lámina (mm)	Reposición al 60%
22 - 27 Abril	9,94	7,5	0,4	2,6	26,1	
27- 02 Mayo	6,98	5,2	0,4	1,8	24,2	
02 -07 Mayo	6,99	5,2	0,4	1,9	22,4	
07 -12 Mayo	8,98	6,7	0,4	2,9	19,5	
12 -17 Mayo	4,99	3,7	0,5	2,0	17,4	
17 -22 Mayo	6,95	5,2	0,6	3,3	14,2	14,5
22 -27 Mayo	11,98	9,0	0,7	6,5	22,2	
27 -01 Junio	5,98	4,5	0,8	3,7	18,5	
01 -05 Junio	6,98	5,2	0,9	4,7	13,9	14,8
05 -10 Junio	5,98	4,5	1,0	4,3	24,4	
10 -15 Junio	4,98	3,7	1,0	3,7	20,7	
15 -20 Junio	5,97	4,5	1,0	4,5	16,2	
20 -25 Junio	5,97	4,5	1,0	4,5	11,7	17,0
Total	92,7	69,5	9,0	46,3	251,4	46,3

Fuente: Datos registrados del invernadero en la Finca la María perteneciente a la UTEQ
Elaborado por: Autora

**Tabla 1 Conversión de la temperatura media mensual al índice calórico
“i”, siendo $i = (T/5)^{1.514}$**

T °C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0		*	0,01	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07
1	0,09	0,10	0,12	0,13	0,15	0,16	0,18	0,20	0,21	0,23
2	0,25	0,27	0,29	0,31	0,33	0,35	0,37	0,39	0,42	0,44
3	0,46	0,48	0,51	0,53	0,56	0,58	0,61	0,63	0,66	0,69
4	0,71	0,74	0,77	0,80	0,82	0,85	0,88	0,91	0,94	0,97
5	1,00	1,03	1,06	1,09	1,12	1,16	1,19	1,22	1,25	1,29
6	1,32	1,35	1,39	1,42	1,45	1,49	1,52	1,56	1,59	1,63
7	1,66	1,70	1,74	1,77	1,81	1,85	1,89	1,92	1,96	2,00
8	2,04	2,08	2,12	2,15	2,19	2,23	2,27	2,31	2,35	2,39
9	2,44	2,48	2,52	2,56	2,60	2,64	2,69	2,73	2,77	2,81
10	2,86	2,90	2,94	2,99	3,03	3,08	3,12	3,16	3,21	3,25
11	3,30	3,34	3,39	3,44	3,48	3,53	3,58	3,62	3,67	3,72
12	3,76	3,81	3,86	3,91	3,96	4,00	4,05	4,10	4,15	4,20
13	4,25	4,30	4,35	4,40	4,45	4,50	4,55	4,60	4,65	4,70
14	4,75	4,81	4,86	4,91	4,96	5,01	5,07	5,12	5,17	5,22
15	5,28	5,33	5,38	5,44	5,49	5,55	5,60	5,65	5,71	5,76
16	5,82	5,87	5,93	5,98	6,04	6,10	6,15	6,21	6,26	6,32
17	6,38	6,44	6,49	6,55	6,61	6,66	6,72	6,78	6,84	6,90
18	6,95	7,01	7,07	7,13	7,19	7,25	7,31	7,37	7,43	7,49
19	7,55	7,61	7,67	7,73	7,79	7,85	7,91	7,97	8,03	8,10
20	8,16	8,22	8,28	8,34	8,41	8,47	8,53	8,59	8,66	8,72
21	8,78	8,85	8,91	8,97	9,04	9,10	9,17	9,23	9,29	9,36
22	9,42	9,49	9,55	9,62	9,68	9,75	9,82	9,88	9,95	10,01
23	10,08	10,15	10,21	10,20	10,35	10,41	10,48	10,55	10,62	10,68
24	10,75	10,82	10,89	10,95	11,02	11,09	11,16	11,23	11,30	11,37
25	11,44	11,50	11,57	11,64	11,71	11,78	11,85	11,92	11,99	12,06
26	12,13	12,21	12,28	12,35	12,42	12,49	12,56	12,63	12,70	12,78
27	12,85	12,92	12,99	13,07	13,14	13,21	13,28	13,36	13,43	13,50
28	13,58	13,65	13,72	13,80	13,87	13,94	14,02	14,09	14,17	14,24
29	14,32	14,39	14,47	14,54	14,62	14,69	14,77	14,84	14,92	14,99
30	15,07	15,15	15,22	15,30	15,38	15,45	15,53	15,61	15,68	15,76
31	15,84	15,92	15,99	16,07	16,15	16,23	16,30	16,38	16,46	16,54
32	16,62	16,70	16,78	16,85	16,93	17,01	17,09	17,17	17,25	17,33
33	17,41	17,49	17,57	17,65	17,73	17,81	17,89	17,97	18,05	18,13
34	18,22	18,30	18,38	18,46	18,54	18,62	18,70	18,79	18,87	18,95
35	19,03	19,11	19,20	19,28	19,36	19,45	19,53	19,61	19,69	19,78
36	19,86	19,95	20,03	20,11	20,20	20,28	20,36	20,45	20,53	20,62
37	20,70	20,79	20,87	20,96	21,04	21,13	21,21	21,30	21,38	21,47
38	21,56	21,64	21,73	21,81	21,90	21,99	22,07	22,16	22,25	22,33
39	22,42	22,51	22,59	22,68	22,77	22,86	22,95	23,03	23,12	23,21
40	23,30									

