

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**“REQUERIMIENTO HÍDRICO DEL PEPINO HÍBRIDO DIAMANTE
F1 Y MARKETMORE 76 (*Cucumis sativus* L.) EN CONDICIONES DE
INVERNADERO”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO AGRÍCOLA**

DANIEL ALEXANDER MEZA RODRIGUEZ

**LIMA - PERÚ
2023**

La UNALM es titular de los derechos patrimoniales de la presente investigación

(Art.24 – Reglamento de Propiedad Intelectual)

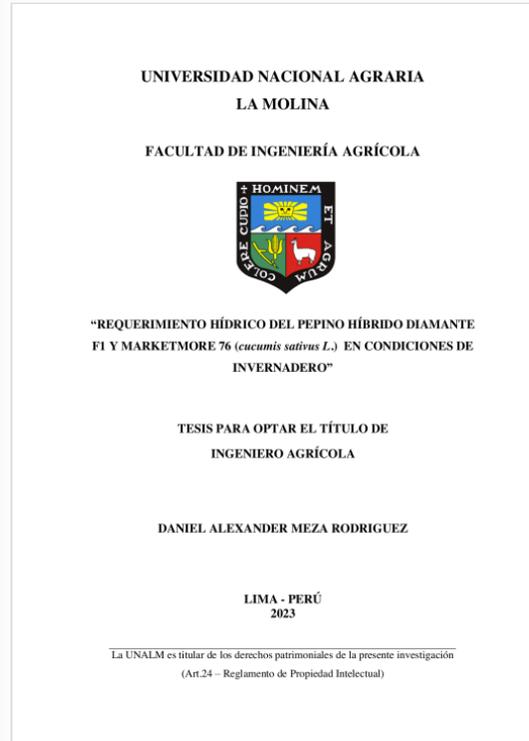


Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por **Turnitin**. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Daniel Alexander Meza Rodriguez
Título del ejercicio: Tesis Daniel Meza
Título de la entrega: "REQUERIMIENTO HÍDRICO DEL PEPINO HÍBRIDO DIAMANT...
Nombre del archivo: TESIS_PEPINO.pdf
Tamaño del archivo: 4.33M
Total de páginas: 103
Total de palabras: 21,829
Total de caracteres: 108,632
Fecha de entrega: 23-ago-2023 09:15p.m (UTC+0500)
Identificador de la entre... 2150266186



REQUERIMIENTO HÍDRICO DEL PEPINO HÍBRIDO DIAMANTE F1 Y MARKETMORE 76 (*Cucumis sativus* L.) EN CONDICIONES DE INVERNADERO.

INFORME DE ORIGINALIDAD

10%

INDICE DE SIMILITUD

10%

FUENTES DE INTERNET

0%

PUBLICACIONES

0%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS



purl.org

Fuente de Internet

10%

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 10%

Excluir bibliografía

Activo

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA

**“REQUERIMIENTO HÍDRICO DEL PEPINO HÍBRIDO DIAMANTE
F1 Y MARKETMORE 76 (*Cucumis sativus* L.) EN CONDICIONES DE
INVERNADERO”**

TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE:

INGENIERO AGRÍCOLA

Presentado por:

BACH. DANIEL ALEXANDER MEZA RODRIGUEZ

Sustentado y aprobado por el siguiente jurado:

Dr. DAVID RICARDO ASCENCIOS TEMPLO
Presidente

Dr. NÉSTOR MONTALVO ARQUIÑIGO
Miembro

Ing. ANTONIO CELESTINO ENCISO GUTIÉRREZ
Miembro

Mg. Sc. MIGUEL ÁNGEL SÁNCHEZ DELGADO
Asesor

LIMA – PERÚ

2023

DEDICATORIA

Esta tesis esta dedicada a dios por haberme iluminado sabiamente a lo largo de mi vida.

Dedicado a mis padres Dina y José, por apoyarme incondicionalmente, por sus consejos que me ayudaron a ser mejor persona.

A mis hermanos por siempre motivarme a lograr mis metas, a mis tías y tíos por siempre estar pendiente de mí y a mis abuelos que están en el cielo que sé que están felices por lograr mis objetivos.

ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN	1
1.1.	OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	2
1.1.1.	Objetivo general	2
1.1.2.	Objetivos específicos	2
II.	REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1.	REQUERIMIENTO HÍDRICO DE LOS CULTIVOS.....	3
2.1.1.	Impacto del clima en la demanda de agua de los cultivos.....	3
2.1.2.	El impacto del tipo de cultivo en sus necesidades hídricas.	3
2.1.3.	Impacto del estado de desarrollo del cultivo en su requerimiento hídrico.	4
2.1.4.	Evapotranspiración	4
2.2.	CULTIVO DEL PEPINO.....	12
2.2.1.	Origen	12
2.2.2.	Importancia del cultivo de pepino	12
2.2.3.	Producción del cultivo en el Perú	13
2.2.4.	Clasificación taxonómica	14
2.2.5.	Características botánicas.....	14
2.2.6.	Requerimientos edafoclimáticos.....	16
2.3.	MANEJO DE AGUA EN EL SUELO.....	18
2.3.1.	Capacidad de campo (CC).....	18
2.3.2.	Punto de marchitez permanente (PMP).....	18
2.3.3.	Medición de humedad con TDR.....	18
2.4.	MANEJO DEL RIEGO.....	20
2.4.1.	Lámina de riego	21
2.4.2.	Riego deficitario controlado (RDC)	21
2.5.	FERTILIZACIÓN	21

2.5.1.	Fertilizantes foliares	22
2.6.	ANTECEDENTES	23
III.	METODOLOGÍA	24
3.1.	UBICACIÓN EXPERIMENTAL	24
3.2.	EQUIPOS Y MATERIALES	25
3.2.1.	Material biológico	25
3.2.2.	Insumos.....	25
3.2.3.	Equipos	26
3.3.	PROCEDIMIENTO	26
3.3.1.	Almácigo	26
3.3.2.	Preparación del sustrato.....	28
3.3.3.	Trasplante	29
3.3.4.	Poda de formación	29
3.3.5.	Manejo de riego	30
3.3.6.	Fertilización	33
3.4.	METODOLOGÍA PARA LAS EVALUACIONES	34
3.4.1.	Evaluación del riego	34
3.4.2.	Evaluación de parámetros morfológicos	37
3.4.3.	Parámetros de humedad.....	38
3.4.4.	Cosecha.....	38
3.5.	DISEÑO ESTADÍSTICO	38
3.5.1.	Factores.....	40
3.5.2.	Análisis Estadístico	41
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	42
4.1.	DATOS CLIMÁTICOS	42
4.1.1.	Temperatura.....	42
4.1.2.	Humedad Relativa (HR)	43

4.1.3.	Evaporación del tanque Clase A.....	44
4.2.	COEFICIENTE DE CULTIVO	45
4.2.1.	Kc pepino método TTA.....	45
4.3.	EVALUACIONES BIOMÉTRICAS	48
4.3.1.	Altura de planta	48
4.3.2.	Diámetro de tallo	49
4.3.3.	Profundidad de raíz.....	50
4.4.	EVALUACIÓN DE PARÁMETROS DE RIEGO	50
4.4.1.	Consumo de agua	50
4.4.2.	Evapotranspiración y volumen de agua.....	53
4.4.3.	Consumo de fertilizantes	55
4.4.4.	Monitoreo de humedad.....	56
4.5.	EVALUACIONES AGRONÓMICAS	57
4.5.1.	Rendimiento	57
4.5.2.	Evaluación comercial	58
4.5.3.	Uso eficiente del agua.....	59
4.6.	EVALUACIÓN ESTADÍSTICA.....	60
4.6.1.	Variables agronómicas	60
4.6.2.	Variables biométricas	61
4.6.3.	Variables de riego.....	61
V.	CONCLUSIONES.....	63
VI.	RECOMENDACIONES.....	64
VII.	BIBLIOGRAFÍA.....	65
VIII.	ANEXOS	71

ÍNDICE TABLAS

Tabla 1: Valores de temperatura base, optima y umbral superior para cada cultivo.....	10
Tabla 2: Producción de pepino a nivel mundial para los años 2001-2005	13
Tabla 3: Caracterización del sustrato.....	26
Tabla 4: Nutrientes de la solución hidropónica “La Molina-2 expresada en ppm	28
Tabla 5: Caracterización del agua.	33
Tabla 6: Cantidades de fertilizante según etapa.	34
Tabla 7: Clasificación propuesta de la calidad del fruto	38
Tabla 8: Descripción de los factores de la investigación	40
Tabla 9: Análisis de varianza para el experimento.....	41
Tabla 10: Valores de Kc hallados para el establecimiento.....	45
Tabla 11: Valores de Kc hallados para el desarrollo vegetativo.	46
Tabla 12: Valores de Kc hallados para madurez.	47
Tabla 13: Profundidad de raíz promedio de cada tratamiento.....	50
Tabla 14: Volúmenes por planta consumidos durante toda la investigación.	51
Tabla 15: Requerimiento hídrico por etapa fenológica en Diamante F1.....	53
Tabla 16: Requerimiento hídrico por etapa fenológica en Marketmore 76.....	53
Tabla 17: Evapotranspiración del cultivo por etapa y tratamiento.....	54
Tabla 18: Producción en kilos y rendimiento de la variedad Diamante F1.....	57
Tabla 19: Producción en kilos y rendimientos para la variedad Marketmore 76 F2.....	57
Tabla 20: Uso eficiente del agua.	60
Tabla 21: Comparación de medias estadísticas y CV para las variables agronómicas	60
Tabla 22: Comparación de medias de variables biométricas.	61
Tabla 23: Comparación de medias en el uso eficiente del agua.....	62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Coeficientes del tanque evaporímetro (Kp) para el tanque Clase A	6
Figura 2: Curva generalizada del coeficiente del cultivo, correspondiente al procedimiento del coeficiente único del cultivo.....	8
Figura 3: Información taxonómica del cultivo del pepino.	14
Figura 4: TDR modelo 150 FieldScout	20
Figura 5: Ubicación del centro de investigación.	24
Figura 6: Germinación a los 14 días de sembrado.....	27
Figura 7: Plantines con 30 días de germinadas.....	27
Figura 8: Perfil del enarenado de Almería.....	28
Figura 9: Vista de las 3 capas mezcladas	29
Figura 10: Poda de formación	30
Figura 11: Arco de riego instalado.	30
Figura 12: Tanque evaporímetro Clase A utilizado	31
Figura 13: Medición de conductividad eléctrica en el fertirriego (Izquierda) y aplicación de ozono(derecha)	33
Figura 14: Croquis de la investigación	40
Figura 15: Registro semanal promedio de la temperatura.	42
Figura 16: Registro semanal promedio de la humedad relativa.	43
Figura 17: Evaporación del tanque Clase A dentro del invernadero.....	44
Figura 18: Evaporación del tanque Clase A en campo.....	44
Figura 19: Coeficiente del cultivo de pepino.....	48
Figura 20: Evolución de la altura de plantas por tratamiento.....	49
Figura 21: Evolución del diámetro de tallo promedio por tratamiento	49
Figura 22: Litros de agua por planta aplicado para la variedad Diamante F1	51
Figura 23: Litros de agua por planta aplicado para la variedad Marketmore 76.....	52
Figura 24: Evapotranspiración del cultivo en todo el ciclo del cultivo	54
Figura 25: Volumen de agua aplicado por tratamiento y etapa fenológica.	55
Figura 26: Consumo de fertilizantes.....	56
Figura 27: Valores de humedad volumétrica a 8 cm.	56
Figura 28: Numero de frutos totales cosechados por tratamientos.....	58
Figura 29: Porcentaje de representación de frutos por calidades.	59

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Evaporación registrada diariamente en el tanque Clase A dentro del invernadero.	71
Anexo 2: Evaporación registrada diariamente en el tanque Clase A fuera del invernadero.	72
Anexo 3: Análisis estadístico en SAS versión 9.1.....	72
Anexo 4: Panel fotográfico durante toda la investigación.....	72

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar las necesidades hídricas del pepino (*cucumis sativus L.*), en dos variedades, la híbrida Diamante F1 y la convencional Marketmore 76 (F1 y F2) bajo tres láminas de riego de 100%, 75% y 50% de la evapotranspiración del cultivo (P3, P2 y P1) bajo condiciones de invernadero. El experimento se realizó en el Centro de Investigación y Extensión en Riego del Departamento de Recursos Hídricos de la Facultad de Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional Agraria La Molina, durante el periodo de junio del 2022 hasta diciembre de 2022. El experimento se basó en un diseño de bloques completamente al azar con arreglo factorial 2x3 con 8 repeticiones. Las variables evaluadas fueron: requerimiento hídrico, rendimientos, número de frutos, diámetro, largo y peso de fruto, diámetro de tallo, profundidad de raíz, altura de planta, humedad del suelo, uso eficiente del agua y coeficiente del cultivo. Para la fertilización se usó los productos Polyfeed Inicio (8-52-17) 200 gr y Polyfeed Llenado de granos (15-15-30) 6 kg. Los resultados para el requerimiento hídrico en la variedad híbrida Diamante en sus tres tratamientos (P1, P2 y P3) fue de 720, 1100 y 1540 m³/ha respectivamente y para la variedad Marketmore 76 en sus tres tratamientos (P1, P2 y P3) fue 520, 860 y 1200 m³/ha respectivamente. Para la variable rendimiento los resultados indicaron que los tratamientos F1P2, F1P3 y F2P3 estuvieron por encima del promedio nacional de 25 tn/ha. Específicamente, registraron 34.5, 38.9 y 31.1 tn/ha respectivamente. Para la variable calidad de fruto, las láminas de 100% ETc de la variedad Diamante F1 y Marketmore 76 obtuvieron el mayor porcentaje de calidad de primera (76.1% y 60.3%), (50% y 19.2%) en el tratamiento de 75% ETc y (17.5% y 21.2%) en el tratamiento de 50% ETc respectivamente. Para el uso eficiente del agua los tratamientos testigos (F1P3 Y F2P3) fue de 39.08 y 37.97 l/kg, para los tratamientos F1P1, F1P2, F2P1 y F2P2 fueron de 29.82, 31.32, 26.21 y 33.88 l/kg respectivamente. Por último, se determinó el coeficiente del cultivo de pepino bajo condiciones de invernadero, en la cual se obtuvo un valor de 0.2 en la etapa inicial, para la etapa de desarrollo en un rango de 0.2-1.2 y en la etapa final fue un valor de 1.2. En definitiva, el mejor tratamiento fue de 75%ETc en la variedad híbrida Diamante F1 por tener un rendimiento superior (34.5 tn/ha) al promedio nacional (25 tn/ha) y tener una eficiencia hídrica (31.32 l/kg) por debajo del tratamiento testigo (39.08 l/kg).

Palabra clave: Lamina de riego, rendimiento, uso eficiente del agua, invernadero, riego deficitario controlado.

SUMMARY

The objective of this research was to evaluate the water needs of cucumber (*Cucumis sativus* L.), in two varieties, the hybrid Diamante F1 and the conventional Marketmore 76 (F1 and F2) under three irrigation sheets of 100%, 75% and 50 % of crop evapotranspiration (P3, P2 and P1) under greenhouse conditions. The experiment was carried out at the Irrigation Research and Extension Center of the Water Resources Department of the Faculty of Agricultural Engineering of the La Molina National Agrarian University, from June 2022 to December 2022. The experiment was based on a completely randomized block design with 2x3 factorial arrangement with 8 repetitions. The variables evaluated were: water requirement, yields, number of fruits, diameter, length and weight of the fruit, stem diameter, root depth, plant height, soil moisture, efficient use of water and crop coefficient. For fertilization, the products Polyfeed Start (8-52-17) 200 gr and Polyfeed Filled with grains (15-15-30) 6 kg were used. The results for the water requirement in the hybrid Diamante variety in its three treatments (P1, P2 and P3) were 720, 1100 and 1540 m³/ha respectively and for the Marketmore 76 variety in its three treatments (P1, P2 and P3) it was 520, 860 and 1200 m³/ha respectively. For the yield variable, the results indicated that the F1P2, F1P3 and F2P3 treatments were above the national average of 25 tn/ha. Specifically, they registered 34.5, 38.9 and 31.1 tn/ha respectively. For the fruit quality variable, the 100% ETC slices of the Diamante F1 and Marketmore 76 variety obtained the highest percentage of first-class quality (76.1% and 60.3%), (50% and 19.2%) in the 75% treatment. ETC and (17.5% and 21.2%) in the 50% ETC treatment, respectively. For the efficient use of water, the control treatments (F1P3 and F2P3) were 39.08 and 37.97 l/kg, for the treatments F1P1, F1P2, F2P1 and F2P2 they were 29.82, 31.32, 26.21 and 33.88 l/kg respectively. Finally, the coefficient of cucumber cultivation under greenhouse conditions was determined, in which a value of 0.2 was obtained in the initial stage, for the development stage in a range of 0.2-1.2 and in the final stage it was a value from 1.2. In short, the best treatment was 75% ETC in the hybrid variety Diamante F1 because it had a higher yield (34.5 tn/ha) than the national average (25 tn/ha) and had a water efficiency (31.32 l/kg) below control treatment (39.08 l/kg).

Key word: Irrigation sheet, yield, efficient use of water, greenhouse, controlled deficit irrigation.

I. INTRODUCCIÓN

Un informe de la ONU prevé que la población mundial alcance los 9.700 millones en 2050 y alrededor de 11.000 millones en 2100. (United Nations, 2019). Para satisfacer la demanda global, se requiere un aumento inevitable en la producción de alimentos. Esto significa que no solo se debe aumentar la productividad, sino también optimizar el uso de recursos limitados como el agua y las tierras fértiles. (Spiertz, 2012).

Los cultivos hortícolas requieren una nutrición hídrica adecuada que pueda garantizar la expresión genética de diversas especies y/o variedades. Un aporte insuficiente o desproporcionado de agua al cultivo tiene un impacto negativo en los rendimientos y/o la calidad de la cosecha. En algunos casos, puede causar demoras innecesarias en el proceso de producción. (Romero et al., 2009).

El pepinillo tiene muchas propiedades nutritivas, destacando su alto contenido de ácido ascórbico y pequeñas cantidades de complejo vitamínico B. Es rico en hierro, calcio, cloruro y potasio. Las semillas contienen una gran cantidad de aceites vegetales. Es una especie que se encuentra en diversas áreas ecológicas de todo el mundo, principalmente entre los 50° de latitud norte y los 30° de latitud sur, principalmente en climas cálidos y no muy fríos. (Infoagro, 2015).

Martínez (2017), utilizó el método del lisímetro volumétrico para estimar el requerimiento hídrico de la variedad de pepino (*Cucumis sativus* L.) Marketmore76, y descubrió que la evapotranspiración del cultivo fue mayor en la fase de desarrollo, con 3.29 mm/día. Mientras que el valor más bajo se encuentra en la etapa inicial de 2.15 mm/día.

Cruz, Monge y Loría (2020), llevaron a cabo una comparación agronómica entre varios tipos de pepino (*Cucumis sativus*), donde el pepino pequeño comenzó a cosechar a los 26 días después del trasplante, mientras que los tipos mediano y largo comenzaron a cosechar entre

los 28 y 30 días después del trasplante. Los datos mostraron una gran variabilidad entre los tipos de pepino. La longitud era (11.89 a 31.74 cm), el diámetro era (43.15 a 50.37 mm) y el peso del fruto era (143.07 a 488.19 g), y el rendimiento por área era (22.48 a 33.54 kg/m²).

En la actualidad, se pueden utilizar los invernaderos para manejar los aspectos edafoclimáticos de un cultivo. Estas estructuras ofrecen soluciones a las demandas de la región. La reducción de la radiación en un invernadero reduce la necesidad de riego al disminuir la evapotranspiración. Esto, combinado con un aumento de la producción, permite un uso más eficiente del agua de riego. (Stanghellini, 1992).

En el presente trabajo se quiere determinar el requerimiento hídrico del pepino híbrido Diamante F1 y Marketmore 76, con tres láminas diferentes de agua (50%, 75% y 100%ETc), además de determinar el coeficiente del cultivo bajo condiciones de invernadero, ya que nos permitirá tener un uso eficiente de agua para el cultivo de pepino en invernadero y así preservar este recurso no renovable que cada día es más valiosa por su escasez.

OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1.1. Objetivo general

Determinar las necesidades hídricas del pepino híbrido Diamante F1 y Marketmore 76 (*cucumis sativus L.*), en condiciones de invernadero.

1.1.2. Objetivos específicos

- Determinar el requerimiento hídrico del cultivo de pepino híbrido Diamante F1 y Marketmore 76 (*cucumis sativus L.*), en sus diferentes fases fenológicas a través del método del tanque evaporímetro clase A aplicando las láminas de riego de 50%,75%,100% de la Etc.
- Determinar el coeficiente de cultivo (kc) del pepino híbrido Diamante F1 y Marketmore 76 (*cucumis sativus L.*) en condiciones de invernadero.
- Determinar la eficiencia del uso del agua del cultivo de pepino híbrido Diamante F1 y Marketmore 76 (*cucumis sativus L.*) para las láminas de riego de 50%,75%,100% de la Etc.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. REQUERIMIENTO HÍDRICO DE LOS CULTIVOS

Hernández Palomo (2014) menciona que las plantas necesitan la misma cantidad de agua de lo que transpiran y de lo que el suelo se evapora donde el clima, la combinación de especies, la densidad y las características microclimáticas de la zona afectarán en parte.

Se ha informado que el cambio climático ha aumentado la necesidad de agua de los cultivos, pero esto no tiene en cuenta el impacto de la temperatura durante todo el ciclo fenológico. (Rodríguez et al., 2007)

Allen et al. (2006) mencionan que la especie, la variedad, la etapa fenológica, la fecha de siembra y las condiciones ambientales del ciclo fenológico determinan principalmente cuánto agua necesitan los cultivos.

