

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**“MANEJO DEL AGUA DE RIEGO EN SUSTRATO ENARENADO CON
ENMIENDA RETENTIVA DE HUMEDAD EN EL CULTIVO DE
PIMIENTO EN INVERNADERO”**

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

FRANK NILO ROMERO ELIAS

LIMA - PERÚ

2022

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

**“MANEJO DEL AGUA DE RIEGO EN SUSTRATO ENARENADO
CON ENMIENDA RETENTIVA DE HUMEDAD EN EL CULTIVO DE
PIMIENTO EN INVERNADERO”**

TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE:
INGENIERO AGRÍCOLA

Presentado por:

FRANK NILO ROMERO ELIAS

Sustentado y aprobado por el siguiente jurado:

Dr. ABSALÓN VÁSQUEZ VILLANUEVA
Presidente

Mg. Sc. LUIS RAMÓN RÁZURI RAMÍREZ
Asesor

Ing. SARAY SIURA CÉSPEDES
Miembro

Mg. Sc. JAVIER ANTONIO GOICOCHEA RÍOS
Miembro

LIMA – PERU

2022

DEDICATORIA

A Dios por ayudarme de una manera incondicional en toda mi vida que no solo lo
experimenté yo, sino toda mi familia.

Dedicado a mis padres Nilo y Elizabeth, que me apoyaron incondicionalmente y
enseñarme todos los valores que necesite para desarrollarme tanto personal como
profesionalmente.

A mis hermanos, tíos y toda mi familia, que me apoyaron y animaron a seguir adelante
todos los días.

A mi abuela Adela por sus cuidados y enseñanzas.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Agraria La Molina, por ayudarme a desarrollarme como profesional. En especial a la Facultad de Ingeniería Agrícola por sus enseñanzas a través de mis maestros y colegas.

A mi familia que me dio las enseñanzas y valores necesarios para mi vida.

A mi asesor Luis Rázuri Ramírez, que me apoyo y guio en todo el proceso de la ejecución de esta tesis y su apoyo hasta el final, muy agradecido con su persona.

A mis jurados Absalón, Saray y Goicochea por sus recomendaciones y correcciones del presente trabajo.

A la ingeniera Cindy Joya por sus recomendaciones y sugerencias para la tesis.

A los técnicos Alan y Andrés, que me apoyaron de gran manera durante la realización de la investigación. Así mismo, a mi amigo Ghefry por su apoyo durante toda la ejecución de mi tesis.

A mis todos mis amigos que me apoyaron en mi etapa escolar y universitaria.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|----------|
| 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. SUSTRATO..... | 3 |
| 2.1.1. Propiedades físicas | 3 |
| 2.1.2. Propiedades químicas | 4 |
| 2.1.3. Propiedades físico-químicas..... | 4 |
| 2.1.4. Propiedades bioquímicas | 4 |
| 2.2. POLÍMEROS..... | 4 |
| 2.2.1. Generalidades | 4 |
| 2.2.2. Clasificación..... | 5 |
| 2.2.3. Polímeros insolubles en agua (Hidrogeles)..... | 5 |
| 2.3. CULTIVO DE PIMIENTO | 6 |
| 2.3.1. Origen y distribución..... | 6 |
| 2.3.2. Situación del cultivo en el Perú..... | 6 |
| 2.3.3. Descripción Botánica | 7 |
| 2.3.4. Taxonomía..... | 8 |
| 2.3.5. Composición nutricional | 8 |
| 2.3.6. Requerimientos edafoclimáticos | 9 |
| 2.4. MANEJO DE AGUA EN EL SUELO | 9 |
| 2.4.1. Capacidad de Campo (CC)..... | 10 |
| 2.4.2. Punto de marchitez permanente (PMP)..... | 10 |
| 2.4.3. Medición de humedad con TDR | 10 |
| 2.5. MANEJO DEL RIEGO | 12 |
| 2.5.1. Lámina de riego..... | 12 |
| 2.5.2. Riego deficitario controlado (RDC) | 12 |
| 2.6. EVAPOTRANSPIRACIÓN (ET) | 13 |
| 2.6.1. Evapotranspiración de referencia (ET _o)..... | 13 |
| 2.6.2. Evapotranspiración del cultivo (ET _c)..... | 15 |
| 2.7. COEFICIENTE DE CULTIVO (KC) | 16 |

| | | |
|-------------|---|-----------|
| 2.8. | CONDUCTANCIA ESTOMÁTICA..... | 16 |
| III. | METODOLOGÍA..... | 18 |
| 3.1. | UBICACIÓN EXPERIMENTAL | 18 |
| 3.2. | EQUIPOS Y MATERIALES | 19 |
| 3.2.1 | Material Biológico..... | 19 |
| 3.2.2 | Insumos | 19 |
| 3.2.3. | Equipos y materiales | 21 |
| 3.3. | PROCEDIMIENTO..... | 22 |
| 3.3.1. | Manejo del Cultivo..... | 22 |
| 3.3.2. | Manejo del Riego | 25 |
| 3.4. | METODOLOGÍA EXPERIMENTAL | 29 |
| 3.4.1. | Evaluación de parámetros morfológicos | 29 |
| 3.4.2. | Parámetros de humedad..... | 30 |
| 3.4.3. | Conductancia Estomática | 31 |
| 3.4.4. | Cosecha | 31 |
| 3.5. | DISEÑO ESTADÍSTICO | 32 |
| 3.5.1. | Factores | 32 |
| 3.5.2. | Diseño de parcelas divididas (DPD) | 33 |
| 3.5.3. | Análisis Estadístico | 34 |
| IV. | RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 36 |
| 4.1. | DATOS CLIMÁTICOS..... | 36 |
| 4.1.1. | Temperatura..... | 36 |
| 4.1.2. | Humedad Relativa | 37 |
| 4.2. | EVALUACIONES AGRONÓMICAS..... | 37 |
| 4.2.1. | Rendimiento | 37 |
| 4.2.2. | Evaluación comercial | 38 |
| 4.2.3. | Conductancia estomática | 40 |
| 4.3. | EVALUACIONES BIOMÉTRICAS | 41 |
| 4.3.1. | Altura de planta | 41 |
| 4.3.2. | Diámetro de tallo | 41 |
| 4.3.3. | Profundidad y área de raíz..... | 42 |
| 4.4. | EVALUACIÓN DE PARÁMETROS DE RIEGO | 43 |
| 4.4.1. | Consumo de agua | 43 |
| 4.4.2. | Evapotranspiración y tiempos de riegos..... | 44 |

| | | |
|--------------|--|-----------|
| 4.4.3. | Consumo de fertilizantes | 46 |
| 4.4.4. | Monitoreo de humedad..... | 46 |
| 4.4.5. | Eficiencia de uso del agua (EUA) | 47 |
| 4.5. | EVALUACIÓN ESTADÍSTICA | 48 |
| 4.5.1. | Variables agronómicas | 48 |
| 4.5.2. | Variables biométricas | 51 |
| 4.5.3. | Variables de riego..... | 52 |
| V. | CONCLUSIONES..... | 54 |
| VI. | RECOMENDACIONES..... | 56 |
| VII. | BIBLIOGRAFÍA..... | 57 |
| VIII. | ANEXOS..... | 67 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1: Composición nutricional en 100 gr de materia seca (<i>capsicum annuum</i>)..... | 8 |
| Tabla 2: Coeficientes del tanque evaporímetro (Kp) para el tanque Clase A | 15 |
| Tabla 3: Composición de la enmienda retentiva de humedad | 19 |
| Tabla 4: Composición nutricional del abono mejorador de suelos | 20 |
| Tabla 5: Especificaciones químicas de la tierra preparada..... | 20 |
| Tabla 6: Caracterización de la arena | 21 |
| Tabla 7: Nutrientes de la solución hidropónica “La Molina” expresada en ppm..... | 24 |
| Tabla 8: Cantidad de Macronutrientes y micronutrientes de la solución (ppm) | 28 |
| Tabla 9: Cantidades totales del elemento por cada etapa del cultivo (ppm) | 29 |
| Tabla 10: Clasificación de frutos por peso en gramos | 32 |
| Tabla 11: Descripción de los factores de estudio | 32 |
| Tabla 12: Descripción de los tratamientos a evaluarse | 33 |
| Tabla 13: Análisis de varianza para el diseño en parcelas divididas..... | 34 |
| Tabla 14: Producción en kilos y rendimiento para cada tratamiento | 38 |
| Tabla 15: Profundidad y área de raíz promedio de cada tratamiento | 42 |
| Tabla 16: Volúmenes consumidos durante la campaña | 43 |
| Tabla 17: Lámina de riego y tiempo de riego por etapa fenológica..... | 45 |
| Tabla 18: Fertilizantes totales aplicados durante toda la investigación | 46 |
| Tabla 19: Uso eficiente de agua promedio por tratamiento | 48 |
| Tabla 20: Comparación de medias estadísticas de las variables agronómicas..... | 48 |
| Tabla 21: Comparación de medias para la variable conductancia estomática | 50 |
| Tabla 22: Comparación de medias de las variables biométricas..... | 52 |
| Tabla 23: Comparación de medias de la variable eficiencia de uso del agua (EUA) | 53 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1: Producción de pimiento durante los últimos 19 años en miles de toneladas | 7 |
| Figura 2: Información taxonómica del cultivo de pimiento | 8 |
| Figura 3: TDR modelo 150 FieldScout | 11 |
| Figura 4: Porómetro modelo SC-1 | 17 |
| Figura 5: Ubicación del centro de investigación | 18 |
| Figura 6: Perfil del enarenado de Almería..... | 22 |
| Figura 7: Vista de las 3 capas del sustrato enarenado | 23 |
| Figura 8: Prueba de viabilidad de la semilla a los 9 días (izquierda) y 12 días (derecha)... | 23 |
| Figura 9: Imágenes de las 6 bandejas con plántulas a 36 días de ser sembrados | 24 |
| Figura 10: Dimensiones del evaporímetro utilizado..... | 26 |
| Figura 11: Distribución del Kc proporcional por semanas para todo el ciclo de cultivo | 26 |
| Figura 12: Sistema de riego instalado..... | 27 |
| Figura 13: Valores antes del riego (A) y valores manejados para el fertirriego (B) | 28 |
| Figura 14: Vista panorámica del invernadero y del tanque | 28 |
| Figura 15: Interfaces de la aplicación Canopeo..... | 30 |
| Figura 16: Medición del TDR a las profundidades de 12cm (izquierda) y 20 cm (derecha)..... | 31 |
| Figura 17: Esquema del análisis estadístico ejecutado en el software R..... | 35 |
| Figura 18: Registro semanal promedio de la temperatura con el termohigrómetro | 36 |
| Figura 19: Registro semanal promedio de la humedad relativa con el termohigrómetro.... | 37 |
| Figura 20: Número de frutos totales cosechados por tratamiento | 39 |
| Figura 21: Porcentaje de representación de frutos por categorías | 39 |
| Figura 22: Medidas de la conductancia estomática por etapas fenológicas | 40 |
| Figura 23: Evolución de la altura de planta promedio por tratamiento | 41 |
| Figura 24: Evolución del diámetro de tallo promedio por tratamiento | 42 |
| Figura 25: Litros de agua semanales aplicados durante la campaña | 44 |
| Figura 26: Tiempos y láminas de riego diarias durante todo el ciclo del cultivo..... | 44 |
| Figura 27: Tiempos y láminas de riego totales por etapa fenológica | 46 |
| Figura 28: Valores de la humedad volumétrica a 12 cm de profundidad..... | 47 |
| Figura 29: Valores de la humedad volumétrica a 20 cm de profundidad..... | 47 |
| Figura 30: Comparación de medias de la variable número de frutos | 49 |
| Figura 31: Comparación de medias de la variable conductancia estomática | 51 |
| Figura 32: Comparación de medias de la variable diámetro de tallo | 52 |

ÍNDICE DE ANEXOS

| | |
|--|----|
| Anexo 1: Curva de retención de humedad | 68 |
| Anexo 2: Cronograma de aplicación | 69 |
| Anexo 3: Croquis de la distribución de tratamientos | 70 |
| Anexo 4: Análisis de varianza para el factor Rendimiento | 71 |
| Anexo 5: Análisis de varianza para la altura de planta | 73 |
| Anexo 6: Análisis de varianza para el diámetro de tallo | 75 |
| Anexo 7: Análisis de varianza para el Uso eficiente del agua (UEA)..... | 77 |
| Anexo 8: Análisis de varianza para el número de frutos de 1era Categoría | 79 |
| Anexo 9: Análisis de varianza para el peso de fruto | 81 |
| Anexo 10: Análisis de varianza de la profundidad de raíz..... | 83 |
| Anexo 11: Análisis de varianza para el área de raíz..... | 85 |
| Anexo 12: Análisis de varianza para la longitud de fruto | 87 |
| Anexo 13: Análisis de varianza para el diámetro de fruto | 89 |
| Anexo 14: Análisis de varianza para la conductancia estomática..... | 91 |
| Anexo 15: Pruebas estadísticas de los supuestos del análisis de varianza | 93 |
| Anexo 16: Panel fotográfico durante toda la investigación | 94 |

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar el manejo del riego deficitario bajo dos láminas de riego de 100 % y 80 % de la evapotranspiración real (L1 y L2) y con tres niveles de una enmienda retentiva de humedad de 0; 15 y 30 g (T, E1 y E2) en el cultivo de pimiento (*Capsicum annuum*) en invernadero. El experimento se realizó en el Centro de Investigación de Riego y Capacitación del Departamento de Recursos Hídricos de la Facultad de Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional Agraria La Molina, durante el periodo de septiembre del 2020 hasta marzo de 2021. El ensayo se basó en un diseño de bloques completamente al azar con arreglo de diseño de parcelas divididas (DPV), con 6 tratamientos y 3 repeticiones. Las variables evaluadas fueron: rendimiento, número de frutos, diámetro, largo y peso de fruto, diámetro de tallo, profundidad y área de raíz, altura de planta, conductancia estomática y eficiencia de uso del agua. Los resultados mostraron que los mayores rendimientos del cultivo se obtuvieron con la lámina de 100 % de la Et en los tratamientos E1L1, E2L1 Y TL1 (38.9,39 y 39.2 kg) en comparación con los tratamientos de la lámina de 80 % que fueron E1L2, E2L2 Y TL2 (35.8; 37.7 y 32.4 kg) respectivamente. Sin embargo, para la variable rendimiento, estos resultados no fueron estadísticamente diferentes. Para otras variables agronómicas como el número de frutos, se encontró diferencia estadística en los frutos de primera categoría, siendo el tratamiento TL2 y E1L2 de 62 y 60 frutos respectivamente, diferentes estadísticamente y de menor cantidad a los tratamientos E1L1, E2L1, TL1 Y E2L2 (99; 93; 100 y 80). También se obtuvo diferencia estadística en las láminas de riego aplicada en la variable diámetro de fruto, resultando L1 (85.6 mm) y L2 (82.4mm). Además, se evaluó la conductancia estomática teniendo como resultados que el tratamiento TL2 (sin enmienda y con 80 % de la Et), fue diferente a los otros tratamientos. Para las variables biométricas, hubo diferencia estadística en las láminas L1 y L2 para la altura de planta (98.2 y 95.9 cm) y el diámetro de tallo (17.1 y 16.5 mm). En cuanto a la eficiencia de uso del agua, los mayores resultados fueron los tratamientos con enmiendas de 15 y 30 g y con la lámina de 80 %, los cuales fueron 20.1 y 21.2 kg/m³, mientras que en los tratamientos E1L1, E2L1, TL1 y TL2, se obtuvieron eficiencias de uso de agua de 18;18;18.1 y 18.1 respectivamente. Además, para la variable de eficiencia de uso de agua, no se encontró diferencia estadística en ninguno de los tratamientos. Finalmente, cabe mencionar que, para las demás variables evaluadas no se mostraron diferencias significativas entre sus tratamientos ni factores.

Palabras clave: lámina de riego, enmienda retentiva de humedad, rendimiento, conductancia estomática, eficiencia de uso del agua, sustrato enarenado, invernadero, riego deficitario controlado.

SUMMARY

The objective of this research was to evaluate the management of deficit irrigation under two irrigation sheets of 100 % and 80 % of the real evapotranspiration (L1 and L2) and with three levels of a retentive amendment of humidity of 0; 15 and 30 gr (T, E1 and E2) in the pepper crop (*Capsicum annuum*) in the greenhouse. The experiment was carried out at the Irrigation and Training Research Center of the Department of Water Resources of the Faculty of Agricultural Engineering of the Universidad Nacional Agraria la Molina, during the period from September 2020 to March 2021. The assay was based on a design of completely randomized blocks with divided plot design arrangement (DPV), with 6 treatments and 3 replications. The variables evaluated were: yield, number of fruits, diameter, length and weight of fruit, stem diameter, depth and root area, plant height, stomatal conductance and efficient use of water. The results showed that the highest crop yields were obtained with the sheet of 100 % of the Et in the treatments E1L1, E2L1 and TL1 (38.9; 39 and 39.2 kg) compared to the treatments of the sheet of 80 % that were E1L2, E2L2 and TL2 (35.8; 37.7 and 32.4 kg) respectively. However, for variable yield, these results were not statistically different. For other agronomic variables such as the number of fruits, a statistical difference was found in the first category fruits, the treatment T12 and E1L2 being the treatment T12 and E1L2 with 62 and 60 fruits, respectively, statistically different and of less quantity than the treatments E1L1, E2L1, TL1 and E2L2 (99, 93, 100 and 80). Statistical difference was also obtained in the irrigation sheets applied in the fruit diameter variable, resulting in L1 (85.6 mm) and L2 (82.4mm). In addition, stomatal conductance was evaluated, with the results that the TL2 treatment (without amendment and with 80% of the Et), was different from the other treatments. For biometric variables, there was a statistical difference in sheets L1 and L2 for plant height (98.2 and 95.9 cm) and stem diameter (17.1 and 16.5 mm). Regarding the efficiency of water use, the highest results were the treatments with amendments of 15 and 30 g and with the sheet of 80%, which were 20.1 and 21.2 kg / m³, while the treatments E1L1, E2L1, TL1 and T12, were obtained water use efficiencies of 18; 18; 18.1 and 18.1 kg / m³ respectively. In addition, for the water use efficiency variable, no statistical difference was found in any of the treatments. Finally, it should be mentioned that, for the other variables evaluated, no significant differences were shown between their treatments or factors.

Keywords: irrigation sheet, moisture retentive amendment, yield, stomatal conductance, water use efficiency, sanded substrate, greenhouse, controlled deficit irrigation.

I. INTRODUCCIÓN

En muchas regiones, la disponibilidad de agua, tanto en cantidad como en calidad, se está viendo gravemente afectada por la variabilidad del cambio climático, con más o menos precipitaciones según las diferentes regiones y una mayor frecuencia de fenómenos atmosféricos extremos. También, en numerosas regiones, la demanda del agua se ve incrementada como resultado del crecimiento de la población y otros cambios demográficos (en particular, la urbanización) y la expansión agrícola e industrial que resultan de la modificación de los patrones de consumo y de producción (ONU-DAES, 2020).

La conservación y el manejo del agua están relacionados con la eficiencia en su uso y el deterioro de su calidad, incide en su disponibilidad. La sobreexplotación del recurso provoca la salinización de suelos con pérdidas en el rendimiento de los cultivos u otras actividades agropecuarias (Fernández y Abraham, 2002).

Además, cabe resaltar lo citado por (Llamas, 1987), en lo cual menciona que los problemas causados por el agua bajo su aspecto recurso (escasez, contaminación y mala calidad, variabilidad en el tiempo y en el espacio, etc.) o como agente dinámico (inundaciones, erosión, sedimentación, etc.) son interdependientes, no debiendo ser tratados separadamente. El uso eficiente y ahorro del agua a nivel mundial se ha convertido en una necesidad crucial para garantizar la sostenibilidad del recurso hídrico, considerándolo como finito y vulnerable, esencial para sostener la vida, el desarrollo y el ambiente (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2020).

Hoy en día, para poder controlar los factores edafoclimáticos de un cultivo, existen los invernaderos, los cuales son estructuras que proporcionan soluciones ante las necesidades de la zona. En un invernadero, la reducción de radiación respecto al exterior implica una reducción de las necesidades de riego (al disminuir la evapotranspiración), lo que unido a un aumento de las producciones permite hacer un uso más eficiente del agua de riego

(Stanghellini, 1992).

1.1. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1.1. Objetivo general

Evaluar el manejo del agua aplicando riego deficitario con dos niveles de enmienda retentiva de humedad en el rendimiento de *Capsicum annuum* en invernadero.

1.1.2. Objetivos específicos

- Evaluar la capacidad de humedad en el enarenado con los diferentes niveles de enmienda retentiva.
- Evaluar las características morfológicas del cultivo de pimiento para las estrategias de riego consideradas.
- Evaluar el efecto del riego deficitario en el rendimiento del cultivo de pimiento.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. SUSTRATO

Un sustrato es todo material sólido distinto del suelo in situ, natural, de síntesis o residual, mineral u orgánico, que, colocado en un contenedor, en forma pura o en mezcla, permite el anclaje del sistema radicular, desempeñando, por tanto, un papel de soporte para la planta y que puede intervenir o no en la nutrición vegetal (Agroequipos Del Valle, 2018).

Se entiende que no hay un sustrato ideal para todos los cultivos, algunos de estos sustratos presentan una serie de ventajas e inconvenientes y su elección dependerá de las características del cultivo a implantar y las variables ambientales y de la instalación (Montero, 2004).

Es importante que el sustrato sea sólido, que provea de sostén mecánico para las raíces de las plantas, que facilite la movilización y distribución del aire y de la solución nutritiva. Para cumplir estas funciones el sustrato debe ser liviano, que presente cierto grado de porosidad, tamaño apropiado sin bordes cortantes y que sea químicamente inerte (Resh, 1997).

Entre los sustratos sólidos que más se han utilizado en el cultivo hidropónico cabe mencionar la arena de río, arena de mar, grava, ladrillo triturado, fibra de coco, aserrín de madera, vermiculita, perlita, fibra de roca (lana mineral) entre otros materiales (Manson, 1990; Ansorena, 1994).

2.1.1. Propiedades físicas

La capacidad de aireación de los sustratos debe variar entre un 20% y un 30%; se define como la proporción del volumen del medio de cultivo que contiene aire posterior a su saturación con agua y ha terminado de drenar, generalmente a 10 cm de tensión (Ramírez de la rocha, 2002). Se requiere que los sustratos sean livianos, con porosidad apropiada, tamaño

regular y sin bordes cortantes (Resh, 1997).

2.1.2. Propiedades químicas

Las propiedades químicas de los sustratos se deben a su disolución e hidrólisis. Los sustratos pueden tener efectos fitotóxicos por liberación de iones H^+ y OH^- y algunos iones metálicos como el Cobalto. De igual modo se pueden producir efectos carenciales debido a la hidrólisis alcalina de algunos sustratos que causan aumento del pH y la precipitación del fósforo y algunos microelementos (Martínez y García, 1993).

2.1.3. Propiedades físico-químicas

Según Ansorena (1994) estas son reacciones de intercambio de iones. Se presenta en sustratos con contenidos de materia orgánica o los de origen arcilloso (arcilla expandida) es decir, en aquellos que existe capacidad de intercambio catiónico (C. I. C). Estas reacciones modifican el pH y la composición química de la solución nutritiva.

2.1.4. Propiedades bioquímicas

Son reacciones que provocan degradación del sustrato. Esta biodegradación libera CO_2 y otros elementos minerales por catálisis de la materia orgánica (Martínez y García, 1993).

2.2. POLÍMEROS

2.2.1. Generalidades

Los polímeros sintéticos juegan un papel importante en los usos agrícolas como materiales estructurales para crear un clima beneficioso para el crecimiento de la planta, refugios o invernaderos; para fumigación e irrigación, en el transporte y control de la distribución del agua. Sin embargo, el requisito principal en los polímeros utilizados en estas aplicaciones se refiere a sus propiedades físicas; tales como transmisión, estabilidad, permeabilidad o resistencia a la intemperie; como materiales inertes en lugar de moléculas activas.

Durante los últimos años, la ciencia y la tecnología de los polímeros funcionalizados reactivos han recibido considerable interés como una de las áreas más interesantes de la química de polímeros para la producción de materiales mejorados. Sus exitosas utilizaciones

son bastante amplias e incluyen una variedad de campos, como la síntesis en fase sólida, sistemas biológicamente activos y otros diversos usos tecnológicos (Akelah, 1990).

2.2.2. Clasificación

Woodhouse y Johnson (1991) mencionan que los polímeros se pueden clasificar en tres categorías según sus fuentes:

- Polímeros de injerto de almidón-poliacrilonitrilo (copolímeros de almidón)
- Copolímeros de alcohol vinílico-ácido acrílico (alcoholes de polivinilo)
- Copolímeros de acrilato de sodio o potasio - ácido acrílico (poliacrilato reticulado)

La mayoría de los hidrogeles comercializados para la agricultura provienen del tercer grupo (copolímeros del ácido acrílico y potasio), ya que han demostrado que permanecen activos durante mucho más tiempo. Son biodegradables y no tóxicos.

2.2.3. Polímeros insolubles en agua (Hidrogeles)

Por definición, los hidrogeles son redes poliméricas que tienen propiedades de hidro-fílicos reticulados tridimensionales. Son capaces de expandirse o encogerse de manera reversible en agua y retener grandes volúmenes de líquido en estado hinchado. Además, los hidrogeles pueden prepararse a partir de cualquiera de los polímeros sintéticos o polímeros naturales (Ahmed, 2015).

Actualmente, los polímeros sintéticos han reemplazado a los hidrogeles de polímeros naturales debido a su pureza, alta capacidad de absorción, estructura bien definida, funcionalidad bien definida, degradación y estabilidad en diferentes rangos de pH, temperatura, presión y enzimas (Ullah et al., 2015).

La capacidad de retención de agua depende de la textura del suelo, el tipo de hidrogel y el tamaño de partícula (polvo o gránulos), la salinidad de la solución del suelo y la presencia de iones.

La capacidad de retención de agua disminuye significativamente en los sitios donde la fuente de agua de riego contiene altos niveles de sales disueltas o en presencia de sales de

fertilizantes (Emileh et al., 2007; Ganji et al., 2010; Wang y Gregg, 1989).

Se ha sugerido que los cationes divalentes (Mg^{2+} , Ca^{2+} , Fe^{2+}) desarrollan interacciones fuertes con los geles de polímero y son capaces de desplazar moléculas de agua atrapadas dentro del polímero, Aunque los cationes monovalentes (Na^{+}) también pueden reemplazar las moléculas de agua, el efecto no es tan pronunciado como con las contrapartes divalentes (James y Richards, 1986).

Según Azzam (1983), los polímeros hidrofílicos aumentan la recuperación de nutrientes de los fertilizantes aplicados. También se encontró que la difusividad del agua en el suelo como una función del contenido de agua del suelo disminuye sustancialmente con un aumento en el acondicionador de suelo de polímero hidrofílico (El-Shafei et al., 1994).

2.3. CULTIVO DE PIMIENTO

2.3.1. Origen y distribución

El género *Capsicum* sp, incluye entre 20 a 30 especies, tiene su centro de origen en las regiones tropicales y subtropicales de América, probablemente en el área Bolivia - Perú, donde se han encontrado semillas de formas ancestrales de más de 7.000 años de antigüedad y desde donde se habría diseminado a toda América.

A nivel mundial casi la totalidad de la producción de ají y pimiento está dada por una sola especie, *Capsicum annuum*. Esto tiende a confundir porque a partir de esta especie se generan dos productos distintos para el consumidor: ají de fruto picante, y pimiento de frutos no picantes (Nicho y Valencia, 2009).

2.3.2. Situación del cultivo en el Perú

En los últimos 10 años, la producción de pimiento en el Perú ha crecido sustancialmente, llegando hasta 53.1×10^3 toneladas en el año 2015, como se aprecia en la Figura 1.

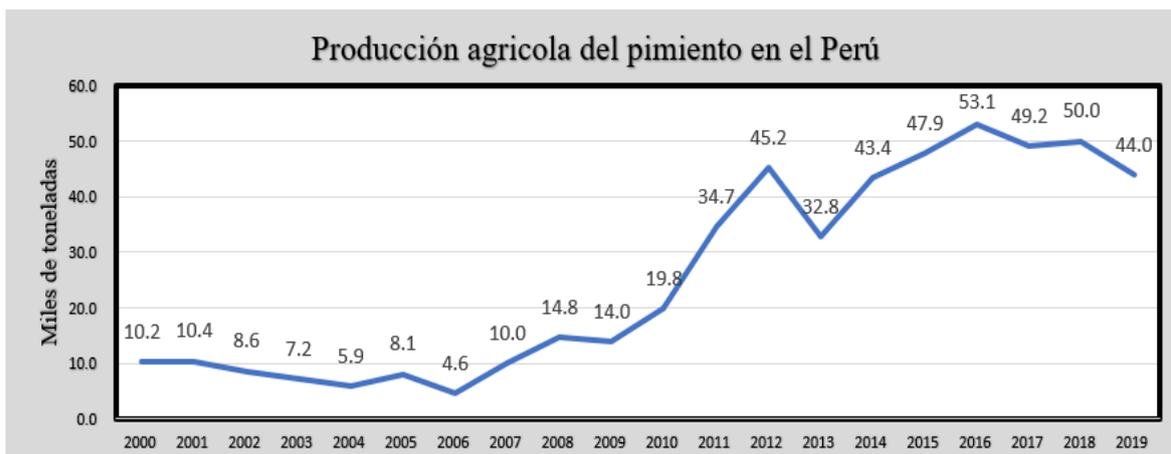


Figura 1: Producción de pimiento durante los últimos 19 años en miles de toneladas
 FUENTE: MINAGRI (2020).

