



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES
RENOVABLES

CARRERA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

“DETERMINAR LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS DEL PEPINO
(Cucumis Sativus L) MEDIANTE EL LISÍMETRO VOLUMÉTRICO,
EN EL SECTOR LA TRINIDAD PERTENECIENTE AL SISTEMA
DE RIEGO CAMPANA-MALACATOS”

TESIS DE GRADO PREVIA A LA
OBTENCION DEL TÍTULO DE
INGENIERÍA AGRÍCOLA

AUTOR:

Yandry Paúl Martínez Sánchez

DIRECTOR:

Ing. Marco Reinoso Acaro Mg. Sc.

LOJA 2017



CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DE TESIS

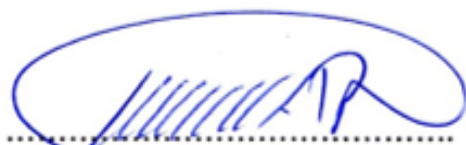
Ing. Marco Reinoso Acaro, Mg. Sc.

**DOCENTE DEL ÁREA AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES DE LA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**

CERTIFICA:

En calidad de Director de la tesis titulada “**DETERMINAR LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS DEL PEPINO (*Cucumis Sativus L*) MEDIANTE EL LISÍMETRO VOLUMÉTRICO, EN EL SECTOR LA TRINIDAD PERTENECIENTE AL SISTEMA DE RIEGO CAMPANA-MALACATOS**”, de autoría del señor egresado de la carrera de Ingeniería Agrícola, **Yandry Paul Martínez Sánchez**, certifico que la investigación ha sido revisada y culminada bajo mi dirección dentro del cronograma aprobado, por lo que autorizo su presentación y publicación.

Loja, 26 de enero de 2017



Ing. Marco Reinoso Acaro, Mg. Sc.
DIRECTOR DE TESIS

CERTIFICACIÓN DE MIEMBROS DEL TRIBUNAL

CERTIFICAN:

Que el documento de la Tesis titulada: **“DETERMINAR LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS DEL PEPINO (Cucumis Sativus L) MEDIANTE EL LISÍMETRO VOLUMÉTRICO, EN EL SECTOR LA TRINIDAD PERTENECIENTE AL SISTEMA DE RIEGO CAMPANA-MALACATOS”**, de autoría del señor **Yandry Paul Martínez Sánchez**, egresado de la carrera de Ingeniería Agrícola, ha sido revisado y aprobado, por lo que se autoriza su impresión y publicación.

Loja, 21 de marzo de 2017

Ing. Gonzalo Jaramillo González, M.Sc.
PRESIDENTE




.....

Ing. Anibal González González, M.Sc.
VOCAL



.....

Ing. Wilman Aldean Guamán, M.Sc.
VOCAL




.....

AUTORÍA

Yo, **Yandry Paul Martinez Sanchez**, declaro ser autor del siguiente trabajo de tesis y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos o acciones legales por el contenido de la misma.

Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el Repositorio Institucional - Biblioteca Virtual.

Autor: Yandry Paul Martinez Sanchez

Firma: 

CI: 1104639149

Fecha: 21 de marzo de 2017

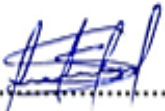
**CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR PARA LA
CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN
ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO**

Yo, Yandry Paúl Martínez Sánchez, declaro ser autor de la tesis titulada **“DETERMINAR LOS REQUERIMIENTOS HIDRICOS DEL PEPINO (*CUCUMIS SATIVUS L*), MEDIANTE EL LISIMETRO VOLUMETRICO, EN EL SECTOR LA TRINIDAD PERTENECIENTE AL SISTEMA DE RIEGO CAMPANA-MALACATOS”** , como requisito para optar al grado de Ingeniero Agrícola, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el RDI, en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia de la tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los veinte y dos días del mes de febrero del dos mil diecisiete, firma el autor.

Firma :.....
Autor : Yandry Paúl Martínez Sánchez
Cedula : 1104639149
Dirección : Esteban Godoy- Loja
Teléfono : 0986457993
Correo : yanipaul27@hotmail.com

DATOS COMPLEMENTARIOS:

Director de tesis: Ing. Marco Reinoso Acaro, M.Sc.

Tribunal de grado: Ing. Gonzalo Jaramillo González, M.Sc.

Ing. Aníbal González González, M.Sc

Ing. Wilman Aldean Guamán, M.Sc.

AGRADECIMIENTO.

Agradezco a la Universidad Nacional de Loja por darme la oportunidad de iniciar mis estudios, al Área Agropecuaria de Recursos Naturales, a la Carrera de Ingeniería Agrícola. A todas las personas que de uno y otro modo hicieron posible la realización de este proyecto, al Ing. Aníbal González por darme la oportunidad de hacer un trabajo útil para la comunidad, al Ing. Marco Reinoso Director de tesis por sus conocimientos e invaluable ayuda y consejos.

Agradecer también a toda la planta docente de Ingeniería Agrícola por brindarme sus conocimientos y experiencias en estos años de formación como un profesional de bien.

Finalmente a todos que directa e indirectamente colaboraron con la realización de este proyecto.
DIOS LOS BENDIGA GRACIAS.

EL AUTOR.

DEDICATORIA.

Este trabajo lo dedico a DIOS, por haberme dado la Fe, inteligencia, fortaleza y la capacidad de aprender y seguir adelante.

A mis padres Holger Martínez y Elida Sánchez que con gran firmeza me educaron e impulsaron incondicionalmente para que termine mis estudios.

A mis Hermanos Denis y Mileny, mis Abuelos y todos mis familiares y amigos por estar ahí siempre e impulsarme a ser una persona de bien.

YANDRY PAUL MARTINEZ SANCHEZ

INDICE GENERAL

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DE TESIS.....	ii
CERTIFICACION DE MIEMBROS DEL TRIBUNAL.	iii
AUTORÍA.....	iv
CARTA DE AUTORIZACIÓN	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
DEDICATORIA.....	vii
INDICE GENERAL.....	viii
1. INTRODUCCIÓN	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS DE LOS CULTIVOS.	3
2.1.1. INFLUENCIA DEL CLIMA EN LAS NECESIDADES DE AGUA DE LOS CULTIVOS.	3
2.1.2. INFLUENCIA DEL TIPO DE CULTIVO SOBRE SUS NECESIDADES DE AGUA.	3
2.1.3. INFLUENCIA DEL ESTADO DE DESARROLLO DE UN CULTIVO EN SUS NECESIDADES DE AGUA.....	4
2.1.4. EVAPOTRANSPIRACIÓN DE LOS CULTIVOS.	4
2.1.5. REQUERIMIENTO HÍDRICO DEL CULTIVO (IRREQ).	13
2.2. CULTIVO DE PEPINO.....	14
2.2.1. ORIGEN.	14
2.2.2. CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA.	14
2.2.3. DESCRIPCIÓN BOTÁNICA.....	14
2.2.4. ETAPAS DE DESARROLLO EN LA PLANTA DE PEPINO.....	16
2.2.5. LABORES CULTURALES.....	16
2.2.6. REQUERIMIENTO DEL CULTIVO DE PEPINO.	24
2.3. ESTUDIOS DE REQUERIMIENTOS DE AGUA DE CULTIVOS.	26
3. MATERIALES Y METODOS	27
3.1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	27
3.1.1. UBICACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO CAMPANA-MALACATOS.	27
3.2. MATERIALES Y EQUIPOS.....	29
3.2.1. MATERIALES DE CAMPO.....	29
3.2.2. MATERIALES DE OFICINA.	29
3.3. METODOLOGÍA.....	30
3.3.1. ELECCION DEL SITIO DE ESTUDIO.	30
3.3.2. CONSTRUCCION DE LOS LISIMETROS.	31
3.3.3. ETAPAS DE DESARROLLO DEL CULTIVO DE PEPINO.....	33
3.3.4. METODOLOGÍA PARA EL PRIMER OBJETIVO.	38
3.3.5. METODOLOGÍA PARA EL SEGUNDO OBJETIVO.....	40
3.3.6. METODOLOGÍA PARA EL TERCER OBJETIVO.....	42
3.3.7. REQUERIMIENTOS DE RIEGO.....	42
4. RESULTADOS Y DISCUSIONES	43
4.1. ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DEL SUELO.	43
4.2. CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS DEL CULTIVO DE PEPINO.....	44
4.3. DESCRIPCIÓN BOTÁNICA.....	45

4.3.1.	FASES FENOLÓGICAS.	45
4.3.2.	FRUTO.	46
4.3.3.	MANEJO DE PLAGAS Y ENFERMEDADES	46
4.4.	CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO DE REFERENCIA (ET _o), A TRAVÉS DE LA APLICACIÓN DEL MÉTODO DE PENMAN-MONTEITH.	47
4.5.	CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO DE PEPINO (ET _c), EN SUS DIFERENTES FASES FENOLÓGICAS, UTILIZANDO EL MÉTODO DIRECTO DEL LISÍMETRO VOLUMÉTRICO.	48
4.5.1.	DISEÑO Y FUNCIONAMIENTO DEL LISÍMETRO VOLUMÉTRICO.	48
4.5.2.	CONSTRUCCIÓN DEL ACHICADOR (BOMBA)	48
4.5.3.	CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO (ET _c).....	49
4.6.	CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE CULTIVO (K _c) CONSIDERANDO LA ET _o CALCULADA CON EL MÉTODO DE PENMAN-MONTEITH Y LA ET _c CALCULADA CON EL MÉTODO DEL LISÍMETRO VOLUMÉTRICO, PARA LAS FASES FENOLÓGICAS DEL CULTIVO DE PEPINO.	51
4.7.	CÁLCULO DE LOS REQUERIMIENTOS HIDRICOS DEL CULTIVO DE PEPINO.	53
5.	CONCLUSIONES	54
6.	RECOMENDACIONES	55
7.	BIBLIOGRAFIA.....	56
8.	ANEXOS.....	58

INDICE DE CUADROS.

CUADRO 1. FASES FENOLÓGICAS.	16
CUADRO 2. TEMPERATURA DEL CULTIVO DE PEPINO.	25
CUADRO 3. FERTILIZACIÓN DEL CULTIVO DE PEPINO.	36
CUADRO 4. CONSTANTES HIDROFÍSICAS DEL SUELO.	43
CUADRO 5. ANÁLISIS QUÍMICO DEL SUELO.	43
CUADRO 6. PLAN DE FERTILIZACIÓN.	44
CUADRO 7. CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS DEL CULTIVO DE PEPINO.	45
CUADRO 8. OBTENCIÓN DE LA ETO PROMEDIO DEL CICLO VEGETATIVO DEL PEPINO, MM/DÍA, A TRAVÉS DE PENMAN MONTEITH (FAO).	47
CUADRO 9. OBTENCIÓN DE LA ETC PROMEDIO DEL CICLO VEGETATIVO DEL PEPINO, MM/DÍA, UTILIZANDO EL MÉTODO DIRECTO DEL LISÍMETRO VOLUMÉTRICO.	50
CUADRO 10. COEFICIENTE DEL CULTIVO Kc PROMEDIO PARA LAS DISTINTAS ETAPAS FENOLÓGICAS DEL CULTIVO DE PEPINO.	51

INDICE DE FIGURAS.

FIGURA 1. CURVA GENERALIZADA DEL COEFICIENTE DEL CULTIVO, CORRESPONDIENTE AL PROCEDIMIENTO DEL COEFICIENTE ÚNICO DEL CULTIVO.....	7
FIGURA 2. PLAN DE FERTILIZACIÓN.....	17
FIGURA 3. UBICACIÓN DEL SITIO DE ESTUDIO.....	28
FIGURA 4. SITIO DE INVESTIGACIÓN.....	30
FIGURA 5. REPRESENTACIÓN DEL LISÍMETRO.....	31
FIGURA 6. COLOCACIÓN DE LA CAMISA DE PLÁSTICO Y COLOCACIÓN DE LAS CAPAS DE SUELO.....	32
FIGURA 7. CALIBRACIÓN DE LOS LISÍMETROS.....	32
FIGURA 8. PREPARACIÓN DEL TERRENO.....	33
FIGURA 9. SIEMBRA DEL CULTIVO DE PEPINO.....	34
FIGURA 10. TUTORADO DE LAS PLANTAS DE PEPINO.....	35
FIGURA 11. RIEGO.....	35
FIGURA 12. PROBLEMA DEL MILDIU VELLOSO.....	37
FIGURA 13. COSECHA DE PEPINO.....	38
FIGURA 14. VISUALIZACIÓN DEL PROGRAMA CROPWAT 8.0.....	39
FIGURA 15. ACHICADOR Y BOMBA DE SUCCIÓN DE EMBOLO.....	49
FIGURA 16. KC DEL CULTIVO DE PEPINO.....	52
FIGURA 17. REQUERIMIENTO HIDRICO DL CULTIVO PEPINO (CUCUMIS SATIVUS L).....	53

INDICE DE ANEXOS.

ANEXO 1. ANALISIS DE SUELO.	58
ANEXO 2. CLASIFICACIÓN DEL CLIMA DE KOPPEN Y CLASIFICACION DE HOLDRIDGE.....	61
ANEXO 3. DATOS DE RIEGO Y DRENAJE REGISTRADOS EN EL LISÍMETRO NORTE.	62
ANEXO 4. DATOS DE RIEGO Y DRENAJE REGISTRADOS EN EL LISÍMETRO SUR.....	63
ANEXO 5. DATOS DE PRECIPITACIÓN DE LA ESTACIÓN DE MALACATOS.....	64
ANEXO 6. DATOS DE TEMPERATURA PROMEDIO, HUMEDAD, VELOCIDAD DEL VIENTO E INSOLACIÓN DE LA ESTACIÓN MALACATOS PARA EL CÁLCULO DE LA ETO.....	65
ANEXO 7. ETO CALCULADA POR EL PROGRAMA COMPUTACIONAL CROPWAT 8.0 DE LA FAO.....	66
ANEXO 8. DATOS PARA EL CÁLCULO DE LA ETC.....	67
ANEXO 9. DATOS PARA EL CÁLCULO DEL Kc.....	68
ANEXO 10. GRÁFICA DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA (ETo).	69
ANEXO 11. GRÁFICA DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO DE PEPINO (ETc).....	69
ANEXO 12. PRODUCCIÓN TOTAL DEL CULTIVO DE PEPINO EN TON/HA.	70
ANEXO 13. LONGITUD DEL FRUTO DE PEPINO POR PLANTA.	70
ANEXO 14. NUMERO DE FRUTOS DE PEPINO POR PLANTA.	70
ANEXO 15. CÁLCULO DEL IRREQ PROMEDIO POR ETAPA.....	71
ANEXO 16. PREPARACIÓN DEL SITIO PARA LA INVESTIGACIÓN.	72
ANEXO 17. LISÍMETROS CALIBRADOS.	72
ANEXO 18. SIEMBRA DEL CULTIVO DE PEPINO.	73
ANEXO 19. RIEGO DEL CULTIVO DE PEPINO.	73
ANEXO 20. FRUTO DEL CULTIVO.....	74

**DETERMINAR LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS DEL PEPINO
(Cucumis Sativus L), MEDIANTE EL LISÍMETRO VOLUMÉTRICO, EN EL
SECTOR LA TRINIDAD PERTENECIENTE AL SISTEMA DE RIEGO
CAMPANA MALACATOS.**

RESUMEN.

El objetivo del presente trabajo fue determinar los requerimientos hídricos del pepino (*Cucumis Sativus L*), mediante el lisímetro volumétrico, en el sector la Trinidad perteneciente al Sistema de Riego Campana Malacatos, cuya altura está comprendida entre 1400-1470 msnm.

El sistema de riego Campana–Malacatos se ubica en tres pisos altitudinales, donde el piso bajo y medio presentan un clima temperado con una temperatura media anual de 18°C y el piso alto con un clima sub templado con una temperatura media anual de 14°C.

Las etapas fenológicas consideradas fueron: germinación, crecimiento inicial, o fase inicial; (0-18 días), desarrollo del cultivo (19-49 días), mediados del periodo (50-73 días) y finales del periodo o cosecha (59-70 días); para un ciclo de cultivo de noventa y cinco días (95 días) desde la siembra hasta la última cosecha.

El área de siembra fue de 33,84 m², que contó con dos lisímetros de 1m² cada uno. El cultivo que se implanto en toda el área fue pepino de variedad marketmore76 con una densidad de siembra 0,35 x 0,60.

La evapotranspiración de referencia calculada por el método de Penman Monteith determino que el mayor valor de E_{T0} se presenta para la fase de desarrollo del periodo fenológico del cultivo de pepino de 5.21 mm/día. Mientras que el menor valor se presenta en la fase inicial de 4.41 mm/día.

Mientras que la evapotranspiración del cultivo de pepino se determinó que el mayor valor de E_{Tc} se presenta para la fase de desarrollo de 3.29 mm/día. Mientras que el menor valor se presenta en la fase inicial de 2.15 mm/día.

La estimación de las necesidades hídricas de los cultivos es una de las etapas obligadas en el diseño, construcción, instalación y operación de cualquier sistema de riego que se quiera implantar. Es por ello que los valores de coeficiente de cultivo del pepino cálculos para los periodos fenológicos del cultivo de pepino son: germinación, crecimiento inicial, o fase inicial 0.49, desarrollo del cultivo 0.63, mediados del periodo 0.64 y finales del periodo o cosecha 0.57.

Palabras clave: necesidades hídricas, etapas fenológicas, pepino, *Cucumis sativus L*.

ABSTRACT

The objective of the present study was to determine the water requirements of cucumber (*Cucumis Sativus L*), using volumetric lysimeters, belonging to the system of irrigation campaign Malacatos Trinity sector, whose height is between 1400-1470 msnm.

Campaign-Malacatos irrigation system is located at three altitudes, where the floor bass and medium have a climate tempered with an annual average temperature of 18 ° C and the upper floor with a temperate climate with an annual average temperature of 14 ° C.

The considered phenological stages were: germination and initial growth, initial phase; (0-18 days), development of the crop (19-49 days), mid (50-73 days) period and late period or harvest (59-70 days); for a cycle of cultivation of ninety-five (95 days) days from sowing up to the last harvest.

The planting area was 33,84 m², which featured two lysimeters 1m² each. The crop that I start in the whole area was cucumber variety marketmore76 with a stocking density of 0.35 x 0.60.

The reference evapotranspiration calculated by the method of Penman Monteith determined that the highest value of ETo arises for the phase of development of the cultivation of cucumber of 5.21 phenological period mm/day. While the lower value occurs in the initial phase of 4.41 mm/day.

While cucumber crop evapotranspiration was determined that the highest value etc arises for the development phase of 3.29 mm/day. While the lower value occurs in the initial phase of 2.15 mm/day.

The estimation of the water needs of crops is one of the stages required in the design, construction, installation and operation of any irrigation system that you want to deploy. Is why the values of coefficient of cucumber crop estimates for the phenological periods of cucumber cultivation are: germination, initial growth, or 0.49 initial phase, development of farming 0.63, mid period 0.64 and end of the period or harvest 0.57.

Key words: water needs, stages phenological, cucumber, *Cucumis sativus L*.

1. INTRODUCCIÓN

El agua, como elemento esencial para la vida, es un factor limitante en la producción de los cultivos. El nacimiento de la Agricultura de regadío se originó como simple práctica cultural asociada a los ciclos naturales de los ríos y hasta hoy se ha perfeccionado con el avance de la ciencia y la técnica hasta sistemas de riego modernos y eficientes, en las distintas condiciones de desarrollo, logrando la mayor productividad, económica y socialmente para aportar a la soberanía alimentaria del Ecuador, concretamente en la Provincia de Loja.

El agua para el riego es un recurso que cada día se limita tanto cuantitativa como cualitativamente debido al crecimiento acelerado de las demandas para uso doméstico e industrial, por lo que es necesario el uso más racional de la misma, la cual debe ser utilizada de manera más eficiente en los sistemas de riego. Un riego eficiente es aquel capaz de mantener la humedad del suelo dentro de límites apropiados, ello va a estar en dependencia de las características propias de los cultivos, las condiciones climáticas, el manejo y el medio de desarrollo, todo lo cual se expresa a través de la evapotranspiración.

