

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA

MOLINA

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**“EFECTO DE DOS ENMIENDAS RETENTIVAS DE HUMEDAD
CON DOS FRECUENCIAS EN RIEGO POR GOTEJO PARA EL
CULTIVO PIMIENTO EN INVERNADERO”**

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

GHEFRYN STYN JACKSON GÓMEZ TUNQUE

LA MOLINA – PERÚ

2021

**La UNALM es titular de los derechos patrimoniales de la presente tesis (Art. 24 –
Reglamento de Propiedad Intelectual)**

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

**“EFECTO DE DOS ENMIENDAS RETENTIVAS DE HUMEDAD CON DOS
FRECUENCIAS EN RIEGO POR GOTEO PARA EL CULTIVO
PIMIENTO EN INVERNADERO”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO
AGRÍCOLA

Presentado por:

BACH. GHEFRYN STYN JACKSON GÓMEZ TUNQUE

Sustentado y aprobado ante el siguiente jurado:

Dr. Absalón Vásquez Villanueva

PRESIDENTE

Dr. Néstor Montalvo Arquiñigo

MIEMBRO

Dr. David Ricardo Ascencios Templo

MIEMBRO

Mg. Sc. Luis Ramón Rázuri Ramírez

ASESOR

Lima – Perú

2021

DEDICATORIA

A mi madre Ada Tunque, que siempre estuvo a mi lado en cada momento apoyándome, por su paciencia, consejos y amor para seguir adelante. Te amo mucho mamá.

AGRADECIMIENTO

A mis padres Gelacio Gómez y Ada Tunque, por su apoyo y paciencia para culminar mi trabajo de investigación.

A mi hermano Omar por su tremendo apoyo y sus palabras de aliento para seguir adelante cada día y a mi hermana Brigitte por sus ocurrencias y sentido de humor para alegrarme el día.

A mi asesor el Mg. Sc. Luis Ramón Rázuri Ramírez por haberme dado la oportunidad, su tiempo brindado, paciencia y orientación en realizar el presente trabajo de investigación.

A la Ing. Cindy Joya por su tiempo brindado en resolver mis dudas e inquietudes, por su empatía y paciencia.

A la empresa COMACSA por financiar este trabajo de investigación.

Al profesor Juan Juscamaita Morales por la donación del producto residuo industrial de pañales y por su apoyo en la investigación.

Al Departamento de Recursos Hídricos, por facilitarme los equipos necesarios para el desarrollo de la tesis.

Al Centro de investigación y extensión en riego (CIER), por facilitarme el campus, los equipos y herramientas necesarias para la ejecución de la tesis de investigación.

A mis amigos Frank, Crhistian, Lesly, Paola Zavaleta, Paola Gómez, por su apoyo en las labores rutinarias para desarrollar el trabajo de campo en la investigación.

A mis abuelos, tíos por su gran apoyo y motivación para seguir adelante.

¡Muchas Gracias!

ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1	Polímero superabsorbente SAP	3
2.1.1	Generalidades	3
2.1.2	Mecanismo de absorción del SAP	4
2.1.3	Tipos de SAP	4
2.1.4	Aplicación de los SAP en la agricultura	5
2.1.5	Efecto de los SAP en el suelo y planta	6
2.2	Enmiendas retentivas de humedad	13
2.2.1	Agrando retención de humedad	14
2.2.2	Residuo industrial de pañales	15
2.3	Cultivo pimiento	16
2.3.1	Factores climáticos y edáficos	16
2.3.2	Morfología de la planta de pimiento	17
2.3.3	Requerimientos del cultivo	17
2.3.4	Manejo del cultivo	18
2.4	Manejo del agua	19
2.4.1	Capacidad de campo (CC)	19
2.4.2	Punto de marchitez permanente (PMP)	19
2.5	Medición de humedad del suelo	20
2.5.1	Método gravimétrico	20
2.5.2	Medición de humedad con TDR	20
2.6	Conductancia estomática del cultivo	22
2.7	Contenido de clorofila del cultivo.....	24
2.8	Curva de retención de humedad	26
2.9	Uso eficiente del agua	26
III.	METODOLOGIA	28
3.1	Ubicación experimental	28
3.2	Características climáticas	28
3.3	Materiales	30
3.3.1	Material biológico	30

3.3.2	Suelo	30
3.3.3	Agua	27
3.3.4	Fertilizantes	32
3.3.5	Materiales y equipo de laboratorio	32
3.4.	Metodología experimental.....	34
3.4.1	Tratamientos.....	34
3.4.2	Diseño experimental.....	35
3.4.3	Análisis estadístico.....	36
3.4.4	Distribución experimental.....	37
3.4.5	Características del campo experimental.....	38
3.5	Instalación y manejo del experimento	39
3.5.1	Siembra.....	39
3.5.2	Preparación del sustrato.....	39
3.5.3	Preparación del campo experimental	39
3.5.4	Instalación del sistema de riego.....	40
3.5.5	Trasplante	40
3.5.6	Labores agronómicas.....	41
3.5.7	Metodología de determinación de variables.....	42
3.6.	Fertirrigación	48
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	50
4.1	Parámetros de suelo.....	50
4.1.1	Conductividad eléctrica del suelo.....	50
4.1.2	Capacidad de retención de agua del suelo.....	52
4.2	Parámetros hídricos.....	56
4.2.1	Lamina bruta y evaporación... ..	56
4.2.2	Tiempo de riego y lámina bruta total aplicada	59
4.2.3	Volumen de agua total aplicado	60
4.3	Cosecha	63
4.3.1	Rendimiento total y rendimiento comercial	63
4.3.2	Número de frutos comerciales y no comerciales.....	66
4.3.3	Tamaño de frutos.....	67
4.4	Uso eficiente del agua	69
4.5	Parámetros Fisiológicos.....	72

4.5.1	Conductancia estomática.....	72
4.5.2	Contenido de clorofila.....	77
4.6	Parámetros biométricos	81
4.6.1	Altura de planta	81
4.6.2	Número de hojas.....	82
4.6.3	Diámetro de tallo	83
4.6.4	Profundidad de raíces	84
V.	CONCLUSIONES.....	89
VI.	RECOMENDACIONES.....	91
VII.	BIBLIOGRAFIA.....	92
VIII.	ANEXO	102

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Composición de la enmienda Agrando retención de humedad	14
Tabla 2: Composición del residuo industrial de pañales	15
Tabla 3: Datos de temperatura (°C) y humedad relativa (%) dentro del invernadero.....	29
Tabla 4: Análisis de caracterización del suelo arenoso	31
Tabla 5: Análisis estándar del agua	32
Tabla 6: Descripción de las Enmiendas retentivas de humedad	34
Tabla 7: Descripción de los factores de estudio	34
Tabla 8: Descripción de los 6 tratamientos conformados.....	35
Tabla 9: Escala referencial de valores de la conductancia estomática para definir niveles de transpiración.....	36
Tabla 10: Parámetros evaluados durante el ensayo días después del trasplante (DDT).....	43
Tabla 11: Descripción de los pesos de frutos del pimiento	44
Tabla 12: Necesidades de macro elementos para el cultivo pimiento durante las etapas de crecimiento... ..	49
Tabla 13: Tiempo de riego acumulado total (min) y lamina bruta acumulada total (mm) durante el desarrollo del cultivo pimiento.....	60
Tabla 14: Volumen total aplicado por parcela (15m ²) en litros, para el cultivo pimiento durante toda la etapa de desarrollo.....	61
Tabla 15: Rendimiento total y rendimiento comercial en kg/m ² para el cultivo pimiento en invernadero.....	64
Tabla 16: Comparación de medias para el rendimiento total y rendimiento comercial en kg/m ² del cultivo pimiento en invernadero	66
Tabla 17: Efecto de las enmiendas retentivas de humedad en el número de frutos por planta, longitud (cm), diámetro (cm) y peso del fruto (g) en el cultivo pimiento cultivado en invernadero.....	69
Tabla 18: Uso eficiente del agua y litros de agua utilizados por kilogramo de	

pimiento producido	70
Tabla 19: Comparación de medias, según la prueba de Student-Newman-Keuls, uso eficiente del agua (kg/m ³)	72
Tabla 20: Efecto de las enmiendas retentivas de humedad en el contenido de clorofila (unidades SPAD) del cultivo pimiento en invernadero	81
Tabla 21: Efecto de las enmiendas retentivas de humedad en la altura de planta (cm), número de hojas, diámetro de tallo (mm) y profundidad de raíz (cm) ...	87

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Absorción de agua por el SAP: Lado izquierdo, gránulos secos y lado derecho, partículas hidratadas hinchadas	3
Figura 2: Comparación esquemática entre la ósmosis clásica, en la que el agua se difunde para equilibrar la concentración de sal, y el mecanismo de absorción de una partícula SAP	4
Figura 3: Estructura química de los monómeros: a) Poliacrilato de sodio, b) Poliacrilato de potasio.....	5
Figura 4: Artículos publicados en cada año sobre temas de los polímeros superabsorbentes dentro del área de investigación “agricultura” hasta el 2014. (Sanz, J., 2015).....	6
Figura 5: Número de días para alcanzar el PMP debido a la aplicación de 4 y 6 g/kg de Superab A200.....	8
Figura 6: Efecto de la presencia de una concentración creciente de soluciones de NaCl y CaCl ₂ sobre la capacidad de hinchamiento de un SAP	11
Figura 7: Esquema de un equipo TDR 21	
Figura 8: Medidor de humedad del suelo TDR 150	22
Figura 9: Escala referencial de valores de la conductancia estomática para definir niveles de transpiración	23
Figura 10: Medidor de la conductividad estomática-porómetro.....	24
Figura 11: Medidor SPAD-502 Minolta.....	25
Figura 12: Curvas características de la humedad para suelos arenosos y arcillosos	26
Figura 13: Croquis de la ubicación experimental.....	28
Figura 14: Temperatura (°C) desde el trasplante hasta la cosecha	29
Figura 15: Humedad relativa (%) desde el trasplante hasta la cosecha	30
Figura 16: Disposición de las unidades experimentales	37
Figura 17: Conductividad eléctrica del suelo para cada tratamiento.....	52
Figura 18: Curva característica de humedad para los suelos arenosos con sus respectivas enmiendas retentivas de humedad (P1, P2).....	53

Figura 19: Aumento de la humedad volumétrica en el suelo con el uso de dos enmiendas retentivas a diferentes presiones aplicadas.....	54
Figura 20: Humedad disponible a presiones de 0.10 bar y 1.5 bar y su diferencia para los sustratos tratados con las enmiendas P1, P2 y el sustrato puro T (sin enmienda).....	56
Figura 21: Valores cada dos días de evaporación en tina y lamina bruta.....	57
Figura 22: Valores cada 4 días de evaporación en tina y lamina bruta	58
Figura 23: Volumen de agua total aplicado para cada tratamiento en l/15m ²	63
Figura 24: Rendimiento Total para cada tratamiento, en kg/m ²	65
Figura 25: Distribución porcentual del número de frutos según su clasificación en pesos.....	67
Figura 26: Número de frutos totales según su clasificación	68
Figura 27: Uso eficiente del agua en kg/m ³ , para cada tratamiento	71
Figura 28: Variación de la conductancia estomática con diferentes tratamientos para la frecuencia de riego cada dos días en dieciséis fechas de evaluación	73
Figura 29: Variación de la conductancia estomática con diferentes tratamientos para la frecuencia de riego cada cuatro días en dieciséis fechas de evaluación.....	75
Figura 30: Variación del contenido de clorofila (expresado en unidades SPAD) en respuesta a seis tratamientos en el cultivo pimiento	78
Figura 31: Variación de la altura de planta con diferentes tratamientos en siete fechas de evaluación	82
Figura 32: Variación del número de hojas con diferentes tratamientos en siete fechas de evaluación.....	83
Figura 33: Variación del diámetro de tallo con diferentes tratamientos en 4 fechas de evaluación.....	84
Figura 34: Variación de la profundidad de raíces con diferentes tratamientos	85

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Siembra, preparación del campo experimental y trasplante del cultivo pimiento	103
Anexo 2: Instalación del sistema de riego por goteo.....	104
Anexo 3: Proceso de mezcla de las enmiendas con el sustrato arena gruesa	105
Anexo 4: Labores agronómicas	106
Anexo 5: Cálculo y mediciones de los parámetros de suelo, hídricos y fisiológicos	107
Anexo 6: Croquis del campo experimental	108
Anexo 7: Tiempo de riego promedio (min) y lamina bruta promedio (mm) para una frecuencia cada dos días en las diferentes etapas de desarrollo del cultivo pimiento	109
Anexo 8: Tiempo de riego promedio (min) y lamina bruta promedio (mm) para una frecuencia cada cuatro días en las diferentes etapas de desarrollo del cultivo pimiento.....	109
Anexo 9: Diferencia en el factor enmienda en cada etapa fenológica para una frecuencia de riego cada dos días.....	110
Anexo 10: Diferencia en el factor enmienda en cada etapa fenológica para una frecuencia de riego cada cuatro días	111
Anexo 11: Diferencia en el factor frecuencia de riego – 65DDT.....	112
Anexo 12: Cosecha del cultivo pimiento a los 95 DDT	113
Anexo 13: Comparativo de profundidad de raíces entre las enmiendas y testigo para una frecuencia de riego cada dos días	114
Anexo 14: Comparativo de profundidad de raíces entre las enmiendas y testigo para una frecuencia de riego cada cuatro días.....	114
Anexo 15: Análisis estadístico para el rendimiento total	115
Anexo 16: Análisis estadístico para el rendimiento comercial.....	117
Anexo 17: Análisis estadístico para el uso eficiente del agua	119
Anexo 18: Análisis estadístico para el contenido de clorofila a los 43 DDT	121
Anexo 19: Análisis estadístico para el contenido de clorofila a los 55 DDT	123

Anexo 20: Análisis estadístico para el contenido de clorofila a los 99 DDT	125
Anexo 21: Análisis estadístico para altura de planta	127
Anexo 22: Análisis estadístico para el número de hojas	129
Anexo 23: Análisis estadístico para el diámetro de tallo.....	131
Anexo 24: Análisis estadístico para la profundidad de raíces	133

RESUMEN

El ensayo fue realizado en las instalaciones del Centro de investigación y extensión en riego (CIER) del departamento de Recursos Hídricos de la facultad de Ingeniería Agrícola de la UNALM. El objetivo principal de la investigación fue evaluar el efecto del Residuo industrial de pañales (P1) y de la enmienda Agrandando retención de humedad (P2) en el manejo del agua sobre el cultivo pimiento en invernadero. Los tratamientos consistieron en aplicar las dos enmiendas retentivas P1 y P2 en el sustrato (arena gruesa) comparado con un tratamiento testigo (sin enmienda), con dos frecuencias de riego: cada dos días y cada cuatro días. El diseño experimental consistió en parcelas divididas, en combinación de los factores de Frecuencia de riego y Enmiendas retentivas (2x2) dando un total de 4 tratamientos más 2 testigos, con tres repeticiones. Se determinó y evaluó la lámina bruta total consumida, la capacidad de retención de cada tipo de sustrato, el rendimiento total y comercial, parámetros de calidad de cosecha, el uso eficiente del agua, la conductancia estomática, el contenido de clorofila y parámetros biométricos. El sustrato P1 demostró mayor retención y conservación de humedad, por ende, menor consumo de volumen de agua y mayor eficiencia de uso del agua, 32.09 kg/m^3 con relación al testigo, representando un ahorro de agua del 30 por ciento. Los resultados en rendimiento total, comercial y parámetros biométricos permitieron establecer diferencias significativas, siendo P2 que represento un efecto positivo, pero a coste de un mayor consumo de agua respecto al testigo. Para el caso del contenido de clorofila, P2 registró mayor aumento del contenido de clorofila seguido del testigo. Con respecto a la conductancia estomática, se observó que P1 amortigua en mayor medida al estrés hídrico. Por los resultados obtenidos se recomienda el uso de enmiendas retentivas de humedad ya que estas actúan notablemente en la mejora del rendimiento, calidad de fruto y en el aumento del uso eficiente del agua, lo cual estarían mitigando las condiciones de estrés hídrico, en especial el sustrato con la enmienda de residuo industrial de pañales P1.

Palabras clave: Enmienda retentiva de humedad, pimiento, uso eficiente del agua, clorofila, conductancia estomática, estrés hídrico.

I. INTRODUCCIÓN

La población mundial está en aumento a un ritmo alarmante y se espera que alcance los 9.700 millones en 2050 (United Nations, 2015). Esto obliga un incremento inevitable en la producción de alimentos con el fin de satisfacer la demanda en todo el mundo, esto significa que, no solo se debe aumentar la productividad, sino también el uso eficiente de recursos limitados como las tierras fértiles y el agua (Spiertz, 2012).

Los alimentos dependen de la agricultura y este depende totalmente del agua, que es un recurso limitado. El agua dulce superficial constituye solo un 0.01 por ciento del agua total de la tierra que proviene de los ríos, acuíferos, los lagos y los pantanos (Postel *et al.*, 1996). Además, la agricultura es responsable del uso del 70 por ciento del agua mundial (UNESCO, 2009).

Por otro lado, uno de los problemas importantes en las regiones semiáridas y áridas es del uso ineficiente del agua de lluvia y de riego por parte de los cultivos, donde la escasez de agua se experimenta con frecuencia y el agua es a menudo el factor limitante que determina el crecimiento y desarrollo de las plantas (Bhardwaj *et al.*, 2007).

Así mismo, la productividad de las plantas también se ve limitada por las propiedades físicas y químicas adversas del suelo, así como las bajas tasas de infiltración, la baja retención de humedad, bajo intercambio catiónico, y en casos particulares como en suelos arenosos donde se caracterizan por un drenaje excesivo de las aguas de lluvia y de riego por debajo de la zona de raíces, lo que conduce a un uso deficiente de agua y fertilizantes. (Kazanskii y Dubrovski, 1992; Al-Omran y Al-Harbi, 1998).

En respuesta a esto, los polímeros superabsorbentes (SAP) pueden resolver estos tipos de problemas, debido a que mantienen el almacenamiento de la humedad del suelo, aumentan la capacidad de retención de agua, como también incrementa la retención de los nutrientes, que son fundamentales para aumentar la eficiencia de riego y regular el uso excesivo de fertilizantes y pesticidas (Setter *et al.*, 2001).

De igual manera, para lograr un desarrollo sostenible en la agricultura es importante desarrollar investigaciones que prueben la efectividad de estos polímeros superabsorbentes en el uso eficiente del agua y en el desarrollo de los cultivos.

En respuesta, esta tesis pone en prueba el efecto de dos enmiendas retentivas de humedad poca estudiadas e ignoradas en nuestro mercado, además de obtener información necesaria antes de las aplicaciones en campo.

OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto de dos enmiendas retentivas en el manejo del agua, con dos frecuencias de riego en el cultivo pimiento en invernadero.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Determinar la eficiencia de las enmiendas retentivas sobre la lámina neta final aplicada al cultivo.
- Determinar la eficiencia de las enmiendas retentivas sobre el rendimiento del cultivo y la determinación del uso eficiente del agua.
- Analizar la eficiencia de las enmiendas retentivas sobre el comportamiento de la humedad del suelo.
- Evaluar el estado de la conductancia estomática y el contenido de clorofila en el cultivo pimiento.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Polímero superabsorbente SAP

2.1.1 Generalidades

Los polímeros superabsorbentes (en inglés Super Absorbent Polymers o SAP) se pueden definir como materiales poliméricos entrecruzados en forma de red tridimensional de origen natural o sintético, que se clasifican como hidrogel cuando se mezclan y se hinchan en contacto con soluciones acuosas a través de enlaces de hidrógeno con las moléculas de agua, formando materiales blandos y elásticos. El mecanismo por el cual los polímeros son capaces de absorber tanto volumen de soluciones acuosas no es solamente físico, sino que depende de la naturaleza química del polímero. Las fuerzas que contribuyen al hinchamiento de los hidrogeles son la energía libre de mezcla y la respuesta elástica del entrecruzamiento (Rojas, *et al.*, 2006).

A continuación, se muestra en las siguientes figuras el comportamiento del hidrogel: en la Figura 1, se observa la forma física que presentan los hidrogeles antes y después del hinchamiento con agua.

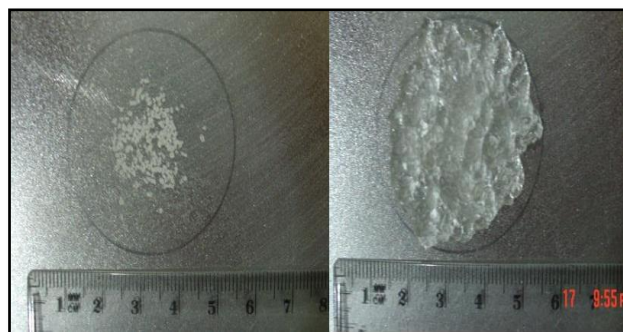


Figura 1: Absorción de agua por el SAP: Lado izquierdo, gránulos secos y lado derecho, partículas hidratadas hinchadas.

Fuente: Rojas, *et al.* (2006).

2.1.2 Mecanismo de absorción del SAP

El mecanismo de absorción del SAP se puede explicar mediante el fenómeno de difusión, en el cual el flujo va de regiones de mayor concentración a regiones de menor concentración, como ocurre en la ósmosis clásica. (Sanz, J., 2015).

Inicialmente la actividad del fluido es menor en el interior de la partícula SAP, en consecuencia, el fluido comienza a ingresar dentro de la partícula, al mismo tiempo las cadenas de los polímeros se difunden en sentido contrario para acomodar el volumen de moléculas adicionales (Bo *et al.*, 2012).

Dicho de otra manera, el agua se mueve para equilibrar la concentración de moléculas en el interior y exterior del SAP (Ono *et al.*, 2007).

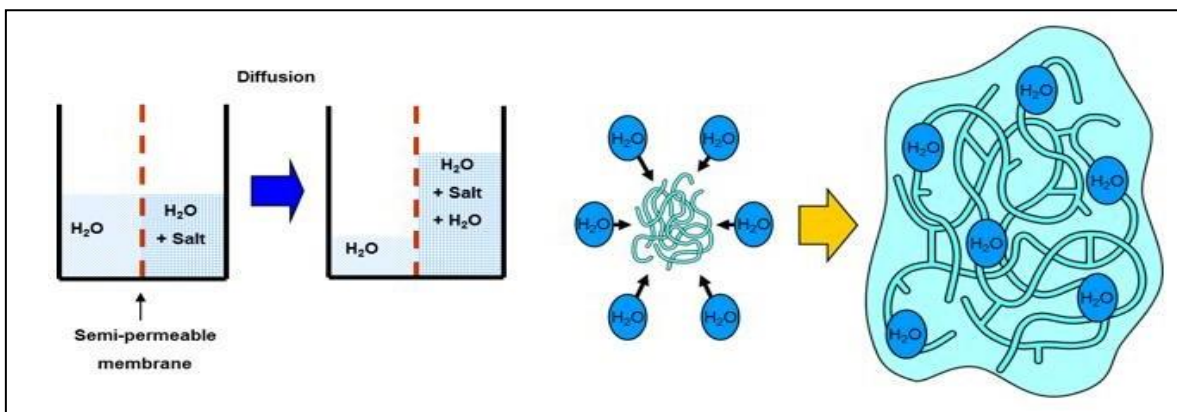


Figura 2: Comparación esquemática entre la ósmosis clásica, en la que el agua se difunde para equilibrar la concentración de sal, y el mecanismo de absorción de una partícula SAP.

Fuente: Sanz, J. (2015).

2.1.3 Tipos de SAP

- **Poliacrilato de potasio**

Es un polímero que contiene unidades tanto ácido y como monómeros salinos (véase la Figura 3), que tienden a disociarse en agua, el SAP de poliacrilato de potasio tiene un

uso en la agricultura, al aplicarlo en el suelo cumple el papel como “reserva de agua” en las regiones áridas y desérticas, el agua no absorbida por las raíces, se almacena en el polímero para luego liberarlo paulatinamente, permite un elevado ahorro de los recursos hídricos (Sannino, A., 2008).

- **Poliacrilato de sodio**

Es uno de los polímeros más utilizados, formado por monómeros $-\text{CH}_2\text{CH}(\text{CO}_2\text{Na})-$, es un polvo blanco sin olor que tiene la capacidad de absorber grandes cantidades de agua, esto se debe a que en su estructura existen grupos de carboxilatos de sodio que cuelgan de la cadena (Figura 3), debido a sus cualidades se utiliza mayormente como un absorbente de fluido corporal en los productos de desecho higiénicos, en particular pañales (Pariguana, M. & Gonzales, L., s.f.).

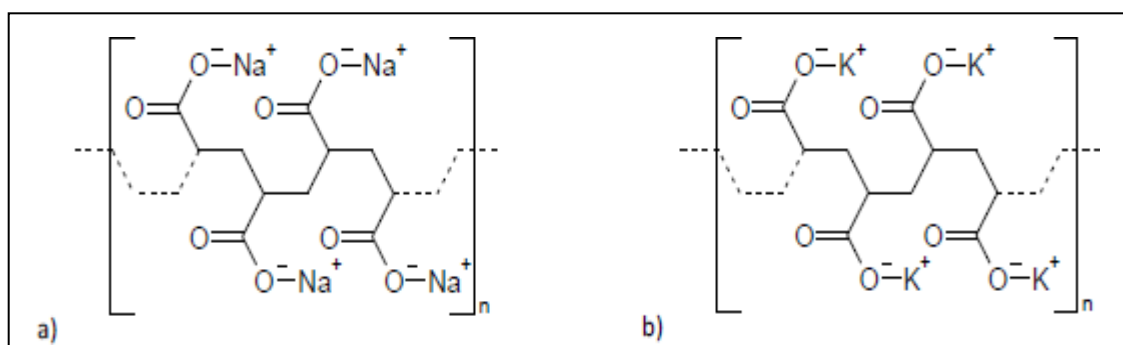


Figura 3: Estructura química de los monómeros: a) Poliacrilato de sodio, b) Poliacrilato de potasio.

Fuente: Pariguana, M. & Gonzales, L., (s.f.)

2.1.4 Aplicación de los SAP en la agricultura

Debido a que los SAP pueden contribuir en un uso más eficiente de los recursos limitados, además de actuar como depósitos de agua y nutrientes para la planta (Wu *et al.*, 2008). En las últimas décadas ha ido en aumento las investigaciones basadas en el uso potencial de los SAP en la agricultura, para mitigar la problemática de escasez de agua y la necesidad de un uso más eficiente de los recursos (Sanz, J., 2015). En la Figura 4, se muestra el número de

artículos científicos publicados relacionados con los SAP en la agricultura durante la última década.