Las principales zonas de producción de pimiento en términos de toneladas para el año 2018 fueron los departamentos de Lambayeque con 30 mil toneladas, La Libertad con 8 mil toneladas y Tacna con 9 mil toneladas. En términos de superficie, la producción fue de 599; 406 y 190 hectáreas respectivamente (MINAGRI, 2020).

2.3.3. Descripción Botánica

Dentro del género *Capsicum* se incluyen plantas herbáceas o arbustivas anuales, de tronco leñoso y ramificación dicotómica, con aspecto lampiño y crecimiento limitado. El sistema radical es ramificado y forma un conjunto de raíces laterales.

Las hojas son lisas brillantes, de forma lanceolada, posición alterna, forma de la base asimétrica y forma del ápice puntiagudo; con el borde entero o muy ligeramente sinuado en la base. Las flores del género *Capsicum* nacen en cada nudo y presentan un cáliz de 5 lobos; la corola tiene forma de copa con 5 o 7 lobos; los 5 estambres son rectos, con filamentos cortos, el color del polen es amarillo y la posición de las anteras son basifijas.

El ovario tiene posición supero, es esférico o cónico, termina en un estigma simple que sobresale de los estambres que lo rodean, la posición del pistilo situado entre las anteras hace posible que la mayoría de los casos haya autopolinización. El fruto es una baya hueca, con la superficie lisa y brillante, de color y forma variable y característicos del cultivar (Ortiz, 1983; Nuez et al., 1996).

2.3.4. Taxonomía

La clasificación taxonómica del pimiento es la siguiente:

| |
|-------------------------------------|
| Reino: Plantae |
| Subkingdom: Viridiplantae |
| Infrakingdom: Streptophyta |
| Superdivision: Embriofita |
| División: Traqueofita |
| Subdivisión: Spermatophytina |
| Clase: Magnoliopsida |
| Superorden: Asteranae |
| Orden: Solanales |
| Familia: Solanaceae |
| Género: Capsicum L. |
| Especie: Capsicum annuum L. |

Figura 2: Información taxonómica del cultivo de pimiento

FUENTE: Integrated Taxonomic information System (ITIS) (2011).

2.3.5. Composición nutricional

La fruta del pimiento (en fresco), presenta los siguientes nutrientes:

Tabla 1: Composición nutricional en 100 gr de materia seca (*capsicum annuum*)

| Nutrientes | Cantidad |
|--------------------|----------|
| Energía (Kcal) | 27 |
| Proteína (g) | 1.2 |
| Grasa Total (g) | 1.3 |
| Carbohidratos (g) | 4.6 |
| Fibra dietaria (g) | 0.9 |
| Cenizas (g) | 0.6 |
| Calcio (mg) | 12 |
| Hierro (mg) | 0.3 |
| Fósforo (mg) | 24 |
| Zinc (mg) | 0.25 |
| Vitamina A (µg) | 200 |
| Vitamina C (mg) | 108.3 |
| β caroteno (µg) | 450 |
| Tiamina (mg) | 0.04 |
| Riboflavina (mg) | 0.11 |
| Sodio (mg) | 6 |

FUENTE: Reyes et al. (2017)

2.3.6. Requerimientos edafoclimáticos

El pimiento necesita climas cálidos o templados, por esta razón el mayor desarrollo del cultivo ocurre en primavera-verano donde la temperatura óptima debe estar entre 16 a 25 grados centígrados. Además, la humedad del ambiente debe ser baja. Si la temperatura es menor de 15 grados centígrados la floración es escasa o nula, afectando el rendimiento.

De acuerdo al clima, conviene iniciar los almácigos entre julio- agosto para trasplantar en setiembre - octubre y cosechar en enero – febrero (Nicho y Malásquez, 1995).

El pimiento es exigente en humedad ambiental, con requerimientos del orden del 50 a 70 %, especialmente durante la floración y cuajado de frutos. Durante las primeras fases de desarrollo tolera una humedad relativa más elevada que en las posteriores (Zapata et al., 1992). Por otra parte, la humedad relativa optima oscila entre el 50 % y el 70 %, aunque humedades relativas muy elevadas favorecen el desarrollo de enfermedades foliares y dificultan la fecundación. La coincidencia de altas temperaturas y baja humedad relativa puede ocasionar la caída de flores y de frutos recién cuajados (Berríos et al., 2007).

En una fertilización de riego por goteo se recomienda como nutriente primario 300-350 kg N/ha, 150-200 kg P₂O₅/ha, 300-350 kg K₂O/ha y como nutriente secundario 50-80 kg MgO/ha y 70-80 kg CaO/ha (IPEH, 2006).

Además, Maroto (1995) señala que un programa de fertilización de tipo medio para el pimiento puede constar de 30-40 ton de estiércol, 100 kg de nitrógeno, 90-150 kg de fósforo, 200-300 kg de potasio por hectárea, todo esto como abono de fondo. En cobertura puede añadirse 150-200 kg de nitrógeno complementarios, distribuidos en 4 ó 5 aplicaciones.

2.4. MANEJO DE AGUA EN EL SUELO

El rango óptimo de contenido de agua para el crecimiento de las plantas generalmente se fija sobre criterios basados en la humedad aprovechable del suelo (HA) o también conocido como agua disponible total (ADT). El límite superior de la ADT se asocia con la capacidad de campo (CC), y el límite inferior, con el porcentaje de marchitez permanente (PMP) (Ferreira y Sellés, 2013).

2.4.1. Capacidad de Campo (CC)

Es el contenido de agua que tiene un suelo después que se saturó y drenó libremente por espacio de 24 a 72 horas (cuanto más pesado el suelo, más demora en llegar a CC). En un suelo saturado todos los poros están ocupados por agua. En un suelo a CC los macroporos perdieron el agua y están llenos de aire, y los microporos están llenos de agua, la que es retenida contra la fuerza de la gravedad. Este es el límite máximo de agua utilizable por las plantas, y representa el máximo nivel de confort hídrico para los cultivos (García, et al., 2012).

2.4.2. Punto de marchitez permanente (PMP)

Es el contenido de agua que tiene un suelo cuando el cultivo extrajo toda el agua utilizable. En el suelo queda un cierto contenido de agua, pero tan fuertemente retenida que no es extraíble por el cultivo.

Se pueden hacer determinaciones a campo para determinar este valor, pero estas son bastante engorrosas y, sobre todo, toma mucho tiempo (meses) hacerlas. Es por esta razón que el valor se determina, con una muy buena precisión, mediante una regresión (García, et al., 2012).

2.4.3. Medición de humedad con TDR

Las características de propagación de las ondas electromagnéticas en el suelo dependen de las propiedades del suelo, especialmente de su conductividad eléctrica. Su deformación, si es medible, nos permite calcular la constante dieléctrica del suelo (K_a). La técnica TDR, basada en mediciones de la velocidad de propagación de ondas electromagnéticas, determina directamente K_a .

El agua tiene una constante dieléctrica relativamente alta (aproximadamente 80), comparado con suelo seco (<5). Por lo tanto, la mayor parte del K_a del suelo depende en gran medida del volumen de agua presente en el suelo (Topp y Davis, 1985; Ledieu et al., 1986; Zegelin et al., 1989).

Según (Topp et al., 1994), la constante dieléctrica del suelo se calculó de la siguiente manera:

$$Ka = \left(\frac{D}{L \times S}\right)^2 \dots (1)$$

Donde:

Ka= 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

Para observar la relación de la constante dieléctrica del suelo, las investigaciones de (Topp et al., 1982), el cual estudio diferentes texturas de suelo y demostró que la forma de la función para convertir K_a en θ_v es una expresión polinomial. La ecuación retenida para dos capas de suelo fue:

$$\theta_v = -25.83 + 12.7Ka - 1.077Ka^2 + 0.034Ka^3 \dots (2)$$

TDR modelo 150

El TDR 150 es un medidor compacto que le permite obtener lecturas de humedad del suelo, (% de contenido volumétrico de agua), sales (conductividad eléctrica) y temperatura (termistor de superficie).

En cuanto a su diseño, las opciones de longitud de varilla variable brindan mediciones de humedad del suelo para la profundidad ideal de su raíz y la profundidad de la varilla dependerá del cultivo a evaluar (Spectrum Technologies, 2011).



Figura 3: TDR modelo 150 FieldScout

FUENTE: SpectrumTechnologies (2021)

2.5. MANEJO DEL RIEGO

2.5.1. Lámina de riego

En general, la lámina de riego, se expresa como una lámina de agua que es equivalente a la lámina infiltrada media de riego distribuida sobre la totalidad del campo (Allen et al, 2006).

El objetivo básico de la lámina de riego es compensar el déficit de humedad del suelo para satisfacer el requerimiento de los cultivos que se desarrollan en él (Dalmasso, 2016).

2.5.2. Riego deficitario controlado (RDC)

El riego deficitario controlado (RDC), es la aplicación de agua de riego por debajo del óptimo vegetativo de la planta. Además, el diseño de las estrategias de riego deficitario debe ajustarse a las características edafoclimáticas de zona y a la disponibilidad temporal del agua de riego. En este sentido puede jugar un papel fundamental la adecuada gestión de la reserva hídrica del suelo, particularmente en aquellas zonas de suelos profundos y con alta capacidad de retención de agua (WWF, 2009).

El riego deficitario debe aplicarse en aquellas etapas fenológicas que sean menos sensibles a los déficits hídricos; en el caso de cultivos de hortalizas como el pimiento, se debe evitar el estrés hídrico durante la floración y cuajado, tarea difícil dada la larga duración de estos procesos en la mayoría de los cultivares de pimiento (Pulupol et al., 2019).

Existen numerosas aplicaciones del riego deficitario controlado en diferentes cultivos. A continuación, se mencionarán algunos ejemplos de su uso:

El riego deficitario se aplicó con 2 láminas de riego de 50% y 75% con respecto a la lámina del 100%. Los resultados mostraron que la aplicación del riego fue de 57.9, 41.5 y 37.6 T. ha-1 para los RDC de 100, 75 y 50% respectivamente. Obteniéndose resultados similares en el riego deficitario al aplicar una lámina de 50% con respecto a una lámina de 75% tanto en volúmenes de riego como en la relación beneficio/costo (Mamani, 2015).

Se evaluó los resultados de aplicar un riego deficitario en el cultivo de páprika y se obtuvo que la lámina con el menor RDC presentó el mayor peso seco del fruto a comparación de los otros tratamientos, pero no difirieron estadísticamente. Sin embargo, en la variable rendimiento comercial, la lámina al 100% fue mayor significativamente con respecto a los tratamientos con riego deficitario controlado (Gonzáles et al., 2007).

En términos económicos, el riego deficitario aporta un menor costo en producción, como ejemplo, se puede mencionar los resultados obtenidos de (English, M. y Syed N., 1996), que estudiaron el riego deficitario en el cultivo de trigo en Oregón. Con esta práctica se obtuvo un mayor costo en el rendimiento neto por consumo de agua de 0.111 \$.m-3 a comparación del riego tradicional de 0.0745 \$.m-3.

En el cultivo de pimiento, investigaciones de (Rodríguez et al., 2014) obtuvieron mayores producciones al usar un RDC del 60% con respecto a uno del 80%, obteniéndose producciones de 4.71 y 4.67 kg.m-2 respectivamente.

2.6. EVAPOTRANSPIRACIÓN (ET)

2.6.1. Evapotranspiración de referencia (ETo)

La evapotranspiración de un cultivo de referencia tiene la característica de ser un cultivo densamente poblado de crecimiento uniforme y tamaño pequeño, con el desarrollo de su ciclo vegetativo bajo condiciones óptimas de humedad cercana a la capacidad de campo (Lazo, 2006).

Allen et al. (2006) mencionan que la ETo también se puede estimar también de la evaporación del tanque evaporímetro Clase A. Los tanques han probado su valor práctico y han sido utilizados con éxito para estimar ETo observando la evaporación del tanque y aplicando coeficientes empíricos para relacionar la evaporación del tanque con la ETo. Sin embargo, para la aplicación de este método se deben tomar ciertas precauciones y debe estar garantizado un buen manejo del tanque.

Método del Evaporímetro

Los tanques proporcionan una medida del efecto integrado de la radiación, viento, temperatura y humedad sobre el proceso evaporativo de una superficie abierta de agua.

Aunque el tanque evaporímetro responde de una manera similar a los mismos factores climáticos que afectan la transpiración del cultivo, varios factores producen diferencias significativas en la pérdida de agua de una superficie libre evaporante y de una superficie cultivada.

La evaporación obtenida del evaporímetro se relaciona con la evapotranspiración a través de un coeficiente K_p .

$$E_{To} = K_p \cdot E_v \dots (3)$$

Donde:

E_{To} : 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 de la cobertura del suelo donde se ubica el tanque -sus alrededores-, así como el viento y las condiciones generales de humedad. Por lo que, la localización y el ambiente del tanque evaporímetro también tienen influencia en los resultados.

De ser el caso que existan algunos ajustes propios de la instalación del tanque como pueden ser la decoloración del tanque, la oxidación de las mallas protectoras del tanque o alguna otra eventualidad se deberá afectar el K_p de acuerdo con las variaciones propias del tanque (Allen et al., 2006).

Tabla 2: Coeficientes del tanque evaporímetro (Kp) para el tanque Clase A

| 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 | |

FUENTE: Tomado de Allen et al. (2006).

2.6.2. Evapotranspiración del cultivo (ETc)

La evapotranspiración del cultivo ETc o también conocido como necesidades de riego diaria (NR), se calcula como el producto de la evapotranspiración del cultivo de referencia, ETo y el coeficiente del cultivo Kc:

$$ETc = Kc \times ETo \dots (4)$$

Donde:

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

Kc: Coeficiente de cultivo (adimensional)

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

Para el cálculo de la evapotranspiración de cultivo bajo condiciones estándar (ETc.), se consideran que se desarrollen en campos extensos, bajo condiciones agronómicas óptimas y sin limitaciones de humedad en el suelo.

La evapotranspiración de un cultivo será diferente a la del cultivo de referencia (ETo) en la medida en que sus características de cobertura del suelo, propiedades de la vegetación y resistencia aerodinámica difieran de las correspondientes al pasto.

Los efectos de las características que distinguen al cultivo considerado con respecto al pasto están incorporados en el coeficiente del cultivo (K_c). En la metodología del coeficiente del cultivo, la evapotranspiración del cultivo se calcula multiplicando E_{To} por K_c . (Allen et al. 2006).

2.7. COEFICIENTE DE CULTIVO (K_c)

Los efectos de la transpiración del cultivo y la evaporación del suelo son combinados en un coeficiente K_c único. Este coeficiente integra las diferencias en la evaporación en el suelo y en la tasa de transpiración del cultivo, entre el cultivo y la superficie del pasto de referencia. Como la evaporación en el suelo puede fluctuar diariamente como resultado de la lluvia o el riego, el coeficiente único del cultivo es solamente una expresión de los efectos promedios en el tiempo (múltiples días), de la evapotranspiración del cultivo.

El K_c está relacionado con las fases de crecimiento del cultivo, la cual describe cuatro fases: inicial, desarrollo del cultivo, mediados de temporada o intermedia y final de temporada.

Los valores del coeficiente de cultivo para el pimiento dulce promedios en las etapas de inicio, mediados y finales son de 0.6; 1.05 y 0.9 respectivamente. Cabe mencionar que estos valores son referidos para cultivos no estresados y bien manejados (Allen et al. 2006).

2.8. CONDUCTANCIA ESTOMÁTICA

La conductancia estomática estima la tasa de intercambio gaseoso (es decir, consumo de dióxido de carbono) y la transpiración (es decir, pérdida de agua) a través de los estomas de la hoja, determinadas por el grado de apertura estomática (y por lo tanto de la resistencia física al movimiento de gases entre el aire y el interior de la hoja).

Por consiguiente, la conductancia estomática es una función de la densidad, tamaño y grado de apertura de los estomas; al tener mayor cantidad de estomas abiertos se obtiene una mayor conductancia, lo cual indica, subsecuentemente, que las tasas de fotosíntesis y transpiración son potencialmente más altas (Pask, et al., 2013).

El “Leaf Porometer” es un dispositivo que funciona con baterías y funciona con menús que

mide la conductancia estomática de las hojas.

También el porómetro de hojas mide la conductancia estomática poniendo la conductancia de una hoja en serie con dos elementos de conductancia conocidos y comparando las mediciones de humedad entre ellos (Decagon, 2020).



Figura 4: Porómetro modelo SC-1

FUENTE: Decagon Devices (2017).

III. METODOLOGÍA

3.1. UBICACIÓN EXPERIMENTAL

La presente investigación fue realizada en las instalaciones del Centro de Investigación de Riego y Capacitación del Departamento de Recursos Hídricos de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Se realizó durante los meses de agosto 2020 hasta marzo del 2021.

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 utilizó semillas de pimiento cultivar Jessica F1, alto vigor de planta y excelente cobertura foliar. Cuajado secuencial de frutos, caracterizado por 6 frutos/planta, de 220 gr en promedio. Ciclo: 90 – 110 días pos-trasplante. Coloración roja intensa. Resistente a TSWV y Oidium (Hortus, s.f).

3.2.2 Insumos

- **29.7 kg de la enmienda retentiva de humedad (P1)**

La enmienda utilizada fue “Agrando® Retención de humedad” de la empresa COMACSA, tiene como función principal la retención y conservación de humedad del suelo cuenta con componentes dentro de los cuales se pueden mencionar al polímero de poliacrilato de potasio, arcillas y materia orgánica. También cuenta con aditivos que ayudan a potenciar las propiedades y funcionalidades de los demás componentes.

Tabla 3: Composición de la enmienda retentiva de humedad

| Componente | Valor declarado |
|-----------------------------------|-----------------|
| Mezcla de arcillas especiales | 60% |
| Aditivos de regulación de humedad | 10% |
| Nutrientes | |
| Materia Orgánica | 30% |
| Promotores de crecimiento | |

FUENTE: Agrando (s.f.).

Además, promueve la agregación de las partículas del suelo, incrementa la capacidad de intercambio catiónico del suelo, disminuye la pérdida de nutrientes, aporta con micronutrientes y macronutrientes (Joya, 2019).

- **142.6 kg del abono mejorador de suelos**

Es un abono mejorador de suelos 100% natural, producido a partir de la degradación

controlada de residuos sólidos de crianza de aves, restos vegetales y otros componentes orgánicos. Es un producto libre de impurezas que ayuda a incrementar la retención de agua, aporta microorganismos benéficos al suelo, e incrementa la capacidad de intercambio catiónico.

Resalta la riqueza de microelementos indispensables en los procesos fisiológicos del cultivo y el aporte de extractos húmicos característicos de una materia orgánica de alto estándar (Montoya, 2017).

Tabla 4: Composición nutricional del abono mejorador de suelos

| Macronutrientes | Fórmula | Composición |
|------------------------|-------------------------------|--------------------|
| Nitrógeno | N | 1.2 - 2.5 % |
| Fósforo | P ₂ O ₅ | 1.0 - 2.0 % |
| Potasio | K ₂ O ₅ | 2.1 - 3.5 % |
| Calcio | CaO | 3.0 - 3.5 % |
| Magnesio | MgO | 0.8 - 1.2 % |
| Micronutrientes | Fórmula | Composición |
| Magnesio | Mn | 500 - 650 ppm |
| Boro | B | 70 - 100 ppm |
| Zinc | Zn | 400 - 600 ppm |
| Cobre | Cu | 65 - 90 ppm |
| Hierro | Fe | 3500 - 8500 ppm |

FUENTE: Montoya (2017).

- **1600 kg de tierra preparada**

Se utilizó tierra preparada proveniente del vivero forestal de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

Tabla 5: Especificaciones químicas de la tierra preparada

| PARÁMETRO | VALOR | |
|------------------|--------------|------|
| Materia orgánica | 10 | % |
| C.E. | 2.2 | ds/m |
| pH | 8 | |
| Humedad | 30 | % |

FUENTE: Chirinos (2017).

- **2420 kg de arena de rio lavada**

Se utilizó arena de rio proveniente de las canteras del rio Lurín ubicados a la altura del kilómetro 31 de la Antigua Panamericana Sur.

Tabla 6: Caracterización de la arena

| PARÁMETRO | VALOR | |
|-------------------|-------|-------------------|
| CE (1:1) | 0.48 | ds/m |
| pH (1:1) | 8.15 | |
| ANÁLISIS MECÁNICO | | |
| Arena | 97.74 | % |
| Limo | 1.54 | % |
| Arcilla | 0.72 | % |
| Clase textural | Arena | |
| Densidad aparente | 1.74 | g/cm ³ |

FUENTE: Laboratorio de agua, suelo, medio ambiente y fertirriego, UNALM.

3.2.3. Equipos y materiales

Instrumentos:

- Medidor TDR 150 FieldScout
- Porómetro SC-1
- Balanza digital
- Vernier digital
- Medidor de láser digital
- Termohigrómetro digital

Materiales:

- 264 bolsas de vivero de 14"x20"
- Turba y musgo
- Regla de 60 cm y wincha métrica

3.3. PROCEDIMIENTO

3.3.1. Manejo del Cultivo

Preparación del Sustrato

El sustrato fue compuesto en base a trabajos realizados por (Guzmán y López, 2004) en Almería, España. La metodología aplicada fue de obtener estratos diferenciados llamado “Enarenado” por ser la arena el insumo de mayor importancia y los otros estratos fueron tierra y abono.

Muchas son las ventajas que se obtienen de los cultivos enarenados comparados con los mismos que se hacen en sistema tradicional; entre estos beneficios destacan: precocidad de los cultivos, entrada en producción más rápida de los frutales, ahorro de agua de riego y mayor número de cultivos por unidad de superficie a lo largo del año (Serrano, 1974).

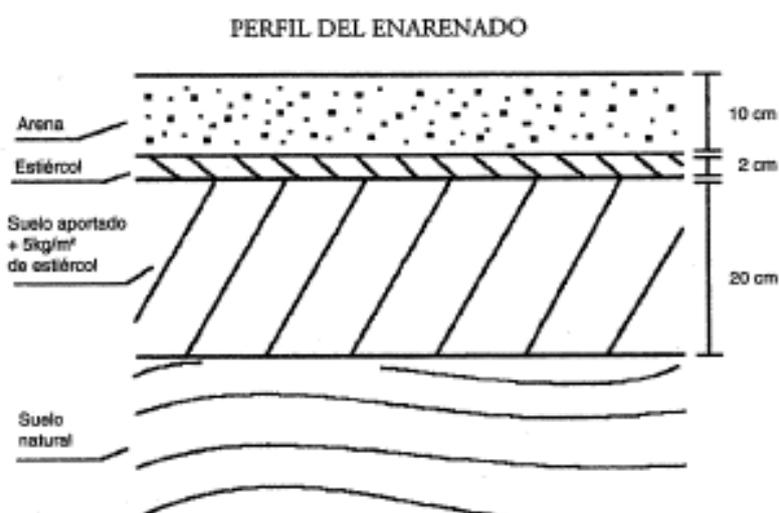


Figura 6: Perfil del enarenado de Almería

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 fue: 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), como se puede observar en la Figura 7.

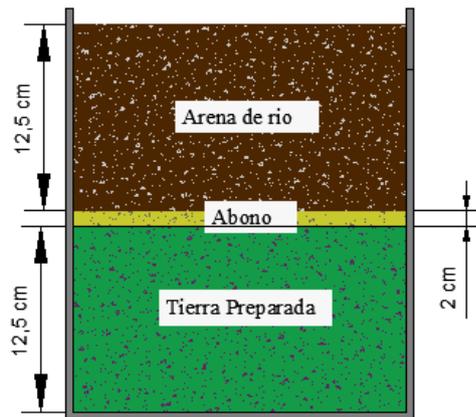


Figura 7: Vista de las 3 capas del sustrato enarenado

Almacigo:

Antes de la siembra, se realizó una prueba para verificar la viabilidad de las semillas. Para esto se utilizó 6 semillas para observar el poder germinativo de la variedad. En la Figura 8, se muestra la emergencia a los 9 días y se observó una germinación total a los 12 días.

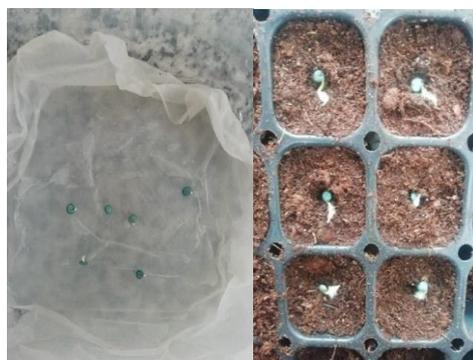


Figura 8: Prueba de viabilidad de la semilla a los 9 días (izquierda) y 12 días (derecha)

Se realizó la siembra en 6 bandejas de 72 celdas y se sembró un total de 432 semillas. A los 29 días se realizó el conteo y se obtuvo 312 semillas germinadas. El porcentaje de germinación fue de 72.2% y menor comparado al de la ficha técnica que menciona es 92%.



Figura 9: Imágenes de las 6 bandejas con plantiles a 36 días de ser sembrados

Además, se fertirrigó las plantas con la solución hidropónica “La Molina”, desde el día 15 después de la siembra hasta dos días antes del trasplante.

Tabla 7: Nutrientes de la solución hidropónica “La Molina” 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: Rodríguez y Chang (2011)

Trasplante:

El trasplante se realizó el 3 de noviembre, para esto se dejó de regar un día antes las bandejas y se utilizó una solución NPK 18-46-00, para darle a las plantas un aporte de fósforo, principalmente para evitar algún estrés al momento de ser trasplantado al sustrato enarenado. El procedimiento se puede observar en el Anexo 16.

Poda de formación:

La poda de formación se realizó a los 30 después del trasplante, en la cual se dejó 2 ejes o brazos a cada planta y se extrajo la flor del nudo de la bifurcación o “V” donde se inician los dos ejes.

3.3.2. Manejo del Riego

3.3.2.1. Tiempo de Riego

El riego fue diario y controlado. La diferenciación de tratamientos se realizó con 2 láminas de riego, de las cuales, una fue equivalente al 100 % de la Et y la otra lámina fue al 80 %. El tiempo de riego se calculó con la evapotranspiración del cultivo y con otros factores, expresados en la ecuación 5:

$$T_{riego} = \frac{NR * Pcf * 60}{Qnom * Ef * C.U * FL} \dots (5)$$

De 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

El valor del coeficiente evaporímetro se obtuvo a partir de las investigaciones realizadas en invernadero por (Valera, 2013), en la cual se obtuvo una relación entre los valores de evapotranspiración de referencia por medio de balance de agua y la evaporación obtenida por medio de un evaporímetro, igual a $K_p = 0.6533$; el cual dio buenos resultados y correlaciones.

En la Figura 10, se muestra las dimensiones del evaporímetro usado en la investigación, el cual se instaló en el medio del invernadero y estuvo durante toda la etapa evaluación.



Figura 10: Dimensiones del evaporímetro utilizado

El valor del K_c se obtuvo de los valores referenciales de la FAO 56 (Allen et al. 2006) y se aumentó semanalmente de manera proporcional hasta los 60 ddt. De la misma manera se hizo para el descenso del K_c desde los 100 ddt hasta descender hasta la última semana de riego del cultivo, como se muestra en la Figura 11.

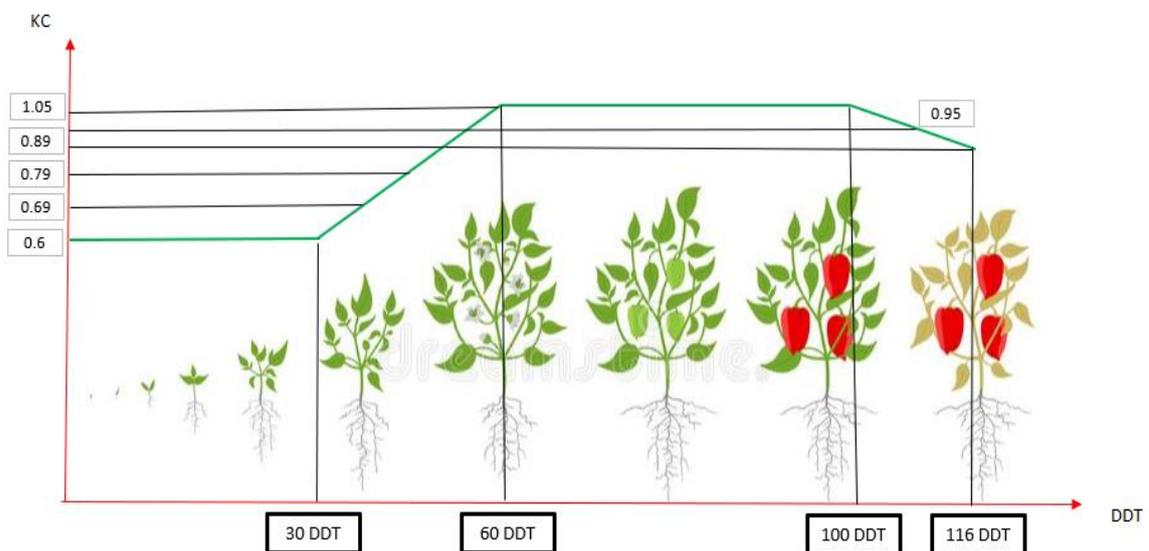


Figura 11: Distribución del K_c proporcional por semanas para todo el ciclo de cultivo

FUENTE: Elaborado a partir de la imagen obtenida de Dreamstime (s.f.)

El porcentaje de cobertura foliar se aumentó según se observaba al crecimiento del área foliar y se trabajaba semanalmente con el valor. El rango que se aplicó fue de 0.3 a 0.9 (30 a 90%)

y se utilizó midiendo el largo y ancho de cada planta y dividiéndolo entre el distanciamiento de hileras.

