

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**Evapotranspiración del cultivo para calcular la demanda de
agua del tomate (*Lycopersicum esculentum*) en condición de
invernadero y campo abierto a 2760 msnm – Ayacucho**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGRÍCOLA

PRESENTADO POR:

Juan Agripino Ortiz Palomino

Ayacucho – Perú

2018

Quiero dedicar esta tesis a mi querida madre, Victoria Palomino Huacre, porque ella ha dado razón a mi vida, por sus consejos, su apoyo incondicional y su paciencia, todo lo que hoy soy es gracias a ella.

A mis hermanos Elizabeth, Romulo, Galva y luz que más que hermanos son mis amigos.

A toda mi familia que es lo mejor y más valioso que Dios me ha dado.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga alma mater de la educación universitaria.

A la Facultad de Ciencias Agrarias, Escuela de Ingeniería Agrícola por acogerme durante mi permanencia universitaria.

Al Ing. Herbert Núñez Alfaro asesor del presente trabajo por su apoyo constante e impulso para la culminación de la tesis.

A mi querida y adorada madre que me impulsó al estudio constante y a la superación personal y a todos mis amigos que de una u otra manera me han colaborado en forma desinteresada a la realización del presente trabajo de investigación.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO.....	III
ÍNDICE GENERAL.....	IV-V
ÍNDICE DE TABLAS	VI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VII
ÍNDICE DE ANEXOS.....	VIII
ÍNDICE DE FORMULAS	IX
RESUMEN.....	X
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I.....	2
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	2
1.1 Evapotranspiración del cultivo (ET_c).....	2
1.1.1 Evaporación (E).....	2
1.1.2 Transpiración (T).....	2
1.1.3 La Evapotranspiración (ET).....	3
1.2 Invernaderos.....	10
1.3 Método del tanque evaporímetro	10
1.3.1 Descripción del tanque Clase A	10
1.3.2 Tanque evaporímetro.....	11
1.3.3 Coeficiente del tanque evaporímetro (K_p).....	11
1.3.4 Consumo de agua por los cultivos.....	16
1.3.5 Productividad del agua en la agricultura	16
1.3.6 Productividad del agua en el cultivo de tomate.....	16
1.3.7 Requerimiento de clima y suelo	17
1.3.8 Etapas de crecimiento del cultivo.....	21
1.4 Cultivo de tomate	22
1.5 Cultivo de tomate en Perú.....	23
1.5.1 Cultivo de tomate en invernadero.....	24
1.5.2 Clasificación taxonómica	24
1.5.3 morfología.	24
1.6 Requisitos edáficos.....	27
1.7 Labores agronómicas	31
1.8 Abonamiento y fertilización.....	33
CAPITULO II	36
MATERIALES Y MÉTODOS	36
2.1 MATERIALES	36
2.1.1 Ubicación del estudio	36
2.1.2 Coordenadas UTM	36
2.1.3 Unidad experimental	38
2.1.3.1 instalación de un invernadero	38

2.1.3.2 Instalación meteorológica.....	39
2.1.3.3 instalación de los tratamientos.....	41
2.1.3.4 Características del suelo	41
2.1.3.5 Análisis químico y físico del suelo.....	41
2.1.3.6 Registro meteorológico	44
2.1.3.7 Material Genético (Semilla)	44
2.1.3.8 Siembra.....	45
2.1.3.9 Trasplante	45
2.1.3.10 Sistema de riego	46
2.1.3.11 Etapa de crecimiento del cultivo de tomate.....	47
2.2 METODOLOGÍA	48
2.2.1 Medición de la (ET_o)	48
2.2.2 Medición del coeficiente del cultivo (k_c)	49
2.2.3 Medición del cultivo (ET_c)	50
2.2.4 Lamina de Riego:	50
2.2.5 Volumen m ³	50
2.2.6 Tiempo de riego.....	51
2.2.7 Caudal de ingreso	51
2.2.8 Etapas	51
2.2.8.1 Etapa inicial del cultivo de tomate	51
2.2.8.2 Etapa de desarrollo del cultivo	52
2.2.8.3 Etapa de mediados de temporada	52
2.2.8.4 Etapa de finales de temporada.....	53
CAPITULO III.....	54
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	54
3.1 Determinación de la evapotranspiración potencial del cultivo de referencia (ET_o).....	54
3.1.1 Etapas de crecimiento del cultivo de tomate	55
3.2 Evapotranspiración del cultivo (ET_c).....	56
3.3 Lámina de riego (L_r)	58
3.4 Programación de riego	59
CONCLUSIONES	62
RECOMENDACIONES	62
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63
ANEXO.....	67
PANEL FOTOGRÁFICO	67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. 1: valores del coeficiente del Kp	13
Tabla 1.2 Composición química del tomate	22
Tabla 1. 3: taxonomía de lo cultivo de tomate	24
Tabla 1.4: Determinación de las temperaturas del cultivo de tomate	29
Tabla 2.1: características físicas – químicas del suelo.	42
Tabla 2.2: temperaturas dentro y fuera del invernadero.	44
Tabla 3.1: Resultados de la evapotranspiración de referencia (ET_o) $mm.d^{-1}$	54
Tabla 3.2: Resultados de la evapotranspiración ET_o a campo abierto.....	55
Tabla 3.3: periodo vegetativo del tomate.....	56
Tabla 3.4: Valores de la ET_c . en condición de invernadero.....	57
Tabla 3.5: Valores de la ET_c mensual a campo abierto.....	58
Tabla 3.6: Lámina de riego dentro del invernadero.....	58
Tabla 3.7: Lámina de riego a campo abierto.....	59
Tabla 3.8: Programación de riego en condición de invernadero.....	60
Tabla 3.9: Programación de riego a campo abierto.....	61

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Representación de la estoma del tejido vegetal	3
Figura 1.2: evapotranspiración del cultivo	3
Figura 1.3: pérdidas de agua por transpiración, evaporación y escorrentía	9
Figura 1. 4: Localización del tanque clase A (FAO Riego y Drenaje N° 24)	12
Figura 1. 5: Tanque evaporímetro clase A	15
Figura 2.1: Ubicación y localización del trabajo de investigación.....	37
Figura 2.2: instalación del invernadero	38
Figura 2.3: sistema de riego por goteo.....	39
Figura 2.4: instalación del tanque evaporímetro clase A.	39
Figura 2.5: instalación de pluviómetro interior y exterior.....	40
Figura 2.6: instalación de termómetros digital.....	40
Figura 2.7: ubicación de las macetas.....	41
Figura 2.8: Almacigo de plántulas de tomate en cajas almacigueras.....	45
Figura 2.9: Trasplante del cultivo de tomate.	45
Figura 2.10: Funcionamientos del sistema de riego.	46
Figura 2.11: Mediciones del cultivo de tomate.....	49
Figura 2.12: Desde el trasplante hasta 10% de cobertura	51
Figura 2.13: Desde los 35 días a los 75 días, inicio de floración.	52
Figura 2.14: Desde 75 a 125 días, inicio de coagulación de los frutos.	52
Figura 2.15: Maduración de los tomates	53
Figura 3.1: periodo vegetativo del tomate.....	56

ÍNDICE DE ANEXOS

Fotografía 1. 1 Área de ubicación de la investigación	67
Fotografía 1. 2 Instalación de las macetas dentro del tinglado	67
Fotografía 1. 3 Plántulas de tomate en cajas almacigueras	67
Fotografía 1. 4 Instalación de las mangueras de riego	68
Fotografía 1. 5 Instalación del pluviómetro dentro y fuera del tinglado	68
Fotografía 1. 6 Riego por goteo dentro del tinglado	68
Fotografía 1. 7 Medición del ancho y altura del follaje del tomate	69
Fotografía 1. 8 Medición del tanque evaporímetro clase “A” diario	69
Fotografía 1. 9 Fase inicial de crecimiento	69
Fotografía 1. 10 Fase inicial de crecimiento	70
Fotografía 1. 11 Fase de desarrollo del cultivo de tomate	70
Fotografía 1. 12 Inicio de floración del cultivo de tomate	70
Fotografía 1. 13 Inicio de floración del cultivo de tomate	71
Fotografía 1. 14 Fase de floración	71
Fotografía 1. 15 Fase de fructificación de los tomates	71
Fotografía 1. 16 Fase de maduración de los tomates	72
Fotografía 1. 17 Maduración de los tomates en exterior del invernadero	72
Fotografía 1. 18 Fase de maduración y cosecha de los tomates	72

ÍNDICE DE FORMULAS

Ecuación 1. Evapotranspiración del cultivo (ET_c).....	5
Ecuación 2. Fracción del área sombreada	6
Ecuación 3. Aljibury et al	6
Ecuación 4. Decroix:	6
Ecuación 5. Hoare et al:	6
Ecuación 6. Keller:	7
Ecuación 7. De la evapotranspiración de referencia (ET_o).....	11
Ecuación 8. Coeficiente del tanque evaporímetro.	14

RESUMEN

La investigación se realizó en las instalaciones del Programa de Pastos y Ganadería de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga a 2760 msnm. El cual se inició a partir del 18 de junio al 10 de noviembre del año 2016. En donde se determinó la evapotranspiración del cultivo de tomate (ET_c) en condición de invernadero y a campo abierto. Evaluando la evapotranspiración de referencia mediante el método del tanque evaporímetro clase A.

Se obtuvieron la evapotranspiración del cultivo de tomate en condición de invernadero el cual varia de 0.58 mm. d^{-1} a 1.77 mm. d^{-1} y a campo abierto de 1.01 mm. d^{-1} a 3.33 mm. d^{-1} . Asimismo, se determinó el consumo de agua del cultivo de tomate durante el periodo vegetativo.

Las láminas de riego del cultivo de tomate en condiciones de invernadero varían de 0.55 mm. d^{-1} a 1.68 mm. d^{-1} y en condición natural de 1 mm. d^{-1} a 3.2 mm. d^{-1} . El tiempo de riego del cultivo de tomate en condición de invernadero varía de 10 minutos a 1 hora con 28 minutos y a campo abierto de, 31 minutos a 2 horas con 34 minutos.

El consumo de agua total en condición de invernadero es de 2,321.1 $m^3 \cdot ha^{-1}$, por campaña. Y a campo abierto es de 3040.5 $m^3 \cdot ha^{-1}$ - campaña.

Palabras claves:

Evaporación, transpiración, evapotranspiración y lámina de riego

INTRODUCCIÓN

En un sesenta y seis por ciento del agua total de la superficie de la tierra es utilizado en la actividad agrícola, donde la mayor cantidad es utiliza en las zonas áridas y semiáridas con fuertes desarrollos agrícolas. En un futuro próximo la mayor necesidad de alimentos se incrementará con el aumento de la población mundial y con la mejora de su calidad de vida, esto nos conducirá a una mayor demanda de agua para regar los cultivos y también aumentará la competencia por el escaso recurso del agua. (Fernández M. 2000).

El método más eficaz para alcanzar resultados en la producción agrícola es el uso de invernaderos, donde nos garantiza una producción de cultivos durante todo el año y con alto rendimiento, donde la producción de los cultivos es mucho mejor que el sistema tradicional. (Rosegrant et al., 2007).

En Almería, España se hizo una investigación sobre la evapotranspiración del cultivo de tomate, con el método del tanque evaporímetro clase A, tomando como referencia se ha planteado el presente trabajo de investigación con la finalidad de alcanzar los siguientes objetivos:

Objetivo General

Determinar la evapotranspiración del cultivo, para calcular la demanda de agua en tomate (*Lycopersicum esculentum*) en condiciones de invernadero y a campo abierto a 2760 msnm. – Ayacucho.

Objetivos específicos

1. Determinar la evapotranspiración del cultivo (ETc) al interior y exterior de un invernadero del cultivo de tomate. mediante el método indirecto.
2. Determinar lámina y programación de riego del cultivo de tomate (*Lycopersicum esculentum*), en condiciones de invernadero y a campo abierto.

CAPITULO I

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 Evapotranspiración del cultivo (ET_c)

1.1.1 Evaporación (E)

La evaporación es un proceso físico que consiste en la evaporación del agua de superficie externa del suelo hacia la atmósfera en forma de vapor (Allen et al., 1998). El reemplazo del aire saturado por un aire más seco depende de la velocidad del viento.

Donde una hectárea es $10\,000\text{ m}^2$ y 1 mm. es a 0,001 m, por lo tanto, una pérdida de 1 mm. de agua corresponde a una pérdida de 10 m^3 de agua por hectárea de superficie. ósea 1 mm. d^{-1} es equivalente a $10\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}\text{ d}^{-1}$. (FAO, 2006).

1.1.2 Transpiración (T)

La transpiración de los cultivos consiste en la vaporización del agua líquida, que se encuentra en los tejidos de la planta.

los cultivos pierden agua a través de las estomas, donde son pequeñas aberturas que se encuentran en las hojas de las plantas y a través del cual ingresan los gases a los cultivos y simultáneamente el vapor de agua sale a la atmosfera.

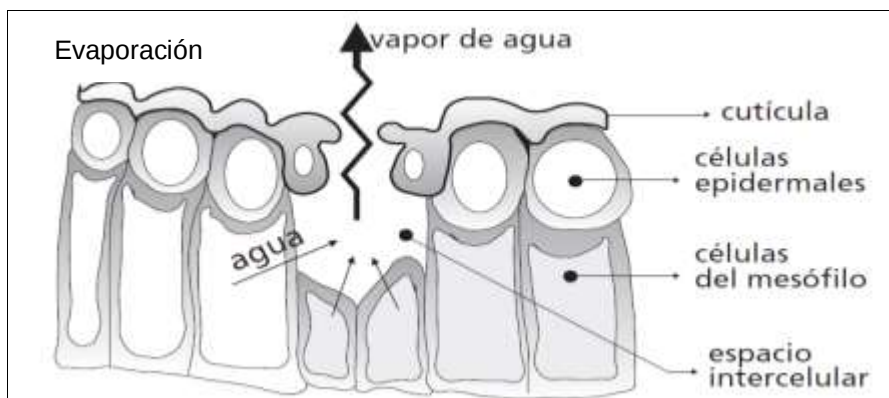


Figura 1.1: Representación de la estoma del tejido vegetal

Fuente: (FAO,2006)

Según Pizarro F. (1996), La transpiración de la planta es la transferencia del agua del suelo a través de las raíces de los cultivos, es decir, la transpiración es la responsable de los déficits hídricos.

1.1.3 La Evapotranspiración (ET)

La evaporación, y la transpiración ocurren simultáneamente sin distinguir entre estos dos procesos.