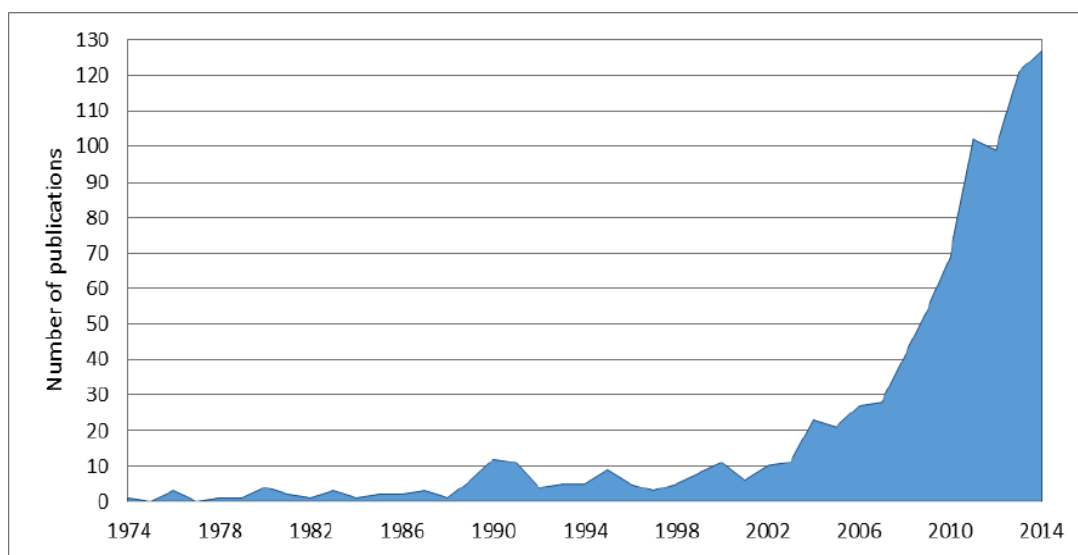


Figura 4: Artículos publicados en cada año sobre temas de los polímeros superabsorbentes dentro del área de investigación “agricultura” hasta el 2014.

Fuente: Sanz, J. (2015).

2.1.5 Efecto de los SAP en el suelo y planta

- Efecto de los SAP en las propiedades físicas del suelo

Los SAP han reportado efectos potenciales en la mejora de algunas propiedades físicas del suelo relacionadas con el agua. Hedrick, R. y Mowry, D (1952) indican que estos polímeros fueron desarrollados para:

1. Aumentar la capacidad de retención del agua
2. Aumentar el uso eficiente del agua
3. Aumentar la permeabilidad del suelo y las tasas de infiltración
4. Reducción de la frecuencia de riego
5. Reducir la tendencia a la compactación
6. Detener la erosión y la escorrentía hídrica

Del mismo modo, Lentz, R. (2003) menciona que los polímeros influyen significativamente en la permeabilidad, densidad, estructura, textura, evaporación e infiltración del agua. En

particular los hidrogeles reducen la frecuencia de riego, la tendencia a la compactación y aumentan la aireación del suelo y la actividad microbiana.

Según investigaciones, la incorporación de los materiales SAP en el suelo arenoso podría ahorrar mucha agua al disminuir la pérdida por percolación y liberar agua en el momento en que las plantas necesitan (Andry, *et al.*, 2009).

Narjary, *et al.* (2012), reporta que el hidrogel es muy adecuado para la siembra de cultivos agrícolas en suelos arenosos, principalmente por las siguientes razones:

1. La liberación de agua del suelo por unidad de succión en el rango de 10-100kPa (el rango de agua disponible para las plantas) fue casi 4 veces mayor en suelos tratados con hidrogel que en suelos no tratados.
2. La segunda razón es el tiempo que alcanzó el límite crítico de contenido de agua o punto de marchitez permanente (PMP) en el suelo, que fue de 22 días.

Algunos estudios informaron que los SAP en suelos especialmente arenosos aumenta la capacidad de retención del suelo, el contenido de agua disponible (Johson, 1984), y que pueden reducir la frecuencia y la cantidad de riego (Sivalapan, 2006).

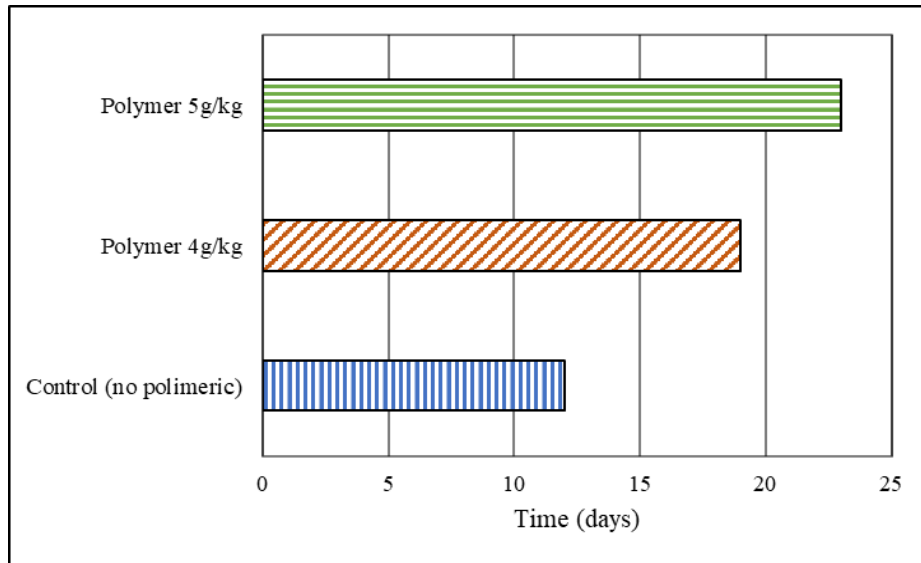


Figura 5: Número de días para alcanzar el PMP debido a la aplicación de 4 y 6 g/kg de Superab A200.

Fuente: Abedi-Koupai & Asad-kazemi (2006).

Del mismo modo, Abedi-Koupai y Asad-kazemi (2006) indicaron el efecto del SAP en la planta ornamental (*Cupressus ari-zonica*), a tasas de aplicación de 4 g/kg y 6 g/kg tuvieron mayor periodo de tiempo hasta alcanzar el punto de marchitez permanente (PMP) (Figura 5).

Por ello, en esta investigación, para ver el efecto de dos enmiendas retentivas de humedad que tienen como componente al SAP, se llegó a espaciar las frecuencias de riego cada dos días y cuatro días en suelo arenoso.

- Efecto de los SAP en las propiedades químicas del suelo

Los SAP también tienen sus efectos agronómicos en los suelos que están relacionados con el uso eficiente de los nutrientes. Cuando los polímeros se incorporan en el suelo, se presume que retienen grandes cantidades de agua y nutrientes, que son liberado según las necesidades de las plantas. Por lo tanto, el crecimiento de las plantas podría mejorarse con un suministro limitado de agua y nutrientes (Gehring y Lewis, 1980)

Del mismo modo, Magalhaes *et al.* (1987) encontró una notable reducción de la lixiviación de NH₄, P y K debido a la presencia del polímero.

En consecuencia, aplicación de los SAP junto con la reducción de la fertilización podría cambiar la estrategia de fertilización en zonas áridas y semiáridas.

- Efecto de los SAP sobre los cultivos

Estudios indican que los SAP reducen el estrés por sequía en las plantas (Sharma, 2004), debido a su aumento en la capacidad de retención y contenido de agua disponible, como consecuencia se obtiene un aumento del rendimiento del cultivo y el uso eficiente del agua (Dorraji, 2010).

Islam, *et al.* (2011). demostró la influencia del SAP en el cultivo maíz, donde a una tasa óptima de 15 kg/ha, aportó un notable aumento en la acumulación de la biomasa, azúcar el en grano, por ende, un aumento del rendimiento, usando solo la mitad de la cantidad de fertilizante respecto al control. De igual modo, Salim, S. (2014) mostró que las características de desarrollo del trigo (crecimiento vegetativo y rendimiento) mejoraron significativamente con el aumento del SAP a comparación del testigo (sin enmienda).

Por otro lado, López, *et al.* (2013), menciona en su investigación de la evaluación del polímero hidrófilo en Chile Anaheim, no presento efecto positivo sobre la producción, calidad del fruto y eficiencia en el uso del agua.

Del mismo modo, Akhter, *et al.* (2004) también reporta que no había ningún efecto del hidrogel sobre la emergencia, el crecimiento temprano de las plántulas y altura de las plantas.

Sin embargo, Hayat y Ali, (2004) y Moazzen-Ghamsari, *et al.* (2009), mencionan que esta contradicción podría deberse a las diferencias en las especies vegetales, las características del suelo, las condiciones climáticas y el tipo de superabsorbente.

- Limitación de los materiales SAP en los sistemas agrícolas

Hay ciertos parámetros en la cual el polímero absorbente pierde su rendimiento y efecto, como se plantean en los siguientes estudios:

En una investigación realizada por Salim, (2014) se evaluó el rendimiento del hidrogel en una prueba de ciclos de humectación y secado, que constaron de 14 ciclos (14 semanas), con el fin de ver el efecto en las propiedades del suelo (densidad aparente, porosidad, coeficiente de extensibilidad lineal). Sugiere que los efectos beneficiosos del SAP son más pronunciados en el primer ciclo de humectación y secado, ya que su capacidad de afectar a las propiedades del suelo disminuye con los ciclos de humectación y secado adicionales.

Por otro lado, Johnson (1984), mencionado por Sivalapan, S. (2006) reportó que las propiedades de almacenamiento de agua de estos productos fueron afectadas significativamente por la naturaleza y las concentraciones de sales disueltas en el agua de riego. También se ve afectada por los productos químicos o iones (Mg^{2+} , Ca^{2+} , Fe^{2+}) presentes en el agua (Islam, *et al.*, 2011). Estos iones pueden ser aportados naturalmente por el suelo o por el uso de fertilizantes (Sanz, J., 2015).

Bo *et al.* (2012) informa que aparte de afectar en la capacidad de hinchamiento (Figura 6), también incide en la disminución de la velocidad de absorción a medida que se incrementa la concentración de sales.

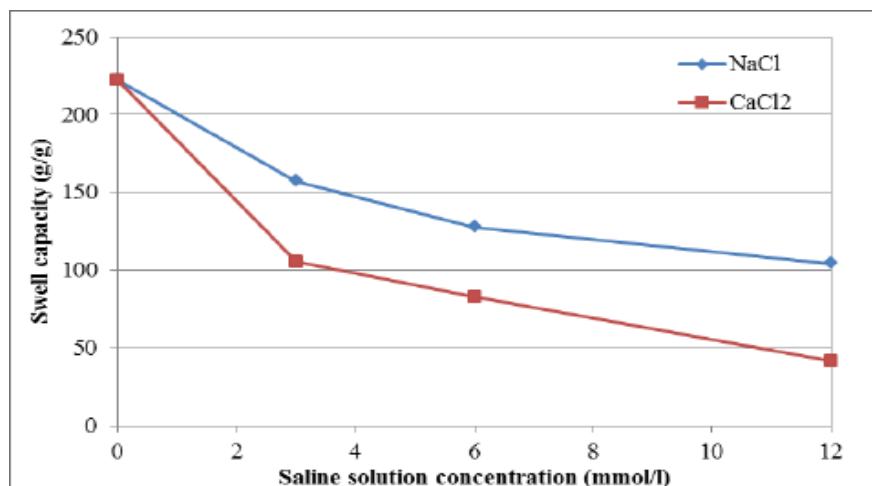


Figura 6: Efecto de la presencia de una concentración creciente de soluciones de NaCl y CaCl₂ sobre la capacidad de hinchamiento de un SAP.

Fuente: Bo *et al.* (2012).

- Efecto del SAP en suelos salinos

Uno de los efectos que puede atribuir el SAP en suelo salinos es su capacidad de mitigar el daño de las sales sobre el cultivo, como lo señala:

Dorraj, *et al.* (2010) en su investigación sobre los efectos del SAP y la salinidad del suelo en el crecimiento del maíz en suelos arenosos y limosos, donde encontró que el SAP, disminuye el efecto negativo de la salinidad del suelo sobre las plantas y ayuda a que los proyectos de riego tengan éxito en zonas áridas y semiáridas.

Del mismo modo, Chen *et al.* (2004) estudiaron el efecto de un polímero superabsorbente (Stokosorb K 410) en una especie leñosa *Populus euphratica*, donde la adición del polímero al 0.6% en peso al suelo salino mejoro el crecimiento de las plántulas (biomasa 2.7 veces mayor) durante un periodo de dos años. La longitud y la superficie de las raíces fue 3.5 veces que la de las cultivadas en suelo sin el polímero. También se indicó que el tratamiento con los SAP mejoraba la captación de Ca⁺² e incrementaba la capacidad del *Populus euphratica* para excluir la sal, es decir reduce el contacto con Na⁺ y Cl⁻.

- Uso de tasas de aplicación de los SAP

La mayoría de los artículos publicados, sobre los polímeros superabsorbentes (SAP) que investigan en la demostración de los efectos en las propiedades fisicoquímicas con respecto al suelo y/o las pruebas que evalúan en efecto en los cultivos, han manejado varias tasas de aplicación, entre estos se menciona los siguiente:

Según Abedi-Koupai y Sohrab (2004) a una tasa de aplicación de 4 g/kg y 6 g/kg, dio un efecto positivo en los parámetros biométricos y aumento en la retención de humedad. Del mismo modo, Islam *et al.* (2011), menciona que aumentó significativamente el rendimiento en maíz aplicando tasas de 7.5 kg/ha, 11.2 kg/ha y 15 kg/ha, donde este último fue la tasa óptima.

Salim, S. (2014), reportó el aumento de la capacidad de retención de agua en suelo franco arenoso aplicando tasas de SAP de 0.2 por ciento, 0.4 por ciento y 0.6 por ciento. Así mismo, Narjary, *et al.* (2012), aplicó tasas de 0.5 por ciento y 0.7 por ciento, donde mejoró la disponibilidad de agua en el suelo de arena para un periodo más largo. Por otro lado, Baker (1991) mencionando por Shaidian *et al.* (2010) ha recomendado una tasa del SAP de 1-1.5 g/kg de suelo.

- Biodegradabilidad y toxicidad de los SAP

En la actualidad, la biodegradabilidad del material es muy importante en la investigación en este campo debido a la renovada atención prestada a las cuestiones de protección del medio ambiente.

La mayoría de los polímeros retenedores son moderadamente biodegradados en el suelo por el medio iónico y microbiano, se convierten finalmente en agua, dióxido de carbono y materia orgánica, sin dejar sustancias químicas peligrosas en el suelo o el medio ambiente. (Stahl *et al.*, 2000)

Del mismo modo, Salim, S. (2014) realizó un estudio con un polímero superabsorbente llamado SkyGel, mencionando lo siguiente: SkyGel está hecho de copolímero de ácido acrílico y ácido acrílico de sodio, que se utiliza para pañales desechables y toallas sanitarias, por lo que es seguro, ecológico y se puede utilizar sin problemas, en cuanto el efecto del hidrogel se mantiene durante 2-3 años (depende de las condiciones del suelo o del medio ambiente). Este material SAP mezclado con tierra es gradualmente descompuesto por los rayos ultravioleta y los microorganismos, en consecuencia, se convierte en dióxido de carbono y agua.

Aparte que son seguros y no tóxicos, evitan la contaminación del agroecosistema, ya que reducen en la pérdida excesiva de nutrientes (Islam, *et al.*, 2011).

2.2 Enmiendas retentivas de humedad

Debido al coste actual de los materiales SAP en la agricultura, es cierto que estos índices no son accesibles para su uso en campo por gran parte de la mayoría de los productores.

Empresas como COMACSA que opera principalmente en el sector minería y metales, lanzan su nuevo producto de mejorador de suelo, elaborando productos 100 por ciento orgánicos y añadiendo en sus mezclas el material SAP.

Por otra parte, investigadores de la Universidad Nacional Agraria La Molina, estudian el uso que se puede dar al residuo industrial de pañales, aprovechando su capacidad de absorción y retención del agua, los cuales son donados por la empresa Kimberly Clark Perú.

Por tanto, se tiene dos productos que podría ser más asequible a su disposición para el agricultor para el uso en el campo, además que podrían contribuir a un desarrollo sostenible para el medio ambiente, por lo cual se menciona sus características de estas dos enmiendas.

2.2.1 Agrando retención de humedad

La compañía minera COMACSA en el año 2019 lanzó su nueva línea de mejoradores de suelo, bajo la marca Agrando, un producto 100 por ciento orgánico y puro procedente de sus propias concesiones, sin contaminantes ni pesticidas, producidos con altos estándares de calidad.

Entre estos productos se encuentra la enmienda natural a base de arcillas y aditivos específicos para la absorción y liberación controlada del agua (SAP), siendo su capacidad de absorción de agua 80 veces su peso.

Entre los beneficios se tiene:

- Reduce el estrés hídrico de las plantas.
- Aumenta el agua disponible para las plantas.
- Mejora la porosidad de los suelos.
- Incrementa la capacidad de intercambio catiónico de los suelos.
- Aumenta el rendimiento de las cosechas.
- Orientado a todo tipo de suelo.

Tabla 1: Composición de la enmienda Agrando retención de humedad

Componente	Valor declarado
Mezclas de arcillas especiales	60.00 %
Aditivos de regulación de humedad (Poliacrilato de potasio)	10.00%
Materia orgánica	30.00%

Fuente: Agrando® Retención de humedad (2019)

Investigaciones realizadas

Según Joya (2019), la aplicación de la enmienda Agrando retención de humedad, tuvo efecto significativo en el incremento de los porcentajes de materia seca aérea, radicular y total, además que amortigua la disminución del contenido de clorofila por efecto del estrés hídrico.

2.2.2 Residuo industrial de pañales

Los residuos industriales de pañales vienen del proceso de fabricación de pañales desechables, los cuales una vez recolectados, son compactados a modo de bloques con un peso aproximado de 600 gramos.

Su composición química es a base de celulosa y gránulos de poliacrilato de sodio, siendo la celulosa el componente mayoritario y solo el 10 por ciento en masa del SAP. Así mismo, se hicieron pruebas para determinar la capacidad de retención del residuo industrial, cada gramo de este residuo retiene 25 ml de solución nutritiva o fertilizante líquido orgánico (Borda, M., 2013).

Tabla 2: Composición del residuo industrial de pañales

Componente	Valor
Poliacrilato de sodio	10.00%
Celulosa	90.00%

Fuente: Borda, M. (2013)

Por otro lado, la celulosa empleada en los pañales, es pulpa de papel desfibrado, donde forma parte del sistema de absorción del pañal, debido a que los líquidos son retenidos por el fenómeno de capilaridad generado por el espacio intersticial entre las fibras, donde tiene la capacidad de absorber alrededor de cuatro veces su peso en fluido según Borgatta (2005) citado por (Tory, 2014).

Investigaciones realizadas

Según Borda (2013), demostró mejores efectos positivos en casi todas las variables biométricas y principalmente en frutos, tanto en número como en peso seco y fresco, además de mayor tiempo de aprovechamiento por la retención de agua para el cultivo tomate.

Por otro lado, Céspedes (2020) menciona que los tratamientos con el poliacrilato de sodio (residuo industrial de pañales) aplicados al cultivo frijol canario centenario, tuvieron mayor efecto en el rendimiento, menor agua requerida y en consecuencia menor huella hídrica respecto al testigo.

2.3 Cultivo pimiento

El pimiento es el fruto hueco de una planta herbácea que recibe su mismo nombre. Pertenecen a la familia de las Solanáceas y al género *Capsicum*. La planta del pimiento es originaria de nuestro país, así como de México y Bolivia, donde además del *Capsicum* se cultivaban al menos otras cuatro especies.

2.3.1 Factores climáticos y edáficos

✓ Temperatura

La temperatura óptima para el cultivo pimiento es de 18 a 27 °C donde obtiene la mejor floración y formación de frutos, temperatura superior a los 32 °C provocan caída de las flores y bloquean el proceso de fructificación. (Silva *et al.*, 1982).

✓ Humedad relativa

Serrano (1996) manifiesta que el desarrollo normal del pimiento se encuentra en el intervalo de humedad entre 60 a 70 por ciento, por lo cual es necesario disponer de buena ventilación del invernadero.

✓ pH

El pH óptimo para el cultivo de pimiento es 5.5 a 7.0 lo que indica que no es sensible a la acidez pero que se debe tener cuidado con los suelos básicos. (Silva *et al.*, 1982).

✓ Luz

El pimiento requiere abundante luz para la maduración y coloración de los frutos y el logro de una actividad fotosintética continua que redunde en mayor producción. (Silva *et al.*, 1982).

2.3.2 Morfología de la planta de pimiento

✓ Raíz

El sistema radicular es pivotante, con numerosas raíces adventicias muy ramificadas que pueden alcanzar hasta un metro de profundidad, aunque no suelen pasar de 25 a 30 centímetros. La planta alcanza un porte de 50 a 60 centímetros, según variedades. (Japón, 1980).

✓ Tallo

Los tallos de la planta de pimiento son erectos, ramificados, semileñosos, de una altura de 40 a 50 cm. (Silva *et al.*, 1982).

✓ Flor

Las flores son blancas, frágiles, solitarias, localizadas en las axilas de las hojas (Silva *et al.*, 1982).

✓ Fruto

El fruto es una baya variable en forma y tamaño (1 o 2 g en algunas variedades hasta más de 500 g en otras), de color verde inicialmente y después rojo o amarillo, según los híbridos.

2.3.3 Requerimientos del cultivo

✓ Suelo

Los suelos más adecuados para el cultivo del pimiento son los franco-arenosos, profundos, ricos, con un contenido en materia orgánica del 3-4 por ciento y principalmente bien drenados. Los valores de pH óptimos oscilan entre 6.5 y 7 aunque puede resistir ciertas

condiciones de acidez (hasta un pH de 5.5); en suelos enarenados puede cultivarse con valores de pH próximos a 8. Por consiguiente, los arenosos y arenos arcilloso son los más adecuados (Rendón, citado en Deker, 2011).

✓ Agua

En cuanto al agua de riego el pH óptimo es de 5.5 a 7.0 (Seymoer, 1999, citado en Deker, 2011).

2.3.4 Manejo del Cultivo

El sistema radicular del pimiento es superficial y poco potente, por lo que es importante un adecuado manejo de riego y de la fertilización para que el desarrollo de la planta sea lo mejor posible y evitar encharcamientos, ya que es sensible a la asfixia radicular.

Es una planta moderadamente sensible a la salinidad. El umbral (salinidad máxima del extracto de saturación del suelo sin pérdidas productivas) es CE: 1.5 dS/m.

La planta no tolera la humedad excesiva y el encharcamiento en el cuello, por lo que en sistema de riego localizado se separa la tubería portagoteros del cuello de la planta.

Según Dagdelen *et al.* (2004) el periodo más sensible al estrés hídrico en el cultivo de pimiento es en la etapa de floración seguido de la etapa de formación del frutos o fructificación donde la disminución del rendimiento fue del 30 por ciento y 28 por ciento respectivamente.

✓ Trasplante:

Tras unos 30-45 días, en función de la época de siembra, se procede al trasplante. En este apartado a su vez, hay que diferenciar, los trasplantes en suelo de los efectuados en sustrato.

El riego es localizado, empleando emisores en línea con caudales comprendidos entre 1 y 3 litros/hora. La plantación se hace en llano con un riego copioso de unos 400 m³/ ha.

La planta se entierra a nivel de cepellón o ligeramente más hundida, empleando un emisor por planta.

2.4 Manejo del agua

2.4.1 Capacidad de campo (CC)

Es el contenido de agua que tiene un suelo después que se satura y drena 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)

Cuando el suelo está en capacidad de campo (CC) y no se le vuelve a aplicar agua mediante el riego o la lluvia, las plantas hacen uso del agua almacenada, además se evapora agua de la superficie del suelo, esto ocasiona que los suelos se vayan secando poco a poco. En la medida que los suelos se secan, es más difícil para las plantas extraer el agua, hasta llegar un momento en que las plantas ya no pueden extraerla y se marchitan. Aunque el suelo aún

contiene cierta cantidad de agua, las plantas no pueden utilizarla, en ese momento el suelo se encuentra en el nivel de humedad conocido como Punto Permanente de Marchitez (Edmundo, A., 2013).

2.5 Medición de humedad del suelo

2.5.1 Método gravimétrico

Consiste en determinar la masa de agua contenida en una muestra de suelo dividida entre la masa de suelo seco de la muestra (Edmundo, A., 2013).

Es el método más exacto, se utiliza para calibrar los métodos indirectos. Se expresa mediante la siguiente fórmula:

$$Hw = \frac{Ma}{Ms} \times 100, \quad Ma = Mt - Ms \text{ Donde:}$$

Hw = Humedad gravimétrica (%)

Ma = Masa del agua en la muestra (g)

Ms = Masa del suelo seco (g)

Mt = Masa total de la muestra (g)

2.5.2 Medición de humedad con TDR

El sensor TDR determina la permitividad del suelo midiendo el tiempo que demora en ir y volver un pulso electromagnético que se trasmite a lo largo de una guía, normalmente en forma de sondas o conductores, insertados en el suelo Bittelli (2011) citado por González (2017). La distinción existente entre la constante dieléctrica del agua y la de los constituyentes del suelo seco (partículas sólidas y aire), hace que el tiempo que tarde en viajar el pulso electromagnético dependa del contenido de agua del suelo. Este pulso es más

lento cuando se presenta mayor contenido de agua González (2017). En la Figura 7, se presenta un esquema de funcionamiento del equipo TDR.

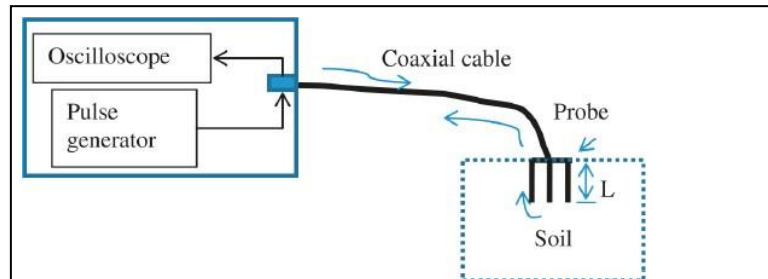


Figura 7: Esquema de un equipo TDR.