La fracción de lavado se consideró porque se tenía que lavar las sales acumuladas del sustrato, se dio un requerimiento del 10%. Con esto, la fracción de lavado fue de 90% (0.9), la cual se utilizó para el cálculo del tiempo de riego.

3.3.2.2. Sistema de riego

El caudal nominal o caudal de trabajo fue de 1.6 litros por hora, esto se corroboró mediante una prueba de uniformidad de aplicación y de caudal. Además, el sistema de riego se operó el sistema de riego con una bomba Hidrostral de 0.8 HP, válvula de aire y filtro de malla de 1", tal como se aprecia en la Figura 12.



Figura 12: Sistema de riego instalado

3.3.2.3. Fertilización

Para realizar la fertilización se midieron los valores de conductividad eléctrica y pH del agua del reservorio, los cuales resultaron ser de 1 dS/cm y 9.6 dS/cm respectivamente.

Para poder fertilizar de manera que se busque la eficiencia de absorción de nutrientes, se regularon los valores de conductividad eléctrica del agua de riego a 1.2 dS/cm y el pH de 6.5, tal como se observa en la Figura 13.



Figura 13: Valores antes del riego (A) y valores manejados para el fertirriego (B)

Para lograr mantener un pH óptimo, se utilizó un tanque de 5000 litros, como se muestra en la Figura 14, para almacenar el agua del reservorio mezclada con el ácido fosfórico y los micronutrientes.



Figura 14: Vista panorámica del invernadero y del tanque

Para la fertilización, se utilizó la solución hidropónica “La Molina” hasta los 27 días después de trasplantado, en la Tabla 8 se muestra la cantidad de nutrientes de cada elemento.

Tabla 8: Cantidad de Macronutrientes y micronutrientes de la solución (ppm)

| N | P | K | Ca | Mg | S |
|-----|-----|-----|------|------|------|
| 190 | 35 | 207 | 228 | 54.6 | 120 |
| Fe | B | Mn | Zn | Cu | Mo |
| 1 | 0.5 | 0.5 | 0.15 | 0.1 | 0.05 |

En la Tabla 9, se muestra el fertirriego desde la evaluación de los tratamientos hasta el último día del cultivo, fue en base a las necesidades del pimiento por etapas.

Tabla 9: Cantidades totales del elemento por cada etapa del cultivo (ppm)

| NECESIDADES | N | P | K | Ca | Mg | S | Días |
|-------------|-----|----|-----|-----|----|-----|-------|
| Etapa A | 200 | 50 | 250 | 180 | 50 | 90 | 0-30 |
| Etapa B | 200 | 90 | 200 | 198 | 50 | 90 | 31-45 |
| Etapa C | 200 | 90 | 252 | 198 | 50 | 140 | 45-60 |
| Etapa D | 170 | 50 | 350 | 218 | 50 | 160 | >60 |

3.4. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

3.4.1. Evaluación de parámetros morfológicos

Altura de Planta

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

Diámetro de tallo

El diámetro de tallo se midió debajo del inicio de la bifurcación o “V”, se usó un vernier digital por las medidas no superiores a 2 cm.

Profundidad de raíz

La profundidad se midió con una regla metálica y para hacer la medición, se dejó secar 2 días para extraer los restos del sustrato.

Área de Raíz

Como dato adicional a las mediciones, se consideró medir el área de la raíz en términos a un aplicativo del celular llamado Camopeo, el cual fue elaborado por la Oklahoma State University. Según Urquijo (2015), menciona que este aplicativo puede seguir el crecimiento de los cultivos mediante el cálculo de la fracción de cubierta vegetal verde.

Una vez tomada la imagen o vídeo, la aplicación muestra el resultado de manera

prácticamente inmediata. La aplicación presenta la imagen original y la imagen procesada, donde la cobertura vegetal se representa mediante píxeles blancos.

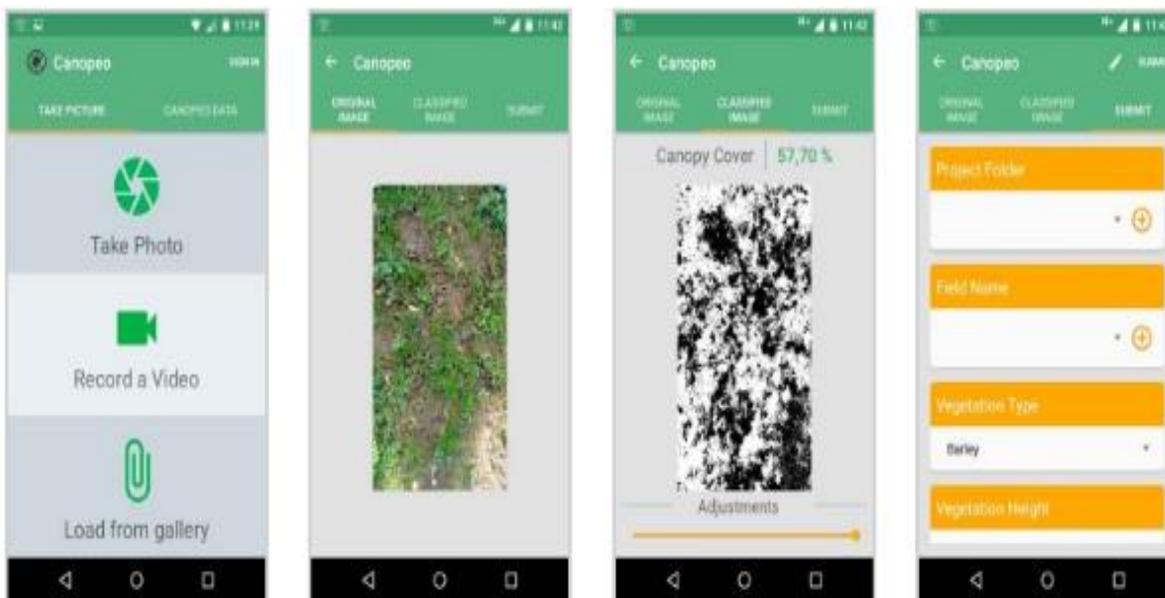


Figura 15: Interfaces de la aplicación Canopeo

FUENTE: Urquijo (2015)

Los valores del área de raíz se utilizaron como una variable adicional para observar algunas diferencias estadísticas entre los niveles de enmienda y las láminas de riego aplicadas.

3.4.2. Parámetros de humedad

Se realizó un monitoreo de cada tratamiento a través del equipo TRD-150 para el control de la humedad volumétrica en el sustrato. Se empleó 2 profundidades, una a 12 cm y otra a 20cm, como se muestra Figura 16. La primera profundidad para observar la variación de humedad en el estrato de arena con el polímero y la segunda profundidad fue para monitorear la humedad en el estrato de tierra.

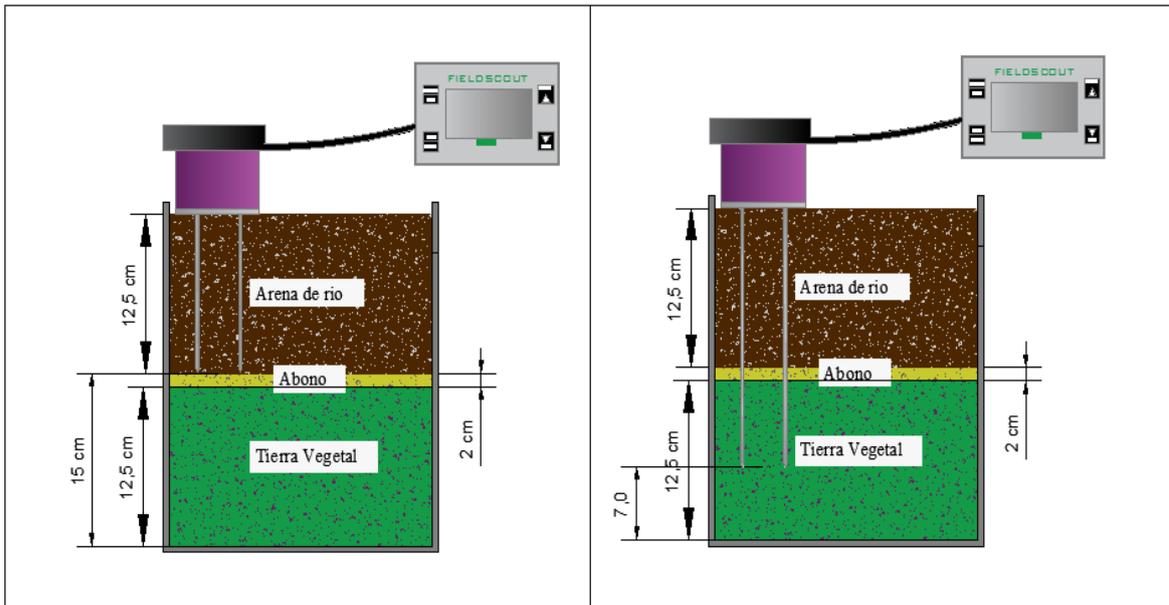


Figura 16: Medición del TDR a las profundidades de 12cm (izquierda) y 20 cm (derecha)

Además, se realizó la curva de retención de humedad con muestras inalteradas de la arena con las dosis de enmienda aplicada y la tierra preparada. Se utilizó la olla de Richards y 2 platos (1 y 15 bar), para obtener la curva a varios puntos de presión. Los resultados de la curva de humedad se presentan en el Anexo 1.

3.4.3. Conductancia Estomática

La conductancia se obtuvo por medio del Porómetro, los valores se configuraron para obtenerlos en unidades de $\text{mmol/m}^2\text{s}$. Las mediciones fueron hechas antes del riego y en las hojas más jóvenes.

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 la producción total por tratamientos y láminas. Así mismo, se realizó una clasificación del peso del fruto por 4 categorías, siendo la de primera categoría la producción de mejor calidad y la 4ta categoría la de menor calidad, la clasificación se puede observar en la Tabla 10. Cabe mencionar que se está proponiendo esta clasificación.

Tabla 10: Clasificación de frutos por peso en gramos

| Categoría | Rango de Peso |
|----------------|-----------------|
| 1era categoría | $P > 200$ |
| 2da categoría | $200 > P > 150$ |
| 3era categoría | $150 > P > 90$ |
| 4ta categoría | $P > 90$ |

3.5. DISEÑO ESTADÍSTICO

3.5.1. Factores

a. Lámina de riego:

L1: adecuado (100 % ETc ó 100 % de Lámina de reposición)

L2: moderado (80 % ETc u 80% de Lámina de reposición)

b. Dosis de enmienda retentiva de humedad:

T: 0 g de enmienda / kg arena

E1: 15 g de enmienda / kg arena

E2: 30 g de enmienda / kg arena

Tabla 11: Descripción de los factores de estudio

| Factores | Denominación | Nivel | Código | Valor | |
|----------|-------------------|----------|--------|-----------|----|
| Factor A | Lámina de riego | Adecuado | L1 | 100 % ETc | mm |
| | | Moderado | L2 | 80 % ETc | mm |
| Factor B | Dosis de Enmienda | Bajo | T | 0 | g |
| | | Medio | E1 | 15 | g |
| | | Alto | E2 | 30 | g |

Tabla 12: Descripción de los tratamientos a evaluarse

| Tratamientos | | Interpretación | |
|--------------|--------|----------------|---------------------|
| N° | Código | Dosis (g) | Lámina de riego (%) |
| 1 | TL1 | 0 | 100 % ETc |
| 2 | TL2 | 0 | 80 % ETc |
| 3 | E1L1 | 15 | 100 % ETc |
| 4 | E1L2 | 15 | 80 % ETc |
| 5 | E2L1 | 30 | 100 % ETc |
| 6 | E2L2 | 30 | 80 % ETc |

3.5.2. Diseño de parcelas divididas (DPD)

El ensayo se instaló a nivel de invernadero utilizando un diseño de parcelas divididas (DPD) con arreglo completamente aleatorizado, en el cual las parcelas principales serán para las láminas de riego (Factor A) y dentro de cada parcela principal, se encontrarán 3 subparcelas que representan las dosis de la enmienda y el testigo (Factor B).

El modelo lineal para un DPD con estructura de parcelas en Bloques al azar es:

$$Y_{ijk} = \mu + \gamma_k + \alpha_i + \lambda_{ik} + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

Y_{ijk} = Variable de respuesta (Obs. de la unidad experimental)

γ_k = Efecto de los bloques

μ = Media general del ensayo

α_i = Efecto del i-ésimo nivel del factor A (Frecuencia de riego)

λ_{ik} = Error aleatorio de la parcela principal definido como error a

β_j = Efecto del j-ésimo nivel del factor B (Enmiendas retentivas)

$(\alpha\beta)_{ij}$ = Efecto de interacción entre ambos factores

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

La investigación fue compuesta por 6 tratamientos con 3 repeticiones por cada tratamiento, en total el ensayo será compuesto por 18 unidades experimentales, el croquis donde se observa la distribución de tratamientos se aprecia en el Anexo 3.

Las dimensiones de la parcela principal serán de 4.8 m de largo por 2.4 m de ancho, para un

área total por parcela de 11.52 m²; las parcelas secundarias (hileras de riego por método de goteo) fueron separadas a 0.8m entre sí. Las submuestras, fueron seleccionadas al azar, en un total de 12 plantas por cada parcela secundaria.

3.5.3. Análisis Estadístico

El análisis estadístico se realizó con el programa estadístico R (RCore Team, 2020), se efectuó un análisis de varianza (ANVA), prueba de medias, prueba de múltiples rangos. En la Tabla 11, se muestra las fuentes de variabilidad y los grados de libertad correspondiente al diseño de parcela divididas.

Tabla 13: Análisis de varianza para el diseño en parcelas divididas

| Fuente de variación | Grados de libertad (GL) | GL |
|-------------------------------|-------------------------|-----------|
| Parcela principal | | |
| Bloques | r-1 | 2 |
| Lámina de riego A | A-1 | 1 |
| Error experimental (a) | (A-1)(r-1) | 2 |
| Parcela secundaria | | |
| Dosis de enmienda B | B-1 | 2 |
| Interacción de factores A x B | (A-1)(B-1) | 2 |
| Error experimental (b) | A(r-1)(B-1) | 8 |
| Total | nrAB-1 | 17 |

FUENTE: Gómez Tunque (2021)

Se realizó el análisis de varianza con el paquete Agricolae (Mendiburu, 2020) que se puede instalar en el software R y es muy útil para el análisis de investigación de agricultura.

Además, se comprobó los 3 supuestos del análisis de varianza con el paquete “Agricolae” y se hizo el análisis de comparación de medias múltiples para observar las diferencias o similitudes entre tratamientos y factores.

En la Figura 17, se observa a manera de esquema el procedimiento de todo lo que consiste el análisis estadístico ejecutado.

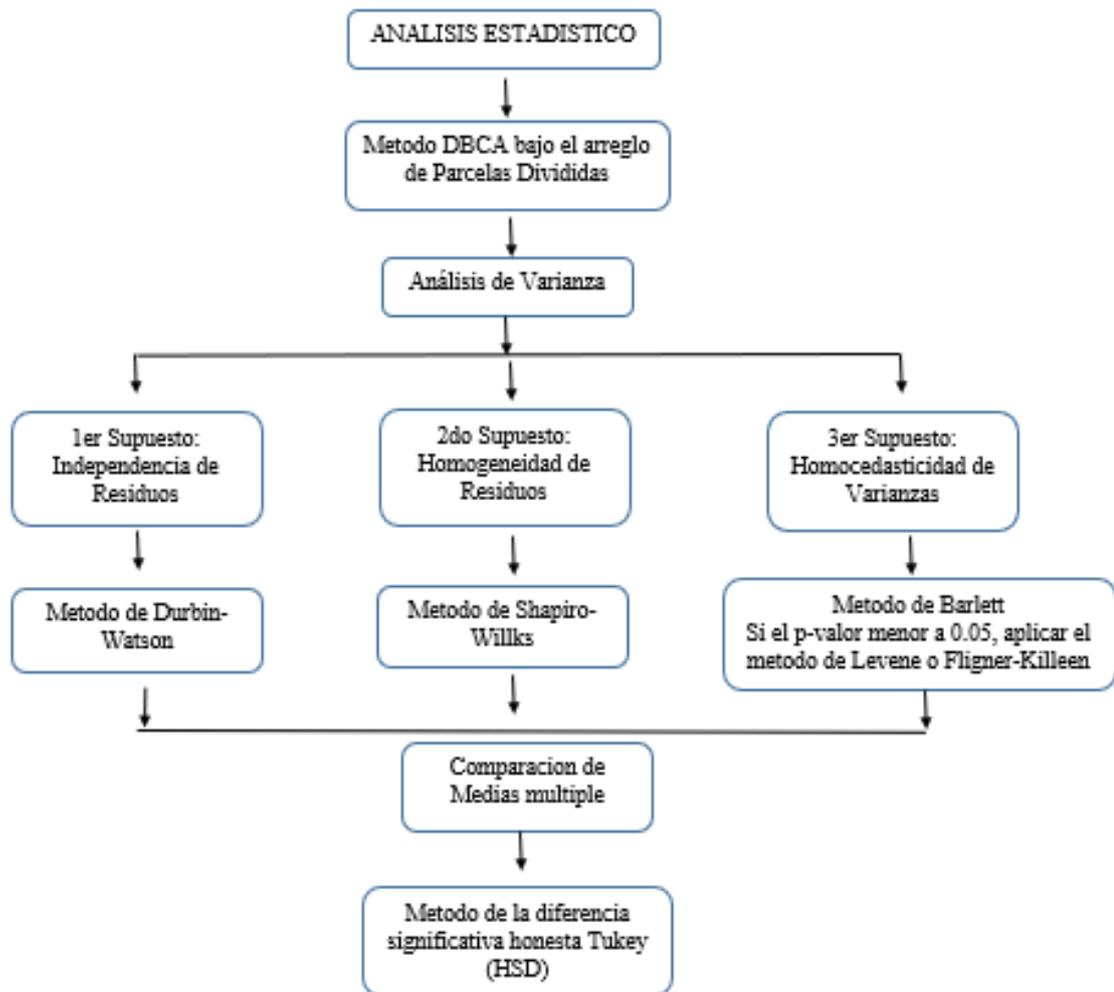


Figura 17: Esquema del análisis estadístico ejecutado en el software R

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. DATOS CLIMÁTICOS

4.1.1. Temperatura

Se registró la temperatura durante todo el ciclo del cultivo. Se observó que los resultados obtenidos están en relación al nivel de radiación que tiene cada mes, siendo el mes de febrero el que más temperatura registró con un valor de 34.5°C dentro del invernadero. Además, la temperatura y humedad fueron medidos con un termohigrómetro digital, ubicado dentro del invernadero, el cual se colocó sobre una altura de 1 m con respecto al suelo.

Los datos registrados son desde el inicio del proceso de almácigo (septiembre), hasta la maduración y posterior cosecha (febrero), tal como se muestra en la Figura 18.

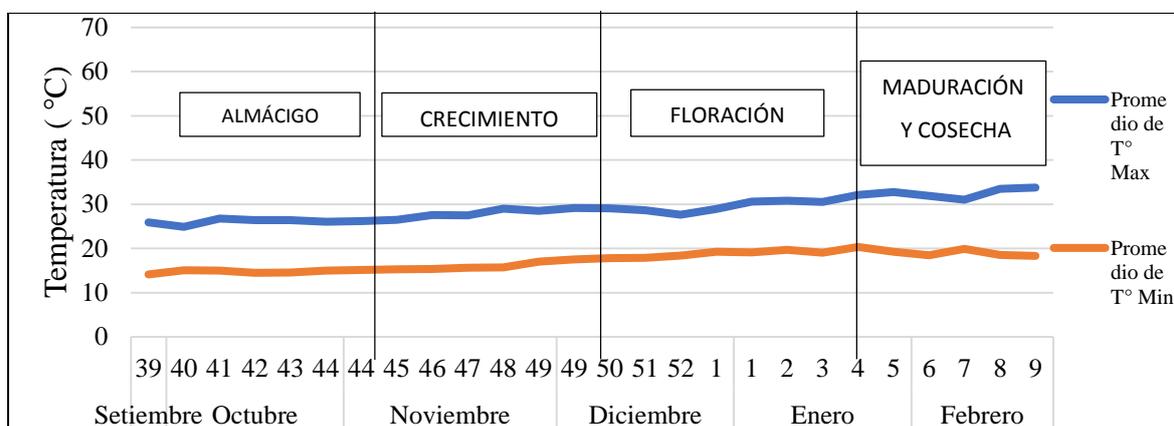


Figura 18: Registro semanal promedio de la temperatura con el termohigrómetro

Cabe mencionar que los meses de cada etapa fenológica fueron en relación a las necesidades edafoclimáticas del pimiento y los valores registrados corresponden a promedios diarios.

4.1.2. Humedad Relativa

En los datos de humedad relativa, se registró una mayor variación de la humedad mínima, siendo esta más sensible a los cambios de temperatura que se registró al cambiar de estación de primavera y verano. Como sabemos, la temperatura y humedad están relacionados de manera inversa por lo que el valor más bajo de humedad fue en el mes de febrero. Este valor nos dice que la humedad en el invernadero fue relativamente baja (20%), con respecto a las necesidades climáticas del pimiento. Pese a ello, no tuvimos un bajo rendimiento por lo que en este invernadero si podemos sembrar pimientos según los resultados obtenidos.

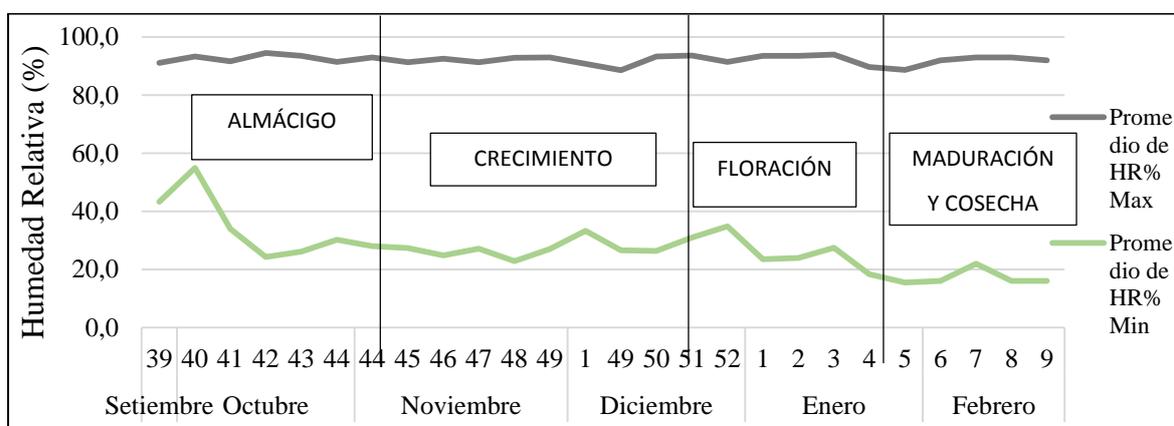


Figura 19: Registro semanal promedio de la humedad relativa con el termohigrómetro

4.2. EVALUACIONES AGRONÓMICAS

4.2.1. Rendimiento

La variable rendimiento se obtuvo de la suma de todos pesos de frutos cosechados. Los resultados mostraron que la producción total fue de 228.4 kg, de los cuales el factor de lámina de riego L1 produjo 117.15 kg y la lámina de riego L2 produjo 111.25 kg. La diferencia entre la producción de ambas láminas fue de 5.9 kg lo cual, a nivel de kilos, se obtuvo cantidades similares. Con respecto a los resultados estadísticos, estos se mostrarán en el punto 4.5 de las evaluaciones estadísticas.

Tabla 14: Producción en kilos y rendimiento para cada tratamiento

| TRATAMIENTO | Producción (Kg) | kg.m ⁻² | Tn.ha ⁻¹ |
|-----------------------|-----------------|--------------------|---------------------|
| E1L1 | 38.9 | 3.4 | 33.8 |
| E2L1 | 39.0 | 3.4 | 33.9 |
| TL1 | 39.2 | 3.4 | 34.0 |
| E1L2 | 35.8 | 3.1 | 31.1 |
| E2L2 | 37.7 | 3.3 | 32.8 |
| TL2 | 32.4 | 2.8 | 28.1 |
| Total de kilos | 223.0 | Promedio | 3.2 |
| | | | 32.3 |

En la Tabla 14, se observa la producción cosechada, mostrando una mayor cantidad todos los tratamientos de la lámina de reposición del 100 %. Los cuales mostraron que las evaluaciones E1L1, E2L1 Y TL1, fueron de 38.9; 39 y 39.2 kg, siendo el testigo el que mayor producción obtuvo. En cambio, los tratamientos de la lámina de 80 % no mostraron similitud como los de la lámina de 100%. El valor más alto de producción de la lámina de reposición del 80 % fue el tratamiento de 30 gr de enmienda con 37.7 kg.

Así mismo, para el rendimiento, se observa que su valor promedio entre los tratamientos es de 3.2 kg.m⁻². Según otros resultados en el Perú, (ADEX, 2018) menciona que existen producciones de pimiento que van del 2.3 al 6.1 kg.m⁻². Esto nos dice que los resultados obtenidos en la investigación, son valores promedios a lo que en el norte del Perú pueden llegar a producir. Esto puede depender a la densidad de plantas o a su comportamiento fisiológico del cultivar utilizado en las condiciones en donde se produce.

4.2.2. Evaluación comercial

En la evaluación del número de frutos se encontró mejores frutos de primera categoría o calidad en el tratamiento de lámina al 100 %, encontrándose un similar número en el testigo y la enmienda de 15 g. Además, los valores más bajos de frutos de primera categoría lo obtuvieron la lámina de 80 % con la enmienda de 15 g y el testigo de igual forma.

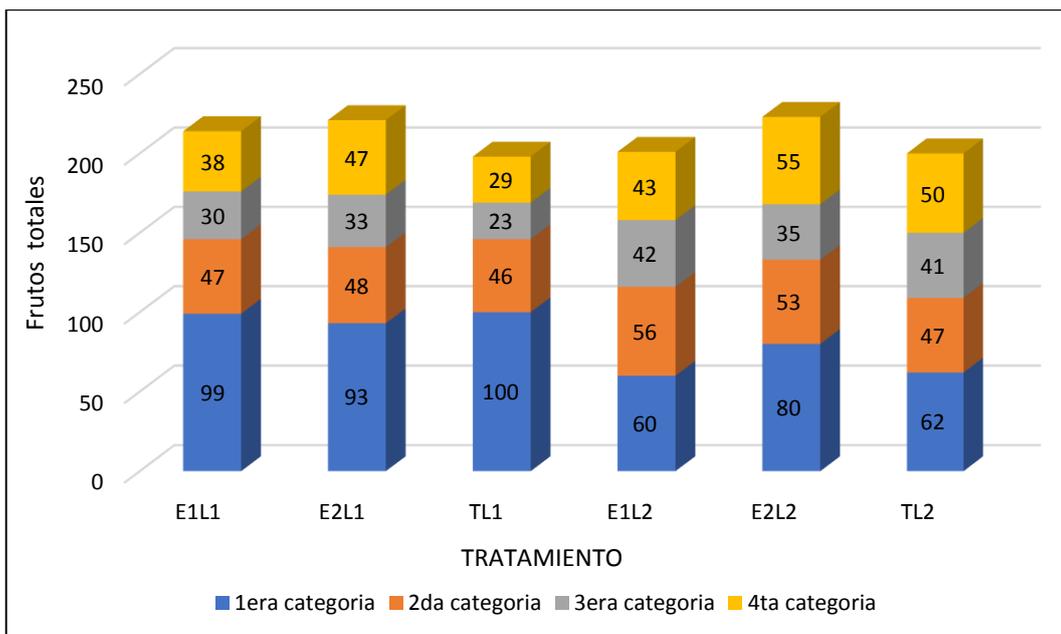


Figura 20: Número de frutos totales cosechados por tratamiento

En la Figura 20, se observa que con la lámina de 100 % se obtuvo una mayor producción de frutos de primera categoría, llegando hasta 100 frutos en el testigo TL1 (sin enmienda y lámina de 100 % ETc).

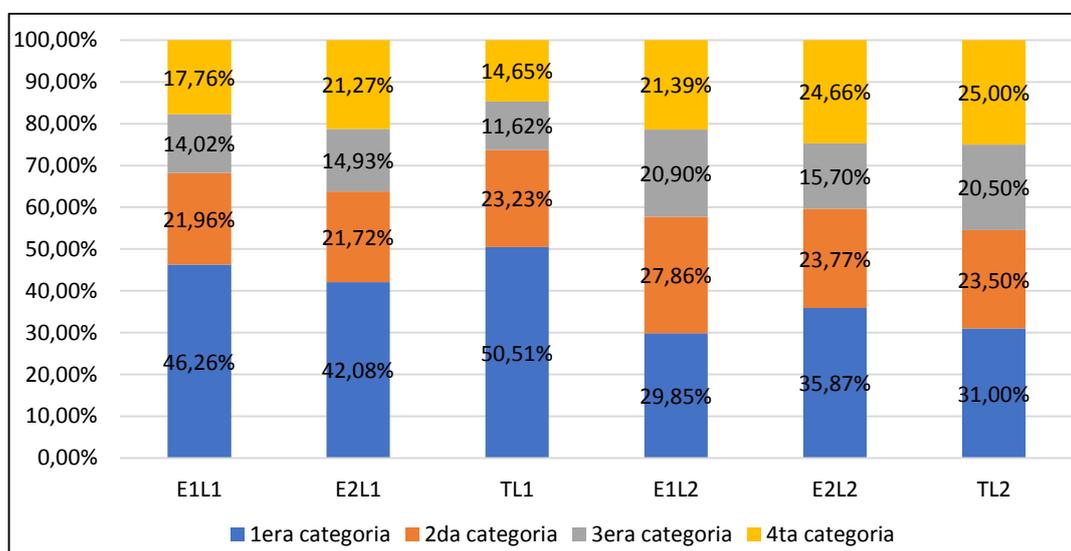


Figura 21: Porcentaje de representación de frutos por categorías

En la Figura 21, se observa que con la lámina de 100 % se obtuvo una mayor producción llegando hasta el 50.51 % de la producción como frutos de primera categoría en el testigo TL1, mientras que los tratamientos E1L1 y E2L1 obtuvieron 46.26 % y 42.08 %.