La agricultura es el sistema de producción que mayor demanda de agua tiene a nivel global; siendo el riego la actividad que consume el 70% de este recurso a nivel mundial. Se estima que sólo el 20% de las tierras agrícolas del mundo se encuentran bajo riego, las cuales proporcionan el 40% de la producción agrícola general. Los requerimientos hídricos dependen de varios factores entre los más importantes están: el clima y el consumo hídrico según la especie y estado de desarrollo del cultivo, los cuales permiten mantener suficiente humedad en el sistema radicular en función de los factores climáticos, la fenología del cultivo y las características del suelo.

El coeficiente de cultivo (K_c) es un parámetro importante para el manejo, planificación y programación del riego teniendo en consideración el periodo de crecimiento de la planta, ya que la extracción del agua varía de un periodo a otro. El conocimiento del requerimiento apropiado de agua para los cultivos es indispensable para mejorar la eficiencia de los sistemas de riego, suministrando a la plantación la cantidad de agua necesaria para satisfacer sus necesidades; puesto que, un exceso de riego puede provocar entre otras cosas el lavado de fertilizantes, mientras que una aportación de agua inferior a las necesidades de consumo del cultivo, puede llegar a provocar

déficit hídrico; y por ello, una reducción de la producción. La misma debe reponerse periódicamente al suelo para no dañar el potencial productivo de la planta siendo el coeficiente de cultivo (k_c) un valor utilizado para calcular la cantidad de agua que se debe aplicar mediante los distintos sistemas de riego.

Ante lo expuesto, es significativo realizar estudios de determinación de coeficientes de cultivo (k_c), y adaptarlos a las distintas zonas de nuestro país, teniendo en consideración aspectos bajo los cuales se pretende producir (factores climáticos, suelos y tipo de cultivo).

En estas consideraciones en el marco del proyecto de investigación “Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) aplicados a la optimización del uso del agua en el sistema de riego Campana - Malacatos” que se ejecuta en la Universidad Nacional de Loja, el presente estudio pretende obtener los coeficientes K_c del cultivo de pepino, que con todos los parámetros propios de la zona de estudio, sean confiables y aplicables para solucionar los problemas de manejo eficiente del riego.

Mediante lo expuesto, esta investigación tiene el siguiente objetivo general:

- Contribuir en la determinación de parámetros técnicos sobre las necesidades hídricas del cultivo de pepino, con el propósito de mejorar la eficiencia del uso del agua, en el sector La Trinidad perteneciente al Sistema de Riego Campana Malacatos.

Los objetivos específicos fueron los siguientes:

- Determinar la evapotranspiración del cultivo de referencia (E_{To}), a través de la aplicación del método de Penman-Monteith.
- Determinar la evapotranspiración del cultivo de pepino (E_{Tc}), en sus diferentes fases fenológicas, utilizando el método directo del Lisímetro volumétrico.
- Determinar el coeficiente de cultivo (K_c) considerando la E_{To} calculada con el método de Penman-Monteith y la E_{Tc} , calculada con el método del lisímetro volumétrico, para las fases fenológicas del cultivo de pepino.

Es preciso enfatizar que este estudio, se dirigió a determinar las necesidades hídricas del cultivo de pepino, lo que permitirá generar nuevos conocimientos y tecnologías que serán de importancia al sistema de riego Campana-Malacatos y la provincia de Loja en la perspectiva de mejorar la productividad y la implementación de nuevas áreas de riego.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Los Requerimientos Hídricos de los Cultivos.

La cantidad de agua que necesitan las plantas es equivalente a la evaporación y la transpiración. En una parte dependerá del clima de la localidad, de la mezcla de especies, de su densidad y de las particularidades micro climáticas. (Hernández Palomo, 2014).

Se ha reportado un incremento de las demandas hídricas de los cultivos por efecto del cambio climático (Rodríguez et al., 2007) sin considerar el efecto de la temperatura en la duración del ciclo fenológico.

Los requerimientos hídricos de los cultivos dependen principalmente de la especie, variedad, etapa fenológica, fecha de siembra y condiciones ambientales del ciclo fenológico (Allen et al., 2006).

2.1.1. Influencia del clima en las necesidades de agua de los cultivos.

Un cultivo que crece en un clima cálido en donde predominan los cielos despejados, necesitará más agua por día que el mismo cultivo en una localidad cuyo clima es más frío y con cielos cubiertos por nubes. Por lo mencionado los factores climáticos que influyen en las necesidades de agua de un cultivo (o de la evapotranspiración) son; la luz solar, la temperatura, la humedad del aire y la velocidad del viento. Se deduce entonces que las necesidades de agua de un determinado cultivo dependerán del clima del lugar donde se haya sembrado. (Hernández Palomo, 2014).

2.1.2. Influencia del tipo de cultivo sobre sus necesidades de agua.

El tipo de cultivo influye sobre las necesidades de agua fundamentalmente de dos formas:

a) Las necesidades diarias de agua varían de un cultivo a otro en un estado de pleno desarrollo; por ejemplo un cultivo de maíz totalmente desarrollado consumirá más agua que un cultivo de cebolla también plenamente desarrollado.

b) La duración total del ciclo vegetativo varía de unos cultivos a otros, existen algunos con ciclo vital corto (90 a 100 días), los hay con ciclos entre 120 a 160 días; y otros como los

frutales que permanecen en el terreno durante años. Los datos sobre la duración del ciclo de los diversos cultivos en una zona determinada deben ser obtenidos localmente. (FAO, 1987).

2.1.3. Influencia del estado de desarrollo de un cultivo en sus necesidades de agua.

Cuando las plantas son todavía pequeñas la evaporación será comparativamente mayor que la transpiración; en tanto que cuando hayan alcanzado su máximo desarrollo ocurrirá lo contrario, es decir la transpiración será mayor que la evaporación.

En la siembra y en el estado inicial las necesidades de agua de un cultivo son aproximadamente del 50% de la demanda que se produce durante el estado medio, cuando el cultivo está totalmente desarrollado. En relación con el estado final, que coincide con el periodo durante el cual el cultivo madura y es cosechado.

Los cultivos cosechados en secos (maíz en grano, girasol, etc.), sus necesidades de agua durante la fase final son mínimas, alrededor del 25% del estado medio. (FAO, 1987).

2.1.4. Evapotranspiración de los cultivos.

La evapotranspiración de un cultivo es el agua que necesita para su crecimiento óptimo. Esta palabra, “evapotranspiración” representa la suma del agua necesaria para cubrir la evaporación que se produce desde la superficie del suelo y la transpiración que realizan las plantas desde sus partes verdes (sobre todo desde las hojas).

En el regadío, el estudio de la evapotranspiración sirve para:

- Determinar las necesidades de riego de los cultivos,
- Programar los riegos para alcanzar una eficiencia óptima,
- Diseñar sistemas de riego y embalses,
- Evaluar los costes de energía y mano de obra necesarios,

Los métodos de cálculo de las necesidades hídricas de los cultivos deben ser contrastados en las condiciones climáticas de cada zona regable. Normalmente se utiliza la metodología de la FAO (Organización para la Agricultura y la Alimentación de las Naciones Unidas) por su sencillez y sentido práctico. Además, estos métodos de cálculo han sido probados con éxito en distintas zonas y climas del mundo.

A partir de datos meteorológicos se calcula la “evapotranspiración de referencia”, que se corresponde con la evapotranspiración de un cultivo de pradera. Técnicamente, la evapotranspiración de referencia es la tasa de evapotranspiración de una superficie extensa de gramíneas verdes de 8 a 15 cm. de altura, uniforme, en crecimiento activo, sombreando totalmente el suelo y bien provista de agua.

Entre los métodos de cálculo de la evaporación se cuentan:

- El tanque evaporímetro de clase A.
- Los métodos que utilizan sólo datos de temperatura, como "Thornthwaite" y "Blaney-Criddle"
- Métodos que tienen en cuenta además de la temperatura la insolación, como el de "Makkink";
- Y finalmente, métodos que tienen en cuenta la temperatura, insolación, humedad del aire y el viento "Penman Monteith"

Independientemente del método utilizado para el cálculo de la evapotranspiración, es fundamental calibrar el método comparando estos valores con valores medidos de la evapotranspiración en condiciones locales.

La evapotranspiración de cada cultivo se puede calcular multiplicando la evapotranspiración de referencia por el coeficiente de cultivo. Estos coeficientes de cultivo también han sido desarrollados por la FAO, y dependen de las características del cultivo, del período vegetativo, del clima, de la fecha de siembra, de la duración del riego y de la frecuencia de lluvias.

Las necesidades netas de riego, se calculan restando de la evapotranspiración del cultivo la precipitación efectiva (la lluvia). La precipitación efectiva depende de la capacidad de retención del suelo y de la profundidad de las raíces. Es el agua que queda disponible para el cultivo tras una lluvia, ya que parte del agua se pierde en percolación profunda, escorrentía y evaporación. La precipitación efectiva depende de la frecuencia e intensidad de lluvia, de las características orográficas del terreno, del contenido de humedad previa del suelo y de las prácticas culturales.

Las necesidades brutas de riego se calculan dividiendo las necesidades netas por la eficiencia de aplicación. La eficiencia tiene en cuenta la uniformidad de distribución y el exceso de agua de riego a aportar para lavar las sales (Las necesidades de lavado dependen del tipo y calidad del suelo, calidad del agua de riego y del cultivo), las pérdidas por escorrentía, percolación y evaporación. La eficiencia de aplicación depende más del manejo que del sistema de riego. Estas necesidades totales de riego son superiores a las netas ya que deben compensarse las pérdidas antes reseñadas.

Según Castany (1971): “La evapotranspiración es la suma de las pérdidas por transformación del agua en vapor, sea cual sea el factor que ha actuado. Es evidente que este fenómeno es función esencialmente de la alimentación en agua, y por consiguiente del grado de humedad del suelo, el cual limita con frecuencia su acción. Así, pues, la evapotranspiración real, que aparece en las condiciones naturales de humedad del suelo, está estrechamente vinculada a éste. Por este motivo ha sido introducida la noción de evapotranspiración potencial, la cual representa la cantidad de agua que resultaría evaporada y transpirada si las reservas en agua fuesen suficientes para compensar las pérdidas máximas. A. Coutagne le ha dado el nombre de “evapotranspiración máxima hidrológica”. Cuando el contenido en agua del terreno es suficiente, la evapotranspiración real es igual a la evapotranspiración potencial. En caso de déficit es inferior, la cantidad de agua evapotranspirada se expresa en altura de agua en milímetros.”

2.1.4.1. Evapotranspiración de referencia (ET_o).

Concepto ampliamente desarrollada por Thornthwaite, que la define como la máxima evapotranspiración posible que se da en condiciones favorables cuando el suelo está provisto de agua, prácticamente dentro de su capacidad de campo y tapizado por una vegetación o cubierta vegetal densa, pareja y de poca altura.

Según Ávila y Melo (1983), citados por Cely, 2010, la evapotranspiración del cultivo de referencia refleja la verdadera necesidad de agua para los cultivos que deben desarrollarse en condiciones óptimas de humedad. El estudio del concepto de necesidad de agua es aquel que permite satisfacer normalmente los requerimientos hídricos del cultivo o el uso consultivo que es la cantidad de agua consumida en un área determinada por unidad de tiempo (Serrano, 1996, citado por Cely, 2010).

2.1.4.2. Coeficiente del Cultivo (K_c).

Según Allen, (2006), es un coeficiente que tiene en cuenta las características del cultivo y los efectos promedios de la evaporación en el suelo (FAO, 2006) y se describe las variaciones de la cantidad de agua que las plantas extraen del suelo a medida que se van desarrollando, desde la siembra hasta la recolección. El K_c está relacionado con las fases de crecimiento del cultivo y se define a través de la curva de k_c , (ver figura 1). La curva describe cuatro fases: inicial, desarrollo del cultivo, mediados de temporada o intermedia y final de temporada. La fase inicial va desde la siembra hasta que el cultivo alcanza un 10% de la cobertura del suelo. La fase de desarrollo, empieza cuando termina la etapa anterior y va hasta el crecimiento activo de la planta. La fase intermedia, va desde la floración hasta que el cultivo alcanza el 70-80% de cobertura máxima de cada cultivo. La fase final, va desde la madurez hasta la cosecha.

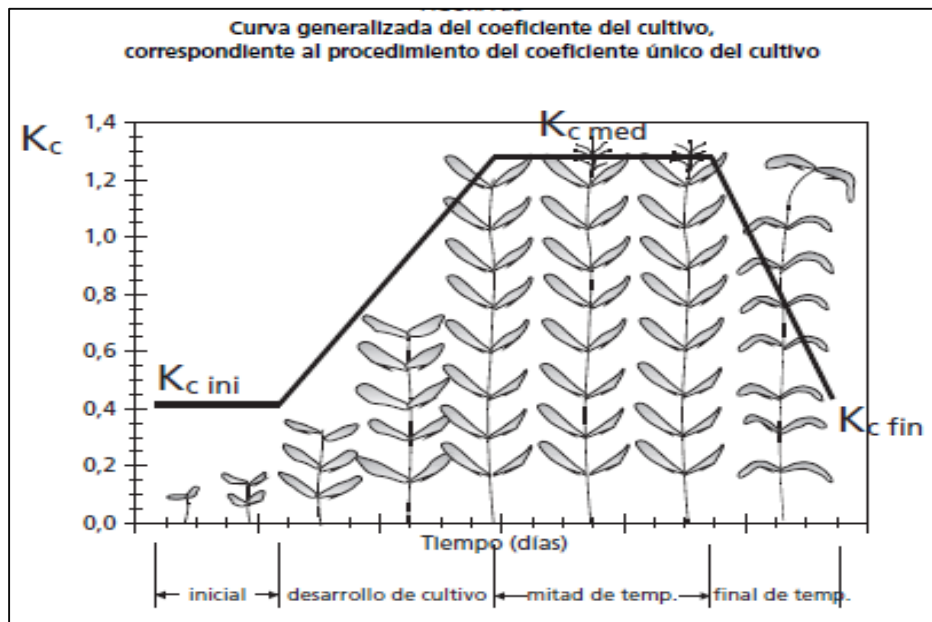


Figura 1. Curva generalizada del coeficiente del cultivo, correspondiente al procedimiento del coeficiente único del cultivo.

Fuente: FAO 56

El coeficiente de cultivo (K_c) describe las variaciones de la cantidad de agua que las plantas extraen del suelo a medida que se van desarrollando, desde la siembra hasta la recolección.

En los cultivos anuales normalmente se diferencian 4 etapas o fases de cultivo:

- **Inicial:** Germinación y crecimiento inicial, cuando la superficie del suelo está cubierta apenas o nada por el cultivo.
- **Desarrollo:** Final fase inicial hasta que se llega a una cubierta sombreada efectiva completa.
- **Media:** Desde que se obtiene la cubierta sombreada efectiva completa hasta el momento de iniciarse la maduración.
- **Maduración:** Desde final anterior hasta que se llega a la plena maduración o a la recolección.

El Kc, comienza siendo pequeño y aumenta a medida que la planta cubre más el suelo. Los valores máximos de Kc se alcanzan en la floración, se mantienen durante la fase media y finalmente decrece durante la fase de maduración. Lo mejor es disponer de valores de Kc para cada cultivo obtenidos en la zona y para distintas fechas de siembras, pero en ausencia de esta información se pueden usar valores orientativos.

Para los cultivos leñosos, permanentes, los coeficientes de cultivo suelen venir expresados por meses y usualmente en función del grado de cobertura del suelo (que indica el porcentaje de superficie de suelo que ocupa la masa arbórea).

En caso de que exista algún cultivo implantado entre las filas de los árboles, los coeficientes de cultivo aumentarían debido al consumo que tal cultivo implica. Ocurriría lo mismo si existieran malas hierbas.

2.1.4.2.1. Factores que determinan el coeficiente del cultivo (Kc).

Según Saavedra y Morales (1998): “Los factores que afectan los valores de Kc son principalmente: las características del cultivo, fecha de siembra, ritmo de desarrollo del cultivo, duración del período vegetativo, condiciones climáticas y la frecuencia de lluvia o riego, especialmente durante la primera fase de crecimiento. El coeficiente Kc de cada cultivo, tendrá una variación estacional en función de las fases de desarrollo del cultivo y que son las siguientes:

- **Fase Inicial (Fase 1):** Comprende el período de germinación y crecimiento inicial, cuando la superficie del suelo está cubierta apenas por el cultivo, es decir cuando la planta comienza la emergencia. Desde la siembra hasta el 10% de cobertura vegetal.

- **Fase de Crecimiento o Desarrollo del Cultivo (Fase 2):** Comprende desde el final de la Fase 1 hasta que se llega a una cubierta sombreada efectiva completa del orden del 70 al 80%.
- **Fase de Medios del Período o Maduración (Fase 3):** Compreendida desde que se obtiene la cubierta sombreada efectiva completa hasta el momento de iniciarse la maduración que se hace evidente por la decoloración o caída de hojas.
- **Fase Final del Período Vegetativo o Cosecha (Fase 4):** Comprende desde el final de la fase anterior hasta que se llega a la plena maduración o cosecha.”

El coeficiente de cultivo integra los efectos de las características que distinguen a un cultivo típico de campo, siendo como referencia el pasto, el cual posee una apariencia uniforme y cubre completamente la superficie del suelo.

2.1.4.2.2. Software “CROPWAT 8.0”

El CROPWAT 8.0 es el programa informático, utilizado para el cálculo de las necesidades hídricas de los cultivos, es el paso previo al cálculo hidráulico del riego. Consiste en calcular los turnos, caudales y tiempos de riego basándose en las necesidades de agua del cultivo que viene determinado por el tipo de suelo, clima y cultivo. Los datos climatológicos que requiere el programa son los siguientes: a) información básica de la estación meteorológica: nombre del país, nombre de la estación, altitud, latitud y longitud; y b) datos climáticos mensuales de: precipitación (p), temperatura máxima, mínima y media, humedad relativa, insolación (horas brillo sol) y velocidad del viento. González (1997).

2.1.4.2.3. Métodos directos para la determinación de la ETc.

Un lisímetro es un gran recipiente que encierra una determinada porción de suelo con superficie desnuda o con cubierta vegetal, ubicado en campo para representar condiciones naturales y que se utiliza para determinar la evapotranspiración de un cultivo en crecimiento, de una cubierta vegetal de referencia, o la evaporación de un suelo desnudo (Aboukhaled et al., 1986).

Al aislarse la zona del suelo en que se asientan las raíces de su entorno, tanto los flujos laterales como los de percolación o ascenso capilar son nulos. De esta forma los restantes términos del balance hídrico pueden ser determinados con precisión.

Tipos de lisímetros.

- **Lisímetro volumétrico o drenaje.**

La medida de la evapotranspiración es determinada por el balance hídrico de los dispositivos. Normalmente hay una balanza en el fondo del lisímetro donde se puede determinar la cantidad de agua que se va evapotranspirando en el sistema. Otro tipo de lisímetro utiliza en lugar de una balanza un sistema de drenaje del agua donde la cantidad drenada de la misma equivale exactamente a la cantidad de agua evapotranspirada que es igual a la capacidad de campo. (VEN TE CHOW, MAIDMENT y MAYS, 1994).

En el lisímetro de observación el coeficiente “ k_c ” se determinara con la siguiente formula:

$$Kc=ETR/ETP$$

Donde:

Kc: coeficiente de cultivo.

ETR: Evapotranspiración real.

ETP: Evapotranspiración potencial.

La percolación es considerada una fase importante del ciclo hidrológico que ocurre en las recarga de agua subterránea y en la descarga de agua hacia los cauces naturales. La simetría es una forma más simple, incluye la medida volumétrica de todas las aguas que entran a un recipiente conteniendo una masa aislada del suelo con una superficie desnuda o vegetal. Los flujos de entrada y salida de agua en un lisímetro, pueden ser representados mediante la siguiente ecuación del balance hídrico:

$$ETc=P+R-D$$

Donde:

ETc= Evapotranspiración del cultivo, mm/día.

P= Precipitación, mm/día.

R= Riego, mm.

D= Drenaje, mm.

La precipitación (P) y la irrigación (R) pueden ser medidas mediante pluviómetros y métodos volumétricos convencionales. Para drenar y medir el agua que se percola a través de la masa de suelo (D), se utiliza una cámara de drenaje y un recipiente de volumen conocido. (ARMPFIELD, 2011).