2.1.1. Impacto del clima en la demanda de agua de los cultivos.

Hernández Palomo (2014) menciona que los cultivos que crecen en climas cálidos con cielos despejados necesitarán más agua por día que un cultivo que crece en un clima más frío y con presencia de nubes. Los factores climáticos como la temperatura, la luz solar, la humedad del aire y la velocidad del viento son los que influyen en la necesidad de agua de un cultivo (o la evapotranspiración). Por lo tanto, se puede concluir que las necesidades de agua de un cultivo específico dependerán del clima del lugar donde se haya sembrado.

2.1.2. El impacto del tipo de cultivo en sus necesidades hídricas.

Las necesidades hídricas esenciales varían según el tipo de cultivo:

- a) En un estado de pleno desarrollo, los cultivos requieren diferentes cantidades diarias de agua. Por ejemplo, un cultivo de maíz totalmente desarrollado necesitará más agua que un cultivo de apio totalmente desarrollado.

- b) El ciclo vegetativo varía de unos cultivos a otros, algunos tienen un ciclo vital corto (90 a 100 días), otros tienen un ciclo de 120 a 160 días y otros, como los frutales, permanecen en el suelo durante años. Es necesario obtener información local sobre la duración del ciclo de los cultivos en una región específica. (FAO, 1987).

2.1.3. Impacto del estado de desarrollo del cultivo en su requerimiento hídrico.

FAO (1987) menciona que las plantas transpiran menos de lo que el suelo evapora cuando son pequeñas, pero cuando hayan alcanzado su desarrollo máximo, ocurrirá lo contrario, es decir, la transpiración será mayor que la evaporación.

En el estado inicial las necesidades hídricas de un cultivo son aproximadamente del 50% de la demanda que surge durante el estado de pleno desarrollo. En relación con el estado final, que es cuando el cultivo madura y se cosecha. (FAO, 1987).

Los cultivos cosechados en seco (como el maíz en grano, el girasol, etc.) requieren una cantidad mínima de agua en su fase final, que es aproximadamente el 25% del estado medio. (FAO, 1987).

2.1.4. Evapotranspiración

2.1.4.1. Evapotranspiración de referencia (ET_o).

Concepto desarrollado por Thornthwaite, que la define como la evapotranspiración máxima posible que puede ocurrir en condiciones favorables cuando el suelo está lleno de agua y cubierto por una vegetación o cubierta vegetal denso, pareja y de poca altura.

Según Ávila y Melo (1983), La evapotranspiración del cultivo de referencia muestra cuánto agua realmente necesitan los cultivos para crecer en condiciones de humedad ideales.

El estudio de la idea de la necesidad hídrica es aquel que permite satisfacer las necesidades hídricas del cultivo o el uso consultivo, que es la cantidad de agua evapotranspirada en un área determinada por unidad de tiempo. (Serrano, 1996)

Allen et al. (2006) mencionan que la evaporación del tanque evaporímetro Clase A también se puede utilizar para calcular la evapotranspiración de referencia (ET₀). Estos tanques de clase A han demostrado su valor práctico y se han utilizado con éxito para estimar la evapotranspiración de referencia (ET₀) observando la evaporación del tanque y aplicando coeficientes empíricos para relacionar la evaporación del tanque con la ET₀. Sin embargo, para utilizar este método se deben tomar ciertas precauciones y se debe asegurar un buen manejo del tanque.

2.1.4.1.1. Método del Tanque Evaporímetro clase A.

Los tanques clase A muestran como el viento, la radiación, la temperatura y la humedad afectan el proceso evaporativo de una superficie de agua abierta. (Allen et al., 2006).

Aunque el tanque evaporímetro responde de manera similar a los factores climáticos que afectan la transpiración del cultivo, una serie de factores hacen que la pérdida de agua de una superficie libre evaporante y de una superficie cultivada sea significativamente diferente. (Allen et al., 2006).

A través de un coeficiente K_p, la evaporación obtenida por el tanque Clase A se relaciona con la evapotranspiración.

$$ET_0 = K_p * E_v \quad (1)$$

Donde:

ET₀: Evapotranspiración del cultivo de referencia (mm/día)

K_p: Coeficiente empírico de tanque.

E_v: Evaporación obtenida del evaporímetro (mm/día).

El coeficiente del tanque evaporímetro depende del suelo, el viento y las condiciones generales de humedad. Por lo tanto, los resultados se ven afectados por la ubicación y el entorno del tanque evaporímetro. (Allen et al., 2006).

Si se realizan cambios en la instalación del tanque clase A, como la decoloración del tanque, la oxidación de las mallas protectoras del tanque o cualquier otra situación, el Kp será modificado de acuerdo con las variaciones propias del tanque. (Allen et al., 2006).

Tanque Clase A	Caso A: Tanque situado en una superficie cultivada				Caso B: Tanque situado en un suelo desnudo				
	HR media	baja < 40	media 40-70	alta > 70	baja < 40	media 40-70	alta > 70		
Velocidad del viento (m s ⁻¹)	Distancia del cultivo a barlovento (m)					Distancia del barbecho a barlovento (m)			
Baja	1	,55	,65	,75	1	,7	,8	,85	
	< 2	10	,65	,75	,85	10	,6	,7	,8
	100	,7	,8	,85	100	,55	,65	,75	
	1 000	,75	,85	,85	1 000	,5	,6	,7	
Moderada	1	,5	,6	,65	1	,65	,75	,8	
	2-5	10	,6	,7	,75	10	,55	,65	,7
	100	,65	,75	,8	100	,5	,6	,65	
	1 000	,7	,8	,8	1 000	,45	,55	,6	
Alta	1	,45	,5	,6	1	,6	,65	,7	
	5-8	10	,55	,6	,65	10	,5	,55	,65
	100	,6	,65	,7	100	,45	,5	,6	
	1 000	,65	,7	,75	1 000	,4	,45	,55	
Muy alta	1	,4	,45	,5	1	,5	,6	,65	
	> 8	10	,45	,55	,6	10	,45	,5	,55
	100	,5	,6	,65	100	,4	,45	,5	
	1 000	,55	,6	,65	1 000	,35	,4	,45	

Figura 1: Coeficientes del tanque evaporímetro (Kp) para el tanque Clase A

Fuente: Tomado de Allen et al. (2006)

2.1.4.2. Evapotranspiración del cultivo (ETc)

Según Allen et al. (2006) las necesidades de riego diaria (NR) o también conocida como la evapotranspiración del cultivo (ETc), se calcula como el producto de la evapotranspiración de referencia (ET0) y el coeficiente del cultivo (Kc):

$$ETc = Kc * ET0 \quad (2)$$

Donde:

ETc: Evapotranspiración real o actual del cultivo (mm o cm)

Kc: Coeficiente de cultivo (adimensional)

ET0: Evapotranspiración potencial o de referencia (mm o cm)

Para calcular la evapotranspiración de los cultivos bajo condiciones estándar (ETc.), se usan campos extensos, condiciones agronómicas ideales y sin restricciones de humedad del suelo. (Allen et al. 2006).

La evapotranspiración de un cultivo (ETc) será diferente a la evapotranspiración de referencia (ET0) debido a las diferencias en sus características de resistencia aerodinámica, cobertura del suelo y propiedades vegetales (Allen et al. 2006).

El coeficiente del cultivo (Kc) tiene en cuenta los efectos de las características que diferencian al cultivo considerado del pasto. En la metodología del coeficiente de cultivo, la evapotranspiración del cultivo se calcula multiplicando ET0 por Kc. (Allen et al. 2006).

2.1.4.3. Coeficiente del Cultivo (Kc).

Según Allen, (2006), es un coeficiente que describe las variaciones en la cantidad de agua que las plantas extraen del suelo a medida que se desarrollan, desde la siembra hasta la recolección, y tiene en cuenta las características del cultivo y los efectos promedios de la evaporación en el suelo. La curva de Kc está relacionada con las fases de crecimiento del cultivo (**ver figura 2**). La curva describe cuatro etapas: inicio de la temporada, desarrollo del cultivo, mediados o intermedios de la temporada y final de la temporada. La fase inicial comienza cuando la siembra alcanza un 10% de la cobertura del suelo. La fase de desarrollo comienza cuando finaliza la etapa anterior y continúa hasta que la planta crece activamente.

La fase intermedia ocurre cuando cada cultivo alcanza una cobertura máxima del 70-80 % desde la floración hasta el cultivo. La última fase, que va desde la madurez hasta la cosecha. El coeficiente de cultivo (Kc) muestra cómo cambia la cantidad de agua que las plantas extraen del suelo a medida que crecen, desde la siembra hasta la recolección.

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

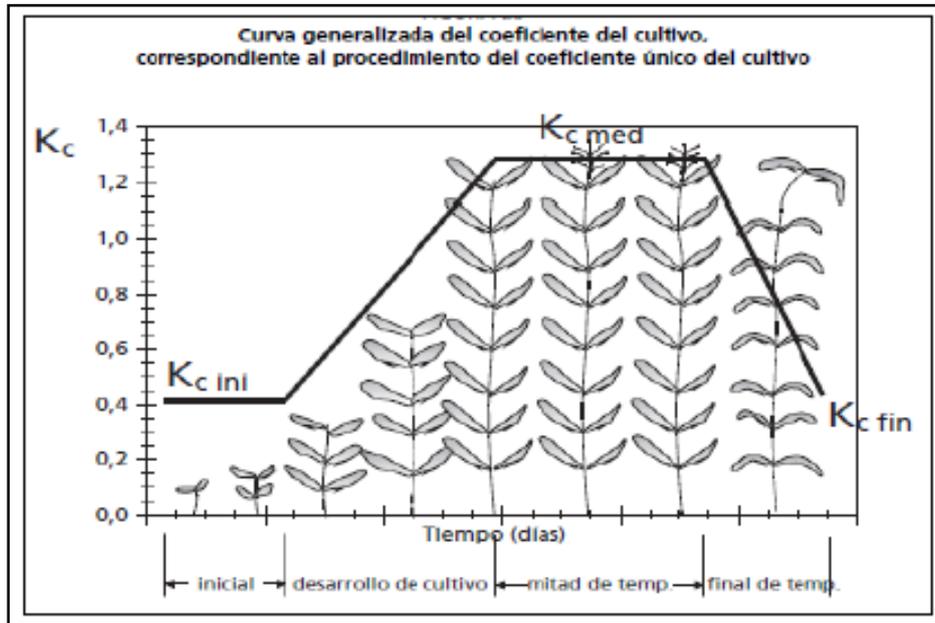


Figura 2: Curva generalizada del coeficiente del cultivo, correspondiente al procedimiento del coeficiente único del cultivo.

Fuente: FAO 56

- **Inicial:** Germinación y crecimiento inicial, cuando el cultivo no cubre la mayor parte del suelo.
- **Desarrollo:** Final de la fase inicial hasta que se alcanza una cubierta sombreada completa efectiva.
- **Media:** Desde que se obtiene la cubierta sombreada efectiva completa hasta el momento que comienza la maduración.
- **Maduración:** Desde el final de la fase anterior hasta que se llega a la plena maduración o la recolección.

El K_c comienza con un pequeño valor y aumenta a medida que la planta se expande. Los valores más altos de K_c se alcanzan durante la floración, se mantienen durante la fase media y finalmente disminuyen durante la fase de maduración. Los valores de K_c para cada cultivo en la región y para diferentes fechas de siembra son ideales, pero si no hay información, se pueden usar valores orientados. (Allen et al. 2006).

Según Allen et al. (2006) los coeficientes de cultivo para cultivos permanentes y leñosos generalmente se calculan en meses y generalmente se basan en el grado de cobertura del suelo, que indica el porcentaje de superficie del suelo que ocupa la masa Arborea.

Los coeficientes de cultivo aumentarían si algún cultivo fuera implantado entre las filas de árboles debido al consumo que implica. Si hubiera malas hierbas, la situación sería similar. (Allen et al. 2006).

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

Saavedra y Morales (1998) menciona que las características del cultivo, la fecha de siembra, el ritmo de desarrollo del cultivo, la duración del periodo vegetativo, las condiciones climáticas y la frecuencia de lluvia o riego, son los principales factores que afectan los valores de Kc. El coeficiente Kc de cada cultivo variará según las fases de desarrollo del cultivo y será el siguiente:

- **Fase Inicial (Fase 1):** Comprende el periodo de germinación y crecimiento inicial, cuando la superficie del suelo está cubierta apenas por el cultivo, es decir cuando la planta comienza la emergencia. Desde la siembra hasta el 10% de cobertura vegetal.
- **Fase de crecimiento o Desarrollo del cultivo (Fase 2):** Comprende desde el final de la Fase 1 hasta que se llega a una cubierta sombreada efectiva completa del orden del 70 al 80%.
- **Fase de mediados del Periodo o Maduración (Fase 3):** Comprendida desde que se obtiene la cubierta sombreada efectiva completa hasta el momento de iniciarse la maduración que se hace evidente por la decoloración o caída de hojas.
- **Fase Final del Periodo Vegetativo o Cosecha (Fase 4):** Comprende desde el final de la fase anterior hasta que se llega a la plena maduración o cosecha.

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

2.1.4.4. Coeficiente del cultivo en hortícolas de invernadero

2.1.4.4.1. Expresiones para el cálculo del TTA

Fernández et al. (2001), indican que las temperaturas máximas (T_{max}) y mínimas (T_{min}) diarias, así como los tres valores de temperatura distintivos de cada cultivo, que definen su respuesta a la temperatura: T_b (temperatura base), T_{op} (temperatura optima) y T_{us} (temperatura umbral superior), se calculan para determinar el tiempo térmico acumulado desde la emergencia (TTA).

Tabla 1: Valores de temperatura base, optima y umbral superior para cada cultivo.

CULTIVO	T_b	T_{op}	T_{us}
Solanáceas	10	30	40
Cucurbitáceas	12	32	42

Fuente: Fernández, 2001.

Las expresiones empleadas para calcular el tiempo térmico diario (TT, °C día) fueron:

a) Si $T_{max} < T_{op}$ y $T_{min} < T_b$:

$$TT = \frac{(T_{max} - T_b)^2}{2(T_{max} - T_{min})} \quad (3)$$

b) Si $T_{max} < T_{op}$ y $T_{min} > T_b$:

$$TT = 0.5 * (T_{min} + T_{max}) - T_b \quad (4)$$

c) Si $T_{max} > T_{op}$:

$$TT = \frac{1}{(T_{max} - T_{min})} * \left[\frac{(T_{op} - T_{min})^2}{2} + (T_{min} - T_b) * (T_{op} - T_{min}) + \left[(T_{max} - T_{op}) * (T_{op} - T_b) * \left(0.5 + \frac{0.5 * (T_{us} - T_{max})}{(T_{us} - T_{op})} \right) \right] \right] \quad (5)$$

Finalmente:

$$TTA = \sum_0^t TT \quad (6)$$

Donde: El día 0 es la fecha de la emergencia, ya que ocurre cuando se alcanzan los 80 °C, o el día del trasplante, y t es el día actual.

2.1.4.4.2. Modelo Kc - TTA

Fernández et al. (2001), señalan el modelo de Kc-TTA para los cultivos de pimiento, tomate, berenjena y pepino. Donde se consideró, que el cultivo después del trasplante tiene una pequeña fase de establecimiento, en la cual el valor de Kc se mantiene en 0.2 hasta que el TTA es superior a 180°C en pepino, y 200°C día en el resto. Una vez superada la fase de establecimiento, el valor de Kc aumenta linealmente hasta un valor máximo cuando el TTA es de 880°C día en pimiento, 722°C en tomate, 850°C día en berenjena y 460°C día en pepino.

En pepino, el valor de Kc máximo se mantiene constante hasta el final del ciclo de cultivo. Sin embargo, en aquellos cultivos de ciclo largo, tomate, berenjena o pimiento tardío, muestran una evolución distinta de los valores de Kc. Después de alcanzar el Kc máximo, suelen sufrir una parada vegetativa y un envejecimiento fisiológico con la llegada del periodo más frío invernal, ello provoca una caída del Kc. Normalmente, el periodo más frío dentro de los invernaderos en Almería, cuando las temperaturas mínimas están claramente por debajo de la T_b de crecimiento de la mayoría de los cultivos ($T^{\text{a}}_{\text{min}} < 10-12^{\circ}\text{C}$) es el comprendido desde principios de enero a final de febrero. Para modelizar la caída del Kc se consideró que los valores máximos de Kc se mantienen hasta el 1 de enero. A partir de esa fecha, el Kc disminuye linealmente hasta alcanzar valores de 0.9 en pimiento y berenjena, 1.0 en tomate. A partir de marzo, las temperaturas mínimas comienzan a aumentar, y se produce nuevo crecimiento que mantiene los valores de Kc aproximadamente constantes hasta el final del ciclo de cultivo. (Fernández et al., 2001).

El modelo Kc-TTA para el cultivo de pepino es:

- Si $TTA < 180$
 $K_c = 0.2$
- Si $180 < TTA < 460$
 $K_c = K_{c_{\min}} + 0.0036 * (TTA - 180)$
Donde, $K_{c_{\min}}$ es el Kc mínimo
- Si $TTA > 880$ hasta el 1 de enero
 $K_c = K_{c_{\max}}$
Donde, $K_{c_{\max}}$ es el Kc máximo

2.2. CULTIVO DEL PEPINO

2.2.1. Origen

Hace más de tres mil años, el pepino se cultivaba en la India, aunque se originó en las regiones tropicales del sur de Asia. En el siglo XVI, Cristóbal Colón llevó el cultivo a Norteamérica a través de sus viajes, llevando semillas de hortalizas dentro de sus alimentos. Posteriormente, se propagó por el resto del continente a medida que los españoles llegaban a América. El primer híbrido fue descubierto en 1872. (Infoagro, 2010)

2.2.2. Importancia del cultivo de pepino

Guenkov (1974) “el pepino es una planta hortícola de la cual se puede producir durante todo el año. Además, su gran importancia estriba en el hecho de que sus frutos brindan la facilidad de preparar conservas; así como a la alta resistencia a las temperaturas elevadas lo que incrementa su significación económica”.

FAO (2001-2005) presenta la producción de los 20 mayores países de pepino y pepinillo en el mundo, los cuales pueden observarse en la Tabla 2.

Tabla 2: Producción de pepino a nivel mundial para los años 2001-2005

Clasifi	PAIS	Producción (MT) año 2001	Producción (MT) año 2002	Producción (MT) año 2003	Producción (MT) año 2004	Producción (MT) año 2005
1	China	21.674.220	24.073.160	25.058.860	25.559.520	26.559.600
2	Turquía	1.740.000	1.670.000	1.780.000	1.725.000	1.725.000
3	Irán, Rep Islámica de	1.233.000	1.430.000	1.400.000	1.400.000	1.400.000
4	Estados Unidos de América	1.015.440	1.173.690	1.312.030	1.321.870	1.300.000
5	Japón	1.000.000	1.058.010	1.015.750	969.400	969.400
6	Ucrania	735.500	729.200	816.100	712.600	746.000
7	Federación de Rusia	567.610	650.900	684.100	672.900	680.000
8	Indonesia	467.000	538.443	674.117	583.114	600.000
9	Egipto	451.518	516.832	577.124	500.000	485.000
10	España	440.000	463.707	514.210	477.716	475.000
11	Países Bajos	431.921	433.000	472.000	475.000	435.000
12	México	425.000	433.000	445.033	435.000	423.333
13	Corea, República de	420.000	406.141	430.000	407.464	400.000
14	Polonia	340.000	300.226	347.239	365.471	370.000
15	Tailandia	248.044	260.000	290.000	260.024	275.000
16	Bulgaria	220.000	246.000	232.300	255.859	259.000
17	Grecia	210.000	238.800	226.643	222.000	222.000
18	Canadá	200.000	220.000	222.000	210.000	207.000
19	Belarús	186.086	179.000	210.000	204.903	200.000
20	Francia	165.521	176.496	179.605	199.489	182.769

Fuente: FAO (2001-2005)

2.2.3. Producción del cultivo en el Perú

Según el Ministerio de Agricultura y Riego (2014), Actualmente, se producen 32 999 toneladas anuales de pepinos en todo el país, lo que es una tasa estable desde 2007, cuando se produjeron 30 092 toneladas. También, las áreas con mayor producción oscilan desde el nivel del mar hasta los 2000 metros sobre el nivel del mar, con énfasis en los departamentos de Lima, Lambayeque, La Libertad (que produjo 10 687 toneladas en 2014) y Loreto.

Según la UNALM (2014) en el Perú, hay 1683 hectáreas de pepinillos cultivados, con un rendimiento promedio de 10 994 kg/ha. Delgado (2003) llevó a cabo un experimento de fertilización con 9 tratamientos diferentes y dos repeticiones para medir el rendimiento de

pepino, y llegó a la conclusión de que el rendimiento oscila entre 20 y 25 Tn/ha. Este experimento se llevó a cabo en la provincia de Lima. Según Cerna (2011), el rendimiento de pepino es de 7 a 10 mil docenas por hectárea.

2.2.4. Clasificación taxonómica

Reino: Plantae
Subkingdom: Viridiplantae
Infrakingdom: Streptophyta
Superdivision: Embriofita
Division: Traqueofita
Subdivision: Spermatophytina
Clase: Magnoliopsida
Superorden: Rosanae
Orden: Cucurbitales
Familia: Cucurbitaceae
Genero: Cucumis L.
Especie: Capsicum sativus L.

Figura 3: Información taxonómica del cultivo del pepino.

Fuente: Integrated Taxonomic Information System (ITIS) (2011).

2.2.5. Características botánicas

Según Guenkov (1974) “El pepino es una planta anual, rastrera y con ciclo vegetativo corto. Desde la germinación hasta las primeras recogidas, según las peculiaridades biológicas de las variedades y las condiciones en que se siembren, generalmente transcurren 45-70 días.”

2.2.5.1. Sistema de raíces

Guenkov (1974), indica que la profundidad de la raíz principal es de 120 cm. Una gran cantidad de raíces laterales, que se desarrollan principalmente en forma horizontal y ramifican abundantes, emergen a 20 o 30 cm de la superficie del suelo de la raíz principal. La mayor parte de las raíces de las plantas se encuentran en este nivel del suelo.