Fuente: Lekshmi *et al.* (2014)

Entre las ventajas de este método se encuentra su capacidad para proporcionar una lectura inmediata e *in situ* del contenido hídrico del suelo, y su alta precisión ($\leq 0,02 \text{ m}^3/\text{m}^3$) (Blonquist *et al.*, 2005). Sin embargo, sus aplicaciones se encuentran limitadas debido al alto coste de los equipos, además la ecuación empírica del contenido volumétrico no es válida para todo tipo de suelos, por lo que resulta necesario llevar a cabo la calibración del equipo para los distintos tipos de suelos (IAEA 2008) citado por (González, 2017).

- **Medidor de humedad del suelo FieldScout TDR 150**

El TDR 150 mide con precisión la humedad del suelo en distintas condiciones de suelo, junto con la conductividad eléctrica del suelo (EC) y la temperatura de la superficie del suelo.

Características:

- ✓ Mayor precisión de la humedad del suelo (contenido volumétrico de agua)
- ✓ Mide CE (conductividad eléctrica)
- ✓ Mide la temperatura de la superficie del césped
- ✓ El registrador de datos almacena aproximadamente 50,000 mediciones
- ✓ Pantalla retroiluminada exclusiva de la industria

- ✓ Sonda mejorada montada en el eje con marco tubular telescópico
- ✓ Datos recopilados con una unidad flash USB
- ✓ No se necesita interfaz de PC
- ✓ Alimentado por baterías de litio AA
- ✓ Sensor de temperatura IR opcional para medir el dosel de césped.

En la siguiente Figura 8, se presenta en medidor TDR150.



Figura 8: Medidor de humedad del suelo TDR 150.

Fuente: <https://maruplast.com/tdr-150/>

2.6 Conductancia estomática del cultivo

La conductancia estomática estima la tasa de intercambio gaseoso (es decir, consumo de CO₂) y de la transpiración (es decir, pérdida de agua) a través de las 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 las 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). En la siguiente Figura 9, se presenta la

escala referencial de valores de conductancia estomática para definir niveles de transpiración.

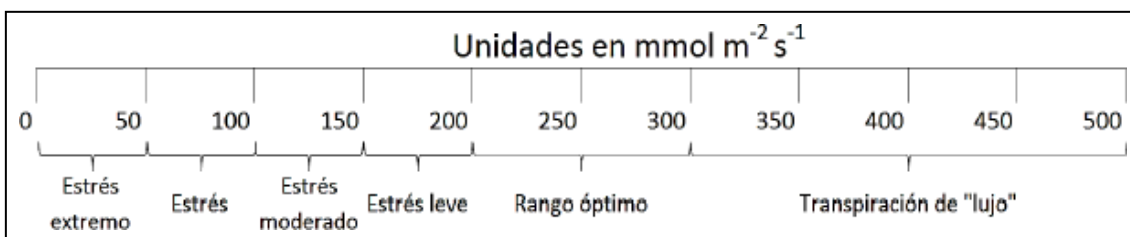


Figura 9: Escala referencial de valores de la conductancia estomática para definir niveles de transpiración.

Fuente: Vega, E., y Mejía, A. (2017).

✓ Porómetro

El porómetro mide la conductancia estomática (g) de las hojas usando la técnica del estado estacionario. Esta técnica mide la presión de vapor y el flujo de vapor sobre la superficie de la hoja. La pinza del porómetro, que incorpora una cámara con un recorrido de difusión conocido, se fija a la superficie de las hojas, y a continuación comienza a medir la presión de vapor entre dos puntos de esta trayectoria, para calcular el flujo y el gradiente con las medidas de presión de vapor y conductancia de difusión conocida.

Características:

- Lecturas de la conductividad en 30 segundos
- Muy fácil de usar y de programar.
- Es un medidor ligero y portátil, con un diseño compacto sin necesidad de tubos, bombas y ventiladores.
- Medidas no destructivas
- Basado en la técnica del Estado Estacionario, mide la presión de vapor y el flujo de vapor en la superficie de la hoja

Se presenta en la Figura 10, la forma de medición conductividad estomática usando el Porómetro.



**Figura 10: Medidor de la conductividad estomática-
porómetro**

Fuente: <http://www.lapacac.com/productos/fisiologia-vegetal/porometro-de-hoja>

2.7 Contenido de clorofila del cultivo

Los pigmentos fotosintéticos (principalmente la clorofila) le confieren a la planta la capacidad de captar energía proveniente de la luz y transformarla en energía química a través de la fotosíntesis. En la fase fotoquímica del proceso fotosintético, se utiliza la energía lumínica y del agua, para generar energía química y liberar O₂ (Taiz y Zeiger, 2010). Por lo tanto, el proceso fotosintético es directamente dependiente de la disponibilidad hídrica.

Li *et al.* (2017) citado por Salazar & Hernández (s.f.) describió que bajo condiciones de sequía se produce una disminución en el contenido de clorofilas, lo que se ha calificado como una causa de inactivación de la fotosíntesis y, por ende, una limitación en la producción.

✓ SPAD

El SPAD-502 Plus es un medidor compacto designado para ayudar a los usuarios a mejorar la calidad de los cultivos y aumento de rendimiento de los cultivos, proporcionando una indicación de la cantidad de clorofila presentes en las hojas de la planta. El contenido de

clorofila de las hojas de las plantas está relacionado con la condición de la planta, y por lo tanto se puede utilizar para determinar cuándo es necesario el fertilizante adicional.

Las lecturas de SPAD son un indicador confiable para diagnosticar el estado de nitrógeno total en el tejido vegetal, ya que un nivel crítico (NC) menor de 48.5 indica que el cultivo tiene concentraciones menores de 3 por ciento de nitrógeno. En consecuencia, es una condición de deficiencia nutrimental respecto a ese elemento (Cruz, *et al.*, 2011).

Características:

- Valor SPAD (Índice de clorofila relativa: 0.0 a 99.9)
- Sistema de medida: Diferencia de densidad óptica a dos longitudes de onda
- Área de medida: 2mm x 3mm
- Fuente de luz: 2 LEDS's
- Receptor: 1 SPD (Fotocelda de silicón)
- Fuente de poder: 2 baterías alcalinas "AA" (1.5V)
- Vida de baterías: Sobre 20.000 lecturas
- Dimensiones de embarque: 10" x 8" x 3"
- Peso: 4 lbs

En la siguiente Figura 11, se muestra el medidor SPAD-502 Minolta.



Figura 11: Medidor SPAD-502 Minolta

Fuente: www.gisiberica.com

2.8 Curva de retención de humedad

La curva de retención hídrica, expresa la capacidad de un suelo, o cualquier otro medio poroso, para retener el agua en función de la succión (tensión) ejercida.

Se utilizan primordialmente para determinar un índice de humedad disponible en el suelo, es decir, la porción de agua que puede ser absorbida por las plantas; estimar determinados valores de humedad característicos de la relación suelo-agua-planta, como la capacidad de campo o punto de marchitez permanente; determinar la relación entre la tensión de la humedad del suelo y otras propiedades físicas (Martínez, 1995)

A continuación, en la Figura 12, se muestra la curva característica de humedad del suelo.

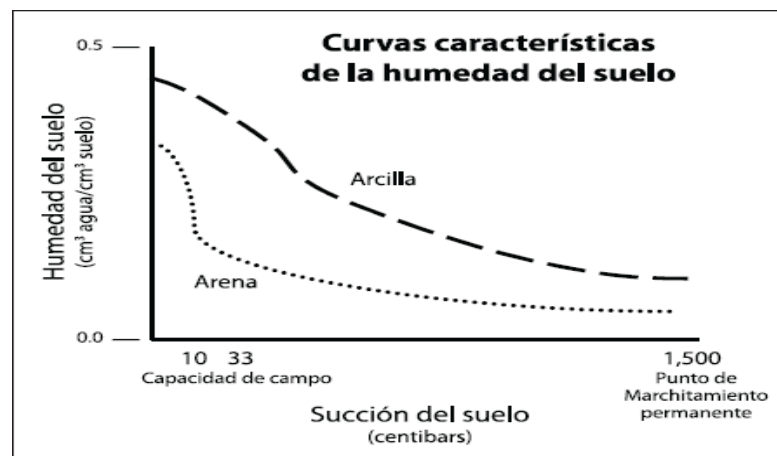


Figura 12: Curvas características de la humedad para suelos arenosos y arcillosos

Fuente: Texas, S. U. (2008)

2.9 Uso eficiente del agua

La eficiencia en el uso del agua (EUA) o productividad del agua (PA) es la relación existente entre la biomasa (peso del fruto fresco) presente en un cultivo por unidad de agua utilizada

por este en un determinado momento. Cuando se pretende enfocar el empleo del agua por un componente meramente productivo y económico, se recurre a sustituir la biomasa por el rendimiento en Kg de producto por m³ de agua utilizada (Fernández y Camacho, 2005).

$$Ef \text{ Agua} = \frac{\text{Producción (kg)}}{\text{Agua utilizada (m}^3\text{)}}$$

III. METODOLOGIA

3.1 Ubicación experimental

Para el presente trabajo de tesis se utilizó las instalaciones del Centro de investigación y extensión en riego (CIER) del departamento de Recursos Hídricos de la facultad de Ingeniería Agrícola en la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), ubicado en el distrito la Molina, provincia de Lima. A continuación, se presenta en la Figura 13, el croquis donde está ubicada el área experimental.



Figura 13: Croquis de la ubicación experimental

Fuente: Elaboración propia.

3.2 Características climáticas

El ensayo se ejecutó entre el verano e invierno de 2020, periodo considerado como una campaña tardía para el cultivo pimiento. El reporte de las condiciones climáticas (Tabla 3) se obtuvo del termohigrómetro digital HTC-1, ubicada dentro del invernadero donde se desarrolló el experimento.

Tabla 3: Datos de temperatura (°C) y humedad relativa (%) dentro del invernadero

	Temperatura (°C)			Humedad relativa (%)			ET total (mm)
	Máx.	Min.	Media	Máx.	Min.	Media	
Enero	32.7	21.9	27.3	90	26.6	58.3	-
Febrero	32.9	21.7	27.3	90	23.7	56.85	27
Marzo	33.2	21.7	27.45	85.6	23	54.3	109.7
Abril	31.4	18.9	25.15	91.5	20.9	56.2	97.9
Mayo	27.3	17.1	22.2	91.8	31.1	61.45	65.3
Junio	24.4	15.5	19.95	92.1	34.2	63.15	38.3

Fuente: Elaboración propia.

Las máximas temperaturas se dieron en el mes de marzo, con un valor de 33.2 °C, cuando se registró el menor valor de humedad relativa (54.3 por ciento) de todo el ensayo. En el mes de junio se registraron las temperaturas más bajas, con 15.5 °C y humedad relativa media de 63.15 por ciento. En la Figura 14 se observa cómo fue cambiando la temperatura durante toda la campaña y los valores de temperatura máxima y mínima. La mayor diferencia entre temperatura máxima y mínima se dio en el mes de abril (12.5 °C) y la menor en el mes de junio (8.9 °C).

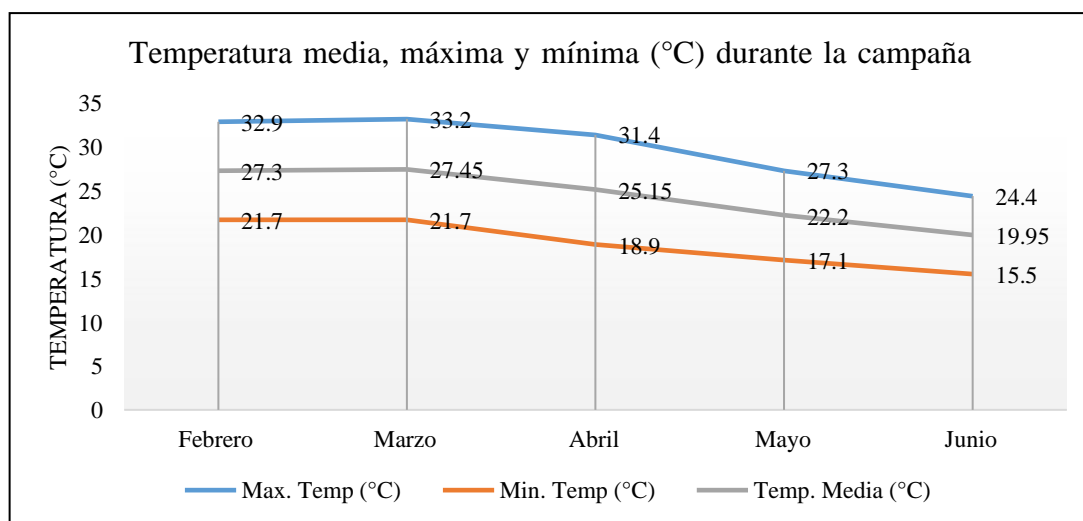


Figura 14: Temperatura (°C) desde el trasplante hasta la cosecha

Fuente: Elaboración propia.

Se muestra en la Figura 15 el comportamiento de la humedad relativa media, máxima y mínima durante toda la campaña.

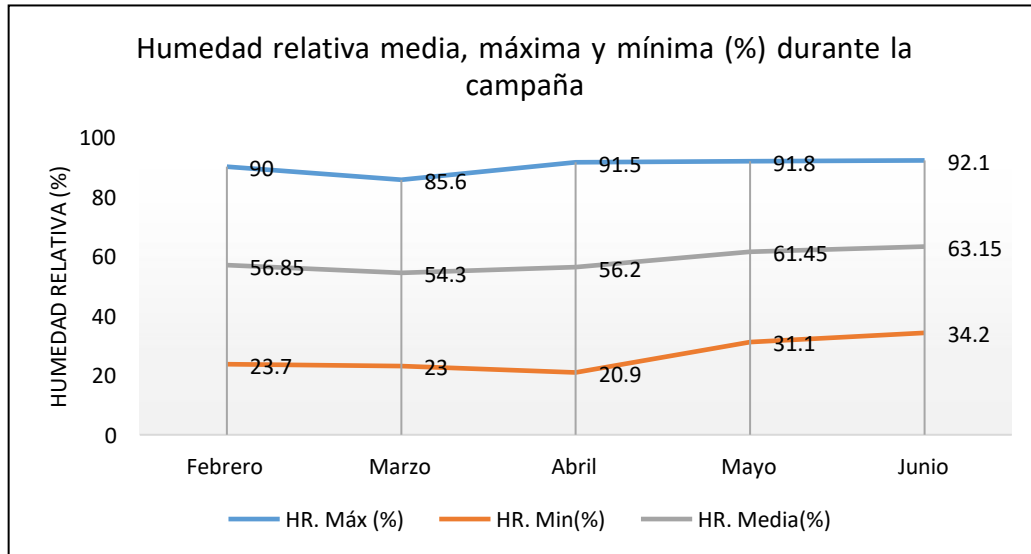


Figura 15: Humedad relativa (%) desde el trasplante hasta la cosecha

Fuente: Elaboración propia.

3.3 Materiales

3.3.1 Material biológico

Semillas de pimiento Hércules F1, este cultivar se caracteriza por su vigoroso crecimiento y su robustez, es una planta corta y tupida de estructura maciza de muy buena cobertura de follaje y hojas grandes. Se eligió esta especie híbrida por el crecimiento homogéneo, además de su resistencia contra ciertos tipos de virus (virus del mosaico del pepino, *Phytophthora infestans* Blight, virus del mosaico del tomate).

3.3.2 Suelo

Se utilizó suelo de textura arenosa, el cual posee características como un pH moderadamente alcalino, conductividad eléctrica baja. Por lo antes descrito el suelo tiene poca retentividad de agua (véase la Tabla 4).

Tabla 4: Análisis de caracterización del suelo arenoso.

Parámetro	Resultado	
CE (1:1)	0.48	ds/m
pH (1:1)	8.15	
ANALISIS MECANICO		
Arena	97.74	%
Limo	1.54	%
Arcilla	0.72	%
Clase textural	Arena	
dap	1.74	gr/cm ³

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

3.3.3 Agua

Se utilizó agua del reservorio ubicado en el Centro de investigación y extensión en riego (CIER) del departamento de Recursos Hídricos.

Tabla 5: Análisis estándar del agua

Parámetro	Resultado	
CE	0.98	mmhos/cm
pH	7.48	
Calcio	5.46	meq/l
Magnesio	1.28	meq/l
Sodio	2.57	meq/l
Potasio	0.24	meq/l
SUMA DE CATIONES	9.54	
Cloruros	2.57	meq/l
Sulfatos	3.79	meq/l
Bicarbonatos	3.28	meq/l
Nitratos	0	meq/l
Carbonatos	0	meq/l
SUMA DE ANIONES	9.63	
SAR	1.4	
Boro	0.25	mg/l
Clasificación	C3-S1	

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

3.3.4 Fertilizantes

Se utilizó los siguientes fertilizantes: nitrato de potasio, fosfato monoamónico, nitrato de calcio, sulfato de magnesio y bioestimulante completo orgánico (aminoácidos libres, ácidos orgánicos, vitaminas, macro y microelementos).

3.3.5 Materiales y Equipo de Laboratorio

Toma de muestras de agua y suelo

- Botella de plástico de 1 litro
- Sobres de papel

Instalación del sistema de riego por goteo

- Tuberías y accesorios de PVC
- Cintas de goteo
- Goteros 1.6 l/h
- Electrobomba

Siembra y trasplante del cultivo

- Semillas de Cultivo Pimiento
- Bandejas para el almácigo
- Sustrato para almácigo (Arena gruesa +musgo)
- Bolsas negras 17"x16"x3.5-15 litros
- Sustrato de arena gruesa

Medición de la humedad del suelo

- Medidor TDR 150

Medición de los parámetros fisiológicos del cultivo

- SPAD (contenido de clorofila)
- Porómetro SC-1 (Decagon Device USA)

Medición de los parámetros Biométricos del cultivo

- Contador mecánico
- Medidor láser
- Vernier digital

Medición de la temperatura y Humedad dentro del Invernadero

- Higrómetro digital HTC-1

Accesorios diversos

- Cámara fotográfica
- Balanza digital
- Horno

3.4 Metodología Experimental

3.4.1 Tratamientos

Los tratamientos se conformaron por la combinación de ambos factores en estudio: Frecuencia de riego y Productos de enmiendas retentivas, dando un total de 4 tratamientos más 2 testigos, los cuales se detallan en las Tablas 6, 7 y 8.

Tabla 6: Descripción de las enmiendas retentivas de humedad

Producto	Nivel	Código
Residuo industrial de pañales	Enmienda 1	P1
Agrando retención de humedad	Enmienda 2	P2

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7: Descripción de los factores de estudio

Factores	Denominación	Nivel	Código	Valor
Factor A	Frecuencia de riego	Frecuencia cada 2 días	F1	-
		Frecuencia cada 4 días	F2	-
Factor B	Producto	Enmienda 1	P1	13g
		Enmienda 2	P2	13g

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8: Descripción de los 6 tratamientos conformados

Tratamientos		Interpretación		
N°	Código	Producto	Dosis (g)	Frecuencia de Riego(día)
1	F1T	Testigo	0	2
2	F2T	Testigo	0	4
3	F1P1	P1	13	2
4	F2P1	P1	13	4
5	F1P2	P2	13	2
6	F2P2	P2	13	4

Fuente: Elaboración propia.

3.4.2 Diseño experimental

Se utilizó un Diseño de Parcelas Divididas (DPD), que está constituido por el Factor A (Frecuencia de riego), que representan las parcelas principales y cada una de estas parcelas están divididas en 3 subparcelas que representan el Factor B (Enmiendas retentivas y testigo), distribuidas aleatoriamente. En total el experimento consistió de 6 tratamientos y tres repeticiones, por tanto, se tuvo 18 unidades experimentales.

Modelo Lineal:

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

$$Y_{ijk} = \mu + \underbrace{\gamma_k + \alpha_i + \lambda_{ik}}_{\text{Representa a la parcela principal}} + \underbrace{\beta_j + (\alpha\beta)_{ij}}_{\text{Representa a la subparcela}} + \epsilon_{ijk}$$

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

En la siguiente Tabla 9, se presenta los grados de libertad para un diseño de parcelas divididas en bloques con arreglo completamente aleatorio.

Tabla 9: Análisis de varianza para el diseño en parcelas divididas en bloques con arreglo completamente aleatorio

Fuente de variación	Grados de libertad (GL)	GL
Parcela principal		
Bloque ®	r-1	2
Frecuencia de riego A	A-1	1
Error experimental (a)	(A-1)(r-1)	2
Parcela secundaria		
Enmiendas Retentivas B	B-1	2
AxB	(A-1)(B-1)	2
Error experimental (b)	A(r-1)(B-1)	8
Total	rAB-1	17

Fuente: Elaboración propia.

3.4.3 Análisis estadístico

Se utilizó el software libre Rstudio, para el análisis de varianza, prueba de normalidad, prueba de homogeneidad, efecto de interacción de los factores, diagrama de cajas, análisis de efecto simples y prueba de comparación de medias.

Así mismo, se realizó el análisis de varianza para los rendimientos totales y comerciales, el uso eficiente del agua, la calidad de producción, el contenido de clorofila y los parámetros biométricos mediante las pruebas de comparación de media de Student-Newman-Keuls ($\alpha = 0,05$).

3.4.4 Distribución experimental

En la Figura 16, se presenta la disposición de los tratamientos en el campo experimental con una distribución completamente al azar.

Descripción

- El campo experimental cuenta con seis tratamientos.
- Cada tratamiento presenta tres repeticiones.
- Se instalo en total 18 unidades experimentales.
- Cada unidad experimental cuenta con 10 plantas.
- En cada unidad experimental se realizó mediciones de las variables (humedad volumétrica, contenido de clorofila, parámetros biométricos) con cinco repeticiones y medición de la conductancia estomática con tres repeticiones.

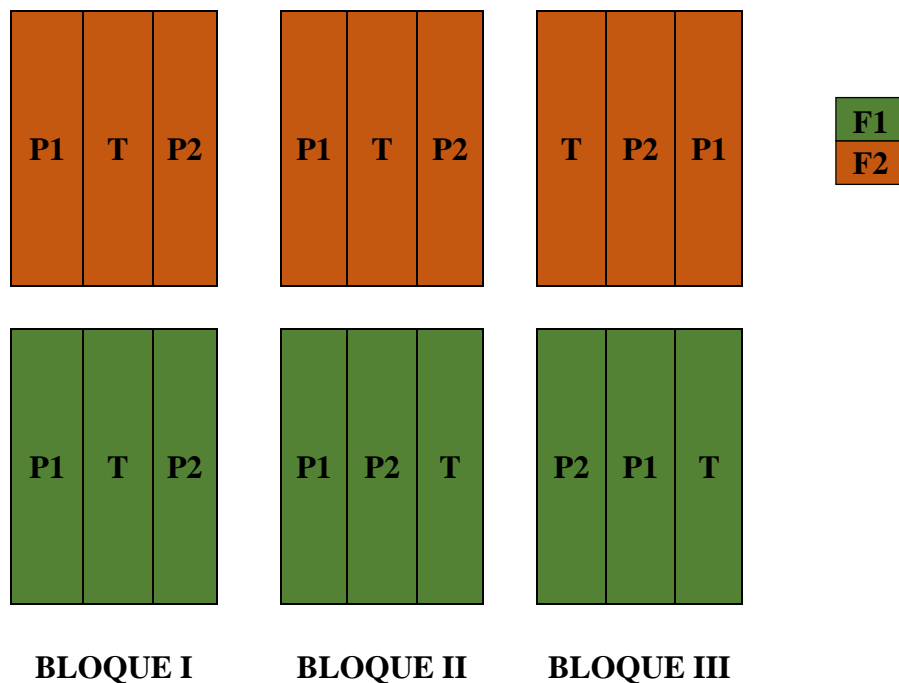


Figura 16: Disposición de las unidades experimentales

Fuente: Elaboración propia.

3.4.5 Características del campo experimental

Las dimensiones empleadas para el presente ensayo fueron los siguientes. (Véase Anexo 6)

Del campo experimental

Largo efectivo: 14m

Ancho efectivo: 9.5m

Área efectiva: 133m²

Del bloque

Largo efectivo: 10.0 m

Ancho efectivo: 3.0 m

Número de bloques: 3

Número de parcelas por bloque: 2

De la parcela Principal

Largo efectivo: 5.0 m

Ancho efectivo: 3.0 m

Área efectiva: 15.0 m²

Número de parcelas: 6

Número de subparcelas por parcela principal: 3

De la subparcela (unidad experimental)

Largo efectivo: 5.0 m

Ancho efectivo: 1.0 m

Área efectiva: 5.0 m²

Número de subparcelas: 18

Número de planta por subparcela: 10

Distancia entre planta: 0.5m

Distancia entre línea de riego: 1m

Caudal de cada gotero: 1.6 l/h

3.5 Instalación y manejo del experimento

3.5.1 Siembra

La siembra se realizó el 1 de diciembre del 2019, comienzos del verano. Las semillas fueron adquiridas por la Empresa Alabama. Los sustratos utilizados para los almácigos, fue arena gruesa de río lavado y musgo en una proporción de 1:3, se sembraron las semillas en bandejas de 72 celdas.

Se colocó una semilla por cada celda y se sembró un 30 por ciento más, con respecto a la cantidad que se necesitaba en el campo experimental, las plántulas comenzaron a germinar al octavo día de la siembra y al onceavo día aparecieron en su totalidad (véase Anexo 1).

3.5.2 Preparación del sustrato

El sustrato consistió de un suelo de textura arenosa (arena de río), la cual se realizó la mezcla con la enmienda de residuo industrial de pañales (P1) y de la enmienda Agrando retención de humedad (P2) (véase Anexo 3).

3.5.3 Preparación del campo experimental

El campo experimental fue en el invernadero en donde se realizó el replanteo con cintas de rafia, consistió en marcar el terreno de acuerdo con el diseño experimental, tanto en bloques, parcelas y unidades experimentales. El distanciamiento de cada hilera fue de 1 m, para posteriormente colocar las macetas distanciadas 0.5 m entre sí. También se instaló cables de

acero en el techo del invernadero y sobre ellas se colgó hilos de rafia, esto para el tutorado de la planta. (Véase Anexo 6).

Todo esto se realizó con la ayuda de cintas de rafia, wincha, escalera y estacas.