- **Lisímetro de succión HI 83900**

El lisímetro de succión HI 83900 está construido con una tapa cerámica porosa conectada a un tubo transparente para la extracción de solución de suelo. Lleva insertado un capilar de goma que pasa a través de una tapa de goma y llega a la punta cerámica. El lisímetro es una herramienta ideal para recoger muestras de solución de suelo y realizar a continuación análisis químicos cuantitativos. De este modo el operario puede controlar fácilmente el nivel de nutrientes, tales como amoníaco, nitrato, fósforo y potasio, sulfato, calcio, magnesio. La punta cerámica del lisímetro puede ser utilizado en todos los tipos de suelo, y está fabricada de materia sinterizado que no reacciona con los elementos nutrientes. La solución de suelo, por consiguiente, no se ve afectada por la composición química de la tapa cerámica, y los resultados de los tests son siempre precisos y fiables. Normalmente, se debería aplicar un vacío de aproximadamente -60 cb. Para una mejor monitorización de la composición de la solución de suelo a través de todo el período de crecimiento de las cosechas, se deberían instalar por lo menos 2 lisímetros en la zona radicular de una planta representativa, uno en la parte superior y otro en la parte inferior de la zona radicular. (HANNA, 1998).

- **Lisímetros de tubos de succión de 30, 60 y 90 cm.**

Según InfoAgro, (2012) la sonda de extracción de agua, también conocido como lisímetro de succión es una sonda para la extracción de muestras de la solución del suelo para su posterior análisis comparativo. Ayudan a determinar cuándo y cuánto fertilizante aplicar al suelo. El lisímetro está construido con un extremo de cerámica porosa y tubo transparente para la extracción de solución de suelo. Es una herramienta necesaria para recoger muestras de solución de suelo y realizar a continuación análisis químicos de NKP y otros nutrientes, la punta cerámica del lisímetro permite que pueda ser en todos los tipos de suelo. Para que este proceso se lleve a cabo, debe de hacerse el vacío al lisímetro previamente. Para poder alcanzar -80 cb de presión, se requiere la utilización de un equipo de vacío.

Se recomienda instalar por lo menos 2 lisímetros en la zona radicular de una planta representativa, uno en la parte superior y otro en la parte inferior de la zona radicular para que la muestra sea lo más significativa. Se recomienda, de igual modo, repetir la instalación en dos emplazamientos más por lo menos. Los tubos de extracción de soluciones o lisímetros de succión son utilizados habitualmente para extraer muestras de agua del suelo a varias profundidades en la zona de la raíz de los cultivos.

- **Lisímetro de pesada.**

Los lisímetros de pesaje consisten en tanques plásticos, reforzados externamente con una estructura metálica en forma de jaula que los envuelve, estos son instalados en el campo, llenados de suelo y cultivados, con manejo normal del cultivo. Dentro del lisímetro van colocados sensores de humedad y de tensión. El tanque reposa sobre una plataforma rígida, la cual a su vez es soportada por cuatro celdas de carga, en la base va instalado un sistema de drenaje con un contador. Los datos tanto de las celdas de carga como de los medidores de humedad, tensión y del contador, se registran de manera continua en un registrador de datos y se transmiten mediante un sistema de red inalámbrica hasta un computador central, de tal manera que el investigador puede verificar de manera continua la información.

2.1.4.2.4. Métodos empíricos para la determinación del ETo.

- Thornthwaite.
- Blaney-Criddle.
- Grassi-Christensen.
- Penman-Monteith.
- Tanque de Evaporación Tipo “A”.

Para calcular el uso consultivo existen varios métodos ellos se basan en datos climatológicos de la zona como: temperatura, precipitación, horas luz, evaporación, velocidad del viento y nubosidad.

El método de Blaney y Criddle ha sido determinado y experimentado en zonas áridas y subáridas. Este método se toma en cuenta el tipo de cultivo y por ende, se tiene valores propios del coeficiente k_c proporcionando buenas aproximaciones para climas secos.

La fórmula de Thornthwaite aplicada a zonas áridas y semiáridas ha dado resultados algo bajos en lo referente a la evapotranspiración potencial.

Cuando se dispone de toda la información meteorológica, incluido lo referente a la radiación, se aconseja utilizar la fórmula de Penman, que se considera más o menos precisa por los especialistas de todas las latitudes.

Chávarri, (2004) manifiesta la ecuación de Penman, modificado por la FAO, estima el uso consultivo del cultivo de referencia (pato o grama) y predice la ETo, no solamente en las regiones frías y humedad, sino también en las zonas calientes y áridas.

2.1.5. Requerimiento hídrico del cultivo (IRReq).

El cálculo del requerimiento de riego de los cultivos resulta de aplicar la expresión:

$$IRReq=(Etc-Peff)$$

Dónde:

IRReq= Requerimientos de riego (mm/mes)

Etc= Evapotranspiración del cultivo (mm)

Peff= Precipitación efectiva (mm)

En la zona de estudio los requerimientos hídricos de los cultivos no han sido determinados experimentalmente, por lo que se requiere estimarlos mediante el concepto de evapotranspiración potencial o de referencia. Al respecto existen varios métodos empíricos. Uno de los más completos, que considera el balance de energía, es el propuesto por Penman modificado por Doorenbos y Pruitt (1977); pero al observar que en ciertas condiciones sobrestimaba la evapotranspiración, la FAO (1995) propuso el método de Penman-Monteith como herramienta para estimar la evapotranspiración de los cultivos en zonas en las que se dispone de datos sobre temperatura, humedad relativa, velocidad del viento y las horas de fuerte insolación o nubosidad (Aguilar et al., 1995).

Además, existen varios programas de cómputo que sirven para determinar las demandas hídricas de los cultivos a través del método de Penman-Monteith. Uno de los más

utilizados y recomendados por la FAO es el CROPWAT, útil para la planificación y el manejo de sistemas de riego (FAO, 1995).

2.2. Cultivo de pepino.

2.2.1. Origen.

El pepino es originario de las regiones tropicales del sur de Asia, siendo cultivado en la India desde hace más de 3.000 años. A Norteamérica el cultivo llegó en el siglo XVI con los viajes de Cristóbal Colón, quien cargaba semillas de la hortaliza dentro de sus provisiones. Posteriormente se extendió por el resto del continente conforme los españoles se adentraron en América. Para 1872 se tuvo conocimiento del primer híbrido existente. (Infoagro. 2010)

2.2.2. Clasificación taxonómica.

- **Reino:** Vegetal.
- **Orden:** Cucurbitales.
- **Familia:** Cucurbitaceae.
- **Género:** Cucumis
- **Especie:** sativus L.
- **Nombre científico:** Cucumis sativus L.

2.2.3. Descripción botánica.

2.2.3.1. Raíz.

El sistema radicular es muy potente, dada la gran productividad de esta planta y consta de raíz principal, que se ramifica rápidamente para dar raíces secundarias superficiales muy finas, alargadas y de color blanco. El pepino posee la facultad de emitir raíces adventicias por encima del cuello. (Infoagro. 2010)

2.2.3.2. Tallo.

El tallo principal es anguloso y espinoso; rastrero y trepador. Llega hasta una longitud de 2.5 m. De cada nudo parte una hoja y un zarcillo que sirve como medio de fijación. En la axila de cada hoja se emite un brote lateral de una o varias flores. (Infoagro. 2010)

2.2.3.3. Hojas.

De largo pecíolo, gran limbo acorazonado, con tres lóbulos más o menos pronunciados (el central más acentuado y generalmente acabado en punta), de color verde oscuro y recubierto de un vello muy fino. (Infoagro. 2010)

2.2.3.4. Flor.

Es una planta monoica, dos sexos en la misma planta, de polinización cruzada. Algunas variedades presentan flores hermafroditas. Las flores se sitúan en las axilas de las hojas en racimos y sus pétalos son de color amarillo. Estos tres tipos de flores ocurren en diferentes proporciones, dependiendo del cultivar. Al inicio de la floración, normalmente se presentan sólo flores masculinas; a continuación, en la parte media de la planta están en igual proporción, flores masculinas y femeninas y en la parte superior de la planta existen predominantemente flores femeninas. En líneas generales, los días cortos, temperaturas bajas y suficiente agua, inducen la formación de mayor número de flores femeninas y los días largos, sequía, llevan a la formación de flores masculinas. (Infoagro. 2010)

2.2.3.5. Fruto.

Pepónide áspero o liso, dependiendo de la variedad, que va desde un color verde claro, pasando por un verde oscuro hasta alcanzar un color amarillento cuando está totalmente maduro, aunque su recolección se realiza antes de su madurez fisiológica. La pulpa es acuosa, de color blanquecino, con semillas en su interior repartidas a lo largo del fruto. Dichas semillas se presentan en cantidad variable y son ovales, algo aplastadas y de color blanco-amarillento. (Infoagro. 2010)

2.2.3.6. Semilla.

Se caracterizan por ser ovaladas, deprimidas, de color blanco amarillento o blanco sucio y con un peso absoluto que puede variar de 16-30 gr. El poder germinativo de las semillas se conserva por 4-5 años o más, en condiciones de temperatura ambiental. Para la siembra se prefiere semillas con 2-3 años de almacenamiento, ya que esto ha mostrado una tendencia a aumentar el número de flores femeninas. (Infoagro. 2010).

2.2.4. Etapas de desarrollo en la planta de pepino.

Cuadro 1.Fases fenológicas.

FASES FENOLOGICA	DIAS DESPUES DE SIEMBRA
Fase inicial	15
Fase de desarrollo	30
Fase de mediados de periodo	35
Fase de finales del periodo	15

Fuente. FAO 56

2.2.5. Labores culturales.

2.2.5.1. Siembra.

El éxito del establecimiento del cultivo está determinado por la calidad de la semilla, condiciones del suelo y la propia labor de siembra. Al momento de la siembra, el suelo debe estar bien mullido, con suficiente humedad y lo suficientemente firme para que la semilla quede en estrecho contacto con la tierra húmeda. La semilla debe colocarse a una profundidad no mayor de un centímetro. (Infoagro. 20107)

La ubicación de la línea de siembra sobre el camellón o la cama dependerá del sistema de riego, de la infiltración lateral y del ancho de las camas mismas. Si se está regando por goteo, la línea de siembra deberá estar cercana a la línea de riego para que el bulbo de mojado abastezca las necesidades hídricas de las plantas; si el sistema de riego es por surco, la ubicación de las líneas de siembra dependerán del ancho de las camas y de la capacidad de infiltración lateral del suelo. Generalmente se pretende que éstas queden en el centro de la cama, sin embargo, si no se pudiesen satisfacer así las necesidades hídricas de las plantas, especialmente en sus primeros estados, la línea de siembra debe desplazarse hasta un costado del surco o la cama. (Infoagro. 2010)

2.2.5.2. Densidad de siembra.

Distanciamiento de siembra en pepino los distanciamientos de siembra varían de acuerdo al sistema de siembra utilizado, al cultivar, textura del suelo, sistema de riego, ambiente,

prácticas culturales locales y época. Una buena recomendación deberá estar basada en experimentación local y desarrollarse para cada caso en particular.

Los distanciamientos entre hileras pueden variar entre 0.80 metros y 1.50 metros; por lo que el distanciamiento entre postura y/o plantas oscilan entre 0.15 m y 0.50 metros. La generalidad de agricultores siembras dos semillas por postura. La densidad de población dependerá entonces de los distanciamientos utilizados. (Infoagro. 2010)

2.2.5.3. Fertilización.

Cumplido el trasplante a los 15 días de las plántulas de pepino se procedió a la primera fertilización. En el presente cuadro se ve las fases y el número de Kg. Que lleva cada producto. Su aplicación se la efectuaba 3 veces por semana. (Infoagro. 2010).

PLAN DE FERTILIZACIÓN DE PEPINO				1300 plantas
Fase	Semana	Producto	Kg /semana	
Fase 1 0 a 14 días (después del trasplante)	1	FertiDon Inicio (18 - 20 - 20)	3.68	
	2	FertiDon Inicio (18 - 20 - 20)	3.68	
Fase 2 14 a 35 días	3	FertiDon Producción (14 - 7- 36 + 2 MgO)	13.81	
	4	FertiDon Inicio (18 - 20 - 20)	4.6	
Fase 3 35 días a Fin de cosecha	5	Nitrato de Calcio	7.1	
	6	FertiDon Producción (14 - 7- 36 + 2 MgO)	15.19	
	7	Nitrato de Calcio	10.63	
	8	FertiDon Producción (14 - 7- 36 + 2 MgO)	15.19	
	9	Nitrato de Calcio	10.63	
	10	FertiDon Producción (14 - 7- 36 + 2 MgO)	15.19	
			TOTAL	99.69

Figura 2. Plan de fertilización

Fuente: Infoagro 2010.

2.2.5.4. Control de malezas.

Las malezas se las controló a tiempo, ya que el pepino no soporta la competencia de las mismas. Para nuestro caso se realizó un control manual. Las malezas de mayor incidencia fueron Cyperus spp (coquito), la gramínea Eleusine indica (Pata de gallina) y hoja ancha Amaranthus sp. (Bledo). (Infoagro. 2010)

2.2.5.5. Riego

El pepino es una planta que necesita una buena disponibilidad de agua para conseguir altas producciones, en especial en el período de fructificación. La ubicación de la línea de siembra sobre el terreno dependió del sistema de riego, la cual fue por goteo, en que dicha línea estuvo cerca a las mangueras, cuyos goteros estaban a una distancia de 0.30 m cada uno para que el bulbo de mojado pueda abastecer las necesidades hídricas de las plantas. (Infoagro. 2010)

2.2.5.6. Control de plagas

Es recomendable realizar aplicaciones de pesticidas en presencia de la plaga y cuando ésta se encuentre en niveles que puedan causar daño económico (umbral de acción), tomando en cuenta las precauciones para no intoxicarse. (Infoagro. 2010)

Para tratar de racionalizar el uso de los plaguicidas por parte de los pequeños agricultores de pepino y otras leguminosas, que son la mayoría, se recomiendan los productos menos tóxicos y económicamente costeados. En el caso de algunos productos citados en esta publicación, la Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda evitar el uso por el daño que pueden ocasionar a la salud; sin embargo, mientras no exista en el mercado productos más amigables con el ambiente, la salud y de bajo costo, se seguirán empleando y recomendando los menos peligrosos. La aplicación siempre debe realizarse con criterio técnico, es decir no aplicar por calendario, por costumbre o “por si acaso” y tomando las medidas adecuadas de protección. (Rosas, J.C. 2003).

Sería ideal recomendar solamente productos biológicos, botánicos, etc., pero lamentablemente no se encuentran disponibles en el mercado; o si existen son muy caros para este tipo de cultivos. (Infoagro. 2010)

2.2.5.7. Control de enfermedades.

2.2.5.7.1. Oidiopsis (*Leveillula taurica* (Lev.) Arnaud).

Es un parásito de desarrollo semi-interno y los conidióforos salen al exterior a través de las estomas. Los síntomas que aparecen son manchas amarillas en el haz que se necrosan por el centro, observándose un fieltro blanquecino por el envés. En caso de fuerte ataque la hoja se seca

y se desprende. Las solanáceas silvestres actúan como fuente de inóculo. Se desarrolla a 10-35°C con un óptimo de 26°C y una humedad relativa del 70%.

- **Control preventivo y técnicas culturales**

- Eliminación de malas hierbas y restos de cultivo.

- Utilización de plántulas sanas.

2.2.5.7.2. “Ceniza” u oídio de las cucurbitáceas (*Sphaerotheca fuliginea* (schelecht) pollacci. Ascomycetes: Erysiphales).

Los síntomas que se observan son manchas pulverulentas de color blanco en la superficie de las hojas (haz y envés) que van cubriendo todo el aparato vegetativo llegando a invadir la hoja entera, también afecta a tallos y pecíolos e incluso frutos en ataques muy fuertes. Las hojas y tallos atacados se vuelven de color amarillento y se secan. Las malas hierbas y otros cultivos de cucurbitáceas, así como restos de cultivos serían las fuentes de inóculo y el viento es el encargado de transportar las esporas y dispersar la enfermedad. Las temperaturas se sitúan en un margen de 10-35°C, con el óptimo alrededor de 26°C. La humedad relativa óptima es del 70%.

- **Control preventivo y técnicas culturales**

- Eliminación de malas hierbas y restos de cultivo.

- Utilización de plántulas sanas.

- Realizar tratamientos a las estructuras.

2.2.5.7.3. Podredumbre gris (*Botryotinia fuckeliana* (de Bary) Whetrel. Ascomycetes: Helotiales. Anamorfo: *Botrytis cinerea* Pers.).

Parásito que ataca a un amplio número de especies vegetales, afectando a todos los cultivos hortícolas protegidos, pudiéndose comportar como parásito y saprofito. En plántulas produce damping-off. En hojas y flores se producen lesiones pardas. En frutos tiene lugar una podredumbre blanda (más o menos acuosa, según el tejido), en los que se observa el micelio gris del hongo.

Las principales fuentes de inóculo las constituyen las conidias y los restos vegetales que son dispersados por el viento, salpicaduras de lluvia, gotas de condensación en plástico y agua de riego. La temperatura, la humedad relativa y fenología influyen en la enfermedad de forma separada o conjunta. La humedad relativa óptima oscila alrededor del 95% y la temperatura entre 17°C y 23°C. Los pétalos infectados y desprendidos actúan dispersando el hongo.

- **Control preventivo y técnicas culturales**

- Eliminación de malas hierbas, restos de cultivo y plantas infectadas.
- Tener especial cuidado en la poda, realizando cortes limpios a ras del tallo.
- Controlar los niveles de nitrógeno.
- Utilizar cubiertas plásticas en el invernadero que absorban la luz ultravioleta.
- Emplear marcos de plantación adecuados que permitan la aireación.
- Manejo adecuado de la ventilación y el riego.

2.2.5.7.4. Podredumbre blanca (*Sclerotinia sclerotiorum* (Lib) de Bary. Ascomycetes: Helotiales. Anamorfo: no se conoce.).

Hongo polífago que ataca a la mayoría de las especies hortícolas. En plántulas produce damping-off. En planta produce una podredumbre blanda (no desprende mal olor) acuosa al principio que posteriormente se seca más o menos según la succulencia de los tejidos afectados, cubriéndose de un abundante micelio algodonoso blanco, observándose la presencia de numerosos esclerocios, blancos al principio y negros más tarde. Los ataques al tallo con frecuencia colapsan la planta, que muere con rapidez, observándose los esclerocios en el interior del tallo. La enfermedad comienza a partir de esclerocios del suelo procedentes de infecciones anteriores, que germinan en condiciones de humedad relativa alta y temperaturas suaves, produciendo un número variable de apotecios. El apotecio cuando está maduro descarga numerosas esporas, que afectan sobre todo a los pétalos. Cuando caen sobre tallos, ramas u hojas producen la infección secundaria.

- **Control preventivo y técnicas culturales**

- Eliminación de malas hierbas, restos de cultivo y plantas infectadas.

- Utilizar cubiertas plásticas en el invernadero que absorban la luz ultravioleta.
- Emplear marcos de plantación adecuados que permitan la aireación.
- Manejo adecuado de la ventilación y el riego.
- Solarización.

2.2.5.7.5. Chancro gomoso del tallo (*Didymella bryoniae* (Auersw) Rem. Ascomycetes: Dothideales).

En plántulas afecta principalmente a los cotiledones en los que produce unas manchas parduscas redondeadas, en las que se observan puntitos negros y marrones distribuidos en forma de anillos concéntricos. El cotiledón termina por secarse, produciendo lesiones en la zona de la inserción de éste con el tallo.

Los síntomas más frecuentes en melón, sandía y pepino son los de “chancro gomoso del tallo” que se caracterizan por una lesión beige en tallo, recubierta de picnidios y/o peritecas, y con frecuencia se producen exudaciones gomosas cercanas a la lesión. En la parte aérea provoca la marchitez y muerte de la planta. Con frecuencia el interior de esta mancha se rompe, quedando perforada.

En cultivos de pepino y calabacín se producen ataques al fruto, que se caracterizan por estrangulamiento de la zona de la cicatriz estilar, que se recubre de picnidios. Puede transmitirse por semillas. Los restos de cosecha son una fuente primaria de infección y las esporas pueden sobrevivir en el suelo o en los tallos y en la estructura de los invernaderos, siendo frecuentes los puntos de infección en las heridas de podas e injertos. La temperatura de desarrollo de la enfermedad es de 23-25°C, favorecido con humedades relativas elevadas, así como exceso de abono nitrogenado. Las altas intensidades lumínicas la disminuyen.