Con respecto al número de frutos de primera categoría para la lámina de 80 %, el mayor fue la enmienda de 30 gr con 35.87 %, le sigue el testigo con 31 % y la enmienda de 15 gr con 29.85 %.

4.2.3. Conductancia estomática

Los valores de la conductancia estomática estuvieron en el rango de 200 a 500 mmol/m²s, estos valores son similares a los obtenidos por (Suarez et al., 20117), los cuales obtuvieron valores de 150-500 mmol/m²s. Los valores obtenidos están el rango normal de conductancia y reflejan que la planta estuvo en óptimas condiciones en cuanto a su tasa fotosintética y asimilación de CO₂.

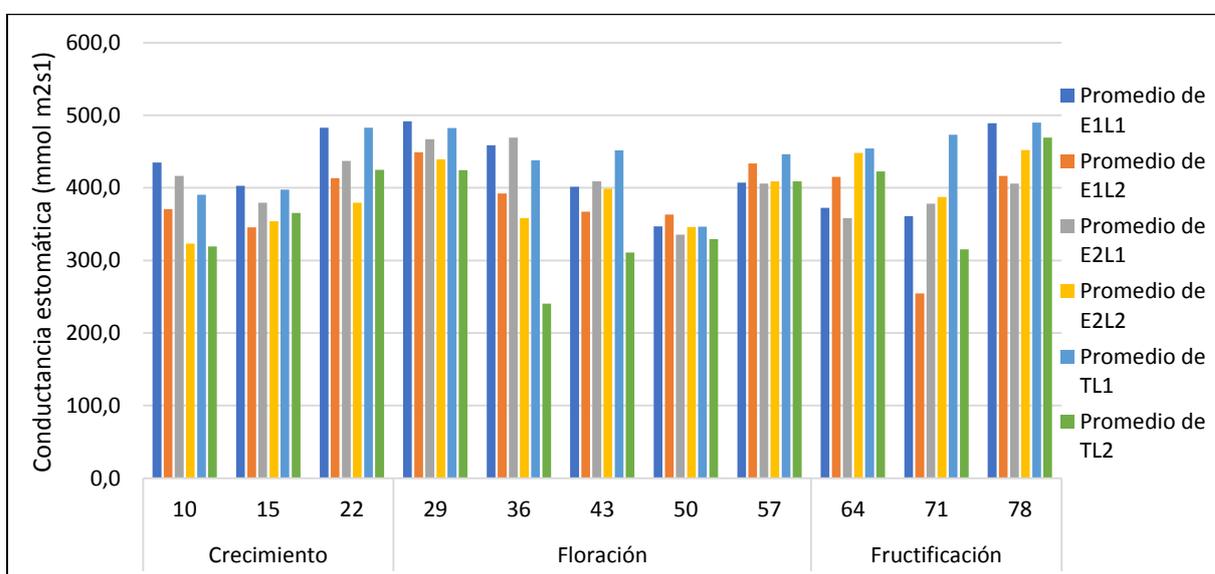


Figura 22: Medidas de la conductancia estomática por etapas fenológicas

En la Figura 22, se presentan los valores de conductancia estomática, en la cual se observa los más bajos valores en la etapa de floración. Esto pudo haber ocurrido porque se empezó la diferenciación de tratamientos que fue a los 28 días después de trasplante.

Además, las láminas de riego eran bajas porque la cobertura foliar era de 30 % y esto hizo que los tiempos de riego sean de 8 o 10 minutos por día. También, a los 36 días se observa los valores más bajos para la lámina de 80 % y a los 50 días, todos los tratamientos tienen unos valores similares pero mayores a 300 mmol/m²s.

4.3. EVALUACIONES BIOMÉTRICAS

4.3.1. Altura de planta

Los resultados de la altura de planta muestran que los 6 tratamientos crecieron semanalmente de manera homogénea, desde el inicio del trasplante hasta los 50 días de trasplantados. A los 57 días se observa una ligera diferenciación de crecimiento que predomina hasta el final (78 ddt) en la cual se nota que el tratamiento de lámina 80 % y enmienda de 15 g (E1L2), llegó a ser uno de los tratamientos con una altura superior y el más bajo fue el de la misma lámina de 80 % pero con la enmienda de 30 g (E2L2).

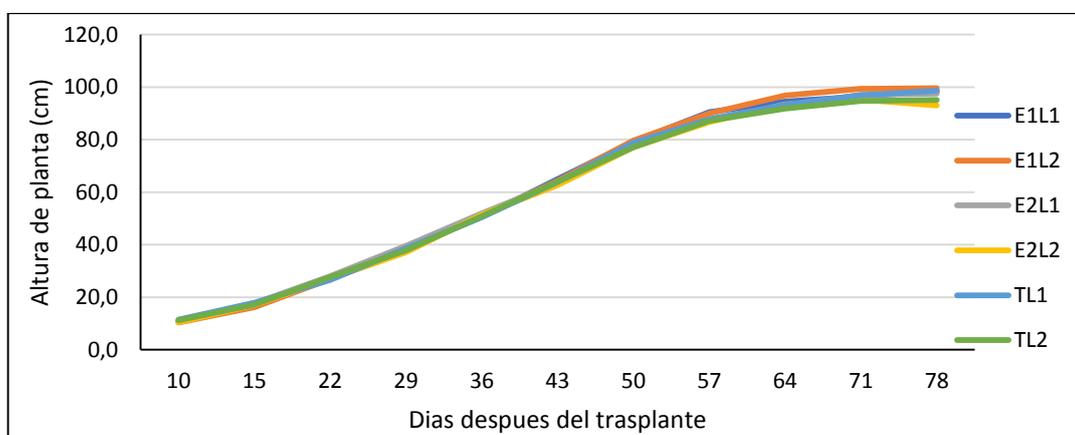


Figura 23: Evolución de la altura de planta promedio por tratamiento

Cabe mencionar que los valores de altura de planta fueron mayores a los obtenidos por (Rivera et al., 2020), siendo 18.4, 29.5 y 55.6 cm a los días 27, 37 y 47 ddt respectivamente.

4.3.2. Diámetro de tallo

El engrosamiento del tallo fue similar en todas las evaluaciones, llegando a ser así hasta las mediciones finales, pero se observa que el menor diámetro de tallo se obtuvo del tratamiento de lámina 80 % con el testigo (TL2). Además, se observa que desde los 22 ddt hasta los 43 ddt, es donde el engrosamiento es mayor a comparación de los otros días. Por último, se puede ver que, a pesar de tener diferentes tratamientos, todas las plantas pimiento pretenden a engrosar de manera similar su tallo según sus características genéticas del cultivar.

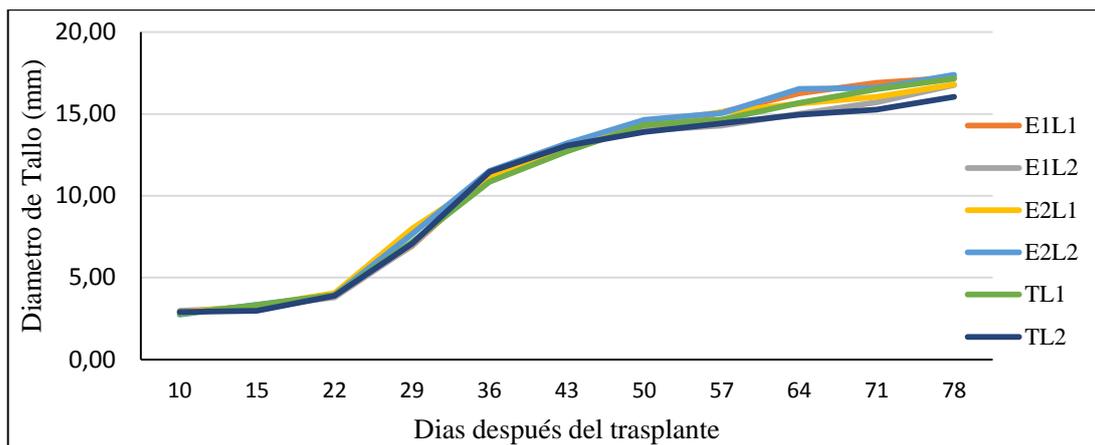


Figura 24: Evolución del diámetro de tallo promedio por tratamiento

4.3.3. Profundidad y área de raíz

Se obtuvo una mayor profundidad de raíz en los tratamientos de lámina 100 % con enmiendas de 15 g y el testigo, y el más bajo valor fue la lámina de 100 % con la enmienda de 30 g. Con respecto al área obtenida con el aplicativo “Canopeo”, el valor más alto lo obtuvo la lámina de 80 % con el testigo y la menor área del sistema radical, la obtuvo la lámina de 100 % con la enmienda de 30 g.

Tabla 15: Profundidad y área de raíz promedio de cada tratamiento

| TRATAMIENTO | Profundidad (cm) | Área (%) |
|-----------------|------------------|------------|
| E1L1 | 34.0 | 9.0 |
| E2L1 | 30.8 | 7.9 |
| TL1 | 34.0 | 8.4 |
| E1L2 | 33.1 | 8.2 |
| E2L2 | 33.6 | 8.1 |
| TL2 | 33.3 | 9.4 |
| Promedio | 33.1 | 8.5 |

La Tabla 15 muestra el promedio de la profundidad de raíz de los tratamientos que fue 33.1 cm, este resultado es similar a las investigaciones de (Rodríguez et al., 2015), los cuales obtuvieron profundidades de raíces de 30.17 y 20.19 cm en el cultivo de pimiento de variedad Tirano con frecuencia de riego diaria.

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 diarios aplicados. El volumen entregado fue de 6502.37 litros de agua en la lámina de 100 % y 5354.65 litros para la lámina de 80 %. La diferencia entre laminas aplicadas fue de 1147.72 litros o 1.15 m³ de agua, como se muestra en la Tabla 16.

Tabla 16: Volúmenes consumidos durante la campaña

| Tratamientos | Volumen Total (L) | Volumen Total (m3) |
|------------------|----------------------|-----------------------|
| E1L1, E2L1 Y TL1 | 6502.37 | 6.50 |
| E1L2, E2L2 Y TL2 | 5354.65 | 5.35 |

En la Figura 25, se observa el consumo de agua diario aplicado durante toda la etapa del cultivo. En los primeros días se aplicaba la misma cantidad de agua porque el riego fue controlado y todas las plantas se encontraban bajo las mismas condiciones de riego.

Posteriormente, a los 25 días, se observa valores de 120 litros aplicados, esto fue porque se realizó un lavado de sales con el objetivo de iniciar la diferenciación de plantas sin ningún efecto de salinización o estrés. Este riego fue de 20 minutos seguidos para conseguir un drenaje total de todas las macetas.

Desde el 29 ddt se observa el inicio de diferenciación y el aumento de riego progresivamente hasta el último día de la evaluación (116 ddt). El valor más alto del riego fue a los 62 ddt debido a que la ETo fue de 4mm para un periodo acumulado de 2 días. Después de esto no hubo un valor similar porque el riego fue diario incluyendo los domingos a partir de la segunda semana de enero.

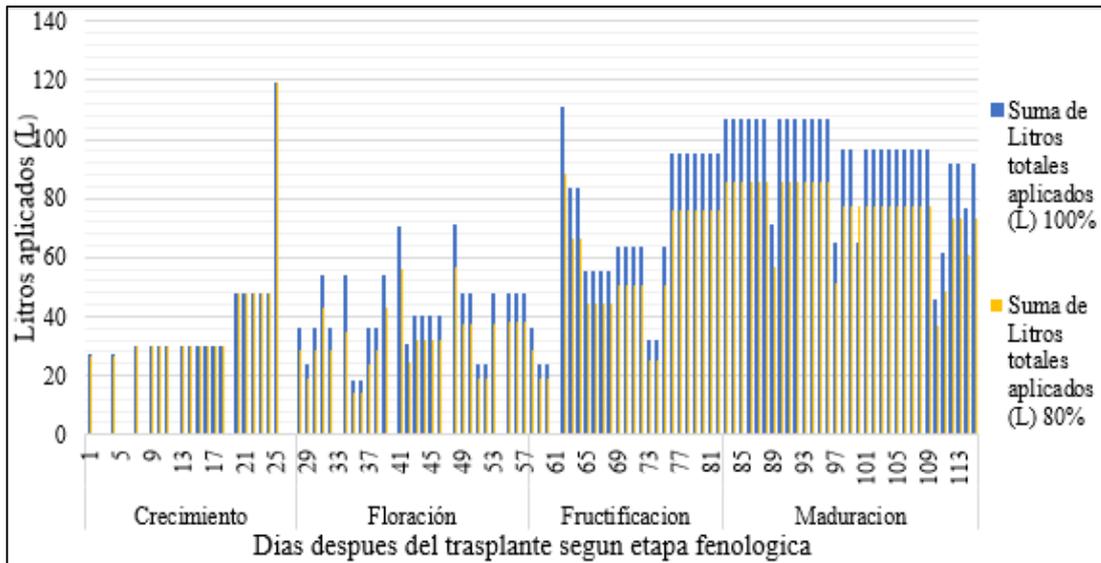


Figura 25: Litros de agua semanales aplicados durante la campaña

4.4.2. Evapotranspiración y tiempos de riegos

En la Figura 26, se muestra los datos del tiempo de riego y las láminas de riego o Etc diarios tomados desde el primer día del trasplante. En la gráfica se observa que las láminas de riego tuvieron diferencias durante todo el ciclo, pero desde los 28 ddt es en donde se realizó la evaluación de los tratamientos y se mantuvo así hasta el último día de cosecha.

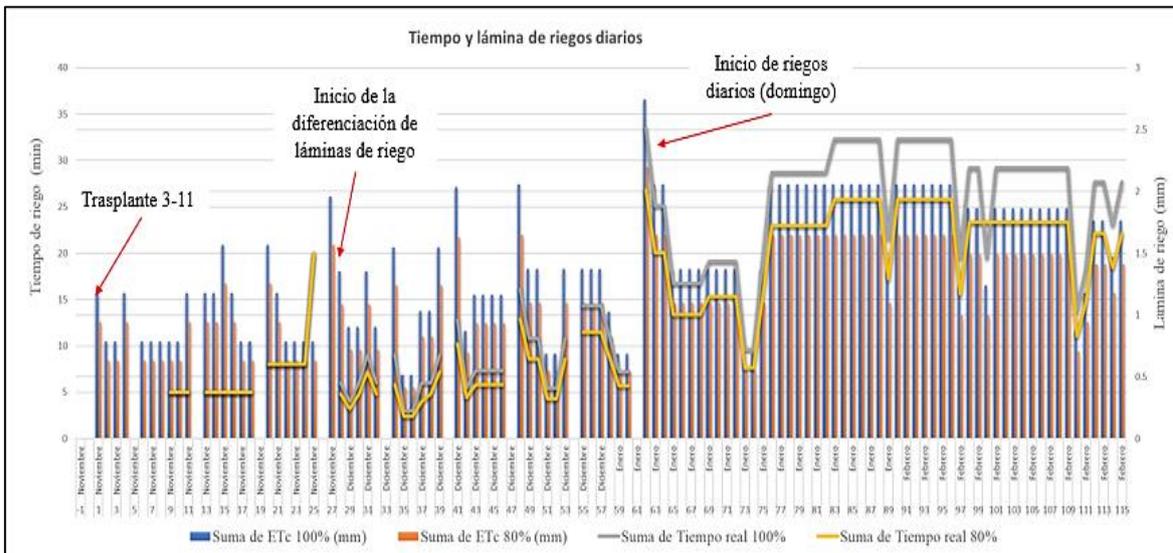


Figura 26: Tiempos y láminas de riego diarios durante todo el ciclo del cultivo

Se destaca que los valores del tiempo de riego fueron iguales hasta el día de la diferenciación y siguió la misma forma debido a las láminas L1 y L2 aplicadas diariamente.

Con respecto a los tiempos de riego, los promedios por etapa para la lámina L1 fueron de 6.6 minutos en la etapa de crecimiento vegetativo, 8.3 minutos en la etapa de floración y 26 minutos para la maduración y cosecha. Para la lámina L2, los tiempos de riego fueron de 5.3 minutos en el crecimiento, 6.7 minutos en la etapa de floración y 21 minutos en la maduración y cosecha.

En la Tabla 17, se muestra los datos de tiempo de riego y láminas de riego aplicadas por cada etapa del cultivo. Se observa que cada etapa aumentó la demanda del cultivo y se debe a que las etapas están relacionadas a los meses en las que se encuentran cada etapa. Como ejemplo se puede mencionar que la etapa de maduración fue la de mayor demanda debido a que sus días corresponden al mes de febrero en la que se tuvo mayores valores de temperatura y por ende mayor evapotranspiración.

Tabla 17: Lámina de riego y tiempo de riego por etapa fenológica

| Etapa fenológica | L1 (100% Etc) en mm | L2 (80% Etc) en mm | Tiempo de riego L1 (min) | Tiempo de riego L2 (min) |
|-------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| Crecimiento | 0.89 | 0.71 | 7.26 | 7.20 |
| Floración | 1.02 | 0.81 | 8.52 | 6.72 |
| Fructificación | 1.54 | 1.23 | 21.37 | 17.09 |
| Maduración | 1.81 | 1.45 | 28.36 | 22.93 |
| Promedio | 1.32 | 1.05 | 17.62 | 14.41 |

Se observa que el tiempo de riego fue aumentando por los riegos aplicados y por la demanda hídrica del cultivo para cada etapa fenológica. Además, la evapotranspiración total aumentó debido a los meses en que se encontró cada etapa. La etapa de crecimiento fue dada en el mes de noviembre, la floración en el mes de diciembre, la fructificación en el mes de enero y la etapa de maduración en el mes de febrero.

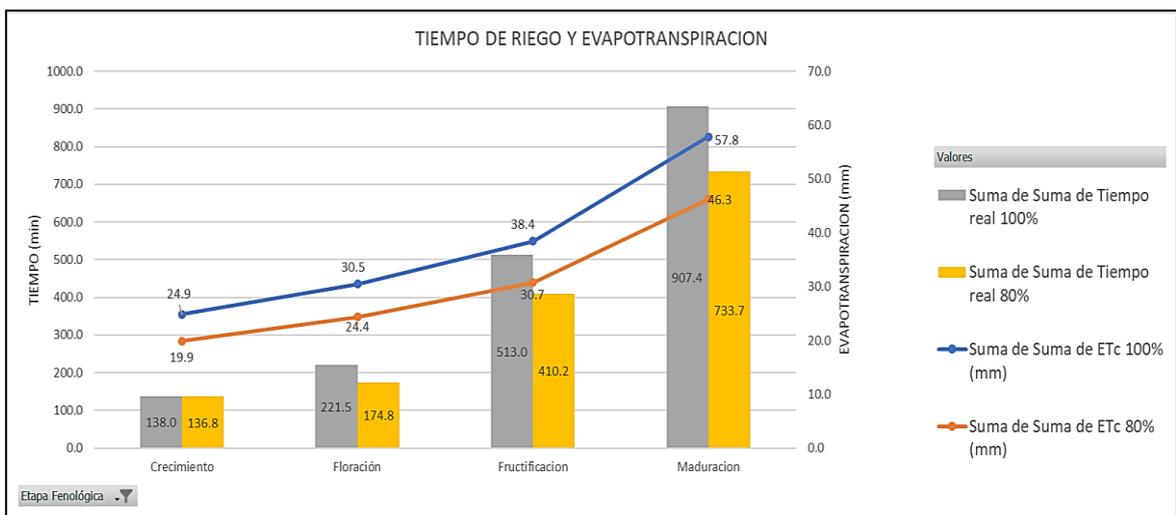


Figura 27: Tiempos y láminas de riego totales por etapa fenológica

4.4.3. Consumo de fertilizantes

En la Tabla 18, se observa el gasto de fertilizante para los factores lámina 100 % (L1) y lámina 80 % (L2). El mayor fertilizante consumido fue el nitrato de calcio llegando a consumirse 7.2 kg y el menor fue nitrato de amonio con 0.4 kg. Las cantidades de micronutrientes fue 0.13 kg porque estos elementos son requeridos en baja cantidad.

Tabla 18: Fertilizantes totales aplicados durante toda la investigación

| Nitrato de calcio (kg) | Nitrato de Potasio (kg) | Superfosfato triple (kg) | Nitrato de Amonio (kg) | Sulfato de Magnesio (kg) | Sulfato de Potasio (kg) | Fosfato monoamónico (kg) | Fosfato monopotásico (kg) | Micronutrientes La Molina (kg) | Quelato de Hierro (kg) |
|------------------------|-------------------------|--------------------------|------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------------|------------------------|
| 7.2 | 5.4 | 0.4 | 0.4 | 4.4 | 2.1 | 0.9 | 1.5 | 0.13 | 0.20 |

4.4.4. Monitoreo de humedad

La humedad volumétrica registrada con el TDR a la profundidad de 12 cm fue mayor en el tratamiento E2L1 debido a las características retentivas de humedad de la enmienda, estos resultados se observan en el Anexo 1.

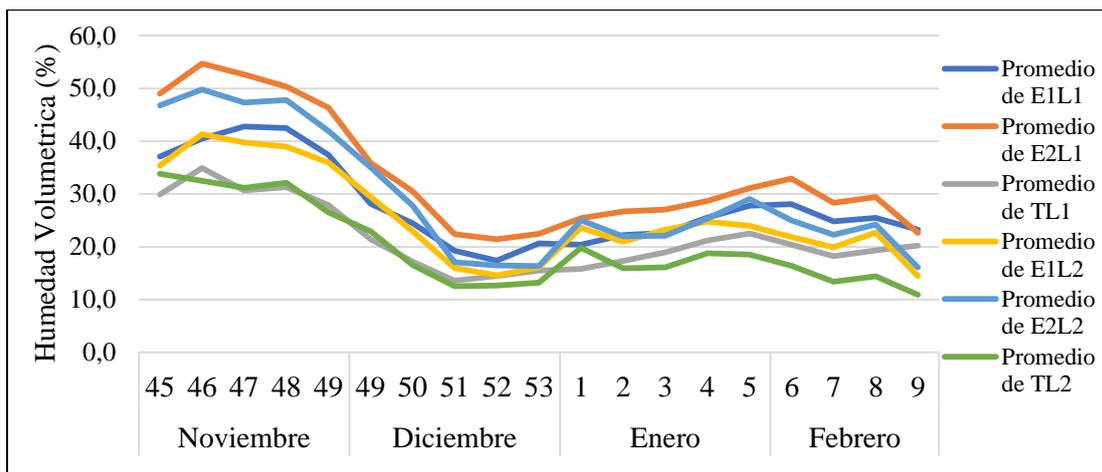


Figura 28: Valores de la humedad volumétrica a 12 cm de profundidad

El monitoreo de la humedad a 20 cm de profundidad o en el estrato de tierra preparada muestra una similitud durante el inicio de las evaluaciones y comienza a diferenciarse ligeramente desde la semana 51 de diciembre. Al final de la evaluación se puede notar que las humedades terminaron en rango de 30-35%.

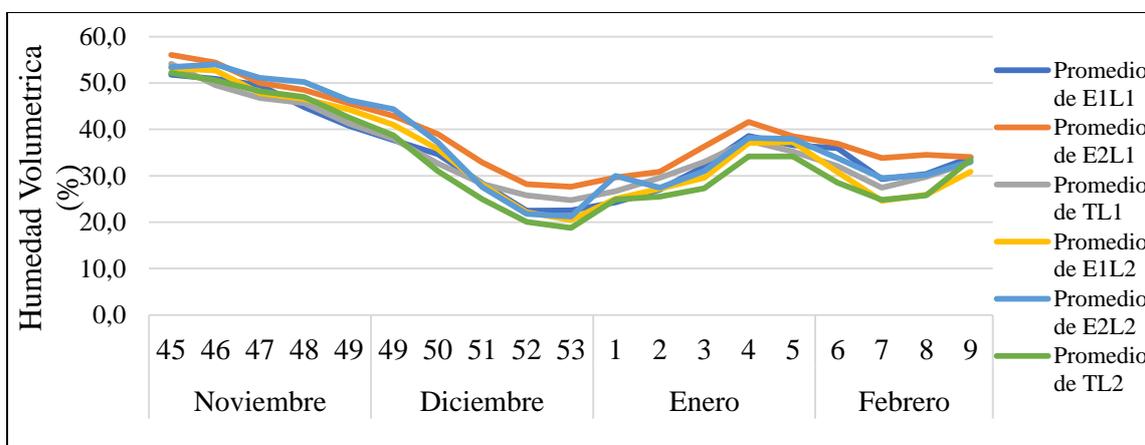


Figura 29: Valores de la humedad volumétrica a 20 cm de profundidad

4.4.5. Eficiencia de uso del agua (EUA)

La eficiencia de uso del agua fue en promedio de 18.9 kg/m³, con valores entre 21.2 y 18.1 kg/m³, valores que se asemeja a los obtenidos por (Valera et al., 2018), que obtuvo valores de 21.5 kg/m³ en el cultivo de pimiento bajo el mismo método del evaporímetro; los valores obtenidos se presentan en la Tabla 19.

Tabla 19: Uso eficiente de agua promedio por tratamiento

| TRATAMIENTO | EUA Kg/m ³ | Huella hídrica (L kg-1) |
|-----------------|-----------------------|-------------------------|
| E1L1 | 18.0 | 55.5 |
| E2L1 | 18.0 | 55.4 |
| TL1 | 18.1 | 55.1 |
| E1L2 | 20.1 | 49.7 |
| E2L2 | 21.2 | 47.2 |
| TL2 | 18.1 | 55.0 |
| Promedio | 18.9 | 53.0 |

Los valores de la huella hídrica muestran que la lámina de 100 % de la lámina de reposición o ETc, necesita más agua para producir la misma cantidad de pimiento que la lámina de reposición del 80% de la ETc. Pero, hay que mencionar que al observar los resultados del punto 4.2.2, correspondiente a la evaluación comercial. La lámina de reposición del 100% es mas rentable ya que se obtiene más frutos de mejor calidad comprando con la lámina de reposición del 80%.

4.5. EVALUACIÓN ESTADÍSTICA

4.5.1. 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 y de la interacción de factores que son los tratamientos, tal como se muestra en la Tabla 20.

Tabla 20: Comparación de medias estadísticas de las variables agronómicas

| Efecto | Rendimiento (kg m-2) | N° Frutos 1era Cat. | Peso fruto (gr) | Longitud de fruto (mm) | Diámetro de fruto (mm) |
|--------|----------------------|---------------------|-----------------|------------------------|------------------------|
| L1 | 3.4 a | 32.4 a | 207.7 a | 72.2 a | 85.6 a |
| L2 | 3.1 a | 22.4 a | 191.1 a | 70.9 a | 82.4 b |
| E1 | 3.2 a | 26.5 a | 200.4 a | 70.9 a | 84.1 a |
| E2 | 3.3 a | 28.8 a | 196.4 a | 71.8 a | 83.7 a |
| T | 3.1 a | 27.0 a | 201.5 a | 71.9 a | 84.2 a |
| E1L1 | 3.4 a | 33.0 a | 210.0 a | 70.6 a | 85.6 a |
| E2L1 | 3.4 a | 31.0 a | 197.9 a | 72.2 a | 84.5 a |
| TL1 | 3.4 a | 33.3 a | 215.4 a | 73.9 a | 86.7 a |
| E1L2 | 3.1 a | 20.0 b | 190.8 a | 71.2 a | 82.5 a |
| E2L2 | 3.3 a | 26.7 ab | 194.9 a | 71.5 a | 82.8 a |
| TL2 | 2.8 a | 20.7 b | 187.6 a | 70.0 a | 81.8 a |

Nota: Medias con letras iguales no difieren estadísticamente entre si según la prueba HSD de Tukey al 5%

Se observa que, para las variables de rendimiento, peso de fruto y longitud de fruto no hubo diferencia estadística ni para cada lámina ni para ninguna enmienda y tampoco para la interacción. Estos resultados se asemejan a las investigaciones de (León et al., 2019) que obtuvo que el rendimiento agrícola de los tratamientos 80 %, 100% y 120 % de la Evapotranspiración mostraron similitud estadística.

Además, investigaciones de (Rivera et al., 2020) sobre riego deficitario aplicado en la etapa inicial y de desarrollo del cultivo de pimiento, cuyos tratamientos fueron 70, 80, 90 y 100% y obtuvo que los pesos del fruto fueron similares en todos los tratamientos.

En cambio, los números de frutos si tuvo diferencia en la interacción de los 2 factores y la diferencia se ve en que los tratamientos de lámina 80 % con enmienda de 15 g y el testigo resultaron tener los menores números de frutos a comparación de los otros tratamientos y esta diferencia si es significativa. Para el tratamiento de lámina de 80 % con enmienda de 30 g (E1L2) no hubo diferencia con los tratamientos de la lámina L1, esto se puede apreciar en la Figura 30.