El sistema de raíces del pepino en su mayor parte, este situado a poca profundidad y su capacidad de extracción no es mucha. Esto determina las grandes exigencias de esta planta respecto al balance de humedad.

2.2.5.2. Tallo

COLJAP (1991) indica que los tallos de este cultivo son huecos, largos, flexibles y herbáceos. Son ásperos al tacto, angulosos y pueden arrastrarse o trepar. Su desarrollo es variable y presenta la aparición de nudos y entrenudos, cuyo número varía según la variedad y las condiciones de cultivo. Cada nudo produce una hoja y un zarcillo que se insertan en los lados contrarios. Cada nudo produce una hoja y un zarcillo que se insertan en los lados contrarios. Aparte de las flores, cada nudo produce ramas laterales que se clasifican como secundarias, terciarias o cuaternarias, dependiendo de su origen en el tallo o las ramas.

Guenkov (1974) establece un rango de crecimiento del tallo de 70 a 250 cm de longitud y los tallos de las variedades más tempranas son generalmente más cortos. También resultan cortos cuando las plantas se cultivan en condiciones desfavorables, como temperaturas altas, escasez de humedad y sustancias nutritivas, entre otros factores. Los zarcillos se forman sobre el tallo del pepino.

2.2.5.3. Hojas

Guenkov (1974) explica que las hojas tienen forma palmeada, estas son lobuladas en 5 partes y su tamaño depende de la variedad y de las condiciones en que se siembra la planta. Las hojas del pepino son ligeramente vellosas, las células de la epidermis tienen cutícula delgada, gracias a lo cual es poca su resistencia a la excesiva evaporación de humedad.

Para COLJAP (1991), Las hojas tienen una forma acorazonada, alterna, áspera y un peciolo largo. Su limbo tiene tres lóbulos pronunciados, el más grande siendo el del medio, que casi siempre termina en punta. El haz es verde oscuro y el envés es algo grisáceo.

2.2.5.4. Flores

COLJAP (1991), indica que las flores de pepino son unisexuales, lo que significa que tanto son masculinas como femeninas. Van insertadas en las axilas de las ramificaciones

secundarias o de las hojas del tallo principal. Son de un intenso amarillo. Se pueden presentar en forma estaminada (masculina) o pistilada (femenina) en la misma planta.

Guenkov (1974) indica que “el pepino es planta monoica de polinización cruzada. Sobre una planta se forman flores masculinas y femeninas. Pocas variedades se caracterizan por formar flores hermafroditas. Generalmente, en la mayor de las variedades predominan flores masculinas. En algunas variedades (principalmente japonesas) predominan las flores femeninas.”

2.2.5.5. Frutos

El fruto del pepino es una falsa baya. Según la variedad puede medir desde 5-6 cm hasta 40 y más cm de largo. Su superficie es lisa o cubierta de espinitas (simples o compuestas). Las espinitas son blancas, rasgos importantes para la distinción de algunas variedades. La coloración más frecuente de los frutos es verde pálido, verde clara, verde y verde oscura; es uniforme y puede presentar manchas claras o líneas blancas que salen desde la parte apical y se extienden con distinta longitud hacia el pedúnculo. La corteza del fruto es delgada y fina o dura u gruesa.” (Guenkov, 1974)

2.2.5.6. Semillas

COLJAP (1991) considera que hay aproximadamente 40 unidades en un gramo de fruto. El peso aproximado de las semillas es de 25 a 35 miligramos.

Guenkov (1974) explica que las semillas son deprimidas y ovaladas de color blanco sucio, aguzadas en los extremos (algo más en la parte del hilo). La cantidad de semillas por fruto depende de la variedad.

2.2.6. Requerimientos edafoclimáticos

Para que el cultivo funcione correctamente, es necesario manejar de manera inteligente y coherente todos los factores climáticos, ya que están estrechamente relacionados y la acción de uno de ellos afecta al resto. Los siguientes requerimientos de temperatura, humedad, luminosidad y suelo se distinguen. (INFOAGRO, 2003).

2.2.6.1. Temperatura

El pepino requiere más temperatura que el calabacín, pero menos que el melón. Las temperaturas diarias entre 20°C y 30°C apenas afectan la producción; sin embargo, a mayor temperatura diaria, hasta 25°C, se produce una producción más precoz. Los desequilibrados en las plantas por encima de los 30°C afectan directamente los procesos de fotosíntesis y respiración, mientras que las temperaturas nocturnas iguales o inferiores a 17°C causan malformaciones en hojas y frutos. El umbral mínimo crucial es de 12°C, y la planta se heló a 1°C. En los invernaderos de tipo parral, el uso de dos cubiertas es un método útil para aumentar la temperatura y la producción de pepinos. (INFOAGRO, 2003).

2.2.6.2. Humedad relativa

Debido a su gran superficie foliar, el pepino es una planta con elevados requerimientos de humedad relativa; la humedad relativa ideal es del 60 al 70 % durante el día y del 70 al 90 % durante la noche. Sin embargo, esta situación no es frecuente, pero un exceso de humedad durante el día puede reducir la producción al disminuir la transpiración y, por lo tanto, la fotosíntesis. (INFOAGRO, 2003).

Las condensaciones sobre el cultivo o el goteo de la cubierta pueden causar enfermedades fúngicas en condiciones de humedades superiores al 90% y una atmósfera saturada de vapor de agua. Además, un cultivo mojado por la mañana empieza a funcionar más tarde porque las hojas deben ceder la primera energía disponible para evaporar el agua de su superficie. (INFOAGRO, 2003).

2.2.6.3. Luminosidad

El pepino es una planta que normalmente crece, florece y fructifica incluso en días cortos (con menos de 12 horas de luz), pero también soporta altas intensidades luminosas y a mayor cantidad de radiación solar, aumenta su producción. (INFOAGRO, 2003).

2.2.6.4. Suelo

El pepino crece bien en cualquier tipo de suelo, siempre que esté bien drenado, con suficiente materia orgánica y estructura suelta. Es una planta relativamente resistente a la sal (algo menos que el melón), por lo que, si hay una concentración excesiva de sal en el suelo, las

plantas tendrán dificultad para absorber el agua de riego, el crecimiento será lento, el tallo se debilitará, las hojas serán más pequeñas y oscuras y los frutos serán torcidos. Si la concentración de sales es muy baja, el resultado cambiará y las plantas serán más frondosas y más vulnerables a diversas enfermedades. El pH ideal está entre 5,5 y 7. (INFOAGRO, 2003).

2.3. MANEJO DE AGUA EN EL SUELO

La humedad aprovechable del suelo (HA), también conocida como agua disponible total (ADT), es la base para determinar el rango de contenido de agua ideal para el crecimiento de las plantas. La capacidad de campo (CC) y el porcentaje de marchitez permanente (PMP) están relacionados con el límite superior e inferior del ADT. (Ferreira y Sellés, 2013).

2.3.1. Capacidad de campo (CC)

Es la cantidad de agua en el suelo después de que se saturó y drenó libremente durante 24 a 72 horas (el suelo más pesado demora en llegar a CC). Todos los poros de un suelo saturado están llenos de agua. En un suelo a CC, los macroporos están llenos de aire y han perdido el agua, mientras que los microporos están llenos de agua, que es retenida por la fuerza de la gravedad. Este es el límite máximo de agua que las plantas pueden usar y representa el nivel más alto de comodidad hídrica para los cultivos. (García, et al., 2012).

2.3.2. Punto de marchitez permanente (PMP)

Es la cantidad de agua en el suelo que se produce cuando un cultivo extrae toda el agua útil del suelo. El suelo contiene una cierta cantidad de agua, pero esta se ha retenido tan fuertemente que el cultivo no puede extraerla. (García, et al., 2012).

Aunque se pueden realizar determinaciones a campo para calcular este valor, estas son bastante complicadas y, sobre todo, tardan mucho tiempo (meses). Por esta razón, se utiliza una regresión para determinar el valor con gran precisión. (García, et al., 2012).

2.3.3. Medición de humedad con TDR

La propagación de las ondas electromagnéticas en el suelo depende principalmente de su conductividad eléctrica. Si se puede medir su deformación, podemos encontrar la constante

dieléctrica del suelo (K_a). K_a se encuentra directamente mediante la técnica TDR, que se basa en mediciones de la velocidad de propagación de ondas electromagnéticas.

La constante dieléctrica del agua es relativamente alta (aproximadamente 80), en comparación con el suelo seco (<5). Como resultado, la mayor parte del K_a del suelo depende del volumen de agua presente en el suelo. (Topp y Davis, 1985; Ledieu et al., 1986; Zegelin et al., 1989).

Topp et al., 1994, menciona que la constante dieléctrica del suelo se determinó de esta manera:

$$K_a = \left(\frac{D}{L * S}\right)^2 \quad (7)$$

Donde:

K_a = constante dieléctrica del suelo

D =distancia entre el principio y el final de los extremos de las varillas

L =longitud de la sonda incrustado en el suelo

S =tiempo de propagación

Las investigaciones de Topp et al., 1982, que estudio diversas texturas de suelo, demostraron que la forma de la función para convertir K_a en θ_v es una expresión polinómica, donde permitieron observar la relación de la constante dieléctrica del suelo. La fórmula retenida para dos capas de tierra fue:

$$\theta_v = -25.83 + 12.7K_a - 1.077K_a^2 + 0.034K_a^3 \quad (8)$$

TDR modelo 150

El TDR 150 es un pequeño medidor que puede medir la humedad del suelo (% de contenido volumétrico de agua), las sales (conductividad eléctrica) y la temperatura (termistor de superficie). (Spectrum Technologies, 2011).

En términos de diseño, las variaciones en la longitud de la varilla permiten encontrar la profundidad ideal para las raíces de un cultivo. El tipo de cultivo que se está evaluando determinará la longitud de la varilla. Dado que los diferentes cultivos tienen diferentes profundidades de enraizamiento y necesidades de agua, esta característica es crucial. Al ajustar la longitud de la varilla, se puede obtener información más precisa sobre la humedad del suelo en la región donde las raíces del cultivo están activas, lo que facilita una gestión más eficiente del riego y garantiza un suministro adecuado de agua a las plantas en la profundidad correcta. (Spectrum Technologies, 2011).



Figura 4: TDR modelo 150 FieldScout

Fuente: Spectrum Technologies (2021)

2.4. MANEJO DEL RIEGO

Para obtener una mayor productividad, el pepinillo necesita una suficiente disponibilidad de agua en el sistema radicular. La humedad del suelo debe mantenerse cerca de la capacidad de campo y el volumen de agua debe aplicarse de acuerdo con la edad del cultivo, la evapotranspiración y el potencial del lugar. El control del agua en el suelo es fundamental para un buen desarrollo del cultivo y un manejo óptimo de los fertilizantes. Evite que el suelo se encharque o se inunde. Si hay un déficit de agua en la planta, el pepinillo retrasa su crecimiento y se observan plantas sin vitalidad, lo que resulta en una menor producción. La germinación de la semilla, la floración y la formación de frutos son los períodos críticos de riego del pepinillo. Se recomienda aplicar agua en estos momentos de manera regular y oportuna. Debido a que el pepinillo necesita una aireación adecuada en su sistema radicular para mantener su desarrollo y actividad productiva, la implementación de un sistema de drenaje es fundamental para el cultivo de pepinillos para eliminar la humedad excesiva. (Lopez,2003)

2.4.1. Lámina de riego

La lámina de riego se mide generalmente como una capa de agua que equivale a la lámina infiltrada media de riego que se encuentra por todo el campo. (Allen et al, 2006).

El objetivo principal de la lámina de riego es compensar el déficit de humedad del suelo para satisfacer las necesidades de los cultivos que crecen allí. (Dalmasso, 2016).

2.4.2. Riego deficitario controlado (RDC)

El riego deficitario controlado (RDC) es el uso de agua de riego por debajo del nivel vegetativo ideal de la planta. Además, las estrategias de riego insuficientes deben adaptarse a las características edafoclimáticas del área y a la disponibilidad temporal de agua para riego. La gestión adecuada de la reserva hídrica del suelo puede ser crucial en este aspecto, especialmente en áreas con suelos profundos y alta capacidad de retención de agua. (WWF, 2009).

En las etapas fenológicas que son menos sensibles a los déficits hídricos, se debe aplicar un riego deficitario. En el caso de los cultivos de hortalizas como el pepino, se debe evitar el estrés hídrico durante la floración y el cuajado, lo cual es difícil para la mayoría de los cultivares de pimiento. (Pulupol et al., 2019).

2.5. FERTILIZACIÓN

Ugás et al. (2000) mencionan una dosis de NPK de 180-80-80, aplicando fósforo y potasio al cambio de surco y fraccionado nitrógeno en dos momentos para el cultivo de pepinillos.

Montes (1990) recomienda para el cultivo de pepinillos, recomienda una dosis de NPK de 100-50-50, aplicando un tercio de nitrógeno durante la siembra junto con fósforo y potasio, y el resto de nitrógeno debe incorporarse dentro de los 30 días siguientes.

Delgado (2003) recomienda una fertilización de 180-120-0 unidades de nitrógeno, fósforo y potasio para el cultivo de pepinillos en suelos de costa central con niveles bajos de nitrógeno, medios de fósforo y altos de potasio.

2.5.1. Fertilizantes foliares

Para el cultivo de pepinillos, la fertilización foliar consiste en aplicar sustancias nutritivas al follaje de las plantas cultivadas, donde el fertilizante foliar puede penetrar y comenzar a realizar procesos metabólicos. (Otárola, 1993).

Así como indica Ramírez (2001), donde la fertilización foliar implica aplicar una solución nutritiva al follaje de las plantas para complementar la fertilización del suelo o para corregir deficiencias específicas durante el mismo período de desarrollo del cultivo.

Todas las hojas están cubiertas por una membrana superior (epidermis), que también tiene una capa cerosa (cutícula) en su parte externa. Como resultado, las sustancias nutritivas deben pasar por esta barrera para entrar en la hoja. Las células epidérmicas tienen muchos hacedillos plasmáticos (ectodesmas) en sus paredes exteriores, que conectan el interior de las células con la cutícula cerosa. Estos hilos de albúmina permiten que las sustancias nutritivas ingresen a las células. El transporte al interior del tejido foliar es fácil y rápido porque las células están conectadas por ectodesmas. (Bayer, 1990).

Hay tres formas en que la planta puede absorber los nutrientes a través de la vía foliar:

(1) Los estomas son aberturas en las hojas que permiten el intercambio de oxígeno y CO₂ durante los procesos de respiración y transpiración. En la parte inferior de las hojas, hay tres a cuatro veces más estomas que en la parte superior. Al realizar las aspersiones, es importante tener en cuenta esto para entrar en contacto con los estomas lo más posible; las aplicaciones foliares deben realizarse cuando los estomas están abiertos. Considere que los estomas están cerrados durante la noche y durante el mediodía, por lo que es mejor aplicar las aplicaciones foliares temprano por la mañana. (2) Los ectodesmos son espacios en forma de cavernas submicroscópicas que se encuentran tanto en la pared celular como en la cutícula, y en ocasiones pueden llegar a la superficie de la cutícula. (3) La absorción a través de la cutícula ocurre debido a que la cutícula se dilata al absorber agua, lo que crea espacios vacíos entre las plaquitas aéreas que permiten la difusión de las moléculas. Debido a que las hojas jóvenes no tienen una capa cuticular suficientemente desarrollada, aplicar nutrientes a las hojas jóvenes cuando hay más follaje joven ayudará a aumentar el ingreso cuticular. (Ramírez, 2001).

Además, debe tenerse en cuenta que la fertilización foliar no es una competencia ni una sustitución de la fertilización al suelo. Es más bien una buena alternativa al abonado a través del suelo tradicional. (Bayer, 1990).

Zapata (1978) recomienda, En cuanto al momento de aplicación, el abono foliar solo se debe usar cuando hay un área foliar adecuada para que pueda usarlo de manera efectiva. Las hojas adultas bien desarrolladas absorben el producto; las hojas viejas trabajan mucho menos y absorben también menos.

2.6. ANTECEDENTES

Martínez (2017), utilizó el método del lisímetro volumétrico para estimar el requerimiento hídrico del pepino (*Cucumis sativus L.*) en la variedad Marketmore76, y descubrió que la evapotranspiración del cultivo era mayor en la fase de desarrollo, con 3.29 mm/día. El valor más bajo se presenta en la etapa inicial, 2.15 mm/día.

Cruz, Monge y Loría (2020), llevaron a cabo una comparación agronómica entre varios tipos de pepino (*Cucumis sativus L.*), donde el pepino pequeño comenzó a cosechar a los 26 días después del trasplante, mientras que los tipos mediano y largo comenzaron a cosechar entre los 28 y 30 días después del trasplante. Los datos mostraron una gran variabilidad entre los tipos de pepino. La longitud era (11.89 a 31.74 cm), el diámetro era (43.15 a 50.37 mm) y el peso del fruto era (143.07 a 488.19 g), y el rendimiento por área era (22.48 a 33.54 kg/m²).

Álvarez, Valverde y Briceño (2021), Investigaron cómo el riego por goteo mejoró el rendimiento de *Brassica oleracea var. Capitata* (col) y *Brassica oleracea var. Itálica* (brócoli) mediante el uso de un tanque evaporímetro de clase A durante los meses de febrero a junio. Usaron tres láminas de riego de 80, 100 y 120 % de la evapotranspiración del cultivo (ETc), donde se demostró que la col no necesita más de 100 % de ETc y que el brócoli

III. METODOLOGÍA

3.1. UBICACIÓN EXPERIMENTAL

El experimento se llevó a cabo en las instalaciones del departamento de Recursos Hídricos de la facultad de Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), ubicado en el distrito La Molina, provincia de Lima.

La ubicación y coordenadas de la investigación es la siguiente:

Departamento: Lima

Provincia: Lima

Distrito: La Molina

Latitud: 12° 05' 00.7" S

Longitud: 76° 57' 05.7" W

Altitud: 235 m.s.n.m



Figura 5: Ubicación del centro de investigación.

Fuente: Google Earth (2020)

3.2. EQUIPOS Y MATERIALES

3.2.1. Material biológico

- Se utilizaron semillas de pepino híbrido diamante F1, una planta robusta con una preponderancia de flores femeninas. Los frutos maduros son homogéneos, rectos y cilíndricos de color verde oscuro, de 20 a 22 cm de largo y 6 cm de diámetro. Puede producir hasta 70 toneladas por hectárea, lo que lo convierte en una planta altamente productiva. Presenta resistencia a *Pseudomonas syringae* pv *lachrymans*, *Colletotryticum orvicolare*, Cucumber mosaic virus, *Pseudoperonospera cubensis*, *Sphaeroteca fulginea*, *Cladosporium cupumerinun* (Aguirre, 2014).
- Se emplearon semillas de pepino Marketmore 76, una variedad de ciclo medio que tiene un desarrollo vigoroso y una floración monoica. Los frutos son verdes oscuros. Para fecundar las flores, necesita mucha luz y calor, pero una baja intensidad de luz reduce la fecundación. Su floración comienza a los 27 a 34 días, por lo que se considera una planta neutra con respecto al fotoperiodo, es decir, la floración comienza sin importar la duración de los días. La cosecha comienza entre los 43 y 50 días después de la siembra y termina entre los 75 y 90 días. (BABILONIA y REÁTEGUI, 1994).

3.2.2. Insumos

- **1890 kg de tierra preparada**

Se utilizó tierra preparada proveniente del vivero Wortel

- **1980 kg de arena de río lavada**

Se utilizó arena de río lavada proveniente del vivero Wortel.

- **120 kg de abono humus de lombriz**

Se utilizó abono humus de lombriz proveniente del vivero Wortel.

- **180 macetas de 18 litros**

Tabla 3: Caracterización del sustrato

PARÁMETRO	VALOR	
CE (1:1)	5.85	ds/m
PH (1:1)	7.67	
ANALISIS MECANICO		
Arena	84	%
Limo	11.28	%
Arcilla	4.72	%
Clase textural	Arena franca	
Densidad aparente	1.25	g/cm ³
ELEMENTOS		
M.O.	6.18	%
P	86.68	ppm
K	1004	ppm
CaCO ₃	0.54	%

Fuente: Laboratorio de agua, suelo, medio ambiente, fertirriego, UNALM

3.2.3. Equipos

- Balanza digital
- Vernier
- Termohigrómetro digital
- Tanque evaporímetro clase A
- Regla de 30 cm y wincha
- Medidor TDR 150 FieldScout
- Conductivímetro LAQUAtwin
- pH-metro LAQUAtwin

3.3. PROCEDIMIENTO

3.3.1. Almacigo

Antes de la siembra, se preparó un sustrato especial con 5 kg de tierra preparada, 3 kg de humus de lombriz y 2 kg de vermiculita.



Figura 6: Germinación a los 14 días de sembrado

Se realizó la siembra en 4 bandejas de 72 celdas, con un total de 144 semillas por variedad, donde se obtuvo en la variedad Marketmore 76 130 semillas germinadas y en la variedad híbrida Diamante F1 112 semillas germinadas. El porcentaje de germinación en la primera variedad fue de 90.2% y en la variedad híbrida fue de 77.7%, se esperó una germinación del 85% según ficha técnica, lo cual la variedad Marketmore 76 supero mientras que la variedad híbrida no llegó a la germinación esperada.



Figura 7: Plantines con 30 días de germinadas

Se aplicó la solución hidropónica “La Molina”, desde el día de la siembra hasta un día antes del trasplante.

Tabla 4: Nutrientes de la solución hidropónica “La Molina-2 expresada en ppm

N	P	K	Ca	Mg	S
190	35	200	150	45	70
Fe	B	Mn	Zn	Cu	Mo
1	0.5	0.5	0.15	0.1	0.05

Fuente: Rodriguez y Chang (2011)

3.3.2. Preparación del sustrato

El sustrato fue compuesto en base a trabajos realizados por (Guzmán y López, 2004) en Almería, España. Debido a que la arena es el componente más importante, se utilizaron estratos diferentes llamados "Enarenado". La tierra y el abono fueron los otros estratos.