- **Control preventivo y técnicas culturales**

- Utilizar semilla sana.
- Eliminar restos de cultivo tanto alrededor como en el interior de los invernaderos.
- Desinfección de las estructuras del invernadero.

- Control de la ventilación para disminuir la humedad relativa.
- Evitar exceso de humedad en suelo. Retirar goteros del pie de la planta.
- Deben sacarse del invernadero los frutos infectados y los restos de poda.
- Realizar la poda correctamente.

2.2.5.8. Cosecha.

La cosecha del pepino se hace manual entre los 40 a 55 días después de la siembra (antes que las semillas completen su crecimiento y se endurezcan) sujeto a las condiciones climatológicas. (Infoagro. 2010)

En este cultivo los frutos se cosechan en estado inmaduro aunque próximo a su tamaño final por lo que es sumamente importante que el cosechador esté entrenado para reconocer las características exigidas por el mercado al cual está destinada la producción. El personal de cosecha debe tener las uñas cortas para evitar arañones en los frutos. (Infoagro. 2010)

La cosecha se realiza en forma manual cortando el fruto sin dañar el pedúnculo pues esto causa heridas y deshidratación rápida de la fruta. Los cortes se realizan día de por medio (lo ideal es a diario) colocando los frutos en canastas plásticas con cuidado de no dañarlos. Una vez en las canastas la fruta debe ser protegida del sol y el viento. Las canastas son transportadas a la empacadora en camiones o carretas para continuar el proceso de clasificación y empaclado. (Infoagro. 2010)

La calidad de fruto la marcan los siguientes aspectos:

- El tamaño.
- El color típico de la variedad.
- La semilla de la pulpa que debe ser tierna.
- Pulpa y piel bien hidratada, no esponjosa (denota planta con problemas vasculares).
- Sin estrías.
- Sin barriga pálida o amarilla.
- Sin heridas ni zonas dañadas por plagas o enfermedades.

De todos los aspectos anteriores el más importante es el de la semilla en la pulpa, pues el tamaño del fruto puede variar a lo largo del cultivo. (Infoagro. 2010)

En general el fruto debe ser joven (10 días más o menos). Si es viejo, la semilla estará endurecida, el color de la piel se aclarará y amarillará por el ápice. (Infoagro. 2010)

El número de días hasta la cosecha varía con la temperatura, dificultando la estimación de la fecha de cosecha, sin embargo, la variación en la acumulación de GDD y número de días a la cosecha, podría deberse al genotipo, dado que cada híbrido o variedad puede responder de manera diferente a las condiciones ambientales. (Infoagro. 2010)

Para consumo fresco o para encurtido, el período de cosecha se extiende a un mes o más. El fruto para ser cosechado deberá alcanzar el color verde deseado y el tamaño y formas característicos del cultivar. En el caso del pepino para consumo fresco, los diferentes cultivares alcanzan varios tamaños cuando han llegado a la madurez comercial. (Infoagro. 2010)

El rango fluctúa entre 20 y 30 cm. de largo y 3 a 6 cm. de diámetro. El color del fruto depende del cultivar sembrado, sin embargo, debe ser verde oscuro o verde, sin signos de amarillamiento. Los días a cosecha varían de 45 a 60 días, dependiendo del cultivar y las condiciones ambientales. Los frutos se cosechan en un estado inmaduro, próximos a su tamaño final, pero antes de que las semillas completen su crecimiento y se endurezcan. (Infoagro. 2010)

En lo referente al pepino de encurtir, los frutos son más cortos y su relación largo diámetro debe ser entre 2.9 a 3.1. Su color debe alcanzar una tonalidad verde claro. (Infoagro. 2010)

Durante la labor de cosecha, los frutos son separados de la planta con sumo cuidado a fin de prolongar la vida del fruto. Una vez cosechado se debe limpiar y embalar para su comercialización. En algunos casos, y cuando el mercado lo permite, los frutos son encerados con la finalidad de mejorar apariencia y prolongar su vida útil, ya que la cera, reduce la pérdida de agua por evaporación. (Infoagro. 2010)

La cosecha se debe de realizar cortando el fruto con tijeras de podar en lugar de arrancarlo. El tallo jalado es el efecto que se clasifica por grados de calidad. (Infoagro. 2010)

El pepino para mercado fresco es cosechados a mano cada dos o tres días para reducir los niveles de sobre tamaño en la planta; debe empezar cuando las frutas tienen de 6 a 8 pulgadas de longitud y 1.5 a 2 pulgadas de diámetro.

Los rendimientos medios conseguidos en este cultivo oscilan de esta forma:

- Aire libre y regadío..... 25.000-30.000 kg/ha.
- Cultivo protegido..... 75.000-85.000 kg/ha.
- Pepino tipo “Almería” o tipo “holandés” entre 80.000-100.000 kg/ha.
- Pepino corto o francés: cultivo de otoño o primavera entre 50.000 y 70.000 kg/ha

Sin embargo, es fácil obtener producciones superiores a los 10/15 kg/m², y en ocasiones rendimientos superiores en cultivos de primavera. (Infoagro. 2010)

2.2.5.9. Comercialización.

Este cultivo después de cosechado, debe ser seleccionado de acuerdo con las normas de calidad, empacado en el campo, en la planta o en el centro de acopio; en una gran variedad de sistemas de embalaje son usados: canastas, cajones de madera o cartón, etc, lo más importante en el embalaje y en la selección del tipo de envase, es el arreglo que permite ser colocado en tal forma que minimice su movimiento dentro del envase. (Infoagro. 2010)

2.2.6. Requerimiento del cultivo de pepino.

El manejo racional de los factores climáticos de forma conjunta es fundamental para el funcionamiento adecuado del cultivo, ya que todos se encuentran estrechamente relacionados y la actuación de uno de estos incide sobre el resto. (FAO 56).

2.2.6.1. Temperatura.

Es menos exigente en calor que el melón, pero más que el calabacín. (FAO 56). Las temperaturas que durante el día oscilen entre 20°C y 30°C apenas tienen incidencia sobre la producción, aunque a mayor temperatura durante el día, hasta 25°C, mayor es la producción precoz.

Cuadro 2. Temperatura del cultivo de pepino.

Etapa de desarrollo	Temperatura (°C)	
	Diurna	Nocturna
Germinación	27	27
Formación de planta	21	19
Desarrollo del fruto	19	16

Fuente. FAO 56

El cuadro 2 describe que por encima de los 30°C se observan desequilibrios en las plantas que afectan directamente a los procesos de fotosíntesis y respiración; a temperaturas nocturnas iguales o inferiores a 17°C ocasionan malformaciones en hojas y frutos. El umbral mínimo crítico nocturno es de 12°C y a 1°C se produce la helada de la planta. El empleo de dobles cubiertas en invernaderos tipo parral supone un sistema útil para aumentar la temperatura y la producción del pepino. (FAO 56).

2.2.6.2. Humedad.

Es una planta con elevados requerimientos de humedad, debido a su gran superficie foliar, siendo la humedad relativa óptima durante el día del 60-70% y durante la noche del 70-90%. Sin embargo, los excesos de humedad durante el día pueden reducir la producción, al disminuir la transpiración y en consecuencia la fotosíntesis, aunque esta situación no es frecuente.

Para humedades superiores al 90% y con atmósfera saturada de vapor de agua, las condensaciones sobre el cultivo o el goteo procedente de la cubierta, pueden originar enfermedades fúngicas. Además un cultivo mojado por la mañana empieza a trabajar más tarde, ya que la primera energía disponible deberá cederla a las hojas para poder evaporar el agua de su superficie. (FAO 56)

2.2.6.3. Luminosidad.

Planta que crece, florece y fructifica con normalidad incluso en días cortos (con menos de 12 horas de luz), aunque también soporta elevadas intensidades luminosas y a mayor cantidad de radiación solar, mayor es la producción. (FAO 56)

2.2.6.4. Suelo.

Puede cultivarse en cualquier tipo de suelo de estructura suelta, bien drenado y con suficiente materia orgánica. Es una planta medianamente tolerante a la salinidad (algo menos que el melón), de forma que si la concentración de sales en el suelo es demasiado elevada las plantas absorben con dificultad el agua de riego, el crecimiento es más lento, el tallo se debilita, las hojas son más pequeñas y de color oscuro y los frutos obtenidos serán torcidos. Si la concentración de sales es demasiado baja el resultado se invertirá, dando plantas más frondosas, que presentan mayor sensibilidad a diversas enfermedades. El pH óptimo oscila entre 5,5 y 7. (FAO 56)

2.3. Estudios de requerimientos de agua de cultivos.

Paute y Guaya, (1996) realizaron un estudio del consumo de agua en los cultivos de frejol (*Phaseolus vulgaris* L.) y sandía (*Citrollus vulgaris*), bajo riego por surcos, con varios niveles de fertilización, en Zapotepamba; donde el consumo de agua (ETR) para el cultivo de frejol en los meses de Junio-Agosto, determinado por el método de la parcela experimental, registraron la evapotranspiración potencial máxima (ETPM) determinada por el método del lisímetro, registro un promedio de 3.77 mm/día para el cultivo de fréjol”.

Según la FAO, 2006 en su publicación N° 56 de riego y drenaje en su capítulo 6 de coeficiente único del cultivo, propone los respectivos valores de Kc del cultivo de pimiento para las distintas etapas fenológicas: 0,4: 0,75: 0,9: 0,7.

Romero y Rodriguez, (2009) realizaron estimación de las necesidades hídricas del cultivo de pepino (*cucumis sativus* l.), durante las diferentes etapas fenológicas, donde registraron un promedio de ETc de 3.24 mm/ día para el cultivo de pepino.

3. MATERIALES Y METODOS

3.1. Descripción del área de estudio.

3.1.1. Ubicación del Sistema de Riego Campana-Malacatos.

El trabajo de investigación se realizó en el área regable del sistema de riego “Campana-Malacatos” , con una extensión de 748 ha ubicado en la parroquia Malacatos, perteneciente al cantón Loja, provincia de Loja.

El Sistema de Riego Campana-Malacatos abastece a 1008 beneficiarios, de los cuales el 70% aproximadamente viven en la zona de influencia; el área regable es de 748 ha y están distribuidas en tres zonas:

Zona I: zona de influencia, Santa Gertrudis, El Porvenir, Nangora, Chorrillos.

Zona II: El Carmen, El Sauce, San José Bajo.

Zona III: San Francisco, La Trinidad, El Pedregal y La Granja.

La cuenca de captación se halla ubicada geográficamente en las coordenadas:

Coordenada Norte:	9 534 500 m – 9 537 000 m
Coordenada Este:	693 000 m – 698 000 m
Altitud parte baja:	1 760 m.s.n.m.
Altitud parte alta:	3 657 m.s.n.m.

La zona de riego abarca los sectores de El Sauce, Belén, El Carmen, La Granja, Piedra Grande, San Francisco y Palenque, ubicada geográficamente en las coordenadas:

Coordenada Norte:	9 536 000 m – 9 541 000 m
Coordenada Este:	695 000 m – 710 000 m
Altitud parte baja:	1 516 m.s.n.m.
Altitud parte alta:	1 718 m.s.n.m.

Las dos ubicaciones geográficas se encuentran en la proyección UTM WGS 84 correspondiente a la zona 17 Sur.

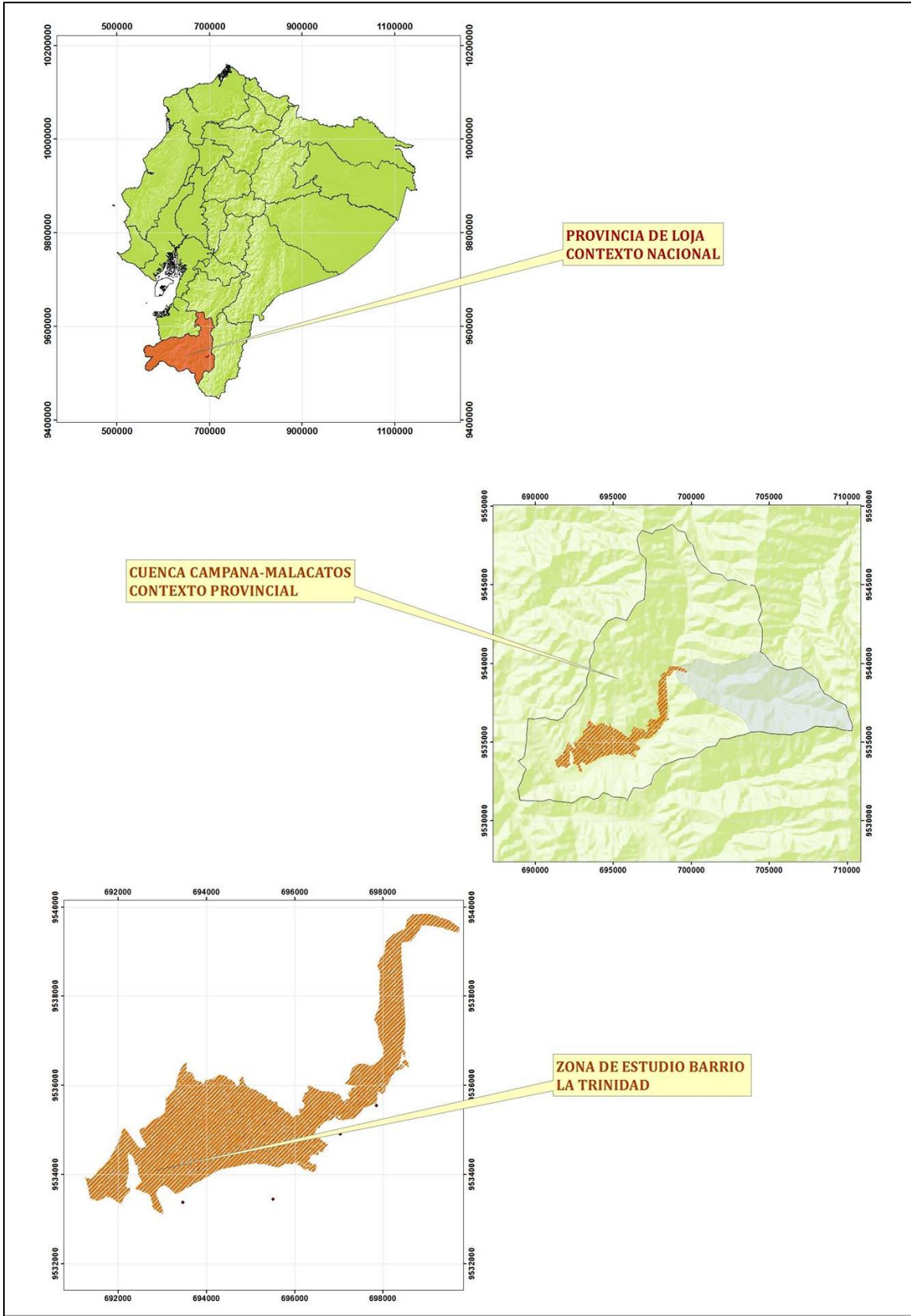


Figura 3. Ubicación del sitio de estudio.

Ecológicamente en la cuenca existen tres zonas de vida según la clasificación de Holdridge: bosque seco montano bajo (bs-MB), bosque húmedo montano (bh-M), y páramo (P). La Subcuenca del río Campana, geológicamente pertenece a la serie Zamora, constituida por filitas y cuarcitas, gneiss biotítico, esquistos, granito metasomático y formado por la orogenia Varística, en el Paleozoico, la distribución de las filitas, cuarcitas y conglomerados sigue un patrón desordenado, que corresponde a la dinámica de la orogenia (PREDESUR 2001).

Según la clasificación de Formaciones Vegetales o Zonas de Vida Natural del Mundo de L. R. Holdridge, la misma que considera a la biotemperatura y la temperatura como elementos básicos que inciden en la supervivencia y formación de las especies vegetales, que conjugada con los pisos altitudinales determinan las características eco-climáticas de una zona de vida, bosque seco Premontano (bs-PM), el mismo que se identifica por las siguientes características:

Temperatura = 17- 24 (°C)

Precipitación = 500- 1000 (mm)

Altitud = 850- 2000 (msnm).

Piso térmico = Caliente

3.2. Materiales y equipos.

3.2.1. Materiales de campo.

- Semilla.
- Fertilizantes.
- Insecticidas y fungicidas.
- Herramientas de labranza.
- Equipo de fumigación.

3.2.2. Materiales de oficina.

- Computadora con software CROPWAT 8.0
- Cámara fotográfica.
- Flexómetro.
- Dinamómetro.
- Calculadora.

3.3. Metodología.

3.3.1. Elección del sitio de estudio.

La presente investigación se realizó a campo abierto en la parroquia Malacatos, en el sector La Trinidad. El sitio representa las condiciones de suelo y clima que utilizan los agricultores para la producción de pepino.

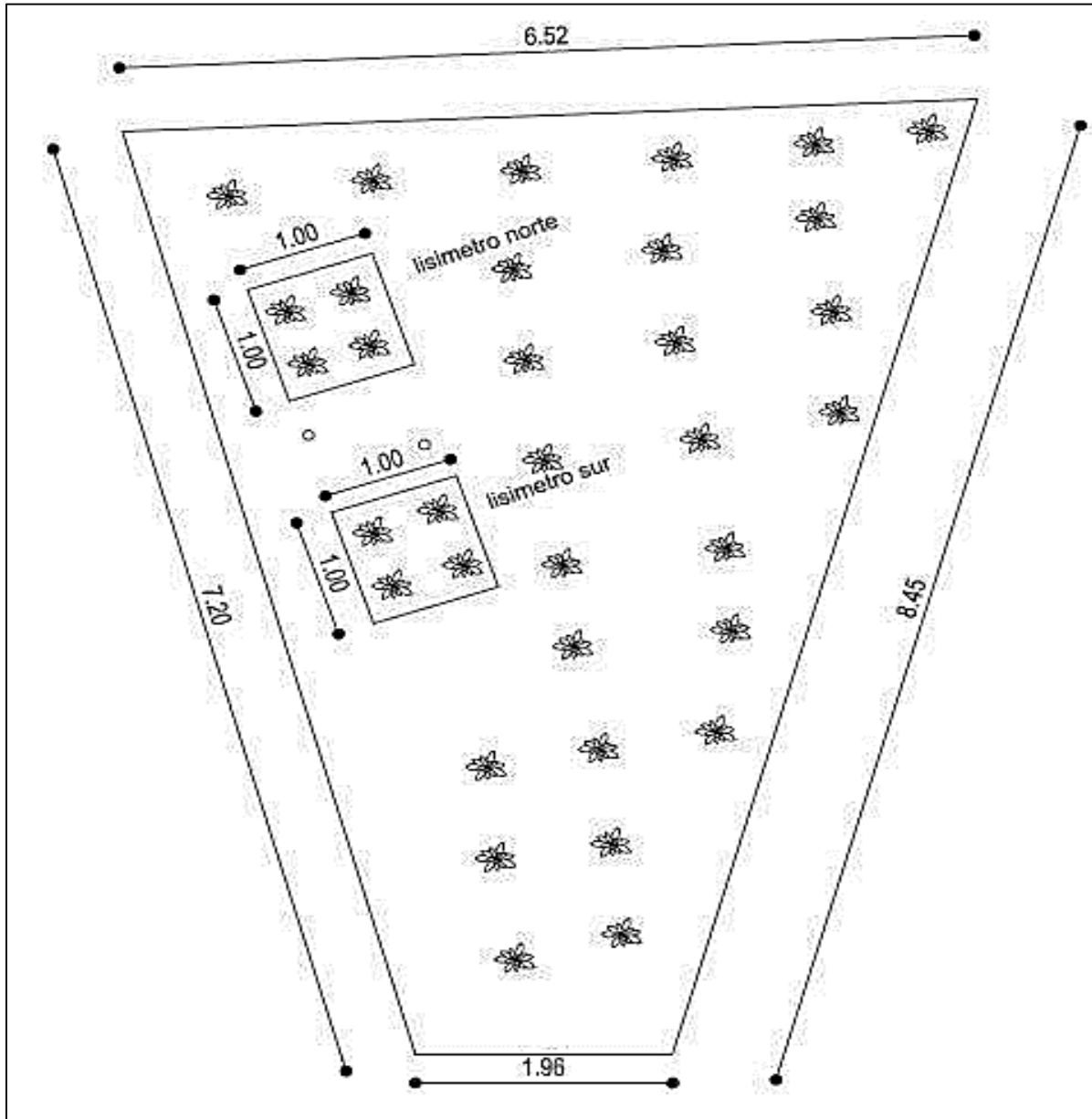


Figura 4. Sitio de investigación.