3.5.4 Instalación del sistema de riego

Se utilizó un sistema de riego por goteo en invernadero, la fuente de agua fue el reservorio de la unidad experimental. Se colocó una cinta de riego por hilera, con goteros distanciados a 50 cm, en total se tuvo 18 cintas de 5 m de largo, de acuerdo con diseño experimental presentado en el croquis (véase Figura 16). Así mismo se realizó el templado de las cintas, poniendo estacas de alambres sobre las macetas. Los riegos de acuerdo con los tratamientos planteados fueron de cada 2 días y 4 días. (Véase Anexo 2).

3.5.5 Trasplante

El día 20 de enero del 2020 se realizó trasplante a campo definitivo aproximadamente a los 45 días después de la siembra en almácigos. Una vez en campo, se realizó en primer lugar la labor de hoyadura con la ayuda de un tubo de 1 pulgada. Luego se procedió con el trasplante propiamente dicho, esta labor importante consistió en dos sublabores: labor de botado y labor de cerrado:

La labor de botado consistió en extraer con mucho cuidado la plántula empujándolo de la base, debido a que muchas plántulas pueden ser arrancadas o salir sin sustrato, dañando así las raíces.

En cuanto a la labor de cerrado, se trata de colocar los plantines en los hoyos, tratando que el cuello de la plántula quede al ras del suelo, además de presionar suavemente para que las raíces hagan contacto con el suelo y no queden espacios vacíos.

Inmediatamente después de estos sub-labores, se acercó las cintas de riego a las plántulas y se dio un riego ligero para minimizar el stress de la planta, y así asegurar un buen prendimiento.

3.5.6 Labores agronómicas

a) Tutorado

La labor de tutorado consistió en colocar cables de acero por el techo del invernadero y sobre ellas sujetar hilos de rafia para poder sostener a las plantas, para no maltratar al cultivo se utilizó collarines para poder fijar el hilo de rafia con el tallo de la planta. A medida que fue creciendo el cultivo, se siguió ajustando el collarín para mantener la posición vertical de la planta (véase Anexo 4).

b) Control de plagas

- Como parte de las medidas preventivas, se tuvo en cuenta el monitoreo constante del campo. Al momento de la instalación del cultivo se colocaron trampas pegantes para insectos como mosca blanca, pulgones y trips, así mismo las trampas se renovaron según la necesidad.
- La incidencia de plagas (trips, perforador de frutos, áfidos) fue baja, se controlaron con insecticidas caseros como el concentrado de ají, aplicándolas vía foliar.
- También hubo incidencia de mosca blanca, que se controlaron con ají y jabón. Posteriormente se utilizó insecticida agrícola MIPADRIP, siendo efectivo en el control de esta plaga.
- En la etapa de la cosecha se observaron signos de la presencia del acaro hialino (*Polyphagotarsonemus latus*), haciéndose más acentuados en la última cosecha. Esta plaga

solo se presenció en los tratamientos con el sustrato P2 y testigo para una frecuencia de riego cada dos días, para esto se aplicó azufre en polvo.

Esta plaga trae como consecuencia hojas gruesas y deformes, dando la apariencia virósica, posteriormente adquieren una coloración bronceada, las plantas no continúan su desarrollo y en caso de una alta infestación puede provocar la caída de flores y frutos pequeños (Sánchez, 2006).

c) Control de enfermedades

- Las medidas preventivas empezaron en el almácigo con las aplicaciones de *Trichoderma harzianum*, un agente para el control de la marchitez y el enraizamiento de la plántula.
- Durante la última cosecha se hizo una aplicación de azufre contra oídio (*Leveillula taurica*), hongo blanco en el envés de la hoja.

3.5.7 Metodología de determinación de variables

A. Parámetros fisiológicos

- **Contenido de clorofila**

El contenido de clorofila se midió con el equipo portátil SPAD-502 Plus Olympus, se evaluó en una de las hojas del tercio superior de la planta, específicamente en el área media de la lámina foliar evitando las nervaduras. Esta medida se registró con una frecuencia cada cuatro días, un día antes de la aplicación del riego y a las horas de la mañana (7:00 a 8:00 am), evitando la exposición directa a la luz solar para evitar errores en la lectura del equipo (véase Anexo 5).

- **Conductancia estomática**

La conductancia estomática se midió con el equipo portátil Porómetro de estado estacionario SC-1 (Decagon Device USA), igual que el contenido de clorofila, se

evaluó en una de las hojas del tercio superior de la planta, en el área media laminar foliar evitando las nervaduras. Esta medida se evaluó con una frecuencia cada cuatro días, un día antes de la aplicación del riego y a las horas de mayor temperatura o exposición directa del sol (11:00 am a 2:00 pm).

B. Parámetros biométricos

La evaluación de los parámetros biométricos se dividió en 4 aspectos de interés: altura de planta, número de hojas, diámetro de tallo y profundidad de raíz, los cuales se detallan en la Tabla 10.

Tabla 10: Parámetros evaluados durante el ensayo días después del trasplante (DDT)

Parámetro	Método	Observación	Momento de Evaluación
Altura de planta	Medición con medidor de distancia laser BOSCH	Cinco plantas por unidad experimental. Medida desde el cuello de la planta hasta el brote terminal.	Cada 15 días, desde los 25 DDT hasta la final de la cosecha.
Número de hojas	Conteo con el medidor mecánico	Cinco plantas por unidad experimental	Cada 15 días, desde los 25 DDT hasta la final de la cosecha.
Diámetro de tallo	Medición con el Vernier digital	Cinco plantas por unidad experimental. Medida a 10 cm del suelo.	Cada 15 días, desde los 25 DDT hasta la final de la cosecha.
Profundidad de raíz	Medición con regla	Tres plantas por unidad experimental	Al finalizar la última cosecha.

Fuente: Elaboración propia.

C. Parámetros de calidad del fruto

La cosecha se realizó en forma manual, se retiraron los frutos por cada planta, posteriormente fueron clasificados según sus pesos y longitudes.

- **Tamaño de frutos:** Para la clasificación de los frutos, se tomó como referencia la clasificación empleada por los protocolos de calidad de Argentine food (2013), agrupadas en cuatro categorías de acuerdo con su peso.

Tabla 11: Descripción de los pesos de frutos del pimiento

Tamaño	Peso del fruto (gr)
Extragrande	> 210
Grande	150 - 210
Mediano	80 - 150
Pequeño	< 80

Nota: Tolerancia: se aceptarán hasta un 5 por ciento en más o menos expresados en gramos, para cada uno de los tamaños especificados.

Fuente: Argentine food (2013)

- **Longitud de fruto:** Se realizó la medición en el diámetro polar del fruto con ayuda del vernier digital en todos los frutos por planta. El momento de evaluación fue inmediatamente después de cada cosecha.
- **Diámetro de fruto:** Se realizó la medición en el diámetro ecuatorial del fruto con ayuda del vernier digital en todos los frutos por planta. El momento de evaluación fue inmediatamente después de cada cosecha.

D. Parámetros de Producción

- **Número de frutos:** Se realizó el conteo de frutos de cada planta, luego se procedió a pesarlos, para posteriormente clasificarlos según los pesos establecidos en la Tabla 11.
- **Rendimiento total:** Se estima como la relación de dividir la producción total entre la superficie cosechada, expresada en kg/m² o kg/ha. Se pesó la cantidad total de cada tratamiento (unidad experimental).

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Cantidad producida (kg)}}{\text{Superficie cosechada (m}^2\text{)}}$$

- **Rendimiento comercial:** Se considera como la relación de dividir la producción clasificada entre la superficie cosechada, expresada en kg/m² o kg/ha.

Se pesará la cantidad clasificada correspondiente a los pesos pertenecientes al nivel comercial (extragrande, grande y mediano).

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Cantidad producida (kg)}}{\text{Superficie cosechada (m}^2\text{)}}$$

E. Determinación de parámetros de suelo

- **Conductividad eléctrica de la solución drenada**

Para la medición de la conductividad eléctrica se dispuso de bandejas para el depósito de la solución drenada, esta se colocó debajo de las macetas, en total fueron 6 bandejas por los 6 tratamientos conformados. (Véase Anexo 5).

- **Conductividad eléctrica del sustrato**

La conductividad eléctrica del sustrato se usó el equipo TDR150, que mide la humedad del suelo junto con la conductividad eléctrica, además de la temperatura del suelo. Los datos que se evaluaron fueron después de cada riego.

- **Curva de retención**

Para realizar la curva de retención se tomaron muestras del sustrato puro (testigo) y de las mezclas de este con las enmiendas retentivas P1 y P2, para luego pasar por la placa a presión.

Se colocaron tres muestras para cada tipo de sustrato y se saturaron con agua durante 12 horas. La presión deseada (0, 0.1, 0.15, 0.33, 0.66, 0.90, 5.0, 10 y 15 bar) se aplicó hasta que cesó el flujo de salida y se consideró que el agua del suelo estaba en equilibrio con la presión aplicada (véase Anexo 4).

El contenido volumétrico de agua del suelo se determinó multiplicando el contenido gravimétrico de agua por la relación de la densidad aparente de cada sustrato.

El contenido de agua disponible (CAD) es la cantidad de agua liberada por un suelo entre la capacidad de campo (CC) y el punto de marchitez permanente (PMP). El contenido de agua disponible se calculó por sustracción de CC y PMP ($CAD = CC - PMP$). El termino implica que el agua disponible puede ser utilizada por las plantas.

El contenido de agua del suelo en la CC es para fines prácticos y el límite superior de disponibilidad de agua del suelo se ha relacionado para suelos arenosos con una succión de 0.1 bar.

El PMP de un suelo generalmente se ha dado como el límite inferior de la disponibilidad de agua del suelo y se ha relacionado con una succión de 15 bar.

F. Determinación de los parámetros riego

1. Lámina de riego

La aplicación del agua de riego en el cultivo pimiento, se realizó determinándose en campo las necesidades de agua consumida por cada tratamiento, en función a las frecuencias de dos y cuatro días, utilizando para ello en sensor de humedad TDR150.

Para reponer el déficit de agua del cultivo, se registraron lecturas (cada 2 y 4 días), antes y después de cada riego.

En otras palabras, después de cada riego, la lectura se registró como la humedad volumétrica inicial y antes de cada riego, se registró como la humedad volumétrica actual y a partir de ello se determinó la lámina bruta a reponer para cada tratamiento.

Se determinó con la fórmula:

$$db = \frac{(\theta_i - \theta_a) \times D}{Ef}$$

- *db*: Lámina bruta a reponer
- θ_i : Humedad volumétrica inicial
- θ_a : Humedad volumétrica actual
- *D*: Profundidad de raíz
- *Ef*: Eficiencia de aplicación

2. Tiempo de riego

Una vez ya calculado la lámina bruta, se procedió a determinar el tiempo de riego, de acuerdo al requerimiento de agua de cada tratamiento.

Se determinó con la siguiente fórmula:

$$tr = \frac{Am * db}{qa}$$

- *tr*: Tiempo de riego
- *db*: lámina bruta a reponer
- *Am*: Área de la superficie de la maceta
- *qa*: Caudal de aplicación de gotero

3.6 Fertirrigación

El tipo de fertirriego aplicado es la fertirrigación proporcional que utiliza el Venturi como inyector de fertilizantes. La aplicación de nutrientes es proporcional al caudal de riego.

La fertirrigación proporcional es utilizada sobre todo en medios sin suelos y en suelos arenosos. En este método de fertirrigación se inyecta una cantidad definida de solución fertilizante en cada unidad de agua que fluye a través del sistema de riego (por ejemplo, l/m³, lb/gal). Los niveles de nutrientes son determinados por su concentración de agua de riego (Conde, J.2013).

La cantidad total de un nutriente aplicado por una unidad de área puede ser evaluada multiplicando la concentración del nutriente en el agua de riego por el volumen total de agua aplicado.

Con el método de fertilización proporcional se llegó aplicar en las distintas etapas de crecimiento del cultivo pimiento después del trasplante (DDT) los siguientes macroelementos en función de la cantidad de agua que requiera el cultivo.

A continuación, se presenta los requerimientos de macroelementos del cultivo pimiento.

Tabla 12: Necesidades de macroelementos para el cultivo pimiento durante las etapas de crecimiento

NECESIDADES	N	P	K	Ca	Mg	S	Días
Etapa A	100	45	100	120	45	80	0-30
Etapa B	150	40	150	180	50	90	31-45
Etapa C	200	90	200	190	50	90	45-60
Etapa D	200	120	320	190	50	110	>60

Fuente: Elaboración propia.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 Parámetros de suelo

4.1.1 Conductividad eléctrica del suelo

En la Figura 17 se presenta la conductividad eléctrica del suelo medido con el TDR150 desde los 36 DDT hasta los 121 DDT (etapas de floración, fructificación y maduración). Se observa que desde los 37 DDT hasta los 60 DDT los tratamientos F1P1 y F2P1 registran valores altos de conductividad eléctrica a comparación de los tratamientos F1P2, F2P2, F1T y F2T.

La alta conductividad del sustrato con la enmienda de residuo industrial de pañales P1 se puede atribuir al poliacrilato de sodio. Este componente desprende iones de sodio (Na^+) al entrar en contacto con el agua, dejando libres a los iones carboxilos ($-\text{COO}^-$), los cuales, siendo negativamente cargados, se repelen uno a otro de manera que el polímero se desenrolla absorbiendo agua. (Tory, S., 2014).

Por otra parte, los iones de sodio que se encuentran libres reaccionan con los sulfatos, cloruros y carbonatos presentes en el agua formando así las sales que confieren al sustrato con la enmienda P1 una alta conductividad eléctrica.

Pasando los 60 DDT, se puede observar el descenso de la conductividad eléctrica de los tratamientos con la enmienda P1, esto posiblemente a que se fue añadiendo los nutrientes, ácidos húmicos que comenzaron a desplazar al sodio y posteriormente se lavaron por los riegos periódicos.

Para todos los tratamientos en general, pasando los 78 DDT, se observa que la conductividad eléctrica del suelo va en aumento, lo cual podría resultar debido a que se fue añadiendo más concentración de nutrientes para la planta, según lo demanda en cada etapa fenológica del cultivo, y más se da para los tratamientos para una frecuencia cada dos días.

Cuando un suelo es nuevo y se empieza a fertilizar, el interior de este siempre es más pobre en nutrientes y por ende más baja su conductividad que la de la solución nutritiva que se está aplicando. Con el paso del tiempo, el suelo se va saturando de nutrientes, y el interior del suelo empieza ser más rico que el exterior (Aguirre, 2009)

Por otro lado, se manifiesta que el sustrato con la enmienda P2 registran mayor conductividad eléctrica a comparación del testigo, este aumento es debido a que presenta en su composición arcillas especiales y materia orgánica (véase la Tabla 1), que incrementa la capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo. Se sabe que el CIC indica la habilidad de los suelos de retener cationes, disponibilidad y cantidad de nutrientes a la planta.

Además, la presencia de la arcilla, los iones intercambiables y el contenido de agua en el suelo influyen en la CE del suelo que son capaces de conducir la corriente eléctrica que inciden en la característica nutritiva del suelo, donde estas propiedades están notoriamente relacionadas con la salinidad del suelo.

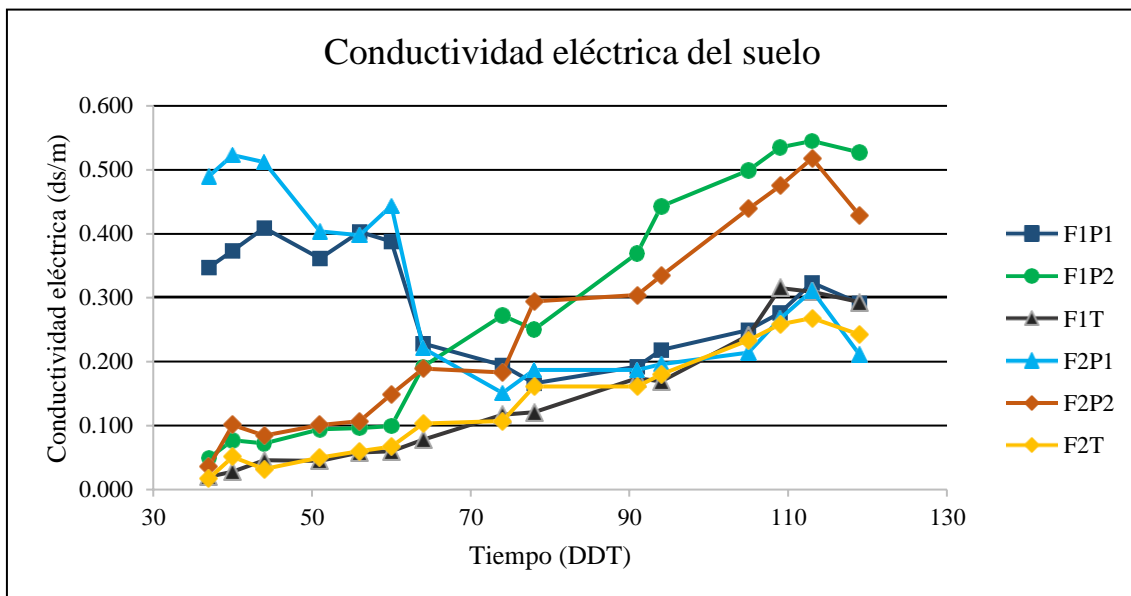


Figura 17: Conductividad eléctrica del suelo para cada tratamiento

Fuente: Elaboración propia.

4.1.2 Capacidad de retención de agua del suelo

- **Curva característica de retención de agua**

En la Figura 18 se representa las curvas características de humedad para el sustrato arenoso (testigo) y las mezclas de éste con las enmiendas P1 y P2. Los tres tipos de sustrato a capacidad de campo (CC) tienen distinto contenido de agua, siendo el mayor en el sustrato con la enmienda P1. Sin embargo, a presión (o tensión) a que esta retenida esta agua es lo mismo para los tres tipos de suelo, y esta se encuentra a 10 centibares (0.1 bar). Por otro lado, estos tres tipos de suelos a punto de marchitez permanente (PMP) y a una misma presión de 1500 centibares (15 bar) tienen distinto contenido de agua, siendo mayor en el sustrato P1.

Como se observa en la Figura 18, el sustrato con la enmienda P2 adquiere un ligero aumento de la capacidad de retención respecto al tratamiento testigo, éste podría ser por la poca presencia del hidrogel, en este caso representa el 10 por ciento del total de la mezcla de la enmienda, además que éste resulta ser muy fino.

Del mismo modo, el sustrato con la enmienda P1 contiene también un 10 por ciento del polímero hidrogel (véase Tabla 2), y lo demás viene a ser la celulosa que actúa también como un absorbente y retenedor, es por esto que adquiere mayor humedad a capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP).

En general a cualquier presión dada, la capacidad de retención del agua de los suelos estudiados mejora con el uso de las enmiendas retentivas de humedad.

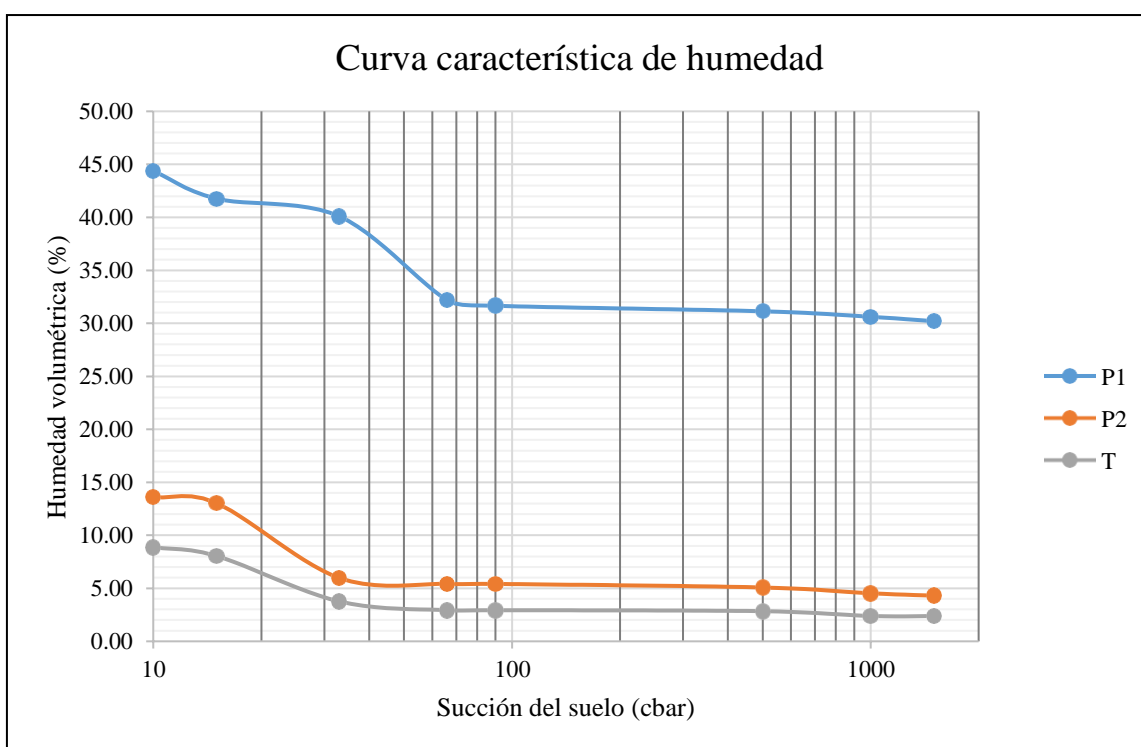


Figura 18: Curva característica de humedad para los suelos arenosos con sus respectivas enmiendas retentivas de humedad (P1, P2)

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 18 se observa la humedad volumétrica a distintas presiones aplicadas, donde para una presión de 0.10 bar la humedad volumétrica fue incrementada en un 53.5 por ciento para P2 y 400 por ciento para P1, respecto al testigo. Esto indica que los sustratos con las enmiendas contenían una cantidad adicional de agua a comparación del testigo (sin enmienda), este aumento en la capacidad de retención de agua puede reducir potencialmente la cantidad de agua que de otro modo se perdería por percolación profunda.

Caso similar sucedió con Johnson (1984) en lo cual reportó un aumento de 171 por ciento y 402 por ciento en la capacidad de retención de agua cuando dos dosis de polímeros fueron incorporadas en arena gruesa.

Como era de esperar, la capacidad de retención de agua del suelo disminuyó con el aumento de presiones aplicada, pero la tasa de disminución es diferente para cada tratamiento. El sustrato con la enmienda P1 a una presión aplicada de 0.10 bar presenta una cantidad de agua extraída del 22 por ciento, mientras para el sustrato con la enmienda P2, representa un 64 por ciento y el testigo un 75 por ciento, del mismo modo para una presión de 15 bar el sustrato con P1 registra un 47 por ciento de agua extraída, P2 obtiene un 89 por ciento y el testigo T de un 93 por ciento.

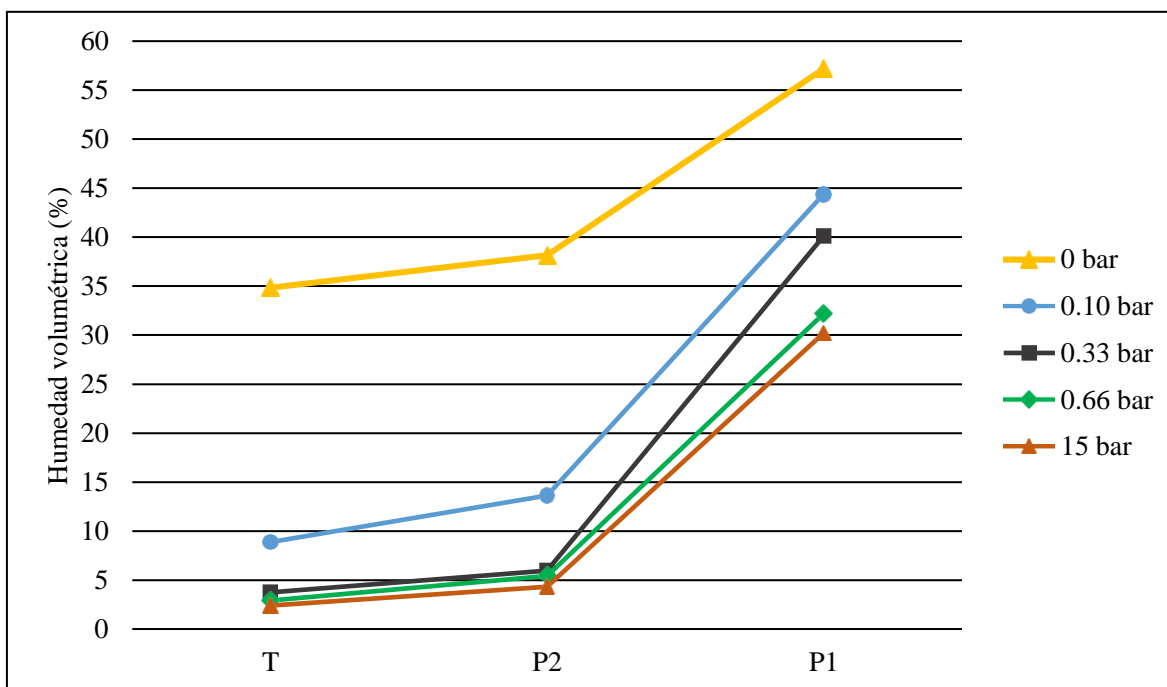


Figura 19: Aumento de la humedad volumétrica en el suelo con el uso de dos enmiendas retentivas a diferentes presiones aplicadas.

Fuente: Elaboración propia.

- **Contenido de agua disponible**

En la Figura 20 se presenta la humedad disponible a presiones de 0.10 bar y 15 bar, y sus diferencias para el sustrato sin enmienda y los sustratos tratados con las enmiendas P1 y P2.

Sivapalan (2001) comparó dos dosis de polímeros retenedores a concentraciones de 0.03 por ciento y 0.07 por ciento con un testigo que no contenía el polímero. Los resultados dieron a conocer que las dos dosis de polímeros le permitieron retener más contenido de agua, pero la diferencia en la capacidad de retención de agua del suelo a presiones de 0.1 bar y 15 bar no fue significativa por el polímero respecto al testigo.

En el mismo contexto, para verificar si los sustratos con las enmiendas P1 y P2 contienen realmente un mayor contenido de humedad disponible para las plantas respecto al testigo, se realizó la diferencia en el contenido de humedad volumétrica del suelo a presiones de 0.1 bar y 15 bar para los sustratos P1, P2 y testigo. Como se muestran en la Figura 20, el sustrato con la enmienda P1 presenta una humedad disponible del 14.2 por ciento, mientras para el sustrato con la enmienda P2 obtiene un 9.3 por ciento y en menor contenido el testigo, con un 6.5 por ciento.