En las primeras etapas del cultivo el agua se pierde por evaporación.

En la siembra, el 100% de la evapotranspiración (ET) ocurre en forma de evaporación del suelo limpio, una vez cubierto el área por las plantas el 90% de la ET se convierte en transpiración. (FAO, 2006)

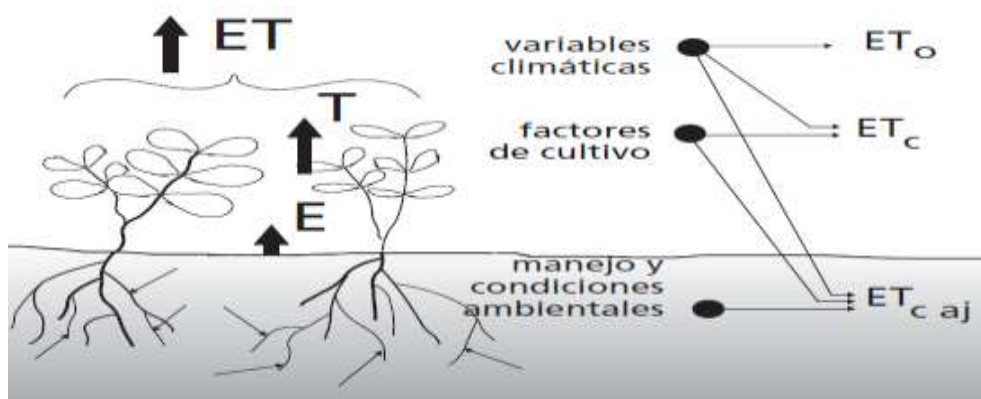


Figura 1.2: evapotranspiración del cultivo

Fuente: (FAO, 2006)

1.1.3.1 Evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_0)

La evapotranspiración de referencia, ocurre sin limitaciones del recurso hídrico, La superficie de referencia corresponde a un cultivo hipotético de pasto con características específicas.

Al relacionar la ET a una superficie específica permite contar con una referencia a la cual se puede relacionar la ET de otras superficies. Se pueden comparar valores medidos o estimados de ET_0 en diferentes localidades o en diferentes épocas del año. (FAO, 2006)

Cuando el cultivo cubre totalmente al suelo, la transpiración se convierte en el proceso principal. Al momento de la siembra, en un 100% de la ET ocurre en forma de evaporación, y cuando la cobertura vegetal está completa, más del 90% de la ET ocurre como transpiración. La evapotranspiración se expresa en milímetros (mm) por unidad de tiempo. Esta unidad expresa la cantidad de agua perdida de una superficie cultivada.

La evapotranspiración de referencia, sirve para calcular la cantidad de agua que se pierde a través de la evaporación y la transpiración que ocurre en la superficie del suelo, independientemente sin distinción del tipo de cultivo y de su desarrollo, y de las prácticas de manejo. Los factores del suelo no tienen ningún efecto sobre la ET. Se pueden comparar valores medidos o estimados de ET_0 en diferentes localidades o en diferentes épocas del año, debido a que se hace referencia a ET bajo la misma superficie de referencia. (Shuttleworth W.J., 1993).

Los únicos factores que afectan ET_0 son los parámetros climáticos. Por lo tanto, ET_0 es también un parámetro climático que puede ser calculado a partir de datos meteorológicos.

Las evapotranspiraciones de referencia pueden ser calculado a partir de datos meteorológicos.

El cultivo de referencia es un cultivo hipotético con una altura asumida de 0,12 m, con una resistencia superficial de 70 s m^{-1} y un albedo de 0,23 y que representa a la evapotranspiración de una superficie extensa de pasto verde de altura uniforme.

1.1.3.2 Evapotranspiración del cultivo en condiciones estándar (ET_c)

La evapotranspiración bajo condiciones estándar se denomina a cualquier cultivo que se encuentra libre de enfermedades, con buena fertilización y que se desarrolla en parcelas amplias, bajo óptimas condiciones de suelo y agua.

La cantidad de agua requerida para compensar la pérdida por evapotranspiración del cultivo se define como necesidades de agua del cultivo.

Los valores de la evapotranspiración del cultivo y de las necesidades de agua del cultivo son parecidos, pero sus definiciones son muy diferentes. Las necesidades de agua del cultivo se refieren a la cantidad de agua que necesita el cultivo, mientras que la evapotranspiración del cultivo se refiere a la cantidad de agua perdida a través de la evapotranspiración.

La evapotranspiración del cultivo es calculada a partir de datos climáticos y los factores de la resistencia del cultivo, el método de Penman-Monteith se utiliza solo para la estimación de la tasa de evapotranspiración del cultivo estándar de referencia (ET_0). La relación ET_c/ET_0 que puede ser determinada experimentalmente para diferentes cultivos y es conocida como Coeficiente del Cultivo (K_c), y se utiliza para relacionar ET_c a ET_0 .

Ecuación 1. Evapotranspiración del cultivo (ET_c)

$$ET_c = ET_0 \times K_c \dots \dots \dots (1)$$

Donde:

ET_c : Evapotranspiración del cultivo, (mm, d^{-1})

ET_0 : Evapotranspiración de referencia, (mm, d^{-1})

K_c : Coeficiente del cultivo

La evapotranspiración de cualquier cultivo es cuando se encuentra libre de enfermedades, con buena fertilización y que se desarrolla en parcelas amplias, bajo óptimas condiciones de suelo y agua, (Alves. 1995).

1.1.3.3 Evapotranspiración bajo condiciones no estándar (ET_c aj)

Son cultivos que crecen en condiciones no adecuados, la evapotranspiración real del cultivo puede desviarse, debido a las condiciones no optimas por presencia de plagas y enfermedades, baja fertilidad del suelo (FAO, 2006)

1.1.3.4 Factores de corrección

a. Efecto de localización

Se han propuesto muchos procedimientos, para la corrección de la ET_c , como es así uno de ellos es por efecto de localización, como puede ser el efecto del área sombreada por el cultivo, a la que denominamos A y se define como la fracción del área de la superficie del suelo sombreada por total.

Ecuación 2. Fracción del área sombreada

$$A = (\pi r^2/4) \dots \dots \dots (2)$$

Estos métodos suponen que a efectos de efectos de evapotranspiración el área sombreada se comporta casi igual que la superficie del suelo en riesgo no localizados, mientras que el área no sombreado elimina agua con una intensidad mucho menor. Con objeto de homogenizar la presentación de los métodos se ha modificado ligeramente las fórmulas originales, de tal manera que el efecto de corrección es la multiplicación de la ET_c por un coeficiente de localización K_l , cuyo valor depende del área (A), la relación entre K_l y A, obteniendo las fórmulas siguientes.

Ecuación 3. Aljibury et al

$$\text{Aljibury et al:} \quad K_l = 1.34A \dots \dots \dots (3)$$

Ecuación 4. Decroix:

$$\text{Decroix:} \quad K_l = 0.1 + A \dots \dots \dots (4)$$

Ecuación 5. Hoare et al:

Hoare et al: $Kl = A + 0.5(1-A)$(5)

Ecuación 6. Keller:

Keller: $Kl = A + 0.15(1-A)$(6)

En la realidad la aplicación de la fórmula se limita a valores de A inferiores a 0,75 – 0,80. Así mismo en el caso de ausencia de cultivo ($A=0$), en algunos casos los valores nulos de Kl lo que no tiene significado agronómico. Por lo tanto, la fórmula de Hoare se podría simplificar matemáticamente, el $Kl = 0.5(1+A)$; sin embargo, vemos más ilustrativos presentarla como: $Kl = A + 0.5(1-A)$ por que muestra la distinta intensidad con que intervienen en Kl la parte sombreada (A) y la no sombreada (1-A), igual ocurre con la fórmula de Keller.

b. Corrección por condiciones locales

} Variación climática

Es cuando el ETo utilizada en el cálculo equivale al valor medio del periodo estudiado, debe mayorarse multiplicando por un coeficiente, esto dando de varios factores como son cantidad de humedad del suelo, donde el coeficiente de mayoración del volumen de suelo mojado es reducido por tanto los coeficientes siempre son elevados, adoptados el criterio de Hernández Abreu de aplicar siempre un coeficiente comprendido entre 1.15 y 1.20.

} Variación por advección

La corrección a aplicar depende del tamaño de la zona de riego, según la FAO en el caso del factor de advección es un factor de 0,9.

1.1.3.5 Factores que determinan la evapotranspiración (ET)

Los factores que determinan la evapotranspiración son los componentes que proporcionan energía para la vaporización y luego extraen vapor de agua de la superficie del suelo. Los principales parámetros meteorológicos son los siguientes.

a) Radiación solar

La radiación solar es la cantidad de energía disponible para evaporar el agua. Como también es la principal fuente de energía que puede cambiar de líquida a vapor de agua.

b) Temperatura del aire

La radiación solar absorbida por la atmósfera y el calor emitido por la tierra elevan la temperatura del aire. El calor sensible del aire circundante transfiere energía al cultivo y ejerce un control en la evapotranspiración.

c) Velocidad del viento

Cuando se satura el aire gradualmente con vapor es sustituido por aire más seco por lo cual el vapor de agua de la tasa disminuye.

d) Clima

Las condiciones de la atmósfera son los que influyen sobre una determinada zona. El clima es vincula a la temperatura y al registro de precipitaciones (lluvia, nieve, ET_c). (Pérez y Gardey, 2009).

e) Factores de cultivos

Al momento de calcular la evapotranspiración deben ser considerados el tipo de cultivo, La variedad y las etapas de desarrollo de los cultivos, La evapotranspiración del cultivo (ET_c) bajo condiciones estándares se refiere a la demanda de evaporación.

f) Factores biológicos

A medida que el cultivo se desarrolla, también aumenta la transpiración de los cultivos. El efecto de la altura del cultivo en la ET , está implícitamente considerado en las definiciones de ET_o y ET_r , al referirse ambas a una masa vegetal verde que cubre íntegramente el terreno y de reducida altura. Con un criterio estrictamente físico, el aumento de altura del cultivo afecta al intercambio de energía y a la capacidad de almacenar y transmitir calor.

La evapotranspiración (ET) está asimismo regulada por el mecanismo de abertura de las estomas, que controlan en gran parte el volumen de transferencia de vapor de agua entre los tejidos vegetales y el aire. Las estomas constituyen la resistencia principal al flujo de evaporación de agua por las hojas y al mismo tiempo la puerta de entrada del CO_2 atmosférico.

g) Factores ambientales

Los factores ambientales como la salinidad, fertilidad del suelo, el uso limitado de fertilizantes y la presencia de horizontes impermeables del suelo, ausencia del control de enfermedades y el mal manejo del suelo limitan el desarrollo de las plantas. También existen otros factores de importancia como la cubierta del suelo, la densidad del cultivo y el contenido del agua del suelo. Por otra parte, el exceso de agua en el suelo puede dañar el sistema radicular de la planta y reducir la capacidad de extraer el agua del suelo por inhibición de la respiración. (FAO, 2006)

h) Balance de agua en el suelo

El balance de agua en el suelo consiste en evaluar la cantidad de agua que entran y salen a la zona radicular de los cultivos en un determinado tiempo.

Donde el riego y la precipitación proporcionan agua a la zona radicular pero también pueden perderse por escurrimiento superficial o por percolación profunda,

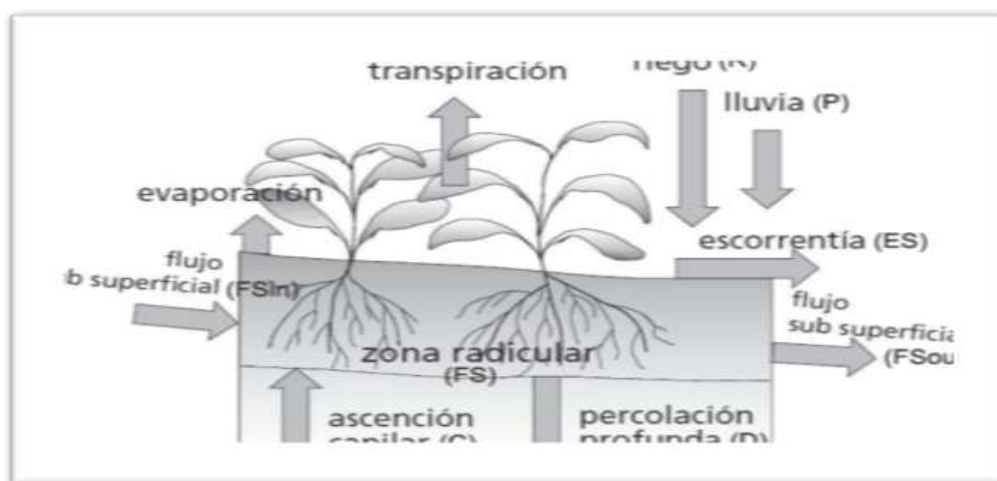


Figura 1.3: pérdidas de agua por transpiración, evaporación y escorrentía

Fuente: (FAO, 2006)

1.2 Invernaderos

Los invernaderos tienen dos características principales, la eficiencia y la funcionalidad. Por eficiencia se entiende la idoneidad para condicionar el clima, (controlar las bajas temperaturas que se presentan durante las noches).

La funcionalidad es el conjunto de requisitos que permiten la mejor utilización del invernadero, tanto desde el punto de vista técnico como económico. (Serrano Z., 1999).

Los cultivos dentro del invernadero son forzado o protegido como aquél que durante todo el ciclo productivo o en una parte del mismo se actúa con el acondicionamiento del microclima que rodea la planta; esta protección se logra con el uso de invernadero, (Matalla, 2014)

El diseño de los invernaderos, tiene las siguientes características para la construcción como la clima, luminosidad, orientación y ubicación del mismo, el balance de energía en las variaciones de temperatura diurna y nocturna. (Toovy F.M., 2005).

1.3 Método del tanque evaporímetro

1.3.1 Descripción del tanque Clase A

El tanque Clase A es circular, 120,7 cm de diámetro y 25 cm de profundidad. Es de material galvanizado 0,8 mm, situado sobre una plataforma de madera en forma de reja a una altura de 15 cm, por encima del nivel del suelo. Una vez instalado, el tanque se llena con agua hasta 5 cm por debajo del borde y el nivel del agua no debe disminuir hasta más de 7,5 cm por debajo del borde. El agua debe ser cambiada, al menos semanalmente, para eliminar la turbidez. (FAO, 2006)

1.3.2 Tanque evaporímetro

Los tanques proporcionan una medida por el efecto de la radiación, viento, temperatura y humedad sobre el proceso de evaporación de una superficie abierta de agua. Varios factores producen diferencias significativas en la pérdida de agua de una superficie libre evaporante y de una superficie cultivada. El almacenaje de calor dentro del tanque puede ser apreciable y puede causar una significativa evaporación durante la noche mientras que la mayoría de los cultivos transpiran solamente durante el día. También se distinguen diferencias en la turbulencia, temperatura y humedad del aire que se encuentran inmediatamente sobre estas dos superficies.