Fuente: (Sparrow, E. 2013)

Tabla 2 Valores de “a” en función del índice calórico anual, (i), para el cálculo de la evapotranspiración potencial según Thornthwaite.

I	a	I	a	I	a	I	a	I	a
10	0,66	41	1,14	71	1,62	101	2,21	131	3,03
11	0,68	42	1,16	72	1,63	102	2,23	132	3,07
12	0,70	43	1,17	73	1,65	103	2,25	133	3,1
13	0,71	44	1,19	74	1,67	104	2,28	134	3,13
14	0,73	45	1,2	75	1,69	105	2,31	135	3,17
15	0,75	46	1,22	76	1,71	106	2,33	136	3,2
16	0,76	47	1,23	77	1,72	107	2,35	137	3,24
17	0,78	48	1,25	78	1,74	108	2,38	138	3,27
18	0,79	49	1,26	79	1,76	109	2,4	139	3,31
19	0,81	50	1,28	80	1,78	110	2,43	140	3,34
20	0,83	51	1,3	81	1,8	111	2,45	141	3,38
21	0,84	52	1,31	82	1,81	112	2,48	142	3,42
22	0,86	53	1,33	83	1,83	113	2,51	143	3,45
23	0,87	54	1,34	84	1,85	114	2,53	144	3,49
24	0,89	55	1,36	85	1,87	115	2,56	145	3,53
25	0,90	56	1,37	86	1,89	116	2,59	146	3,57
26	0,92	57	1,39	87	1,91	117	2,61	147	3,6
27	0,93	58	1,4	88	1,93	118	2,64	148	3,64
28	0,95	59	1,42	89	1,95	119	2,67	149	3,68
29	0,96	60	1,44	90	1,97	120	2,7	150	3,72
30	0,98	61	1,45	91	1,99	121	2,73	151	3,76
31	0,99	62	1,47	92	2,01	122	2,76	152	3,81
32	1,01	63	1,48	93	2,04	123	2,79	153	3,85
33	1,02	64	1,5	94	2,06	124	2,82	154	3,89
34	1,04	65	1,52	95	2,08	125	2,85	155	3,93
35	1,05	66	1,53	96	2,1	126	2,88	156	3,97
36	1,07	67	1,55	97	2,12	127	2,91	157	4,02
37	1,08	68	1,56	98	2,14	128	2,94	158	4,06
38	1,10	69	1,58	99	2,17	129	2,97	159	4,11
39	1,11	70	1,6	100	2,19	130	3	160	4,15
40	1,13								

Fuente: (Sparrow, E. 2013)

Tabla 3 Valores diarios de “a” en función del índice calórico anual (i) para el cálculo de la evapotranspiración potencial sin ajustar según Thorntwaite.