3.3.2. Construcción de los lisímetros.

- Se realizó la excavación de dos hoyos, de un metro cúbico; consistente en 1m² por lado de superficie y 1m de profundidad, cuyos perfiles extraídos no fueron mezclados (disturbados).
- Se procedió a extraer muestras para su posterior análisis; para conocer las características físicas y químicas, como: porosidad, densidad aparente, velocidad de infiltración básica, capacidad de campo, punto de marchites, macro y micro nutrientes, los mismos que se los realizó en la Universidad Nacional de Loja en el laboratorio de suelos del Área Agropecuaria, los cuales permitieron la calibración de los lisímetros y posteriormente la fertilización del cultivo.
- A los hoyos realizados se los impermeabilizó con una lámina de polietileno (geomembrana) de 5 mm de espesor (camisa de plástico), la parte inferior del lisímetro tiene una inclinación del 1%, y se colocó una capa de arena, grava y ripio de aproximadamente 20cm, para permitir que el agua infiltrada fluya hacia su respectivo medidor.

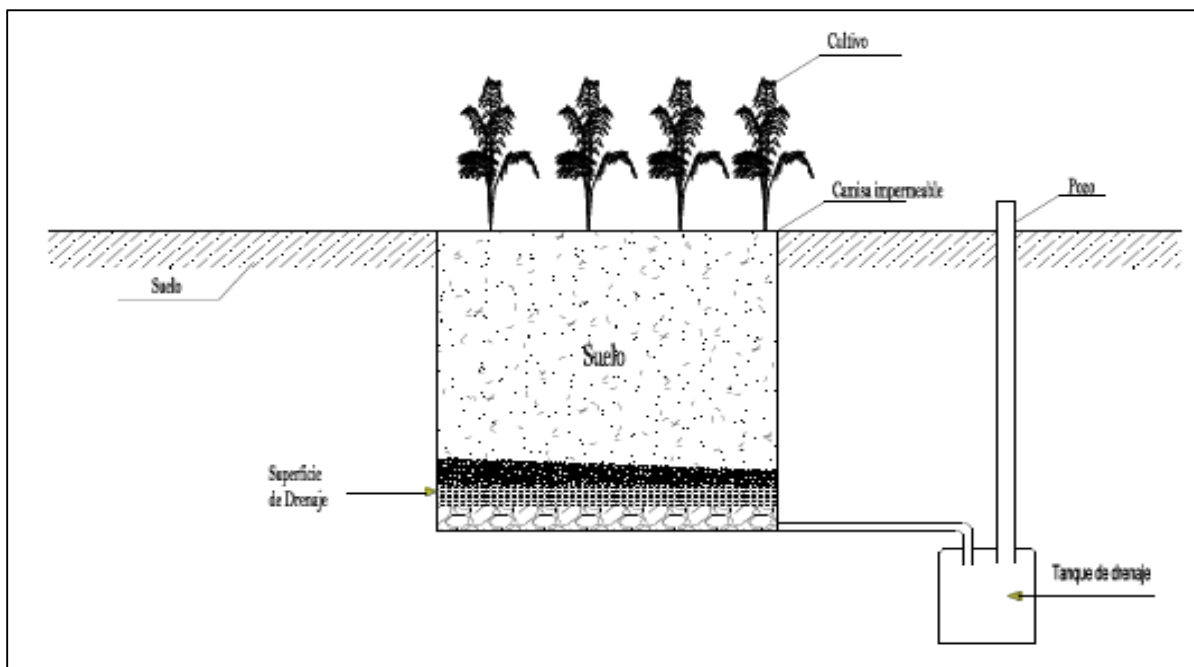


Figura 5. Representación del lisímetro.

- Luego se colocaron las diferentes capas de suelo en forma similar de cómo fueron extraídas.



Figura 6. Colocación de la camisa de plástico y colocación de las capas de suelo.

- Una vez ya instalados los lisímetros se procedió a calibrarlos, actividad que consistió en saturar el suelo y luego dejarlos que drenen hasta capacidad de campo (CC).



Figura 7. Calibración de los lisímetros.

- En esta investigación no se utilizó un pluviómetro, debido a que se contó con la estación meteorológica de Malacatos, que se ubica a 150m. del área de estudio.
- Los datos registrados con la estación meteorológica de Malacatos, tales como: la precipitación, temperatura mínima y máxima, humedad relativa, velocidad del viento y radiación solar e insolación, permitieron el cálculo de la evapotranspiración de referencia (ET_o).

3.3.3. Etapas de desarrollo del cultivo de pepino.

En esta parte de la investigación se visualizó el desarrollo del cultivo del pepino en todas sus etapas.

3.3.3.1. Comportamiento del cultivo de pepino.

3.3.3.1.1. Preparación del suelo.

El pepino se adapta a suelos con textura areno-arcillosa, bien drenada y con un pH entre 5,5 y 6,7; se seleccionó un terreno con topografía plana, con agua para riego y se procedió a tomar las muestras de suelo para su respectivo análisis.

La preparación del suelo se inició con buena anticipación, de modo que favoreció el control de malezas y permitió una adecuada incorporación y descomposición de los residuos vegetales que tenía el suelo; como existió el problema de compactación, se removió el terreno con herramientas manuales de labranza a una profundidad de 15 cm, logrando tener un terreno bien preparado apto para la siembra.



Figura 8. Preparación del terreno.

3.3.3.1.2. Siembra.

Siendo el pepino una planta guiadora que extiende su follaje libremente sobre el suelo, o alzada ayudada por sus zarcillos. Comúnmente se le cultiva sobre el suelo en ambas épocas, por el desconocimiento de técnicas adecuadas de manejo en la mayoría de los casos y en otros por el costo adicional que significa una estructura para sostenerlo.

La siembra fue directa en un suelo humedecido previamente desinfectado con (Vitavax) como se puede observar en la figura siguiente; esto para, evitar la presencia de plagas y enfermedades.



Figura 9. Siembra del cultivo de pepino.

3.3.3.1.3. Especificación de las densidades de siembra.

En pepino los distanciamientos de siembra varían de acuerdo al sistema de siembra utilizado al cultivar, textura del suelo, sistema de riego, ambiente, prácticas culturales locales y época. El distanciamiento entre hileras dentro del lisímetro fue de 0.60 m y entre planta fue 0.35m, que dan una población de 4 plantas / lisímetro.

3.3.3.1.4. Tutorado de plantas.

La siembra sin tutoreo se recomienda solamente durante la época seca y se hace necesario utilizar una cama alta, firme y uniforme para que el follaje no entre en contacto con el agua de riego o la excesiva humedad del suelo en la parte baja (espacio entre camas).

El crecimiento de una planta de pepino en un tutor, ayuda a aprovechar mejor el terreno, facilita las labores del cultivo (deshierba, aplicación de agroquímicos o productos ecológicos), aumenta la ventilación, facilita la cosecha y mejora la calidad del fruto en cuanto a sanidad y apariencia se refieren; además, soporta mayor densidad de siembra, por lo que en este estudio se hizo un tutoreo con piola.

Conforme se ilustra en la figura 10, se utilizó tutores de madera de 2.50 metros de longitud a una distancia de 4m entre hilera; con alambre galvanizado # 16 por sobre los tutores a 2 metros de altura a los que se sujeta la piola o hilo de polipropileno (fibra) con un extremo de la zona basal de la planta (enredado o sujeto mediante anillos). Conforme la planta va creciendo se va envolviendo o sujetando al hilo tutor mediante anillos, hasta que la planta alcance el alambre.



Figura 10. Tutorado de las plantas de pepino.

3.3.3.1.5. Riego.

El pepino es una planta que necesita una buena disponibilidad de agua para conseguir altas producciones, en especial en el período de fructificación. La ubicación de la línea de siembra sobre el terreno dependió del sistema de riego, la cual fue por gravedad.



Figura 11. Riego.

3.3.3.1.6. Fertilización.

Según INFOAGRO (2012), para una producción de 35 a 45 tn/ha los requerimientos nutricionales que recomiendan son 150-180 N, 120-140 P₂O₅ y 110-130 de K₂O. Para nuestra investigación se realizó una fertilización edáfica de los macro nutrientes (N, P y K), de acuerdo a los requerimientos de nutrientes del cultivo de pepino y de los resultados del análisis químico del suelo. Para fertilización se utilizó urea, fosfato diamónico (18-46-0) y muriato de potasio (0-0-60), esto se realizó a los 15 días después de la siembra con la primera fertilización, después a los 30 y la última fertilización se la hizo a los 45 días.

Cuadro 3. Fertilización del cultivo de pepino.

REQUERIMIENTO NUTRICIONAL DEL CULTIVO (Kg/ha)	FERTILIZANTE A UTILIZAR	CANTIDAD DE FERTILIZANTE (gr/m ²)	CANTIDAD DE FERTILIZANTE (gr/planta)
165 Kg/ha N	UREA (46-0-0)	32.70 gr/m ²	8.175 gr/p.
130 Kg/ha P ₂ O ₅	FOSFATO DIAMONICO (18-46-0)	94 gr/m ²	23.6 gr/p.
120 Kg/ha K ₂ O	MURIATO DE POTASIO (0-0-60)	33.3 gr/m ²	8.3 gr/p.

3.3.3.1.7. Control de insectos.

En este cultivo se presentaron insectos denominados chupadores, causantes primarios de los virus, la cual se tomó medidas a tiempo. Fue uno específicamente el insecto que tuvimos en el cultivo:

Mosca blanca, Bemisia tabaci, es vector de enfermedades virales. Al principio, cuando el ataque era parcialmente leve, se aplicó insecticida como Lambda-cihalotrina (Karate) y cipermitrina a dosis de 1 cc/litro de agua para el control de la mosca blanca, donde la planta era fumigada con una bomba manual específicamente al envés de la hoja.

3.3.3.1.8. Control de enfermedades.

Durante el ciclo del cultivo, se presentaron los síntomas del Mildiu velloso, (*Pseudoperonospora cubensis*), las cuales son manchas de color amarillo claro limitadas por las nervaduras de la hoja. En el envés de la hoja se observan las estructuras del hongo de apariencia algodonosa. Cuando el ataque es severo las plantas se desfolian y la producción se ve reducida considerablemente. Para combatir esta enfermedad junto con el de los insectos se aplicó benomil (funguicida) + Ridomil a dosis de un 1g/litro de agua durante la presencia de estos problemas fitosanitarios con una bomba de mochila.



Figura 12. Problema del Mildiu velloso.

3.3.3.1.9. Control de malezas.

Las malezas se las controló a tiempo, ya que el pepino no soporta la competencia de las mismas. Para nuestro caso se realizó un control manual durante todo el ciclo vegetativo del cultivo, con ayuda de herramientas manuales de labranza.

Las malezas de mayor incidencia fueron *Cyperus* spp (coquito), la gramínea *Eleusine indica* (Pata de gallina).

3.3.3.2. Observación del comportamiento del cultivo de pepino en la etapa de cosecha.

3.3.3.2.1. Cosecha.

La cosecha inicio el día 20 de septiembre del 2016 a los 74 días después de la siembra, que tuvo una duración de 22 días, en la cual se hicieron de una a dos recolecciones por semana cuando los frutos presentarón un estado duro y un color verde intenso.

Se identificó a cada uno de los frutos cosechados de cada lisímetro para poder realizar el control de peso, longitud y diámetro.



Figura 13. Cosecha de pepino.

3.3.4. Metodología para el primer objetivo.

3.3.4.1. Determinar la evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o) a través de la aplicación del método de Penman-Monteith.

El valor de ET_o para el cultivo de pepino, a través de Penman-Monteith se lo obtuvo mediante la utilización del programa CROPWAT 8.0 de la FAO. El programa requiere parámetros climáticos recopilados de la estación meteorológica Malacatos a 150m del sitio de la investigación, como temperatura mínima y máxima en °C; humedad relativa %; velocidad del viento m/s; y, la insolación (horas sol), para lo cual se utilizó la siguiente expresión:

$$ET_o = \frac{1}{\lambda} \left(\frac{\Delta(Rn - G) + Pa c_p \frac{(e_s - e_a)}{r_a}}{\Delta + \gamma \left(1 + \frac{r_g}{r_a} \right)} \right)$$

Donde:

ET_o= Evapotranspiración de referencia, mm/día

R_n= Radiación neta.

G= Flujo de calor en el suelo.

(e_s - e_a)= Déficit de presión de vapor de aire.

a= Densidad media del aire a presión constante.

c_p= Calor específico del aire.

Δ= Pendiente de la curva de presión de vapor de saturación.

γ= Constante psicrométrica

r_s= Resistencia superficial

r_a= Resistencia aerodinámica.

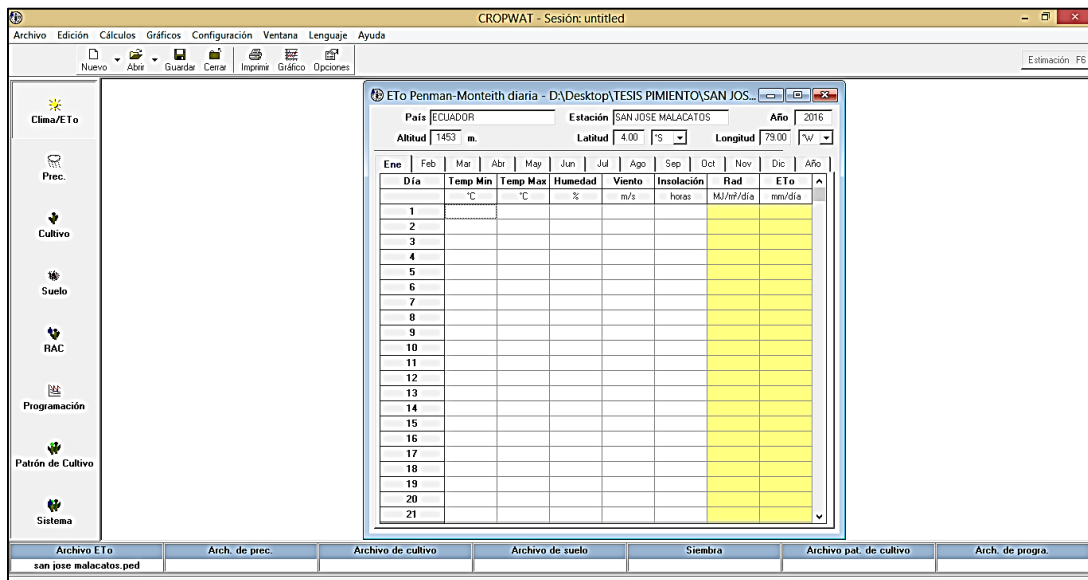


Figura 14. Visualización del programa CROPWAT 8.0

3.3.5. Metodología para el segundo objetivo.

3.3.5.1. Determinar la evapotranspiración del cultivo de pepino (ETc), en sus diferentes fases fenológicas, utilizando el método directo del Lisímetro volumétrico.

Luego de instalados los dos lisímetros volumétricos, se procedió a su calibración que consistió en determinar la lámina de saturación del suelo en el lisímetro; para lo cual realizamos los siguientes análisis y cálculos:

- Se determinó la textura y la densidad aparente del suelo.
- Se realizó el cálculo de la porosidad total del suelo con la siguiente formula:

$$P\%=(1-d_a/d_r) \times 100$$

Donde:

La densidad real se la consideró con un valor igual a 2.5 g/cm³.

- Para la lámina de saturación que correspondió a llenar con agua la porosidad total y para su cálculo se asumió que el suelo estaba seco, y se utilizó la siguiente formula:

$$\text{Lamina de saturación} = (P\%)/100 \times \text{profundidad del lisímetro.}$$

- Como la lámina de saturación obtenida en milímetros (mm), se transforma a volumen expresado en decímetros cúbicos o lo que es lo mismo litros. Sabiendo que un milímetro de lámina sobre un metro cuadrado corresponde a un volumen de un litro; como la profundidad del lisímetro es de un metro cubico, se tiene que el valor del volumen de saturación en litros es igual al de la lámina de saturación en milímetros.
- Posteriormente cada 3 y 4 días se midió el agua drenada y se reponía el mismo volumen o un poco más con criterio técnico. Esta actividad se realizó hasta que el agua drenada en los lisímetros sea prácticamente igual.

Una vez calibrado el lisímetro, se procedió a la siembra del cultivo; y, con la misma metodología de entrada y salida de agua al lisímetro (Riego-Drenaje), se registraron todos los riegos y drenajes en formato diseñado para el efecto en la hoja electrónica de Excel. Luego calculamos el agua consumida por el cultivo o ETc considerando la fórmula de balance hídrico:

$$ETc = (P + R - D) / I$$

Donde:

ETc= Evapotranspiración del cultivo, mm/día.

P= Precipitación, mm/día.

R= Riego, mm.

D= Drenaje, mm.

I= Intervalo en días entre dos riegos consecutivos.

Para la (ETc), el valor corresponde al periodo de tiempo (3 y 4 días) entre el riego y el drenaje medido y se dividió para el número de días.

El parámetro precipitación (P) en mm, es proporcionado por registros diarios de la estación meteorológica de Malacatos, durante el ciclo vegetativo del cultivo.

El parámetro de riego (R), se lo cuantificó de manera que la cantidad de agua aplicada garantice que exista drenaje en los lisímetros.

Los registros de drenaje (D), se obtuvieron recolectando el agua que escurre a través de la parte inferior del lisímetro y que se almacena en el tanque de drenaje, cuyo volumen dividido para el área del lisímetro, genera la lámina drenada (mm/día).

3.3.5.1.1. Fases fenológicas del cultivo de pepino.

Las fases fenológicas del cultivo, a manera indicativa se consideró los de la FAO en su documento N.- 24. Las necesidades hídricas de los cultivos.

- **Fase inicial (F1):** Germinación y crecimiento inicial, cuando la superficie del suelo está cubierta apenas o nada por el cultivo.
- **Fase de desarrollo del cultivo (F2):** Final fase inicial hasta que se llega a una cubierta sombreada efectiva completa.
- **Fase de mediados del periodo (F3):** desde que se obtiene la cubierta sombreada efectiva completa hasta el momento de iniciarse la maduración.
- **Fase de finales de periodo (F4):** Desde final anterior hasta que se llega a la plena maduración o recolección.

3.3.6. Metodología para el tercer objetivo.

3.3.6.1. Determinar el coeficiente de cultivo (Kc) considerando la ETo calculada con el método de Penman-Monteith y la ETc, calculada con el método del lisímetro volumétrico, para las fases fenológicas del cultivo de pepino.

Con la información de la ETc del cultivo encontrada en el objetivo anterior y con los valores de ETo calculados en el objetivo primero se procedió a calcular los valores de coeficiente de cultivo (Kc) para los datos obtenidos, con la siguiente formula:

$$Kc=ETc/ETo$$

Donde:

Kc= Coeficiente de cultivo.

ETc= Evapotranspiración del cultivo, mm/día.

ETo= Evapotranspiración del cultivo de referencia, mm/día.

Se procedió a calcular el coeficiente del cultivo Kc para cada una de las etapas fenológicas y finalmente se construye la curva del coeficiente del cultivo de pepino.

3.3.7. Requerimientos de riego.

La precipitación efectiva fue calculada por el software Cropwat 8.0, obtenida como resultado de la precipitación media de la estación Malacatos. Con los datos de Etc y Peff se aplicó la siguiente expresión:

$$IRReq=(Etc-Peff)$$

Dónde:

IRReq= Requerimiento Hídrico del cultivo (mm)

Etc= Evapotranspiración del cultivo (mm/día)

Peff= Precipitación efectiva (mm)

4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

A continuación se presenta los resultados obtenidos, para cada objetivo, durante las etapas fenológicas del cultivo de pepino:

4.1. Análisis de las propiedades físico-químicas del suelo.

Las características físico-químicas del suelo, luego de ser analizadas las muestras tomadas, en el Laboratorio de Suelos del Área Agropecuaria, dieron los siguientes resultados:

Cuadro 4. Constantes hidrofísicas del suelo.