La evaporación del tanque clase A está relacionada con la evapotranspiración de referencia por un coeficiente empírico derivado del mismo tanque:

Ecuación 7. De la evapotranspiración de referencia (ET_o)

$$ET_o = K_p * E_{pan} \dots\dots\dots (7)$$

Donde

ET_o : evapotranspiración de referencia., (mm d⁻¹)

K_p : coeficiente del tanque evaporímetro (-)

E_{pan} : evaporación del tanque evaporímetro (mm d⁻¹)

1.3.3 Coeficiente del tanque evaporímetro (K_p)

Los coeficientes del tanque evaporímetro son específicos para cada tipo de tanque evaporímetro.

En un tanque evaporímetro, se debe considerar no solamente el tipo del tanque, sino también la cobertura del suelo donde se ubica el tanque, sus alrededores, así como el viento y la humedad relativa.

También la ubicación del tanque evaporímetro es muy importante si está en barbecho o en campos cultivados, para ello se tiene los siguientes casos.

Caso A: ubicación del tanque evaporímetro en pasto corto verde y está rodeado por un suelo en barbecho.

Caso B: ubicación del tanque evaporímetro en un barbecho y está rodeado por un cultivo verde. Como se muestra en la figura:

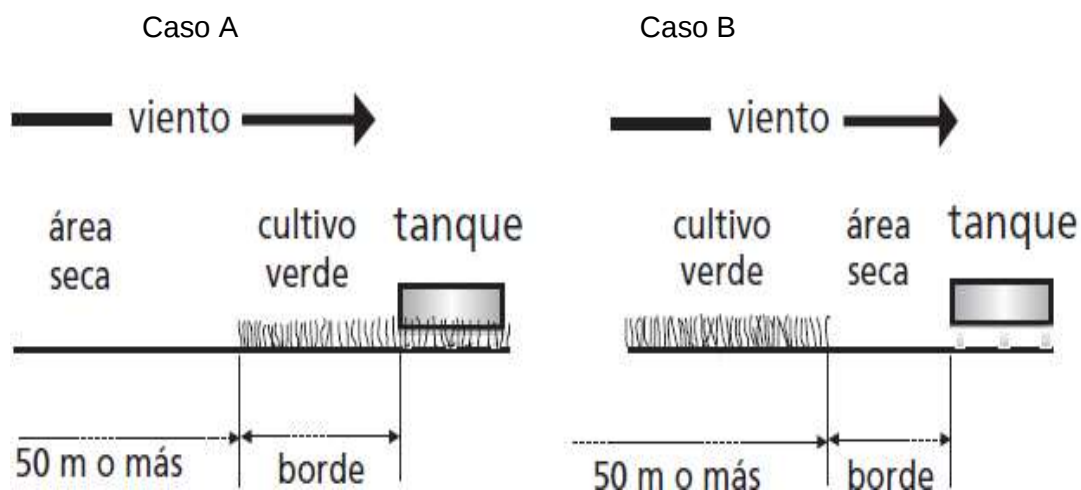


Figura 1.4: Localización del tanque clase A (FAO Riego y Drenaje N° 24)

Fuente: (FAO, 2006)

Según el caso A cuando más grande sea, más rápido se mueve sobre el tanque con ello estará en equilibrio y contendrá más vapor de agua y menos calor en el caso A que el caso B.

Coeficientes del tanque evaporímetro (K_p) para el tanque Clase A para diversas localizaciones y ambientes de los tanques y varios valores de velocidad media de viento y de humedad relativa (FAO, 2006)

Tabla 1.1: valores del coeficiente del Kp

Caso A: Tanque situado en una superficie cultivada				
Velocidad del viento	distancia del cultivo o barlovento	Baja	media	alta
m.s-1	m	<40	40-70	≥ 70
Baja	1	0.55	0.65	0.75
	10	0.65	0.75	0.85
	100	0.7	0.8	0.85
	1000	0.75	0.85	0.85
Moderado	1	0.5	0.6	0.65
02-May	10	0.6	0.7	0.75
	100	0.65	0.75	0.80
	1000	0.7	0.8	0.80
Alta	1	0.45	0.5	0.60
	10	0.55	0.6	0.65
	100	0.6	0.65	0.70
	1000	0.65	0.7	0.75
Muy alta	1	0.4	0.45	0.50
	10	0.45	0.55	0.60
	100	0.5	0.6	0.65
	1000	0.55	0.6	0.65

Caso B: Tanque situado en un suelo desnudo				
Velocidad del viento (m s-1)	distancia del barbecho a barlovento (m)	baja < 40	media 40-70	alta > 70
Baja < 2	1	0.7	0.8	0.85
	10	6	0.7	0.8
	100	0.55	0.65	0.75
	1000	0.5	0.6	0.7
Moderada 2-5	1	0.65	0.75	0.8
	10	0.55	0.65	0.7
	100	0.5	0.6	0.65
	1000	0.45	0.55	0.6
Alta 5-8	1	0.6	0.65	0.7
	10	0.5	0.55	0.65
	100	0.45	0.5	0.6
	1000	0.4	0.45	0.55
Muy alta > 8	1	0.5	0.6	0.65
	10	0.45	0.5	0.55
	100	0.4	0.45	0.5
	1000	0.35	0.4	0.45

Fuente: (FAO, 2006)

Ecuación 8. Coeficiente del tanque evaporímetro

$$K_p = 0,108 - 0,0286 u_2 + 0,0422 \ln (\text{BORDE}) + 0,1434 \ln (\text{HR media}) - 0,000631[\ln (\text{BORDURA})]^2 \ln (\text{HR media}) \dots\dots\dots (8)$$

Tanque Clase (A) situado en cultivo verde circundante

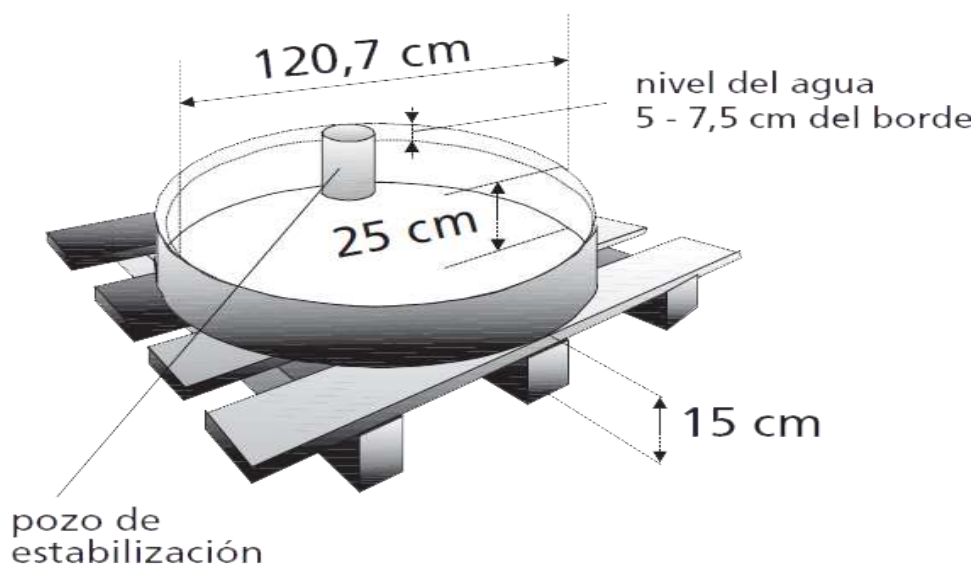


Figura 1. 5: Tanque evaporímetro clase A

Fuente: (FAO, 2006)

La evapotranspiración (ET_0) se obtiene a partir de los datos obtenidos del tanque evaporímetro con una lámina libre de agua dentro del tanque clase A. (Doorenbos J. y Pruitt W.O., 1977)

El coeficiente del tanque está en función de la humedad relativa ambiental, del recorrido del viento tomado a 2 m sobre el nivel del terreno y de la distancia en metros desde el tanque hasta el extremo de la cubierta sobre la que se ubica. Los valores de K_p ondulan alrededor de 0.80 por considerar que hay diferencias significativas en la pérdida de agua de una superficie libre en comparación a la de un cultivo, siendo mayor en la superficie libre que del cultivo.

El almacenaje de calor dentro del tanque puede ser apreciable y puede causar una significativa evaporación durante la noche mientras que la mayoría de los cultivos transpiran durante el día. (Allen et al., 1998).

1.3.4 Consumo de agua por los cultivos

El uso de agua tiene dos componentes principales: pérdida por evaporación del suelo y el cultivo (ET_c), y todas las pérdidas en la distribución del agua en el cultivo. (Tanner y Sinclair, 1983; Monteith, 1990; Steduto et al., 2006).

La evapotranspiración (ET_c) es fundamental para la estimación de las necesidades del agua de los cultivos y la programación de los riegos.

El uso consuntivo es la evapotranspiración, más el agua que utilizan las plantas en la formación de sus tejidos durante todo el ciclo y equivale al 1% del agua total utilizada aproximadamente, es decir que el consumo total de agua por la planta puede considerarse igual a la evaporación. (Aguilera C.M. y Martínez E.R., 1996).

1.3.5 Productividad del agua en la agricultura

La producción de la biomasa (la fotosíntesis) y el gasto de agua se denominan como la (transpiración) donde se producen la entrada del dióxido de carbono y la salida del agua por la misma vía, es decir, las estomas en las hojas. Cuanto más abiertos están las estomas, fácilmente entra el CO_2 y rápidamente se evapora el agua.

Por lo tanto, la producción de biomasa, es inevitable. Es imposible La producción de biomasa sin agua. (Bacon M., 2004).

Para producir un gramo de biomasa se tiene que gastar entre 100 y 1000 gr. de agua y el valor exacto depende del tipo de planta como de las condiciones ambientales. (Medrano et al., 2002).

1.3.6 Productividad del agua en el cultivo de tomate.

En los años ochenta, para regar una hectárea de tomate se necesitaba entre 7,000 y 8,000 m^3 de agua, obteniendo una producción de 70 a 80 toneladas de tomate, siendo el rendimiento de unos 100 m^3 de agua por tonelada de tomate, es decir, 10 kg m^3 de agua.

Y con las técnicas de riego por goteo se suele aportar a una hectárea entre 6000 y 5000 m³ de agua para producir unas 140 toneladas de tomate con lo que el rendimiento es de 40 m³t⁻¹. (López J., 2000).

1.3.7 Requerimiento de clima y suelo

a) Suelo

El tomate puede producir en una amplia gama de condiciones de suelos, pero los mejores resultados se obtienen en suelos profundos (1 m a más), de texturas medias. Suelos con temperaturas entre los 15 y 25°C favorecen un óptimo establecimiento del cultivo después del trasplante. También el pH del suelo debe estar entre 5,5 y 6,8. (Monardes M., 2009).

b) Estimación del coeficiente de cultivo

El coeficiente de cultivo (K_c) como los integra a los efectos de tres características primarias que diferencian un cultivo de una pradera de gramíneas: altura de cultivo, resistencia y albedo de la superficie suelo- cultivo. Es decir, los valores de K_c dependen, sobre todo, del cultivo y su manejo.

El K_c es un coeficiente que expresa la diferencia entre la evapotranspiración de la superficie cultivada y la superficie del pasto de referencia. (Allen et al., 1998).

El coeficiente K_c , dependen de las condiciones climáticas, de la disponibilidad de agua en el suelo, del estado sanitario del cultivo, de las técnicas culturales aplicadas y, especialmente durante la primera etapa de crecimiento de los cultivos, de las frecuencias de lluvias o riego que se presentan. (Doorenbos J. y Pruitt W.O.t, 1974 y 1987).

Según Allen et al., (1998). El método gráfico de la curva del K_c donde solamente se requiere de tres valores de K_c para la descripción y elaboración de esta curva. Donde la construcción de esta curva de K_c se da de la siguiente forma:

- a. Dividir el período de crecimiento en las cuatro etapas generales que describen la fenología o desarrollo del cultivo (inicial, desarrollo del cultivo, mediados de temporada y final).
- b. Determinar la duración, en días, de las cuatro etapas de crecimiento e identificar los tres valores de K_c inicial, mediados de la temporada y K_c final. Ajustar los valores de K_c según la frecuencia del humedecimiento o las condiciones climáticas de las etapas de crecimiento.

a. Programación del riego

La programación del riego debe responder a dos preguntas básicas: cuándo se debe regar y con qué cantidad de agua es preciso regar; respondiendo la primera incógnita sería determinar el periodo de riego, la segunda, es definir su volumen total de consumo de agua de las plantas. (Ducrocq M., 1990).

Los métodos para determinar el momento para regar, es seguir el agotamiento de la humedad del suelo. Al crecer la planta, esta consume el agua en el perfil del suelo de la zona radicular. Como el agua está siendo utilizada por las plantas, la humedad en el suelo llega finalmente a un nivel en el que se requiere un riego o bien la planta experimentará estrés hídrico. Si el agua no se aplica, la planta seguirá utilizando lo poco que queda del agua hasta que se agota el agua disponible en el suelo y pueda secarse. (Martínez R., 1991).

b. Programación del riego localizado

La programación del riego localizado consiste en determinar y analizar el porcentaje del suelo húmedo, lámina de riego, evapotranspiración del cultivo, el coeficiente de uniformidad del sistema de riego, el intervalo y el tiempo de riego.

Las dosis de riego calculadas a partir de ET_c son dosis netas, por lo que hay que tener en cuenta también la falta de uniformidad del sistema de riego y las necesidades de lavado para el cálculo de la dosis bruta de riego. (Martínez R., 1991).

c. Lámina de riego

Lámina de riego es aplicar agua a un terreno utilizando riego localizado, se debe considerar el porcentaje del suelo mojado con el fin de definir, la cantidad de agua a utilizar, la humedad a la cual se desea que se aplique el riego, ya sea por gravedad o aspersión es conocido como punto crítico.

d. Coeficiente de uniformidad

El coeficiente de uniformidad es el parámetro que se utiliza para definir cuantitativamente la forma de aplicación del agua de riego, este dato tiene mucha importancia en la evaluación del sistema de riego, debido a que de él depende la buena o mala aplicación del riego. Este coeficiente sirve para evaluar un sistema y para ponderar las láminas de riego que requiere el cultivo. (Keller J. y Bliesner R.D. 1990).

e. Intervalo de riego

Un diseño de riego localizado, se obtiene del intervalo de días de mayores necesidades del cultivo tendiendo a obtener la máxima producción del cultivo, (Ratliff, et al., 1983).