Los cultivos enarenados tienen muchas ventajas en comparación con los cultivos tradicionales, como la precocidad de los cultivos, la entrada en producción más rápida de los frutales, el ahorro de agua de riego y un mayor número de cultivos por unidad de superficie a lo largo del año. (Serrano, 1974).

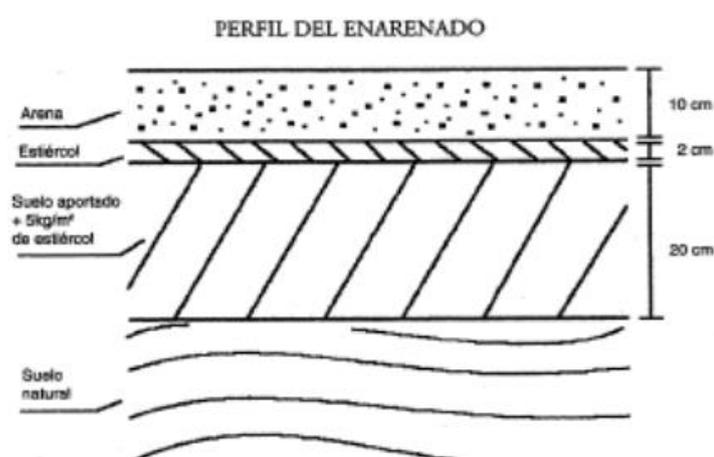


Figura 8: Perfil del enarenado de Almería

Fuente: López y Naredo (1996).

Para la investigación se utilizó 3 capas del sistema enarenado porque la capa 3 y 4 contienen tierra y el estiércol mezclado no se consideró porque la tierra preparada contiene materia orgánica. La composición y cantidades fueron de: 12.5 cm de tierra preparada (8.75 kg), 2 cm de abono orgánico (0.54 kg) y 12.5 cm de arena de río (9.17 kg), además se le agregó 5 cm de grava en la base para un mejor drenado. Sin embargo, se decidió mezclar estas tres capas para que las raíces tengan un medio uniforme durante todo su crecimiento, como se puede observar en la Figura 9.



Figura 9: Vista de las 3 capas mezcladas

3.3.3. Trasplante

El trasplante se realizó el 12 de julio a los 35 días después de la siembra, para ello se dejó de regar un día antes los almácigos y se utilizó el enraizador RYZOOM, para darle a las plantas un aporte de aminoácidos esenciales, principalmente para evitar algún estrés al momento de ser trasplantado.

3.3.4. Poda de formación

La poda de formación se realizó 1 vez al mes desde el mes de setiembre hasta noviembre, en la cual se podó las hojas más viejas y las ramificaciones secundarias a cada planta, como se puede ver en la Figura 10.



Figura 10: Poda de formación

3.3.5. Manejo de riego

Se utilizó el sistema de riego por goteo del NetBow, donde se basó en el requerimiento hídrico del cultivo mediante el uso del tanque evaporímetro clase A, con lo cual se obtuvo las necesidades diarias del cultivo en todas sus etapas fenológicas, los intervalos de riego fueron diarios y cada dos días, además que la aplicación de la lámina de riego fue en horas de la mañana, donde fue controlado para evitar la percolación.

El caudal nominal de los goteros autocompensados fueron de 2 litros por hora. Además, el sistema de riego se operó con una electrobomba de 0.5 HP, válvula de aire y filtro de disco de 1". Tal como se aprecia en la figura



Figura 11: Arco de riego instalado.

3.3.5.1. Tiempo de riego

El riego fue diario y cada dos días, controladamente. La diferenciación de tratamientos se realizó con 3 láminas de riego, de las cuales, la primera fue del 100% de la ETc., la segunda fue del 75% de la ETc. y la última fue del 50% de la ETc. Ambas variedades tuvieron el mismo tratamiento. La evapotranspiración del cultivo y otros factores se utilizaron para calcular el tiempo de riego., expresados en la ecuación 9:

$$T_{riego} = \frac{NR * Pcf * 60}{Q_{nom} * Ef. * C.U. * FL} \quad (9)$$

Donde:

T riego= Tiempo de riego (minutos)

NR= Necesidades de riego diarias o evapotranspiración de cultivo

Pcf= Porcentaje de cobertura foliar o sombreado

Qnom= Caudal nominal (L/hr)

Ef.= Eficiencia de riego (0.9)

C.U.= Coeficiente de uniformidad (0.9)

FL= Fracción de lavado

En la Figura 12, se muestra el tanque evaporímetro clase A que se utilizó para la investigación, el cual se instaló en medio del invernadero encima de una plataforma de 10 cm.



Figura 12: Tanque evaporímetro Clase A utilizado

Para el valor de K_c se halló con el método de Fernández et al. (2001) donde se utiliza para cultivos hortícolas bajo invernadero bajo el método de temperatura térmica acumulada (TTA), el cual propone tres temperaturas para las cucurbitáceas (Tabla 1), temperatura base(12°C), temperatura optima(32°C) y temperatura de umbral(42°C), para determinar la temperatura térmica diaria se utilizó las tres expresiones que propone el autor, las cuales se detallan en las ecuaciones 3, 4 y 5, según estas ecuaciones se determinó la temperatura térmica diaria para posterior sumar acumuladamente estas temperaturas para obtener la TTA.

Para determinar el K_c según el modelo de temperatura térmica acumulado propuesto por Fernández (2001) para el cultivo de pepino, se utilizó las siguientes expresiones propuestas por el autor:

- Si $TTA < 180$
 $K_c = 0.2$
- Si $180 < TTA < 460$
 $K_c = K_{c_{\min}} + 0.0036 * (TTA - 180)$
Donde, $K_{c_{\min}}$ es el K_c mínimo
- Si $TTA < 880$ hasta el 1 de enero
 $K_c = K_{c_{\max}}$
Donde, $K_{c_{\max}}$ es el K_c máximo

El porcentaje de cobertura foliar fue aumentando progresivamente según el crecimiento del cultivo, este valor se tomó una vez por semana. El rango fue desde el 10% hasta el 52% (0.1 – 0.52). Este valor se midió proyectando la sombra sobre el marco de plantación.

La fracción de lavado se consideró un 5% porque se tenía que lavar las sales acumuladas. Por lo tanto, la FL fue del 95% (0.95).

3.3.6. Fertilización

La fertilización se aplicó mediante el agua (Fertirriego) por lo tanto se tuvo que medir valores de pH y conductividad eléctrica del agua comprada que se almacenó en un tanque de 5000 litros, tal como se muestra en la Tabla 5

Tabla 5: Caracterización del agua.

PARAMETRO	VALOR	
CE (1:1)	0.6	ds/m
PH (1:1)	7.67	
ELEMENTOS		
Calcio	4.06	meq/l
Magnesio	0.77	meq/l
Sodio	0.9	meq/l
Potasio	0.07	meq/l

Fuente: Laboratorio de agua, suelo, medio ambiente, fertirriego, UNALM

Para fertirrigar eficientemente donde se absorba los nutrientes, se tuvo que medir constantemente la conductividad eléctrica y el pH de la mezcla de los fertilizantes y el agua, donde se buscó que la mezcla no supere en la conductividad eléctrica los 2 dS/m y 7.5 en el pH, además para una mejor oxigenación se aplicó ozono al fertirriego.



Figura 13: Medición de conductividad eléctrica en el fertirriego (Izquierda) y aplicación de ozono(derecha)

En la Tabla 6, se muestra la cantidad de fertilizante que se utilizó según la edad fenológica del cultivo en la que se encontraba.

Tabla 6: Cantidades de fertilizante según etapa.

ETAPA	Polyfeed inicio y prefloración (gr)	Polyfeed desarrollo y llenado de fruto (gr)	Nitrato de calcio (gr)	Sulfato de Magnesio (gr)	Potasio (GEL)(gr)	Calcio y Boro (GEL) (gr)
ESTABLECIMIENTO	200	0	0	0	0	0
DESARROLLO	2050	0	50	50	100	20
MADUREZ	750	6150	730	300	1516	700

3.4. METODOLOGÍA PARA LAS EVALUACIONES

3.4.1. Evaluación del riego

En la investigación se evaluó el efecto en el rendimiento del cultivo de pepino con la reposición de diferentes láminas de riego mediante el uso del tanque de evaporación clase A, este instrumento se encontró dentro del invernadero, ya que de esta manera nos dará datos de evaporación más reales a las condiciones que se encontró el cultivo de pepino. La toma de datos en el tanque de evaporación fue diaria en el rango de 8 a 9 am.

3.4.1.1. Método del tanque evaporímetro clase A

Se aplicó este método donde se utilizó un tanque evaporímetro clase A dentro del invernadero, al centro de este por ser la zona más representativa del invernadero, del cual se tomaron datos diarios de evaporación. Este tanque se colocó sobre una plataforma, lo cual resultó a 10 cm del suelo.

3.4.1.1.1. Descripción del tanque evaporímetro clase A

Se usó un tanque evaporímetro clase A, este contó con los siguientes elementos:

- Tanque evaporímetro
- Cinta métrica
- Plataforma de 10cm

Para obtener las lecturas de evaporación representativas fue necesario que el agua este en buen estado, en la cual se aplicó sulfato de cobre para evitar algas en el agua, además se mantuvo el agua a 5 cm del borde.

Toma de lecturas

- La altura del agua evaporada se midió y registró diariamente con una cinta métrica que estuvo incorporada al tanque evaporímetro clase A, esta medición fue entre las 8:00 y 9:00 a.m.).
- Cuando el nivel del agua estaba por debajo de los 10 cm se repuso hasta alcanzar el nivel inicial propuesto.
- La evaporación diaria(mm) se obtuvo de la diferencia de la lectura del día anterior con la lectura del día actual.

3.4.1.2. Evapotranspiración de referencia (ET₀)

Para la estimación de la evapotranspiración de referencia (ET₀) se partió de las lecturas de evaporación que fueron tomadas del tanque evaporímetro clase A.

Posteriormente se aplicó la ecuación 10.

$$ET_0 = K_p * E_{pan} \quad (10)$$

Donde:

- ET_0 es la evapotranspiración de referencia (mm/día)
- K_p es el coeficiente de tanque, es un factor adimensional, que toma en cuenta las características y ubicación del tanque evaporímetro clase A, velocidad del viento y humedad relativa. Su valor normalmente se encuentra entre 0.6 y 0.8.
- E_{pan} es la evaporación del tanque evaporímetro (mm/día)

3.4.1.3. Coeficiente de cultivo (Kc)

Para el cálculo del coeficiente del cultivo se utilizó el método propuesto por Fernández et al. (2001) el cual consiste en trabajar con el tiempo térmico acumulado (TTA), el cual propone tres temperaturas para las cucurbitáceas (Tabla 1), temperatura base(12°C), temperatura

óptima(32°C) y temperatura de umbral(42°C), para determinar la temperatura térmica diaria se utilizó las tres expresiones que propone el autor, las cuales se detallan en las ecuaciones 3, 4, 5 y 6, según estas ecuaciones se determinó la temperatura térmica diaria para posterior sumar acumuladamente estas temperaturas para obtener la TTA.

a) Si $T_{max} < T_{op}$ y $T_{min} < T_b$:

$$TT = \frac{(T_{max} - T_b)^2}{(2(T_{max} - T_{min}))} \quad (3)$$

b) Si $T_{max} < T_{op}$ y $T_{min} > T_b$:

$$TT = 0.5 * (T_{min} + T_{max}) - T_b \quad (4)$$

c) Si $T_{max} > T_{op}$:

$$TT = \frac{1}{(T_{max} - T_{min})} * \left[\frac{(T_{op} - T_{min})^2}{2} + (T_{min} - T_b) * (T_{op} - T_{min}) + \left[(T_{max} - T_{op}) * (T_{op} - T_b) * \left(0.5 + \frac{0.5 * (T_{us} - T_{max})}{(T_{us} - T_{op})} \right) \right] \right] \quad (5)$$

Finalmente:

$$TTA = \sum_0^t TT \quad (6)$$

Donde: el día 0 corresponde a la fecha de emergencia, considerando que la emergencia se produce cuando se alcanzan los 80°C día o al día del trasplante, y t es el día actual.

Finalmente se determinó el Kc del cultivo según las siguientes expresiones propuestas por el autor:

- Si $TTA < 180$

$$Kc = 0.2$$

- Si $180 < TTA < 460$
 $Kc = Kc_{\min} + 0.0036 * (TTA - 180)$
 Donde, Kc_{\min} es el Kc mínimo
- Si $TTA < 880$ hasta el 1 de enero
 $Kc = Kc_{\max}$
 Donde, Kc_{\max} es el Kc máximo

3.4.1.4. Evapotranspiración del cultivo (ETc)

La ETc fue estimada con la ecuación 11.

$$ETc = Kc * ET_0 \quad (11)$$

Donde:

- Kc corresponde al coeficiente de cultivo de pepino propuesto por Fernández (2001).
- ET_0 es la evapotranspiración de referencia (mm/día)

3.4.2. Evaluación de parámetros morfológicos

3.4.2.1. Altura de Planta

La altura de planta se midió desde la base del tallo-sustrato hasta el punto apical y para esto se utilizó una wincha.

3.4.2.2. Diámetro de tallo

El diámetro de tallo se midió debajo del inicio de la bifurcación o “V”, se usó un vernier digital.

3.4.2.3. Profundidad de raíz

La profundidad se midió con una regla metálica y para hacer la medición, se dejó secar 1 días para extraer los restos del sustrato.

3.4.3. Parámetros de humedad

Se realizó la medición de porcentaje de humedad volumétrica en el sustrato con el TDR-150 para cada uno de los 3 tratamientos en las dos variedades de pepino. Se usó el brazo corto de 3 pulgadas del TDR-150.

Se realizó la curva de retención de humedad del sustrato con muestras inalteradas para hallar el porcentaje de capacidad de campo (CC) y el porcentaje de punto de marchitez (PM) por el método gravimétrico. Los resultados de la curva de humedad se presentan en el anexo 1.

3.4.4. Cosecha

En la cosecha, se midió parámetros como diámetro polar y ecuatorial del fruto, número de frutos y peso del fruto. Con la variable peso del fruto, se obtuvo el rendimiento total por tratamientos. En calidad de cosecha, se realizó una clasificación en tres categorías según INACAL (2012), donde la categoría EXTRA es la de mejor calidad, la categoría PRIMERA es de calidad media y la categoría SEGUNDA es la de menor calidad. La clasificación se puede observar en la Tabla 7.

Tabla 7: Clasificación propuesta de la calidad del fruto

Variable	Calidad segunda	Calidad primera	Calidad extra
Largo	17 cm	20 cm	más de 20 cm
Peso	260 g 5% fruto de calidad inmediata inferior	380 g 5% fruto de calidad inmediata inferior	más de 380 g
Diámetro	4.5 cm 5% fruto de calidad inferior	5.0 cm 10% fruto de calidad inferior	más de 5.0 cm

Fuente: INACAL (2012)

3.5. DISEÑO ESTADÍSTICO

Para la presente investigación se utilizará el diseño de bloques completamente al azar (DBCA) con dos factores: variedad de semillas y lámina de riego.

El ensayo se instaló a nivel de invernadero en arreglo factorial de 2 x 3 con 8 repeticiones.

A continuación, se presenta el Modelo aditivo lineal:

$$Y_{ij} = \mu + v_i + l_j + (vl)_{ij} + \epsilon_{ij}$$

Donde:

$i = 1,2$ variedad de semilla

$j = 1,2,3$ lámina de agua

Y_{ij} = respuesta obtenida en la unidad experimental del l -ésima repetición, sujeta la aplicación de la i -ésima variedad de semilla con la j -ésima lámina de agua.

μ = Media general del ensayo

v_i = Efecto del i -ésimo variedad de la semilla de pepino.

l_j = Efecto del j -ésimo lámina de agua.

$(vl)_{ij}$ = Efecto de interacción de los factores principales.

ϵ_{ij} = Error aleatorio de la parcela secundaria, definido como error b

La investigación fue compuesta por 6 tratamientos con 8 repeticiones por cada tratamiento, en total el ensayo será compuesto por 48 unidades experimentales, el croquis donde se observa la distribución de tratamientos se observa en la figura 13

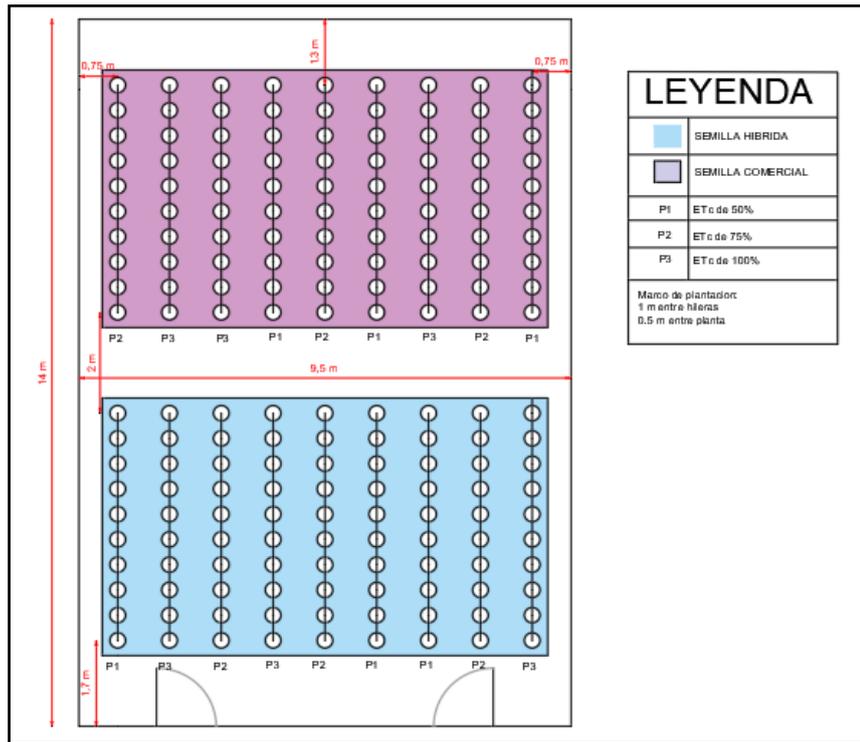


Figura 14: Croquis de la investigación

Las dimensiones de la parcela principal fueron de 8.6 m de largo por 5 m de ancho, para un área total por parcela de 43 m²; la separación entre líneas de riego fue de 1 m entre sí, y la separación entre macetas fue 0.50 m.

3.5.1. Factores

La presente investigación constó con dos factores: Variedad de semilla y lámina de riego, donde el factor variedad de semilla presentó dos niveles que serán: semilla de pepino híbrido

Tabla 8: Descripción de los factores de la investigación

FACTORES	DENOMINACIÓN	NIVEL	CÓDIGO
Factor A	Método	Diamante F1	F1
		Marketmore 76	F2
Factor B	Producto	Tratamiento 1(50% ETc)	P1
		Tratamiento 2(75% ETc)	P2
		Tratamiento 3(100% ETc)	P3

Diamante F1 y semilla de pepino Marketmore 76. El factor lámina de riego presentó tres niveles que serán: 100 % ETc, 75 % ETc y 50 % ETc.

a. Variedad de semilla

F1: Semilla de pepino híbrido Diamante F1

F2: Semilla de pepino Marketmore 76

b. Lámina de riego

P1: 50 % ETc o 50 % de Lámina de reposición

P2: 75 % ETc o 75% de Lámina de reposición

P3: 100 % ETc o 100% de Lámina de reposición

3.5.2. Análisis Estadístico

El análisis estadístico se realizó con el software estadístico SAS versión 9.1, donde se procesó el análisis de varianza (ANOVA) y prueba de Tukey. En la Tabla 9, se muestra los elementos de variación, las ecuaciones y sus grados de libertad.

Tabla 9: Análisis de varianza para el experimento.

ELEMENTOS	Grados de libertad (GL)	GL
Variedad (VAR)	A-1	1
Laminas (LAM)	B-1	2
Interacción (VAR*LAM)	(A-1) (B-1)	2
Error	(n-1) AB	42
TOTAL	ABn-1	47

Fuente: SAS versión 9.1

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. DATOS CLIMÁTICOS

4.1.1. Temperatura

Los datos de temperatura máxima y mínima fueron registrados durante todo el ciclo del cultivo, donde el mes de junio registró una temperatura máxima de 32.15°C dentro del invernadero. La temperatura y humedad relativa fueron medidos con un termohigrómetro digital, ubicado dentro del invernadero a 1.5 metros de altura con respecto del suelo.

Los datos registrados son desde el inicio del proceso de almacigo(junio), hasta la maduración fisiológica (octubre y noviembre), tal como se muestra en la Figura 15.

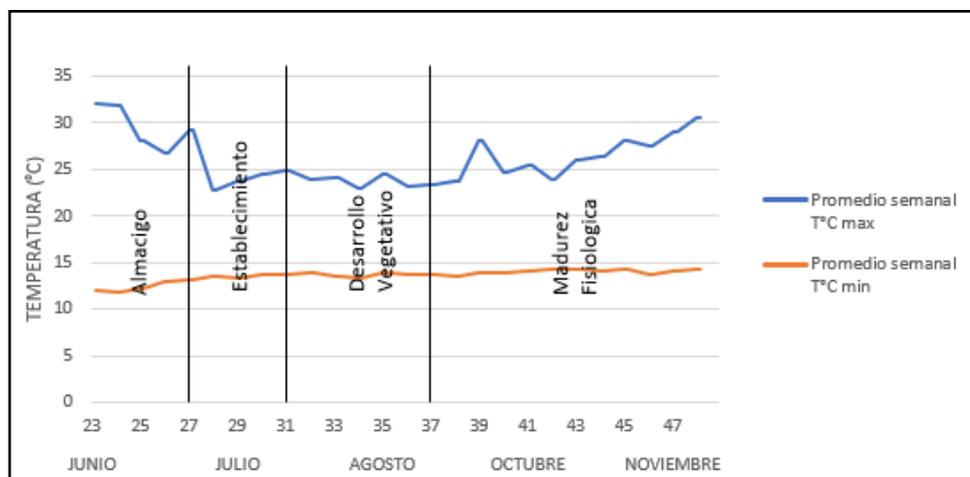


Figura 15: Registro semanal promedio de la temperatura.