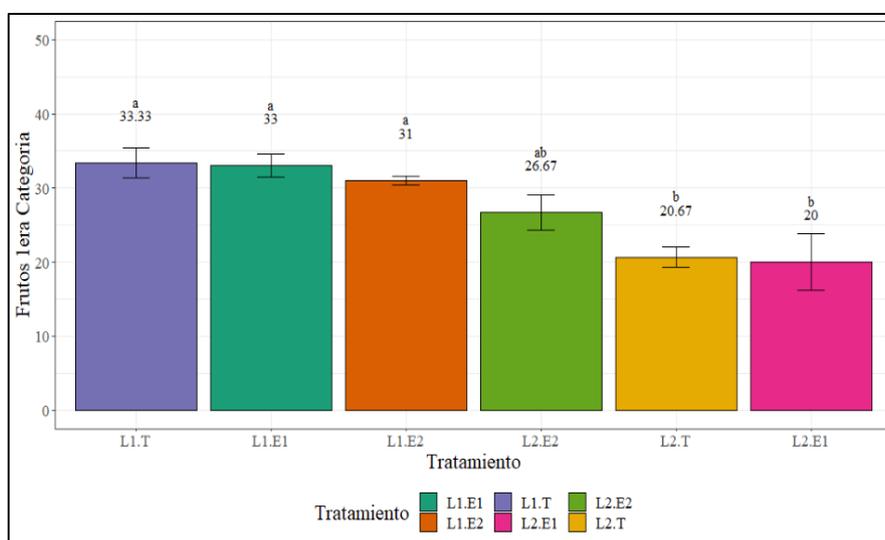


Figura 30: Comparación de medias de la variable número de frutos

De igual manera que el número de frutos, se produjo una diferencia estadística para la variable del diámetro de fruto, mostrando que los diámetros de la lámina de 100 % son ligeramente diferentes y más grandes que la lámina de 80 %. Pero evaluando entre

enmiendas y con la interacción de láminas con enmiendas, no hay diferencia estadística.

Para la variable de la conductancia estomática, como se observa en la Tabla 19, si muestra diferencia estadística con respecto a la integración de las láminas de riego y las enmiendas.

Tabla 21: Comparación de medias para la variable conductancia estomática

| Efecto | Conductancia Estomática (mmol m-2s-1) |
|---------------|--|
| L1 | 455.3 a |
| L2 | 330.4 a |
| E1 | 425.4 a |
| E2 | 413.9 a |
| T | 339.2 a |
| E1L1 | 458.6 a |
| E2L1 | 469.3 a |
| TL1 | 437.9 a |
| E1L2 | 392.3 ab |
| E2L2 | 358.4 ab |
| TL2 | 240.5 b |

Nota: Medias con letras iguales no difieren estadísticamente entre si según la prueba HSD de Tukey al 5%

Cabe mencionar que los resultados de la Tabla 19 y de la Figura 31 son respecto a la conductancia estomática medida a los 36 ddt, donde se observó una diferencia notoria de mediciones, en comparación a otros días que se evaluó estadísticamente pero no hubo diferencia estadística.

Esto nos hace ver que la conductancia al ser una variable que depende de muchos factores como el riego, humedad, conductividad, velocidad de viento, etc., esta diferencia estadística no es tan relevante para una toma de decisiones, sino que se debe procurar tener los valores mayores a 200 mmol/m²s, así como obtuvieron (Pino et al., 2019) en sus investigaciones valores de 250-400 mmol/m²s en el cultivo de olivo.

De lo comentado líneas arriba, se puede observar en la Figura 31 que hubo diferencias en la lámina de 80% siendo sus valores menores que la lámina de 100 %. Además, el valor más bajo resulto ser el testigo con la lámina de 80 % teniendo una diferencia estadística con los

otros 5 tratamientos.

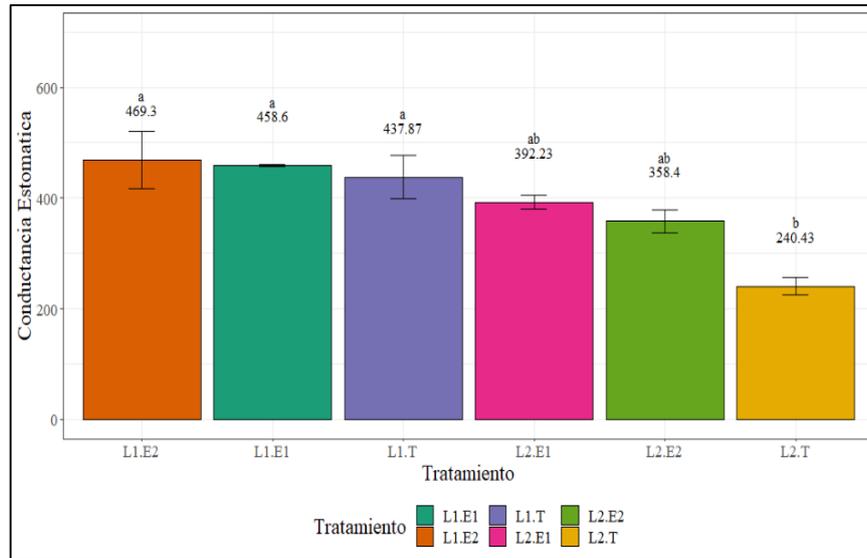


Figura 31: Comparación de medias de la variable conductancia estomática

4.5.2. Variables biométricas

Los resultados estadísticos respecto a las variables biométricas, mostraron que hubo diferencia significativa de las variables altura de planta y diámetro de tallo, como se observa en la Tabla 22.

En relación a la variable altura, se observa que hubo diferencia para el factor lámina de riego, siendo la lámina de 100 % mayor y diferente a la de 80 % para las mediciones de la altura de planta.

Con respecto a la variable diámetro de tallo, se observa diferencia en 2 efectos, el primero entre las láminas de riego y el segundo entre la interacción de los tratamientos. Además, se observa que la lámina de 100 % fue mayor al momento del riego y que los tratamientos de esta lamina fueron diferentes al tratamiento de la lámina de 80 % con el testigo.

Tabla 22: Comparación de medias de las variables biométricas

| Efecto | Altura (cm) | Diámetro tallo (mm) | Profundidad raíz (cm) | Área de raíz (%) |
|--------|-------------|---------------------|-----------------------|------------------|
| L1 | 98.2 a | 17.1 a | 32.9 a | 8.4 a |
| L2 | 95.9 b | 16.5 b | 33.3 a | 8.6 a |
| E1 | 99.1 a | 17.0 a | 33.5 a | 8.6 a |
| E2 | 95.3 a | 16.9 a | 32.2 a | 8.0 a |
| T | 96.9 a | 16.5 a | 33.6 a | 8.9 a |
| E1L1 | 98.5 a | 17.2 a | 34.0 a | 9.0 a |
| E2L1 | 97.5 a | 16.8 a | 30.8 a | 7.9 a |
| TL1 | 98.6 a | 17.2 a | 34.0 a | 8.4 a |
| E1L2 | 99.6 a | 16.8 ab | 33.1 a | 8.2 a |
| E2L2 | 93.1 a | 17.1 ab | 33.6 a | 8.1 a |
| TL2 | 95.1 a | 15.8 b | 33.3 a | 9.4 a |

Nota: Medias con letras iguales no difieren estadísticamente entre sí según la prueba HSD de Tukey al 5%

En la Figura 32, se observa la diferencia estadística de la comparación de medias de la interacción de los tratamientos de la variable diámetro de tallo y se puede ver que la lámina de 80 % con el testigo resultado de 15.8mm de grosor y el valor más bajo y diferente a los otros 5 tratamientos.

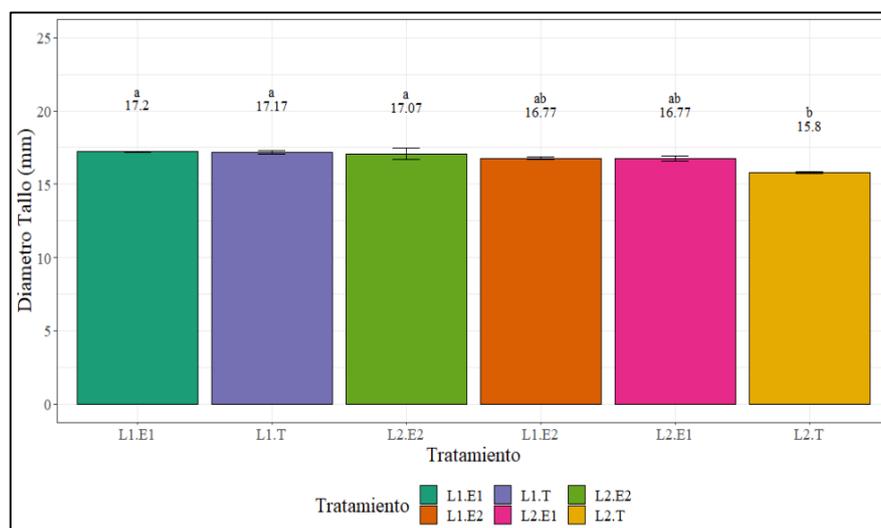


Figura 32: Comparación de medias de la variable diámetro de tallo

4.5.3. Variables de riego

En la Tabla 23, se muestra que no hay diferencias estadísticas significativas en ningún efecto de la variable del uso eficiente del agua (EUA). Esto se comprueba con los resultados del rendimiento porque se basa en la cantidad cosechada entre el volumen aplicado. Los resultados muestran que en la lámina de 80 % hay un mejor uso eficiente del agua con

respecto a la lámina de 100 %, por lo que, podríamos decir viendo sólo esta variable independiente que la lámina L2 sería mejor aplicar.

Tabla 23: Comparación de medias de la variable eficiencia de uso del agua (EUA)

| Efecto | EUA (kg m-3) |
|---------------|-------------------------|
| L1 | 18.0 a |
| L2 | 19.8 a |
| E1 | 19.0 a |
| E2 | 19.6 a |
| T | 18.1 a |
| E1L1 | 18.0 a |
| E2L1 | 18.0 a |
| TL1 | 18.1 a |
| E1L2 | 20.1 a |
| E2L2 | 21.2 a |
| TL2 | 18.1 a |

Medias con letras iguales no difieren estadísticamente entre si según la prueba HSD de Tukey al 5%

Además, se observa que, a pesar de que las láminas de riego de 100 % y 80 % resultaron de 18 y 19.8 kg/m³, sería más eficiente aplicar un riego con lámina de 100 % por lo comentado en el punto 4.5.1 en los frutos de primera categoría. Todos los valores tanto del factor lamina y factor enmienda muestran que el uso eficiente de agua es similar y mayor a los mencionados por (Fernández et al., 2012) que señala que, para un pimiento bajo invernadero, el valor de EUA es 16.9 kg/m³ para el periodo de otoño-invierno.

V. CONCLUSIONES

- Se concluye que el desarrollo del cultivo de pimiento se vio influenciado por las láminas de riego y por las dosis de enmienda aplicada, tanto para variables agronómicas como para variables biométricas.
- Para el factor de lámina de riego, se concluye que la lámina de 100 % ETc ó lámina de reposición con un valor de 1.32 mm en promedio durante el ciclo del cultivo, es relativamente más eficiente que una lámina de 80 % Etc con 1.05 mm, ya que se obtuvo diferencias en variables como frutos de mejor calidad, altura y diámetro de tallo. Con respecto a los tiempos de riego, se observa que el tiempo promedio fue de 17.62 y 14.41 minutos para las láminas de 100 % y 80 % en todo el ciclo del cultivo.
- Se concluye que, para la eficiencia de uso del agua (EUA), no se encontró diferencia estadística entre tratamiento, cabe destacar que el tratamiento de dosis de 30 g y lámina de 80 % ETc fue el que mayor EUA se obtuvo ($21.2 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$). En relación a la huella hídrica, se obtuvo que en la lámina de 100 % de la lámina de reposición, se requiere 55,3 litros y en la lámina de 80 % ETc ó lámina de reposición se requiere 50.6 litros para producir un kilo de pimiento a condiciones de invernadero y manejo aplicada en esta investigación.
- El contenido de humedad se vio afectado por las dosis de enmienda y resultó mayor en los tratamientos con dosis de 30 g de enmienda tanto para la profundidad de 12 cm como para la profundidad de 20 cm en el enarenado. A pesar de la diferencia del contenido de humedad, la variable del uso eficiente del agua no se obtuvo diferencias entre ningún tratamiento.

- El rendimiento no se vio afectado por las láminas ni dosis de enmienda para ninguno de los tratamientos. Cabe mencionar que a pesar que no se obtuvo diferencia estadística bajo el diseño de parcelas divididas (DPD), los tratamientos con la dosis de 30 g de enmienda presentaron los mayores rendimientos.
- Las láminas de 100 % ETc y 80 % ETc, no tuvieron diferencias estadísticas en la variable de número de frutos de primera categoría, produciéndose en los tratamientos de la lámina de 100 %, una cantidad de 32.4 frutos y en la lámina de 80 %, 22.4 frutos en promedio. En lo que si hubo diferencia estadística fue en los tratamientos E1L2 y TL2 que resultaron diferentes y menores a los otros tratamientos. Además, desde el punto de vista comercial, con la lámina de 100 % se puede obtener una mayor cantidad de frutos de mejor calidad a comparación de la lámina de 80 %.
- Con respecto a las características del fruto, el peso ni la longitud del fruto fueron afectadas por los factores evaluados. En cambio, el diámetro de fruto si se vio afectado por las láminas de riego, obteniéndose en la lámina de 100 % ETc un diámetro de 85.6 mm y este fue mayor a la lámina de 80 % ETc en la que el diámetro fue 82.4 mm.
- La conductancia estomática presento diferencia estadística en el tratamiento TL2 (testigo-sin enmienda y lámina de 80% ETc), que fue menor y diferente con los demás tratamientos. Con este resultado se concluye que la conductancia es un valor que depende de la cantidad de agua suministrada en el Fertirriego.
- Para las variables biométricas como la altura de planta y diámetro de tallo, se concluye que estas variables fueron influenciadas por las láminas de riego, observándose que en la lámina de 100 % ETc, se obtuvo los mayores resultados. Además, para el diámetro de fruto se observó diferencia estadística entre el TL2 (testigo y lamina 80 % ETc) con los demás tratamientos. Para la variable de la profundidad y área de raíz, se puede que concluir que estas variables no se vieron afectadas de manera diferente por las láminas de riego ni por las dosis de la enmienda aplicada.

VI. RECOMENDACIONES

1. Evaluar diferentes métodos de riego (balance hídrico, tensiómetros, PENMAN-MONTEITH, etc.), para el cultivar Jessica con el uso del sustrato enarenado.
2. Evaluar otros niveles del riego deficitario controlado (RDC), como por ejemplo del 60 % y 70 % de la lámina de reposición., con respecto al 100% de la lámina de reposición y comparando con frecuencias de riego diarias ó interdiarias.
3. Evaluar diferentes tipos de sustrato (turba, fibra de coco y arena) con diferentes frecuencias de riego para el cultivar Jessica.
4. Evaluar una dosis más alta del polímero utilizado como por ejemplo 0; 30 y 60 g por cada kilo de un sustrato a base de arena, evaluando el costo vs producción del uso del polímero.
5. Evaluar una separación de hileras de 1 metro, ya que al tener un espaciamiento de 0.8 m, se hace más dificultoso las mediciones de variables y las aplicaciones de agroquímicos vía foliar. Además, con la separación de 0.8 m, se rozaba la planta y por ende se quebraba los tallos o se desprendían los frutos.
6. Evaluar los parámetros de conductividad eléctrica y pH en la solución del sustrato y en la solución drenaje para el sustrato de tipo enarenado aplicando diferentes porcentajes de drenaje y evaluar el comportamiento fisiológico del cultivar.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- ADEX. (2018). Lambayeque se consolida como región líder en producción de *capsicum*. Recuperado de <https://www.adexperu.org.pe/notadeprensa/lambayeque-se-consolida-como-region-lider-en-produccion-de-capsicum/>
- Agrando. (s.f.). Ficha técnica “Agrando Retención de Humedad”. Soluciones para la agricultura. Recuperado de <https://agrando.com.pe/wp-content/uploads/2020/03/HT-agrando-retencion-de-humedad.pdf>
- Agroequipos Del Valle. (2018). Los sustratos agrícolas y sus propiedades. Recuperado de <http://www.agroequipos.com.mx/index.php/node/1687>
- Ahmed, E. (2017). Hydrogel: Preparation, characterization, and applications: A review, *Journal of Advanced Research*, Volume 6, Issue 2, Pages 105-121, ISSN 2090-1232, <https://doi.org/10.1016/j.jare.2013.07.006>.
- Akelah, A. (1990). Applications of functionalized polymers in agriculture. *Medical Journal of Islamic World Academy of Sciences*, 3(1), 49-61. Recuperado de https://www.journalagent.com/ias/pdfs/IAS_3_1_49_61.pdf
- 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.
- Ansorena Miner, J. (1994). Sustratos: Propiedades y caracterización. In *Fundamentos de nutrición*. España: Ediciones Mundiempresa. Pp. 73 -105.

- Azzam, R.A.I. (1983). Polymeric conditioner gels for desert soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 14, 739–760.
- Berríos, M.E.; Arredondo, C. y Tjalling, H. (2007). Guía de manejo de nutrición vegetal de especialidad: Pimiento. SQM. México, D.F. 103 p. Recuperado de http://www.sqm.com/PDF/SPN/CropKits/SQM-Crop_Kit_Pepper_L-ES.pdf
- Chirinos Gabriel, L. (2017). Ficha técnica de producto: MALLKI Tierra preparada. Recuperado de <https://mallki.pe/upload/productos/archivos/ficha%20tecnica%20tierra%20preparada-20180123.pdf>
- Dalmasso J. (2016). Influencia del déficit hídrico en diferentes etapas fenológicas sobre el rendimiento y calidad del zapallo cucurbita moschata duch. cv. cokena inta (Tesis de maestría). Repositorio institucional INTA. Recuperado de <http://hdl.handle.net/20.500.12123/5198>
- De Mendiburu, F. (2020). *Agricolae: Statistical Procedures for Agricultural Research*. R package version 1.3-3. URL: <https://CRAN.R-project.org/package=agricolae>
- Decagon Devices, Inc. (2017). Manual de Usuario. Recuperado de https://storage.by.prom.st/190712_rukovodstvo_po_ekspluatatsii_sc_1.pdf
- El-Shafei, Y.Z.; Al-Darby, A.M.; Shalaby, A.A.; Al-Omran, A.M. (1994). Impact of a highly swelling gel-forming conditioner (Acryhope) upon water movement in uniform sandy soils. *Arid Soil Research and Rehabilitation* 8, 33–50.
- Emileh, A.; Vasheghani-Farahani, E.; Imani, M. (2007). Swelling behavior, mechanical properties and network parameters of pH-and temperature-sensitive hydrogels of poly ((2-dimethyl amino) ethyl methacrylate-co-butyl methacrylate). *European Polymer Journal*, 43(5), 1986-1995.

English, M. & Raja, S.N. (1996). Perspectives on deficit irrigation. *Agricultural Water Management*, Elsevier, vol. 32(1), pages 1-14, November.

Etapas del crecimiento de la planta de Pimiento annuum. (s.f.). [Figura]. Dreamstime.
<https://es.dreamstime.com/etapas-del-crecimiento-de-la-planta-paprika-ilustraci%C3%B3n-vector-pimiento-annuum-ciclo-vida-pimienta-dulce-en-el-fondo-blanco-image141349059>

Fernández Cirelli, A. y Abraham, E. (2002). El agua en Iberoamérica. De la escasez a la desertificación. CYTED XVII Aprovechamiento y Gestión de Recursos Hídricos. Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el desarrollo. ISBN 987-43-5080-6.

Fernández, M.D.; Thompson, R.B.; Bonachela, S.; Gallardo, M.; Granados, M.R. (2012). Uso del agua de riego en los cultivos de invernadero. Cuaderno de estudios agroalimentarios (CEA03). Fundación Cajamar y Universidad de Almería. 120 pp.

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

Ganji, F.; Vasheghani, F.S.; Vasheghani, F. (2010). Theoretical description of hydrogel swelling: a review. *Iranian Polymer Journal*. 19 (5), 2010, 375-398.

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.

Gómez Tunque, G. (2021). Efecto de dos enmiendas retentivas de humedad con dos

frecuencias en riego por goteo para el cultivo Pimiento en invernadero [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Recuperado de <https://hdl.handle.net/20.500.12996/5098>

González-Dugo, V.; Orgaz, F.; Fereres, E. (2007). Responses of pepper to deficit irrigation for paprika production, *Scientia Horticulturae*, Volume 114, Issue 2, Pages 77-82, ISSN 0304-4238, <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2007.05.014>.

Greenapps&web. (2015). Calcula el porcentaje de cubierta vegetal con Canopeo. Recuperado de <https://www.greenappsandweb.com/android/calcula-el-porcentaje-de-cubierta-vegetal-con-canopeo/>

Guzmán P. y López J. (2004). Ferti-riego: 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>

HORTUS, (s.f.). PIMIENTO JESSICA F1 SOBRE. Recuperado de <https://hortus.com.pe/detalle-producto/fungicidas/pimiento-jessica-f1-sobre>

Instituto Peruano del Espárrago y Hortalizas (IPEH). (2006). Manual del Cultivo de Páprika (*Capsicum annuum L.*). Lima - Perú. Recuperado de <https://www.ipeh.org.pe/proyectos-innovate-fidecom/>

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

James, E.; Richards, D. (1986). The influence of iron source on the water-holding properties of potting media amended with water-absorbing polymers. *Scientia Horticulturae*,

28(3), 201-208.

Joya, C. (2019). Enmiendas retentivas de humedad en el cultivo de acelga (*Beta vulgaris* var. *Cycla*) cv. Fordhook Giant. Repositorio de la UNALM. Recuperado de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/4095>

Lazo Pérez, C.J. (2006). Tecnología para el Riego. Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica CONCYTEC. Lima, Perú. 235 pp.

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.

León, A.; Arzube, M.; Orrala, N.; Drouet, A. (2019). Efecto del riego deficitario controlado en el cultivo de pimiento (*Capsicum annuum*.) utilizando la tina de evaporación clase a, en río verde, Santa Elena, Ecuador. *Revista Ciencia e Investigación*, vol. 5 N°1 enero-marzo 2020E-ISSN:2628-8083. Recuperado de <https://revistas.utb.edu.ec/index.php/sr/article/view/765/606>.

Llamas, J. (1987). Risk of Drought and Future Water requirements on a Regional Scale. *Water Resource Development*, vol. 3, N° 4, 260-265, DOI: 10.1080/07900628708722359

López, J. y Naredo, J. (1996). Sistemas de producción e incidencia ambiental del cultivo en suelo enarenado y en sustratos. Editorial Visor. ISBN: 84-7774-976-0

Mamani Condori, W. (2015). Riego deficitario en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el municipio de Achacachi La Paz [Tesis de pregrado, Universidad Mayor de San Andrés]. Recuperado de <http://hdl.handle.net/123456789/5835>

Manson, J. (1990). Comercial hydroponics. In vegetable crops. (1ª ed.). Hong Kong. Colorcraft Ltd. 170 p.

Martínez Caldevilla, E.; García Lozano, M. (1993). Cultivos sin suelo: Hortalizas en clima mediterráneo. En Sustratos. Ediciones de Horticultura, S. L. Reus. España. pp. 19-40.

Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI). (2020). Boletín estadístico mensual “El agro en cifras”. Recuperado de http://siea.minagri.gob.pe/siea/sites/default/files/boletin-estadistico-mensual-el-agro-en-cifras-dic19-130220_0.pdf

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MINAMBIENTE). (2020). Administración del recurso hídrico. Recuperado de <https://www.minambiente.gov.co/index.php/gestion-integral-del-recurso-hidrico/administracion-del-recurso-hidrico/demanda/uso-eficiente-y-ahorro-de-agua#gu%C3%ADa>

Montero, S. (2004). Evaluación de seis estructuras de producción hidropónica diversificada en el Trópico húmedo de Costa Rica. Trabajo de graduación. Guácimo. Limón, Costa Rica. EARTH. 60 pp.

Montoya, P. (2017). Ficha técnica de producto: MALLKI mejorador de suelos. Recuperado de <https://mallki.pe/upload/productos/archivos/ficha%20tecnica%20mallki%20mejorador%20de%20suelos-20180123.pdf>

Nicho, P. y Malásquez, P. (1995). Cultivo de ají escabeche en el valle de Chancay-Huaral. Lima, Perú: Instituto Nacional de Investigación Agraria, INIA. 20 p.

Nicho, P. y Valencia, A. (2009). Manejo técnico del cultivo de ají páprika. Instituto Nacional de Investigación Agraria, INIA. 64 pp. Recuperado de <http://repositorio.inia.gob.pe/handle/inia/748>

Nuez, F.; Gil, R. y Costa, J. (1996). El cultivo de Pimientos, chiles y ajíes. Madrid, España: Ediciones Mundi-Prensa. 607 p. ISBN: 8471146096, 9788471146090.

ONU-DAES (Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas). (2020). Gestión de Recursos Hídricos. Recuperado de <https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/iwrm.shtml>

Pask, A.J.D.; Pietragalla, J.; Mullan, D.M.; Chávez-Dulanto, P.N. y Reynolds, M.P. (Eds.) (2013). Fitomejoramiento Fisiológico II: Una Guía de Campo para la Caracterización Fenotípica de Trigo. México, D.F.: CIMMYT

Pino, E.; Montalván, I.; Vera, A. & Ramos, L. (2019). La conductancia estomática y su relación con la temperatura foliar y humedad del suelo en el cultivo del olivo (*Olea europaea* L.), en periodo de maduración de frutos, en zonas áridas. La Yarada, Tacna, Perú. *Idesia* (Arica), 37(4), 55-64. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292019000400055>

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.

R Core Team. (2020). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL: <https://www.R-project.org/>.

Ramírez de la Rocha, S. (2002). Hidroponía: Agricultura y bienestar. Universidad Autónoma de Chihuahua. Chihuahua, Mexico. Recuperado de www.hidroponia.org.mx

Resh, H.M. (1997). Cultivos hidropónicos: nuevas técnicas de producción. Trad. Carlos, de J. (4º ed.). Madrid, España: Ediciones Mundi-empresa. 509 pp.

Reyes, M.; Gomez, I. y Espinoza, C. (2017). Tablas Peruanas de composición de alimentos. Instituto Nacional de Salud – Centro Nutricional de Alimentación y Nutrición, Perú. Recuperado de

<https://repositorio.ins.gob.pe/xmlui/bitstream/handle/INS/1034/tablas-peruanas-QR.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

Rivera Fernández, R.; Moreira Saltos, J.; Moreira Muñoz, C. & Cevallos Rivera, J. (2020). Respuesta del cultivo de pimiento (*Capsicum annuum* L) al riego deficitario en la etapa inicial y de desarrollo en un suelo franco. Revista ESPAMCIENCIA ISSN 1390-8103, 11(2), 88 - 94. https://doi.org/10.51260/revista_espamciencia.v11i2.210

Rivera, R.; Moreira, J.; Moreira, C.; Cevallos, J. (2020). Respuesta del cultivo de *Capsicum annuum*. Al riego deficitario etapa inicial y de desarrollo. Revista ESPAMCIENCIA 11(2):88-94. Recuperado de http://espamciencia.espam.edu.ec/index.php/Revista_ESPAMCIENCIA/article/view/210/226

Rodríguez Padrón, R.A.; Rázuri Ramírez, L.; Swarowsky, A. & Rosales Daboín, J. (2014). Efecto del riego deficitario y diferentes frecuencias en la producción del cultivo de pimentón. Interciencia, 39(8),591-596. ISSN: 0378-1844. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33931820009>

Rodríguez, A. & Chang, M. (2011). Soluciones nutritivas en hidroponía (Centro de investigación de Hidroponía y Nutrición Mineral ed., Vol. 1). Mekanobooks.

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

Suárez-Salazar, J.C.; Duran-Bautista, E.H.; Rojas-Castillo, J.A. & Ortiz-Cifuentes, N. (2017). Pigmentos fotosintéticos y conductancia estomática en ecotipos de copoazú (*Theobroma grandiflorum* Willd. Ex. Spreng K. Schum.). Agronomía Mesoamericana, 28(1), 199-206. <https://dx.doi.org/10.15517/am.v28i1.20814>

- Tecnologies Spectrum. (2021). Catálogo 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 water 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.
- Urquijo, J. (2015, 13 octubre). Calcula el porcentaje de cubierta vegetal con Canopeo. Greenapps&web. Recuperado de <https://www.greenappsandweb.com/android/calcula-el-porcentaje-de-cubierta-vegetal-con-canopeo/>
- Valera, C. (2013). Programación y Manejo del Riego Localizado, en el cultivo de pimentón (*Capsicum annuum* L.) mediante tres métodos de estimación de la evapotranspiración en condiciones de invernadero, Santa Rosa, Mérida, Venezuela. Tesis de Maestría. Centro Interamericano de Desarrollo Ambiental y Territorial (CIDIAT). Mérida, Venezuela.
- Valera, C.; Razuri Ramirez, L.; Daboín, J.; Jaimez, R.; Jaime, S. & Mora, A. (2018). Programación y manejo del riego localizado en invernadero mediante tres métodos de estimación de la evapotranspiración en el cultivo de pimentón (*capsicum annuum* l.). *Revista Agricultura Andina*. 20. 39-52.

- Vundavalli, R.; Vundavalli, S.; Nakka, M.; Rao, D.S. (2015). Biodegradable Nano-Hydrogels in Agricultural Farming - Alternative Source For Water Resources. *Procedia Materials Science*, Volume 10. Pages 548-554, ISSN 2211-8128. <https://doi.org/10.1016/j.mspro.2015.06.005>.
- Wang, Y.T.; Gregg, L.L. (1989). Uniconazole affects vegetative growth, flowering, and stem anatomy of hibiscus. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 114 (6), 927-932.
- Woodhouse, J.; Johnson, M. (1991). Effect of superabsorbent polymers on survival and growth of crop seedlings. *Agricultural water management*, 20(1), 63-70.
- 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, M.; Bañon, S.; Cabrera, P. (1992). El pimiento para pimentón. Madrid. España: Ed. Mundi Prensa. pp. 30- 42.