El sistema de riego por goteo, es la elevada frecuencia de riegos que suele ignorar al suelo como almacén de agua, y se considera que el contenido de agua en el suelo no varía con el tiempo. ET_c , (Ferreira E, 1998)

El riego implica reponer agua al sustrato una cantidad de agua según el consumo de las plantas

f. Tiempo de riego

El tiempo de riego depende de la lámina de riego que se requiere aplicar y del caudal medio del emisor. Si el intervalo de riego se deja fijo durante todo el ciclo del cultivo, es necesario considerar como variable el tiempo de riego, ya que las necesidades del cultivo son diferentes en cada época del ciclo vegetativo. (Keller J. y Bliesner R.D. 1990).

g. Necesidades brutas de riego

La dosis o necesidades brutas de riego se calcula a partir del ET_o y ET_c son dosis netas, por lo que hay que tener en cuenta la falta de uniformidad del sistema de riego y las necesidades de lavado para el cálculo de la dosis bruta de riego. (Fernández M., 2000).

h. Eficiencia del sistema de riego

La eficiencia de aplicación de agua determina directamente la superficie factible de regar sin causar déficit hídrico al cultivo.

La eficiencia del sistema de riego por goteo no es igual entre sí, por tal razón los cultivos absorben cantidades diferentes. El coeficiente de uniformidad (CU) nos permite medir la uniformidad del sistema de riego, y se define como el cociente entre el caudal medio. En los sistemas de riego por goteo es necesario contar con coeficientes de uniformidad superiores al 94 %, al estar el volumen radicular más centrado en las zonas húmedas y trabajar con bajas tensiones de humedad del suelo. (Fritsch N., 1980).

i. Coeficientes del cultivo (K_c)

Durante el período de crecimiento del cultivo, la variación del coeficiente del cultivo K_c expresa cambios en la vegetación y en el grado de cobertura del suelo. Esta variación a lo largo del crecimiento del cultivo está representada por la curva del coeficiente del cultivo.

Para describir y construir la curva del coeficiente del cultivo se necesitan solamente tres valores de K_c : los correspondientes a la etapa inicial (K_c inicial), la etapa de mediados de temporada (K_c media) y la etapa final (K_c final).

Los valores de K_c durante la etapa inicial y de desarrollo del cultivo dependerán de la gran diversidad de frecuencias de humedecimiento del suelo, por lo que se requerirá de ajustes al valor de K_c inicial considerado. Para condiciones de humedecimiento frecuente tal como en los casos de riego por aspersión de alta frecuencia o lluvias, los valores de K_c inicial pudieran ser incrementados sustancialmente. (Allen et al., 2006).

1.3.8 Etapas de crecimiento del cultivo

El cultivo se desarrolla, en la superficie del suelo cubierta por la vegetación, como por la altura del cultivo y el área foliar variando progresivamente. Las etapas del crecimiento del cultivo, puede ser dividido en cuatro etapas:

a) Etapa inicial del cultivo

La etapa inicial está comprendida entre la fecha de siembra y el momento que el cultivo alcanza aproximadamente el 10% de cobertura vegetal del suelo.

b) Etapa de desarrollo del cultivo

La etapa de desarrollo del cultivo comprende desde el momento en que la cobertura vegetal cubre un 10% hasta que la cobertura alcance a un 80%. Para una gran variedad de cultivos, el estado de cobertura completa ocurre al inicio de la floración.

c) Etapa de mediados de temporada

La etapa de mediados de temporada comprende desde la cobertura completa hasta el comienzo de la madurez. El comienzo de la madurez está indicado generalmente por el comienzo de la vejez, amarillamiento o senescencia de las hojas, caída de las hojas, o la aparición del color marrón en el fruto, hasta el grado de reducir la evapotranspiración del cultivo en relación con la ET_o de referencia.

d) Etapa de finales de temporada

La etapa final, comprende del comienzo de la madurez hasta el momento de la cosecha. Se asume que el cálculo de los valores de ET_c finaliza cuando el cultivo termina su fase vegetativa, secado al natural, alcanza la completa senescencia o experimenta la caída de las hojas.

1.4 Cultivo de tomate

El tomate es originario de los andes en donde fue cultivado por los aztecas en México los aztecas lo conocen como xitomatl, fruto con ombligo, debido a la palabra Azteca tomatl los conquistadores españoles lo llamaron tomate.

Existen evidencias arqueológicas que demuestran que el tomate verde, el tomate verde es una fruta ácida y de color verde, que aún se consume en México, fue usado como alimento desde épocas prehispánicas. Esto hace pensar que el tomate rojo común también fue cultivado y usado por los pueblos originarios.

El tomate es un cultivo anual y puede ser semi perenne en regiones tropicales, florece a los dos meses del trasplante y a los tres meses comienza la recolección. La planta y su fruto son particularmente sensibles a las bajas temperaturas y a la humedad ambiental, que les predisponen a las enfermedades. El tomate es una hortaliza tolerante a la acidez, con valores de pH 6.8 - 5.0 en lo referente a la salinidad es medianamente tolerante.

Tabla 1.2 Composición química del tomate

Agua	94 g	Vitamina A	1.113 UI
Calcio	7 mg	Carbohidratos	4.3 g
Fierro	0.5 mg	Fibra	0.5 g
Fosforo	23 mg	Grasa	0.2 g
Potasio	204 mg	Proteínas	0.9 g
Sodio	13 mg	Energía	19 Kcal

Fuente: Info agro (2002)

El tomate es originario de América del sur, entre las regiones de Chile, Ecuador y Colombia, pero su domesticación se inició en el sur de México y norte de Guatemala. (Jaramillo, et al 2007).

La forma silvestre de "tomate cereza", *Lycopersicum esculentum* var. cerasiforme es originario de Perú, migraron a través del Ecuador, Colombia, Panamá y América Central hasta llegar a México, donde fue domesticado por el hombre; en la lengua nahua de México era llamado tomatl, que sin lugar a dudas dio origen a su nombre actual.

El siglo XIX es la gran importancia económica mundial, hasta llegar a ser junto con la papa, la hortaliza más difundida y predominante del mundo. “En 1900 surgió la primera variedad mejorada, denominada ponderosa, a partir de la cual se obtuvo la mayoría de las variedades americanas actuales, junto con los materiales colectados en la región de origen durante las décadas de los veinte y los treinta”. (Maroto J., 1986; 1992).

1.5 Cultivo de tomate en Perú

La producción de tomate a nivel nacional está alrededor de 160 mil toneladas, en una superficie de 5 mil ha (respecto al año 2000, éstas se han reducido en aproximadamente 35%). El rendimiento promedio nacional se mantiene en alrededor de 30 t/ha, pero varía mucho entre regiones:

En Ica, por ejemplo, se alcanzan rendimientos de 80 t/ha (Ica y Lima concentran cerca del 70% de la producción de tomate). Y los demás Zonas de producción son: Lima (Rímac, Chillón, Lurín), La Libertad, Ica, Huaral-Chancay, Barranca, Huacho, Cañete, Arequipa, Lambayeque.

1.5.1 Cultivo de tomate en invernadero

El tomate es la hortaliza más cultivada tanto en invernaderos como en sistemas hidropónicos en el mundo; por ello se debe principalmente a que con los altos rendimientos y calidad que se obtienen con estas técnicas y su alto precio en el mercado internacional, se logran muy buenas utilidades por unidad de superficie a pesar de los altos costos de producción.

1.5.2 Clasificación taxonómica

Rodríguez R., (1984) y Antonio J, (1991). Clasificaron de acuerdo a las características de los cultivos y teniendo en cuenta los criterios científicos establecidos de la taxonómica del tomate.

Tabla 1. 3: taxonomía de lo cultivo de tomate

División	: Fanerógamas
Sub división	: Angiospermas
Clase	: Dicotiledoneas
Orden	: Tubiflorales
Familia	: Solanáceas
Género	: <i>Lycopersicum</i>
Especie	: <i>Lycopersicum esculentum</i> .

Fuente: Info agro (2002)

El tomate es una planta dicotiledónea, perteneciente a la familia solanáceae y al género *Lycopersicon esculentum* es la especie más cultivada y posee un gran número de especies silvestres relacionadas. (Jaramillo et al., 2007).

1.5.3 morfología.

Las plantas del tomate son herbáceas perennes, aunque en su hábitat natural muy probablemente se comportan como anuales y pueden morir después de la primera estación de crecimiento debido a las heladas o la sequía del lugar. (Hernández, 2011).

a. Raíz

El sistema radical del tomate es superficial y está constituido por la raíz principal (corta y débil), raíces secundarias (numerosas y potentes) y raíces adventicias.

Dentro de la raíz se encuentra la epidermis, donde se ubican los pelos absorbentes especializados en tomar agua y nutrientes, además el cortex y el cilindro central donde se sitúa la xilema.

Indica que el tomate presenta una raíz principal pivotante simultáneamente se producen raíces adventicias y ramificaciones que pueden llegar a formar una masa densa y de cierto volumen. (Rodríguez et al., 2001).

El sistema radical puede alcanzar hasta 1.5 m de profundidad, y se estima que un 75% del mismo se encuentra entre los primeros 45 cm superiores del suelo.

Las raíces están presentes en los primeros 60 cm de profundidad del suelo, con 70% del volumen de raíces totales en los primeros 20 cm de profundidad. (Holwerda H., 2006).

b. Tallo

El tallo principal del tomate tiene 2 a 4 cm de diámetro en la base también menciona que está cubierto por pelos glandulares y no glandulares que salen de la epidermis; sobre el tallo se van desarrollando hojas, tallos secundarios e inflorescencias. Éste tiene la propiedad de emitir raíces cuando se pone en contacto con el suelo, característica importante que se aprovecha en las operaciones culturales de aporque dándole mayor anclaje a la planta.

El tallo puede llegar a medir de 40 - 250 cm. Muestra ramificación abundante y yemas axilares, si al final del crecimiento todas las ramificaciones exhiben yemas reproductivas, estas se clasifican como de crecimiento determinado; y si terminan con yemas vegetativas; son de crecimiento indeterminado. (Jaramillo et al., 2007).

c. Hoja

Las hojas de los tomates son compuestas imparipinadas con siete a nueve foliolos, los cuales generalmente son peciolados, lobulados y con borde dentado, y recubiertos de pelos glandulares. Las hojas se disponen de forma alternativa sobre el tallo. (George W., 1999).

Las hojas del tomate son compuestas, se insertan sobre los diversos nudos en forma alterna. El limbo se encuentra fraccionado en siete, nueve y hasta once foliolos.

El haz es de color verde y el envés de color grisáceo, su tamaño depende de las características genéticas de la variedad. (Huerres y Caraballo, 1988).

d. Flor

Las flores de los tomates son perfectas o hermafrodita, regular e hipógina y consta de cinco o más sépalos y de seis o más pétalos; tiene un pistilo con cinco estambres, unidos en sus anteras y formando un tubo que encierra el pistilo. Esta conformación favorece la autopolinización. “El pistilo está compuesto de un ovario y de un estilo largo, simple y levemente engrosado; el ovario tiene entre dos y 20 óvulos formados según la variedad, y éstos reflejan la forma del fruto que podría desarrollarse”. (Jaramillo et al., 2007).

Las flores pueden ser de cuatro tipos: racimo simple, unípara, bípara y múltipara; pudiendo llegar a tener hasta 50 flores por racimo. Se precisan de 56-76 días desde el nacimiento de la planta hasta que se inician los botones florales. (Rodríguez et al., 2001).

e. Fruto

El fruto es una baya de color amarillo, rosado o rojo debido a la presencia de licopeno y caroteno; el más común es el rojo en la madurez, la pulpa contiene una proporción del 33% del peso fresco del fruto.

El fruto de tomate está unido al pedúnculo por medio de una articulación en la que se encuentra un punto de abscisión. Algunas variedades no tienen este punto de abscisión por lo que son definidas como variedades tipo jointless, y se usan principalmente para procesamiento ya que se requiere que el fruto se separe fácilmente del cáliz. (Jaramillo et al., 2007).

f. Semilla

La semilla del tomate es pequeña, con dimensiones aproximadas de 5 x 4 x 2 mm, éstas pueden ser de forma globular, ovalada, achatada, casi redonda, ligeramente alongada, plana, arriñonada, triangular con la base puntiaguda. La semilla está constituida por el embrión, el endospermo y la testa o cubierta seminal, la cual está recubierta de pelos.

Las semillas dentro del lóculo, en sus últimas etapas de desarrollo, aparecen inmersas en una sustancia gelatinosa.

Rodríguez et al., (2001), Huerres y Caraballo (1988) Mencionan de las semillas del tomate donde tienen diferentes tonalidades en su color, desde el grisáceo, hasta el color paja de forma oval aplastada; tamaño entre 3-5 mm de diámetro y 2.5 mm de longitud, y cubierta de vellosidades. En un gramo puede haber de 300-350 semillas.

1.6 Requisitos edáficos

a. Suelo.

El cultivo tomate, con respecto a exigencia de condiciones de suelo no es tanto, prospera en diferentes tipos de suelo, aunque los más indicados son los suelos sueltos, fértiles, bien aireados y con buen drenaje interno y capacidad de retener humedad, de texturas francas a franco arcillosas, con contenidos de materia orgánica altos, por encima del 5%, y buen contenido de nutrientes. El pH del suelo debe oscilar entre 5,8 a 6,8 para garantizar la máxima disponibilidad de nutrientes, debe estar libre de piedras y malas hierbas.

El pH ideal del suelo es 6.0 – 6.5. A un pH>6.5 el micronutriente metálico como Fe, Zn, Mn, Cu, B y fósforo llega estar menos disponible para la absorción de planta. A un pH<5.5 el fósforo (P) y Molibdeno (Mo) son menos disponibles para absorción de la planta. (Holwerda H, 2006).

b. Salinidad

El cultivo de tomate es moderadamente sensible a la salinidad. Para la disminución del rendimiento menciona diversos valores de conductividad eléctrica de la siguiente manera: 0% para 2.5 mmhos.cm⁻¹; 10% para 3.5 mmhos. Cm⁻¹; 25% para 5.0 mmhos. Cm⁻¹; 50% para 7.6 mmhos. Cm⁻¹ y 100% para 12.5 mmhos.cm⁻¹.