Análisis Mecánico % TFSA			Textura	pH	Da	CC 1/3	MP	M.O.
Ao	Lo	Ac						
28.5	33.5	38	FoAc	6.36	g/cm ³	%	%	%
					1.58	17.17	5.13	2.69

De acuerdo a los porcentajes de arena (Ao), limo (Lo) y arcilla (Ac), el suelo de la investigación se clasificó como un suelo de textura Franco arcillosa (FoAc), presentó una lámina de agua útil de 76.2 mm por metro de profundidad.; una densidad aparente de 1.58 g/cm³ y un Ph de 6.36 considerado neutro, lo que significa que es suelo apto para el desarrollo de las raíces de las plantas y para la agricultura; por su parte el valor de la materia orgánica fue de un 2.69 % que indica que se trata de un suelo con una baja fertilidad. La Capacidad de Campo a una tensión de 1/3 de atmosfera fue de 17.17 % de humedad y la tensión al Punto de Marchitez Permanente dio como resultado un 5.13% de contenido de humedad en base a peso.

Del análisis químico de las muestras de suelo se obtuvieron los siguientes resultados:

Cuadro 5. Análisis químico del suelo.

Cod. Lab	Cód. Campo	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu
1725	La Trinidad 0-40 cm	78.20	ppm	3.21	Meq/100 ml	0.33	91.82	Ppm	3.21
			19.92		7.34			2.78	

Estos resultados demuestran que es un suelo con contenido alto en N y Fe, situación que no ocurre con el P₂O₅, K₂O, Mn y el Mg que su contenido es bajo, el cual es importante para la

nutrición de la planta, en la cual se hizo necesario calcular dosis de fertilización. Otros elementos como el Ca, presentó un valor medio al igual que el Cu. De acuerdo a este análisis se estableció una un plan de fertilización tomando en cuenta a los micro elementos (N, P₂O₅ y K₂O), para obtener una producción de pepino de 35 a 40 Ton/ha.

De acuerdo a este análisis se estableció un plan de fertilización tomado en cuenta los macro elementos (N, P₂O₅ y K₂O), para obtener una producción de 45 Ton/Ha.

Cuadro 6. Plan de fertilización.

REQUERIMIENTO NUTRICIONAL DEL CULTIVO (Kg/ha)	FERTILIZANTE A UTILIZAR	CANTIDAD DE FERTILIZANTE EN (gr/m ²)	CANTIDAD DE FERTILIZANTE (gr/planta)
165 Kg/ha N	UREA (46-0-0)	32.70 gr/m ²	8.175 gr/p.
130 Kg/ha P ₂ O ₅	FOSFATO DIAMONICO (18-46-0)	94 gr/m ²	23.6 gr/p.
120 Kg/ha K ₂ O	MURIATO DE POTASIO (0-0-60)	33.3 gr/m ²	8.3 gr/p.

Para nuestra investigación se realizó una fertilización edáfica de los macro nutrientes (N, P y K), de acuerdo a los requerimientos de nutrientes del cultivo de pepino y de los resultados del análisis químico del suelo. Para fertilización se utilizó urea, fosfato diamónico (18-46-0) y muriato de potasio (0-0-60), esto se realizó a los 15 días después de la siembra con la primera fertilización, después a los 30 y la última fertilización se la hizo a los 45 días.

4.2. Características agronómicas del cultivo de pepino.

El cultivo de pepino es una planta rastrera, de follaje verde intenso y flores amarillas. Las características agronómicas del pepino, variedad marketmore76 se presentan a continuación:

Cuadro 7. Características agronómicas del cultivo de pepino.

Característica Agronómica	Resultado
Habito de crecimiento:	rastrero o trepador
Período vegetativo:	95 días.
Fase Inicial	18 días (08/07/2016 - 25/07/2016)
Fase Desarrollo	31 días (26/07/2016 - 26/08/2016)
Fase de mediados de desarrollo	24 días (27/08/2016 - 19/09/2016)
Fase final	22 días (20/09/2016 - 11/10/ 2016)
Altura de la planta aproximada:	0.8 – 1.30 cm
Longitud del pimiento promedio:	20 – 26 cm
Diámetro promedio del pimiento	6 - 6.5 cm
Numero de frutos promedio cosechados por panta	3 pepinos.
Peso de pimientos promedio por planta:	382.65 g

4.3. Descripción botánica.

4.3.1. Fases fenológicas.

- **Fase Inicial.**

Inicio con la siembra el día 08 de julio de 2016 y duró hasta el día 25 de julio del mismo año con una duración de 18 días.

Esta fase culminó cuando se alcanza el máximo desarrollo foliar que correspondió a una altura promedio de la planta de 1 m.

- **Fase Desarrollo.**

Se considera esta fase cuando aparecen las primeras flores, para el estudio se tomó en cuenta un 10 % de plantas que iniciaron la floración. Esta fase duró 31 días correspondientes entre el 26 de julio al 26 de agosto de 2016.

- **Fase de mediados de Desarrollo.**

Se consideró que esta fase inició cuando el 10 % de plantas comenzó el cuajado de frutos y empezaron a desarrollarse y crecer hasta la madurez fisiológica. Esta etapa comenzó el 27 de agosto hasta el 19 de septiembre de 2016 con una duración de 24 días.

- **Fase Final.**

Es la fase en la que el 10 % de las plantas tienen frutos maduros con color, olor y tamaño definidos. Esta fase tuvo una duración de 22 días, empezando el 20 de septiembre y culminando el 11 de octubre de 2016.

4.3.2. Fruto.

Son bayas cónicas de distintas formas y tamaños, de color verde.

El número de frutos promedio por planta en el lisímetro norte es de 2; mientras que en el lisímetro sur corresponde a 3, permite deducir una homogeneidad en el rendimiento, cuando el abastecimiento del agua tiene una alta uniformidad (Anexo 14).

El peso de los frutos por planta oscila entre 1146.3 gr y 866.8m gr en el lisímetro norte; mientras que 1777.2 gr y 818.8 gr en el lisímetro sur, que si se los proyecta a toneladas por hectárea se obtiene rendimientos de 34.83 y 45.52 Ton/ha respectivamente con un promedio de 40.17 Ton/ha (Anexo 12).

La mayor longitud del fruto corresponde a 24 cm; y, la mínima longitud es de 20 cm y una longitud promedio de 22 cm. La aparente gran diferencia en la longitud de los pimientos se explica con la edad fisiológica de la planta; así los frutos de mayor longitud y peso se obtuvieron en las 2 primeras cosechas, disminuyendo la longitud de los frutos conforme transcurría el tiempo (Anexo 13).

4.3.3. Manejo de plagas y enfermedades

4.3.3.1. Manejo de plagas

En este cultivo se presentó unos insectos denominados chupadores, causantes primarios de los virus, la cual se tomó medidas a tiempo. Fue uno específicamente el insecto que tuvimos en el cultivo:

Mosca blanca, Bemisia tabaci, es vector de enfermedades virales. Al principio, cuando el ataque era parcialmente leve, se aplicó insecticida como Lambda-cihalotrina (Karate) y

cipermitrina a dosis de 1 cc/litro de agua para el control de la mosca blanca, donde la planta era fumigada con una bomba manual específicamente al envés de la hoja.

4.3.3.2. Manejo de enfermedades

Durante el ciclo del cultivo, se presentaron los síntomas del Mildiu vellosa, (*Pseudoperonospora cubensis*), los cuales son manchas de color amarillo claro limitadas por las nervaduras de la hoja. En el envés de la hoja se observan las estructuras del hongo de apariencia algodonosa. Cuando el ataque es severo las plantas se desfolian y la producción se ve reducida considerablemente. Para combatir esta enfermedad junto con el de los insectos se aplicó benomil (funguicida) + Ridomil a dosis de un 1g/litro de agua durante la presencia de estos problemas fitosanitarios con una bomba de mochila

4.4. Cálculo de la evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o), a través de la aplicación del método de Penman-Monteith.

Para generar los datos de ET_o se utilizó la información de la estación meteorológica de Malacatos en lo que se refiere a temperatura mínima y máxima, humedad relativa promedio, velocidad del viento e insolación. Es necesario anotar que para la aplicación del método de Penman Monteith, se utilizó el programa CROPWAT 8.0 de la FAO, con la información mencionada anteriormente en el cuadro 8 se presentan los resultados de la evapotranspiración de referencia de las fases fenológicas; crecimiento vegetativo, floración y fructificación, desarrollo del fruto y cosecha:

Cuadro 8. Obtención de la ET_o promedio del ciclo vegetativo del pepino, mm/día, a través de Penman Monteith (FAO).

ETAPA FENOLÓGICA	DESDE-HASTA	DURACIÓN ETAPA (Días)	CICLO CULTIVO (Días)	ET _o (mm/día)
Fase Inicial	08/07/2016 -25/07/2016	18	18	4.41
Fase Desarrollo	26/07/2016 - 26/08/2016	31	49	5.21
Fase de mediados de desarrollo	27/08/2016 - 19/09/2016	24	73	4.80
Fase final	20/09/2016 - 11/10/ 2016	22	95	4.65

El análisis de evapotranspiración de referencia efectuado por el método de Penman Monteith determinó que el mayor valor de E_{To} se presenta para la fase de desarrollo con un valor equivalente a 5.21 mm/día, esto debido a la baja humedad relativa (63%) existente y a la alta radiación incidente ocurrida de (19.12 MJ/m²/día) en las fechas que corresponde; mientras, que el menor valor se presenta en la fase inicial con un valor de 4.41 mm/día, debido a la elevada humedad relativa (88%) y los bajos valores de radiación (18 MJ/m²/día).

Según la revista del instituto de investigaciones agropecuarias, agricultura andina, volumen 16 (Enero- Junio 2009), manifiesta que “la evapotranspiración de referencia máxima del cultivo obtenida por el método Penman Monteith fue de 5.38 mm/día” valores que permiten deducir que las condiciones climáticas son similares a las del sitio de estudio.

4.5. Cálculo de la evapotranspiración del cultivo de pepino (E_{Tc}), en sus diferentes fases fenológicas, utilizando el método directo del Lisímetro volumétrico.

4.5.1. Diseño y funcionamiento del lisímetro volumétrico.

La construcción del lisímetro volumétrico consiste en la aplicación de riego calculado en volumen de litros de agua y la recolección de drenaje en las mismas unidades, que luego considerando la superficie del lisímetro se transforman a lámina de riego y drenaje expresados en mm.

Los resultados de la lámina consumida, calculada como la diferencia entre la lámina de riego y la precipitación menos la lámina de drenaje recolectada, muestran una diferencia en la fase inicial de 0.3 mm; mientras que en la fase desarrollo es de 0.17 mm; en la fase de mediados de desarrollo la diferencia es de 0.53 mm; y, finalmente en la fase final la diferencia entre los lisímetros es de 0.11 mm.

Estas diferencias entre los resultados de los dos lisímetros determinan una regularidad que generaliza el funcionamiento de los lisímetros.

4.5.2. Construcción del achicador (bomba)

El diseño del lisímetro toma en cuenta un tanque de drenaje con una capacidad de 20 litros, enterrado a 1.40 m de profundidad, del que emerge desde el fondo del tanque hasta 20 cm sobre la

superficie del suelo, por lo tanto, fue necesario diseñar y construir un dispositivo que permita extraer el agua de drenaje.

En un principio se diseñó un achicador de embolo que funcionaba adecuadamente, pero con un gran esfuerzo físico por parte del operador; ante esta situación se diseñó otro dispositivo o bomba aspirante que consta de dos válvulas check y un embolo, esta permitió con facilidad extraer el agua del tanque de drenaje.

Como la altitud del sitio de estudio corresponde a 1625 msnm, determina una máxima altura de succión igual a 9.8 m.c.a, que al comprobarlo con la profundidad del pozo (1,60 m) garantiza la succión con la bomba.



Figura 15. Achicador y bomba de succión de embolo.

4.5.3. Cálculo de la evapotranspiración del cultivo (ETc).

Para el cálculo de la evapotranspiración del cultivo (ETc), se utilizó el método de balance hídrico, en el que se registra las entradas (riego + precipitación) y salidas (drenaje), con la finalidad de obtener la evapotranspiración promedio del cultivo para las distintas fases fenológicas, monitoreado a través del lisímetro volumétrico. Los resultados se presentan a continuación:

Cuadro 9. Obtención de la ETc promedio del ciclo vegetativo del pepino, mm/día, utilizando el método directo del lisímetro volumétrico.

ETAPA FENOLÓGICA	DESDE-HASTA	DURACIÓN ETAPA (Días)	CICLO CULTIVO (Días)	ETc (mm/día)
Fase Inicial	08/07/2016 -25/07/2016	18	18	2.15
Fase Desarrollo	26/07/2016 - 26/08/2016	31	49	3.29
Fase de mediados de desarrollo	27/08/2016 - 19/09/2016	24	73	3.09
Fase final	20/09/2016 - 11/10/ 2016	22	95	2.66

Como se puede apreciar en el cuadro 9, el mayor valor de requerimiento hídrico se generó para la fase de desarrollo con 3.29 mm/día y el menor valor se presenta en la fase inicial con 2.15 mm/día. La tendencia de la evapotranspiración en la fase final es que sea menor a la de mediados de desarrollo; en el estudio como se ve en los resultados esta tendencia si se cumple. Los datos calculados se deben entender con la ayuda del concepto de Evapotranspiración del cultivo, que señala que la ETc es igual a la suma de la evaporación más la transpiración ($ETc = E + T$).

El requerimiento total de agua para el periodo vegetativo del cultivo es de 678.18 mm, lo que equivale a 6781.8 m³/ha, utilizados en el ciclo cultivo que es de 95 días.

Estos requerimientos corresponden a un caudal ficticio continuo de 0.82 litros/seg/ha. Si se regara por goteo, aspersión o gravedad, considerando eficiencias de riego de 0.9; 0.75; y 0.6 los valores del caudal continuo son respectivamente de 0.91; 1.09; 1.36 litros/seg/ha

Por otro lado, el rendimiento medido en los rendimientos y proyectado a una hectárea tiene un valor de 40.17 Ton o 40170 kg de peso.

La relación consumo de agua/rendimiento (6781800 litros/40170 kg) es de 168.82 litros, lo que determina que para obtener 1kg de pimiento, se requiere de 168.82 litros.

Imaicela y Álvarez, 1993, que manifiestan que el máximo requerimiento de agua es de 4,12 mm/día, a lo igual expresado por Chaves 2015, donde manifiesta que la “la evapotranspiración máxima del cultivo de pimiento por el método del lisímetro fue de 4.1 mm/día.

Como se puede observar en el cuadro anterior, el mayor valor de ETc para el cultivo en estudio se presentó en la fase de desarrollo con un valor de 3.29 mm/día. De igual forma el menor

valor se presentó para la etapa inicial con 2,15 mm/día. Según este método, para todo el periodo vegetativo del pepino se requirieron 80.86 mm de agua.

Los valores de ETc obtenidos en la investigación se contrastan con los valores obtenidos por Romero y Ramírez, (2009) que manifiesta que “la evapotranspiración máxima del cultivo obtenida por el método directo del lisímetro volumétrico fue de 3,95 mm/día”.

4.6. Cálculo del coeficiente de cultivo (Kc) considerando la ETo calculada con el método de Penman-Monteith y la ETc calculada con el método del lisímetro volumétrico, para las fases fenológicas del cultivo de pepino.

Los resultados que se citan en el cuadro 10, fueron obtenidos de acuerdo a la metodología definida en la cual se utilizó la ETo por el método de Penman-Monteith y la ETc del cultivo a través del lisímetro volumétrico, con la fórmula $k_c = ET_c / E_{T_o}$

Cuadro 10. Coeficiente del cultivo Kc promedio para las distintas etapas fenológicas del cultivo de pepino.

ETAPA FENOLÓGICA	DESDE-HASTA	DURACIÓN ETAPA (Días)	CICLO CULTIVO (Días)	ETc (mm/día)	ETo (mm/día)	Kc
Fase Inicial	08/07/2016 -25/07/2016	18	18	2.15	4.41	0.49
Fase Desarrollo	26/07/2016 - 26/08/2016	31	49	3.29	5.21	0.63
Fase de mediados de desarrollo	27/08/2016 - 19/09/2016	24	73	3.09	4.80	0.64
Fase final	20/09/2016 - 11/10/ 2016	22	95	2.66	4.65	0.57

En la fase inicial que va del 08 de julio al 25 de julio de 2016, el valor de coeficiente de cultivo Kc promedio es de 0.49, valor que se mantiene durante 18 días en esta etapa inicial para el cultivo de pepino.

Mientras que para la fase de desarrollo las características establecidas en los 31 días de la duración, los valores de coeficientes de cultivo Kc registrados van ascendiendo de 0.49 a 0.63 del 26 de julio al 26 de agosto de 2016.

En tanto que, en la fase de mediados de desarrollo el coeficiente de cultivo va de 0.63 a 0.64 en una duración de 24 días, en las fechas comprendidas del 27 de agosto al 19 de septiembre 2016.

Y para la última fase final que duro 22 días a partir del 22 de septiembre al 11 de octubre el coeficiente de cultivo Kc disminuye de 0.64 a 0.57.

Esto indica que según aumenta el área foliar del cultivo, el Kc se va incrementando por cuanto existe una mayor área foliar expuesta a la radiación solar por tanto el cultivo va requiriendo de mayor cantidad de recurso hídrico para cumplir con sus funciones fisiológicas y equilibrar el balance hídrico.

Estos valores concuerdan en parte con los valores encontrados la revista del instituto de investigaciones agropecuarias, agricultura andina volumen 16, (enero-junio 2009), que manifiestan que el Kc del pepino fue de: “0,5: 0,8: 0.9 y 0.65” para las diferentes etapas fenológicas, esto debido principalmente por las condiciones edafoclimáticas del lugar.

Estos valores obtenidos son cercanos con los reportados por la FAO en Manual de riego y drenaje N° 56 0,4: 0,75: 0.9 y 0,7. No obstante, es importante mencionar que los datos presentados por la FAO corresponden otra variedad de cultivo sembrado en regiones del mediterráneo europeo.

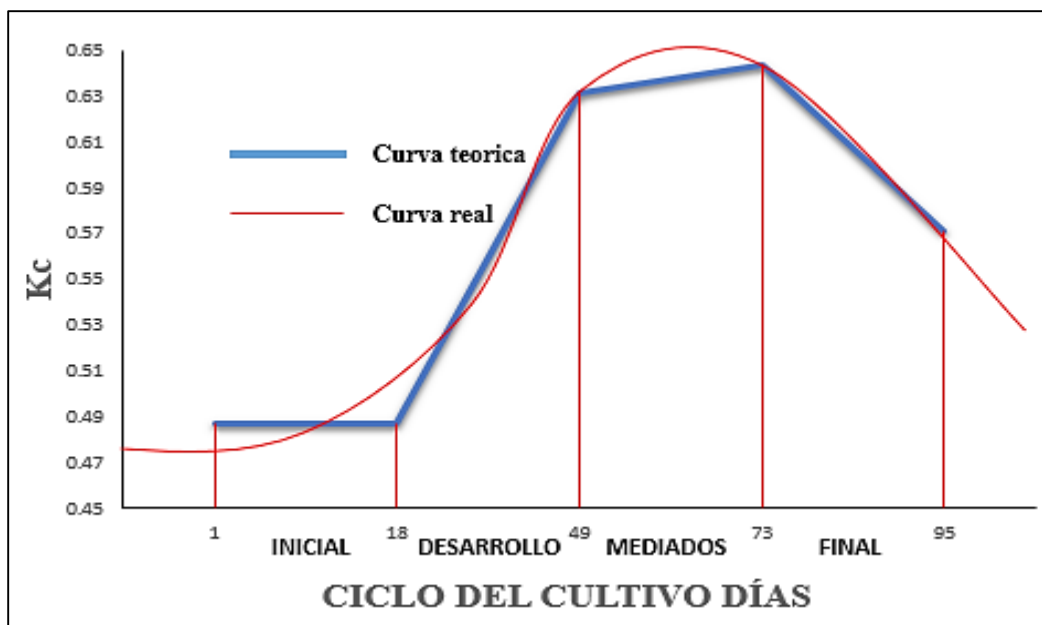


Figura 16. Kc del cultivo de pepino.