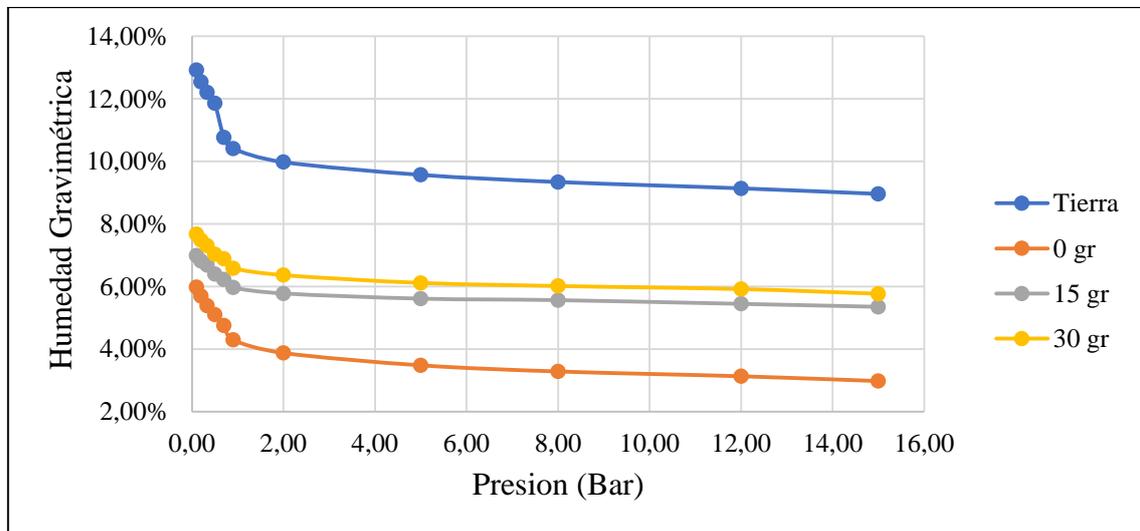
VIII. ANEXOS

Anexo 1: Curva de retención de humedad

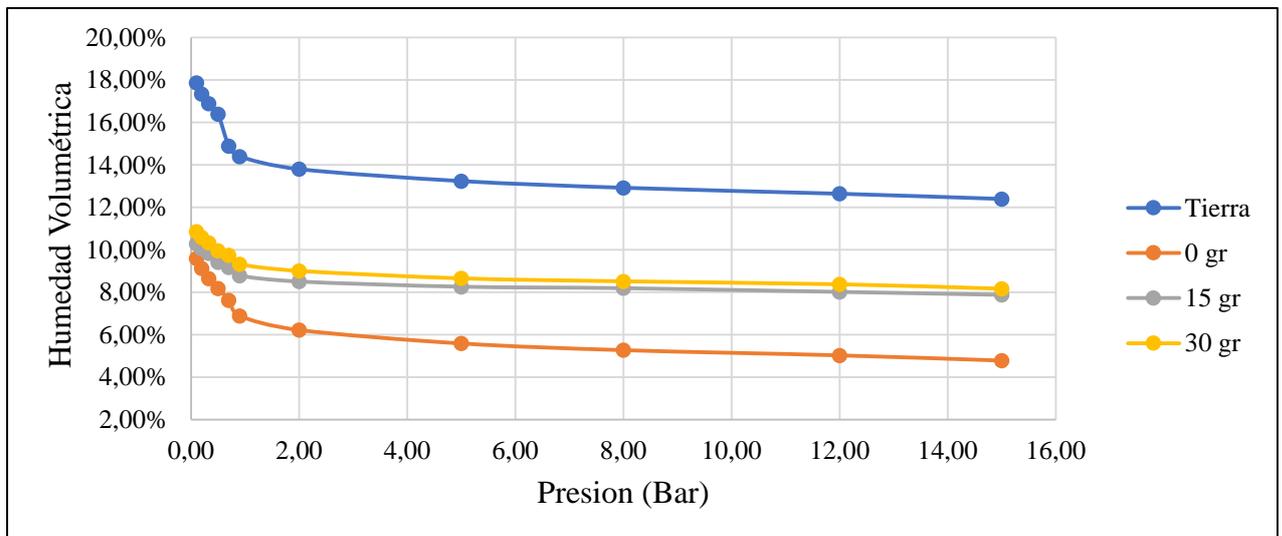
Resultados del cálculo de la densidad aparente de los estratos evaluados

| Muestra | D aparente (gr cm ⁻³) |
|--------------------|-----------------------------------|
| Tierra | 1.38 |
| Arena + dosis 0gr | 1.60 |
| Arena + dosis 15gr | 1.48 |
| Arena + dosis 30gr | 1.41 |

Curva de humedad gravimétrica de los estratos evaluados



Curva de humedad volumétrica de los estratos evaluados

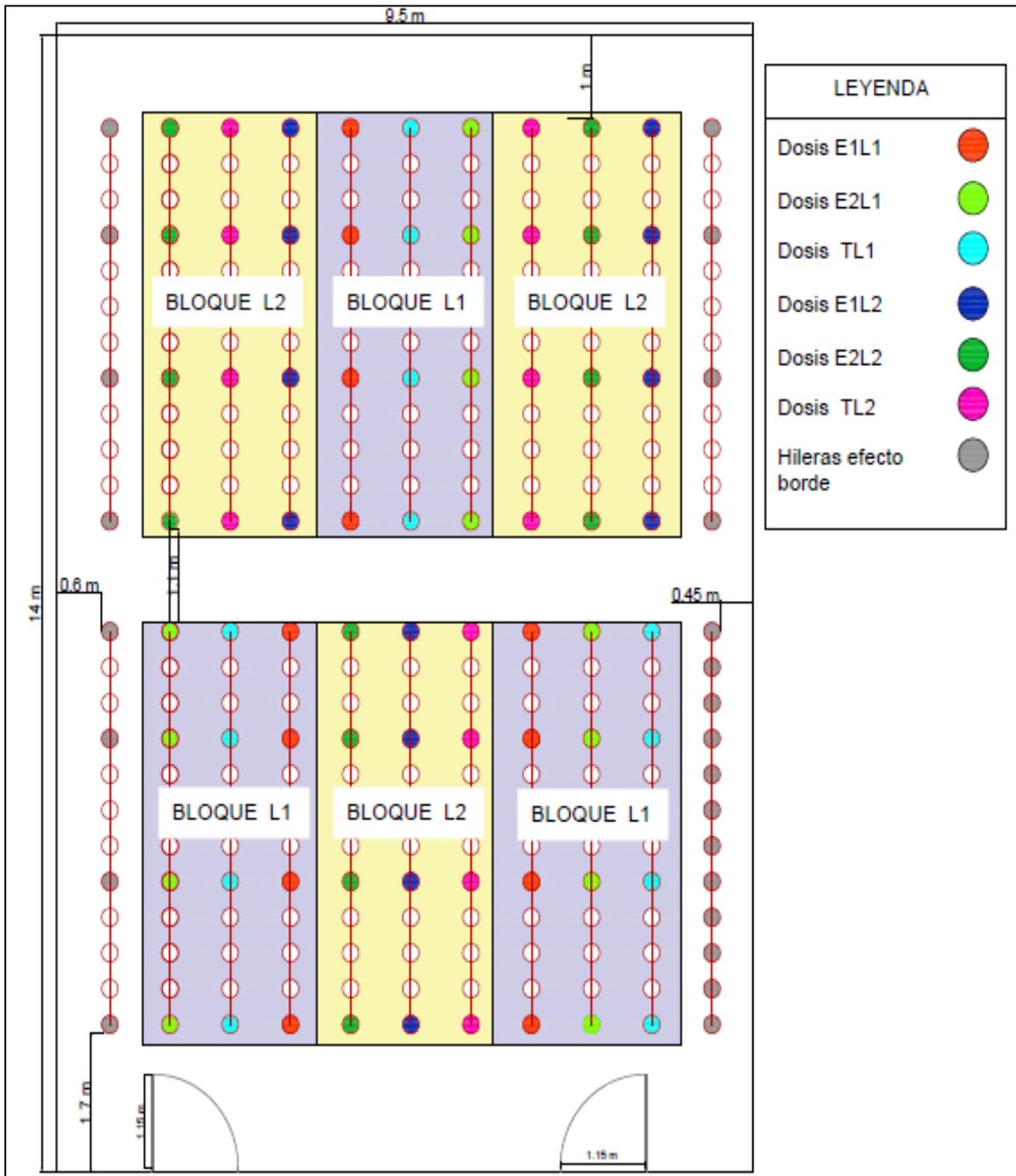


Anexo 2: Cronograma de aplicación

Aplicaciones químicas y orgánicas realizadas durante todo el ciclo del cultivo:

| FECHA | DDT | PRODUCTO APLICADO |
|--------------|------------|--|
| 5/11/2020 | 2 | Insecticida AripHYll (1.5 cc/L) + Grow more (10 gr/L) + Adherente (15ml/20L) |
| 26/11/2020 | 23 | Insecticida AripHYll (1.5 cc/L) + Grow more (10 gr/L) + Adherente (15ml/20L) |
| 7/12/2020 | 34 | Insecticida biológico Bacillus Turigensis (25gr/L) + Adherente (15ml/20L) |
| 16/12/2020 | 43 | Insecticida biológico Bacillus Turigensis (25gr/L) + Adherente (15ml/20L) |
| 18/12/2020 | 45 | Fungicida biologico Trichoderma 5ml/L, via riego |
| 28/12/2020 | 55 | Insecticida biológico Bacillus Turigensis (25gr/L) + Adherente (15ml/20L) |
| 30/12/2020 | 57 | Fungicida biologico Trichoderma 5ml/L, via riego |
| 5/01/2021 | 63 | Acaricida Acarstin 0.6 ml/L + Adherente (15ml/20L) |
| 8/01/2021 | 66 | Acaricida Hercules 7ml/20L + Adherente (15ml/20L) |
| 14/01/2021 | 72 | Insecticida AripHYll (1.5 cc/L) + Grow more (10 gr/L) + Adherente (15ml/20L) |
| 19/01/2021 | 77 | Insecticida biológico Bacillus Turigensis (25gr/L) + Adherente (15ml/20L) |

Anexo 3: Croquis de la distribución de tratamientos



Anexo 4: Análisis de varianza para el factor Rendimiento

Análisis de varianza para el factor rendimiento con Parcelas divididas (Split plot)

```

ANALYSIS SPLIT PLOT: rdto
Class level information

Lam      : L1 L2
Enm      : E1 T E2
bloque   : I II III

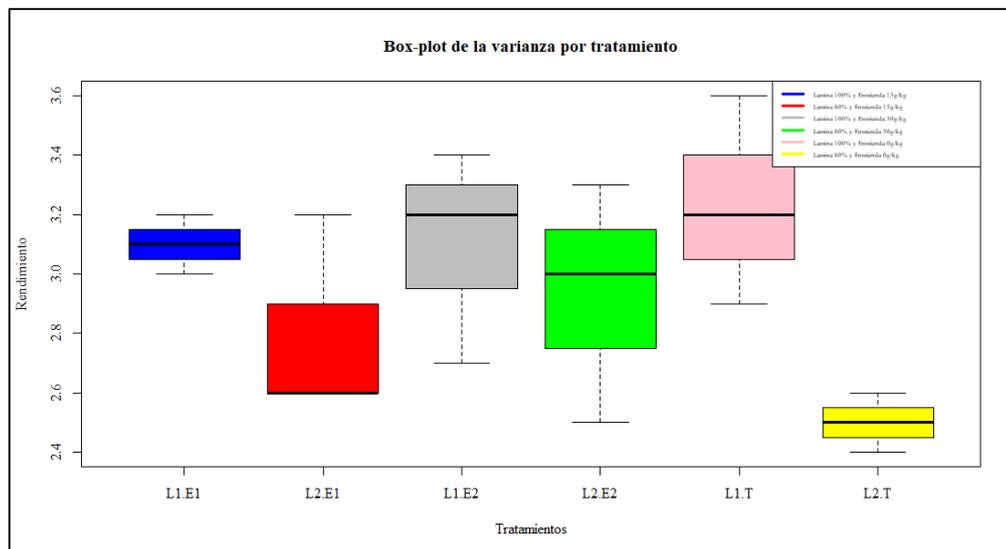
Number of observations: 18

Analysis of Variance Table

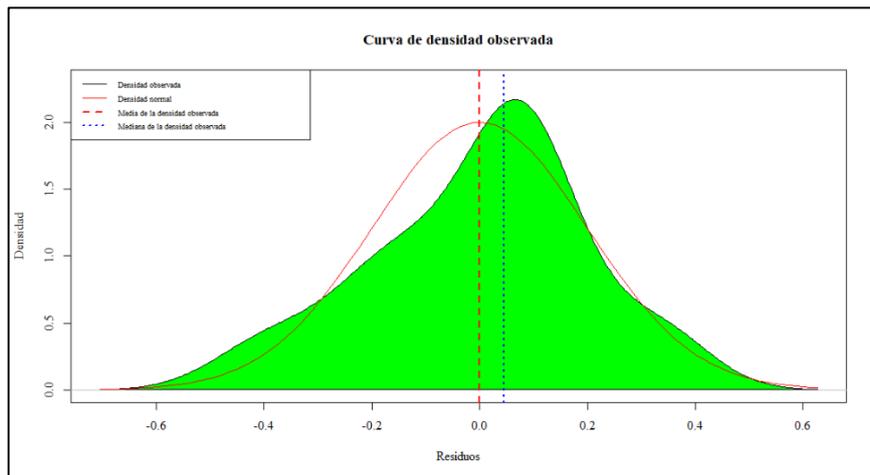
Response: rdto
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
bloque  2  0.19444  0.09722   0.7991 0.5558
Lam     1  0.72000  0.72000   5.9178 0.1355
Ea      2  0.24333  0.12167
Enm     2  0.06778  0.03389   0.4013 0.6822
Lam:Enm 2  0.26333  0.13167   1.5592 0.2680
Eb      8  0.67556  0.08444

cv(a) = 11.8 %, cv(b) = 9.9 %, Mean = 2.944444
    
```

Box-plot de la variable rendimiento para todos los tratamientos



Curva de densidad de residuos para la variable rendimiento



Distribución de residuos del factor rendimiento

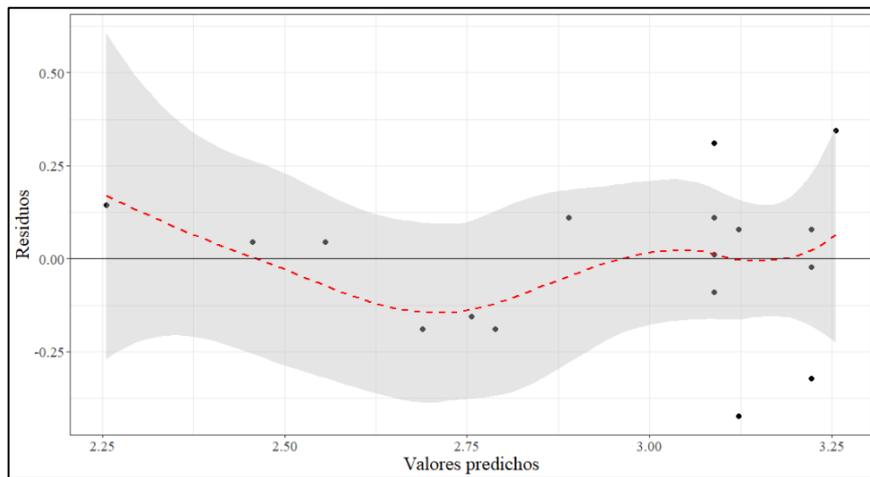
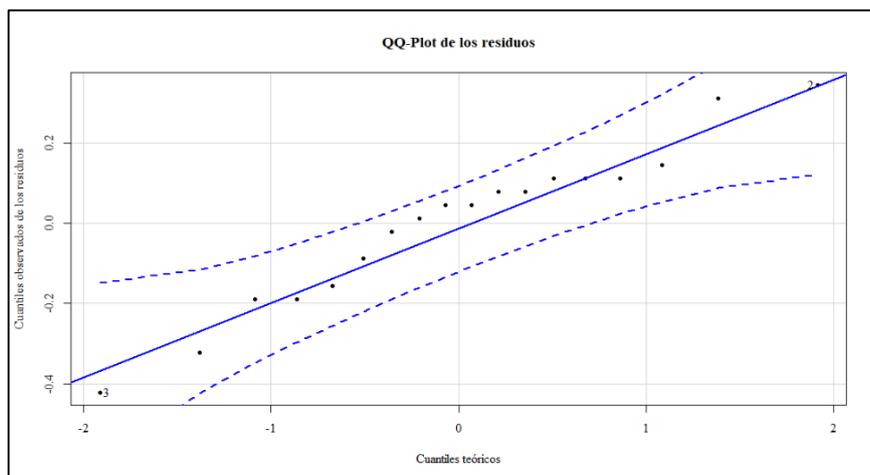


Gráfico Cuantil-Cuantil del factor rendimiento



Anexo 5: Análisis de varianza para la altura de planta

Análisis de varianza para el factor altura de planta con Parcelas divididas (Split plot)

```

ANALYSIS SPLIT PLOT: altura
Class level information

Lam      :  L1 L2
Enm      :  E1 T E2
bloque   :  I II III

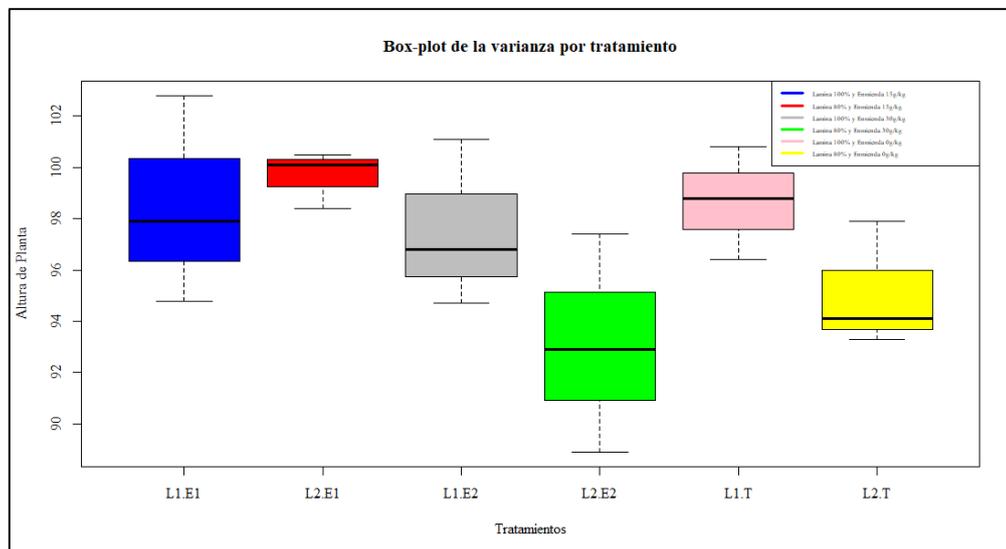
Number of observations:  18

Analysis of Variance Table

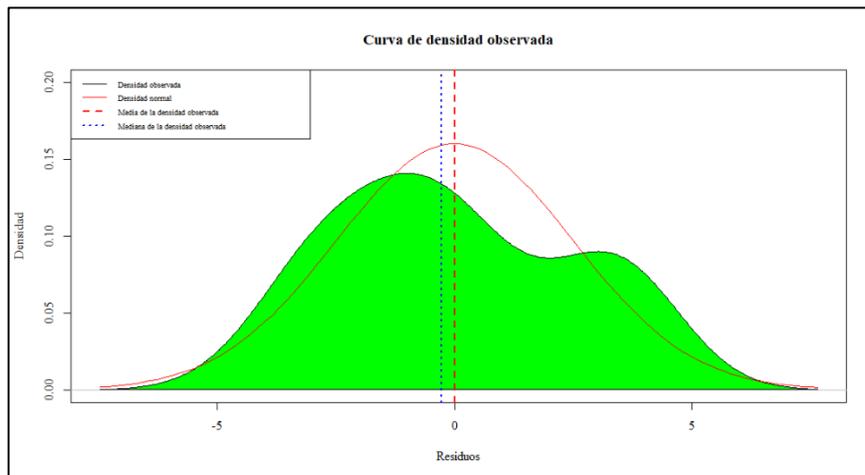
Response: altura
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
bloque  2   6.421   3.2106   2.9530 0.25297
Lam     1  23.576  23.5756  21.6842 0.04315 *
Ea      2   2.174   1.0872
Enm     2  43.321  21.6606   1.6398 0.25303
Lam:Enm 2  27.474  13.7372   1.0400 0.39675
Eb      8 105.671  13.2089
---
Signif. codes:  0 '****' 0.001 '***' 0.01 '**' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

cv(a) = 1.1 %, cv(b) = 3.7 %, Mean = 97.08889
    
```

Box-plot de la variable altura de planta para todos los tratamientos



Curva de densidad de residuos para la variable altura de planta



Distribución de residuos del factor altura de planta

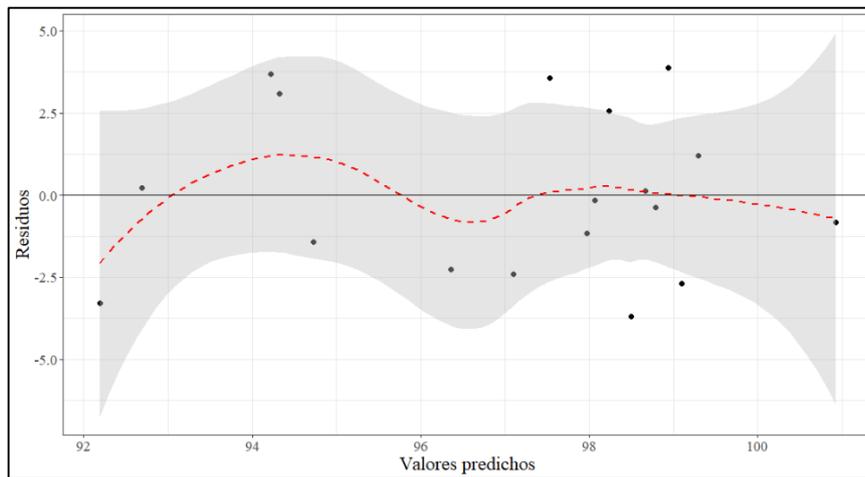
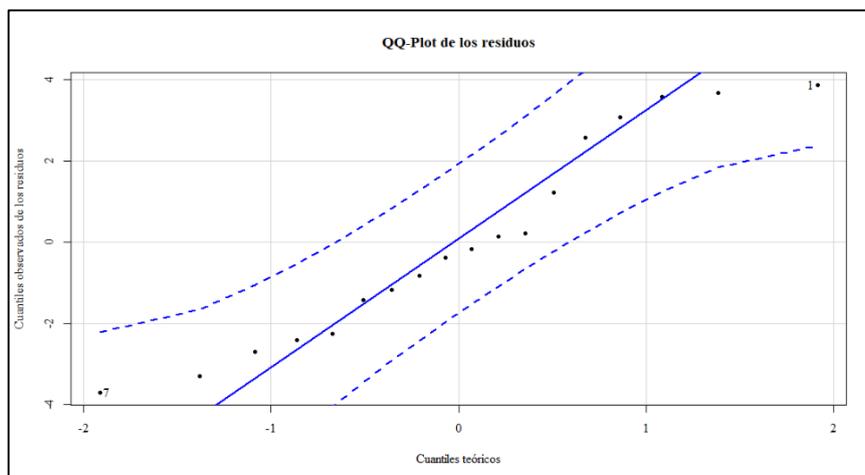


Gráfico Cuantil-Cuantil del factor altura de planta



Anexo 6: Análisis de varianza para el diámetro de tallo

Análisis de varianza para el factor diámetro de tallo con Parcelas divididas (Split plot)

```

ANALYSIS SPLIT PLOT: diam_tallo
Class level information

Lam      : L1 L2
Enm      : E1 T E2
bloque   : I II III

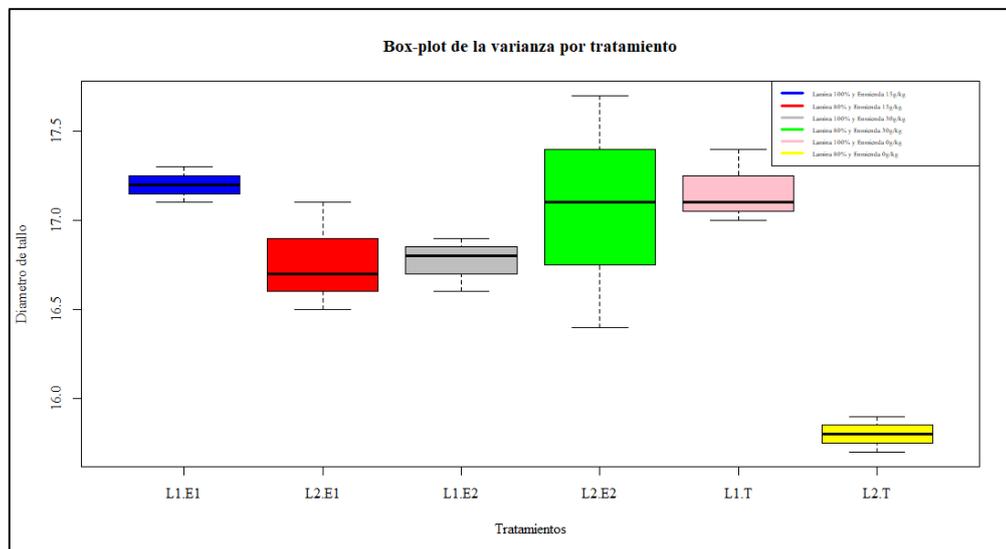
Number of observations: 18

Analysis of Variance Table

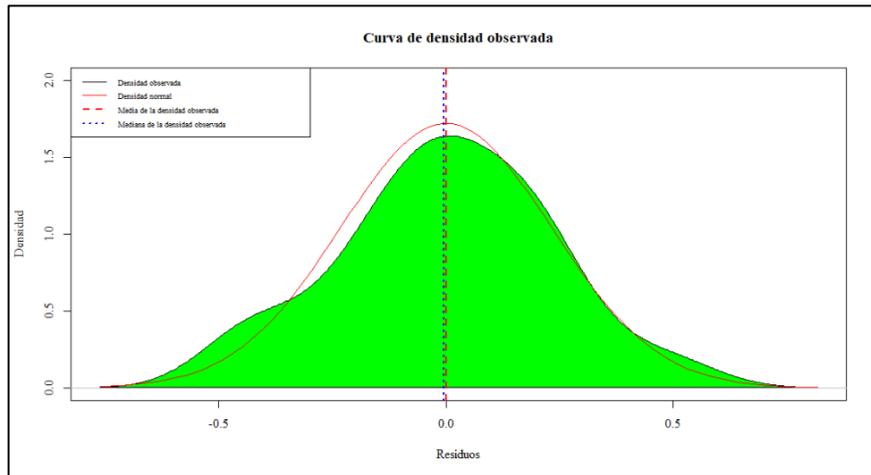
Response: diam_tallo
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
bloque  2  0.20111  0.10056  2.2346  0.309160
Lam     1  1.12500  1.12500  25.0000  0.037750 *
Ea      2  0.09000  0.04500
Enm     2  0.88444  0.44222  3.8641  0.066934 .
Lam:Enm 2  2.09333  1.04667  9.1456  0.008573 **
Eb      8  0.91556  0.11444
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

cv(a) = 1.3 %, cv(b) = 2 %, Mean = 16.79444
    
```

Box-plot de la variable diámetro de tallo para todos los tratamientos



Curva de densidad de residuos para la variable diámetro de tallo



Distribución de residuos del factor diámetro de tallo

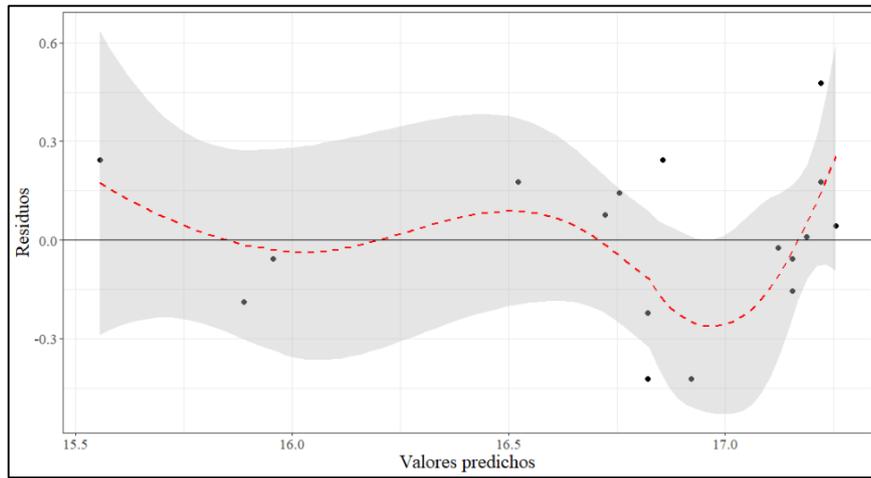
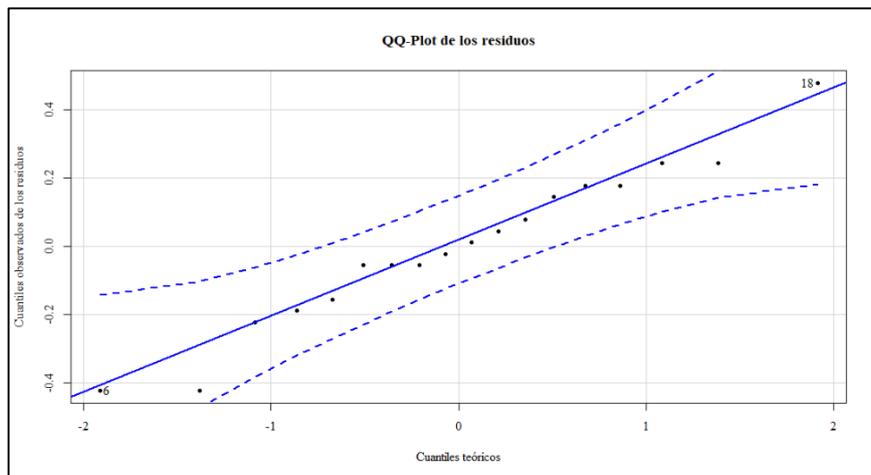