Latitud Norte Sur 1/	En Jul.	Feb. Agos.	Mar. Sep.	Abr. Oct.	May Nov.	Jun. Dic.	Jul. En	Agos. Feb.	Sep. Mar.	Oct. Abr.	Nov. May	Dic. Jun.
60°	0,15	0,2	0,26	0,2	0,38	0,41	0,4	0,34	0,28	0,22	0,17	0,13
58°	0,16	0,21	0,26	0,32	0,37	0,4	0,39	0,34	0,28	0,23	0,18	0,15
56°	0,17	0,21	0,26	0,32	0,36	0,39	0,38	0,33	0,28	0,23	0,18	0,16
54°	0,18	0,22	0,26	0,31	0,36	0,38	0,37	0,33	0,28	0,23	0,19	0,17
52°	0,19	0,22	0,27	0,31	0,35	0,37	0,36	0,33	0,28	0,24	0,2	0,17
50°	0,19	0,23	0,27	0,31	0,34	0,36	0,35	0,32	0,28	0,24	0,21	0,18
48°	0,2	0,23	0,27	0,31	0,34	0,36	0,5	0,32	0,28	0,24	0,21	0,19
46°	0,2	0,23	0,27	0,3	0,34	0,35	0,34	0,32	0,28	0,24	0,22	0,2
44°	0,21	0,24	0,27	0,3	0,33	0,35	0,34	0,31	0,28	0,25	0,22	0,2
42°	0,21	0,24	0,27	0,3	0,33	0,34	0,33	0,31	0,28	0,25	0,22	0,21
40°	0,22	0,24	0,27	0,3	0,32	0,34	0,33	0,31	0,28	0,25	0,23	0,21
35°	0,23	0,25	0,27	0,29	0,31	0,32	0,32	0,3	0,28	0,25	0,24	0,22
30°	0,24	0,25	0,27	0,29	0,31	0,32	0,31	0,3	0,28	0,26	0,25	0,23
25°	0,24	0,26	0,27	0,29	0,3	0,31	0,31	0,29	0,28	0,26	0,25	0,24
20°	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,3	0,3	0,29	0,28	0,26	0,26	0,25
15°	0,26	0,26	0,27	0,28	0,29	0,29	0,29	0,28	0,28	0,27	0,26	0,25
10°	0,26	0,27	0,27	0,28	0,28	0,29	0,29	0,28	0,28	0,27	0,27	0,26
5°	0,27	0,27	0,27	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,27	0,27	0,27
1,63°	0,27	0,27	0,27	0,73	0,273	0,273	0,273	0,273	0,27	0,27	0,27	0,27
0°	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27

Fuente: (Sparrow, E. 2013)

Tabla 4 Valores del factor f de Blaney Criddle para diferentes temperaturas y porcentaje día de horas diurnas anuales.

t °C p %	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
0,14	1,1	1,3	1,4	1,5	1,7	1,8	1,9	2,0	2,2	2,3	2,4	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0	3,2	3,3	3,5	3,6	3,7
0,16	1,3	1,4	1,6	1,7	1,9	2,0	2,2	2,3	2,5	2,6	2,8	2,9	3,1	3,2	3,4	3,5	3,7	3,8	4,0	4,1	4,2
0,18	1,5	1,6	1,8	2,0	2,1	2,3	2,5	2,6	2,8	3,0	3,1	3,3	3,5	3,6	3,8	3,9	4,1	4,3	4,4	4,6	4,8
0,2	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,5	2,7	2,9	3,1	3,3	3,5	3,7	3,9	4,0	4,2	4,4	4,6	4,8	4,9	5,4	5,3
0,22	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,2	4,4	4,6	4,8	5,0	5,2	5,4	5,6	5,8
0,24	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,1	3,3	3,5	3,7	3,9	4,2	4,4	4,6	4,8	5,0	5,3	5,5	5,7	5,9	6,1	6,4
0,26	2,1	2,4	2,6	2,8	3,1	3,3	3,5	3,8	4,0	4,3	4,5	4,7	5,0	5,2	5,5	5,7	5,9	6,2	6,4	6,7	6,9
0,28	2,3	2,5	3,0	3,0	3,3	3,6	3,8	4,1	4,3	4,6	4,9	5,1	5,4	5,6	5,9	6,4	6,4	6,7	6,9	7,2	7,4
0,3	2,4	2,7	3,0	3,3	3,5	3,8	4,1	4,4	4,6	4,9	5,2	5,5	5,8	6,0	6,3	6,6	6,9	7,1	7,4	7,7	8,0
0,32	2,6	2,9	3,5	3,5	3,8	4,1	4,4	4,7	5,0	5,3	5,5	5,8	6,3	6,4	6,7	7,0	7,3	7,6	7,9	8,2	8,5
0,34	2,8	3,1	3,7	3,7	4,0	4,3	4,6	5,0	5,3	5,6	5,9	6,2	6,5	6,8	7,1	7,5	7,6	8,1	8,4	8,7	9,0
0,36	2,9	3,3	3,9	3,9	4,3	4,6	4,9	5,2	5,6	5,9	6,2	6,6	6,9	7,2	7,6	7,9	8,2	8,6	8,9	9,2	9,6
0,38	3,1	3,4	4,1	4,1	4,5	4,8	5,2	5,5	5,9	6,2	6,6	6,9	7,3	7,6	8,0	8,3	8,7	9,0	9,4	9,7	10,1
0,4	3,3	3,6	4,4	4,4	4,7	5,1	5,5	5,8	6,2	6,6	6,9	7,3	7,7	8,0	8,4	8,8	9,1	9,5	9,9	10,2	10,6
0,42	3,4	3,8	4,6	4,6	5,0	5,3	5,7	6,1	6,5	6,9	7,3	7,5	8,1	8,4	8,6	9,3	9,6	10,0	10,4	10,8	11,1