En la figura 16 se presentan los valores promedios de kc vs fases fenológicas del cultivo de pepino (cuadro 9), la variación que se observa en los kc hace referencia a todo el periodo del cultivo, el movimiento de la curva está influenciado primordialmente por las condiciones

climáticas tales como la insolación, la temperatura del aire, la humedad relativa y la velocidad del viento, y la fase fenológica del cultivo.

Después de graficar el polígono abierto kc vs fases fenológicas, se procedió a suavizar las líneas para transformarla en una curva, conocida esta como curva de kc. Esta curva, permite encontrar un valor de kc para cualquier edad del cultivo, pronosticándose su valor mínimo en la fase inicial de aproximadamente 0,48 y un valor máximo de 0,65 para la fase de mediados la edad de 61 días después de la siembra.

4.7. Cálculo de los requerimientos hídricos del cultivo de pepino.

En la figura 17, se encuentran los requerimientos diarios para las fases fenológicas del cultivo de pepino, los mismos que están en función de la Etc y Peff, durante el ciclo del cultivo. En la curva se observa que la mayor demanda es el 13 de Septiembre, con un máximo de 4.76 mm equivalentes a 47.6 m³ / ha; mientras que la menor es el 08 de julio con 0.35 mm, equivalente a 3.5 m³ / ha. Finalmente se determina que se requiere de 659.52 mm equivalente a 6595.2 m³ /ha.

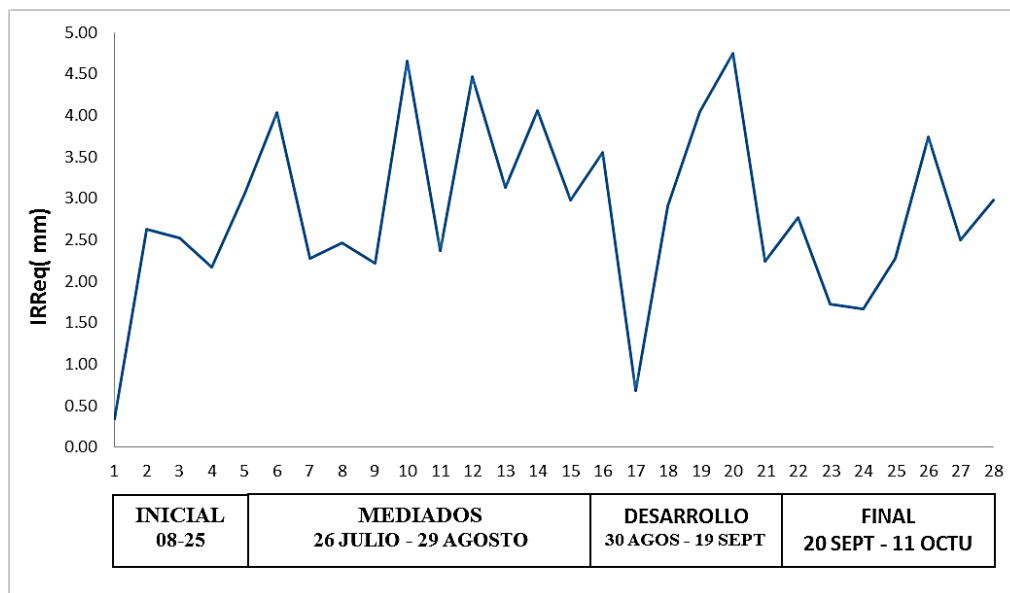


Figura 17. Requerimiento hidrico del cultivo pepino (Cucumis Sativus L).

5. CONCLUSIONES

El promedio de la evapotranspiración de referencia del cultivo de pepino (E_{To}), mediante el método de Penman Monteith fue de 4.76 mm/día.

El promedio obtenido de la evapotranspiración del cultivo de pepino (E_{Tc}), con el método del lisímetro volumétrico es de 2.88 mm/día.

El cultivo de pepino tiene un ciclo productivo muy rápido, en nuestra investigación fue de 95 días, que de acuerdo a la observación directa se atribuyen de la siguiente manera: fase inicial 18 días, fase de desarrollo 31 días, fase de mediados de desarrollo 24 días y la fase final 22 días.

Los valores obtenidos de K_c en el cultivo de pepino por la fase de inicio 0,49: fase de desarrollo 0,63: fase de mediados de desarrollo 0.64 y fase final de 0.57.

Los requerimientos de agua para todo el ciclo productivo del cultivo de pepino fueron de 678.18 mm.

El valor máximo de k_c fue en la fase de mediados de desarrollo con un valor de 0.64 y mínimo valor fue de 0,49 en la fase de inicio.

El rendimiento obtenido en el cultivo de pepino en el área de la investigación fue de 40.17 Ton/ha.

Haciendo la relación consumo de agua/rendimiento se determinó que para producir 1kg de pepino se necesitan 168.828 litros de agua.

6. RECOMENDACIONES

Tomando como base los resultados obtenidos en el presente estudio sería conveniente obtener estos parámetros de E_t , E_c y K_c en otra época del año o región; considerando una variabilidad climática.

Estudiar los requerimientos hídricos (E_{Tc} , k_c) pero a distintas tensiones de humedad del suelo.

Difundir estos resultados a nivel de los usuarios del sistema de riego Campana-Malacatos a fin de propender al uso del lisímetro volumétrico utilizando frecuencias de riego con criterio técnico para mejorar la producción y productividad.

Propender a que el lisímetro volumétrico sea utilizado para estudios de E_{Tc} de otros cultivos.

7. BIBLIOGRAFIA

Allen, G. R., G. R., L. S. Pereira, D. Raes, y M. Smith. 2006. Evapotranspiración del cultivo. Estudio FAO de Riego y Drenaje No. 56. FAO. Roma. 298 p.

Allen, R. G. (2006). Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos (Vol. 56): Food & Agriculture Org.

Arias, J.; Rengifo, T.; Jaramillo, M. 2007. Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) en la producción de pepino voluble.

Cob A. (2004). El conocimiento de las necesidades hídricas de los cultivos es fundamental para mejorar el diseño, planificación y gestión del polígono y sistemas de riego. Necesidades Hídricas en cultivos hortícolas. Pág. 34

Estrella, E. 1998. El pan de América, Etnohistoria de los alimentos aborígenes en el Ecuador. Quito, EC. p. 257

Hernández Palomo, J. B. (2014). "Respuestas fisiológicas y eficiencia de uso de agua en un sistema hidropónico con déficit de riego y drenaje cero."

Heras (1978); "Manual de Hidrología", Editorial del CEDEX, Madrid (España). Ven Te Chow, Maidment y Mays (1994); "Hidrología Aplicada", Editorial McGraw-Hill, Bogotá (Colombia).

Íñiguez-Covarrubias, M., et al. (2014). "Análisis de cuatro variables del período de lluvias asociadas al cultivo maíz de temporal." Revista mexicana de ciencias agrícolas 5(1): 101-114.

Morison J; Barker N; Mullineaux P; Davies W (2007). Improving water use in crop production. Philosophical Transactions of the Royal Society B. 363: 639-658

Nelson G; Rosegrant M; Koo J; Robertson R; Sulser T; Zhu T; Ringle C; Msangi S; Palazzo A; Batka M; Magalhaes M; Valmonte-Santos R; Ewing M; Lee D (2009). Food Policy Report, Climate change: Impact on agriculture and costs of adaptation. International Food Policy Research Institute. Washington, D.C. p. 19.

FAO (1977). Las necesidades de agua de los cultivos. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Riego y Drenaje, N° 36. Roma, Italia.

FAO. (1992). Manual de Campo para la Ordenación de Cuencas Hidrográficas. Estudio y Planificación de Cuencas Hidrográficas. Roma, Italia. 185 p.

FAO (2006). Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Roma 2006

Ojeda–Bustamante, W., J. M. González–Camacho, E. Sifuentes–Ibarra, E. Isidro, and L. Rendón–Pimentel. 2007. Using spatial information systems to improve water management in Mexico. *Agrie. Water Manage.* 89: 81–88.

Sevilla, R.; Holle, M. 2004. Recursos Genéticos vegetales. Lima, PE. Torre Azul Sac. p.irr.

Bravo Torres Danny y Moreno Bravo Ausberto 2007“Planeación De Los Recursos Hídricos, Del Sistema De Riego Campana Malacatos, Utilizando Sistemas De Información Geográfica (S I G)

Tosso T, J. (1976). "Determinaciones de evapotranspiración y coeficientes K para varios cultivos." *Agricultura Técnica* 36(4): 151-155.

Doorembos J. y Pruitt W. O. Las Necesidades de Agua de los Cultivos. Estudio 24, FAO. Riego y Drenaje. Roma, Italia. 1977.

Uso Consuntivo en los cultivos de pimiento (*Capsicum spp*) y col (*Brassica oleracea*) con niveles de fertilización bajo riego por surcos en Zapotepamba, Autor: Imaicela J., Kléver H. y Alvarez R., Holger.

CAMAREN. (2015). “Asesoría para el fortalecimiento de capacidades de los gobiernos autónomos provinciales a través del diseño curricular de un proyecto de carrera en administración, operación y mantenimiento de sistemas de riego tecnificado y drenaje. Quito.

Estimación de las necesidades hídricas del cultivo de pepino (*cucumis sativus l.*), durante las diferentes etapas fenológicas, mediante la tina de evaporación. *Revista del instituto de investigaciones agropecuarias, agricultura andina volumen 16 (enero-junio 2009).*

Anexo 1. Analisis de suelo.

LASAB

LABORATORIO DE ANALISIS FISICO-QUIMICO DE SUELOS, AGUAS Y BROMATOLOGIA
AREA AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES



Provincia:	Loja	FECHA DE INGRESO:	01/07/2015
Cantón:	Loja	FECHA DE EGRESO:	31/07/2015
Parroquia:	Malacatos	Sector:	El Porvenir, San José, La Trinidad
PROYECTO:	"Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) aplicados a la optimización del uso del agua, en el Sistema de Riego Campana Malacatos"		

1. RESULTADOS DE ANÁLISIS

Cód. Lab.	Cód. Campo	pH	M.O %	N ppm	P ₂ O ₅ ppm	K ₂ O ppm	Ca meq/100 ml	Mg meq/100 ml	Fe ppm	Mn ppm	Cu ppm	CIC meq/100 ml
1687	Porvenir 20-40 cm	5.47	0.80	31,41	28,89	6,50	1,97	0,77	19,95	5,34	3,18	26,60
1688	San José 0-20cm	8.48	1.23	28,30	5,82	76,88	7,92	2,63	19,97	2,18	0,70	64,40
1689	San José 20-40 cm	8.65	0.61	20,01	6,35	35,61	7,54	2,62	21,68	2,27	0,62	56,70
1725	La Trinidad 0-40cm	6.36	2.69	78,20	16,92	3,21	7,34	0,33	91,82	2,78	3,21	8,60



2. INTERPRETACIÓN DE ANÁLISIS

Cód. Lab.	Cód. Campo	pH	M.O %	N ppm	P ₂ O ₅ ppm	K ₂ O ppm	Ca meq/100 ml	Mg meq/100 ml	Fe ppm	Mn ppm	Cu ppm
1687	Povenir 20-40 cm	Ácido	Bajo	Medio	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Medio	Medio
1688	San José 0-20cm	Medianamente Alcalino	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Medio	Alto	Bajo	Bajo	Bajo
1689	San José 20-40 cm	Alcalino	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Medio	Alto	Medio	Bajo	Bajo
1725	La Trinidad 0-40cm	Ligeramente Alcalino	Bajo	Alto	Bajo	Bajo	Medio	Bajo	Alto	Bajo	Medio



LABORATORIO DE ANALISIS FISICO-QUIMICO DE SUELOS, AGUAS Y
BROMATOLOGIA
AREA AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

LASAB

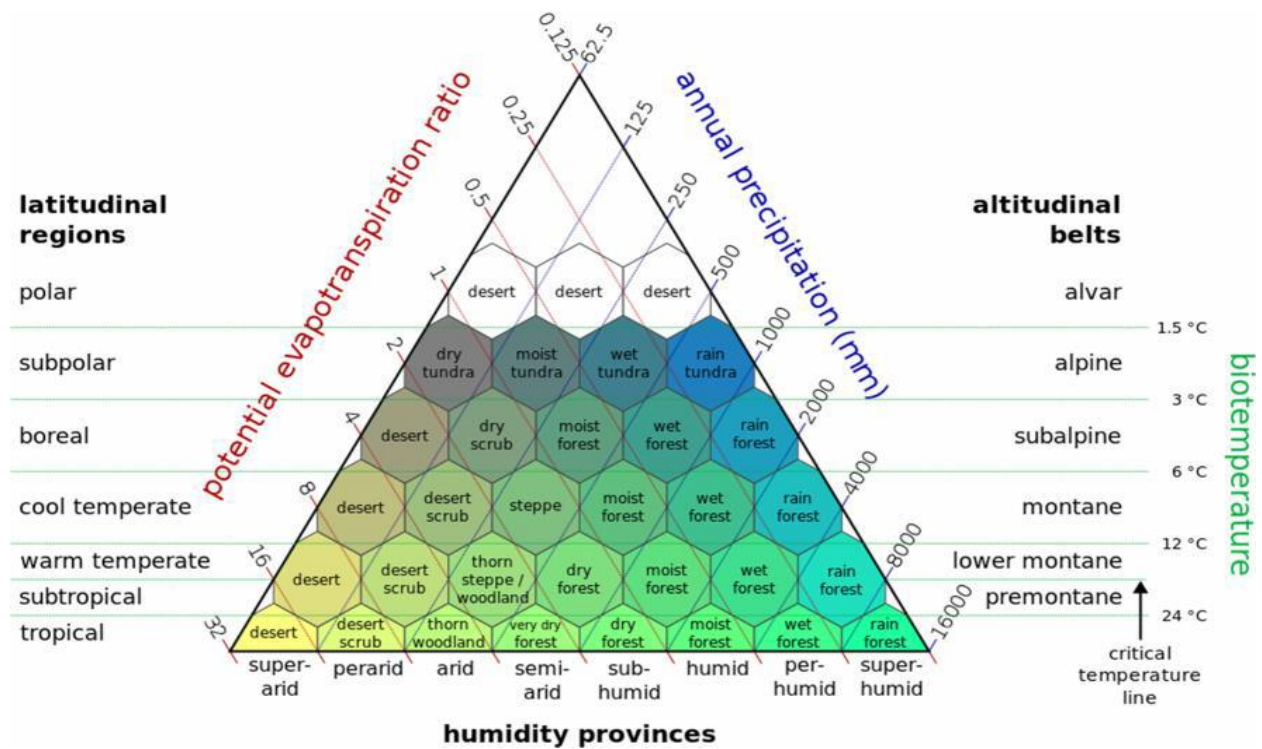
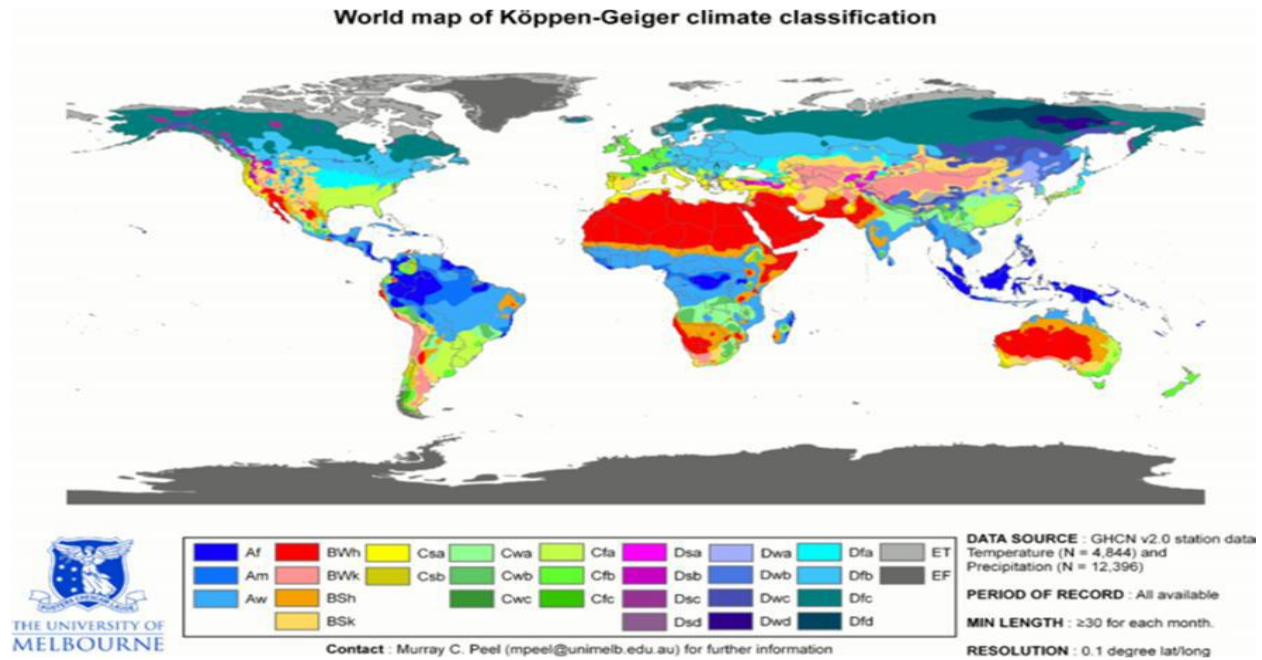
Provincia:	Loja	FECHA DE INGRESO:	01/07/2015
Cantón:	Loja	FECHA DE EGRESO:	28/09/2015
Parroquia:	Malacatos	Sector:	El Porvenir, La Trinidad
PROYECTO:	"Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) aplicados a la optimización del uso del agua, en el Sistema de Riego Campana Malacatos"		

1. RESULTADOS DE ANÁLISIS

Código de Laboratorio	Código de Campo	Saturación	Capacidad de Campo 1/10 atm.		Punto de Marchitez Permanente 15 atm.	Densidad Aparente (g/cm³)	Agua Aprovechable
			atm.	(% peso)			
613	Po 0-20cm	32,51	28,35	26,85	6,83	1,40	21,52
614	Po 20-40cm	32,88	28,71	26,40	6,89	1,41	21,82
615	Tri 0-20cm	26,87	20,99	18,50	6,25	1,51	14,74
616	Tri 20-40cm	22,13	18,37	15,84	4,02	1,65	14,35

Ing. Omar Ojeda Ochoa Mg. Sc
RESPONSABLE DEL LABORATORIO

Anexo 2. Clasificación del clima de Köppen y Clasificación de Holdridge.



Anexo 3. Datos de Riego y Drenaje registrados en el lisímetro norte.

Fecha	Drenaje (litros)	Riego (litros)
Viernes 08/07/2016	0	20
Martes 12/07/2016	19.20	20
Viernes 15/07/2016	13.65	20
Martes 19/07/2016	11.00	20
Viernes 22/07/2016	14.00	20
Martes 26/07/2016	7.10	20
Viernes 29/07/2016	8.00	15
Martes 02/08/2016	8.80	20
Viernes 05/08/2016	10.40	20
Martes 09/08/2016	12.15	20
Viernes 12/08/2016	6.15	20
Martes 16/08/2016	10.76	20
Viernes 19/08/2016	7.20	20
Martes 23/08/2016	8.00	15
Viernes 26/08/2016	2.73	20
Martes 30/08/2016	8.15	20
Viernes 02/09/2016	9.15	20
Martes 06/09/2016	19.10	15
Viernes 09/09/2016	7.68	20
Martes 13/09/2016	4.15	30
Viernes 16/09/2016	19.17	20
Martes 20/09/2016	9.00	10
Viernes 23/09/2016	2.80	10
Martes 27/09/2016	5.00	10
Viernes 30/09/2016	3.00	20
Martes 04/10/2016	11.00	15
Viernes 07/10/2016	3.33	15
Martes 11/10/2016	6.00	10

Anexo 4. Datos de Riego y Drenaje registrados en el lisímetro sur.