Gráfico Cuantil-Cuantil del factor diámetro de tallo



Anexo 7: Análisis de varianza para el Uso eficiente del agua (UEA)

Análisis de varianza para el factor UEA con Parcelas divididas (Split plot)

```

ANALYSIS SPLIT PLOT: uea
Class level information

Lam      : L1 L2
Enm      : E1 T E2
bloque   : I II III

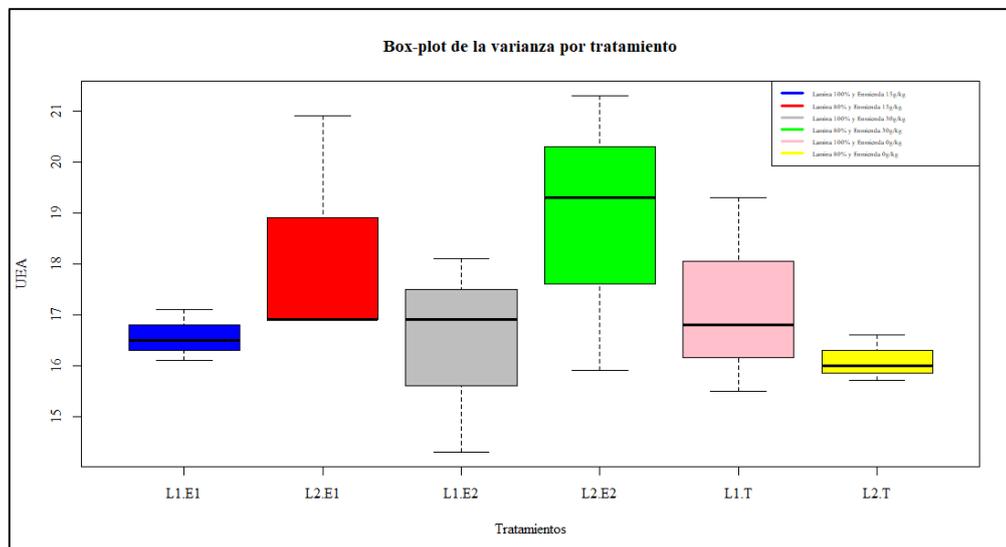
Number of observations: 18

Analysis of Variance Table

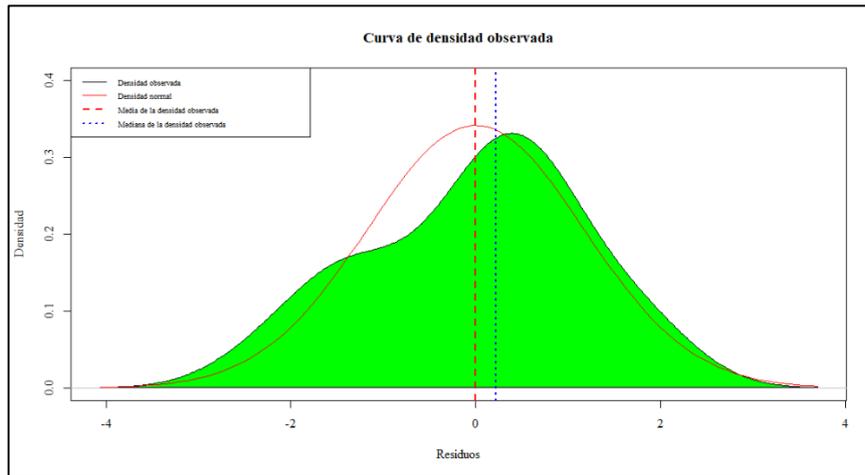
Response: uea
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
bloque  2  8.3078   4.1539   0.8323 0.5457
Lam     1  4.4006   4.4006   0.8818 0.4468
Ea      2  9.9811   4.9906
Enm     2  3.1678   1.5839   0.5458 0.5995
Lam:Enm 2 10.2211   5.1106   1.7609 0.2324
Eb      8 23.2178   2.9022

cv(a) = 13 %, cv(b) = 9.9 %, Mean = 17.22778
    
```

Box-plot de la variable UEA para todos los tratamientos



Curva de densidad de residuos para la variable UEA



Distribución de residuos del factor UEA

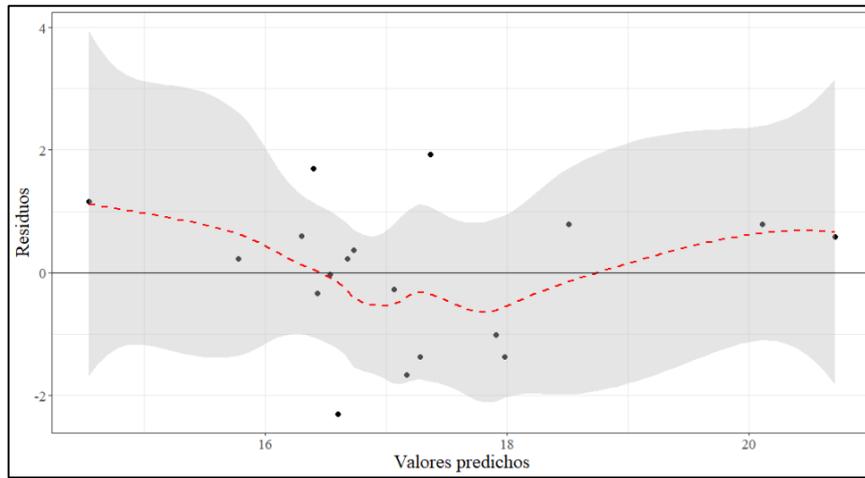
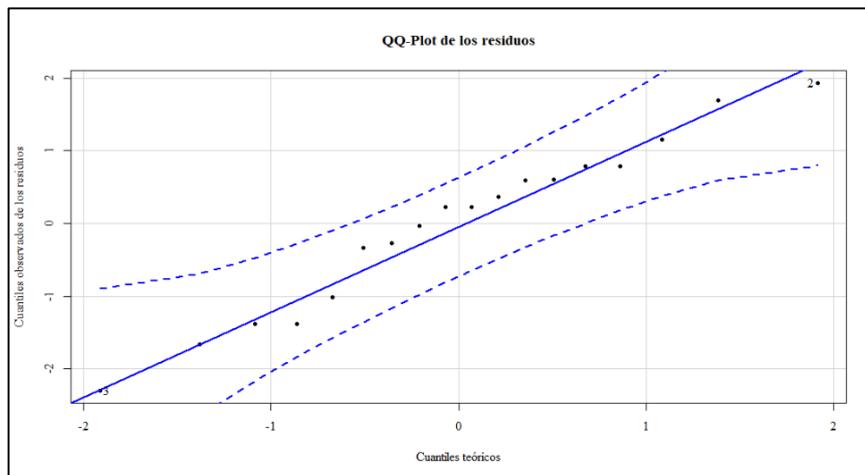


Gráfico Cuantil-Cuantil del factor UEA



Anexo 8: Análisis de varianza para el número de frutos de 1era Categoría

Análisis de varianza para el factor número de frutos con Parcelas divididas (Split plot)

```

ANALYSIS SPLIT PLOT: n_frutos
Class level information

Lam      : L1 L2
Enm      : E1 T E2
bloque   : I II III

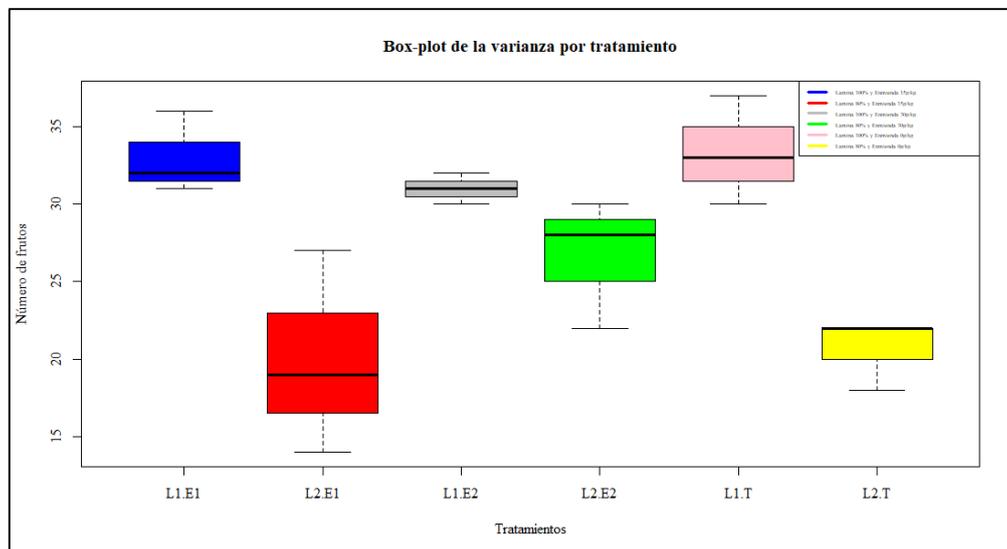
Number of observations: 18

Analysis of Variance Table

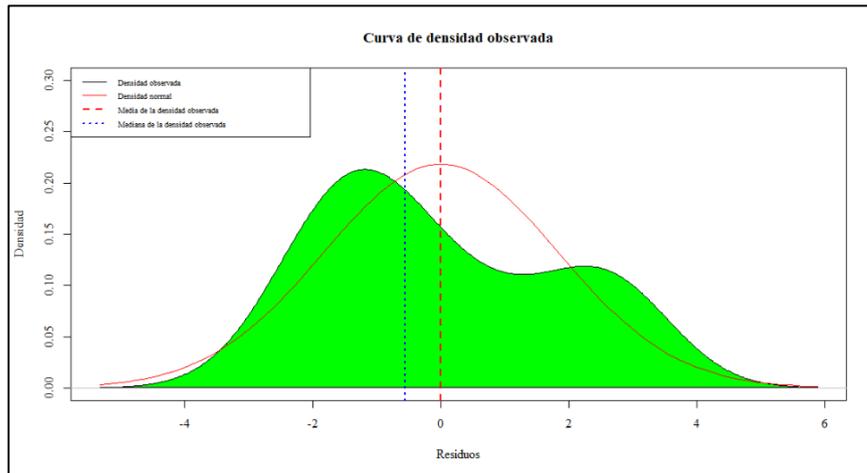
Response: n_frutos
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
bloque  2  49.78   24.89   0.7619 0.56757
Lam      1 450.00  450.00  13.7755 0.06554 .
Ea       2   65.33   32.67
Enm      2   18.11    9.06   1.2734 0.33103
Lam:Enm  2   72.33   36.17   5.0859 0.03756 *
Eb       8   56.89    7.11
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

cv(a) = 20.8 %, cv(b) = 9.7 %, Mean = 27.44444
    
```

Box-plot de la variable número de frutos para todos los tratamientos



Curva de densidad de residuos para la variable número de frutos



Distribución de residuos del factor número de frutos

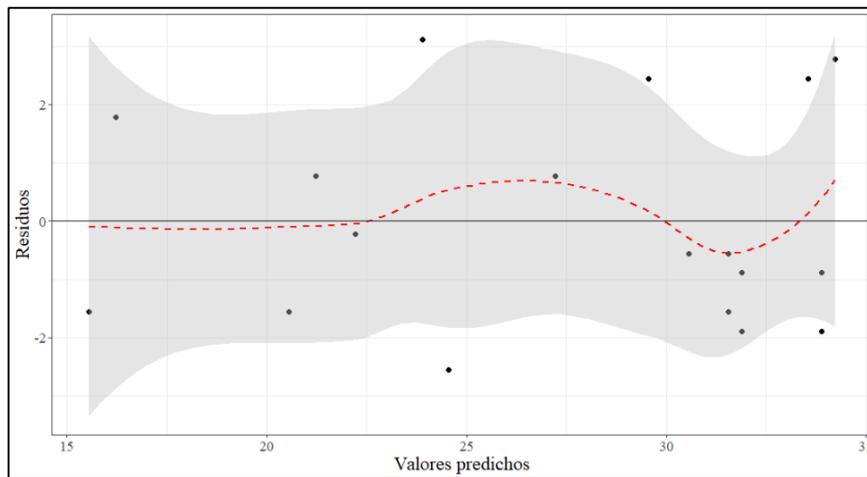
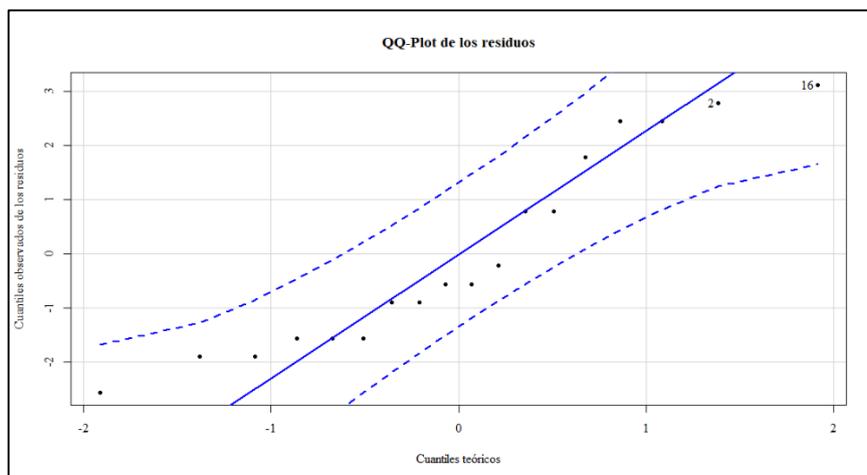


Gráfico Cuantil-Cuantil del factor número de frutos



Anexo 9: Análisis de varianza para el peso de fruto

Análisis de varianza para el factor peso de fruto con Parcelas divididas (Split plot)

```

ANALYSIS SPLIT PLOT: peso_fruto
Class level information

Lam      :  L1 L2
Enm      :  E1 T E2
bloque   :  I II III

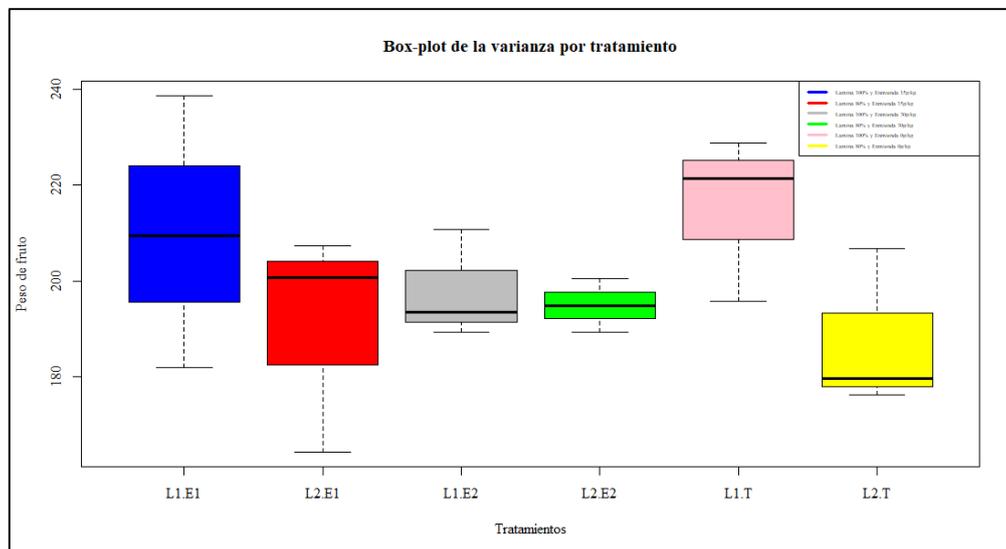
Number of observations:  18

Analysis of Variance Table

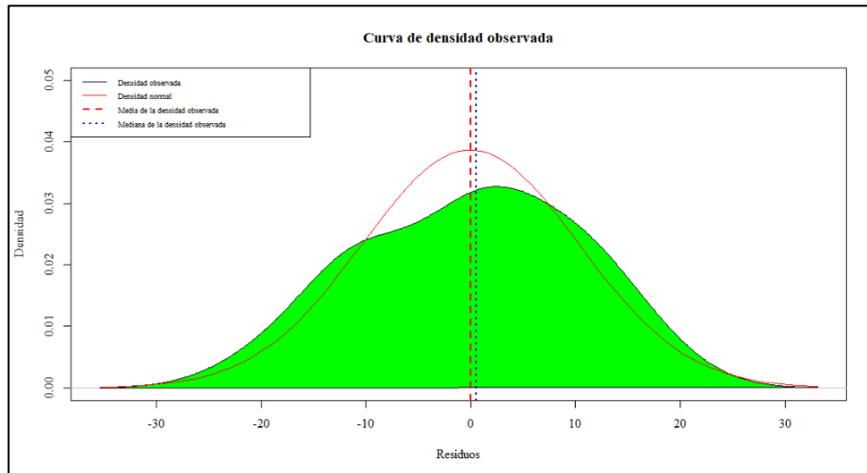
Response: peso_fruto
      Df  Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
bloque  2   575.57   287.78   0.3208 0.7571
Lam     1  1243.34  1243.34   1.3860 0.3602
Ea      2  1794.18   897.09
Enm     2    85.41    42.70   0.1891 0.8313
Lam:Enm 2   477.09   238.54   1.0563 0.3917
Eb      8  1806.60   225.83

cv(a) = 15 %, cv(b) = 7.5 %, Mean = 199.4222
    
```

Box-plot de la variable peso de fruto para todos los tratamientos



Curva de densidad de residuos para la variable peso de fruto



Distribución de residuos del factor peso de fruto

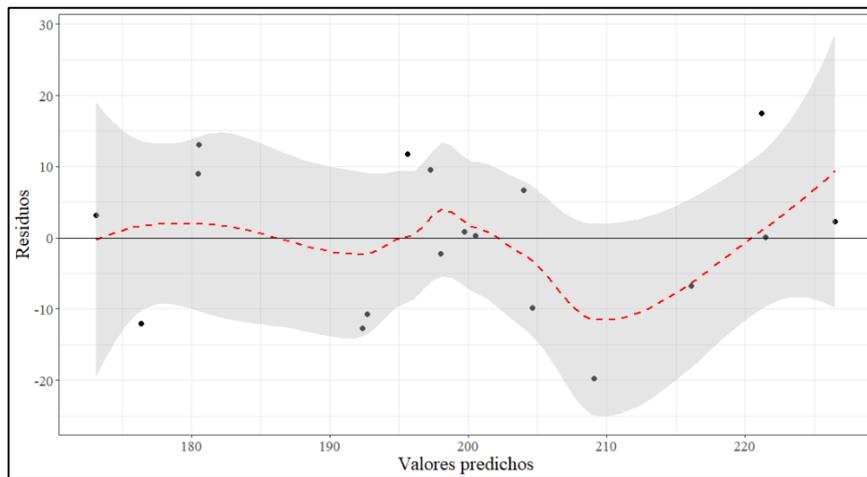
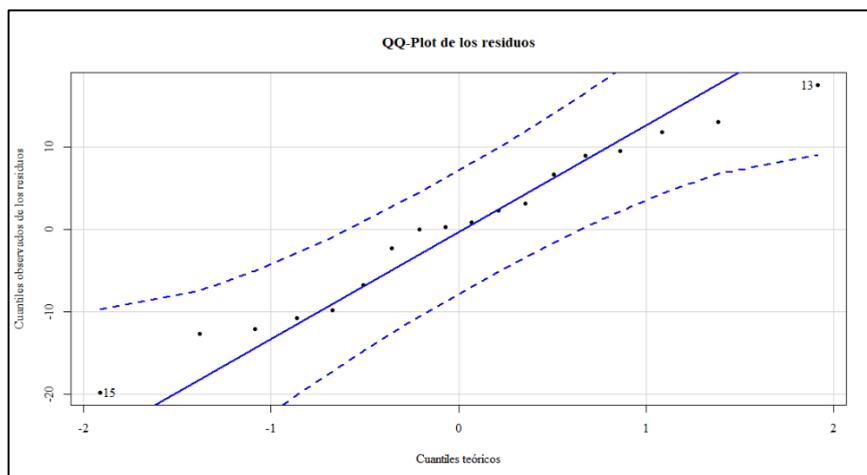


Gráfico Cuantil-Cuantil del factor peso de fruto



Anexo 10: Análisis de varianza de la profundidad de raíz

Análisis de varianza para el factor profundidad de raíz con Parcelas divididas (Split plot)

```

ANALYSIS SPLIT PLOT: prof_raiz
Class level information

Lam      :  L1 L2
Enm      :  E1 T E2
bloque   :  I II III

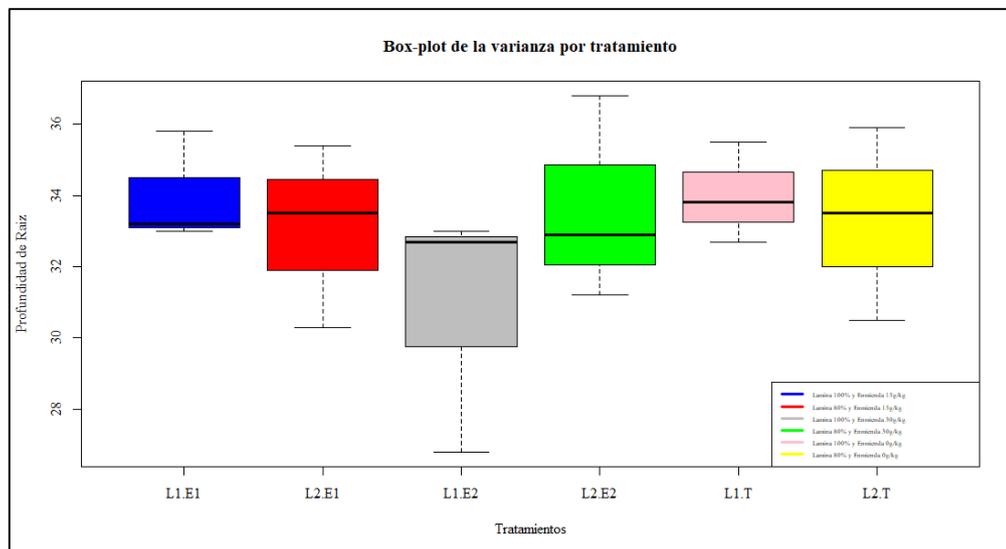
Number of observations:  18

Analysis of Variance Table

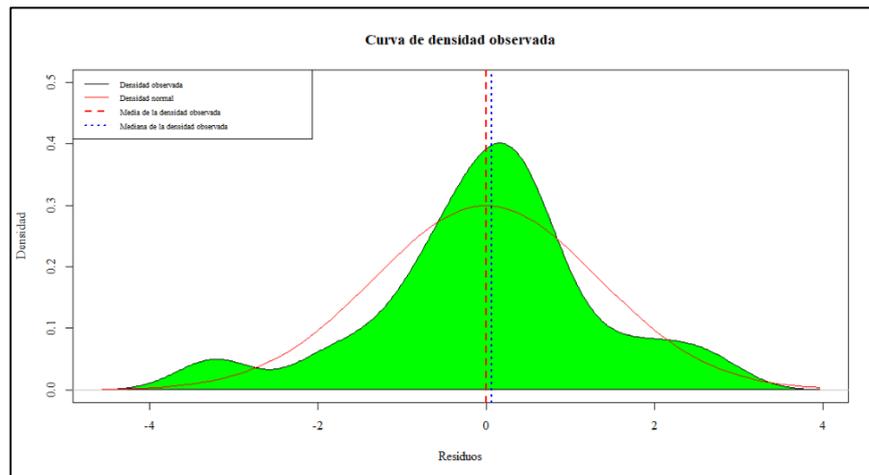
Response: prof_raiz
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
bloque  2 29.5544  14.7772   1.6406 0.3787
Lam     1  0.6806   0.6806   0.0756 0.8092
Ea      2 18.0144   9.0072
Enm     2  7.4211   3.7106   0.9845 0.4147
Lam:Enm 2 13.1211   6.5606   1.7407 0.2357
Eb      8 30.1511   3.7689

cv(a) = 9.1 %, cv(b) = 5.9 %, Mean = 33.13889
    
```

Box-plot de la variable profundidad de raíz para todos los tratamientos



Curva de densidad de residuos para la variable profundidad de raíz



Distribución de residuos del factor profundidad de raíz

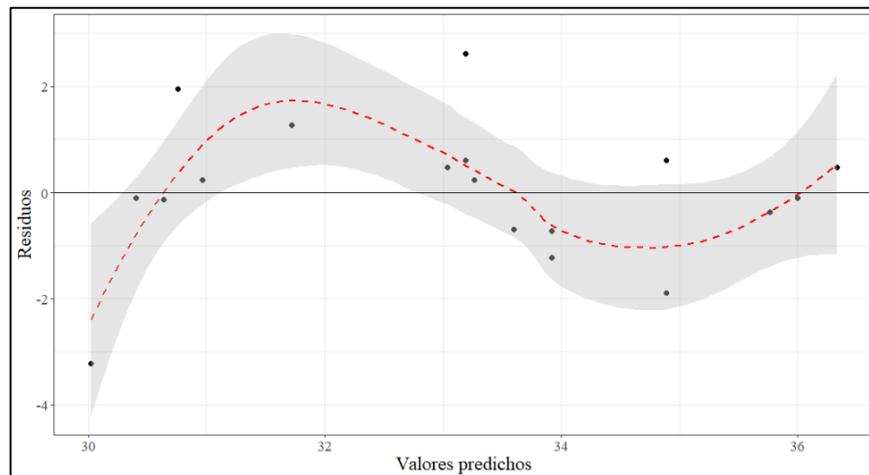
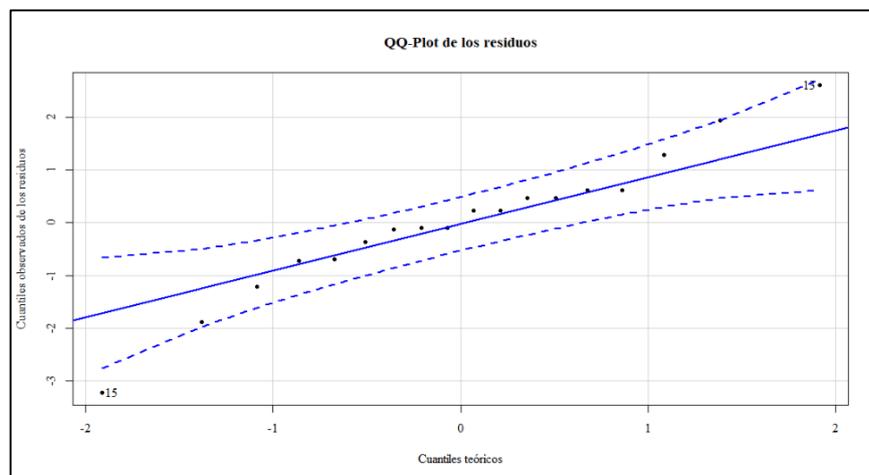