El periodo más sensible a la salinidad es durante la germinación y desarrollo inicial. (Doorenbos J. y Kassam, 1979).

c. Drenaje

Según Huerres y Caraballo, (1988). El tomate requiere suelos con buen drenaje. Los encharcamientos pueden promover el desarrollo de enfermedades, a las cuales el tomate es muy susceptible.

d. Temperatura

La temperatura ideal esta entre 18°C a 27 °C, por esta razón la mayoría de los cultivos al aire libre se produce en climas templados, entre los paralelos 30° y 40° en ambos hemisferios. También indica en temperaturas bajo 10°C la formación de flores afectada negativamente, mientras que la helada nocturna producirá un daño serio en el cultivo. La temperatura sobre 35°C en condiciones, con baja humedad producirá abortos florales, mientras la viabilidad de polen será fuertemente reducida debido a falta de humedad. (Holwerda H., 2006).

El tomate germina entre los 6 a 12 días, la temperatura del suelo para una rápida germinación debe de oscilar de 20 a 25°C, se puede trasplantar entre los 30 a 70 días después de haber germinado y se obtiene la primera cosecha en las variedades de crecimiento lento a los 100 días. (Rodríguez R, 1984).

El tomate es un cultivo capaz de crecer y desarrollarse en condiciones climáticas variadas. La temperatura óptima para el crecimiento está entre 21 y 27°C, y para el cuajado de frutos durante el día está entre 23 y 26°C y durante la noche entre 14 y 17°C, para el resto de etapas de desarrollo del cultivo. (Jaramillo et al., 2007).

Tabla 1.4: Determinación de las temperaturas del cultivo de tomate

Etapas de desarrollo	Temperatura mínima °C	Temperatura optima °C	Temperatura máxima °C
Germinación	11	16 - 29	34
Crecimiento	18	21 - 24	32
Cuajado de fruto durante el día	18	23 - 26	32
Cuajado de fruto durante la noche	10	14 - 17	22
Producción de pigmento rojo (licopeno)	10	20 - 24	30
Producción de pigmento amarillo (β caroteno)	10	21 - 23	40
Temperatura del suelo	12	20 - 24	25

Fuente: producción de tomate bajo condiciones protegidos 2007

e. Humedad

La humedad ideal para el desarrollo del cultivo de tomate varía entre 65 a 75% para su óptimo crecimiento y fertilidad.

León, (1980). Indica el promedio de la humedad que oscila esta entre 60% a 80% humedad relativa, muy elevadas favorecen el desarrollo de enfermedades aéreas, agrietamiento del fruto y dificultan en la fecundación, debido a que el polen se compacta, abortando parte de las flores, rajado de frutos y fijación del polen al estigma de la flor.

f. Luminosidad

La escasez de luz produce debilitamiento en las plantas, las cuales se tornan más susceptibles a enfermedades. (Huerres y Caraballo, 1988).

g. Crecimiento y desarrollo

Los tomates tienen varias etapas de desarrollo en su ciclo de crecimiento, y son los siguientes: establecimiento de la planta joven, crecimiento vegetativo, floración, desarrollo del fruto y maduración. En seguida se explica cada una de las etapas. (Holwerda H., 2006).

h. Planta joven

Una Consiste en desarrollo firme de la raíz y la formación inicial de las partes aéreas de la plántula de tomate.

i. Crecimiento vegetativo

La etapa de desarrollo ocurre a los primeros 40 – 45 días, después los frutos empiezan a desarrollarse continuamente. Este periodo es seguido por otras cuatro semanas de crecimiento rápido, mientras la planta está floreciendo y está desarrollando fruto. Después de 70 días, no hay casi ningún desarrollo vegetativo, ni la acumulación de materia seca en hojas y tallos.

j. Floración

Las condiciones ambientales para el manejo del cultivo, la floración y cuajado comienza alrededor de 20 – 40 días después del trasplante y continúa durante el resto del ciclo de crecimiento.

La polinización se efectúa por medio de abejas, viento y aplicación de hormonas (auxina) para promover el cuajado.

k. Desarrollo del fruto

Esta etapa comienza después de la floración y cuajado, el fruto de tomate comienza a desarrollarse y a crecer, logrando la mayor acumulación de materia seca en el fruto, a un ritmo relativamente estable.

1. Maduración

La maduración se da en un promedio de 80 días después de trasplante. La cosecha continua permanentemente a menos que se detenga por razones climáticas (helada).

1.7 Labores agronómicas

a. Preparación de terreno

La preparación de suelo es dar buen lecho de siembra, es sin duda una de las cuestiones más importantes para el buen éxito del cultivo, porque tiene un buen papel determinante en las primeras fases del desarrollo de la planta es decir en la germinación y enraizamiento. (Bartolini R., 1989).

b. Elección y selección de semilla

La selección de la calidad y variedad es, sin duda fundamental a tener en cuenta en momento de almacenar y/o cultivar.

c. Almacigado de semilla

El uso de almácigos permite tener un mejor control de las condiciones ambientales como humedad y temperatura, así como la prevención y manejo de plagas, también facilita la selección de plántulas sanas y uniformes.

“El almácigo se prepara en camas de 10-15 m de largo por 1.0 m de ancho y 20 cm de altura. Estas camas son por lo general, mezclas de tierra franca (50%), arena (30%) y materia orgánica (20%). Se recomienda desinfectar la cama con algún biocida (bromuro de metilo, dazomet, vapor) y aplicar un fertilizante completo antes de desinfección”. (Catie, 1990).

d. Riego

El manejo de agua debe realizarse en forma cuidadosa, pues tanto la falta como el exceso repercuten en la calidad y producción del fruto, Se ha determinado una alta correlación entre sequías prolongadas y rajaduras de frutos; por otra parte, el exceso de agua, favorece el desarrollo de enfermedades de la raíz, lo cual ocasiona bajos rendimientos.

El riego agrícola es una técnica o práctica de producción que se puede definir como la aplicación suficiente, oportuna, eficiente y uniforme de agua a un perfil del suelo para reponer el agua que las plantas han consumido durante un tiempo determinado. El propósito del riego es crear un ambiente adecuado en la zona radical para que las plantas rindan la máxima producción. (Alvarado, 2009).

e. Trasplante propiamente dicho en campo definitivo

Según Hugo y Rebeca, (2001). El trasplante definitivo se realiza aproximadamente entre cuatro o cinco semanas después de la siembra. Un trasplante bien hecho es esencial para obtener una buena cosecha en invernadero.

Recomiendan durante el trasplante, una pequeña porción del tallo quede enterrada en el suelo para proporcionar un mejor soporte inicial y permitir a la planta el desarrollo de nuevas raíces, pero teniendo precaución de que las hojas cotiledones no queden enterradas. Una vez trasplantadas, es necesario regar las plantas lo antes posible para evitar el marchitamiento. En los primeros días después del trasplante, los riegos deben ser cortos y frecuentes para mantener la humedad.

Antes de trasplantar las plantas se debe regar, y también asperjar la plántula con una solución azucarada 10%, para aumentar potencial osmótico de la plántula, finalizando con un riego ligero. (Catie, 1990).

f. Tutorado, poda y control de hierbas en el cultivo

La poda es la práctica de remover o cortar algunos de los tallos de la planta. El principal objetivo de las podas es balancear el crecimiento reproductivo y vegetativo, permitiendo que los fotoasimilados se canalicen hacia los frutos, pero también tiene otros beneficios principalmente de tipo fitosanitario. Básicamente existen cuatro tipos de podas: poda de formación, yemas o cupones, flores y frutos y hojas bajas. (Hugo y Rebeca, 2001).

g. Plagas y enfermedades importantes en cultivo de tomate

El conocimiento de la fenología del cultivo es muy importante para el manejo de plagas y enfermedades, ya que la susceptibilidad del cultivo, al daño por las plagas varía de acuerdo, con su estado de desarrollo. A su vez la incidencia de las plagas, es a función de factores ambientales y de la condición del cultivo. (Catie, 1990).

1.8 Abonamiento y fertilización

a. Nitrógeno

Azabache, (2003), Villón V., (2007). Indican que el nitrógeno es un nutriente importante para la planta, que en el suelo se encuentra en pocas cantidades. Las plantas contienen entre 10 – 40g de nitrógeno (N) en cada kg de materia seca. El nitrógeno es absorbido por la planta en iones amonio (NH_4) y nitrato (NO_3). El nitrato es una fuente preferencial para el crecimiento de los cultivos.

b. Fósforo

El fósforo (P) se presenta en la mayoría de las plantas en concentraciones 1 a 4 g por kg de materia seca, estas lo absorben en forma activa, como iones.

California Fertilizer Asociation CFA, (1995). Menciona que la mayor parte de la cantidad total de fósforo que existe en el suelo es ligada químicamente a compuestos de solubilidad limitada. En suelo con pH neutros hasta alcalinos se forma fosfato de calcio, en tanto en el suelo ácido se produce fosfato de hierro y aluminio. La cantidad de fósforo disponible en el suelo es apenas 1% o menos de la cantidad total existente. El fósforo estimula el crecimiento temprano y la formación de raíces, acelera la maduración y promueve la producción de semilla.

c. Potasio

Azabache, (2003), Villón V., (2007) Manifiesta que el potasio (K^+) es absorbido activamente, por las raíces de las plantas, a una alta tasa. La tasa de absorción depende de la permeabilidad relativa de la membrana al potasio que probablemente resulta de la presencia de iones foros que facilitan la difusión. La retención de potasio en la célula depende principalmente del potencial negativo de célula.

La absorción y retención de potasio en las células de las plantas son también afectadas por H^+ , Ca^+ , Mg^+ y Na^+ . La concentración de K^+ en el tejido vegetal es de 10 a 40 g por kg de materia seca.

d. Fertilización de cultivos

La fertilización tiene el objetivo de restitución de nutrientes al suelo, la cantidad de nutrientes absorbido por la planta. El periodo de mayores necesidades de N, P, K se extiende desde aproximadamente diez días después de la floración hasta que el fruto comience a madurar. Las concentraciones de N, P, K son mayores en la hoja, siguiendo del fruto y tallo.

El aporte de abono en la base recomienda en cultivo hortícola 30 – 40 t. Ha^{-1} por un año; como abono de fondo aplicar 100 kg de nitrógeno (N); 90 – 150 kg de fósforo (P_2O_5) y 200 – 300 kg de potasio (K_2O); en cobertura realizar 4 aplicaciones de 40 – 50 kg de nitrógeno. (Villón V., 2007).

e. Siembra

El Tomate se tiene que sembrar en semillero, en épocas de frío se debe sembrar en semilleros de cama caliente. El Tomate es un amante del sol y si lo siembras a mediados de marzo, como es el caso, hay que protegerlo del frío y el viento.

f. Como sembrar el Tomate

Es muy sencillo, se siembra al boleto, o sea que tienes que esparcir las semillas como te parezca y más adelante hay que hacer un repicado para que se desarrollen adecuadamente.

El repicado y trasplante a macetitas se debe hacer cuando la plantita alcance 15 cm o haya desarrollado 4 hojas. Este paso se realiza antes de trasplantarlas a plena tierra, para que la planta del tomate enraíce bien y se endurezca. Conviene que protejas por la noche las plantitas, Una vez que veamos que han enraizado y el clima sea favorable puedes trasplantarlo a la tierra. Con la temperatura tienes que tener cuidado, si tu zona es fría y ves que hiela por las noches puedes proteger las plantas

con una botella de plástico de la forma que a continuación puedes ver en la foto, esta botella la puedes retirar cuando veas que ya no tienes riesgo de helada.

g. Manejo del almácigo

Se debe sembrar en charolas con cavidades (almácigo) rellenas con el sustrato. Para ello se humedecerá con agua hasta el punto de escurrimiento; después, se colocará una semilla por cavidad tapándola con una capa de 5 a 7 mm del mismo sustrato, volviendo a mojar asperjando el agua con chorro fino para no perturbar el sustrato.

Durante el crecimiento de las plántulas en el semillero, particularmente en los primeros días de crecimiento, es importante evitar la insolación directa ya que esta puede ocasionar daños a la base del tallo y eventualmente la muerte de plántulas, pero también es necesario evitar un sombreado excesivo que ocasionara elongación y etiolación y por tanto un debilitamiento de las plántulas.

Trasplante

El trasplante de Las plántulas del tomate es de 21 a los 30 días después de la siembra en las cajas almacigueras. El trasplante se realiza en zonas donde no hay mucho calor, porque las raíces son muy débiles.

Una vez hecho el trasplante se realiza un riego a capacidad de campo para que las raíces se desarrollarse adecuadamente.

CAPITULO II

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 MATERIALES

El trabajo de investigación se realizó en las instalaciones del Programa de Pastos y Ganadería, de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga, entre los meses de julio a noviembre del 2016.

Geográficamente está ubicado a 13° 9'18.04" sur y 74°13'12.71" oeste a una altitud de 2760 msnm.