En consecuencia, los sustratos con las enmiendas P1 y P2 si tuvieron un aumento significativo en el contenido de humedad disponible en relación con el testigo.

Por otro lado, como se mencionó anteriormente en la Figura 19 sobre el sustrato con la enmienda P1 a presión de 15 bar, aproximadamente el 50 por ciento del agua extraída está disponible para las plantas, mientras el otro 50 por ciento, está totalmente retenida por el sustrato con P1, se conoce que las plantas absorben el agua de un suelo arenoso a capacidad de campo (0.10 bar) hasta el punto de marchitez permanente (15 bar) que es toda la que puede extraer un cultivo del suelo. Por ende, el sustrato con la enmienda P1 a pesar de no soltar casi el 50 por ciento del agua retenida en el sustrato, registra más del doble de contenido de humedad disponible respecto al testigo, según se muestra en la siguiente Figura 20.

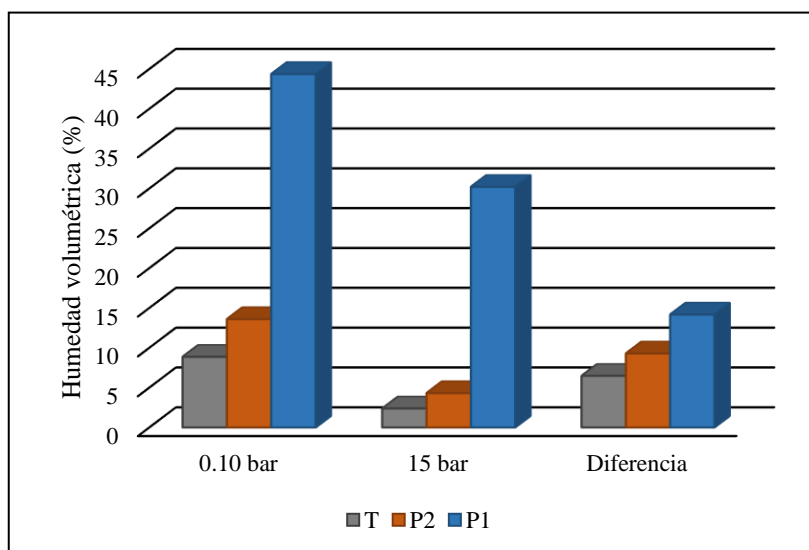


Figura 20: Humedad disponible a presiones de 0.10 bar y 1.5 bar y su diferencia para los sustratos tratados con las enmiendas P1, P2 y el sustrato puro T (sin enmienda).

Fuente: Elaboración propia.

4.2 Parámetros hídricos

4.2.1 Lamina bruta y evaporación

En la Figura 21 se observa el comportamiento de los valores de la lámina bruta por tratamiento para una frecuencia de riego cada dos días (F1), desde los 36 DDT hasta los 130 DDT. Como se muestra a principios del trasplante hay una poca demanda de agua ya que la planta está en sus inicios de floración, a medida que la planta va creciendo se va demandando mayor cantidad de agua para su desarrollo vegetativo y producción de frutos, posteriormente llegando a la etapa de senescencia es donde este consumo baja.

La lamina bruta en el tratamiento F1P2 resultó ser más elevado durante casi toda la campaña a comparación del tratamiento testigo TF1 y el tratamiento F1P1. Esto se ve más notorio en las láminas brutas promedio por riego aplicada durante toda la campaña, donde F1P2 fue de 9.08 mm, seguido del tratamiento F1T con 8.37 mm y el más bajo F1P1 obteniendo 7.07 mm.

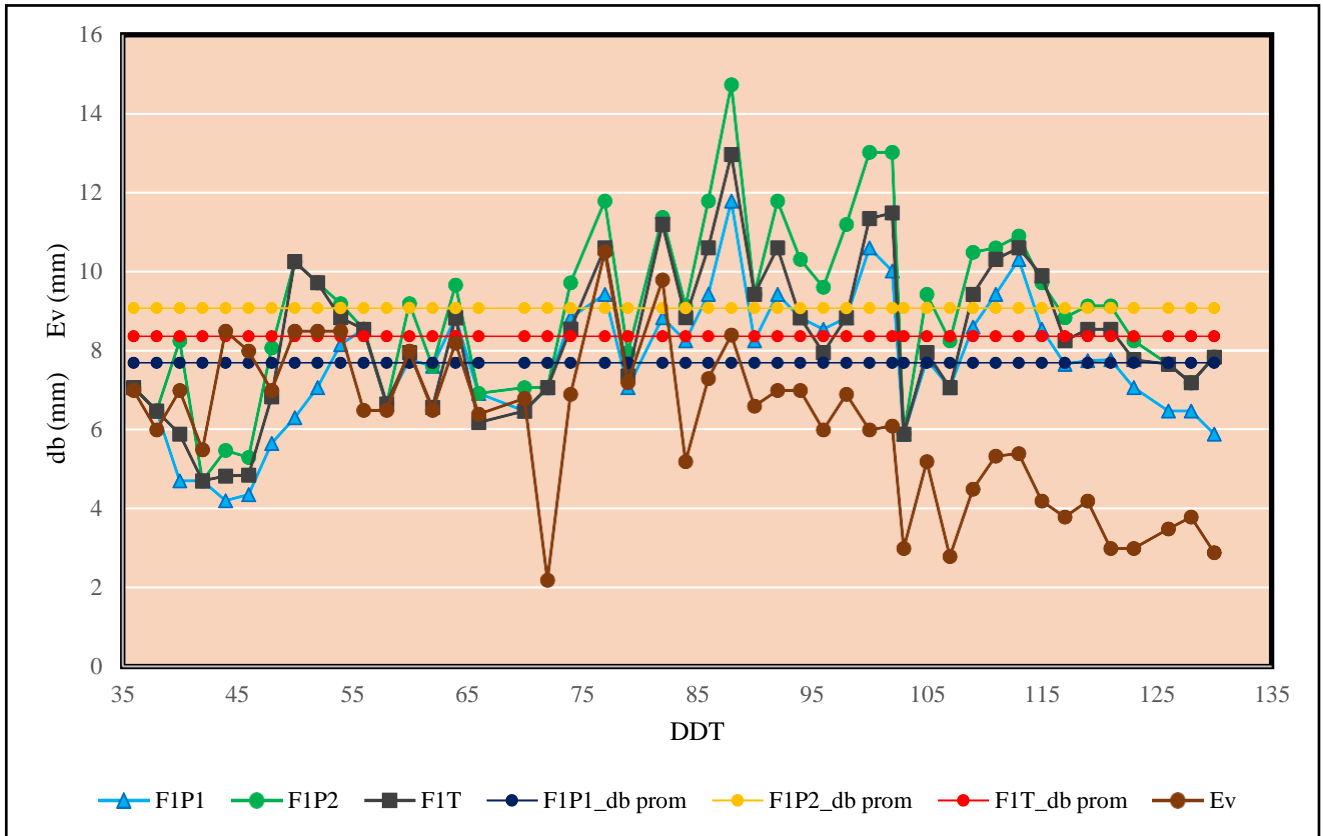


Figura 21: Valores cada dos días de evaporación en tina y lamina bruta.

Fuente: Elaboración propia.

De igual manera, se aprecia en la Figura 22 la lámina bruta para una frecuencia de riego cada cuatro días (F2). También se observa durante toda la campaña la superioridad de la lámina bruta para el tratamiento F2P2 seguido del testigo F2T y en menor cuantía F2P1. La lámina bruta promedio por riego aplicada para el tratamiento F2P2 resulta ser mayor de 15.1 mm seguido del testigo con 13.41 mm y el menor valor F2P1 fue de 11.04mm.

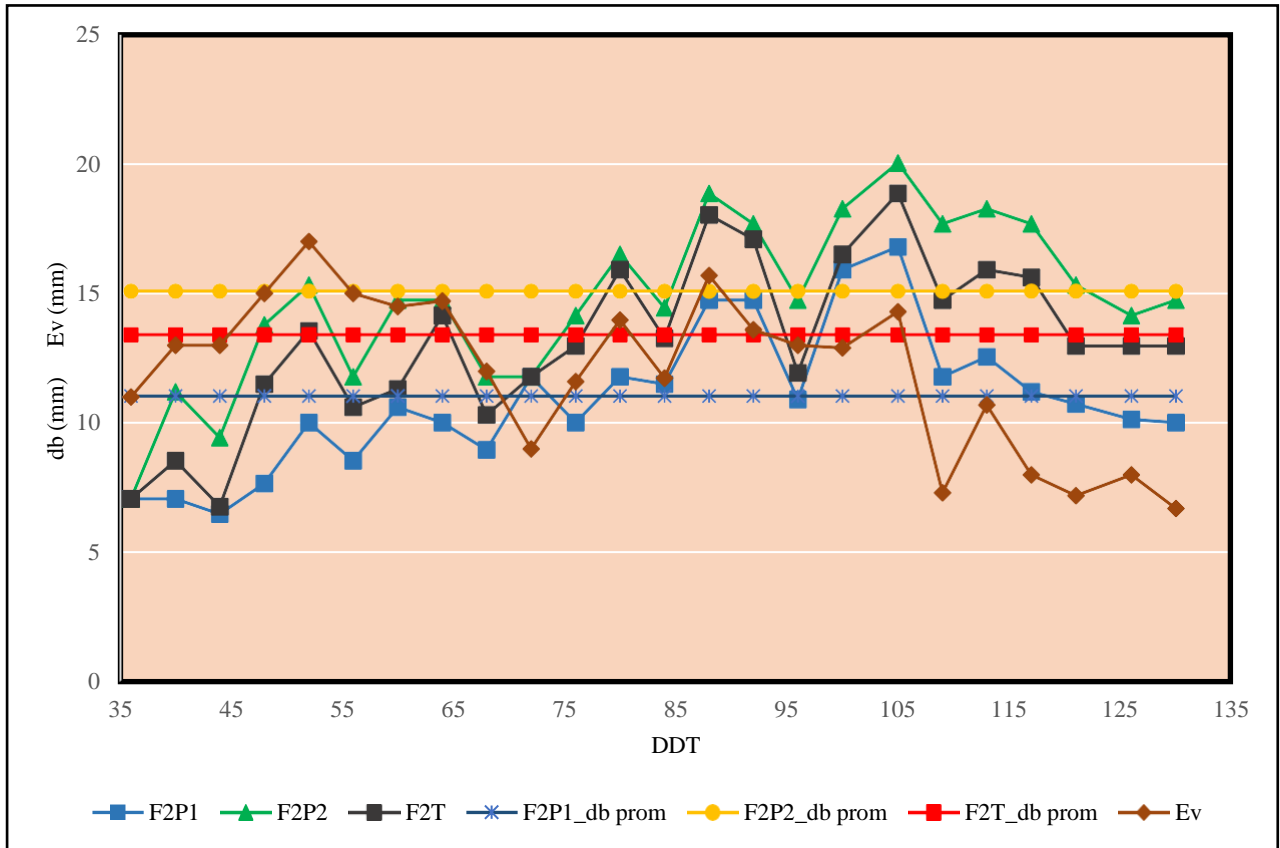


Figura 22: Valores cada 4 días de evaporación en tina y lamina bruta

Fuente: Elaboración propia.

Así mismo, en las Figuras 21 y 22, donde se obtuvo mayor evaporación en las primeras etapas de desarrollo de floración y fructificación (36 DDT a 72 DDT), prácticamente en todo el mes de marzo, en la cual, según la Tabla 3 de características climáticas se registró la más alta temperatura de 33.2 °C en promedio.

Uno de los beneficios de los polímeros retenedores es evitar una pérdida mayor del agua por evaporación. Según Johnson y Veltkamp (1985) mencionan que los puentes de los polímeros retenedores proporcionan una resistencia física a la salida del agua del gel, esta barrera estructural es probablemente responsable a la reducción de las pérdidas por evaporación de los suelos tratados.

Del mismo modo, AL-Omram y AL-Harbi (1997) mencionado por Sivalapan (2001), evidenciaron que los SAP en el suelo también fueron capaces de reducir la cantidad de agua que se pierde en el suelo por evaporación.

En los sustratos con la enmienda P2, uno de los posibles efectos en la mayor lamina bruta consumida con respecto al testigo, es por las pérdidas de agua por evaporación, se observó que las bolsas con el sustrato, en específico la parte superficial de la maceta se llegaba a secar muy rápido a pesar de que el tratamiento con la enmienda P2 presentase mayor cobertura foliar. Este comportamiento se puede deber a varios factores como la forma de aplicación de la enmienda, en la cual se realizó una mezcla con el sustrato arena gruesa, además de la concentración del SAP que represento el 10 por ciento de la enmienda, por último, como se mencionó anteriormente el tamaño de sus partículas que resultan ser muy finas. Estos factores no contribuyeron a la retención del agua en el sustrato. Como lo indican, Hutterman *et al.* (1999) que la capacidad de retención de agua depende de la textura del suelo, el tipo de hidrogel y el tamaño de las partículas (polvo o gránulos).

Por otro lado, el sustrato con la enmienda P1, se notó que siempre se mantuvo húmedo, posiblemente a su alta capacidad de retención como se muestra en la Figura 18, además también se presencié una capa endurecida en la superficie de la maceta, probablemente por las sales acumuladas y la celulosa que ayudaron a minimizar la pérdida del agua por evaporación.

4.2.2 Tiempo de riego y lámina bruta total aplicada

Para una frecuencia de riego cada dos días, el tratamiento F1P2, reportó un tiempo promedio de 15.4 min, mientras que los tratamientos F1T y F1P1 utilizaron un tiempo promedio de aplicación de 14.2 y 13.0 min respectivamente. Por otro lado, para una frecuencia de riego cada cuatro días, los tratamientos F2P2, F2T y F2P1, presentaron un tiempo de riego promedio de 25.6 min, 22.7 min y 18.7 min, respectivamente.

Los tratamientos F1T y F1P2 presentaron mayor tiempo de riego acumulado con 812.0 min y 873.8 min respectivamente, mientras que los tratamientos con la enmienda P1, adoptaron valores más bajos en cuanto a tiempo de riego acumulado, con 742.6 min para el F1P1 y 581.1 min para F2P1, siendo éste el tratamiento que menor tiempo de riego utilizó durante las etapas de desarrollo del cultivo pimiento; valores presentados en la siguiente Tabla 13.

En cuanto a la lámina bruta total aplicada en los tratamientos que toman en cuenta las frecuencias y el efecto de las enmiendas retenedoras de humedad; el tratamiento F2P1, obtuvo la menor lámina aplicada durante la fase de desarrollo del cultivo con 342.54 mm, mientras el tratamiento F1P2 presentó la mayor lámina aplicada con 515.07 mm.

Tabla 13: Tiempo de riego acumulado total (min) y lámina bruta acumulada total (mm) durante el desarrollo del cultivo pimiento

TRATAMIENTO	Tiempo de riego (min)	Lámina bruta (mm)
Frecuencia de riego cada dos días		
F1P1	742.6	437.73
F1P2	873.8	515.07
F1T	812.0	478.64
Frecuencia de riego cada cuatro días		
F2P1	581.1	342.54
F2P2	796.3	469.39
F2T	705.8	416.04

Fuente: Elaboración propia.

4.2.3 Volumen de agua total aplicado

Lopes *et al.* (2013) menciona que la implementación del material SAP incrementa el contenido de agua en el suelo, favoreciendo en la reducción del volumen de agua aplicada, al igual que la frecuencia de los riegos sin afectar al cultivo, esto concuerda con lo expuesto en la Tabla 14, donde el menor volumen total de agua aplicado por parcela (30 plantas) se obtuvieron en los tratamientos F1P1 y F2P1 con 594 litros y 465 litros, respectivamente.

Por otro lado, uno de los objetivos de las aplicaciones de los polímeros retenedores en las pruebas de campo en los países de Estados Unidos, Chile y Australia, son de reducir el consumo de agua en un 30 por ciento y aumentar los rendimientos (Pattanaaik *et al.*, 2015). El tratamiento F2P1 (enmienda de residuo industrial de pañales con una frecuencia de riego cada cuatro días) responde a este objetivo con un ahorro del casi 30 por ciento respecto al tratamiento testigo F1T para una frecuencia de riego cada dos días.

Tabla 14: Volumen total aplicado por parcela (15m²) en litros, para el cultivo pimiento durante toda la etapa de desarrollo

Frecuencia de riego	Tratamiento	Volumen total Aplicado (l/15 m ²)
Cada 2 días	F1T	649.60
	F1P1	594.05
	F1P2	699.06
Cada 4 días	F2T	564.65
	F2P1	465.16
	F2P2	637.04

Nota: Los 15 m² conforma una parcela integrada por 30 plantas de pimiento.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 23 se muestra los volúmenes totales de agua aplicados para un área de 15 m² (integrada por 30 plantas), durante todo el desarrollo del cultivo pimiento (35 DDT a 130 DDT).

En relación con el testigo F1T, el tratamiento F1P1 obtuvo un ahorro de volumen de agua de 8.55 por ciento, mientras que el tratamiento F1P2 resultó de un ahorro de -7.61 por ciento (valor negativo significa que no hubo ahorro). Este escenario resulta similar para los tratamientos con una frecuencia de riego cada cuatro días, donde el tratamiento F2P1 obtiene un ahorro de agua de 17.62 por ciento respecto al tratamiento testigo F2T y F2P2, obtuvo un ahorro de -12.82 por ciento.

Con lo expuesto anteriormente sobre el tiempo de riego, la lámina bruta aplicada y el volumen total aplicado, se deduce que los tratamientos con la enmienda P2 no tuvieron ahorro de volumen de agua con respecto a los tratamientos testigos. Esto puede haber sido por varios factores como; mayor demanda de agua por el crecimiento rápido de la planta, ya que la enmienda, aparte de poseer el material SAP disponía de materia orgánica y arcilla (véase la Tabla 1), sobre las cuales estaban disponibles algunos macroelementos y microelementos que ayudaron a que el cultivo acelere su desarrollo vegetativo, como se muestra en las Figuras 31, 32, 33 y 34.

Por otro lado, observando la Figura 20 de contenido de humedad disponible, los tratamientos con la enmienda P2 presentaron solamente un ligero aumento en el contenido de agua disponible para la planta, siendo 1.4 veces mayor que el testigo.

Por último, el aumento de la temperatura en los periodos de floración y fructificación (36 DDT a 72 DDT). Como ya se mencionó, las altas temperaturas provocan una mayor evaporación del suelo, donde la mínima presencia del polímero no fue capaz de reducir la pérdida, por ende, tuvo como consecuencia mayor demanda de agua respecto al testigo, tanto para una frecuencia de riego cada dos días y cuatro días.

Por el contrario, el sustrato con la enmienda P1, se observó un menor uso del volumen de agua aplicada respecto al testigo. Esta reducción del volumen de agua, se debe a factores como, mayor retención y conservación del agua en el sustrato, menor desarrollo vegetativo respecto al testigo y la menor pérdida del agua por evaporación.

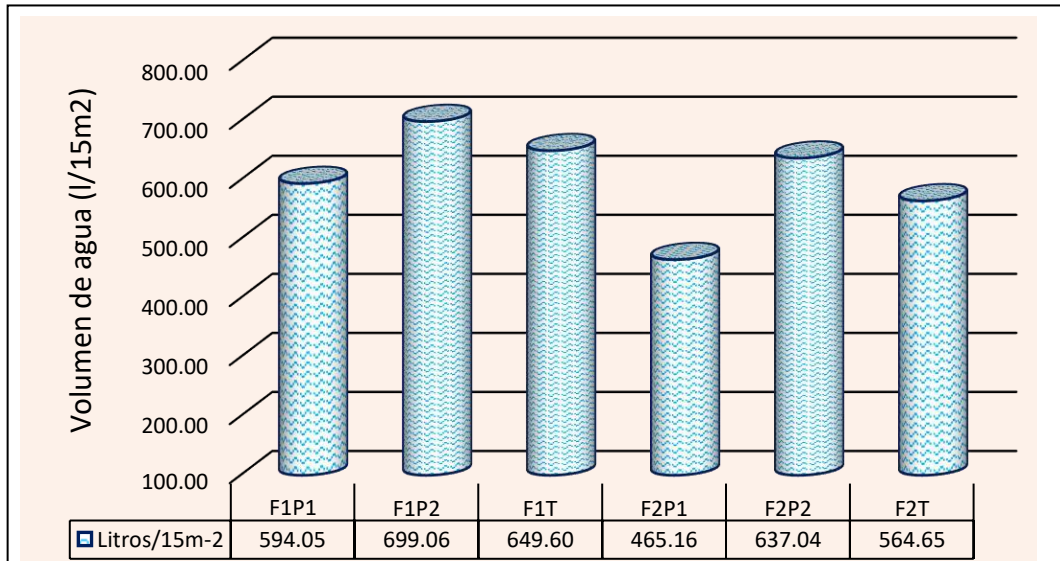


Figura 23: Volumen de agua total aplicado para cada tratamiento en l/15m²

Nota: Los 15 m² conforma una parcela integrada por 30 plantas de pimiento.

Fuente: Elaboración propia.

4.3 Cosecha

4.3.1 Rendimiento total y rendimiento comercial

En la Tabla 15 se muestra el rendimiento total y rendimiento comercial expresados en kg/m², estos son el resultado del total de la producción considerando las 4 categorías planteadas en la clasificación (Tabla 11).

Tabla 15: Rendimiento total y rendimiento comercial en kg/m² para el cultivo pimiento en invernadero

TRATAMIENTO	Rendimiento Total kg/m ²	Rendimiento comercial kg/m ²
Frecuencia de riego cada dos días		
F1P1	1.17	1.02
F1P2	1.27	1.14
F1T	1.05	0.89
Frecuencia de riego cada cuatro días		
F2P1	1.07	0.93
F2P2	1.21	0.95
F2T	0.96	0.81

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 25, se muestra los aumentos del rendimiento total para una frecuencia de riego cada dos días (F1), donde se obtuvo un incremento de 11.43 por ciento para el tratamiento F1P1 y un incremento de 20.95 por ciento para F1P2, respecto al testigo F1T. Mientras para la frecuencia de riego cada cuatro días (F2) se observa un comportamiento similar, se registró para el tratamiento F2P1 un aumento del 11.46 por ciento y para F2P2 del 26.04 por ciento respecto al tratamiento F2T.

Por otro lado, se ha reportado que la prolongación de los intervalos de riego influye directamente en el rendimiento, influyendo en la calidad del fruto, siendo más marcado en el rendimiento comercial.

Además, se sabe que la aplicación del material SAP es una técnica que permite el ahorro del agua, sobre todo en la retención y conservación de la humedad del suelo por un mayor periodo de tiempo. Por tal motivo, para ver el mayor efecto del polímero sobre la calidad de los frutos se puede percibir en el rendimiento comercial.

En la misma Figura 24, dentro de la frecuencia de riego cada dos días, el tratamiento F1P2 registra una reducción del rendimiento de 10.2 por ciento, mientras los tratamientos F1P1 y F1T son de 12.8 por ciento y 15.2 por ciento, respectivamente.

Este contexto resulta similar para los tratamientos en la frecuencia de riego cada cuatro días, el tratamiento F2P1 la reducción del rendimiento es del 13 por ciento seguido de F2T con 15.3 por ciento, mientras en el tratamiento F2P2 registra una disminución del 21.5 por ciento. Siendo éste el tratamiento con más pérdida en el rendimiento comercial para el cultivo pimiento.

Esta mayor disminución del rendimiento comercial por parte del tratamiento F2P2, puede ser debido a que las plantas estuvieron casi en todo el desarrollo del cultivo en estrés hídrico, (véase la Figura 29).

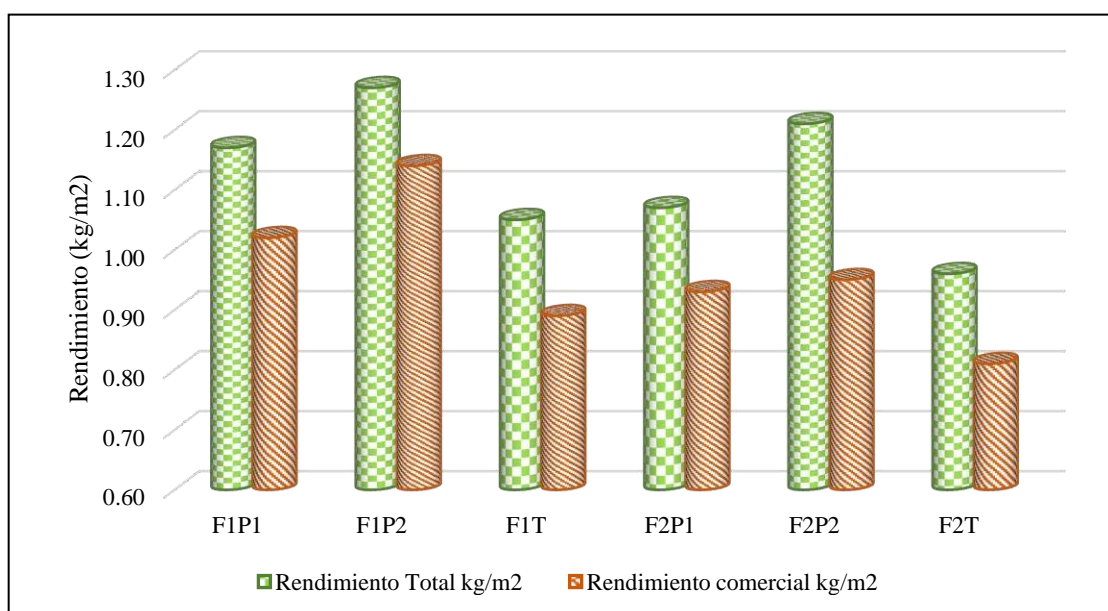


Figura 24: Rendimiento Total para cada tratamiento, en kg/m²

Fuente: Elaboración propia.

- **Análisis de varianza (ANVA)**

La prueba de comparación de media de Student-Newman-Keuls, mostró que existe diferencia significativa entre los productos P1, P2 y el testigo. En el rendimiento total se evidencia que el mayor efecto se da por el producto P2 donde obtuvo 1.24 kg/m², seguido del producto P1 con 1.12 kg/m² y en menor efecto se da por el testigo con 1.01 kg/m².