INFOAGRO (2003) menciona que temperaturas mínimas de 17°C ocasionan malformaciones en hojas y frutos, situación que se evidenció en la presente investigación, ya que la malformación en hojas, afecta en el proceso completo de la fotosíntesis, por lo que se vio disminuido el rendimiento de la producción. En consecuencia, nuestros resultados fueron ratificados por este autor.

4.1.3. Evaporación del tanque Clase A

La evaporación diaria del tanque Clase A que se registró dentro del invernadero tuvo un valor acumulado de 192 mm donde tuvo varios valores a lo largo de la investigación, donde en la estación de invierno se registró valores más bajos, y cuando se empezó a entrar a la estación de primavera los datos registrados llegaron a ser el máximo durante todo el experimento, como se observa en el invernadero. Figura 17. (Anexo 1)

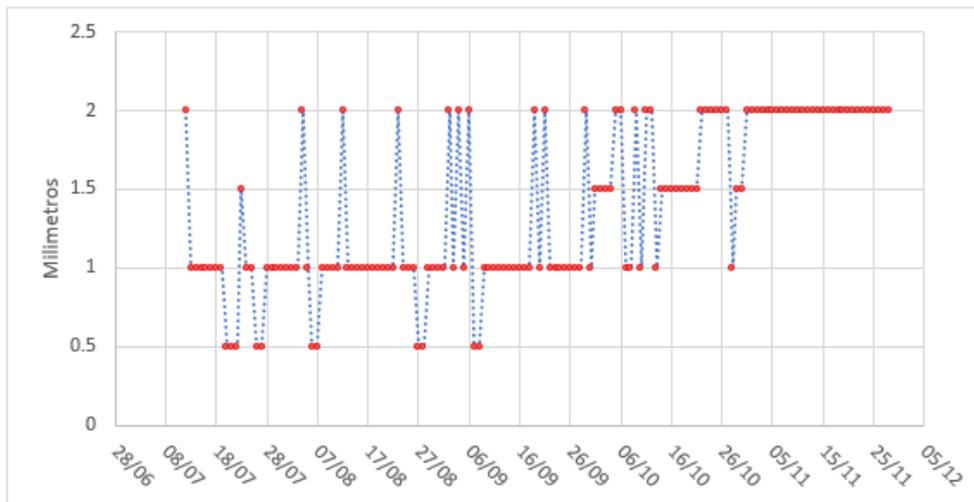


Figura 17: Evaporación del tanque Clase A dentro del invernadero.

En la Figura 18 se puede observar la evaporación en campo que se registró durante el periodo del 11/08/2023 al 04/10/2023 donde tuvo una evaporación acumulada de 138.73 mm, donde se evidencia que existió mayor evaporación si lo comparamos con la del invernadero, debido a que en el campo las variables climáticas son más influyentes. (Anexo 2)

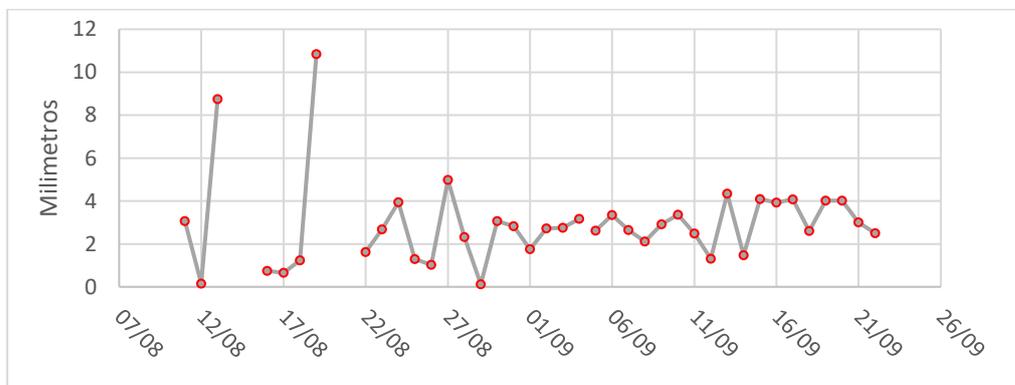


Figura 18: Evaporación del tanque Clase A en campo.

Si se compara la evaporación de ambos tanques durante el periodo del 11/08/2023 al 04/10/2023, que es donde se tiene los datos completos a campo abierto. El tanque clase A dentro del invernadero, acumuló una evaporación 63 mm y el tanque fuera de este acumuló 138.73 mm, siendo más eficiente el tanque dentro del invernadero, ya que, tiene un ahorro de más del 50% en la evaporación.

4.2. COEFICIENTE DE CULTIVO

4.2.1. Kc pepino método TTA

El coeficiente de cultivo para el pepino se obtuvo según el método de Fernández et al. (2001), donde los resultados mostraron un periodo de 140 días después del trasplante, subdividido en tres etapas: establecimiento, desarrollo vegetativo y madurez, donde en la primera etapa se obtuvo un valor único de 0.2 hasta los 26 días después del trasplante (Tabla 10).

Tabla 10: Valores de Kc hallados para el establecimiento.

Fecha	T max C°	T min C°	SI: Ecu. 4	TTA	Kc(TTA<180)
12/07/2022	24.90	12.50	6.70	6.700	0.20
13/07/2022	25.90	13.50	7.70	14.400	0.20
14/07/2022	24.70	13.20	6.95	21.350	0.20
15/07/2022	18.90	14.00	4.45	25.800	0.20
16/07/2022	22.00	13.10	5.55	31.350	0.20
17/07/2022	24.00	13.90	6.95	38.300	0.20
18/07/2022	26.00	14.20	8.10	46.400	0.20
19/07/2022	21.40	13.70	5.55	51.950	0.20
20/07/2022	21.30	13.30	5.30	57.250	0.20
21/07/2022	22.70	13.20	5.95	63.200	0.20
22/07/2022	23.10	12.70	5.90	69.100	0.20
23/07/2022	26.10	13.30	7.70	76.800	0.20
24/07/2022	25.30	13.60	7.45	84.250	0.20
25/07/2022	25.10	13.10	7.10	91.350	0.20
26/07/2022	24.70	14.70	7.70	99.050	0.20
27/07/2022	23.90	13.90	6.90	105.950	0.20
28/07/2022	24.10	13.20	6.65	112.600	0.20
29/07/2022	24.30	14.50	7.40	120.000	0.20
30/07/2022	25.10	13.50	7.30	127.300	0.20
31/07/2022	24.90	12.90	6.90	134.200	0.20
01/08/2022	25.50	12.90	7.20	141.400	0.20
02/08/2022	25.30	14.10	7.70	149.100	0.20
03/08/2022	25.10	13.90	7.50	156.600	0.20
04/08/2022	24.90	14.00	7.45	164.050	0.20
05/08/2022	25.70	14.10	7.90	171.950	0.20
06/08/2022	25.30	13.80	7.55	179.500	0.20

Para la etapa de desarrollo vegetativo se obtuvo valores distintos de forma creciente hasta llegar a 1.2, esto fue a los 67 ddt (Tabla 11).

Tabla 11: Valores de Kc hallados para el desarrollo vegetativo.

Fecha	T max C°	T min C°	Sl: Ecu. 4	TTA	Kc(180<TTA>460)
07/08/2022	21.90	13.80	5.85	185.350	0.22
08/08/2022	22.10	14.10	6.10	191.450	0.24
09/08/2022	23.10	13.90	6.50	197.950	0.26
10/08/2022	23.20	13.80	6.50	204.450	0.29
11/08/2022	25.40	13.80	7.60	212.050	0.32
12/08/2022	24.30	14.30	7.30	219.350	0.34
13/08/2022	23.90	13.20	6.55	225.900	0.37
14/08/2022	26.10	13.70	7.90	233.800	0.39
15/08/2022	25.50	14.00	7.75	241.550	0.42
16/08/2022	23.90	13.40	6.65	248.200	0.45
17/08/2022	23.80	13.90	6.85	255.050	0.47
18/08/2022	24.30	13.40	6.85	261.900	0.49
19/08/2022	23.50	13.20	6.35	268.250	0.52
20/08/2022	23.60	13.30	6.45	274.700	0.54
21/08/2022	23.70	13.70	6.70	281.400	0.57
22/08/2022	24.30	12.90	6.60	288.000	0.59
23/08/2022	25.90	13.60	7.75	295.750	0.62
24/08/2022	25.00	13.70	7.35	303.100	0.64
25/08/2022	23.40	13.10	6.25	309.350	0.67
26/08/2022	20.80	13.60	5.20	314.550	0.68
27/08/2022	21.70	13.50	5.60	320.150	0.70
28/08/2022	19.50	13.30	4.40	324.550	0.72
29/08/2022	21.20	13.40	5.30	329.850	0.74
30/08/2022	24.30	13.90	7.10	336.950	0.77
31/08/2022	25.00	13.90	7.45	344.400	0.79
01/09/2022	25.20	13.70	7.45	351.850	0.82
02/09/2022	24.90	13.80	7.35	359.200	0.85
03/09/2022	25.10	13.90	7.50	366.700	0.87
04/09/2022	25.70	14.20	7.95	374.650	0.90
05/09/2022	24.90	13.00	6.95	381.600	0.93
06/09/2022	25.60	14.10	7.85	389.450	0.95
07/09/2022	18.10	14.10	4.10	393.550	0.97
08/09/2022	18.20	14.20	4.20	397.750	0.98
09/09/2022	25.30	13.00	7.15	404.900	1.01
10/09/2022	25.10	13.20	7.15	412.050	1.04
11/09/2022	25.10	14.50	7.80	419.850	1.06
12/09/2022	20.50	14.10	5.30	425.150	1.08
13/09/2022	21.40	14.30	5.85	431.000	1.10
14/09/2022	23.00	13.70	6.35	437.350	1.13
15/09/2022	23.10	13.50	6.30	443.650	1.15
16/09/2022	25.10	13.20	7.15	450.800	1.17

Por último, la etapa de madurez tuvo un valor constante hasta su muerte fisiológica de 1.2 (Tabla 12).

Tabla 12: Valores de Kc hallados para madurez.

Fecha	T max C°	T min C°	SI: Ecu. 4	TTA	Kc(TTA>880)
17/09/2022	25.60	13.60	7.60	458.400	1.20
18/09/2022	25.50	14.10	7.80	466.200	1.20
19/09/2022	25.70	14.50	8.10	474.300	1.20
20/09/2022	23.40	13.70	6.55	480.850	1.20
21/09/2022	23.20	13.40	6.30	487.150	1.20
22/09/2022	23.50	13.40	6.45	493.600	1.20
23/09/2022	23.10	13.20	6.15	499.750	1.20
24/09/2022	23.60	13.10	6.35	506.100	1.20
25/09/2022	24.10	13.20	6.65	512.750	1.20
26/09/2022	26.30	13.70	8.00	520.750	1.20
27/09/2022	25.90	13.40	7.65	528.400	1.20
28/09/2022	27.80	14.10	8.95	537.350	1.20
29/09/2022	33.40	14.40	11.90	549.250	1.20
30/09/2022	29.30	13.60	9.45	558.700	1.20
01/10/2022	27.10	14.10	8.60	567.300	1.20
02/10/2022	27.20	14.30	8.75	576.050	1.20
03/10/2022	25.40	13.40	7.40	583.450	1.20
04/10/2022	21.90	13.90	5.90	589.350	1.20
05/10/2022	24.20	13.70	6.95	596.300	1.20
06/10/2022	25.10	13.90	7.50	603.800	1.20
07/10/2022	25.40	14.10	7.75	611.550	1.20
08/10/2022	25.40	14.30	7.85	619.400	1.20
09/10/2022	25.70	14.20	7.95	627.350	1.20
10/10/2022	26.10	14.20	8.15	635.500	1.20
11/10/2022	27.10	14.30	8.70	644.200	1.20
12/10/2022	25.90	14.10	8.00	652.200	1.20
13/10/2022	17.50	13.20	3.35	655.550	1.20
14/10/2022	26.50	14.20	8.35	663.900	1.20
15/10/2022	27.30	14.30	8.80	672.700	1.20
16/10/2022	27.50	14.50	9.00	681.700	1.20
17/10/2022	17.30	13.40	3.35	685.050	1.20
18/10/2022	21.20	14.20	5.70	690.750	1.20
19/10/2022	26.50	14.40	8.45	699.200	1.20
20/10/2022	21.50	14.20	5.85	705.050	1.20
21/10/2022	26.80	14.10	8.45	713.500	1.20
22/10/2022	26.50	14.60	8.55	722.050	1.20
23/10/2022	28.40	14.60	9.50	731.550	1.20
24/10/2022	27.60	14.80	9.20	740.750	1.20
25/10/2022	25.50	14.20	7.85	748.600	1.20
26/10/2022	28.70	14.70	9.70	758.300	1.20
27/10/2022	27.10	14.30	8.70	767.000	1.20
28/10/2022	26.50	14.60	8.55	775.550	1.20
29/10/2022	21.90	13.70	5.80	781.350	1.20
30/10/2022	24.60	13.20	6.90	788.250	1.20
31/10/2022	27.00	14.70	8.85	797.100	1.20
01/11/2022	26.90	14.10	8.50	805.600	1.20
02/11/2022	22.30	13.20	5.75	811.350	1.20
03/11/2022	25.90	13.90	7.90	819.250	1.20
04/11/2022	27.10	14.10	8.60	827.850	1.20
05/11/2022	28.20	14.50	9.35	837.200	1.20
06/11/2022	27.90	14.30	9.10	846.300	1.20
07/11/2022	29.10	14.90	10.00	856.300	1.20
08/11/2022	27.10	14.20	8.65	864.950	1.20
09/11/2022	26.90	14.30	8.60	873.550	1.20
10/11/2022	28.20	14.20	9.20	882.750	1.20
11/11/2022	27.90	13.90	8.90	891.650	1.20
12/11/2022	28.60	14.10	9.35	901.000	1.20
13/11/2022	29.50	14.20	9.85	910.850	1.20
14/11/2022	22.10	12.50	5.30	916.150	1.20
15/11/2022	26.40	13.50	7.95	924.100	1.20
16/11/2022	25.60	13.40	7.50	931.600	1.20
17/11/2022	28.10	14.20	9.15	940.750	1.20
18/11/2022	27.50	14.10	8.80	949.550	1.20
19/11/2022	31.20	14.50	10.85	960.400	1.20
20/11/2022	31.20	14.40	10.80	971.200	1.20
21/11/2022	30.10	14.30	10.20	981.400	1.20
22/11/2022	29.60	13.80	9.70	991.100	1.20
23/11/2022	28.10	14.60	9.35	1000.450	1.20
24/11/2022	27.50	13.90	8.70	1009.150	1.20
25/11/2022	28.60	14.10	9.35	1018.500	1.20
26/11/2022	29.80	14.10	9.95	1028.450	1.20
27/11/2022	29.40	13.80	9.60	1038.050	1.20
28/11/2022	30.50	14.20	10.35	1048.400	1.20

El esquema final de coeficiente de cultivo de pepino bajo condiciones de invernadero se refleja en la Figura 19.

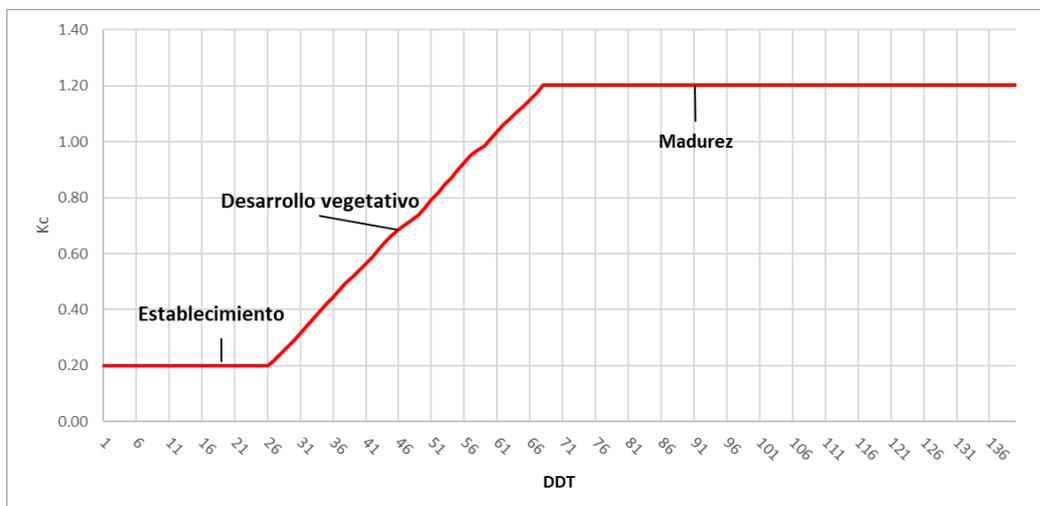


Figura 19: Coeficiente del cultivo de pepino

FAO (2006) recomienda en su capítulo de coeficiente único del cultivo tres valores: inicial, medio y final, (0.6, 1 y 0.75) para climas sub húmedos y a campo abierto. Los resultados obtenidos en la presente investigación fueron distintos, donde se llegó a tener un valor máximo de 1.2, debido a que el micro clima generado por el invernadero llegó a tener temperaturas más altas. Según López (2019) las diferencias que muestran los valores de Kc se deben a las condiciones de manejo del cultivo, variedades y condiciones climáticas locales. Por lo cual se recomienda hacer una comparación del método de Fernández con el método del lisímetro.

4.3. EVALUACIONES BIOMÉTRICAS

4.3.1. Altura de planta

Las alturas de las plantas mostraron un crecimiento semanalmente de forma homogénea en los 6 tratamientos desde el inicio del trasplante hasta los 77 días después del trasplante. En relación a la variedad híbrida Diamante F1, se observa una desaceleración de crecimiento a los 77 ddt hasta el final, en la cual se nota que el tratamiento de reposición de lámina de 100%(F1P3) llegó a ser el tratamiento con una altura mayor dentro de esta variedad. Mientras en la variedad Marketmore 76, se nota que no obtuvo una desaceleración de crecimiento hasta el final, donde se observa que el tratamiento de 100% (F2P3) llegó a ser de mayor crecimiento dentro de esta variedad y forma general con los demás tratamientos.

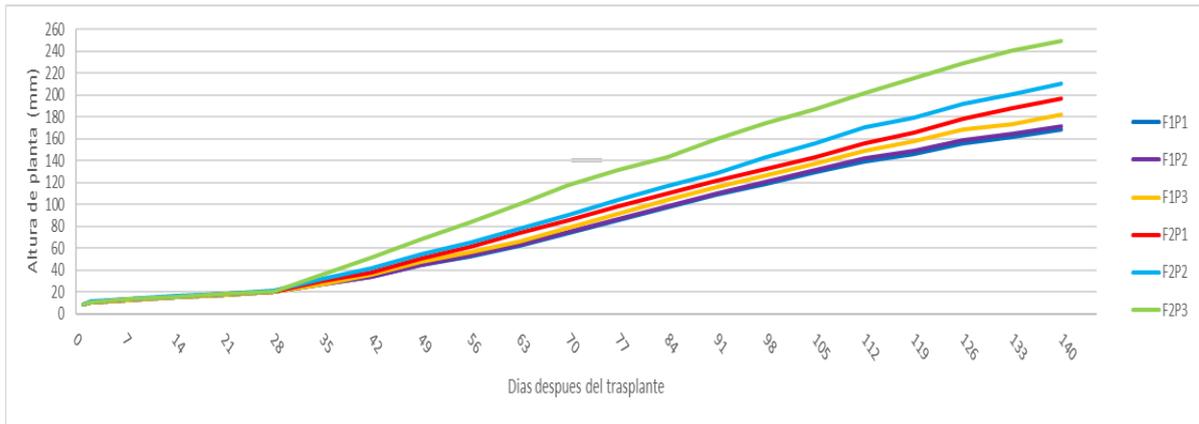


Figura 20: Evolución de la altura de plantas por tratamiento

4.3.2. Diámetro de tallo

El engrosamiento de los tallos fue parejo en todas las etapas, se observa que desde el día del trasplante hasta el final del estudio el engrosamiento fue parejo. Por último, se observa que, a pesar de tener dos variedades y diferentes láminas de reposición de agua, todas las plantas de pepino engrosaron de manera similar.

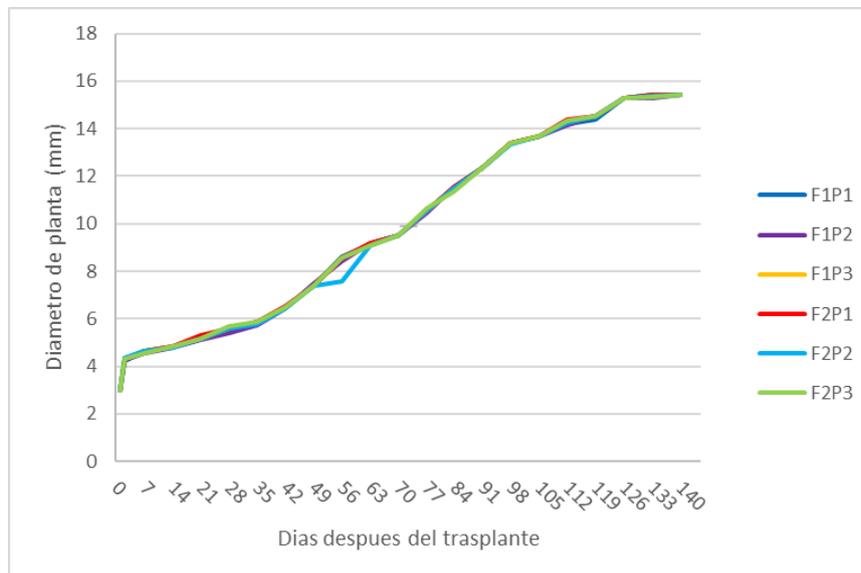


Figura 21: Evolución del diámetro de tallo promedio por tratamiento

4.3.3. Profundidad de raíz

Se obtuvieron mayores profundidades de raíz en los tratamientos de 100% ETc en ambas variedades, y los valores más bajos de profundidad fueron para los tratamientos de 50%ETc.