2.1.1 Ubicación del estudio

Región : Ayacucho
Provincia : Huamanga
Distrito : Ayacucho
Lugar : PIPG-FCA, UNSCH

2.1.2 Coordenadas UTM

C. ESTE : 584526.91 m E
C. NORTE : 8545568.19 m S
Altitud : 2760 msnm

Ubicación de la investigación

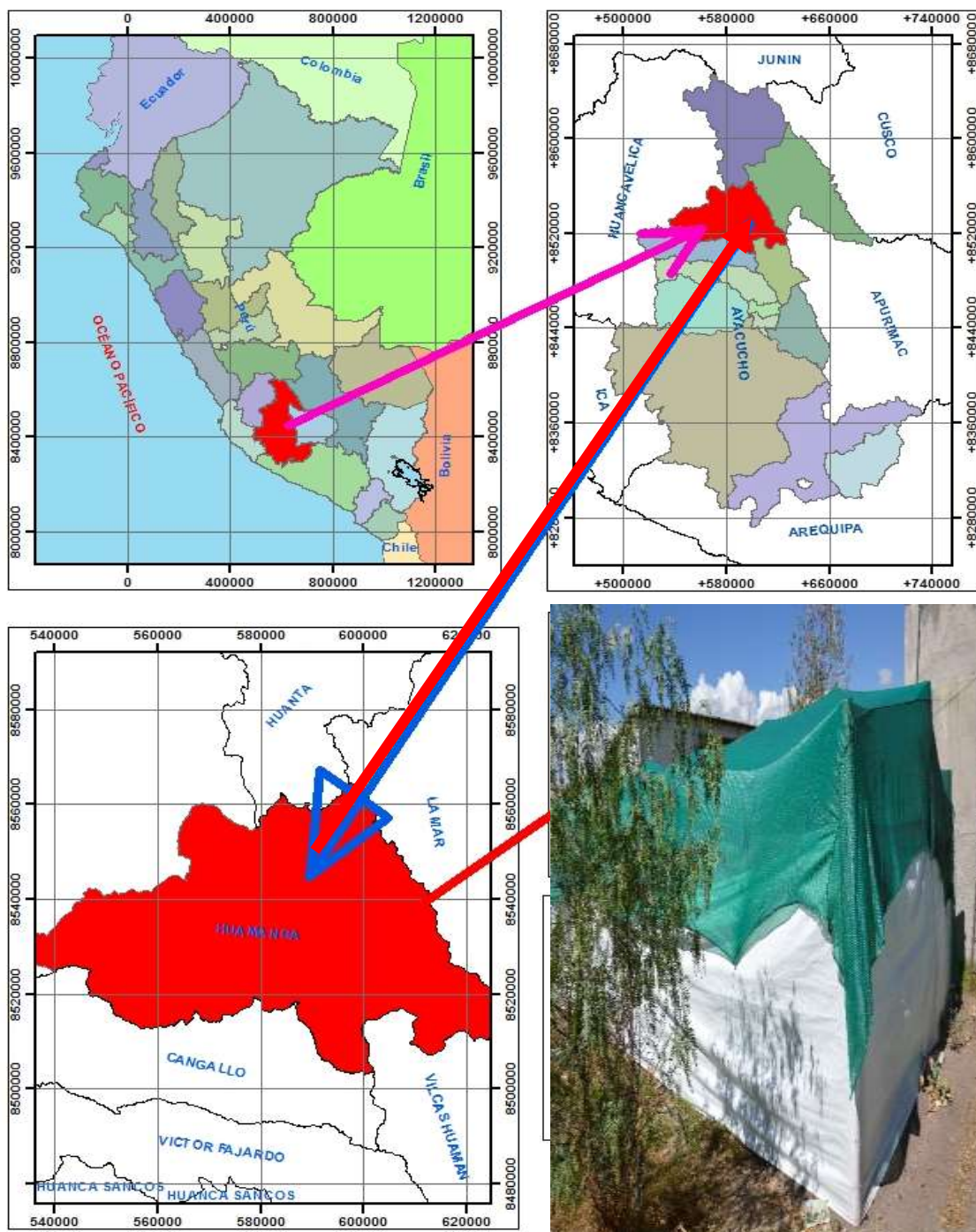


Figura 2.1: Ubicación y localización del trabajo de investigación

2.1.3 Unidad experimental

2.1.3.1 instalación de un invernadero

Se instaló un invernadero de 6.00 de ancho por 13.00 m de largo, con una cubierta de malla raschel de color verde con 95% de sombra, y el perímetro se ha cubierto con toldos de color blanco con la finalidad de proteger las plantas, como se muestra en la figura 2.2



Figura 2.2: instalación del invernadero

Se instaló un sistema de riego por goteo al interior y exterior del invernadero, con tubería de una pulgada (1”) y los laterales con manguera polietileno de diámetro de 16mm. Como se muestra en la figura 2.3



Figura 2.3: Goteros auto compensados



Figura 2.3: sistema de riego por goteo

2.1.3.2 Instalación meteorológica

Se instaló el tanque evaporímetro clase A al interior del invernadero de dimensión 120.70 cm de diámetro y 25.00 cm de altura, sobre una parrilla de madera de 15.00 cm de altura desde la superficie, ubicado al centro del invernadero como se indica en la figura 2.4



Figura 2.4: instalación del tanque evaporímetro clase A.

Además, se instaló el pluviómetro de 9 cm de diámetro con una altura de 25 cm., apoyado a través de un soporte de madera tal como se indica en la en la figura 2.5.



Figura 2.5: instalación de pluviómetro interior y exterior.

En la figura 2.6, se indica la instalación un termómetro digital ubicado en el interior del invernadero con la finalidad de registrar datos de temperaturas, y medición de la humedad relativa.



Figura 2.6: instalación de termómetros digital

2.1.3.3 instalación de los tratamientos

Se realizó la preparación de los tratamientos de 20 kg de suelo en cada maceta con 2 kg de grava para la filtración, 4 kg de humus preparados en el mismo lugar de la investigación, más 14 kg de suelo agrícola, como se muestra en la figura 2.7.



Figura 2.7: ubicación de las macetas

Una vez instalado las macetas dentro y fuera del invernadero se hizo el trasplante de las plántulas de tomate.

2.1.3.4 Características del suelo

Se evaluó las características físicas del suelo. El análisis consistió en sacar una pequeña muestra del suelo seleccionado para el llenado de las macetas y luego llevarlo al laboratorio de la Universidad Nacional de Huamanga del Programa de Investigación Pastos y Ganadería obteniendo los siguientes resultados:

2.1.3.5 Análisis químico y físico del suelo

El análisis físico - químico de un suelo es muy importante para saber el grado de fertilidad en que se encuentra dicha área de investigación: para ello se ha tomado una muestra en situ, de una profundidad de 20 cm. Un promedio de 0,50 kg, el cual se analizó en laboratorio obteniendo los siguientes resultados así indica en la tabla 2.1.

Tabla 2.1: características físicas – químicas del suelo.

Características	Resultados	Interpretación	
	Contenido	Método	
Características físico del suelo			
Arena (%)	58.4	Bouyuocos	
Limo (%)	20.5	Bouyuocos	
Arcilla (%)	21.1	Bouyuocos	
Textura	Fr-Ar-Ao		Franco Arcillo Arenoso
Densidad aparente (g.cm^{-3})	1.32		
Capacidad de Campo (%)	27.6		
Punto de marchites (%)	15.1		
Características químicas del suelo			
pH	8.24	Potenciómetro	Moderadamente alcalino
C.E (dS/m)	0.495	Turbimetría	
CaCO_3 (%)	7.80	Volumétrico	
M.O (%)	4.34	Walkley-black	Contenido alto
Nt (%)	0.21	Micro-kjeldahl	
P (ppm)	18.80	Bray-Zurtz	Contenido mediano
K (ppm)	188.20	Turbimetría	Contenido mediano
Ca^{+2} (Cmol(+)/kg)	9.80	Fotometría	
Mg^{+2} (Cmol(+)/kg)	2.10	Fotometría	
K^{+} (Cmol(+)/kg)	0.92	Fotometría	
Na^{+} (Cmol(+)/kg)	.-	Fotometría	
Al^{+3} (Cmol(+)/kg)	0.00	Yuan	
H^{+} (Cmol(+)/kg)	0.00	Yuan	
CIC (Cmol(+)/kg)	14.70	saturación	Nivel medio

Fuente: laboratorio de análisis de suelos, plantas y aguas PIPG – UNSCH

Para determinar la clase textural del suelo, efectuó el análisis de laboratorio cuyos resultados se interpretan a través del "triángulo de textura o triángulo textural".



Figura 2.9: Muestras del suelo experimental

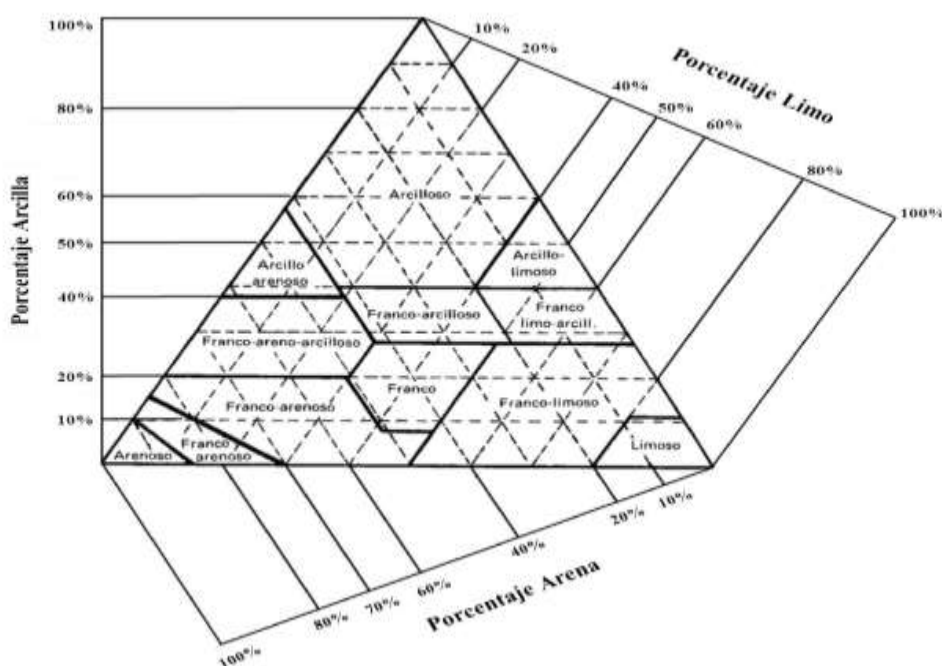


Figura 2.10: Triángulo textural del suelo

Fuente: Absalón Vásquez V

Los resultados del análisis de suelos, realizados en el laboratorio de programa de Pastos y Ganadería de la Facultad de ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.

Con 58.4 % de arena, 20.5 de limo y 21.1 de arcilla, con estos datos se hace la interpretación en el triángulo textural, llegando a la conclusión de que nuestro suelo en investigación es de textura Franco Arcilla Arenoso.

2.1.3.6 Registro meteorológico

Se registró la temperatura, humedad relativa mediante el equipo del modelo thermometer digital, también se registró la evaporación del agua con el tanque evaporímetro clase A y la precipitación con el pluviómetro casero, las lecturas fueron realizadas a las 7 am y 7pm diariamente con la finalidad de hacer una comparación con datos registrados en la estación meteorológica del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) de Huamanga –Ayacucho.

Tabla 2.2: temperaturas dentro y fuera del invernadero.

Comparación de temperaturas				
Mes	Temp. en Invernadero		Temp. de la Est. INÍA	
	Máx.	min.	Max.	Min.
Junio	20	14	18.6	10.8
Julio	21	14	19.4	11.2
Agosto	25	16	17.2	9.6
Septiembre	24	15	18	10
Octubre	25	16	17	10
Noviembre	27	18	21	12

2.1.3.7 Material Genético (Semilla)

Se utilizaron semillas de la variedad Rio Grande rastrero, con un porcentaje de germinación de 88.90%.

2.1.3.8 Siembra

En figura 2.8, se muestra la siembra el 01 de junio del 2016, con una temperatura promedio de 16 C° registrados al medio día que son requeridos para la germinación del tomate, la siembra fue realizada en las cajas almacigueras de 40x50 cm.



Figura 2.8: Almacigo de plántulas de tomate en cajas almacigueras

2.1.3.9 Trasplante

El trasplante fue realizado el 18 de junio del 2016, después de 18 días sembrado en las cajas almacigueras, según las recomendaciones mencionadas anteriormente. Luego se realizó un riego profundo para establecer las raíces de las plantas como se indica en la figura 2.4



Figura 2.9: Trasplante del cultivo de tomate.

2.1.3.10 Sistema de riego

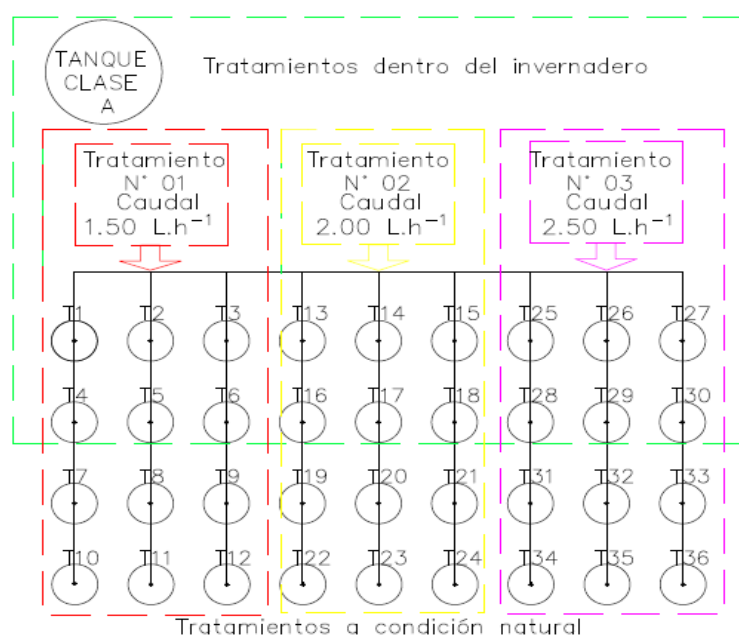
Se instaló el sistema de riego por goteo para cada maceta dentro y fuera del invernadero con caudales variados de 1.5 l h^{-1} ; 2.0 l h^{-1} y 2.5 l h^{-1} .

El riego por goteo está distribuido de la siguiente forma tiene un cabezal principal, desde ahí nacen los laterales, con sus respectivos emisores autocompensantes en cada maceta con un distanciamiento de maceta a maceta de 1.20 metros según criterios del estudio.



Figura 2.10: Funcionamientos del sistema de riego.

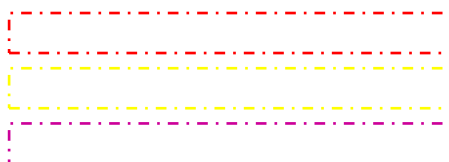
Distribución de los tratamientos en condición de invernadero y a campo abierto.



Del T1 al T12: $q=1.5 \text{ l.h}^{-1}$

Del T13 al T24: $q=2.0 \text{ l.h}^{-1}$

Del 25 al T36: $q=2.5 \text{ l.h}^{-1}$



2.1.3.11 Etapa de crecimiento del cultivo de tomate

Se evaluó las siguientes etapas:

a). Etapa inicial

La etapa inicial empieza con el trasplante de las plántulas del tomate, de las cajas almacigueras hacia los baldes, que se encuentran instalados dentro del invernadero que fue el 18 de junio del 2016, en donde la etapa inicial es comprendida hasta cubrir el 10% de la cobertura vegetal, por un periodo de 35 días calendarios, que fue hasta el 23 de julio del mismo año.

b). Etapa de desarrollo del cultivo

La etapa del desarrollo del cultivo de tomate se determinó inmediatamente después de la primera etapa, así iniciando el 24 de julio al 01 de setiembre, en donde acumulado 40 días calendario después de la primera etapa, pero en general la acumulación de los días totales es de 75 días.

c). Etapa de mediados de temporada.