Gráfico Cuantil-Cuantil del factor profundidad de raíz



Anexo 11: Análisis de varianza para el área de raíz

Análisis de varianza para el factor área de raíz con Parcelas divididas (Split plot)

```

ANALYSIS SPLIT PLOT: area_raiz
Class level information

Lam      : L1 L2
Enm      : E1 T E2
bloque   : I II III

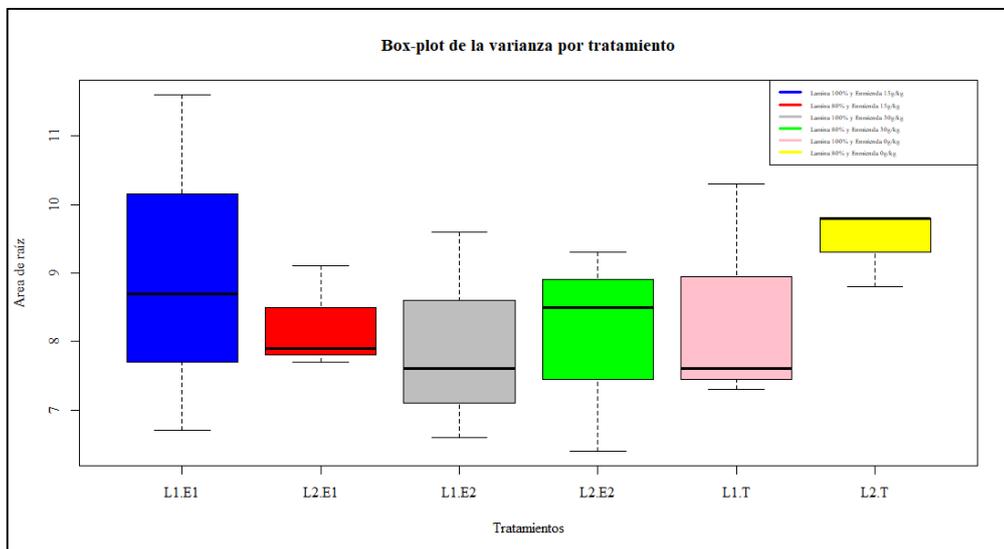
Number of observations: 18

Analysis of Variance Table

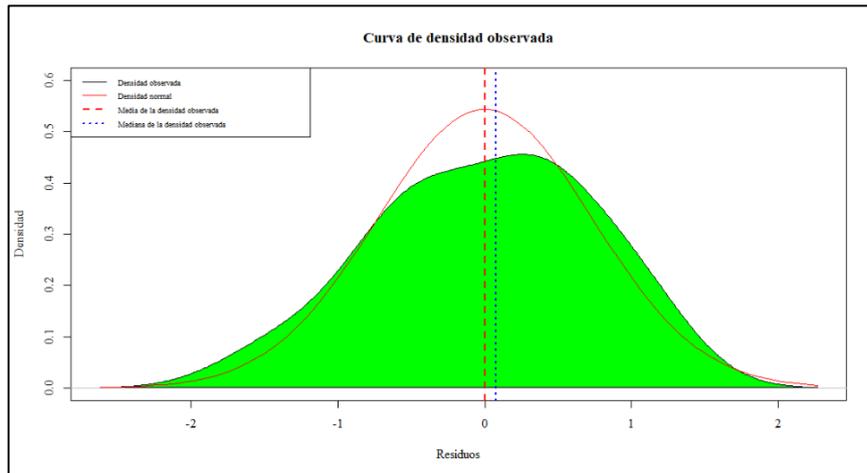
Response: area_raiz
          Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
bloque   2 10.5733  5.2867  1.1973 0.4551
Lam      1  0.0939  0.0939  0.0213 0.8974
Ea       2  8.8311  4.4156
Enm      2  2.7033  1.3517  1.1802 0.3555
Lam:Enm  2  2.5211  1.2606  1.1007 0.3782
Eb       8  9.1622  1.1453

cv(a) = 24.7 %, cv(b) = 12.6 %, Mean = 8.516667
    
```

Box-plot de la variable área de raíz para todos los tratamientos



Curva de densidad de residuos para la variable área de raíz



Distribución de residuos del factor área de raíz

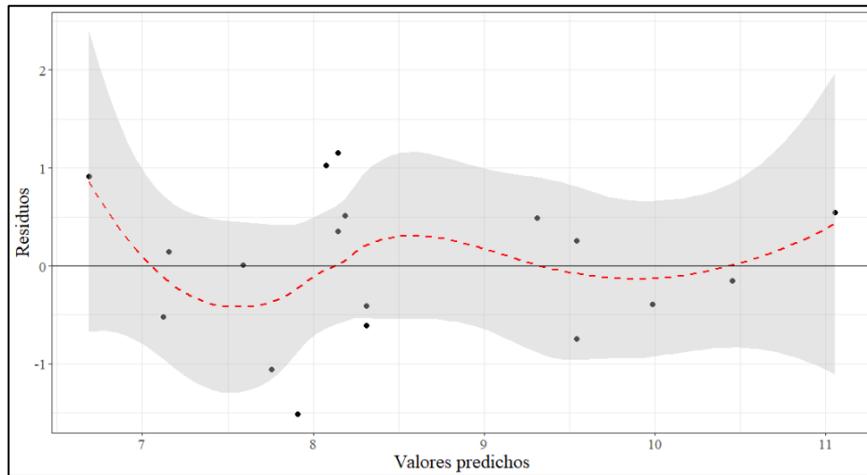
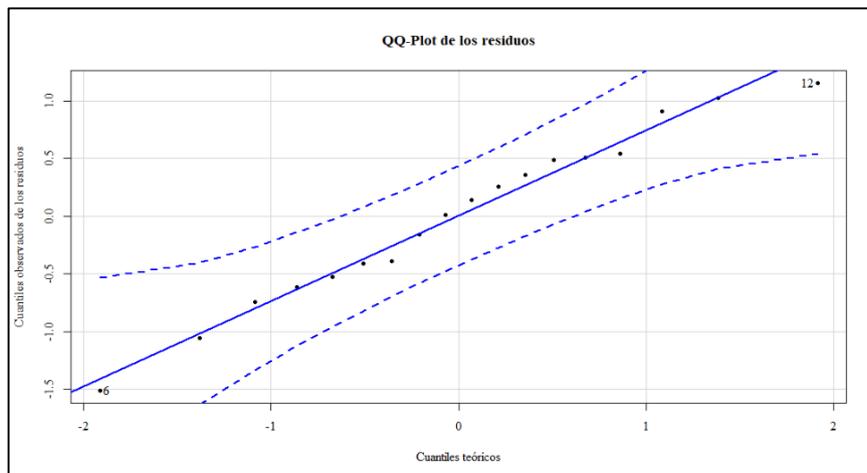


Gráfico Cuantil-Cuantil del factor área de raíz



Anexo 12: Análisis de varianza para la longitud de fruto

Análisis de varianza para el factor longitud de fruto con Parcelas divididas (Split plot)

```

ANALYSIS SPLIT PLOT: long_fruto
Class level information

Lam      :  L1 L2
Enm      :  E1 T E2
bloque   :  I II III

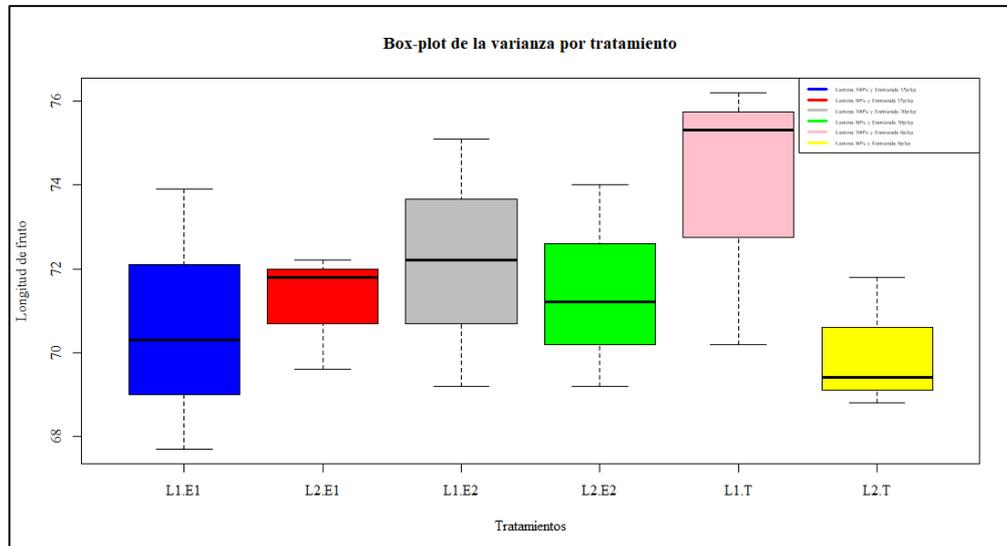
Number of observations:  18

Analysis of Variance Table

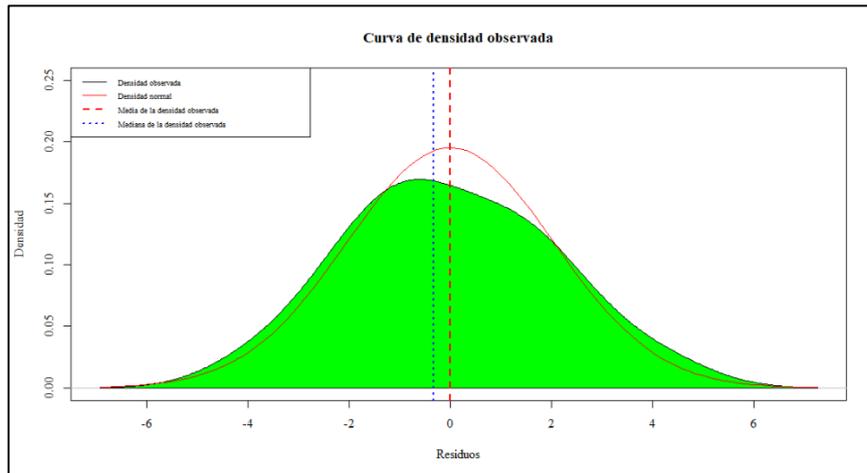
Response: long_fruto
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
bloque  2  3.481  1.7406  0.9223 0.5202
Lam      1  8.134  8.1339  4.3100 0.1735
Ea       2  3.774  1.8872
Enm      2  3.791  1.8956  0.2134 0.8123
Lam:Enm  2 15.898  7.9489  0.8948 0.4460
Eb       8 71.064  8.8831

cv(a) = 1.9 %, cv(b) = 4.2 %, Mean = 71.56111
    
```

Box-plot de la variable longitud de fruto para todos los tratamientos



Curva de densidad de residuos para la variable longitud de fruto



Distribución de residuos del factor longitud de fruto

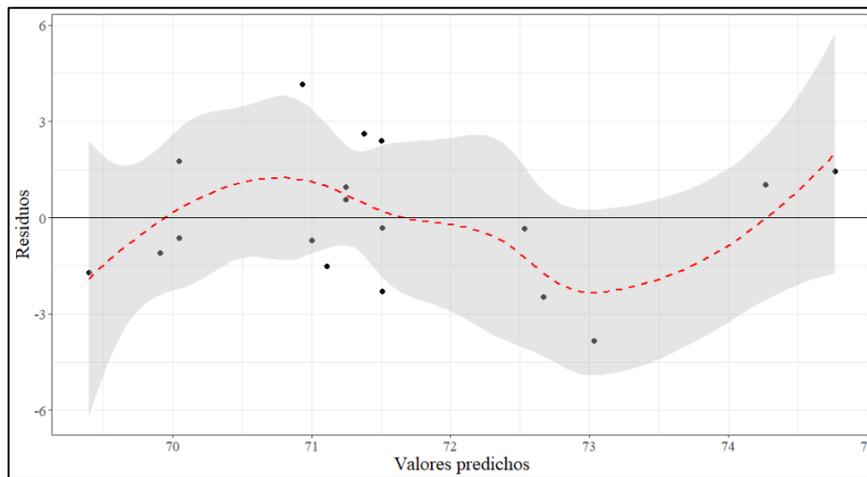
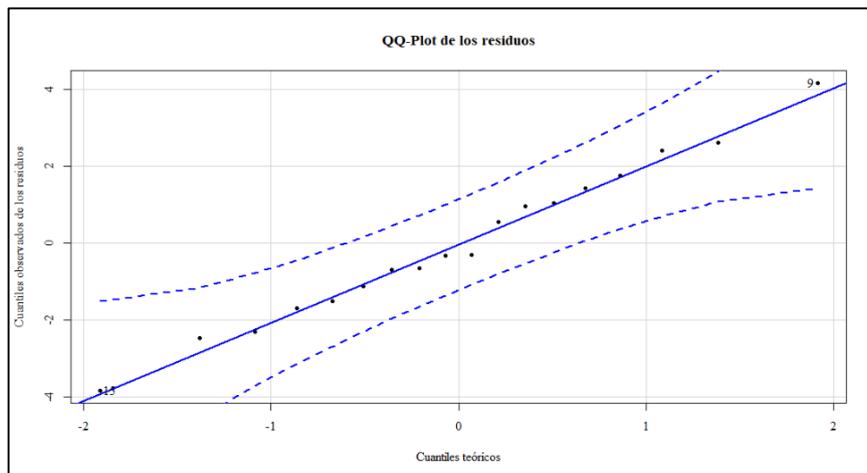


Gráfico Cuantil-Cuantil del factor longitud de fruto



Anexo 13: Análisis de varianza para el diámetro de fruto

Análisis de varianza para el factor diámetro de fruto con Parcelas divididas (Split plot)

```

ANALYSIS SPLIT PLOT: diam_fruto
Class level information

Lam      :  L1 L2
Enm      :  E1 T E2
bloque   :  I II III

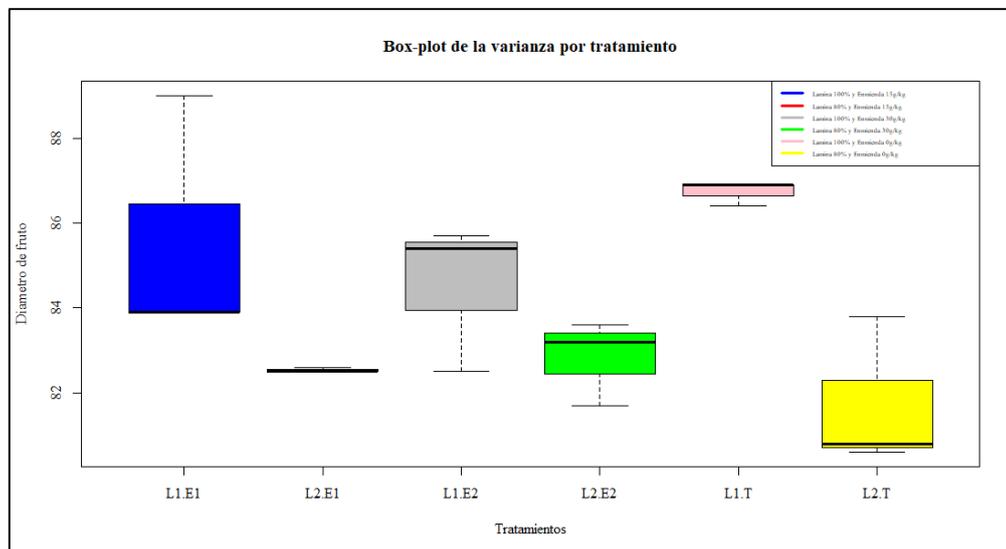
Number of observations:  18

Analysis of Variance Table

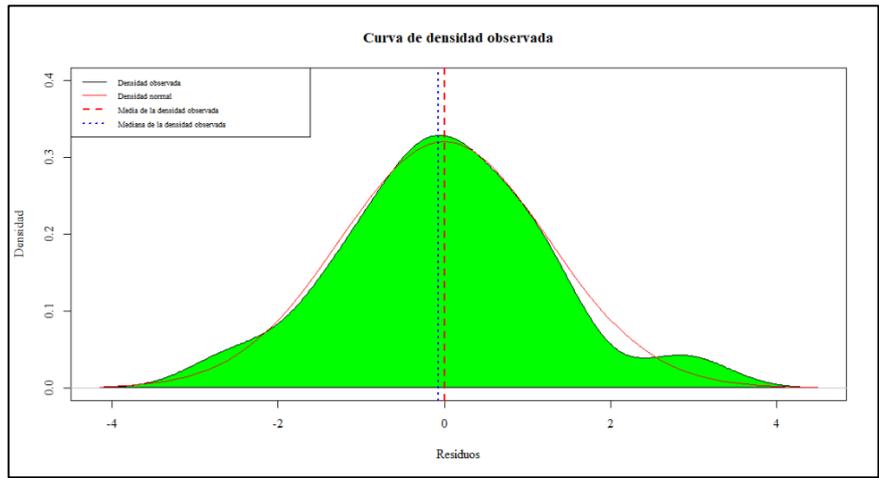
Response: diam_fruto
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
bloque  2  1.604   0.802  0.3853 0.72188
Lam     1 47.694  47.694 22.9053 0.04099 *
Ea      2  4.164   2.082
Enm     2  0.954   0.477  0.1445 0.86768
Lam:Enm 2  8.248   4.124  1.2485 0.33736
Eb      8 26.424   3.303
---
Signif. codes:  0 '****' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

cv(a) = 1.7 %, cv(b) = 2.2 %, Mean = 83.99444
    
```

Box-plot de la variable diámetro de fruto para todos los tratamientos



Curva de densidad de residuos para la variable diámetro de fruto



Distribución de residuos del factor diámetro de fruto

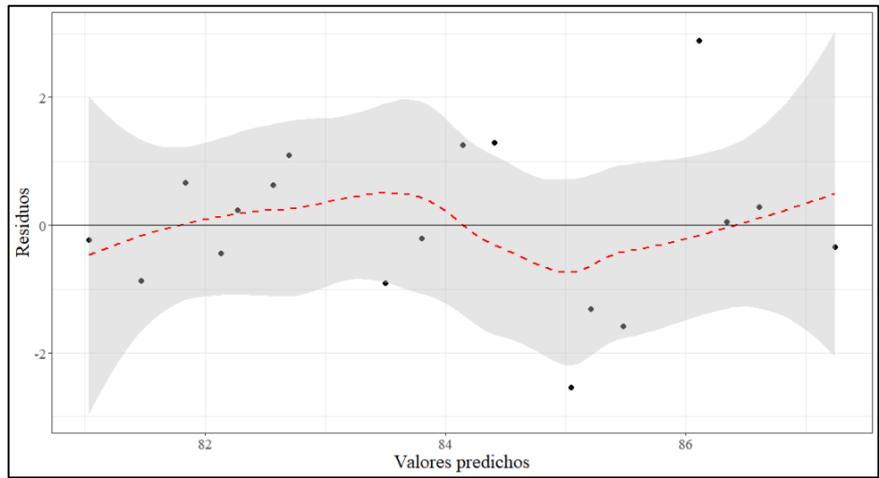
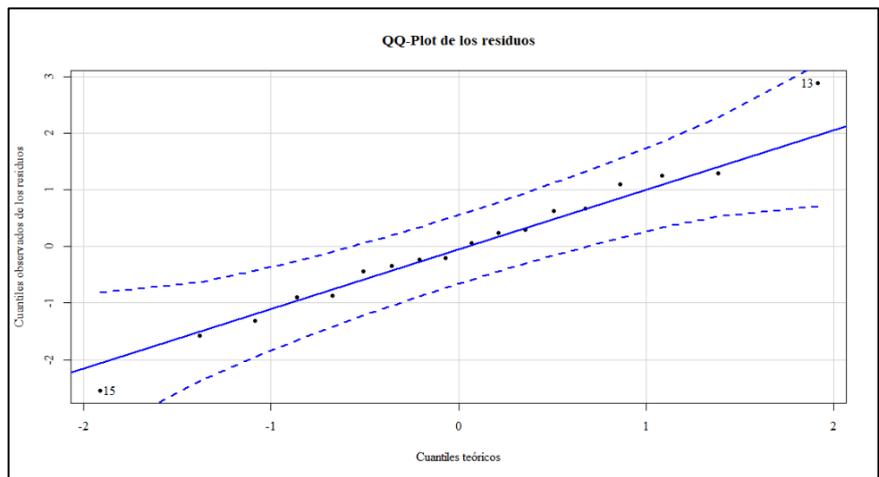


Gráfico Cuantil-Cuantil del factor diámetro de fruto



Anexo 14: Análisis de varianza para la conductancia estomática

Análisis de varianza para el factor conductancia estomática con Parcelas divididas (Split plot)

```

ANALYSIS SPLIT PLOT: cond_estom
Class level information

Lam      : L1 L2
Enm      : E1 T E2
bloque   : I II III

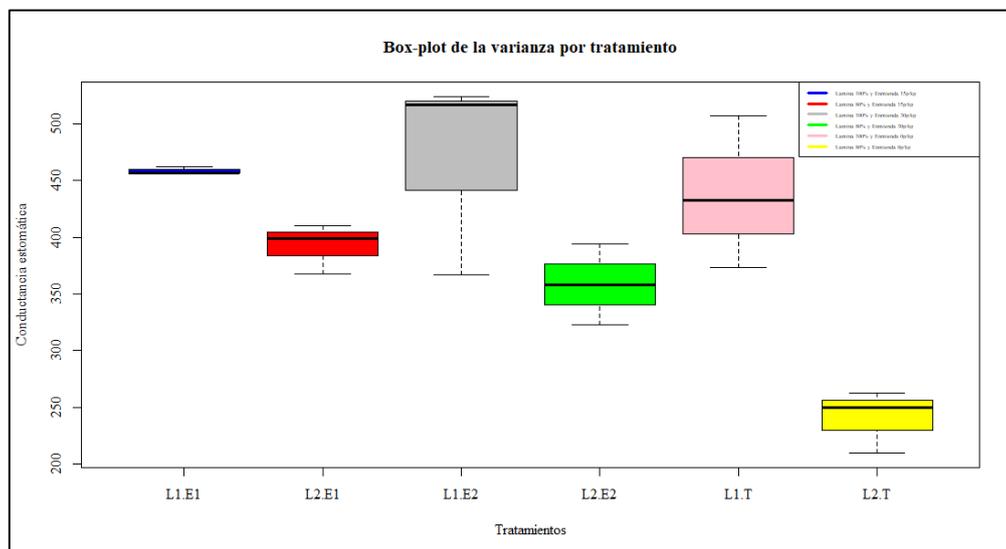
Number of observations: 18

Analysis of Variance Table

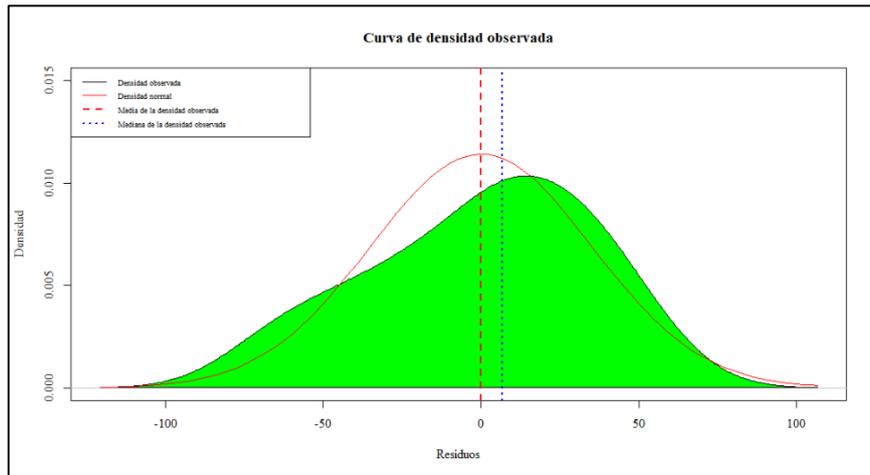
Response: cond_estom
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
bloque 2  2875    1438  0.4649 0.68262
Lam     1 70200   70200 22.7050 0.04133 *
Ea      2   6184     3092
Enm     2 26312   13156  5.0613 0.03797 *
Lam:Enm 2  13325     6662  2.5632 0.13797
Eb      8 20794     2599
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

cv(a) = 14.2 %, cv(b) = 13 %, Mean = 392.8056
    
```

Box-plot de la variable conductancia estomática para todos los tratamientos



Curva de densidad de residuos para la variable conductancia estomática



Distribución de residuos del factor conductancia estomática

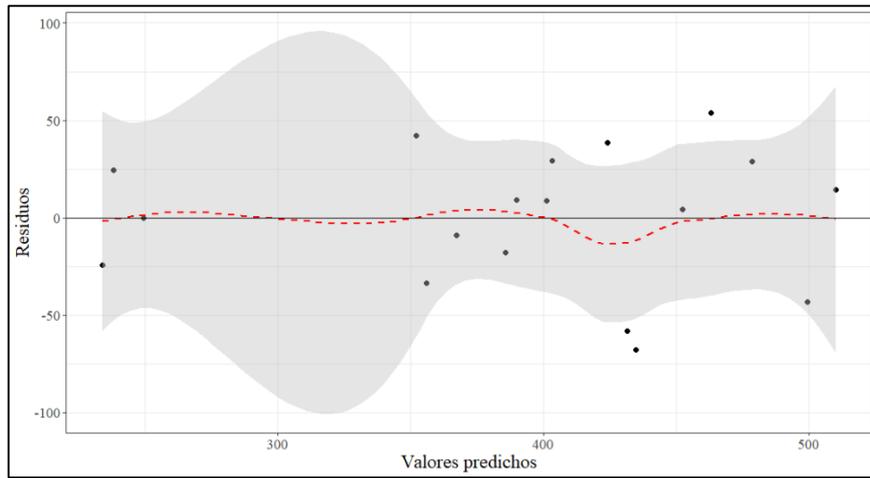
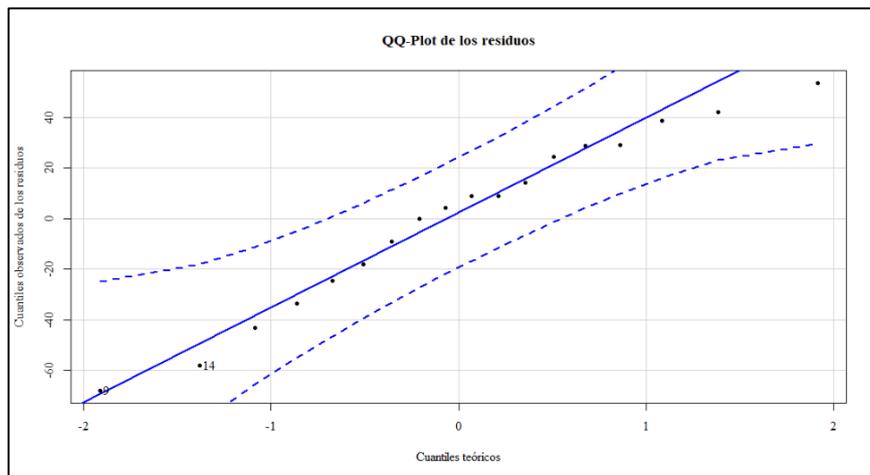


Gráfico Cuantil-Cuantil del factor conductancia estomática



Anexo 15: Pruebas estadísticas de los supuestos del análisis de varianza

| Variable | Independencia de Residuos | | Normalidad de residuos | | Homogeneidad de varianzas | | | |
|---------------------------------------|------------------------------|--------------------|-------------------------------|---------------------|---------------------------|-----------------|-----------------------|----------------|
| | Estadístico de Durbin-Watson | Sig. Durbin-Watson | Estadístico de Shapiro-Willks | Sig. Shapiro-Willks | Estadístico de Bartlett | Sig. de Barlett | Estadístico de Levene | Sig. de Levene |
| Rendimiento (kg m-2) | 2.766447 | 0.636 | 0.95814 | 0.5662 | 5.0406 | 0.4109 | 0.4764 | 0.7872 |
| Altura (cm) | 2.779931 | 0.64 | 0.93112 | 0.2032 | 3.1423 | 0.6781 | 0.5058 | 0.7667 |
| Diámetro tallo (mm) | 1.788835 | 0.07 | 0.97242 | 0.8417 | 9.303 | 0.09757 | 1.5761 | 0.2398 |
| UEA (kg m-3) | 2.772918 | 0.648 | 0.96692 | 0.7382 | 6.7854 | 0.2371 | 0.5581 | 0.7303 |
| Nº Frutos | 2.902344 | 0.4 | 0.90722 | 0.07686 | 5.4075 | 0.3682 | 0.735 | 0.6113 |
| Peso fruto (gr) | 2.914925 | 0.432 | 0.97329 | 0.8568 | 4.1585 | 0.5268 | 0.4536 | 0.803 |
| Profundidad raíz (cm) | 1.905951 | 0.14 | 0.96198 | 0.6402 | 1.8957 | 0.8634 | 0.1914 | 0.9601 |
| Área de raíz (%) | 1.804659 | 0.088 | 0.97721 | 0.9168 | 4.0119 | 0.5477 | 0.5309 | 0.7492 |
| Longitud de fruto (mm) | 2.689346 | 0.744 | 0.99027 | 0.999 | 1.8659 | 0.8674 | 0.27 | 0.9209 |
| Diámetro de fruto (mm) | 2.124852 | 0.384 | 0.98379 | 0.9806 | 16.142 | 0.00645 | 0.4809 | 0.7841 |
| Conductancia Estomática (mmol m-2s-1) | 2.341376 | 0.668 | 0.9644 | 0.6882 | 11.705 | 0.03905 | 0.676 | 0.6498 |

Anexo 16: Panel fotográfico durante toda la investigación

Preparación del invernadero



Extracción de arena del río Lurín



Llenado de arena en camión



Cálculo de la enmienda para cada maceta



Muestra de la maceta llenada



Identificación de tratamientos



Llenado de macetas

Ensayo de la curva de humedad



Muestras llevadas al laboratorio



Muestras extraídas inalteradas



Muestras llevadas a la olla presión



Muestras secadas en estufa

Almacigo



Armado de las 2 almacigueras



Construcción de almaciguera



Pintado de las almacigueras



Almacigueras pintadas



Almacigueras sembradas y tapadas



Plantiles con 17 de sembrados



Plantiles con 36 días de sembrados



Plantiles 1 día antes del trasplante

Preparación del sistema de riego



Instalación del sistema de riego



Alineado de cintas de riego



Inicio del riego de machaco



Termino del riego de machaco

Trasplante



Preparación de la solución npk 18-46-00



Extracción de plántulas



Realización del agujero de trasplante



Llenado de solución 18-46-00 en el agujero



Compactación del plantil



Revisión de los plantiles ya trasplantados

Medición de variables



Medición de humedad con el TDR



Medición de la conductancia con el porómetro



Secado de raíces para las mediciones



Medición de la longitud del fruto



Medición del diámetro ecuatorial



Pesado del fruto cosechado

Cosecha



Primera cosecha en el mes de febrero



Segunda cosecha en el mes de febrero



Tercera cosecha en el mes de febrero



Cuarta cosecha en el mes de febrero



Quinta cosecha en el mes de febrero



Sexta cosecha en el mes de febrero

Evolución del tamaño de la planta



Evolución de plantas a los 20 ddt



Evolución de las plantas con 30 ddt



Vista panorámica de las plantas a los 50 ddt



Evolución de las plantas a los 60 ddt



Evolución de las plantas a los 100 ddt