Así mismo, para el rendimiento comercial se observa que no hay diferencia estadística entre las enmiendas retentivas P2 y P1 con 1.05 kg/m² y 0.97 kg/m² respectivamente, pero si hay significancia con el testigo que obtiene un rendimiento comercial de 0.85 kg/m².

Tabla 16: Comparación de medias para el rendimiento total y rendimiento comercial en kg/m² del cultivo pimiento en invernadero

Producto	Rendimiento total (kg/m ²)	Rendimiento comercial (kg/m ²)
P2	1.24 a	1.05 a
P1	1.12 b	0.97 a
T	1.01 c	0.85 b
Significancia	***	*
c.v.%	5.1	8.6

↑ Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas (Student-Newman-Keuls, $p \leq 0,05$). NS = no significativo; c.v. = coeficiente de variación. * significancia estadística a 5 por ciento; ** significancia estadística a 1 por ciento; *** significancia estadística a 0.1 por ciento.

Fuente: Elaboración propia.

4.3.2 Número de frutos comerciales y no comerciales

Con el propósito de saber el efecto de las enmiendas retentivas de humedad con frecuencias de riego prolongadas en el número de frutos comerciales y no comerciales por tratamiento, se realizó la clasificación manual para identificar dicho efecto, siendo estas las siguientes:

- Tamaños comerciales: Extragrande, grande y mediano
- Tamaños no comerciales: Pequeño (< 80gr.) y otros (frutos con rajaduras, manchas, deformes).

En la Figura 25 se observa que para la frecuencia cada dos días, el mayor porcentaje de frutos comerciales se da por el tratamiento F1P2 respecto al testigo, sin embargo, para la frecuencia cada cuatro días, el tratamiento F2P2 presenta mayor porcentaje de frutos pequeños siendo

del 34 por ciento. Por ende, la atribución de la cantidad de frutos pequeños da como resultado la disminución del rendimiento comercial.

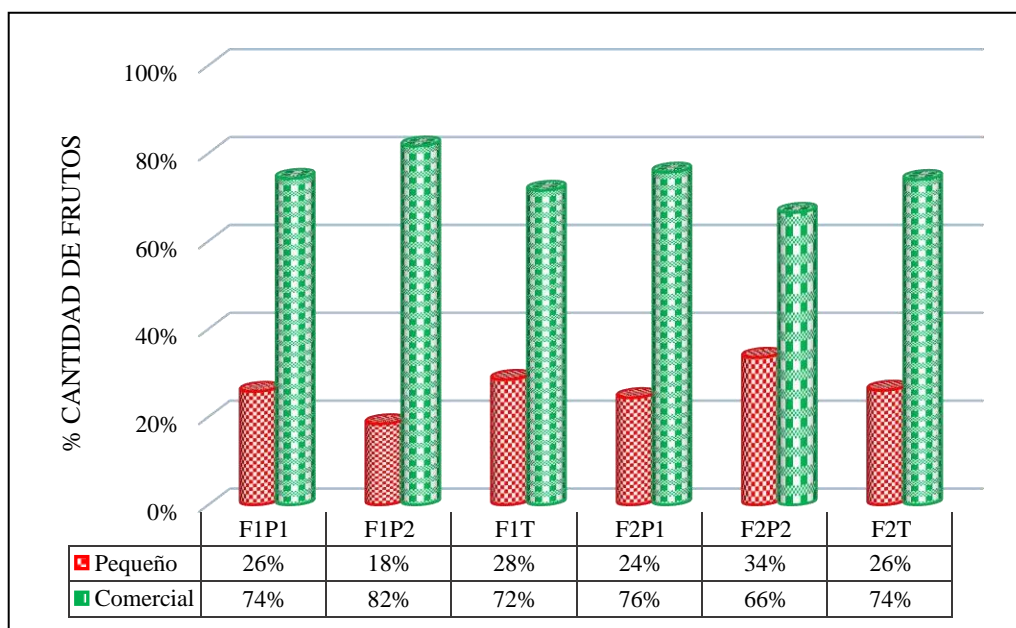


Figura 25: Distribución porcentual del número de frutos según su clasificación en pesos.

Fuente: Elaboración propia.

4.3.3 Tamaño de frutos

Con la finalidad de saber el efecto de las enmiendas retentivas de humedad en el tamaño de los frutos, se realizó la clasificación manual tal como se muestra en la Figura 26.

De la clasificación antes mencionada se puede notar que existen efectos en el tamaño de los frutos; el tratamiento F2P2 presento mayor cantidad de frutos de tamaño “pequeño” y menor cantidad para el tratamiento F1P2, en el tamaño “mediano” se observó una superioridad en el tratamiento con la enmienda P2, tanto para los factores frecuencia de riego cada dos días y cuatro días, en cuanto a los tamaños “grande” hay más presencia de frutos para los tratamientos F1P1 y F2P1, mientras los tratamientos F2P2 y F2T presenta menor cantidad de frutos y para el tamaño “extra” se observa que hay más representación, pero mínima de frutos en el factor frecuencia de riego cada 2 días (F1).

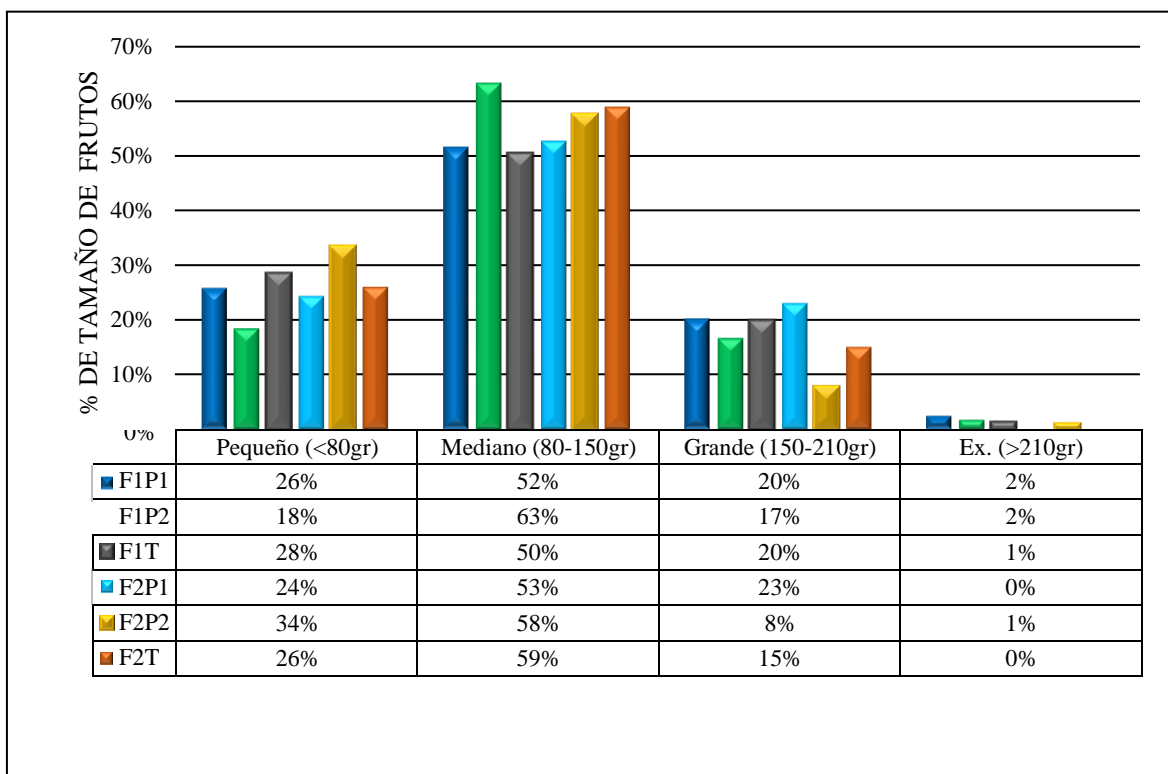


Figura 26: Número de frutos totales según su clasificación

Fuente: Elaboración propia.

- **Análisis de Varianza (ANVA) para los parámetros de producción y calidad del pimiento**

Los parámetros de producción del pimiento representados por frutos comerciales por planta y peso del fruto, al igual que los de calidad representados por la longitud y diámetro de fruto, resultaron estadísticamente significativas para las enmiendas retentivas de humedad (Tabla 17), siendo para los frutos comerciales el mayor efecto para la enmienda P2 con 4.5 frutos comerciales por planta, en la longitud del fruto se lleva el mayor efecto la enmienda P1 con 82.95 cm y en cuanto al peso del fruto no presenta diferencia significativa pero la enmienda P1 resulta con mayor peso promedio de 123.25 gr., dichas variables si resultaron afectadas por la adición de las enmiendas retentivas de humedad. Está demostrado que los polímeros retenedores de humedad son un practica benéfica para incrementar el rendimiento y calidad del fruto en diversos cultivos (Nissen, J. y K. San Martín, 2004).

Tabla 17: Efecto de las enmiendas retentivas de humedad en el número de frutos por planta, longitud (cm), diámetro (cm) y peso del fruto (g) en el cultivo pimiento cultivado en invernadero

Tratamiento	Número de frutos comerciales	Longitud	Diámetro	Peso
	Planta-1	----- cm -----		g fruto-1
P1	3.9 b	82.95 a	66.61 b	123.25 a
P2	4.5 a	73.05 b	65.53 b	116.26 a
T	3.6 b	71.84 b	68.97 a	117.54 a
Significancia	**	***	**	NS
c.v.(%)	8.3	2.6	2.1	5.2

↑ Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas (Student-Newman-Keuls, $p \leq 0,05$). NS = no significativo; c.v. = coeficiente de variación. * significancia estadística a 5 por ciento; ** significancia estadística a 1 por ciento; *** significancia estadística a 0.1 por ciento.

Fuente: Elaboración propia.

4.4 Uso eficiente del agua

El aumento del intervalo de riego redujo el consumo de agua de las plantas, cuanto menor es la cantidad de agua utilizada, mayor es la eficiencia en el uso del agua.

Pardossi *et al.* (2004) menciona que en los países del mediterráneo se llegó a un uso eficiente de agua para el pimiento morrón de 30.3 kg/m^3 , este valor se llegó aproximadamente con los tratamientos de la enmienda de residuo industrial de pañales con 29.56 kg/m^3 para F1P1 y 34.70 kg/m^3 para F1P2, siendo este el tratamiento con mayor uso eficiente del agua.

En cuanto al sustrato con la enmienda P2, registro un leve aumento del uso eficiente del agua siendo para F1P2 de 27.19 kg/m^3 y F2P2 con 28.47 kg/m^3 , respecto a los testigos F1T y F2T registrando 24.28 kg/m^3 y 25.47 kg/m^3 respectivamente. (Véase la Tabla 18)

También en la Tabla 18 se muestra la huella hídrica que son los litros de agua utilizados por kilogramo de pimiento producido, se observa que los tratamientos F1P1 y F2P1 registraron

menor huella hídrica marcando valores de 33.81 l/kg y 28.89 l/kg, respectivamente, seguido de los tratamientos F1P2 con 36.79 l/kg y F2P2 de 35.10 l/kg, mientras los tratamientos que consumieron más litros de agua por kilogramo de frutos de pimiento fueron los testigos F1T y F2T con 41.19 l/kg y 39.26 l/kg correspondientemente.

De esta manera se confirma que las enmiendas retentivas de humedad aplicadas al suelo arenoso, causan un efecto de ahorro en la huella hídrica, siendo para el tratamiento F2P2 un ahorro de agua de 14.8 por ciento y el tratamiento F2P1 de 30 por ciento, respecto al testigo F1T. Por lo cual el tratamiento de la enmienda de residuo industrial de pañales P1 resultó con mayor ahorro de agua por kilogramo de pimiento producido. Este ahorro de la huella hídrica se llegó también en la investigación realizada por el autor Céspedes, R. (2020) donde usó dosis de poliacrilato de sodio (residuo industrial de pañales) en el cultivo de frijol canario, llegando a un ahorro de la huella hídrica de 36.9 por ciento.

Tabla 18: Uso eficiente del agua y litros de agua utilizados por kilogramo de pimiento producido.

Frecuencia de riego	Tratamiento	Eficiencia (kg/m ³)	Huella hídrica (l/kg)
Cada 2 días	F1T	24.28	41.19
	F1P1	29.58	33.81
	F1P2	27.19	36.79
Cada 4 días	F2T	25.47	39.26
	F2P1	34.61	28.89
	F2P2	28.47	35.10

Fuente: Elaboración propia.

Los datos presentados en la Figura 27 muestran que los valores de eficiencia de uso de agua se incrementaron con el uso de las enmiendas retentivas de humedad y también se observa ligeros aumentos con respecto al factor de frecuencia de riego, siendo para el factor frecuencia cada cuatro días (F2) mayor uso eficiente del agua respecto factor frecuencia cada dos días (F1).

Para una frecuencia de riego cada dos días los incrementos obtenidos fueron del 12 por ciento y 22 por ciento para los sustratos con las enmiendas P2 y P1 respectivamente, en relación con el tratamiento testigo F1T, mientras para una frecuencia de riego cada cuatro días los incrementos fueron de 12 por ciento para la enmienda P2 y de 36 por ciento para P1, respecto al tratamiento testigo F2T.

El aumento de la eficiencia del uso del agua con respecto al sustrato con la enmienda P2 se debió, de hecho, a la mayor producción de frutos por parte de las plantas cultivadas en suelos con esta enmienda en relación con el testigo.

En cuanto al sustrato con la enmienda P1, se debió a la mayor producción de frutos y al menor volumen aplicado de agua con respecto al testigo. Haciendo una comparación en el factor frecuencia de riego, el tratamiento F2P1 consiguió un aumento del 42.5 por ciento respecto al testigo F1T, mientras el tratamiento F2P2 tuvo un aumento del 17.3 por ciento.

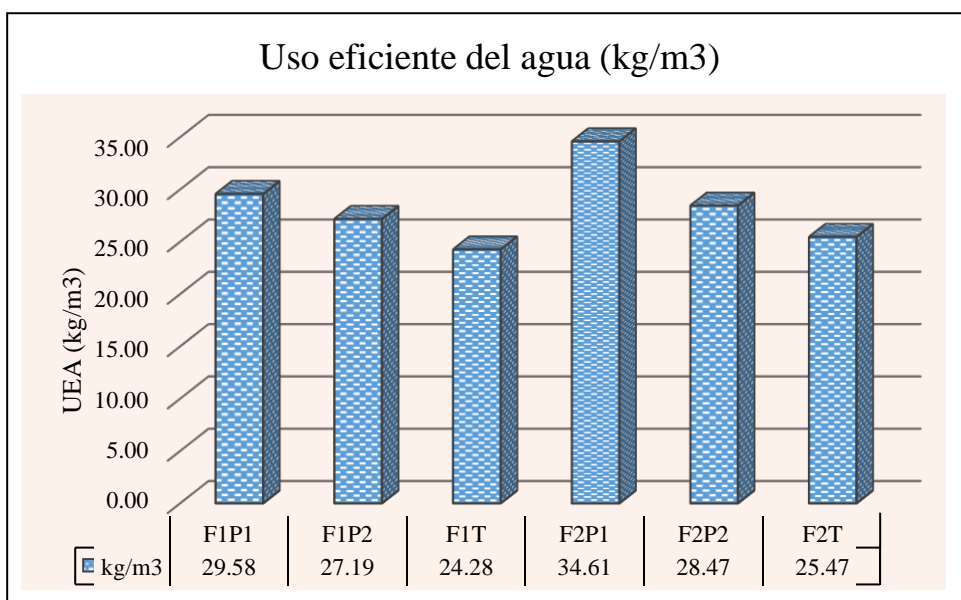


Figura 27: Uso eficiente del agua en kg/m³, para cada tratamiento

Fuente: Elaboración propia.

- **Análisis de Varianza (ANVA)**

La eficiencia en el uso del agua, representada por los kilogramos de frutos producidos por metro cubico de agua aplicada al cultivo (kg/m^3), mostró diferencias significativas en el factor enmienda, mediante la prueba de comparación de media de Student-Newman-Keuls (Tabla 19), demuestra que el mayor efecto en el uso eficiente del agua se da por el producto P1($32.09 \text{ kg}/\text{m}^3$) y el menor efecto se da por el testigo ($24.88 \text{ kg}/\text{m}^3$).

Tabla 19: Comparación de medias, según la prueba de Student-Newman-Keuls, uso eficiente del agua (kg/m^3)

Producto	UEA	Groups
P1	32.09	a
P2	27.84	b
T	24.88	c

↑ Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas (Student-Newman-Keuls, $p \leq 0,05$).

Fuente: Elaboración propia.

4.5 Parámetros fisiológicos

4.5.1 Conductancia estomática

Se muestra en la Figura 28 para los tratamientos con una frecuencia de riego cada dos días (F1), el comportamiento de la conductancia estomática en las etapas fenológicas de floración, fructificación y madurez del cultivo.

Con respecto a la etapa de la floración (39 a 47 DDT), los tratamientos F1P1, F1P2 y F1T se ubican mayormente en condiciones de transpiración de lujo ($>300 \text{ mmol}/\text{m}^2\text{s}$)

Luego pasando a la etapa de fructificación (51 a 71 DDT), se experimentan variaciones desde condiciones de transpiración de lujo en los tratamientos F1P1 y F1T, hasta valores de conductancia que se traducen en condiciones de estrés leve ($>150 \text{ mmol}/\text{m}^2\text{s}$) principalmente

en los tratamientos F1P2 y F1T, esta decaída de la conductancia que se dio en el día 61 DDT, se debió a que se registró en esas fechas temperaturas máximas de 34.4 °C y humedad relativas bajas de hasta 14 por ciento en el interior del invernadero.

Por otro lado, se percibe una tendencia creciente de la conductancia estomática en el día 71 DDT, éste aumento de la conductancia estomática correspondió a que un día antes se realizó un riego intenso para el lavado de sales en todos los tratamientos por igual.

En cuanto a la etapa de maduración del fruto (82 a 108 DDT), los tratamientos F1P2 y F1T se ubican en mayor medida en el rango óptimo (>200 mmol/m²s), mientras el tratamiento F1P1 se sitúa dentro del rango de estrés leve casi durante toda la etapa de maduración.

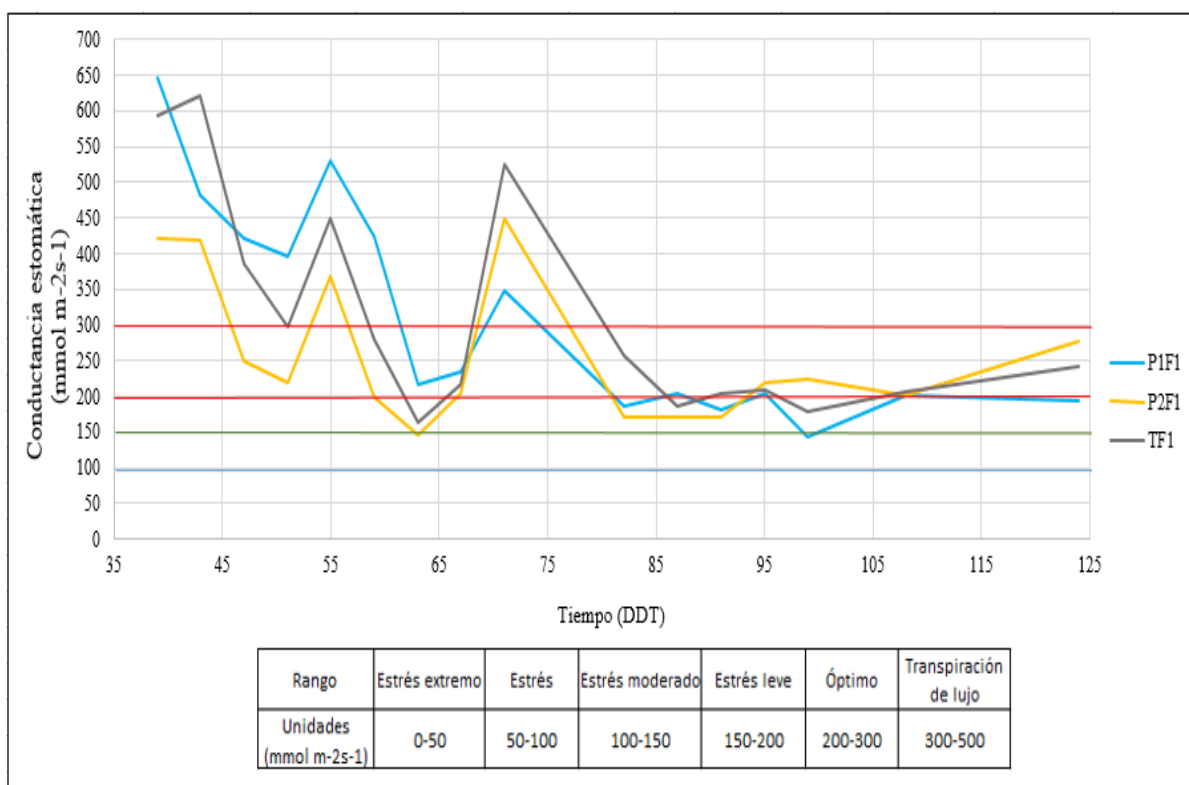


Figura 28: Variación de la conductancia estomática con diferentes tratamientos para la frecuencia de riego cada dos días en dieciséis fechas de evaluación.

Fuente: Elaboración propia.

De igual manera, en la Figura 29 se presenta el comportamiento de la conductancia estomática para la frecuencia de riego cada cuatro días (F2).

En la etapa de floración (39 a 47 DDT), el tratamiento F2P1 y testigo F2T se encuentran en condiciones de transpiración de lujo y de rango óptimo, respectivamente, en cuanto al tratamiento F2P2, experimenta la condición de estrés leve ($>150 \text{ mmol/m}^2\text{s}$).

En la etapa de fructificación (51 a 71 DDT), el tratamiento F1P1 experimenta variaciones de conductancia entre condiciones de transpiración de lujo y rango óptimo ($>200 \text{ mmol/m}^2\text{s}$), mientras el tratamiento testigo F2T, varía de condiciones de transpiración de lujo a condiciones de estrés leve, en cuanto al tratamiento F2P2, se encuentra en mayor medida en condiciones de estrés leve ($>150 \text{ mmol/m}^2\text{s}$) y moderado ($>100 \text{ mmol/m}^2\text{s}$).

Por otro lado, también se observa dos picos de caída de la conductancia estomática, en los días 51 DDT y 63 DDT, esto se debió al incremento de la temperatura ($34.4 \text{ }^\circ\text{C}$ y $33.5 \text{ }^\circ\text{C}$) y la baja humedad relativa (14 por ciento y 20 por ciento), respectivamente.

En la etapa de maduración del fruto (82 a 108 DDT), el tratamiento testigo F2T varía en condiciones de rango óptimo y estrés leve, mientras F2P1 se encuentra mayormente en condiciones de estrés leve y F2P2 experimenta variaciones de estrés leve y moderado.



Figura 29: Variación de la conductancia estomática con diferentes tratamientos para la frecuencia de riego cada cuatro días en dieciséis fechas de evaluación

Fuente: Elaboración propia.

Como se explicó en el ítem 4.2.1 de lámina bruta y evaporación, los tratamientos F1T, F2T, F1P2 y F2P2 en las fechas de 35 DDT a 72 DDT, correspondientes a las etapas de floración y fructificación, se presenciaron altas temperaturas, y esto se tradujo a mayores pérdidas de agua por evaporación que redujo significativamente el agua disponible para las plantas y, en consecuencia, estos tratamientos entraron en estrés hídrico como se observa en las Figuras 28 y 29.

Así mismo, Bradford y Hsiao (1982), citados por Moreno *et al.* (2003), mencionan que un estrés hídrico leve, no lo suficientemente severo como para inhibir la conductividad estomática y la fotosíntesis por unidad de superficie foliar, reduce el crecimiento de la hoja, consideradas como extremadamente sensibles al estrés hídrico. Esta reducción del crecimiento es probablemente el resultado directo de la pérdida de presión de turgencia para el crecimiento de las células (Hsiao, 1973; Hsiao y Acevedo, 1974) mencionado por Moreno

et al. (2003). De modo similar, la reducción del área foliar en las hojas se presencia en los tratamientos de la enmienda P2 y testigo, y aún más evidente para los tratamientos dentro de la frecuencia de riego cada cuatro días (véase Anexo 11).

Por otro lado, los tratamientos con la enmienda P2 son los que entraron más en estrés hídrico a comparación del tratamiento testigo, y en mayor medida el tratamiento F2P2, esto probablemente podría deberse a su menor crecimiento de las hojas (área foliar) y menor desarrollo vegetativo del testigo, en el cual estas presentaron bajo evapotranspiración y por ende no demandaron mucha agua del suelo como si lo presentaron los tratamientos de la enmienda P2, además que este presentó un acelerado desarrollo vegetativo (véase Anexo 9 y 10).

En cuanto a los tratamientos F1P1 y F2P1, en la etapa de floración y fructificación no entraron en estrés hídrico, esto debido a su mayor retención y conservación de humedad (véase Figura 21) y también a su retraso en su desarrollo vegetativo como se presencia en las Figuras 31 y 32, por lo que no demandaron demasiada agua, a comparación de la enmienda P2 y testigo. Sin embargo, llegando a la etapa de maduración (82 a 124 DDT), entran a un estado de estrés leve, a comparación de los testigos TF1 y TF2 que se encuentran en mayor medida en un estado de rango óptimo, este comportamiento de la enmienda P1 se puede atribuirse a la posibilidad de que las plantas entraron en un estado de anoxia radicular.

A partir del día 82 DDT, los tiempos de riego fueron en aumento (véase el Anexo 7 y 8), y debido a que la enmienda P1 posee una alta retención de humedad y más del doble de la cantidad de agua disponible respecto al testigo (véase la Figura 20), esto posiblemente produjo inundación del suelo que redujo la cantidad de oxígeno para las plantas.

Según Zusse-Sasse *et al.* (2001) una baja tasa de presión parcial de oxígeno en la zona de raíz trae como consecuencia una reducida conductancia estomática, y este comportamiento es discutida como la causa de reducción del intercambio de CO₂ bajo anoxia.

4.5.2 Contenido de clorofila

Se observa en la Figura 30 el efecto del uso de las enmiendas retentiva de humedad sobre el contenido de clorofila a lo largo del experimento, la tendencia de los tratamientos en el periodo de 30 DDT hasta 50 DDT, etapa entre los inicios y final de la floración, los tratamientos F1P1 y F2P2, registran bajos valores de contenido de clorofila respecto a los demás tratamientos, esto puede corresponder a que los tratamientos con la enmienda P1 registraban alta conductividad eléctrica como se muestra en la Figura 18, por ende las plantas entraron en un estrés salino.