La etapa de mediados de temporada comprende entre la etapa de desarrollo del cultivo y la etapa final de temporada, que es un periodo total de 50 días, con un tiempo total acumulado de 125 días totales, así iniciando el 02 de setiembre al 22 de octubre del 2016.

d). Etapa de finales de temporada.

La etapa final de temporada se da a partir del 23 de octubre al 05 de noviembre del 2016, haciendo un total de 140 días calendarios, a esta etapa se le conoce también como tiempo de cosecha.

Tabla 2.4: Etapas del cultivo de tomate

Etapas del cultivo de tomate	Fecha		N° días
	Inicio	Final	
I. Etapa inicial	18-Jun	23-Jul	35
II. Etapa de desarrollo	24-Jul	01-Set	40
III. Etapa de mediados	02-Set	22 oct.	50
IV. Etapa final temporada	23 oct.	05 nov.	15
Total			140

2.2 METODOLOGÍA

2.2.1 Medición de la (ET_o)

Para la obtención del ET_o se utilizó datos medidos con el tanque evaporímetro clase A, Para ello se utilizó la ecuación 2.1.

$$ET_o = K_p \times E_{pan}$$

Dónde:

$$K_p = 0,108 - 0,0286 u_2 + 0,0422 \ln(\text{borde}) + 0,1434 \ln(\text{HR media}) - 0,000631[\ln(\text{bordura})]^2 \ln(\text{HR media})$$

Datos:

U : altura de viento = 1m/s

Borde : entorno = 1m

HR : Humedad Relativa = 60.77

Reemplazando estos datos en la formula ya mencionada se tiene el valor de K_p .

Calculo de la evaporación del tanque evaporímetro clase A (E_{pan}), con datos medidos diariamente y dividido entre el mes.

La evapotranspiración del cultivo (ET_o), resulta de la multiplicación del:

$$K_p * E_{pan}.$$

2.2.2 Medición del coeficiente del cultivo (k_c)

El cálculo del K_c , real se obtiene haciendo las mediciones de los tallos: altura del follaje y el ensanchamiento hacia los laterales de la planta, en cada fase, (I, II, III y IV) para ello se calcula primero la superficie del suelo sombreado (SS)

$\%SS = (\text{anchura medida del cultivo} \times 100) / (\text{Separación entre las líneas de cultivo})$
reemplazando los datos medidos en campo en la ecuación anterior se tiene el $\%SS$ inicial.

Luego se calcula el valor del coeficiente del cultivo (K_c)

$$K_c = -0,0001x^2 + 0,0202x + 0,3033$$

Reemplazando los valores de ($\%ss$) en la ecuación 2 resulta el valor de K_c , para toda la etapa.



Figura 2.11: Mediciones del cultivo de tomate

2.2.3 Medición del cultivo (ET_c)

La evapotranspiración del cultivo (ET_c), es la cantidad de agua que requiere la planta y se calcula con la siguiente ecuación N° 1

$$ET_c = ET_o \times K_c$$

2.2.4 Lámina de Riego:

Es la cantidad de agua que se aplica al suelo para que satisfaga las necesidades de los cultivos, esto depende de la capacidad de almacenamiento de agua y se calcula con la siguiente ecuación.

$$Lr = \frac{Etc}{Efec}$$

Dónde:

Lr = Lámina de riego

ET_c = Evapotranspiración del cultivo

Efec. = Eficiencia = 0.95

2.2.5 Volumen m³

El volumen de agua que requiere una planta es igual a lámina de riego x área cultivada.

$$Vol = Lr \times A$$

$$A = \pi r^2$$

Dónde:

Vol = volumen

Lr = Lámina de riego

A = Área de la maceta

R = radio de la maceta

Se ha calculado el área de la maceta, para luego con ello multiplicar con el valor de la lámina de riego como se muestra la formula anterior.

2.2.6 Tiempo de riego

Según la programación de riego es necesario el tiempo de riego para dotar el agua a los cultivos sin causar daños al suelo.

Calculo del tiempo de riego.

$$Tr = Vol/Q.$$

Dónde:

Tr= tiempo de riego (minutos)

Vol.= Volumen de agua aplicado a las plantas

Q= caudal del gotero

2.2.7 Caudal de ingreso

Caudal que ingresa a los laterales de riego, para nuestro caso es 2.0 l.h^{-1}

$$Q = \frac{q}{(ep) * el}$$

Dónde:

Q : caudal

Q : caudal de ingreso a cada lateral Lt/Hr

Es : espaciamiento entre planta y planta

El : espaciamiento entre lateral y lateral

2.2.8 Etapas

2.2.8.1 Etapa inicial del cultivo de tomate

La etapa inicial está comprendida del 18 de junio al 23 de julio, haciendo un total de 35 días donde el cultivo alcanza aproximadamente el 10% de cobertura del suelo.

En la investigación realizada los cultivos de tomate miden aproximadamente de 20 a 25 Cm. de altura y un ancho de follaje de 12 a 15 Cm.



Figura 2.12: Desde el trasplante hasta 10% de cobertura

2.2.8.2 Etapa de desarrollo del cultivo

En esta etapa el cultivo de tomate mide aproximadamente de 45 a 50 cm. de altura y un ancho de follaje de 43 a 45 Cm.

La etapa de desarrollo del cultivo es de 40 días que comprende desde el 24 de junio al 03 de setiembre Haciendo un tiempo de 75 días total desde la siembra.



Figura 2.13: Desde los 35 días a los 75 días, inicio de floración.

2.2.8.3 Etapa de mediados de temporada

La etapa de mediados de temporada comprende el 04 de setiembre al 29 de octubre donde se da el comienzo de la madurez haciendo en total 125 días desde la fecha de la siembra.

En esta etapa las plantas tienen una altura de 55 a 58 Cm. de altura y un ancho de follaje de 52 a 55cm.



Figura 2.14: Desde 75 a 125 días, inicio de coagulación de los frutos.

2.2.8.4 Etapa de finales de temporada

La etapa final del tomate se da desde los finales de la etapa de mediados que comprende del 30 de octubre al 05 de noviembre haciendo un total de 140 días, midiendo un ancho de follaje de 45cm.



Figura 2.15: Maduración de los tomates

CAPITULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Determinación de la evapotranspiración potencial del cultivo de referencia (ET_o)

En la tabla 3.1, se muestran los resultados de la evapotranspiración de referencia (ET_o), con el método del tanque clase A, en condición de invernadero, donde el ET_o mínimo es de 1.4 mm. d^{-1} y máximos de 1.78 mm. d^{-1} .

El ET_o mínimo es debido a que el área foliar alcanza un máximo de 10%, de crecimiento y a medida que la planta va aumentando de tamaño el área foliar también va aumentando hasta llegar a un máximo de 1.78 mm. d^{-1} en el mes de agosto.

Tabla 3.1: Resultados de la evapotranspiración de referencia (ET_o) mm. d^{-1}

	meses					
	junio	julio	agosto	setiembre	octubre	noviembre
Epan	2.17	2.50	2.55	2.17	2.25	2.20
Kp	0.67	0.71	0.70	0.70	0.70	0.72
ET_o	1.45	1.76	1.78	1.51	1.58	1.59

La evapotranspiración (ET_o) a campo abierto, con datos de la estación meteorológica de INIA, varía desde 2.42 mm. d^{-1} a 3.75 mm. d^{-1} como máximo, Como se muestra en la siguiente tabla 3.2; los valores de la evapotranspiración.

(ET_o) son altos a diferencia de los que se encuentran dentro del invernadero es porque se encuentran al aire libre donde la velocidad del viento es elevada y está libre a más horas de sol, de tal manera la cubierta vegetal se encuentre expuesta al medio ambiente y estas realicen a través de las estomas un intercambio de vapor de agua mediante la transpiración.

Tabla 3.2: Resultados de la evapotranspiración ET_o a campo abierto

	meses				
	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE
Epan (mm., mes ⁻¹)	108.79	159.25	137.18	137.47	145.08
Kp	0.67	0.71	0.70	0.70	0.70
ET_o (mm., d ⁻¹)	2.42	3.63	3.09	3.19	3.30

Según el centro de investigación científica y tecnológicas de Extremadura (CICYTEX) (2015), la evapotranspiración de referencia (ET_o), del cultivo de tomate en condición de invernadero, cultivado en los meses de mayo a agosto, alcanzaron valores de 4.93 mm. d⁻¹ en el mes de mayo un valor máximo de 7.2 mm. d⁻¹ en el mes de julio. Debido a que las temperaturas son mayores en Extremadura.

3.1.1 Etapas de crecimiento del cultivo de tomate

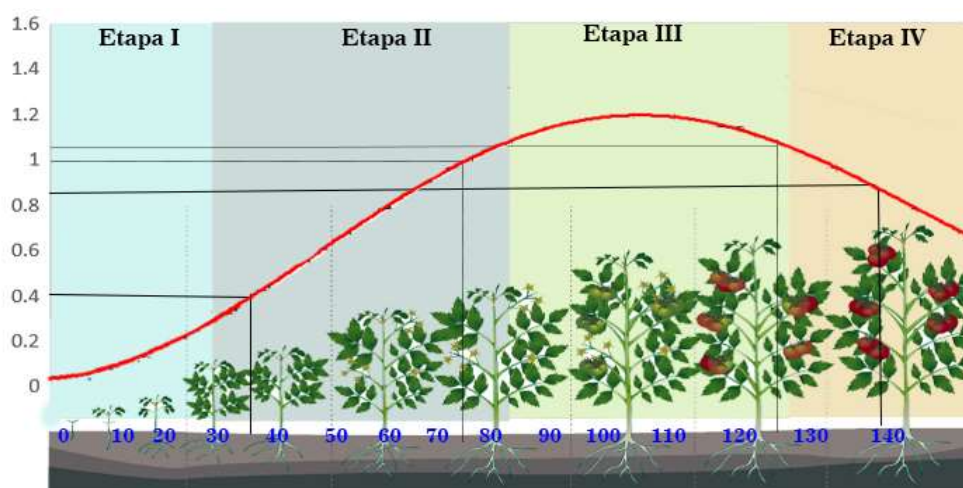
El coeficiente del cultivo (K_c), del tomate en condición de invernadero y a campo abierto se muestra en la siguiente tabla 3.3 y la curva de K_c , se muestra en la figura 3.1.

Para los valores del K_c del cultivo de tomate se ha tomado de la FAO 56, con un periodo vegetativo de 140 días y con las condiciones similares de su fase vegetativa con una siembra en el mes de mayo.

Para la curva del K_c del cultivo de tomate se ha trabajado con la guía de (CICYTEX) elaborado en Extremadura – España; en donde se ha medido los tamaños de las hojas y la altura para determinar la superficie del suelo sombreado (%ss)

Tabla 3.3: periodo vegetativo del tomate.

RESUMEN (K _c) TOMATE		
Etapa Inicial	(35) días	0.42
Etapa de Desarrollo	(40) días	1.00
Etapa de Fase de Estación	(50) días	1.01
Etapa de Estación Final	(15) días	0.87
Total	140 días	

**Figura 3.1:** periodo vegetativo del tomate

CICYTEX (2015), obtuvo resultados de coeficiente de cultivo con valores del K_c , en la primera quincena es de 0.40, y en la segunda mitad, el valor de K_c es 0.49 así fue aumentando sucesivamente hasta llegar a un valor máximo de 1.27 en la segunda mitad del mes de julio y luego empezó a disminuir hasta un valor de 0.70, etapa final de cosecha.

3.2 Evapotranspiración del cultivo (ET_c)

En la tabla 3.4, los resultados de la evapotranspiración del cultivo (ET_c), del tomate, en condiciones de invernadero, varía desde un valor mínimo de 0.58 mm. d^{-1} en el mes de junio hasta un valor máximo de 1.77 mm. d^{-1} en el mes de agosto, como se puede observar en la siguiente tabla.

Las evapotranspiraciones del tomate son bajas debido a que es mínimo la transpiración de las plantas por el poco porcentaje del área foliar, y a medida que va aumentando el índice del área foliar también va aumentando la transpiración de las plantas, así llegando a un máximo de 1.77 mm. d^{-1} en el mes de agosto.

Tabla 3.4: Valores de la ET_c en condición de invernadero.

Evapotranspiración del cultivo de tomate en condición de invernadero						
Meses	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre
$ET_o \text{ (mm. d}^{-1}\text{)}$	1.45	1.76	1.78	1.51	1.58	1.59
K_c	0.40	0.40	1.00	1.01	1.01	0.87
$ET_c \text{ (mm. d}^{-1}\text{)}$	0.58	0.71	1.77	1.52	1.60	1.39

La evapotranspiración del cultivo (ET_c), a campo abierto, con datos de la estación meteorológica de INIA, y con datos del K_c , obtenidos en la zona de estudio del Programa de Investigación de Pastos y Ganadería de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.

Los cálculos realizados varían desde 1.01 mm. d^{-1} como mínimo en el mes de junio, hasta un valor máximo de 3.33 mm. d^{-1} en el mes de octubre, como se muestra en la siguiente tabla.

La evapotranspiración del cultivo es mayor en campo abierto debido a que los cultivos se encuentran sin cubierta, donde la radiación solar y el viento hacen que la transpiración sea mayor en los cultivos.

La evapotranspiración mínima es de 1.01 mm. d^{-1} en el mes de junio debido a que el índice del área foliar está recién en un 10% de la cobertura vegetal, lo cual es mayor la evaporación del suelo desnudo y a medida que el cultivo va desarrollando la transpiración será mayor y la evaporación disminuirá. Así llegando a un máximo valor de evapotranspiración de 3.33 mm. d^{-1} en el mes de octubre, como indica la siguiente tabla.

Tabla 3.5: Valores de la ET_c mensual a campo abierto

Meses de ejecución del proyecto					
Meses	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre
ET_o (mm. d^{-1})	2.42	3.63	3.09	3.19	3.30
K_c	0.42	0.42	1.00	1.01	1.01
ET_c (mm. d^{-1})	1.01	1.52	3.08	3.22	3.33

Según CICYTEX (2015) sobre la ET_c del tomate, varían entre 2.00 mm. d^{-1} a 9.13 mm. d^{-1} este resultado explica que el estudio realizado se encuentra en una zona con altas temperaturas.