Fecha	Drenaje (litros)	Riego (litros)
Viernes 08/07/2016	0.00	20.00
Martes 12/07/2016	19.10	20
Viernes 15/07/2016	10.57	20
Martes 19/07/2016	8.85	20
Viernes 22/07/2016	13.00	20
Martes 26/07/2016	8.36	20
Viernes 29/07/2016	7.76	20
Martes 02/08/2016	8.00	15
Viernes 05/08/2016	9.06	20
Martes 09/08/2016	10.13	20
Viernes 12/08/2016	5.89	20
Martes 16/08/2016	10.28	20
Viernes 19/08/2016	6.00	20
Martes 23/08/2016	6.90	15
Viernes 26/08/2016	2.92	20
Martes 30/08/2016	8.00	20
Viernes 02/09/2016	9.50	20
Martes 06/09/2016	17.47	15
Viernes 09/09/2016	4.86	20
Martes 13/09/2016	3.50	30
Viernes 16/09/2016	12.30	20
Martes 20/09/2016	11.00	10
Viernes 23/09/2016	0.65	10
Martes 27/09/2016	1.17	10
Viernes 30/09/2016	7.00	20
Martes 04/10/2016	12.00	15
Viernes 07/10/2016	2.70	15
Martes 11/10/2016	4.00	10

Anexo 5. Datos de precipitación de la estación de Malacatos.

Día	Fecha	Precipitación	Precipitación	Peff
		cm3	mm	mm
VIERNES	08/07/2016	0	0.00	0
MARTES	12/07/2016	0	0.00	0
VIERNES	15/07/2016	0	0.00	0
MARTES	19/07/2016	0	0.00	0
VIERNES	22/07/2016	0	0.00	0
MARTES	26/07/2016	0	0.00	0
VIERNES	29/07/2016	0.8	0.00	0
MARTES	02/08/2016	50.2	0.23	0.2
VIERNES	05/08/2016	0	0.00	0
MARTES	09/08/2016	0	0.00	0
VIERNES	12/08/2016	1	0.00	0
MARTES	16/08/2016	0	0.00	0
VIERNES	19/08/2016	0	0.00	0
MARTES	23/08/2016	0	0.00	0
VIERNES	26/08/2016	0	0.00	0
MARTES	30/08/2016	0	0.00	0
VIERNES	02/09/2016	214.2	1.00	1
MARTES	06/09/2016	0	0.00	0
VIERNES	09/09/2016	0	0.00	0
MARTES	13/09/2016	0	0.00	0
VIERNES	16/09/2016	83.2	0.39	0.35
MARTES	20/09/2016	4.6	0.02	0
VIERNES	23/09/2016	0	0.00	0
MARTES	27/09/2016	0	0.00	0
VIERNES	30/09/2016	2.4	0.01	0
MARTES	04/10/2016	97.2	0.45	0.4
VIERNES	07/10/2016	0	0.00	0
MARTES	11/10/2016	123.6	0.58	0.55

Anexo 6. Datos de temperatura promedio, humedad, velocidad del viento e insolación de la estación Malacatos para el cálculo de la ETo.

Día	Fecha	Prom. Temp .	Humeda d	Vient o	Insolación
		°C	%	m/s	horas
VIERNES	08/07/2016	21.1	57	4	7
MARTES	12/07/2016	19.7	66	3	7
VIERNES	15/07/2016	18.7	70	4.3	6
MARTES	19/07/2016	18.7	68	2.6	5
VIERNES	22/07/2016	21	54	3.1	7
MARTES	26/07/2016	21.4	56	3.3	6
VIERNES	29/07/2016	17.4	82	1.6	6
MARTES	02/08/2016	20.8	52	5.8	7
VIERNES	05/08/2016	21.5	49	7.2	5
MARTES	09/08/2016	21	57	5.4	6
VIERNES	12/08/2016	21.2	55	5	6
MARTES	16/08/2016	20.9	59	4.5	7
VIERNES	19/08/2016	21.5	53	3.4	6
MARTES	23/08/2016	21.5	49	6.3	5.6
VIERNES	26/08/2016	19	56	2.3	5.6
MARTES	30/08/2016	19.9	65	3.5	7
VIERNES	02/09/2016	20.9	64	3.8	6.7
MARTES	06/09/2016	20.7	60	2.6	6.2
VIERNES	09/09/2016	19.4	55	4	7
MARTES	13/09/2016	20	61	5.4	5.9
VIERNES	16/09/2016	21.5	57	4.4	6.1
MARTES	20/09/2016	20.9	56	6.5	5.8
VIERNES	23/09/2016	19.8	62	5.4	7
MARTES	27/09/2016	20.4	60	7	6
VIERNES	30/09/2016	20	73	4.5	7
MARTES	04/10/2016	19.5	72	3.1	7
VIERNES	07/10/2016	20.9	72	5.9	7
MARTES	11/10/2016	19.6	80	2.3	6

Anexo 7. ETo calculada por el programa computacional Cropwat 8.0 de la FAO.

Día	Fecha	Prom. Temp	Humeda d	Vient o	Insolación	Rad	ETo
		°C	%	m/s	horas	MJ/m ² /día	mm/día
VIERNES	08/07/2016	21.1	57	4	7	20	5.15
MARTES	12/07/2016	19.7	66	3	7	20	4.26
VIERNES	15/07/2016	18.7	70	4.3	6	18.5	4
MARTES	19/07/2016	18.7	68	2.6	5	17	3.65
VIERNES	22/07/2016	21	54	3.1	7	20.1	4.98
MARTES	26/07/2016	21.4	56	3.3	6	18.5	4.86
VIERNES	29/07/2016	17.4	82	1.6	6	18.6	3.18
MARTES	02/08/2016	20.8	52	5.8	7	20.1	5.97
VIERNES	05/08/2016	21.5	49	7.2	5	17	6.51
MARTES	09/08/2016	21	57	5.4	6	18.6	5.4
VIERNES	12/08/2016	21.2	55	5	6	18.6	5.47
MARTES	16/08/2016	20.9	59	4.5	7	20.1	5.17
VIERNES	19/08/2016	21.5	53	3.4	6	18.6	5.07
MARTES	23/08/2016	21.5	49	6.3	5.6	18	6.32
VIERNES	26/08/2016	19	56	2.3	5.6	18	4.13
MARTES	30/08/2016	19.9	65	3.5	7	20.2	4.47
VIERNES	02/09/2016	20.9	64	3.8	6.7	19.8	4.68
MARTES	06/09/2016	20.7	60	2.6	6.2	19	4.41
VIERNES	09/09/2016	19.4	55	4	7	20.3	5.03
MARTES	13/09/2016	20	61	5.4	5.9	18.6	4.96
VIERNES	16/09/2016	21.5	57	4.4	6.1	18.9	5.24
MARTES	20/09/2016	20.9	56	6.5	5.8	18.4	5.73
VIERNES	23/09/2016	19.8	62	5.4	7	20.3	5.02
MARTES	27/09/2016	20.4	60	7	6	18.8	5.45
VIERNES	30/09/2016	20	73	4.5	7	20.3	4.23
MARTES	04/10/2016	19.5	72	3.1	7	20.4	4.06
VIERNES	07/10/2016	20.9	72	5.9	7	20.4	4.57
MARTES	11/10/2016	19.6	80	2.3	6	18.8	3.51

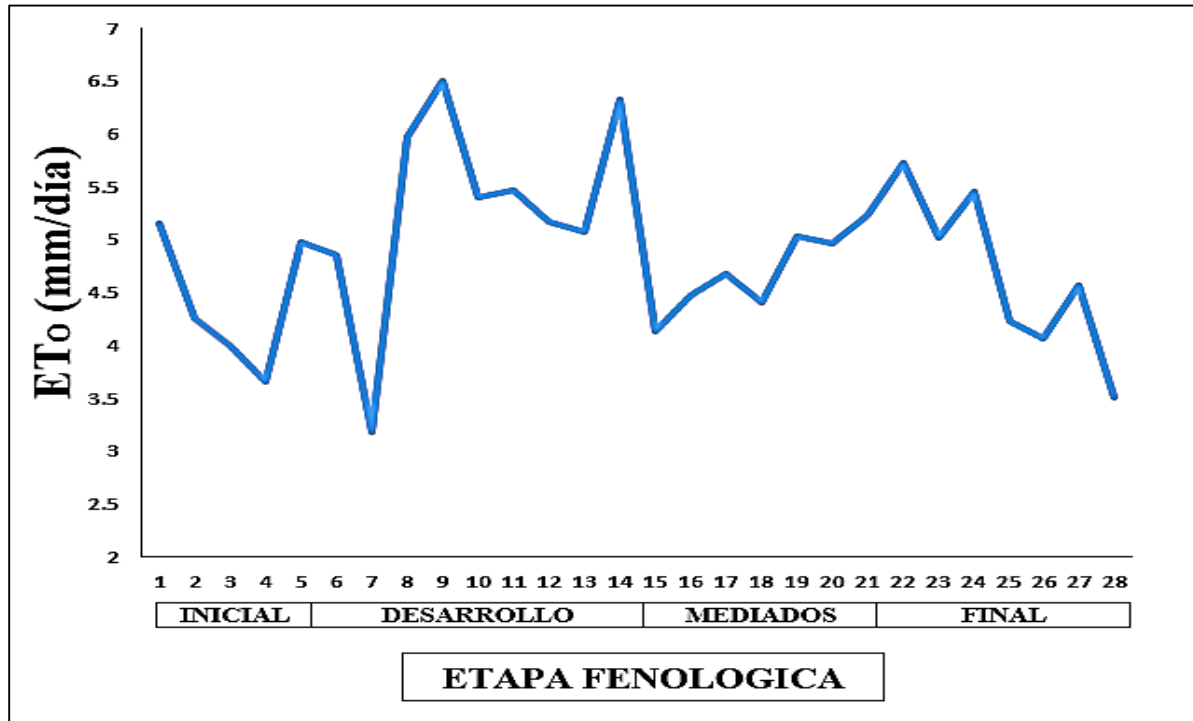
Anexo 8. Datos para el cálculo de la ETc.

ETAPA FENOLOGICA	FECHA	ETc NORTE (mm/día)	ETc SUR (mm/día)	ETc (mm/día)
FASE INICIAL	Viernes 08/07/2016	0.33	0.36	0.35
	Martes 12/07/2016	2.12	3.14	2.63
	Viernes 15/07/2016	2.25	2.79	2.52
	Martes 19/07/2016	2.00	2.33	2.17
	Viernes 22/07/2016	3.23	2.91	3.07
FASE DE DESARROLLO	Martes 26/07/2016	4.00	4.08	4.04
	Viernes 29/07/2016	1.55	3.00	2.28
	Martes 02/08/2016	3.28	2.06	2.67
	Viernes 05/08/2016	1.96	2.47	2.22
	Martes 09/08/2016	4.62	4.70	4.66
	Viernes 12/08/2016	2.31	2.43	2.37
	Martes 16/08/2016	4.27	4.67	4.47
	Viernes 19/08/2016	3.00	3.28	3.14
	Martes 23/08/2016	4.09	4.03	4.06
Viernes 26/08/2016	2.96	3.00	2.98	
FASE MEDIADOS DE DESARROLLO	Martes 30/08/2016	3.62	3.50	3.56
	Viernes 02/09/2016	0.48	0.88	0.68
	Martes 06/09/2016	2.44	3.38	2.91
	Viernes 09/09/2016	3.96	4.13	4.04
	Martes 13/09/2016	3.61	5.90	4.76
FASE FINAL	Viernes 16/09/2016	2.85	2.35	2.60
	Martes 20/09/2016	2.41	3.12	2.77
	Viernes 23/09/2016	1.25	2.21	1.73
	Martes 27/09/2016	2.33	1.00	1.67
	Viernes 30/09/2016	2.40	2.15	2.28
	Martes 04/10/2016	4.04	4.25	4.15
	Viernes 07/10/2016	2.25	2.75	2.50
Martes 11/10/2016	3.53	3.53	3.53	

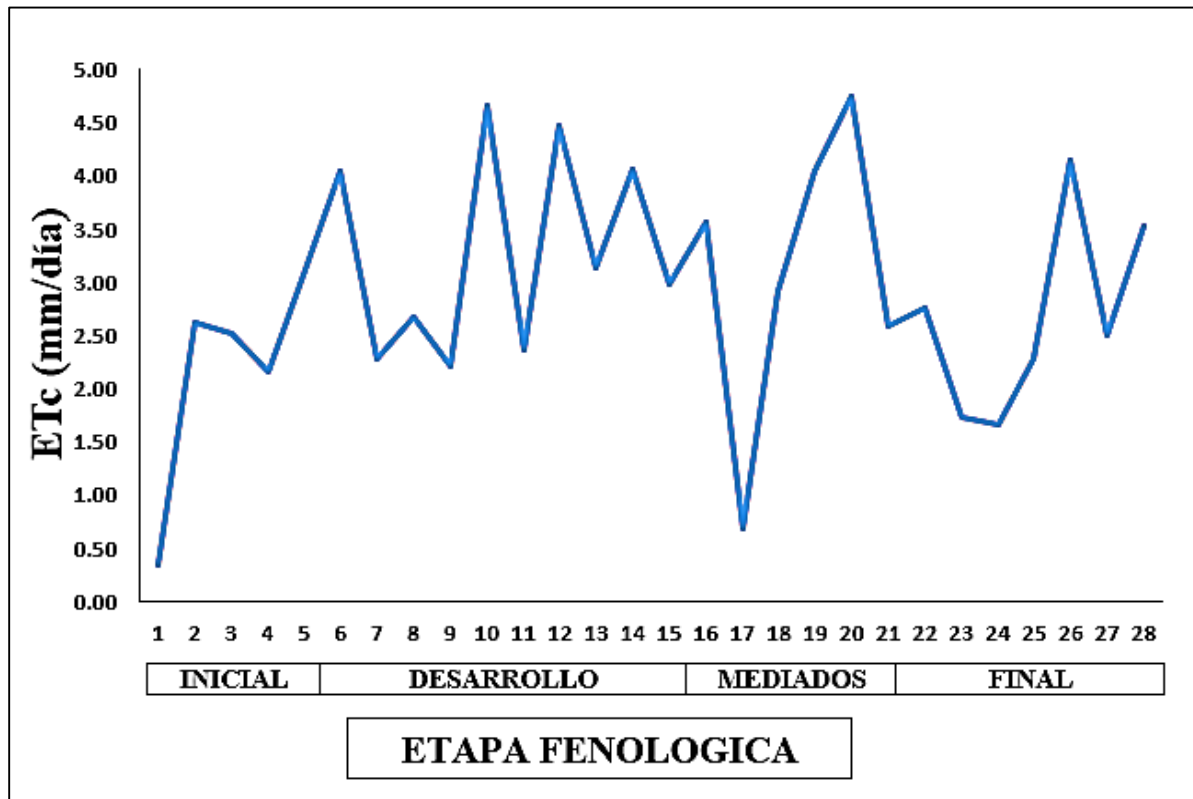
Anexo 9. Datos para el cálculo del Kc.

DÍA	FECHA	FASE FENOLÓGICA	DÍAS DURACIÓN DE LA FASE	DÍAS CICLO DEL CULTIVO	ETc		Kc
					PROM. mm/día	ETo mm/día	
VIERNES	08/07/2016	FASE INICIAL (FASE 1)	18	18	0.35	5.15	0.07
MARTES	12/07/2016				2.63	4.26	0.62
VIERNES	15/07/2016				2.52	4	0.63
MARTES	19/07/2016				2.17	3.65	0.59
VIERNES	22/07/2016				3.07	4.98	0.62
MARTES	26/07/2016	FASE DE DESARROLLO (FASE2)	31	49	4.04	4.86	0.83
VIERNES	29/07/2016				2.28	3.18	0.72
MARTES	02/08/2016				2.67	5.97	0.45
VIERNES	05/08/2016				2.22	6.51	0.34
MARTES	09/08/2016				4.66	5.4	0.86
VIERNES	12/08/2016				2.37	5.47	0.43
MARTES	16/08/2016				4.47	5.17	0.86
VIERNES	19/08/2016				3.14	5.07	0.62
MARTES	23/08/2016				4.06	6.32	0.64
VIERNES	26/08/2016				2.98	4.13	0.72
MARTES	30/08/2016	FASE DE MEDIADOS DE DESARROLLO (FASE3)	24	73	3.56	4.47	0.80
VIERNES	02/09/2016				0.68	4.68	0.15
MARTES	06/09/2016				2.91	4.41	0.66
VIERNES	09/09/2016				4.04	5.03	0.80
MARTES	13/09/2016				4.76	4.96	0.96
VIERNES	16/09/2016	2.60	5.24	0.50			
MARTES	20/09/2016	FASE FINAL(FASE 4)	22	95	2.77	5.73	0.48
VIERNES	23/09/2016				1.73	5.02	0.34
MARTES	27/09/2016				1.67	5.45	0.31
VIERNES	30/09/2016				2.28	4.23	0.54
MARTES	04/10/2016				4.15	4.06	1.02
VIERNES	07/10/2016				2.50	4.57	0.55
MARTES	11/10/2016				3.53	3.51	1.00

Anexo 10. Gráfica de la evapotranspiración de referencia (ETo).



Anexo 11. Gráfica de la evapotranspiración del cultivo de pepino (ETc)



Anexo 12. Producción total del cultivo de pepino en Ton/ha.

Plantas	Lisímetro Norte	Lisímetro Sur
	Peso de frutos	Peso de frutos
Planta 1	666.8	1132.9
Planta 2	843.3	1777.2
Planta 3	1146.3	818.8
Planta 4	826.7	823.8
Total (gr/m2)	3483.1	4552.7
Total (kg/m2)	3.4831	4.5527
Total (kg/ha)	34831	45527
Total (ton/ha)	34.831	45.527
Total promedio (ton/ha)	40.179	

Anexo 13. Longitud del fruto de pepino por planta.

Plantas	Lisímetro Norte	Lisímetro Sur
	Longitud de frutos	Longitud de frutos
Planta 1	20	24
Planta 2	23	22
Planta 3	22	20
Planta 4	20	23
Promedio	21.25	22.25
Promedio Total	21.75	

Anexo 14. Numero de frutos de pepino por planta.

Plantas	Lisímetro Norte	Lisímetro Sur
	N° de frutos	N° de frutos
Planta 1	2	3
Planta 2	2	4
Planta 3	3	2
Planta 4	2	2
Promedio	2	3
Promedio Total	3	

Anexo 15. Cálculo del IRReq promedio por etapa.

FECHA	Etc (mm/día)	Peff (mm)	IRReq (mm)	IRReq prom etapa
Viernes 08/07/2016	0.35	0	0.35	
Martes 12/07/2016	2.63	0	2.63	
Viernes 15/07/2016	2.52	0	2.52	2.15
Martes 19/07/2016	2.17	0	2.17	
Viernes 22/07/2016	3.07	0	3.07	
Martes 26/07/2016	4.04	0	4.04	
Viernes 29/07/2016	2.28	0	2.28	
martes 02/08/2016	2.67	0.2	2.47	
Viernes 05/08/2016	2.22	0	2.22	
martes 09/08/2016	4.66	0	4.66	3.27
Viernes 12/08/2016	2.37	0	2.37	
martes 16/08/2016	4.47	0	4.47	
Viernes 19/08/2016	3.14	0	3.14	
martes 23/08/2016	4.06	0	4.06	
Viernes 26/08/2016	2.98	0	2.98	
martes 30/08/2016	3.56	0	3.56	
Viernes 02/09/2016	0.68	0	0.68	
martes 06/09/2016	2.91	0	2.91	3.03
Viernes 09/09/2016	4.04	0	4.04	
martes 13/09/2016	4.76	0	4.76	
Viernes 16/09/2016	2.60	0.35	2.25	
martes 20/09/2016	2.77	0	2.77	
Viernes 23/09/2016	1.73	0	1.73	
martes 27/09/2016	1.67	0	1.67	
Viernes 30/09/2016	2.28	0	2.28	2.52
martes 04/09/2016	4.15	0.4	3.75	
Viernes 07/09/2016	2.50	0	2.50	
martes 11/09/2016	3.53	0.55	2.98	

Anexo 16. Preparación del sitio para la investigación.



Anexo 17. Lisímetros calibrados.



Anexo 18. Siembra del cultivo de pepino.



Anexo 19. Riego del cultivo de pepino.



Anexo 20. Fruto del cultivo.