Parida y Das (2005) mencionan que la disminución del contenido de clorofila en respuesta al estrés salino es un fenómeno general que conduce al desorden de la síntesis de clorofila y a la aparición de clorosis en la planta. Esta clorosis (amarillamiento de las hojas) se presencié en los tratamientos con la enmienda de residuo industrial de pañales P1 en la etapa de floración, como se observa en el Anexo 9 y 10.

Luego pasado los 50 DDT, entrando a la etapa de fructificación, los tratamientos F1P1 y F2P1 comienzan a aumentar el contenido de clorofila, este comportamiento coincide cuando disminuye la conductividad eléctrica de éste (véase Figura 17), debido a que posiblemente los iones de sodio (Na^+) fueron desplazados por los macroelementos y microelementos que se fueron añadiendo al suelo, disponibles para la absorción en la zona radicular.

Posteriormente a los 70 DDT, etapa de la maduración del fruto, los tratamientos de la enmienda P2 y testigo registran una tendencia creciente con una ligera diferencia respecto a la enmienda P1.

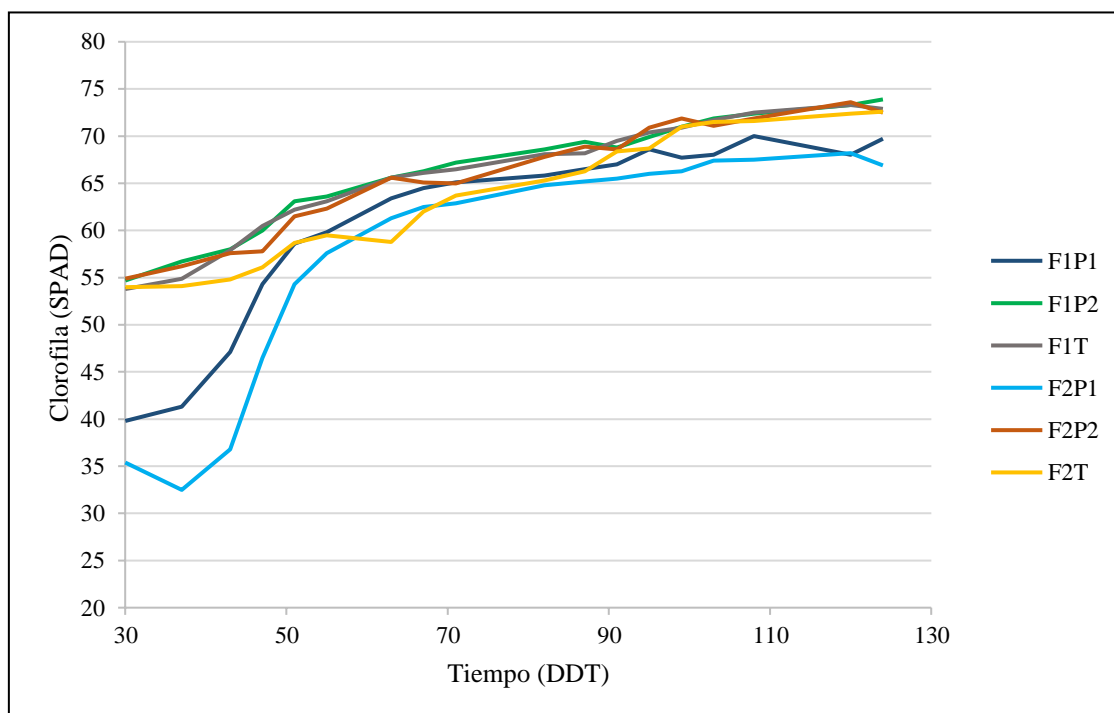


Figura 30: Variación del contenido de clorofila (expresado en unidades SPAD) en respuesta a seis tratamientos en el cultivo pimiento

Fuente: Elaboración propia.

- **Análisis de Varianza (ANVA)**

Se realizó el análisis de varianza en tres fechas de muestreo que corresponden a la etapa de fenológica de floración (43 DDT), fructificación (55 DDT) y madurez del fruto (91 DDT).

En la Tabla 20 se presentan los valores de contenido de clorofila en unidades SPAD, se observa que hay diferencia significativa para la etapa de floración (43 DDT) en el factor enmienda y en la interacción del factor frecuencia de riego y enmienda (véase el Anexo 15).

En respuesta al factor enmienda; la enmienda P2 registra el mayor contenido de clorofila con 57.75 unidades SPAD y en menor efecto la enmienda P1 con 41.95 unidades SPAD.

En cuanto a la interacción de factores principales, los tratamientos F1P2, F2P2, F1Ty F2T, presentan valores altos de contenido de clorofila (> 54 unidades SPAD), mientras los

tratamientos F1P1 y F2P1, registran 47.1 y 36.8 unidades SPAD respectivamente, valores bajos de contenido de clorofila. Con valores SPAD menores a 48.5 indica que el cultivo tiene concentraciones menores de 3 por ciento de nitrógeno, en consecuencia, es una condición de deficiencia nutrimental respecto a ese elemento (Cruz, *et al.*, 2011).

En el mismo contexto, se presenta diferencias significativas solo para el factor enmienda respecto a las etapas de fructificación (55 DDT), siendo el tratamiento P2 el de mayor efecto con 62.95 unidades SPAD, y en menor efecto la enmienda P1 con 58.73 unidades SPAD.

Del mismo modo, en la etapa de maduración (99 DDT), también se observa diferencias significativas, siendo de mayor efecto para la enmienda P2 con 71.48 unidades SPAD y 67 unidades SPAD como menor valor para la enmienda P1.

Por consiguiente, se observa una superioridad de la enmienda P2 en todas las etapas fenológicas del cultivo pimiento, este incremento se debería a que posee un componente con posibilidad de incrementar la capacidad de intercambio catiónico (arcilla y materia orgánica), además de un 10 por ciento del polímero poli acrilato de potasio que le suma la capacidad de almacenamiento de agua, por ende, se encontrarían disponibles elementos como el magnesio y nitrógeno, siendo primordiales para la síntesis de clorofila (Joya, C., 2019).

Sin embargo, analizando los datos de la conductancia estomática de cada tratamiento (Figura 28 y 29) se podría aludir que los tratamientos de la enmienda P2 y los testigos se encontraron mayormente en estrés hídrico sobre todo los de frecuencia de riego cada cuatro días, esto estaría relacionada con una de las respuestas más conservadoras al estrés hídrico en los cultivos, la cual se evidencia por una reducción al crecimiento de las hojas, teniendo como consecuencia en la concentración o contenido de clorofila, dando un aspecto más verdor y demás daños en las estructuras en donde se realiza la fotosíntesis. (Joya, C., 2019).

Más aún, Vera-Nuñez *et al.* (2001) citado por Vega, E. (2016), menciona que en el cultivo de cebada comprobaron que incrementos en la absorción de nitrógeno, sucedieron cuando aplicaron menor cantidad de agua o se encontraron en estrés hídrico. Del mismo modo, en el cultivo de soja este incremento ocurre por acumulación de ureidos (compuestos nitrogenados exportados desde los nódulos al resto de la planta) en las hojas de las plantas, Freixas *et al.* (2011) citado por (Vega, E., 2016)

Como lo dicho anteriormente existe una relación en el contenido de clorofila (unidades SPAD) y las concentraciones de nitrógeno disponible en el tejido vegetal. Dado que la enmienda P2 y el testigo registran valores altos de contenido de clorofila lo cual podría significar que tuvieron incrementos en la absorción de nitrógeno, por ende, se confirmaría que la enmienda P2 y el testigo se encontraron en estrés hídrico, corroborando con los valores de la conductancia estomática.

En cuanto al tratamiento de residuo industrial de pañales P1, estaría relacionado a la alta conductividad eléctrica al inicio del trasplante. Se ha reportado que la salinidad afecta la fisiología de la planta a través de cambios en el agua y el estado iónico en las células debido al desequilibrio iónico por la acumulación excesiva de Na, Cl y la reducción de la absorción de otros nutrientes minerales como K, Ca y Mg (Hasegawa *et al.*, 2000) y también por la posibilidad de entrar en anoxia radicular, estos dos factores influyen significativamente en el contenido de clorofila y el crecimiento de la planta.

Tabla 20: Efecto de las enmiendas retentivas de humedad en el contenido de clorofila (unidades SPAD) del cultivo pimiento en invernadero

Producto	03 de Marzo (43 DDT)	15 de Marzo (55 DDT)	28 de Abril (99 DDT)
	Unidades SPAD		
P2	57.75 a	62.95 a	71.48 a
P1	41.95 c	58.73 b	67.00 b
T	56.38 b	61.28 a	70.99 a
Significancia	***	**	*
c.v. %	1.9	2.6	3.3

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas (Student-Newman-Keuls, $p \leq 0,05$). NS = no significativo; c.v. = coeficiente de variación. *significancia estadística a 5 por ciento; ** significancia estadística a 1 por ciento; *** significancia estadística a 0.1por ciento.

Fuente: Elaboración propia.

4.6 Parámetros biométricos

Para ver el efecto de las enmiendas retentivas de humedad sobre los parámetros biométricos se caracterizó adecuadamente los eventos de crecimiento y desarrollo durante el periodo en estudio, se consideró importante cuantificar la evolución de la altura de planta, número de hojas, diámetro de tallo y profundidad de raíz.

4.6.1 Altura de planta

En la Figura 31 se observa la altura de la planta al inicio de la floración para los diferentes tratamientos, observándose un ligero retraso de crecimiento para los tratamientos F1P1 y F2P1 desde los 28 DDT hasta los 62 DDT, luego a partir de ello se observa una misma tendencia para todos los tratamientos.

Según The Magazine la altura del pimiento híbrido Hércules F1, llega aproximadamente de 50cm y podría llegar hasta los 80 cm, no obstante, en este ensayo registro una altura

promedio de 40 cm. Por otro lado, Castillo. A (2019) menciona que la siembra tardía causa una reducción en la altura de planta, esta menor altura estaría relacionada con un adelanto de la floración en algunas entradas y con un menor desarrollo vegetativo.

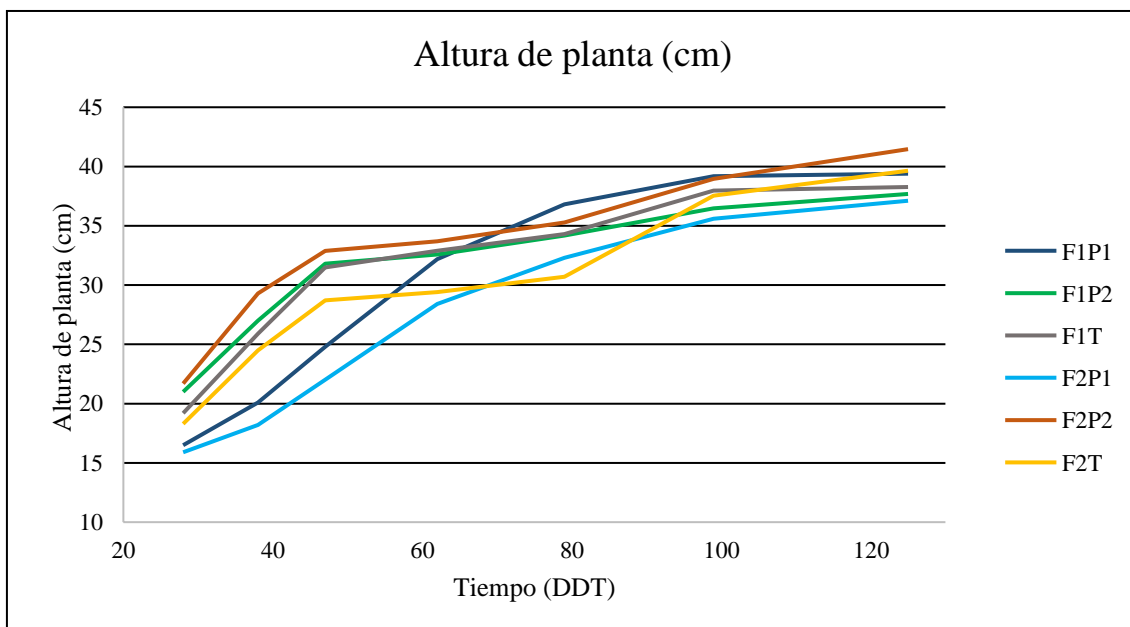


Figura 31: Variación de la altura de planta con diferentes tratamientos en siete fechas de evaluación

Fuente: Elaboración propia.

4.6.2 Número de hojas

En la Figura 32 al igual que el crecimiento de la altura de planta, se observa un retraso en el desarrollo del número de hojas para los tratamientos F1P1 y F2P1 a los 28 DDT hasta los 62 DDT. Conforme aumenta el número de hojas genera una mayor área foliar, la tasa de producción de asimilados producto de la fotosíntesis también se incrementa. A la vez, los asimilados son reinvertidos continuamente en crecimiento vegetativo (principal sumidero). Este efecto que se repite constantemente conlleva a un crecimiento cada vez más rápido, posteriormente, aparecen las flores y luego los frutos, los cuales constituyen un sumidero principal de la planta, por lo que el crecimiento vegetativo disminuye gradualmente., (Azofeifa & Moreira, 2004). En este ensayo se contabilizaron hojas completamente extendidas y de todas las ramas de la planta. Siendo los tratamientos de la enmienda P2 que más número de hojas registraron durante toda la etapa de desarrollo del cultivo.

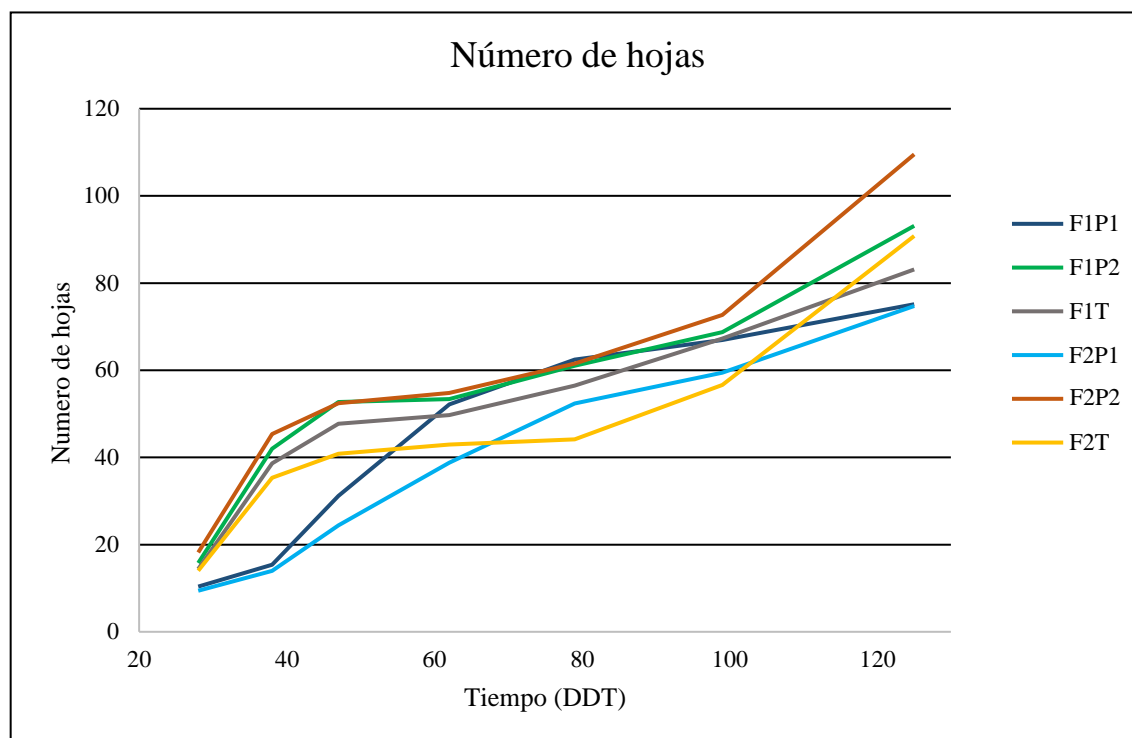


Figura 32: Variación del número de hojas con diferentes tratamientos en siete fechas de evaluación

Fuente: Elaboración propia.

4.6.3 Diámetro de tallo

En la Figura 33 se muestra a los 60 DDT los tratamientos de residuo industrial de pañales (P1) presentan un retraso en el crecimiento del diámetro de tallo, el tratamiento F1P2 obtuvo el mayor diámetro superando los 10 mm, los tratamientos F2P2 y F1T logran pasar los 9mm de diámetro de tallo, mientras F1P1 y F2T superan los 8mm, en cuanto al tratamiento F2P1 registra un diámetro de tallo menor de 8mm.

Dado que el sustrato con la enmienda P1 para una frecuencia cada cuatro días (F2P1) registró la menor altura de planta (véase el Anexo 21), estos datos sugieren una correlación positiva entre diámetro de tallos y altura de planta. El diámetro de tallo nos orienta a que, entre mayor sea esta variable, mayor es la capacidad para soportar el peso de órganos principales como ramas, flores y frutos. (Elizondo & Monge, 2017)

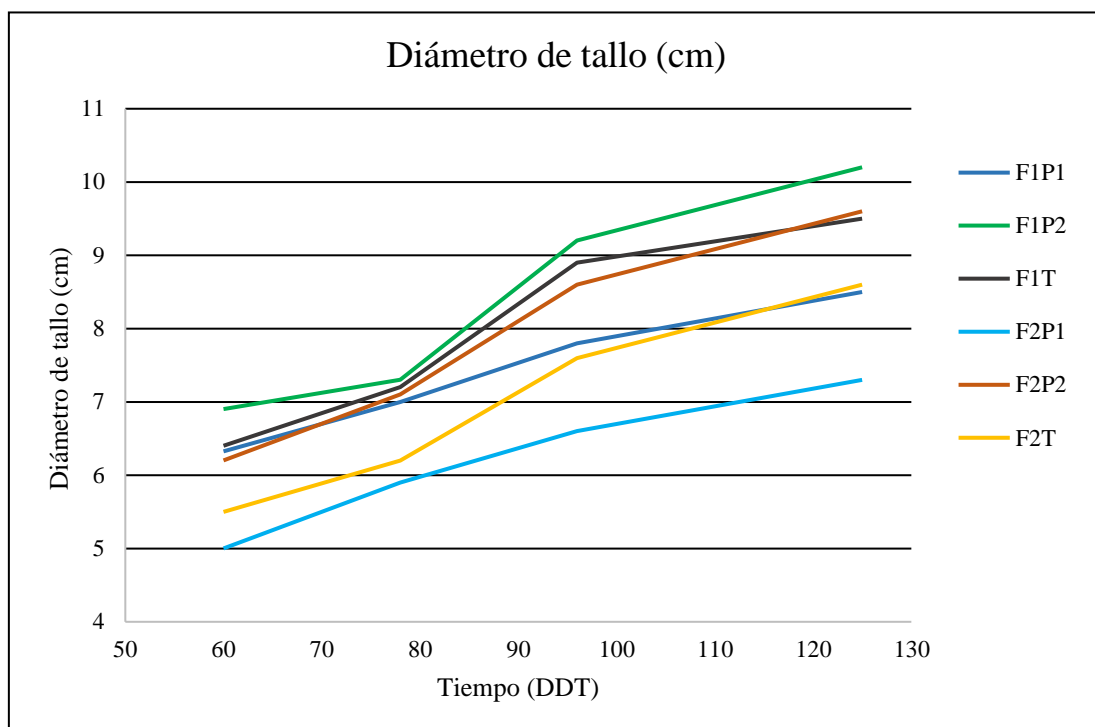


Figura 33: Variación del diámetro de tallo con diferentes tratamientos en 4 fechas de evaluación

Fuente: Elaboración propia.

4.6.4 Profundidad de raíces

En la Figura 34 se observa la variación de profundidad de raíces en los distintos tratamientos, mostrando que existe una similar tendencia en el crecimiento de la raíz en cuanto al factor frecuencia de riego (F1 y F2). La enmienda P2 registra una profundidad promedio de raíz de 36 cm, seguido del testigo con 33.5 cm y la enmienda P1 con menor profundidad de 27 cm.

De acuerdo con lo citado por Borda. M, (2013), menciona que el sistema radicular de la planta se ve influenciado por la disponibilidad de agua y nutrientes, donde si esta recibe nutrientes en abundancia no estimulara demasiado el crecimiento de raíz, por lo cual concluye que los tratamientos con residuo industrial de pañales no estimulan el crecimiento de raíz.

Sin embargo, Hutterman *et al.* (1999) reportó un aumento en el crecimiento de raíces y plantas con un polímero hidrófilo al 0.4 por ciento en peso en la aplicación de pino carrasco. De igual forma, Salim, S. (2014) tuvo un aumento significativo en la longitud de raíces con la aplicación de hidrogel SKY Gel en el cultivo trigo.

Por tanto, es posible que el reducido crecimiento de las raíces de las plantas en el suelo con la enmienda P1, puede ser debido a la presencia de sales en el suelo al comienzo del trasplante y a la anoxia radicular.

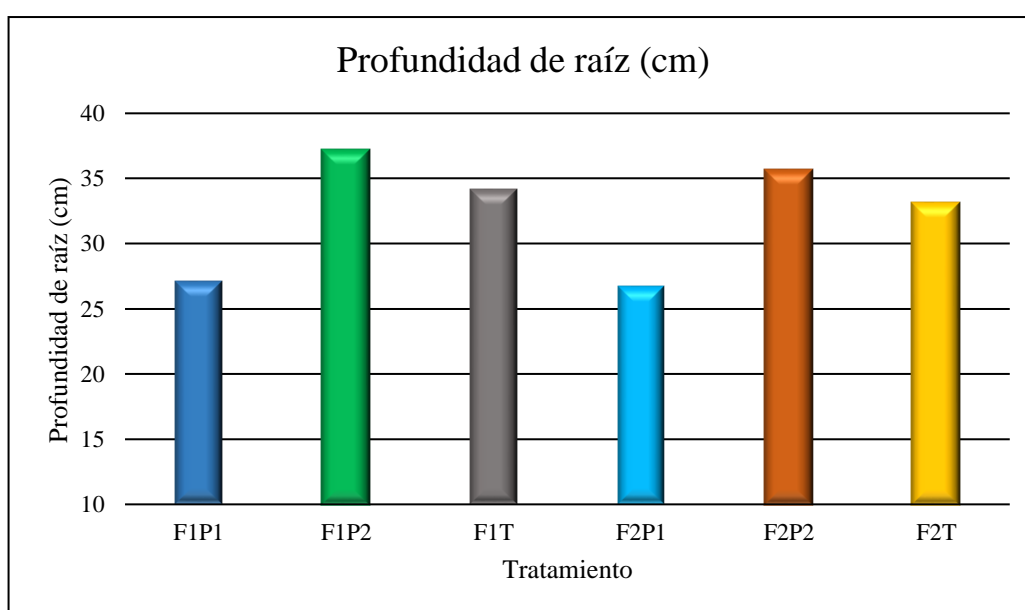


Figura 34: Variación de la profundidad de raíces con diferentes tratamientos

Fuente: Elaboración propia.

- **Análisis de Varianza para los parámetros biométricos**

Se realizó el análisis de varianza para los parámetros biométricos según la prueba de Student-Newman-Keuls ($p \leq 0,05$), en la última fecha de muestreo (125 DDT), se muestra que para el parámetro altura de planta no hubo diferencia significativa en el factor enmienda, pero sí ocurrió en la interacción frecuencia de riego y enmienda, donde el mayor efecto lo tuvo el tratamiento F2P2 con 41.47 cm y el menor efecto F2P1 con 37.11 cm (véase Anexo 18).

En cuanto al número de hojas, diámetro de tallo y profundidad de raíz el mayor efecto se llevó la enmienda P2 con 101 hojas, 9.91 mm y 36.33 cm, respectivamente y el menor efecto

lo obtuvo el sustrato con la enmienda P1 con 75 en número de hojas, 7.88 mm en diámetro de tallo y una profundidad de raíz de 26.88 cm.

Como se mencionó anteriormente en el contenido de clorofila, el alto contenido de sales en el sustrato con la enmienda P1 a inicios de trasplante probablemente pudo afectar en el crecimiento vegetativo de la planta, el aumento de la salinidad del suelo conllevaría a la disminución del peso seco de raíces, número de hojas, diámetro de tallo (Hand *et al.*, 2017).

Por otro lado, el exceso de agua almacenada con esta enmienda permitió que las plantas crecieran sin estrés hídrico en las primeras etapas de desarrollo (floración y fructificación) como se observa en la Figura 28 y 29, pero esta mayor retención de humedad pudo tener un efecto adverso en la aireación de la zona radicular, ya que se puede explicar por qué la disminución en la conductancia estomática en la etapa de maduración y el bajo desarrollo en los parámetros biométricos.

Eventos similares se presenciaron en el estudio de Dorraji *et al.* (2010) donde para el cultivo de maíz se aplicaron tasas de 0.2 por ciento y 0.6 por ciento del polímero retenedor en el cual la biomasa aérea y radicular a una tasa de 0.6 por ciento fue menor respecto al de 0.2 por ciento.

De igual forma, El-Hady, A. y Wanas, A. (2006) encontraron que el rendimiento en el cultivo de pepino disminuyó en una mayor cantidad de agua de riego, es decir el rendimiento del 100 por ciento de las necesidades de agua del cultivo fue inferior al del 85 por ciento del riego normal, esto debido a la mayor retención de humedad en el suelo tratado por encima de las necesidades de las plantas en crecimiento y su efecto adverso en la aireación de la zona radicular.

Tabla 21: Efecto de las enmiendas retentivas de humedad en la altura de planta (cm), número de hojas, diámetro de tallo (mm) y profundidad de raíz (cm)

Producto	Altura de planta (cm)	Número de hojas	Diámetro de tallo (mm)	Profundidad de raíz (cm)
P1	38.26 a	75.17 c	7.88 c	26.88 c
P2	39.58 a	101.33 a	9.91 a	36.33 a
T	38.96 a	87.17 b	9.04 b	33.68 b
Significancia	NS	***	***	***
c.v.%	3.4	6.6	5.6	5.9

↑ Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas (Student-Newman-Keuls, $p \leq 0,05$). NS = no significativo; c.v. = coeficiente de variación. * significancia estadística a 5 por ciento; ** significancia estadística a 1 por ciento; *** significancia estadística a 0.1 por ciento.