Tabla 13: Profundidad de raíz promedio de cada tratamiento

TRATAMIENTO	Profundidad(cm)
F1P1	65
F1P2	70
F1P3	89
Promedio	74.67
F2P1	66
F2P2	73.67
F2P3	85
Promedio	74.89

La Tabla 13 muestra los promedios de la profundidad de raíz de los tratamientos de cada variedad, 74.67 y 74.89 cm para las variedades Diamante F1 y Marketmore 76 respectivamente.

4.4. EVALUACIÓN DE PARÁMETROS DE RIEGO

4.4.1. Consumo de agua

Los volúmenes totales de agua se obtuvieron de la suma de los riegos interdiarios en su primera etapa para luego pasar a los riegos diarios en su segunda etapa. Para la variedad híbrida Diamante F1 el volumen por planta requerido fue de 76.96 litros de agua en la lámina de 100%ETc, 54.70 litros de agua para la lámina de 75%ETc y 35.95 litros de agua para la lámina de 50%ETc. Para la variedad Marketmore 76 el volumen por planta requerido fue de 60.13 litros de agua en la lámina de 100%ETc, 42.79 litros de agua para la lámina de 75%ETc y 26.13 litros de agua para la lámina de 50%ETc. La diferencia de láminas aplicadas entre ambas variedades fue de 16.83 litros en el tratamiento de 100%ETc, en el tratamiento de 75%ETc fue de 11.91 litros y en el tratamiento de 50%ETc fue de 9.82 litros de agua.

Tabla 14: Volúmenes por planta consumidos durante toda la investigación.

TRATAMIENTOS	VOLUMEN TOTAL POR PLANTA (Litros)	VOLUMEN TOTAL POR INVESTIGACION (m3)	VOLUMEN TOTAL = (m3/ha)
F1P1	35.95	1.08	720
F1P2	54.70	1.65	1100
F1P3	76.96	2.31	1540
F2P1	26.13	0.78	520
F2P2	42.79	1.29	860
F2P3	60.13	1.8	1200

En la Figura 22, se observa para la variedad híbrida Diamante F1 el consumo diario e interdiarios durante toda su etapa de crecimiento, desde el día 1 hasta el día 25 ddt las láminas de agua fueron iguales para los tres tratamientos, ya que se buscó la adaptación de los plantines al trasplante. Posteriormente a la adaptación, en el día 89 ddt se observa la mayor aplicación de agua, ya que fue la acumulación de dos días, donde se evaporó 4 mm del tanque evaporímetro.

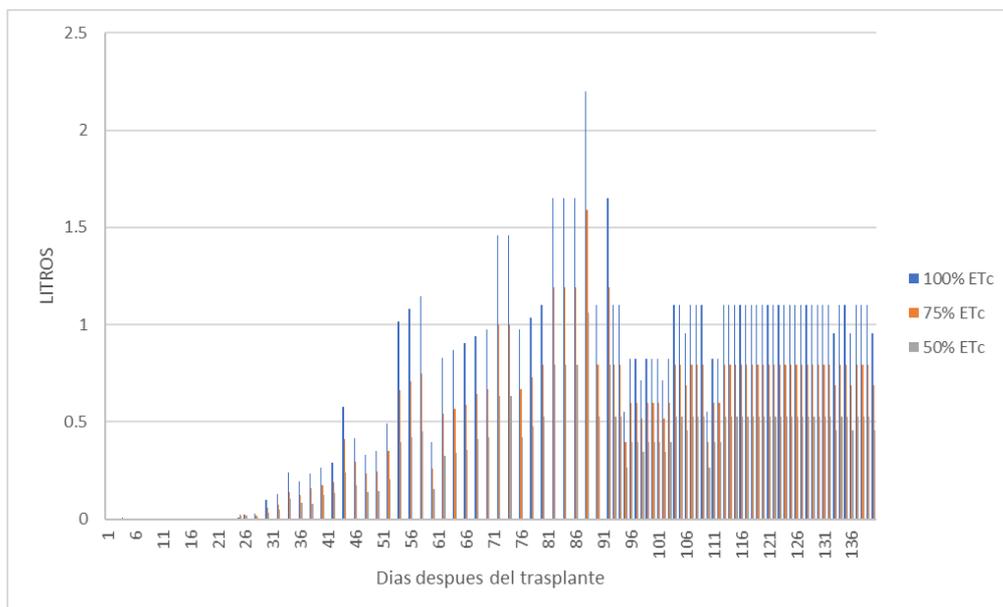


Figura 22: Litros de agua por planta aplicado para la variedad Diamante F1

En la Figura 23, se observa para la variedad Marketmore 76 el consumo diario e interdiarios durante toda su etapa de crecimiento, desde el día 1 hasta el día 25 ddt las láminas de agua fueron iguales para los tres tratamientos, ya que se buscó la adaptación de los plantines al trasplante. Posteriormente a la adaptación, en el día 89 ddt se observa la mayor aplicación de agua, ya que fue la acumulación de dos días, donde se evaporó 4 mm del tanque evaporímetro.

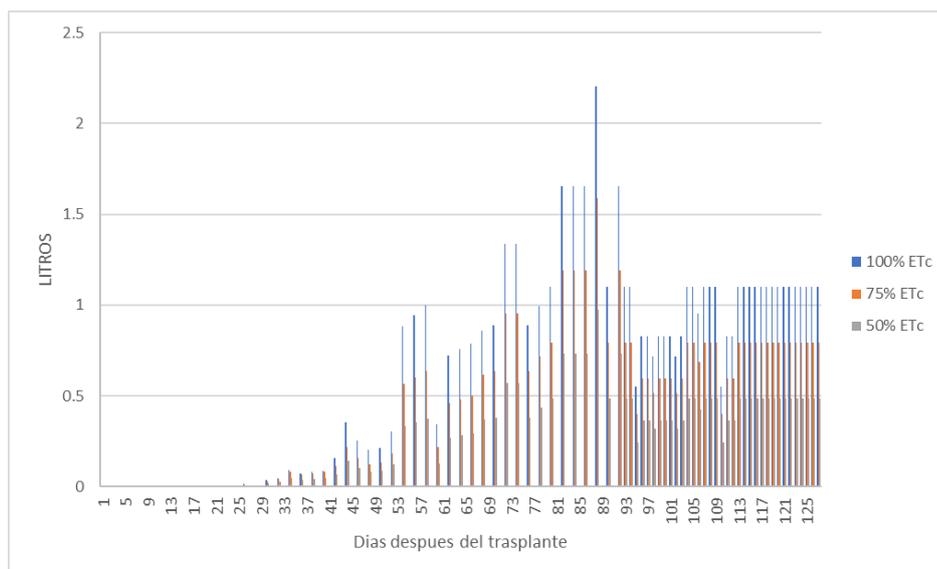


Figura 23: Litros de agua por planta aplicado para la variedad Marketmore 76

En la Tabla 15, se observa los promedios del requerimiento hídrico para la variedad híbrida Diamante F1, para cada etapa fenológica y para cada tratamiento aplicado. Existe un crecimiento de requerimiento hídrico en las etapas fenológicas debido a que la demanda hídrica está vinculada a la evapotranspiración del cultivo, y está ligado a las temperaturas, y como se demostró en esta investigación en la etapa de crecimiento las temperaturas fueron más bajas por encontrarse en invierno, en la etapa de desarrollo vegetativo, a la transición de invierno a primavera y, por último, la madurez se presentaron temperaturas más altas debido a la primavera.

Tabla 15: Requerimiento hídrico por etapa fenológica en Diamante F1.

ETAPA FENOLOGICA	Requerimiento hídrico (50% ETc) en litros	Requerimiento hídrico (75% ETc) en litros	Requerimiento hídrico (100% ETc) en litros
CRECIMIENTO	0.06	0.06	0.07
DESARROLLO VEGETATIVO	4.38	7.19	10.83
MADUREZ	31.51	47.45	66.06
TOTAL	35.95	54.70	76.96

En la Tabla 16, se observa el requerimiento de la variedad Marketmore 76, al igual que la tabla 15, se observa una demanda creciente según etapa fenológica para cada tratamiento aplicado.

Tabla 16: Requerimiento hídrico por etapa fenológica en Marketmore 76

ETAPA FENOLOGICA	Requerimiento hídrico (50% ETc) en litros	Requerimiento hídrico (75% ETc) en litros	Requerimiento hídrico (100% ETc) en litros
CRECIMIENTO	0.03	0.04	0.06
DESARROLLO VEGETATIVO	3.23	5.38	8.20
MADUREZ	22.88	37.37	51.87
TOTAL	26.13	42.79	60.13

4.4.2. Evapotranspiración y volumen de agua

En la Figura 24, se muestra los datos de la evapotranspiración del cultivo que fueron tomados diariamente desde el primer día después del trasplante. En la figura se observa que desde el primer día del trasplante hasta el día 24 ddt se mantuvo igual la ETc en las tres láminas de riego, esto para la adaptación de las plántulas al trasplante, pero desde el día 25 ddt es donde se empezó a aplicar los tratamientos y se logra ver la diferencia entre las 3 láminas, esto se mantuvo hasta el último día de cosecha.

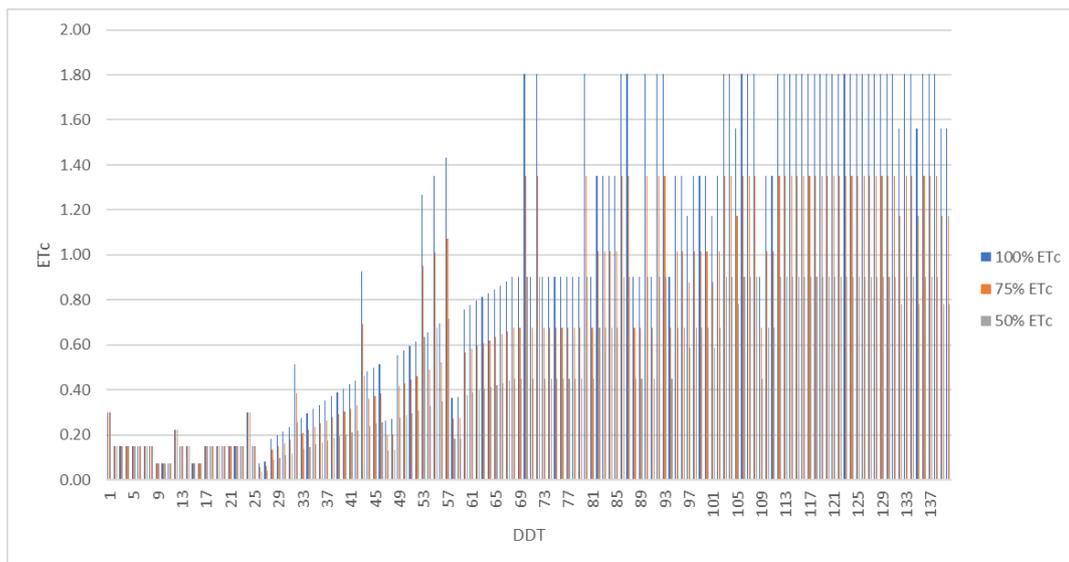


Figura 24: Evapotranspiración del cultivo en todo el ciclo del cultivo

En la Tabla 17, donde se muestra el total de la ETc de cada tratamiento aplicado por cada etapa del cultivo. Se observa un aumento de la demanda hídrica del cultivo en cada etapa fenológica y esto se debe a que cada etapa está relacionada a una estación del año diferente, en la etapa de crecimiento las temperaturas eran bajas con humedades relativas altas, por eso la demanda fue baja, en la etapa de desarrollo vegetativo corresponde al cambio de estación de invierno a primavera, donde las temperaturas aumentan y por último, en la etapa de madurez refleja la primavera donde las temperaturas son más altas y la humedad relativa disminuyendo, por eso que la evapotranspiración es la más alta.

Tabla 17: Evapotranspiración del cultivo por etapa y tratamiento.

ETAPA FENOLOGICA	P1 (50% ETc) en mm	P2 (75% ETc) en mm	P3 (100% ETc) en mm
CRECIMIENTO	0.13	0.13	0.13
DESARROLLO VEGETATIVO	0.24	0.36	0.48
MADUREZ	0.66	0.99	1.32
TOTAL	1.03	1.48	1.93

En Figura 25, se observa el agua aplicado total por etapa fenológica y por tratamientos, el cual fue incrementándose según su etapa, sin embargo, existe una diferencia de láminas de agua aplicados entre ambas variedades a pesar que la evapotranspiración del cultivo es el mismo para ambas variedades, debido a que utilizamos la ecuación 9, donde incluye la variable sombreado, y es donde la variedad Marketmore 76 tuvo un menor sombreado.

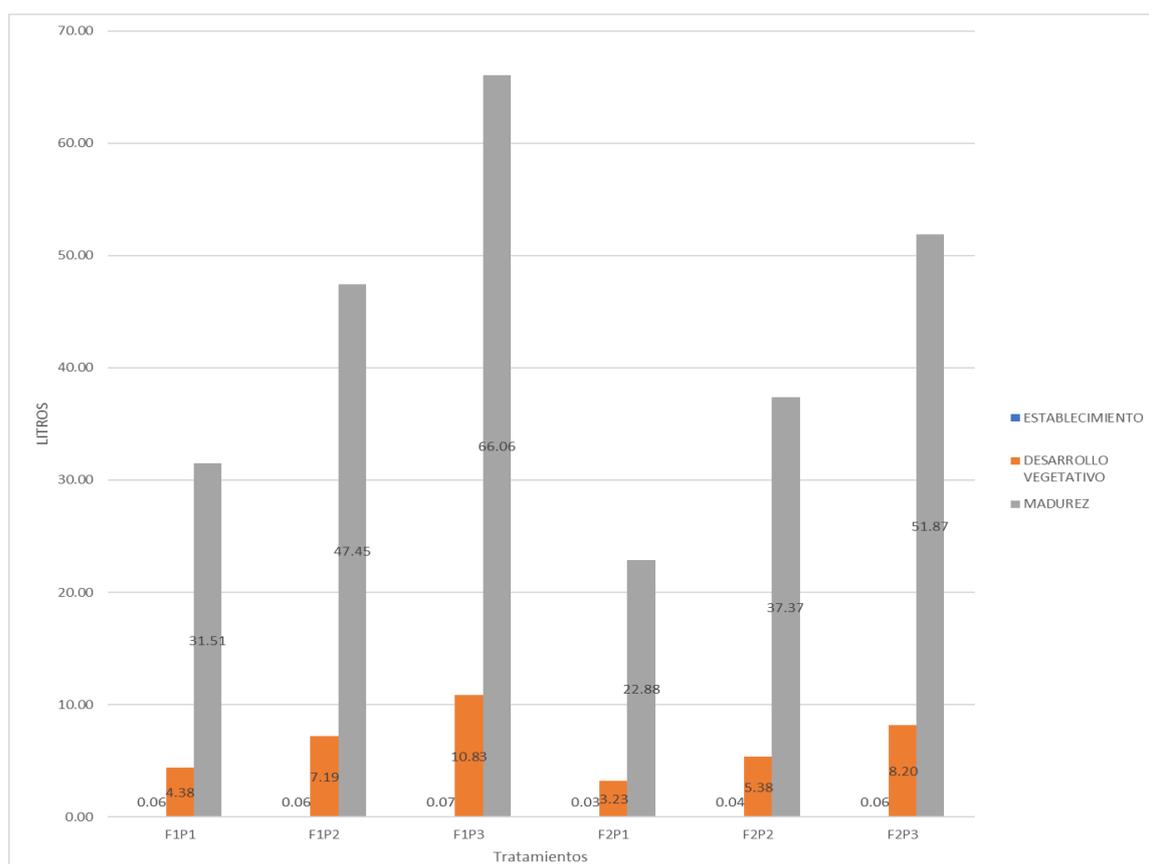


Figura 25: Volumen de agua aplicado por tratamiento y etapa fenológica.

4.4.3. Consumo de fertilizantes

En la Figura 26, se observa el consumo de fertilizantes para las dos variedades, en sus tres láminas de riegos 50%, 75% y 100%. El mayor fertilizante que se utilizó fue el Polyfeed de desarrollo y llenado de fruto con 6.15 kg y el menor fue el sulfato de magnesio con 0.35kg. se usó complejos de Polyfeed donde ya vienen incorporados macros y micronutrientes según la necesidad y se completó con fertilizantes con no contenía el complejo de Polyfeed.

4.4.4. Monitoreo de humedad

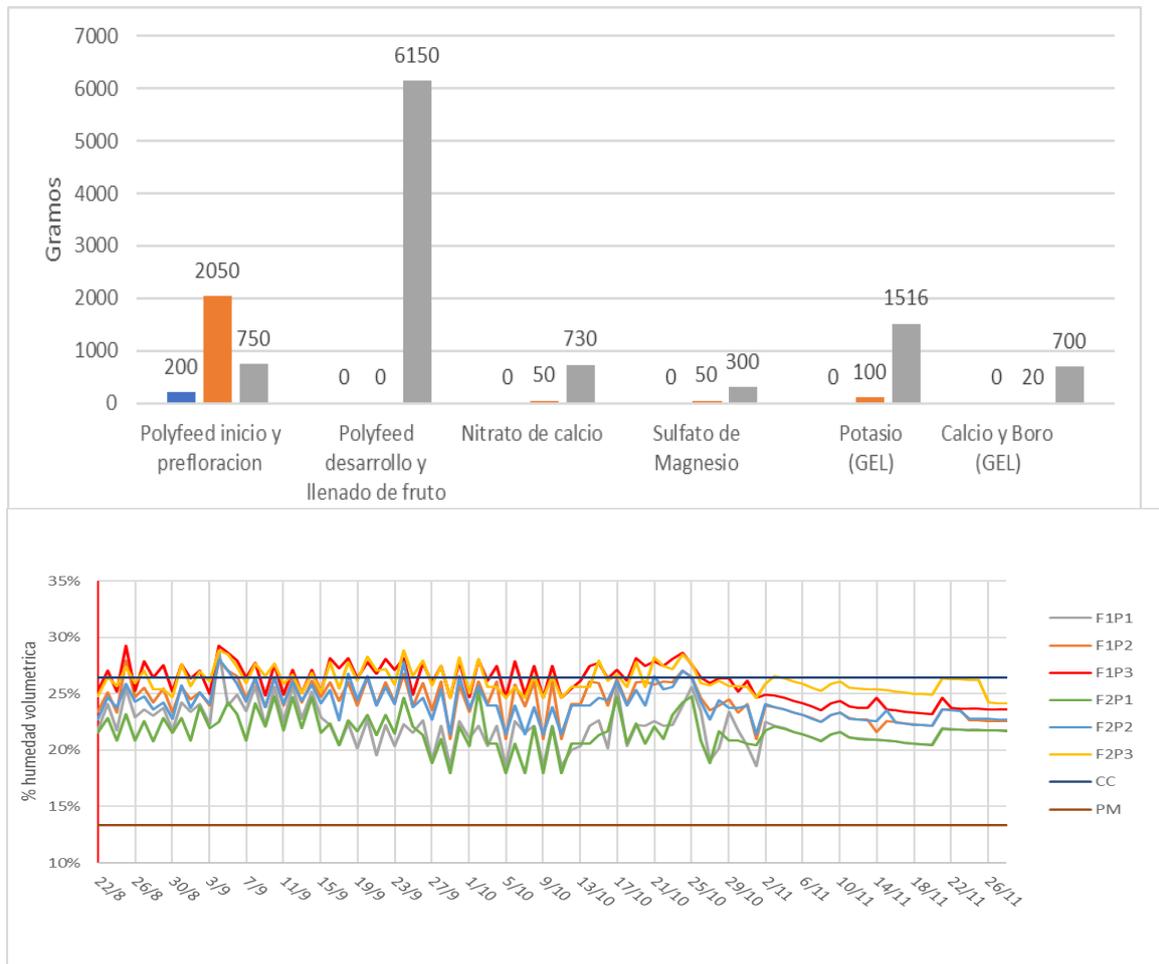


Figura 27: Valores de humedad volumétrica a 8 cm.

La humedad volumétrica que registró el TDR a una profundidad de 8 cm se presenta en la Figura 27, tienen esa variación donde se aplicó el riego cada dos días y luego cada día, además que se observa menores registros de humedad para el mes de noviembre, ya que la temperatura aumento, y esto implicó mayor evapotranspiración del cultivo. Lo que corresponde a los tratamientos, se observó que para el tratamiento de 100%ETc en ambas variedades muestran niveles cerca a la capacidad de campo, estado óptimo para llegar a la máxima producción de un cultivo, mientras tanto en los tratamientos de 50%ETc en ambas variedades se muestra un nivel de humedad media, es decir que esta entre la capacidad de campo y punto de marchitez.

4.5. EVALUACIONES AGRONÓMICAS

4.5.1. Rendimiento

El rendimiento se obtuvo de la suma de todos los pesos de frutos cosechados. Los resultados arrojaron que la producción para la variedad Diamante F1 fue de un total de 145.85 kg, donde el factor lámina de riego de 50%(P1) produjo 35.73 kg, la lámina de riego de 75%(P2) produjo 51.76 kg y la lámina de riego de 100%(P3) produjo 58.36 kg. Para la variedad Marketmore 76 se cosechó un total de 113.21 kg, donde el factor lámina de riego de 50%(P1) produjo 29.37 kg, la lámina de riego de 75%(P2) produjo 37.2 kg y la lámina de riego de 100%(P3) produjo 46.64 kg. La diferencia de producción entre ambas variedades fue de 32.64 kg, donde la diferencia es notable debido a que la variedad Marketmore 76 no se adaptó a niveles de humedad alto y se vio afectada en su rendimiento.