3.3 Lámina de riego (L_r)

La lámina de riego (L_r), es la multiplicación de la evapotranspiración de cultivo evaluados en condiciones de invernadero, y la eficiencia de aplicación de 0.95% para un riego de alta frecuencia (goteo). donde la Lámina de riego varía de 0.61 mm. d^{-1} a 1.87 mm. d^{-1} , estos valores son menores debido a que las evapotranspiraciones también son menores dentro del invernadero. Como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 3.6: Lámina de riego dentro del invernadero

meses	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre
ET_c (mm. d^{-1})	0.58	0.71	1.77	1.52	1.60	1.39
EA	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
L_r (mm. d^{-1})	0.61	0.74	1.87	1.60	1.69	1.46

La lámina de riego (L_r) con datos de la estación meteorológica de la INIA, a campo abierto, varían de 1.07 mm. d^{-1} como mínimo en el mes de junio, hasta un valor máximo de 3.51 mm. d^{-1} en el mes de octubre.

En la tabla 3.7 los valores de lámina de riego a campo abierto son mayores debido a que se encuentran a campo abierto en comparación del cultivo que se encuentra dentro de los invernaderos, es por ello que las ET_c son mayores es por ello la lámina de riego también es mayor en los cultivos a campo abierto.

Tabla 3.7: Lámina de riego a campo abierto

meses	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre
ET _c (mm. d ⁻¹)	1.01	1.52	3.08	3.22	3.33
EA	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
Lr (mm. d ⁻¹)	1.07	1.60	3.24	3.39	3.51

Según CICYTEX (2015), las láminas de riego varían desde 1.9 mm. d⁻¹ a 8.67 mm. d⁻¹, debido a que las temperaturas son muy altas a diferencia de los datos climatológicos existentes en nuestra zona.

3.4 Programación de riego

En la tabla 3.8 se muestran los resultados realizados sobre la programación de riego, en condiciones de invernadero en donde determinó el tiempo de riego que varía de 10 minutos a 1 hora con 27 minutos en condiciones de un invernadero.

Al inicio la planta consume menor cantidad de agua, debido a que sus raíces son pequeños y a medida que aumenta de tamaño también aumenta el consumo de agua de cada cultivo, es por ello el tiempo de riego es mayor a medida que aumenta de tamaño los cultivos.

Los cultivos de tomate tienen las siguientes características:

Riego de alta frecuencia (goteo), con una distancia de gotero a gotero de 50 cm y de lateral a lateral de 1.20 m, con un caudal de 2 L. h⁻¹. Con un ciclo vegetativo de 140 días.

Tabla 3.8: Programación de riego en condición de invernadero

Programación de riego en condición de invernadero							
	Und.	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre
1 ET_o	(mm. d ⁻¹)	1.45	1.76	1.78	1.51	1.58	1.59
2 K_c		0.40	0.40	1.00	1.01	1.01	0.87
3 ET_c	(mm. d ⁻¹)	0.58	0.71	1.77	1.52	1.60	1.39
4 P_p	(mm. d ⁻¹)	0.32	0.19	0.10	0.13	0.36	0.27
5 Eficiencia	(%)	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
5 N_n	(mm)	0.29	0.55	1.77	1.47	1.33	1.19
7 N_n . Diarias	(mm. d ⁻¹)	0.096	0.183	0.589	0.491	0.442	0.396
8 Tiempo Riego (h)		0.17	0.33	1.46	1.28	1.20	1.11

También se realizó la programación de riego a campo abierto con datos de la estación meteorológica de la INIA donde el tiempo de riego mínimo es de 31 minutos hasta un máximo de 2 horas con 34 minutos, el consumo de agua es mayor a campo abierto en comparación a un cultivo dentro del invernadero porque están expuestos a la radiación solar.

La programación de riego se realizó con las siguientes características:

Riego de alta frecuencia (goteo), distanciamiento entre planta y planta de 50 cm, distanciamiento entre laterales de 1.20 m. Con un caudal de 2,00 l. h⁻¹. y el ciclo vegetativo del cultivo de tomate es de 140 días.

Tabla 3.9: Programación de riego a campo abierto

Programación de riego a campo abierto						
	Und	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre
1 Et_0	(mm. d ⁻¹)	2.42	3.63	3.09	3.19	3.30
2 K_c		0.42	0.42	1.00	1.01	1.01
3 Et_c	(mm. d ⁻¹)	1.01	1.52	3.08	3.22	3.33
4 P_p	(mm. d ⁻¹)	0.19	0.19	0.28	1.09	1.15
5 Eficiencia	(%)	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
6 N_n	(mm)	0.87	1.41	2.96	2.31	2.36
7 N_n . Diarias	(mm. d ⁻¹)	0.29	0.47	0.99	0.77	0.79
8 Tiempo Riego	(h)	0.52	1.24	2.57	2.18	2.21

Según CICYTEX (2015), en la investigación realizada en condiciones de invernadero el tiempo mínimo de riego es de 18 minutos y un máximo de 4 horas con 18 minutos con las siguientes características riego de alta frecuencia (goteo), separación entre plantas 0.30, separación entre laterales de 1.50 metros, con un caudal de 2,00 L.

CONCLUSIONES

1. La evapotranspiración del cultivo de tomate en condiciones de invernadero varía de 0,58 mm. d⁻¹ como mínimo en el mes de junio a 1.77 mm. d⁻¹ en el mes de agosto el máximo valor obtenido. Además, se determinó la evapotranspiración a campo abierto con datos de la estación meteorológica de INIA en donde varía de 1.01 mm. d⁻¹ como mínimo en el mes de junio a 3.33 mm. d⁻¹ como máximo en el mes de octubre.
2. La lámina de riego del cultivo de tomate (*Lycopersicum esculentum*) en condiciones de invernadero varía de 0.61 mm. d⁻¹ a 1.87 mm. d⁻¹, mientras que a campo abierto la lámina de riego es de 1.07 mm. d⁻¹ a 3.51 mm. d⁻¹.
3. La programación de riego del cultivo de tomate, aplicó en un tiempo de: 10 minutos en el mes de junio, 20 minutos en julio, 1 hora con 27.6 minutos en agosto, 1 hora con 17 minutos en setiembre, 1 hora con 12 minutos en octubre y 1 hora con 7 minutos en el mes de noviembre, mientras que la programación de riego a campo abierto con datos de la estación meteorológica de INIA, es de 31 minutos en junio, 1 hora con 14 minutos en julio, 2 horas con 34 minutos en agosto, 2 horas con 11 minutos en setiembre y 2 horas con 13 minutos en octubre.

RECOMENDACIONES

1. Hacer uso de los valores de la evapotranspiración de cultivo de 0,58 mm. d⁻¹ a 1.77 mm. d⁻¹, para zonas con climas similares a la investigación.
2. Aplicar una lámina de riego de 232.11 mm. d⁻¹ lo que equivale a 2,321.1 m³. ha⁻¹, por campaña.
3. Difundir los resultados obtenidos a los comités de riego de la cuenca Cachi para su aplicación en cultivos de tallo corto.
4. Se recomienda hacer uso de los invernaderos, para cultivos de tallos cortos bajo un riego tecnificado de alta frecuencia.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Aguilera C. M. y E. R. Martínez. 1996. Relaciones agua suelo planta atmósfera. Universidad Autónoma Chapingo. México.
2. Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes, M. Smith. 1998. Directrices para Evapotranspiración de Cultivos Para el cálculo de los requerimientos de agua de cultivos, FAO, Papel de riego y drenaje 56. Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. ISBN.
3. Alves I., I. L. 1995. Modelado de la evapotranspiración de los cultivos. Canopy y aerodinámica Resistencias. Doctor en Filosofía. Disertación, ISA, Univ. Tec. Lisboa.
4. Azis M. I., D. L. Clements y M. Lobo. 2003. A Método de elementos de contorno para Infiltración de canales periódicos. ANZIAM J., 44 (E).
5. Bacon M., M.A. 2004. Efecto del uso del agua en biología vegetal. Publicación de Blackwell, Oxford, Reino Unido.
6. Bartolini, R. 1989. El tomate. Ediciones Mundi presa. 2da edic. Madrid-España.
7. California Fertilizer Asociation, 1995. Manual de fertilizantes para horticultura; nutrientes esenciales para las plantas. M guzmán. Camp. DF. México - limusa.
8. Catie, 1990. Guía para manejo de integrado de plagas del cultivo de tomate – informe técnico N° 151, Turrialba – Costa Rica.
9. CICYTEX (2015), Centro de Investigación (2015).

10. Doorenbos, J., Pruitt, W.O. 1977. Guías para predecir los requerimientos de agua de los cultivos. Documento de la FAO sobre riego y drenaje N° 24.
11. Ducrocq, M. 1990. Les bases de l'irrigation. Serie tech agric medit. Ed. TDL.
12. FAO. 2006. Riego y drenaje. Las necesidades de agua de los cultivos. Estudio FAO. N° 65. Roma. Italia.
13. Fernández M., F. Orgaz, E. Fereres, J. C. López A. Céspedes, J. Pérez, S. Bonachela, M. Gallardo. 2006. Programación del Riego en los cultivos hortícolas bajo invernadero en el sudeste español. CAJA MAR (Caja Rural de Almería y Málaga) España.
14. Fernández M. D. 2000 Necesidades hídricas y programación de riegos en los cultivos hortícolas en invernadero y suelo enarenado de Almería. Tesis de doctorado. España.
15. Fereres E, Connor D. 2004. Gestión sostenible del agua en la agricultura. En: Cabrera E, Cobacho R, eds. Desafíos de las nuevas políticas de agua para el siglo XXI. Lisse, Holanda: A.A. Balkema.
16. González, M., y E. Ruz. 2001. Efecto de la aplicación de diferentes volúmenes de agua de riego y fertilización nitrogenada sobre el rendimiento y calidad de tomate industrial. Agricultura Técnica (Chile)
17. Holwerda, H. 2006. Guía de manejo: Nutrición vegetal de especialidad Tomate. SQM, S.A.
18. Jensen, M. E., R. D. Burman y R. G. Allen. 1990. Evapotranspiration and Irrigation Water Requirements. ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice

19. Jury y Vaux 2005. El papel de la ciencia en la solución de los problemas emergentes del mundo. Actas de la Academia Nacional de Ciencias, EE.UU.
20. Jaramillo. J. et al. 2007. Producción de tomate bajo condiciones protegidas. Corpoica mana gobernación de Antioquia, FAO.
21. Keller, J. y R. D. Bliesner. 1990. Sprinkle and Trickle Irrigation van Nostrand Reinhold., New York, NY.
22. López, J. 2000. Informe Anteproyecto de Plan Hidrológico Nacional. Ministerio de Medio Ambiente.
23. Martínez, R. 1991. Riego localizado: diseño y evaluación. Depto. de Irrigación Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México.
24. Maroto, J. 1986. Horticultura herbácea especial. Ediciones Mundi, Prensa. Madrid.
25. Matallana, A. 2014 Diseño y construcción de invernaderos, Ed. MUNDI PRENSA Madrid, España.
26. Medrano H., J. M. Escalona, J. Bota, J. Gulias, J. Flexas, 2002. Regulación de Fotosíntesis de plantas C3 en respuesta a la sequía progresiva: el interés La conductancia estomática como parámetro de referencia, en Annals of Botany.
27. Pérez J. y Gardey A. Publicado: 2009. Actualizado: 2012. Definición de: clima (<http://definicion.de/clima/>)
28. Pizarro F. (1996), Riego localizado de alta frecuencia (RLAF), Madrid Barcelona México, Ediciones Mundi.

29. Ratliff, L.F., J.T. Ritchie, y D.K. Cassel, 1983. Límites medidos en el campo de agua del suelo Disponibilidad en relación con las propiedades medidas en el laboratorio. Soil Sci. Soc. A.m. J., 47.
30. Rodríguez, R. 1984. Cultivo Moderno del Tomate. Ediciones Mundi Prensa. Madrid, España.
31. Santa Olalla, F., J. A, De Juan Valero. 1993. Agronomía del riego. Ed. Mundi- prensa. Madrid.
32. Sánchez M. I. 2002. Métodos para el estudio de la evaporación y la evapotranspiración, Cuadernos Técnicos Sociedad Española de Geomorfología.
33. Serrano Z. 2005. Construcción de invernaderos Ediciones Mundi-prensa, tercera edición revisada; Madrid, España.
34. Shuttleworth W.J., W.J. 1993. Evaporación. En: D.R. Maidment (ed) Manual Hidrología. McGraw Hill, Nueva York, Estados Unidos de América.
35. Tanner Cb, y Tr. Sinclair (1983). Uso eficiente del agua en la producción de cultivos: ¿investigación? En Taylor, HM, Jordan WR, Sinclair TR (Eds.). Limitaciones al uso eficiente del agua. En la producción de cultivos Madison, WI ASA, CSSA, SSSA.
36. Toovy F.M. 2005. Construcción de invernaderos comerciales Manuales de colección agropecuaria, México.
37. Villón V., V. 2007. Determinación de dosis óptimas de nitrógeno y potasio en cultivo de tomate (*Lycopersicum esculentum*) y pimiento (*Capsicum annuum*) en rio verde cantón santa Elena. Tesis ingeniería agronómica, USPE. Guayas, Ecuador.

ANEXO

PANEL FOTOGRÁFICO

Ubicación del área de investigación en programa de investigación pastos y ganadería de la UNSCH.



Fotografía 1. 1 Área de ubicación de la investigación



Fotografía 1. 2 Instalación de las macetas dentro del tinglado



Fotografía 1. 3 Plántulas de tomate en cajas almacigueras



Fotografía 1. 4 Instalación de las mangueras de riego



Fotografía 1. 5 Instalación del pluviómetro dentro y fuera del tinglado



Fotografía 1. 6 Riego por goteo dentro del tinglado



Fotografía 1. 7 Medición del ancho y altura del follaje del tomate



Fotografía 1. 8 Medición del tanque evaporímetro clase “A” diario



Fotografía 1. 9 Fase inicial de crecimiento



Fotografía 1. 10 Fase inicial de crecimiento



Fotografía 1. 11 Fase de desarrollo del cultivo de tomate



Fotografía 1. 12 Inicio de floración del cultivo de tomate.



Fotografía 1. 13 Inicio de floración del cultivo de tomate



Fotografía 1. 14 Fase de floración



Fotografía 1. 15 Fase de fructificación de los tomates



Fotografía 1. 16 Fase de maduración de los tomates



Fotografía 1. 17 Maduración de los tomates en exterior del invernadero



Fotografía 1. 18 Fase de maduración y cosecha de los tomates.