Fuente: (Sparrow, E. 2013)

7.1 MEDICIÓN DE ALTURA DE PLANTA



Fuente: Datos registrados en la finca La María – UTEQ

Elaborado por: Autora

7.2. RIEGO POR GOTEO



Fuente: Datos registrados en la finca La María – UTEQ

Elaborado por: Autora

7.3. TANQUE EVAPORÍMETRO CLASE A



Fuente: Datos registrados en la finca La María – UTEQ

Elaborado por: Autora

7.4. MEDICIÓN DIARIA DE TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA EN INVERNADERO



Fuente: Datos registrados en la finca La María – UTEQ
Elaborado por: Autora

7.5. MEDICIÓN DE EVAPORACIÓN DIARIA



Fuente: Datos registrados en la finca La María – UTEQ
Elaborado por: Autora

7.7. FRUTOS DE PEPINO



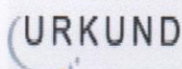
Fuente: Datos registrados en la finca La María – UTEQ
Elaborado por: Autora

7.6. FRUTOS DE PIMIENTO



Fuente: Datos registrados en la finca La María – UTEQ
Elaborado por: Autora

Reporte URKUND revisado por el Ing. Agric. Leonardo Matute Matute M.Sc.



Document [TESIS EVAPOTRANSPIRACION SANDRA CHAVEZ.docx](#) (D16292857)

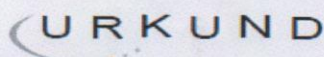
Submitted 2015-11-20 00:01 (-05:00)

Submitted by framos@uteq.edu.ec

Receiver framos.uteq@analysis.orkund.com

Message [TESIS SANDRA CHAVEZ](#) [Show full message](#)

9% of this approx. 23 pages long document consists of text present in 17 sources.



Urkund Analysis Result

Analysed Document: TESIS EVAPOTRANSPIRACION SANDRA CHAVEZ.docx (D16292857)
Submitted: 2015-11-20 06:01:00
Submitted By: framos@uteq.edu.ec
Significance: 9 %

Sources included in the report:

<http://www.agr.una.py/revista/index.php/ria/article/viewFile/102/98>
<http://www.chavimochic.gob.pe/portal/Ftp/informacion/Folletos/2014/Evaporimetro.pdf>
<https://rubielmontoya.files.wordpress.com/2012/08/sistema-de-riego-a-nivel-predial.pdf>
<http://www2.inia.cl/medios/biblioteca/ta/NR36672.pdf>
http://www.researchgate.net/profile/Sergio_Rosales-Mata/publication/273972254_PRODUCION_DE_PLANTA_DE_Agave_durangensis_EN_SISTEMA_DE_ACOLCHADO_Y_RIEGO_POR_GOTEO/links/5511848a0cf20bfdad4e7653.pdf
<http://documents.mx/documents/eficiencia-de-riego-y-modulo-de-riego.html>
<http://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/39/1/Moreira%20Loo%20Andr%C3%A9s%20Gabriel-V%C3%A9lez%20Loo%20Jos%C3%A9%20Antonio.pdf>
<http://ecoagricultor.com/wp-content/uploads/2014/07/manual-riego-goteo.pdf>
http://www.ece.uprm.edu/~m_goyal/agroclimatologia.pdf
<http://myslide.es/documents/retenedores-de-agua.html>
http://www.chapingo.mx/dima/revista/Vol_2_n_1_2012/pdf/IA04112.pdf
<http://users.exa.unicen.edu.ar/~jdiez/files/cstierra/apuntes/unidad3.pdf>
<http://cdigital.uv.mx/bitstream/123456789/29550/1/CruzTorres.pdf>
<https://prezi.com/qusz7mefp88i/untitled-prezi/>
<http://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/Transpiracion.pdf>
http://www.fing.edu.uy/imfia/imfiaweb/sites/default/files/03_Agua_en_el_Suelo_2009.pdf
<http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/2037/1/T-UC-0004-37.pdf>

Instances where selected sources appear:

38

Ing. Agric. Leonardo Matute Matute M.Sc.
DIRECTOR DE TESIS