Tabla 18: Producción en kilos y rendimiento de la variedad Diamante F1.

TRATAMIENTO	Producción (Kg)	Kg/m ²	Tn/ha
F1P1	35.73	2.38	23.82
F1P2	51.76	3.45	34.5
F1P3	58.36	3.89	38.9
TOTAL	145.85	Promedio 3.24	32.41

En la Tabla 18, donde se analiza la variedad híbrida Diamante F1, se observa diferencias en la producción cosecha, mostrando que las láminas de riego de 50%, 75% y 100% Etc, fueron de 35.73, 51.76 y 58.36 kg respectivamente. Siendo el tratamiento de 100% que mayor producción cosechada se obtuvo. Por otro lado, los tratamientos de 50% y 75% no mostraron similitud en la producción cosechada a la lámina de riego de 100%.

Tabla 19: Producción en kilos y rendimientos para la variedad Marketmore 76 F2

TRATAMIENTO	Producción (Kg)	Kg/m ²	Tn/ha
F2P1	29.37	1.96	19.58
F2P2	37.2	2.48	24.8
F2P3	46.64	3.11	31.1
TOTAL	113.21	Promedio 2.52	25.16

En la Tabla 19, donde se analiza la variedad Marketmore 76, se observa diferencias en la producción cosecha, mostrando que las láminas de riego de 50%, 75% y 100%, fueron de 29.37, 37.2 y 46.64 kg respectivamente. Siendo el tratamiento de 100% que mayor producción cosechada se obtuvo. Por otro lado, los tratamientos de 50% y 75% no mostraron una similitud de producción entre ellas, sin embargo, comparando con la lámina de 100%, existe una diferencia notable.

Según otros resultados de rendimiento en el Perú, (Delgado, 2003) obtuvo producciones de pepino que fueron de 20-25 Tn/ha. Los resultados obtenidos en la presente investigación, en el caso de la variedad híbrida Diamante F1, los tratamientos de 75% y 100% ETC superaron el rendimiento del autor. En el caso de la variedad Marketmore 76, solo el tratamiento de 100% superó el rendimiento del autor y los otros dos tratamientos no igualaron dicho rendimiento. Por lo que los requerimientos edafoclimáticos afectaron a esta variedad.

4.5.2. Evaluación comercial

En la evaluación comercial del número de frutos se utilizó la norma técnica de calidad de INACAL, 2012. Donde se encontró mayor cantidad de frutos de calidad de primera en los tratamientos de 100%ETC en ambas variedades y en el tratamiento de 75%ETC en la variedad híbrida Diamante F1, por otro lado, en los tratamientos de 50%ETC de la variedad Diamante F1 y los tratamientos de 50% y 75% ETC de la variedad Marketmore 76 se encontró mayor calidad segunda en los frutos cosechados.

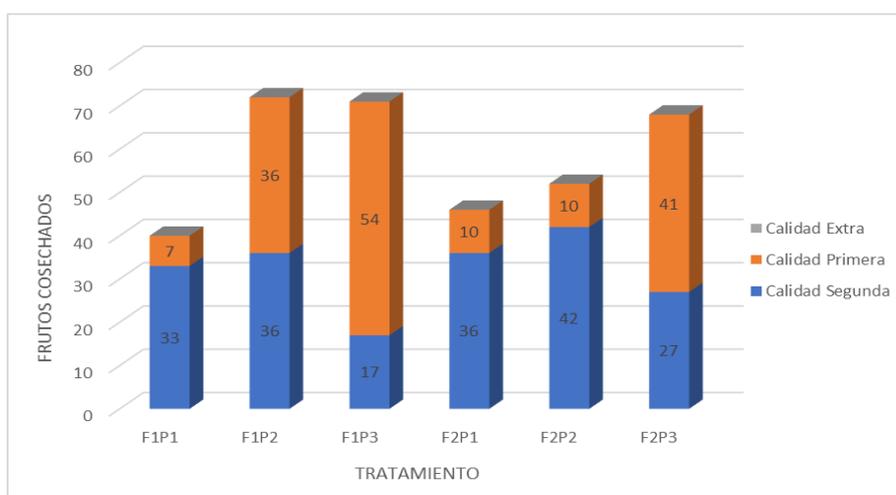


Figura 28: Número de frutos totales cosechados por tratamientos.

En la Figura 28, se observa que en los tratamientos de 100% ETc en ambas variedades se superó los 40 frutos cosechados, además en el tratamiento de 75%ETc de la variedad Diamante se superó los 30 frutos cosechados de la muestra representativa.

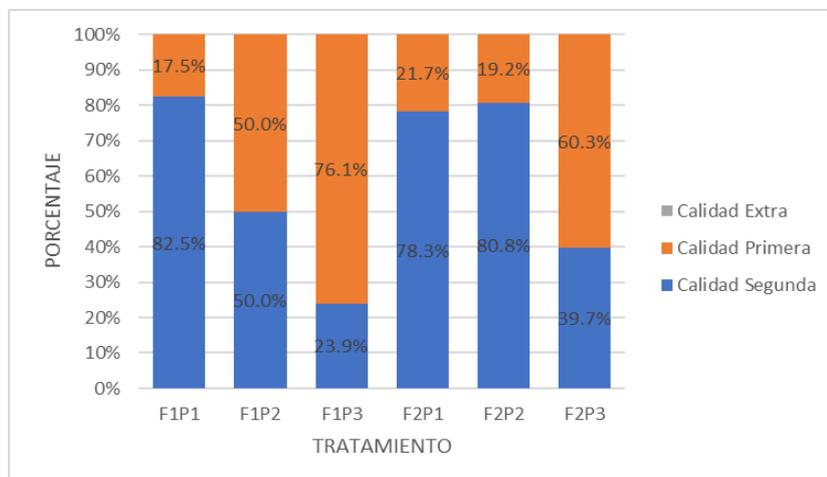


Figura 29: Porcentaje de representación de frutos por calidades.

En la Figura 29, se observa que con las láminas de 100%ETc se obtuvieron mayores producciones llegando hasta 76.1% y 60.3% en la variedad Diamante y Marketmore 76, respectivamente, mientras el tratamiento de 75%ETc de la variedad Diamante llegó hasta 50% de la producción.

En consecuencia, el tratamiento de 75%ETc de la variedad Diamante llegó a producir en cantidad similar a su testigo, 100%ETc.

4.5.3. Uso eficiente del agua

Los valores del uso eficiente del agua muestran que los tratamientos de la variedad Marketmore 76 requieren menor volumen de agua para producir un kilo de pepino si lo comparamos con la variedad híbrida Diamante F1. Sin embargo, los tratamientos de 75% y 100%ETc de la variedad Diamante F1, presentan mejor eficiencia hídrica y si tomamos en cuenta los puntos 4.2.1. y 4.2.2. que corresponden a rendimientos y evaluación comercial respectivamente, se observa que el tratamiento F1P2 tiene mejores resultados, ya que tuvo una cantidad de calidad similar al F1P3 y además sus rendimientos son similares.

Tabla 20: Uso eficiente del agua.

TRATAMIENTO	Uso eficiente del agua (L/Kg)
F1P1	29.82
F1P2	31.32
F1P3	39.08
F2P1	26.21
F2P2	33.88
F2P3	37.97

4.6. EVALUACIÓN ESTADÍSTICA

4.6.1. Variables agronómicas

Los resultados estadísticos bajo la comparación de medias con la prueba de HSD de Tukey muestran las diferencias estadísticas para los efectos de cada factor, tal como se muestra en la Tabla 21.

Tabla 21: Comparación de medias estadísticas y CV para las variables agronómicas

Efecto	Rend. (kg/m ²)	Rend. (tn/ha)	N° Frutos	Peso frutos(gr)	Longitud de fruto(mm)	Diam. de fruto(mm)
F1	3.24A	32.405A	8.17A	220.82A	169.417A	46.02A
F2	2.52B	25.149B	6.92B	176.93B	166.387A	41.04B
P3	3.5A	34.99A	8.69A	208.03A	170.03A	43.84A
P2	2.97B	29.65B	7.75A	194.43A	167.61A	43.68A
P1	2.17C	21.7C	6.19B	194.16A	166.06A	43.09A
CV%	18.98%	18.99%	18.78%	12.23%	8.87%	6.55%

Nota: Medias con letras iguales no difieren estadísticamente entre si según la prueba HSD de Tukey.

Como se observa, el coeficiente de varianza está por debajo del 20%, porcentaje que es el máximo para invernaderos. Además, para las variables de longitud de fruto y diámetro de fruto no hubo diferencia estadística para cada lámina de agua aplicada, sin embargo, para el rendimiento, N° de frutos y pesos de frutos si hubo diferencias tanto para el factor 1(variedades) y el factor 2(láminas).

4.6.2. Variables biométricas

Los resultados estadísticos con respecto, mostraron que no hubo diferencia estadística en la variable de la altura de la planta, tanto para las variedades y las láminas de agua, como se observa en la Tabla 22.

Tabla 22: Comparación de medias de variables biométricas.

Efecto	Alt (cm)	Diam. tallo (mm)	Prof. Raíz (cm)
F1	219.58A	15.61A	75.04A
F2	174.04B	15.54A	74.46A
P3	215.94A	15.69A	87.13A
P2	191.88B	15.63A	71.88B
P1	182.63C	15.42A	65.25C
CV%	2.34%	2.13%	2.96%

Nota: Medias con letras iguales no difieren estadísticamente entre si según la prueba HSD de Tukey.

Respecto a las variables de altura de planta y profundidad de raíz se presentó una diferencia significativa entre las tres láminas de agua aplicados.

En relación al coeficiente de varianza se presentó valores bajos (menores de 3%).

4.6.3. Variables de riego

En la Tabla 23, se muestra que no hay diferencias estadísticas significativas entre variedades, sin embargo, en las láminas de agua aplicados si se observa diferencia en la lámina de 50%ETc. Los resultados muestran un mejor uso eficiente del agua para la lámina de 75% y si comparamos según los rendimientos, podríamos decir que la lámina de 75% ETc en la variedad híbrida diamante F1 sería mejor aplicar debido a que su mejor uso eficiente del agua está por debajo del 100% ETc, además que su calidad y cantidad de frutos es similar al testigo, por eso es un tratamiento viable ya que ahorramos el recurso hídrico y podemos tener calidad similar al testigo.

Tabla 23: Comparación de medias en el uso eficiente del agua.

Efecto	Uso eficiente del agua (l/kg)
F1	75.04A
F2	74.46A
P3	39.66A
P2	33.74A
P1	29.14B
CV%	20.28%

Nota: Medias con letras iguales no difieren estadísticamente entre si según la prueba HSD de Tukey.

V. CONCLUSIONES

- Se determinó las necesidades hídricas de las variedades híbrida Diamante F1 y Marketmore 76 en sus tres láminas de reposición de agua (50%, 75% y 100% ETc), donde se concluye que el tratamiento de 75% ETc de la variedad híbrida Diamante F1 (1100 m³/ha), obtuvo la mejor relación necesidad hídrica y rendimiento.
- Se determinó los requerimientos hídricos de las variedades híbrida Diamante F1 y Marketmore 76 con sus tres láminas de reposición de agua (50%, 75% y 100% ETc), donde se evidenció que el mejor tratamiento bajo condiciones de invernadero fue de la variedad híbrida Diamante F1 con la lámina de 75% ETc (34.5 tn/ha), ya que obtuvo un rendimiento superior al promedio nacional (25 tn/ha) además que presentó un mejor uso eficiente del agua (31.32 L/kg).
- Para el coeficiente de cultivo del pepino bajo condiciones de invernadero se concluye que el método de temperatura térmica acumulada modificada por Fernández, si es posible utilizar para el pepino en invernadero, ya que los valores obtenidos se ajustan mejor a las condiciones que se manejó como temperaturas, humedades relativas y radiación, las cuales son distintas que se registran fuera del invernadero.
- Se determinó el uso eficiente del agua para la producción de un kilo de pepino. Donde se concluyó que el tratamiento de 75% ETc en la variedad híbrida Diamante F1 obtuvo una mejor relación de rendimiento (34.5 tn/ha)-calidad de fruto (50% calidad primera)-uso eficiente de agua (31.32 L/kg) entre los demás tratamientos.

VI. RECOMENDACIONES

1. Evaluar el cultivo de pepino en estaciones del año diferentes al de invierno para las variedades de Marketmore 76 y la híbrida Diamante F1 bajo las mismas condiciones de sustrato e invernadero.
2. Evaluar diferentes láminas de reposición, mayores de 50% ETc y menores del 75% ETc en la variedad híbrida Diamante F1, para lograr una mejor relación uso eficiente del agua-rendimiento.
3. Evaluar para el pepino en las variedades de Marketmore 76 y la híbrida Diamante F1 una fuente distinta de agua como es del reservorio o ríos.
4. Evaluar métodos distintos a la temperatura térmica acumulada de Fernández para determinar el Kc, tal como el uso de lisímetros.
5. Analizar los costos de producción para determinar la viabilidad del uso de invernaderos para este cultivo.

VII. BIBLIOGRAFÍA

Aguirre, W. (2014). Evaluación de las podas en el cultivo de pepino (*Cucumis sativus L.*), Palmales 2014. Tesis Ing. Agrónomo UTMACH. Arenillas – Ecuador.

Allen, G.R.; Pereira, L.; Raes, D.; Smith, M. (2006). Estudio FAO Riego y drenaje 56. Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Serie Cuadernos Técnicos. Roma, Italia. FAO. 298 p.

Álvarez, L.; Valverde, A.; Briceño, H. (2021). Eficiencia del riego por goteo en el rendimiento de *Brassica spp.* Manglar 18(4):369-374.

Ayers, R. y D. Westcot. (1987). La calidad del agua en la agricultura. Estudio FAO Riego y Drenaje. Roma. Italia.

Babilonia, A.; Reategui, T. (1994). Manual teórico práctico para el cultivo de hortalizas en Trópico Húmedo. Vol. 1, Iquitos, Perú. 135p.

Bayer, PFLAZEN S. (1990). Leverkusen “Bayfolan” boletín de Difusión. Bayer A. G. Alemania.

Cerna, B. L. (2011). “Manual de Olericultura”.
http://www.upao.edu.pe/fondoeditorial/pdf/Manual_olericultura.pdf.

Coljap. (1991). Industria Agroquímica Colombo Japonesa S.A. Cultivos Hidropónicos Santa Fe de Bogotá. Colombia.

Cruz, J.; Monge, J.; Loria, M. (2020). Comparación agronómica entre tipos de pepino (*Cucumis sativus L.*). Cuadernos de Investigación UNED, vol. 12, núm. 01, p. 2842, 2020

Dalmasso J. (2016). Influencia del déficit hídrico en diferentes etapas fenológicas sobre el rendimiento y calidad del zapallo cucúrbita moschata duch. Cv. Cokena inta (Tesis de maestría). Repositorio institucional INTA. Recuperado de <http://hdl.handle.net/20.500.12123/5198>

Delgado, J. R. (2003). Efecto de la fertilización foliar en el cultivo de pepinillo para encurtido (*Cucumis sativus L.*) cv. Blitz. Tesis ingeniero Agrónomo UNALM. Lima-Perú.

FAO – Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación – Departamento Económico y Social. La Dirección de Estadística. (2006). 20 países con mayor producción de pepino y pepinillos datos de varios años.

Fernández, M. D.; Orgaz, F.; Fereres, E.; López, J. C.; Céspedes, Pérez, J.; Bonachela, S.; Gallardo, M. (2001). Programación del riego de cultivos hortícolas bajo invernadero en el sudeste español. Editorial (Caja Rural de Almería y Málaga).

Ferreira, R.; Selles, G.; Van Sch. (2013). Manual de riego para frutales: uso eficiente del agua de riego y estrategias para enfrentar periodos de escasez. 319 pp. Boletín n° 278. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centros Regionales de Investigación La Platina y la Cruz. Santiago, Chile.

García Petillo, M.; Puppo, I.; Hayashi, R.; Morales, P. (2012). Metodología para determinar los parámetros hídricos de un suelo a campo. Facultad de Agronomía. Universidad de la República, Facultad de Agronomía, Departamento de Suelos y Agua. Montevideo, Uruguay.

Guenkov, G. (1974). Fundamentos de la Horticultura Cubana Editorial Organismo Instituto Cubano del libro, La Habana Cuba.

Guzmán P. y López J. (2004). Fertirriego: Tecnologías y Programación en Agroplasticultura. Resultados del Curso de formación sobre Plasticultura y Tecnología de Riego (Bogotá 2002). Taller de fertirrigación Col. Posgraduados (U. Chapingo. 2004). URI: <http://hdl.handle.net/10835/3129>

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

INACAL. (2012). Norma Técnica Peruana: Pepinillo fresco. Instituto Nacional de Calidad (INACAL). Lima, Perú. 7p.

Infoagro. (2010). El cultivo de pepinillo. Recuperado de <https://www.infoagro.com/hortalizas/pepino2.htm>

Infoagro. (2015). Pepino. Disponible en: <http://www.infoagro.com/hortalizas/pepino.htm>.

Integrated Taxonomic Information System (ITIS). (2020). IT IS-North America. Base de datos. Recuperado de https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt?search_topic=TSN&search_value=30491#null

López, C. (2003). Guía técnica: Cultivo del pepino. Centro de investigación agropecuaria y forestal (CENTA). El salvador. 45p.

López, J.; Rodríguez, J.; Martínez, J.; Lizárraga, R.; Díaz, T. (2019). Uso de FAO-56 y cintilometro para estimar la evapotranspiración de sorgo (*sorghum bicolor L.*) y sus componentes: evaporación del suelo y transpiración de la planta. Terra latinoamericana.

Ledieu, J.; De Ridder, P.; DE Clerk, P.; Dautrebande, S. (1986). A method of measuring soil moisture by time-domain reflectometry. J. Hydrol. 88, 319-328.

Martínez, Y. (2017). Determinar los requerimientos hídricos del pepino (*Cucumis Sativus L.*) mediante el lisímetro volumétrico, en el sector La Trinidad pertenece al sistema de riego Campana – Malacatos. Tesis para optar el título de Ing. Agrícola UNL. Loja – Ecuador.

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y RIEGO. (2014). “Compendio Estadístico Perú 2014”. Perú, Lima.

Montes, A; Holle. (1972). Pepinillo. Separata mimeografiada. Departamento de horticultura. UNALM. Lima-Perú 18p.

Otarola, L. (1993). Efecto de la fertilización N-P-K y de la Aplicación Foliar suplementaria en el rendimiento del cultivo de fresa (*fragaria x ananassa* Duch) cv Tufts bajo RLAF exudación. Tesis para optar título de Ing. Agrónomo UNALM. Lima – Perú.

Pulupol, L.U.; Hossein Behboudian, M.; Fisher, K.J. (1996). Growth, yield, and postharvest attributes of glasshouse tomatoes produced under deficit irrigation. HortScience 31, 926–929.

Rodriguez, L. A. A. (2007). Aporte de nutrientes mediante fertirriego durante diferentes etapas del ciclo de pepino (*Cucumis Sativus* L.) en condiciones de San Juan de Lagunillas estado Mérida. Centro Interamericano de desarrollo e investigación ambiental y territorial. Universidad de los Andes – Mérida.

Romero, E.; Rodriguez, A.; Razuri, L.; Suniaga, J. y Montilla, E. (2009). Estimación de las necesidades hídricas del cultivo de pepino (*cucumis sativus* L.), durante las diferentes etapas fenológicas, mediante la tina de evaporación. Revista Agricultura Andina, volumen 16.

Serrano Cermeño, Z. (1974). Cultivos Hortícolas Enarenados. Publicaciones de extensión agraria – 560 pp. Ministerio de Agricultura. Serie Manuales Técnicos, A, Número 46. (p. 70). ISBN: 843410475X

Ugas, R.; Saray, S.; Francisco, D. De la Flor; ANDRES, C.; JULIO, T. (2000). Hortalizas. Datos Básicos. UNALM. Lima – Perú. 202p.

UNESCO. (2009). World WaterAssessment Programme, Water in a Changing World. Paris, France: The 3rd United Nations World Water Development Report.

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA. (2000). “Programa de hortalizas”. Perú, Lima.

UN. (2019). World population prospects 2019. In Department of Economic and Social Affairs. World Population Prospects 2019. Recuperado de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12283219>

Spiertz, H. (2012). Avenues to meet food security. The role of agronomy on solving complexity in food production and resource use. European Journal of Agronomy, 43, 1- 8. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/257505051_Avenues_to_meet_food_security_The_role_of_agronomy_on_solving_complexity_in_food_production_and_resource_use

Tecnologies Spectrum. (2021). Catalogo 2021: TDR 150 Soil Moisture Meter. Recuperado de https://www.specmeters.com/assets/1/7/2020_03_09_SpectrumCatalog_General-min.pdf.

Topp, G.C.; Davis, J.L. (1985). Time-domain reflectometry (TDR) and its applications to irrigation scheduling. In: Hillel, D. (Ed), Advances in Irrigation, Vol. 3. Academic Press, New York, pp. 107-127.

Topp, G.C.; Davis, J.L.; Annan, A.P. (1982). Electromagnetic determination of soil water content using TDR: I. Applications to wetting fronts and steep gradients. Soil Sci. Soc. Am. J. 46, 627-678.

Topp, G.C.; Zegelin, S.J.; White, J. (1994). Monitoring soil content using TDR: An overview of progress. In: Time Domain Reflectometry in Environmental, Infrastructure, and Mining Applications. Special Publication Sp 19-94, United States Department of Interior, Bureau of Mines, pp. 67-80.

World Wildlife Fund (WWF). (2009). Manual de buenas prácticas de riego: Propuestas de WWF para un uso eficiente del agua en la agricultura. Recuperado de http://awsassets.wwf.es/downloads/buenas_practicas_de_riego.pdf

Zapata, F. (1978). Manual de jardinería peruana. Proyecto de Áreas Verdes. UNALM. Lima – Perú. Pág. 33-34.

VIII. ANEXOS

Anexo 1: Evaporación registrada diariamente en el tanque Clase A dentro del invernadero.

Fecha	Medidas(mm)			Evap.	Fecha	Medidas(mm)			Evap.	Fecha	Medidas(mm)			
	Inicio	Final	Evap.			Inicio	Final	Evap.			Inicio	Final	Evap.	
12/07/2022	190	188		2	30/08/2022	141	140		1	20/10/2022	133	131.5		1.5
13/07/2022	188	187		1	31/08/2022	140	139		1	21/10/2022	131.5	130		1.5
14/07/2022	187	186		1	01/09/2022	139	138		1	22/10/2022	130	128		2
15/07/2022	186	185		1	02/09/2022	138	136		2	23/10/2022	128	126		2
16/07/2022	185	184		1	03/09/2022	136	135		1	24/10/2022	126	124		2
17/07/2022	184	183		1	04/09/2022	135	133		2	25/10/2022	124	122		2
18/07/2022	183	182		1	05/09/2022	133	132		1	26/10/2022	122	120		2
19/07/2022	182	181		1	06/09/2022	132	130		2	27/10/2022	200	198		2
20/07/2022	181	180.5		0.5	07/09/2022	130	129.5		0.5	28/10/2022	198	197		1
21/07/2022	180.5	180		0.5	08/09/2022	129.5	129		0.5	29/10/2022	197	195.5		1.5
22/07/2022	180	179.5		0.5	09/09/2022	129	128		1	30/10/2022	195.5	194		1.5
23/07/2022	179.5	178		1.5	10/09/2022	128	127		1	31/10/2022	194	192		2
24/07/2022	178	177		1	11/09/2022	127	126		1	01/11/2022	192	190		2
25/07/2022	177	176		1	12/09/2022	186	185		1	02/11/2022	190	188		2
26/07/2022	176	175.5		0.5	13/09/2022	185	184		1	03/11/2022	188	186		2
27/07/2022	175.5	175		0.5	14/09/2022	184	183		1	04/11/2022	186	184		2
28/07/2022	175	174		1	15/09/2022	183	182		1	05/11/2022	184	182		2
29/07/2022	174	173		1	16/09/2022	182	181		1	06/11/2022	182	180		2
30/07/2022	173	172		1	17/09/2022	181	180		1	07/11/2022	180	178		2
31/07/2022	172	171		1	18/09/2022	180	179		1	08/11/2022	178	176		2
01/08/2022	171	170		1	19/09/2022	179	177		2	09/11/2022	176	174		2
02/08/2022	170	169		1	20/09/2022	177	176		1	10/11/2022	174	172		2
03/08/2022	169	168		1	21/09/2022	176	174		2	11/11/2022	172	170		2
04/08/2022	168	166		2	22/09/2022	174	173		1	12/11/2022	170	168		2
05/08/2022	166	165		1	23/09/2022	173	172		1	13/11/2022	168	166		2
06/08/2022	165	164.5		0.5	24/09/2022	172	171		1	14/11/2022	166	164		2
07/08/2022	164.5	164		0.5	25/09/2022	171	170		1	15/11/2022	164	162		2
08/08/2022	164	163		1	26/09/2022	169	168		1	16/11/2022	162	160		2
09/08/2022	163	162		1	27/09/2022	167	166		1	17/11/2022	160	158		2
10/08/2022	162	161		1	28/09/2022	166	165		1	18/11/2022	158	156		2
11/08/2022	161	160		1	29/09/2022	165	163		2	19/11/2022	156	154		2
12/08/2022	160	158		2	30/09/2022	163	162		1	20/11/2022	154	152		2
13/08/2022	158	157		1	01/10/2022	162	160.5		1.5	21/11/2022	152	150		2
14/08/2022	157	156		1	02/10/2022	160.5	159		1.5	22/11/2022	150	148		2
15/08/2022	156	155		1	03/10/2022	159	157.5		1.5	23/11/2022	148	146		2
16/08/2022	155	154		1	04/10/2022	157.5	156		1.5	24/11/2022	146	144		2
17/08/2022	154	153		1	05/10/2022	156	154		2	25/11/2022	144	142		2
18/08/2022	153	152		1	06/10/2022	154	152		2	26/11/2022	142	140		2
19/08/2022	152	151		1	07/10/2022	152	151		1	27/11/2022	140	138		2
20/08/2022	151	150		1	08/10/2022	151	150		1	28/11/2022	138	136		2
21/08/2022	150	149		1	09/10/2022	150	148		2					
22/08/2022	149	148		1	10/10/2022	148	147		1					
23/08/2022	148	146		2	11/10/2022	147	145		2					
24/08/2022	146	145		1	12/10/2022	145	143		2					
25/08/2022	145	144		1	13/10/2022	143	142		1					
26/08/2022	144	143		1	14/10/2022	142	140.5		1.5					
27/08/2022	143	142.5		0.5	15/10/2022	140.5	139		1.5					
28/08/2022	142.5	142		0.5	16/10/2022	139	137.5		1.5					
29/08/2022	142	141		1	17/10/2022	137.5	136		1.5					
30/08/2022	141	140		1	18/10/2022	136	134.5		1.5					
31/08/2022	140	139		1	19/10/2022	134.5	133		1.5					

Anexo 2: Evaporación registrada diariamente en el tanque Clase A fuera del invernadero.

Fecha	Medidas(mm)			Fecha	Medidas(mm)		
	Inicio	Final	Evap.		Inicio	Final	Evap.
11/08/2022	19.07	16	3.07	05/09/2022	3.78	2.94	0.84
12/08/2022	16	15.85	0.15	06/09/2022	26.76	23.18	3.58
13/08/2022	15.85			07/09/2022	23.18	22.42	0.76
14/08/2022			8.74	08/09/2022	22.42	20.76	1.66
15/08/2022	14.88	6.14		09/09/2022	20.76	18.1	2.66
16/08/2022	6.14	5.4	0.74	10/09/2022	18.1	17.5	0.6
17/08/2022	5.4	4.75	0.65	11/09/2022	17.5	12.61	4.89
18/08/2022	23.98	22.74	1.24	12/09/2022	12.61	11.26	1.35
19/08/2022	22.74			13/09/2022	11.26	10.38	0.88
20/08/2022			10.84	14/09/2022	10.38	8.48	1.9
21/08/2022	26.14	15.3		15/09/2022	8.48	6.54	1.94
22/08/2022	15.3	13.68	1.62	16/09/2022	6.54	3.4	3.14
23/08/2022	13.68	11	2.68	17/09/2022	30.04	27.42	2.62
24/08/2022	11	7.06	3.94	18/09/2022	27.42	24.07	3.35
25/08/2022	7.06	5.76	1.3	19/09/2022	24.07	21.42	2.65
26/08/2022	5.76	4.73	1.03	20/09/2022	21.42	19.31	2.11
27/08/2022	27.48	22.5	4.98	21/09/2022	19.31	16.4	2.91
28/08/2022	22.5	20.18	2.32	22/09/2022	16.4	13.04	3.36
29/08/2022	20.18	20.06	0.12	23/09/2022	13.04	10.56	2.48
30/08/2022	20.06	17	3.06	24/09/2022	10.56	9.25	1.31
31/08/2022	17	14.18	2.82	25/09/2022	9.25	4.91	4.34
01/09/2022	14.18	12.42	1.76	26/09/2022	4.91	3.44	1.47
02/09/2022	12.42	9.7	2.72	27/09/2022	34.43	30.34	4.09
03/09/2022	9.7	6.95	2.75	28/09/2022	30.34	26.42	3.92
04/09/2022	6.95	3.78	3.17	29/09/2022	26.42	22.34	4.08
				30/09/2022	22.34	19.74	2.6
				01/10/2022	19.74	15.72	4.02
				02/10/2022	15.72	11.7	4.02
				03/10/2022	11.7	8.7	3
				04/10/2022	8.7	6.2	2.5

Anexo 3: Análisis estadístico en SAS versión 9.1

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: RENDkgm2

Source	Pr > F	DF	Sum of Squares	Mean Square	F
Model		5	21.24379167	4.24875833	
14.23	<.0001				
Error		42	12.53927500	0.29855417	
Corrected Total		47	33.78306667		

R-Square	Coeff Var	Root MSE	RENDkgm2 Mean
0.628830	18.98325	0.546401	2.878333

Source	Pr > F	DF	Anova SS	Mean Square	F
VAR		1	6.32200833	6.32200833	
21.18	<.0001 **				
LAM		2	.30487917	7.15243958	
23.96	<.0001 **				
VAR*LAM		2	0.61690417	0.30845208	
1.03	0.3648 NS				

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: RENDtnha

Source	Pr > F	DF	Sum of Squares	Mean Square	F
Model		5	2124.729142	424.945828	
14.23	<.0001				
Error		42	1254.336525	29.865155	
Corrected Total		47	3379.065667		

R-Square	Coeff Var	Roc	ENDtnha Mean
0.628792	18.99074	5.464902	28.77667

Source Value	Pr > F	DF	Anova SS	Mean Square	F
VAR		1	631.765408	631.765408	
21.15	<.0001				
LAM		2	1430.979717	715.489858	
23.96	<.0001				
VAR*LAM		2	61.984017	30.992008	
1.04	0.3632				

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: NumFRUTOS

Source Value	Pr > F	DF	Sum of Squares	Mean Square	F
Model		5	79.6666667	15.9333333	
7.94	<.0001				
Error		42	84.2500000	2.0059524	
Corrected Total		47	163.9166667		

R-Square	Coeff Var	Root MSE	NumFRUTOS Mean
0.486019	18.77989	1.416316	7.541667

Source Value	Pr > F	DF	Anova SS	Mean Square	F
VAR		1	18.75000000	18.75000000	
9.35	0.0039				
LAM		2	51.04166667	25.52083333	
12.72	<.0001				
VAR*LAM		2	9.87500000	4.93750000	
2.46	0.0975				

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: PESFRUTgr

Source Value	Pr > F	DF	Sum of Squares	Mean Square	F
Model		5	25655.55457	5131.11091	
8.67	<.0001				
Error		42	24846.48060	591.58287	
Corrected Total		47	50502.03517		

R-Square	Coeff Var	Root MSE	PESFRUTgr Mean
0.508010	12.23008	24.32248	198.8742

Source Value	Pr > F	DF	Anova SS	Mean Square	F
VAR		1	23117.74083	23117.74083	
39.08	<.0001				
LAM		2	2012.48602	1006.24301	
1.70	0.1948				
VAR*LAM		2	525.32772	262.66386	
0.44	0.6444				

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: LONGFRUTmm

Source Value	Pr > F	DF	Sum of Squares	Mean Square	F
Model		5	603.600567	120.720113	
0.54	0.7414				
Error		42	9310.801425	221.685748	
Corrected Total		47	9914.401992		

R-Square	Coeff Var	Root MSE	LONGFRUTmm Mean
0.060881	8.867737	14.88912	167.9021

Source Value	Pr > F	DF	Anova SS	Mean Square	F
VAR		1	110.1708000	110.1708000	
0.50	0.4847				
LAM		2	128.0204167	64.0102083	
0.29	0.7507				
VAR*LAM		2	365.4093500	182.7046750	
0.82	0.4456				

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: DIAMFRUTmm

Source Value	Pr > F	DF	Sum of Squares	Mean Square	F
Model		5	308.5384250	61.7076850	
7.59	<.0001				

Error	42	341.4383750	8.1294851
Corrected Total	47	649.9768000	

R-Square	Coeff Var	Root MSE	DIAMFRUTmm Mean
0.474691	6.550023	2.851225	43.53000

Source Value	Pr > F	DF	Anova SS	Mean Square	F
VAR		1	298.2027000	298.2027000	
36.68	<.0001				
LAM		2	5.3327625	2.6663813	
0.33	0.7222				
VAR*LAM		2	5.0029625	2.5014812	
0.31	0.7368				

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: ALTURcm

Source Value	Pr > F	DF	Sum of Squares	Mean Square	F
Model		5	37722.18750	7544.43750	
357.18	<.0001				
Error		42	887.12500	21.12202	
Corrected Total		47	38609.31250		

R-Square	Coeff Var	Root MSE	ALTURcm Mean
0.977023	2.335152	4.595870	196.8125

Source Value	Pr > F	DF	Anova SS	Mean Square	F
VAR		1	24888.52083	24888.52083	
1178.32	<.0001				
LAM		2	9462.87500	4731.43750	
224.00	<.0001				
VAR*LAM		2	3370.79167	1685.39583	
79.79	<.0001				

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: DIAMTALLOmm

Source Value	Pr > F	DF	Sum of Squares	Mean Square	F
Model		5	0.66127500	0.13225500	
1.20	0.3272				
Error		42	4.64045000	0.11048690	
Corrected Total		47	5.30172500		

R-Square Coeff Var Root MSE DIAMTALLOmm Mean
0.124728 2.134333 0.332396 15.57375

Source Value	Pr > F	DF	Anova SS	Mean Square	F
VAR		1	0.04687500	0.04687500	
0.42	0.5184				
LAM		2	0.56940000	0.28470000	
2.58	0.0880				
VAR*LAM		2	0.04500000	0.02250000	
0.20	0.8166				

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: PROFRAIZcm

Source Value	Pr > F	DF	Sum of Squares	Mean Square	F
Model		5	4062.750000	812.550000	
165.46	<.0001				
Error		42	206.250000	4.910714	
Corrected Total		47	4269.000000		

R-Square Coeff Var Root MSE PROFRAIZcm Mean
0.951687 2.964566 2.216013 74.75000

Source Value	Pr > F	DF	Anova SS	Mean Square	F
VAR		1	4.083333	4.083333	
0.83	0.3670				
LAM		2	4026.500000	2013.250000	
409.97	<.0001				
VAR*LAM		2	32.166667	16.083333	
3.28	0.0477				

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: USOEFIGIAGUALKg

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F
Model	5	962.784935	192.556987	
Error	42	2017.345513	48.032036	
Corrected Total	47	2980.130448		

R-Square	Coeff Var	Root MSE	USOEFIGIAGUALKg Mean
0.323068	20.27714	6.930515	34.17896

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F
VAR	1	2.3100188	2.3100188	
LAM	2	890.5137042	445.2568521	
VAR*LAM	2	69.9612125	34.9806062	

VARIEDAD PEPINO HIBRIDO LAMINA DE RIEGO: DCA fact 2x3 con 8 rep

The ANOVA Procedure

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for RENDkgm2

Means with the same letter are not significantly different.

TUKEY GROUPING	Mean	N	VAR
A	3.2413	24	VM
B	2.5154	24	VC

VARIEDAD PEPINO HIBRIDO LAMINA DE RIEGO: DCA fact 2x3 con 8 rep

The ANOVA Procedure

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for RENDtnha

Means with the same letter are not significantly different.

TUKEY			
GROUPING	Mean	N	VAR
A	32.405	24	VM
B	25.149	24	VC

VARIEDAD PEPINO HIBRIDO LAMINA DE RIEGO: DCA fact 2x3 con 8 rep

The ANOVA Procedure

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for NumFRUTOS

Means with the same letter are not significantly different.

TUKEY			
GROUPING	Mean	N	VAR
A	8.1667	24	VM
B	6.9167	24	VC

VARIEDAD PEPINO HIBRIDO LAMINA DE RIEGO: DCA fact 2x3 con 8 rep

The ANOVA Procedure

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for PESFRUTgr

Means with the same letter are not significantly different.

TUKEY			
GROUPING	Mean	N	VAR
A	220.820	24	VM
B	176.928	24	VC

VARIEDAD PEPINO HIBRIDO LAMINA DE RIEGO: DCA fact 2x3 con 8 rep

The ANOVA Procedure

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for LONGFRUTmm

Means with the same letter are not significantly different.

TUKEY			
GROUPING	Mean	N	VAR
A	169.417	24	VM
A			
A	166.387	24	VC

VARIEDAD PEPINO HIBRIDO LAMINA DE RIEGO: DCA fact 2x3 con 8 rep

The ANOVA Procedure

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for DIAMFRUTmm

Means with the same letter are not significantly different.

TUKEY GROUPING	Mean	N	VAR
A	46.0225	24	VM
B	41.0375	24	VC

VARIEDAD PEPINO HIBRIDO LAMINA DE RIEGO: DCA fact 2x3 con 8 rep

The ANOVA Procedure

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for ALTURcm

Means with the same letter are not significantly different.

TUKEY GROUPING	Mean	N	VAR
A	219.583	24	VC
B	174.042	24	VM

VARIEDAD PEPINO HIBRIDO LAMINA DE RIEGO: DCA fact 2x3 con 8 rep

The ANOVA Procedure

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for DIAMTALLOmm

Means with the same letter are not significantly different.

TUKEY GROUPING	Mean	N	VAR
A	15.60500	24	VC
A			
A	15.54250	24	VM

VARIEDAD PEPINO HIBRIDO LAMINA DE RIEGO: DCA fact 2x3 con 8 rep

The ANOVA Procedure

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for PROFRAIZcm

Means with the same letter are not significantly different.

TUKEY			
GROUPING	Mean	N	VAR
A	75.0417	24	VC
A			
A	74.4583	24	VM

VARIEDAD PEPINO HIBRIDO LAMINA DE RIEGO: DCA fact 2x3 con 8 rep

The ANOVA Procedure

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for USOEficiAGUALKg

Means with the same letter are not significantly different.

TUKEY			
GROUPING	Mean	N	VAR
A	34.398	24	VM
A			
A	33.960	24	VC

VARIEDAD PEPINO HIBRIDO LAMINA DE RIEGO: DCA fact 2x3 con 8 rep

The ANOVA Procedure

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for RENDkgm2

Means with the same letter are not significantly different.

TUKEY			
GROUPING	Mean	N	LAM
A	3.4994	16	L100
B	2.9650	16	L75
C	2.1706	16	L50

VARIEDAD PEPINO HIBRIDO LAMINA DE RIEGO: DCA fact 2x3 con 8 rep

The ANOVA Procedure

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for RENDtnha

Means with the same letter are not significantly different.

TUKEY			
GROUPING	Mean	N	LAM
A	34.985	16	L100

B	29.649	16	L75
C	21.696	16	L50

VARIEDAD PEPINO HIBRIDO LAMINA DE RIEGO: DCA fact 2x3 con 8 rep

The ANOVA Procedure

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for NumFRUTOS

Means with the same letter are not significantly different.

TUKEY GROUPING	Mean	N	LAM
A	8.6875	16	L100
A			
A	7.7500	16	L75
B	6.1875	16	L50

VARIEDAD PEPINO HIBRIDO LAMINA DE RIEGO: DCA fact 2x3 con 8 rep

The ANOVA Procedure

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for PESFRUTgr

Means with the same letter are not significantly different.

TUKEY GROUPING	Mean	N	LAM
A	208.030	16	L100
A			
A	194.431	16	L75
A			
A	194.161	16	L50

VARIEDAD PEPINO HIBRIDO LAMINA DE RIEGO: DCA fact 2x3 con 8 rep

The ANOVA Procedure

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for LONGFRUTmm

Means with the same letter are not significantly different.

TUKEY GROUPING	Mean	N	LAM
A	170.031	16	L100
A			
A	167.613	16	L75
A			
A	166.063	16	L50

VARIEDAD PEPINO HIBRIDO LAMINA DE RIEGO: DCA fact 2x3 con 8 rep

The ANOVA Procedure

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for DIAMFRUTmm

Means with the same letter are not significantly different.

TUKEY GROUPING	Mean	N	LAM
A	43.843	16	L100
A			
A	43.679	16	L50
A			
A	43.068	16	L75

VARIEDAD PEPINO HIBRIDO LAMINA DE RIEGO: DCA fact 2x3 con 8 rep

The ANOVA Procedure

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for ALTURcm

Means with the same letter are not significantly different.

TUKEY GROUPING	Mean	N	LAM
A	215.938	16	L100
B	191.875	16	L75
C	182.625	16	L50

VARIEDAD PEPINO HIBRIDO LAMINA DE RIEGO: DCA fact 2x3 con 8 rep

The ANOVA Procedure

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for DIAMTALLOmm

Means with the same letter are not significantly different.

TUKEY GROUPING	Mean	N	LAM
A	15.6688	16	L75
A			
A	15.6313	16	L100
A			
A	15.4213	16	L50

VARIEDAD PEPINO HIBRIDO LAMINA DE RIEGO: DCA fact 2x3 con 8 rep

The ANOVA Procedure

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for PROFRAIZcm

Means with the same letter are not significantly different.

TUKEY		Mean	N	LAM
GROPING				
A	87.1250	16	L100	
B	71.8750	16	L75	
C	65.2500	16	L50	

VARIEDAD PEPINO HIBRIDO LAMINA DE RIEGO: DCA fact 2x3 con 8 rep

The ANOVA Procedure

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for USOEFIGIAGUALKg

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey		Mean	N	LAM
Grouping				
	A	39.660	16	L100
	A			
B	A	33.740	16	L75
B				
B		29.137	16	L50

Anexo 4: Panel fotográfico durante toda la investigación

Preparación del invernadero



Ensayo de curva de humedad



Almacigo





Plantines con 9 días de plantados



Plantines con 20 días de plantados



Plantines con 34 días de plantados

Preparación del sistema de riego



Trasplante





Medición de variables





Cosechas





Evolución del tamaño de la planta



Evolución de las plantas variedad diamante a los 30 ddt



Evolución de las plantas variedad diamante a los 60 ddt



Evolución de las plantas variedad diamante a los 90 ddt



Evolución de las plantas variedad diamante a los 120 ddt



Evolución de las plantas variedad Marketmore 76 a los 30 ddt



Evolución de las plantas variedad Marketmore 76 a los 60 ddt



Evolución de las plantas variedad Marketmore 76 a los 90 ddt



Evolución de las plantas variedad Marketmore 76 a los 120 ddt