Fuente: Elaboración propia.

En resumen, la enmienda de residuo industrial de pañales P1, se demuestra que la implementación de ésta incremento el contenido de agua en el suelo, favoreciendo la reducción del volumen del agua aplicada respecto al testigo. Es bien sabido que el aumento de la humedad disponible para la planta alarga las frecuencias de riego y a su vez disminuye las cantidades de agua de riego necesarias y los costos de proceso de riego (El-Hady y Wanas, 2006).

Del mismo modo, se obtuvo mayor producción de frutos, mejor desarrollo en calidad, en consecuencia, un mayor uso eficiente de agua respecto al testigo. Sin embargo, parece ser que la cantidad que se usó de la enmienda y la manera de aplicación tuvieron un efecto desfavorable en el contenido de clorofila y en los parámetros biométricos, ya que estos fueron afectados por la salinidad del suelo al comienzo de la evaluación y la posibilidad de entrar a anoxia radicular durante el crecimiento del cultivo.

En cuanto a la enmienda Agrando retención de humedad P2, registró un mayor consumo de agua, este aumento se puede aludir a la poca capacidad de retención de humedad, pérdidas del agua por evaporación del suelo y la alta demanda de agua de parte del cultivo, ya que se registró mayor desarrollo vegetativo (véase la Tabla 21), así mismo, se obtuvo mayor

producción de frutos, en consecuencia, tuvo un significativo aumento en el uso eficiente del agua respecto al testigo.

Por otro lado, la enmienda resultó no ser muy favorable en el sentido de la retención de humedad, debido a la textura de sus partículas que son muy finas y la poca presencia del material SAP.

Como lo sostiene Flannery *et al.* (1982) mencionado por Ekebafé *et al.* (2011), el rendimiento de SAP en el crecimiento de las plantas depende también del método de aplicación. Se demostró que la pulverización de los hidrogeles como gránulos secos o su mezcla con toda la zona radicular no es efectiva. Parece que se obtienen mejores resultados cuando los hidrogeles se colocan en capas, preferiblemente unas pocas pulgadas por debajo de la superficie del suelo.

Por otro lado, Borda. M. (2013), aplicando el residuo industrial de pañales en capas por debajo de la superficie radicular en tomate, obtuvo mejores resultados en número, peso fresco y seco para la variable fruto, como también en número, peso fresco y seco para la variable hojas.

V. CONCLUSIONES

Es concluyente que la utilización de las enmiendas retentivas de humedad ayuda a la conservación, retención y humedad disponible para las plantas y también para la mayoría de los parámetros biométricos y producción, principalmente en el tratamiento de residuo industrial de pañales, efecto que se vio reflejado en los volúmenes de agua aplicados, donde las plantas se potenciaron en términos de uso eficiente del uso del agua y en el mejoramiento de parámetros asociados a la calidad de cosechas.

En el mismo contexto, de estos antecedentes se desprenden las siguientes conclusiones específicas:

- Los resultados mostraron que la aplicación de la enmienda de residuo industrial de pañales (P1) utilizó una menor lámina de agua respecto al testigo, siendo para el factor frecuencia de riego cada dos días, F1P1 con 437.73 mm respecto al tratamiento F1T con 478.64 mm, mientras para una frecuencia cada cuatro días, el tratamiento F2P1 registro una lámina de 342.54 mm respecto al testigo F2T con 416.04 mm. En cuanto a la enmienda Agrando retención de humedad P2 manejó una mayor lámina de riego respecto al testigo, en ambas frecuencias de riego.
- Con respecto al comportamiento de la humedad del suelo, la enmienda de residuo industrial de pañales P1 registró un aumento en la capacidad de retención del agua, con un aumento del 400 por ciento seguido de la enmienda Agrando retención de humedad P2 con un aumento del 53.5 por ciento respecto al testigo. Del mismo modo, la cantidad de agua que se libera a una presión de 15 bar para las enmiendas P1, P2 y el testigo son 47 por ciento, 89 por ciento y 93 por ciento, respectivamente. En el contenido de agua disponible se observó que hubo un incremento, en la cual la enmienda P1 mejoró aproximadamente 2.2 veces a comparación del testigo, mientras para la enmienda P2 registro un leve aumento del contenido de agua disponible de 1.4 veces respecto al testigo.

- Los mayores rendimientos comerciales fueron percibidos en los tratamientos con las enmiendas retentivas de humedad P1 y P2 los cuales correspondieron a 0.97 kg/m^2 y 1.05 kg/m^2 respectivamente y en menor efecto el testigo con 0.85 kg/m^2 . Habiendo un aumento del rendimiento comercial de 14.1 por ciento para P1 y 23.5 por ciento para P2, respecto al testigo. Aunque las diferencias de las enmiendas P1 y P2 no fueron estadísticamente significativas en el rendimiento comercial, los resultados indicaron que, si hubo diferencia significativa en el rendimiento total entre estas dos, siendo para P2 de 1.24 kg/m^2 , seguido de P1 con 1.12 kg/m^2 y en menor efecto el testigo con 1.01 kg/m^2 .
- Por consiguiente, para ver el mejor efecto de las enmiendas retentivas de humedad nos apoyamos en el uso eficiente del agua que resultaron diferencias estadísticas significativas para el factor enmienda, correspondiendo al de mayor uso eficiente del agua para la enmienda P1 con 32.09 kg/m^3 , seguido de la enmienda P2 con 27.84 kg/m^3 , respecto al testigo que fue de 24.88 kg/m^3 . Por tanto, las enmiendas P1 y P2 tuvieron un incremento del uso eficiente del agua en 29 por ciento y 12 por ciento, respectivamente. Del mismo modo en relación con la cantidad de agua requerida para la producción de 1 kilogramo de pimiento producido, se determinó que el tratamiento F2P1 requirió una menor cantidad de agua de 28.89 litros, mientras el tratamiento testigo F1T, 41.19 litros, habiendo un ahorro del 30 por ciento.
- Respecto a los parámetros fisiológicos, con relación a la conductancia estomática, la enmienda P1 amortigua en mayor medida el estrés hídrico a comparación de la enmienda P2, siendo éste el que mayor tiempo estuvo en estrés hídrico, seguido del testigo. En relación con el contenido de clorofila se registró una mayor cantidad en la enmienda P2 junto con el testigo, que estaría relacionado en el incremento del nitrógeno en las hojas de la planta y esto reflejaría que estuvieron en mayor medida en un estado de estrés hídrico, por otro lado, la enmienda P1 obtuvo una menor concentración, debido a la alta salinidad en el suelo al inicio del trasplante y la posibilidad de entrar en anoxia radicular.

VI. RECOMENDACIONES

- Evaluar el contenido de humedad volumétrica con sensores fijos, ya que se presenta problemas al estar insertando y sacando constantemente el sensor, dejando aberturas en el suelo que posteriormente disminuye la precisión del contenido de humedad.
- Antes de las mediciones en campo de la humedad volumétrica con el sensor TDR, realizar su respectiva calibración para cada tipo de suelo o sustrato.
- Realizar la capacidad de retención de agua para cada sustrato con las enmiendas retentivas de humedad al inicio y final de la investigación para ver el rendimiento de estas, como la retención hídrica, la cantidad de agua extraída y el contenido de agua disponible.
- Con respecto a la enmienda de residuo industrial de pañales P1, realizar ensayos con otra técnica de incorporación de la enmienda como por ejemplo por capas en el suelo debajo de la zona radicular y evaluar en otras especies, también probar nuevas dosis, para obtener la dosis optima de suelo y cultivo.
- Con respecto a la enmienda Agrando retención de humedad P2, incorporar más contenido del polímero poliacrilato de potasio en la mezcla y hacerlo más granulado, probando nuevas dosis y evaluar en otras especies, para obtener la dosis optima de suelo y cultivo.
- Realizar más investigaciones en la enmienda de residuo industrial de pañales, viendo el efecto que este ocasiona en la salinidad del suelo, tanto química como biológica para el suelo y cultivo.
- Realizar ensayos de crecimiento y patrón de distribución de raíces de las plantas en los sustratos con las enmiendas retentivas de humedad.
- Incorporar en el invernadero un sistema de nebulización para controlar la humedad relativa y enfriar el aire, ya que se registraron temperaturas altas y humedades relativas bajas, que influyen en la producción y calidad de los cultivos.
- Proyectar el efecto de las enmiendas retentivas en campo abierto, en especial en suelos arenosos.

VII. BIBLIOGRAFIA

1. Abedi-Koupai J., Asad-kazemi J. (2006). Effects of a hydrophilic polymer on field performance of an ornamental plant (*Cupressus arizonica*) under reduced irrigation regimes. *Iranian Polymer Journal* 15(9), 715-725. Recuperado de <https://www.sid.ir/en/journal/ViewPaper.aspx?ID=50202>
2. Aguirre, A. (2009). El manejo de la conductividad eléctrica en fertirriego. (Tesis de especialización en Química Aplicada-Agroplasticultura). Centro de Investigación En Química Aplicada. Recuperada de <https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/344/1/Alberto%20Aguirre%20Hernandez.pdf>
3. Akhter, J., Mahmood, K., Malik, K. A., Mardan, A., Ahmad, M. & Iqbal, M. M. (2004). Effects of hydrogel amendment on water storage of sandy loam and loam soils and seedling growth of barley, wheat and chickpea. *Plant Soil and Environment*, 50(10), 463-469. doi: <https://doi.org/10.17221/4059-PSE>
4. Al-Harbi, A. R., Al-Omran, A. M., ShalAaby, A. A. & Choudhary, M. I. (1999). Efficacy of a hydrophilic polymer declines with time in greenhouse experiments, *Horticultural Science*, 34, 223-224. doi: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.34.2.223>
5. Al-Omran, A. M. & Al-Harbi, A. R. (1998). Improvement of sandy soils with soil conditioners. *Handbook of Soil Conditioners*. 363-384. doi: 10.1201/9781003064688-17
6. Andry, H., Yamamoto, T., Irie, T., Moritani, S., Inoue, M. & Fujiyama, H. (2009). Water retention, hydraulic conductivity of hydrophilic polymers in sandy soil as affected by temperature and water quality. *Journal of Hidrology*, 373, 177-183. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.04.020>
7. Argentine Food. (2013). Protocolo de calidad para pimienta en fresco. Recuperado de http://www.alimentosargentinos.gob.ar/HomeAlimentos/Sello/sistema_protocolos/SAA_040_%20ProtocoloPimientafresco_V3.pdf
8. Azofeifa, A. & Moreira, M. (2004). Análisis de crecimiento del chile jalapeño (*Capsicum annuum* L. cv. Hot). *Agronomía Costarricense*, 28(1), 57-67. Recuperado de

- https://www.researchgate.net/publication/26459532_Analisis_de_crecimiento_del_chile_jalapeno_Capsicum_annuum_L_cv_Hot_en_Alajuela_Costa_Rica.
9. Bhardwaj, A. K., Shainberg, I., Goldstein, D., Warrington, D. & Levy, G. J. (2007). Water retention and hydraulic conductivity of cross-linked polyacrylamide in sandy soils. *Soil Science Society of America Journal*, 71,406-412. doi:10.2136/sssaj2006.0138
 10. Bo Z., Renkuan L., Yunkai L., Tao G., Peiling Y., Ji F., Weimin X. & Zhichao Z., (2012). Water-absorption characteristics of organic–inorganic composite superabsorbent polymers and its effect on summer maize root growth. *Journal of Applied Polymer Science*, 126(2), 423-435. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/262892763_Water-absorption_characteristics_of_organic-inorganic_composite_superabsorbent_polymers_and_its_effect_on_summer_maize_root_growth
 11. Castillo, A. (2019). Evaluación agronómica de ajíes promisorios de la colección de germoplasma de *Capsicum* del programa de hortalizas de la UNALM. (Tesis de Pregrado, Universidad Agraria La Molina). Recuperado de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/3896>
 12. Céspedes, R. A. (2020). Distribución de humedad y producción frijol canario con riego por goteo a diferentes dosis de poliacrilato de sodio. (Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina). Recuperado de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/4713>
 13. Chen, S. L., Zommodi, M., Fritz, E., Wang, S. & Huttermann, A. (2004). Hydrogel modified uptake of salt ions and calcium in *Populus euphratica* under saline conditions, *Trees Structure and Function Journal*, 18, 175-183. Recupeado de <https://doi.org/10.1007/s00468-003-0267-x>
 14. Conde, J. (2013). Evaluar el rendimiento del cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) con aplicación de fertirrigación en dos sistemas de riego por goteo, superficial y subsuperficial. (Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Loja). Recuperado de <http://192.188.49.17/jspui/handle/123456789/11535>
 15. Cruz, J., Sánchez, P., Galvis, A. y Carrillo, J. (2011). Índices espectrales en pimiento para el diagnóstico nutrimental de nitrógeno. *Terra Latinoamericana*, 29(3), 259-265.

Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0187-57792011000300259&lng=es&nrm=iso

16. Dagdelen, N., Yilmas, E. & Sezgin, F. (2004). Effects of water stress at different growth stages on processing pepper (*Capsicum annum* Cv. Kapija) yield water use and quality characteristics. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 7(12), 2167-2172. Recuperado de doi: 10.3923/pjbs.2004.2167.2172
17. Deker, C. & Londres, I. (2011). Adaptación de cinco híbridos de pimiento (*Capsicum annuum* L.) en la zona de Catarama, Cantón 45 Urdaneta Provincia de los Ríos. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad de Guayaquil. p. 5-10. Recuperado de <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/8163>
18. Dorraji, S.; Golchin, A.; Ahmadi, S. (2010). The Effects of Hydrophilic Polymer and Soil Salinity on Corn Growth in Sandy and Loamy Soils. Department of Soil Science, College of Agriculture, Zanjan University, Zanjan, Iran. Recuperado de <https://doi.org/10.1002/clen.201000017>
19. Edmundo, A. (2013). Riego por Goteo. Centro Nacional de tecnología Agropecuaria y Forestal.
20. Ekebafé, L., Ogbefun, D. & Okieimen, F. (2011). Polymer applications in agriculture. *Biokemistri*, 23(2): 81-89. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/268383590_Polymer_Applications_in_Agriculture
21. El-Hady, Sh. & Wanas, A. (2006). Water and fertilizer used efficiency by cucumber grown under stress on sandy soil treated with acrylamide hydrogel. *Journal of Applied Sciences Research.*, 2 (12), 1293-1297. Recuperado de <http://www.aensiweb.com/old/jasr/jasr/2006/1293-1297.pdf>
22. Elizondo, E y Monge, J. (2017). Caracterización morfológica de 15 genotipos de pimiento (*Capsicum annuum*) cultivados bajo invernadero en Costa Rica. *InterSedes*, 18(37). Recuperado de doi: <http://dx.doi.org/10.15517/isucr.v18i37.28652>.
23. Fernández, R. E. y Camacho, F. (2005). Eficiencia en el uso del agua. *Revista Viveros*. Universidad de Almería en España. 86-89.

24. García Petillo, M., Puppo, L., Hayashi, R. y Morales, P. (2012). Metodología para determinar los parámetros hídricos de un suelo a campo. Montevideo, Uruguay : Universidad de la República, Facultad de Agronomía, Departamento de Suelos y Agua. Recuperado de <http://www.fagro.edu.uy/~hidrologia/riego/Metodologia%20para%20determinar%20los%20parametros%20hidricos%20de%20un%20suelo%20a%20campo.pdf>
25. Gehring, J. M. & Lewis, A. J. (1980). Effect of polymer on wilting and moisture stress of bedding plants. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 105: 511-513.
26. González, J.D. (2017). Análisis de modelado de sensores de reflectometría en frecuencia para medida de agua en el suelo. (Tesis de Maestría, Universidad Politécnica de Cartagena). Recuperado de <https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/6084/tfm-gon-ana.pdf?sequence=4>.
27. Hand, M., Taffouo, V., Nouck, A., Nyemene, K., Tonfack, L., Meguekam, T. & Youmbi, E. (2017). Effects of salt stress on plant growth, nutrient partitioning, chlorophyll content, leaf relative water content, accumulation of osmolytes and antioxidant compounds in pepper (*Capsicum annuum* L.) cultivars. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 45(2), 481-490. Recuperado de doi: 10.15835/nbha45210928
28. Hasegawa, P., Bressan, R., Zhu, J. & Bohnert, H. (2000). Plant cellular and molecular responses to high salinity. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 51, 463-499. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/8665682_Plant_cellular_and_molecular_responses_to_high_salinity_Ann_Rev_Plant_Physiol_Plant_Mol_Biol
29. Hayat, R. y Ali, S. (2004). Absorción de agua por polímero sintético (aquasorb) y su efecto sobre las propiedades del suelo y el rendimiento del tomate. *International Journal of Agriculture And Biology*, 6: 998-1200.
30. Hedrick, R. M. & Mowry, D. T. (1952) Effect of synthetic polyelectrolytes on aggregation, aeration and water relations of soils. *Soil Science*, 73, 427-441.
31. Japón Quintero, J. (1980). El cultivo extensivo del pimiento para industria. *Hojas Divulgadoras*, 9/80. Recuperado de https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1980_09.pdf

32. Joya, C. (2019). Enmiendas retentivas de humedad en el cultivo de acelga (*Beta vulgaris* var. *Cycla*) cv. Fordhook Giant. (Tesis de pregrado para optar el título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú). Recuperado de <https://1library.co/document/z1ejmopy-enmiendas-retentivas-humedad-cultivo-acelga-vulgaris-cycla-fordhook.html>
33. Hutterman, A., Zomporodi, M. & Reise, K (1999). Addition of hydrogels to soil for prolonging the survival of *Pinus halepensis* seedlings subjected to drought. *Soil and Tillage Research*, 50(3-4), 295-304. doi: 10.1016/S0167-1987(99)00023-9
34. Islam, M., Xue, X., Mao, S., Zhao, X., Eneji, E. y Hu, Y. (2011). Superabsorbent polymers (SAP) enhance efficient and eco-friendly production of corn (*Zea mays* L.) in drought affected areas of northern China. *African Journal of Biotechnology*. 10(24), 4887-4894. Recuperado de <https://www.ajol.info/index.php/ajb/issue/view/10426>
35. Johnson S. J. (1984). The effects of gel-forming polyacrylamides on moisture storage in sandy soils, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 35(11), 1196-1200. Recuperado de <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740351110>
36. Kazanskii, K. S. y Dubrovskii, S. A. (1992). Química y física de los hidrogeles agrícolas. *Advances in Polymer Science* 104, 97-133.
37. Lekshmi, S., Singh, D. N. & Shojaei, M. (2014). A critical review of soil moisture measurement. (en línea). *Measurement*. Elsevier. Recuperado de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263224114001651>. v. 54, p. 94.
38. Lentz, R .D. (2003). Inhibiting water infiltration with PAM and surfactants: Applications for irrigated agriculture. *Journal of Soil and Water Conservation*, 58(5), 290-300. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/279681972_Inhibiting_water_infiltration_with_polyacrylamide_and_surfactants_Applications_for_irrigated_agriculture
39. López, J., Huez, M., Rueda, E., Jiménez, J., Rodríguez, J., Romero, L., y Dávila, F. (2013). Evaluación de un polímero hidrófilo en Chile Anaheim (*Capsicum annum* L.) cultivado en invernadero. *Terra Latinoamericana*, 31(2), 115-118. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792013000300115&lng=es&tlng=es.

40. Magalhaes, J., Wilcox, G., Rodriguez F. C., Silva, F. & Ferreira, R. (1987). Plant growth and nutrient uptake in hydrophilic gel treated soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 18: 1469-1478. Recuperado de <https://doi.org/10.1080/00103628709367911>
41. Martínez, J. (1995). Medida de curva de retención de humedad en laboratorio y su estimación. Salamanca, España : Universidad de Salamanca. Recuperada de https://abe.ufl.edu/faculty/carpenna/files/pdf/zona_no_saturada/avances_en_la_investigacion_v2/c13_193_202.pdf.
42. Moazzen-Ghamsari, B., Akbari, G. A., Zohorian, M. J. y Nikniaee, A. B. (2009). Una evaluación del crecimiento y rendimiento del maíz forrajero con la aplicación de diferentes niveles de polímero superabsorbente (SUPERAB A200) y bajo estrés por sequía. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 40: 1-9.
43. Moreno, M., Ribas, F., Moreno, A. & Cabello, M. (2003). Physiological response of a pepper (*Capsicum annuum* L.) crop to different trickle irrigation rates. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 1(2), 65. doi: 1. 65. 10.5424/sjar/2003012-22.
44. Narjary, B., Aggarwal, P., Singh, A., Chakraborty, D. & Singh, R. (2012). Water availability in different soils in relation to hydrogel application, *Geoderma*, 187–188: 94-101. doi: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.03.002>.
45. Nissen, J. y K. San Martín. (2004). Uso de poliacrilamidas y el riego en el manejo hídrico de lechugas (*Lactuca sativa* L.). *Agro Sur* 32: 1-12.
46. Ono, T., Sugimoto, T., Shinkai S. & Sada K., (2007). Lipophilic polyelectrolyte gels as superabsorbent polymers for nonpolar organic solvents. *Nature Materials* 6: 429-433.
47. Pardossi, A., Tognoni, F., & Incrocci, L. (2004). Mediterranean greenhouse technology, the World of horticulture. *Chronica Horticultural*, 44(2), 28-34. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/285745841_Mediterranean_greenhouse_technology
48. Parida, A. K. & Das, A. B. (2005) Salt tolerance and salinity effects on plants. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 60(3), 324-349. doi: 10.1016/j.ecoenv.2004.06.010

48. Pariguana, M. y Gonzales, L. (sf). Reciclaje químico del polímero superabsorbente de pañales desechables usados. Recuperado de <https://aidisnet.org/wp-content/uploads/2019/07/526-Per%C2%A6-oral.pdf>
49. Pask, A. D., Pietragalla, J., Mullan, D. M., Chávez-Dulanto P. N. y Reynolds, M. P. (2013). Fitomejoramiento fisiológico II: Una guía de campo para la caracterización fenotípica de trigo. México, D.F. : CIMMYT.
50. Pattanaaik, S. K., Barun, S., Wangchu, L., Debnath, P., Hazarika, B. & Pandey, A. (2015). Effect of hydrogel on water and nutrient management of *Citrus reticulata*. *Research on Crops*, 16(1). doi: 10.5958/2348-7542.2015.00015.7
51. Postel S. L., Daily G. C. & Ehrlich P. R. (1996). Human apporpiation of renewable fresh water. *Science*, 271(5250), 785-788.
52. Rojas, B., Ramírez M., Aguilera, R., Prin, J. L., Torres, C. y Ramírez, M. (2006) Los hidrogeles poliméricos como potenciales reservorios de agua y su aplicación en la germinación de semillas de tomate en diferentes tipos de suelos. *Revista Iberoamericana de Polímeros*,17(4), 199-210. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7891638>
53. Salazar, C. & Hernández, C. (2018). Respuesta a estrés hídrico controlado del pimiento durante la maduración del fruto. La Platina, Chile : INIA. Documento, 360. Recuperado de <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/123456789/6652/NR40854.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
54. Salim, S. (2014). Effects of water-retaining agent (Sky Gel) on growth, yield and water use efficiency of wheat (*Triticum aestivum* L.) Ramadi, Iraq : University of Al Anbar, Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/332112228_EFFECT_OF_WATER-RETAINING_AGENTSKY_GEL_ON_SOIL_PHYSICAL_PROPERTIES_GROWTH_YIELD_AND_WATER_USE_EFFICIENCY_OF_WHEAT_Triticum_aestivum_L_PLANT
55. Sánchez, G. (2006). Manejo integrado de plagas en el Perú. Lima, Perú : Universidad Nacional Agraria La Molina.


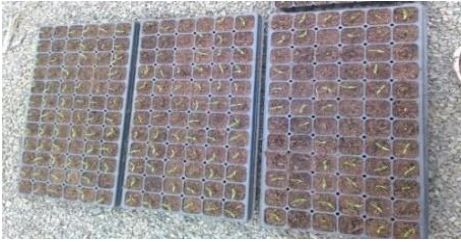






56. Sannino, A. (2008). Application of superabsorbent hydrogels for the optimization of water resources in agriculture. En: The 3° Internacional Conference on Water Resources and Arid Environments. Cairo: Arab Water Council.
57. Sanz, J. (2015). Characterization and effects of cross-linked potassium polyacrylate as soil amendment. (Tesis doctoral: Universidad de Sevilla). Recuperado de <https://idus.us.es/handle/11441/40617>.
58. Setter, T. L., Flannigan, B. y Melkonian, J. (2001). Pérdida de la almendra debido al déficit de agua y a la sombra del maíz. *Crop Science*, 41, 1530-1540.
59. Shahidian S., Serralheiro R., Serrano J., Machado R., Torero, C. y Rebocho J. (2010). Uso de polímeros de pañales como acondicionadores de suelos. En: “XIV Congreso Internacional RAMIRAN - Tratamiento y uso de residuos orgánicos en la agricultura: desafíos y hacia una gestión sostenible”. Sevilla, España : Ministerio de Cultura, Centro de las Letras Españolas. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10174/5651>
60. Sharma, J. (2004). Establishment of perennials in hydrophilic polymer-amended soil, *SNA Research Conference*, 42, 30-532.
61. Serrano, Z. (1996). Veinte cultivos de hortalizas en invernadero. Ed. Zoilo Serrano, C. Sevilla, España : Ed. Zoilo Serrano.
62. Silva, F., Menechella, R., Wagner, O. y Vidal, A. (1982). Cultivo de pimiento análisis de costos y evaluación económica de una hectárea. Pedro Luro, Argentina : IICA. Recuperado de <http://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/18473/CDAR21088166e.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
63. Sivapalan, S. (2001). Effect of polymer on soil water holding capacity and plant water use efficiency, In: *Proceedings of the 10th Australian Agronomy Conference*, Australian Society of Agronomy. Hobart, Tasmania : The Australian Society of Agronomy. Recuperado de <http://www.agronomyaustraliaproceedings.org/index.php/2001>
64. Sivapalan, S. (2006). Some benefits of treating a sandy soil with a crosslinked type of polyacrylamide. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 46(4), 579-584. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/27464700_Some_Benefits_of_Treating_a_Sandy_Soil_with_Crosslinked_Type_Polyacrylamide

65. Spiertz, H. (2012). Avenues to meet food security. The role of agronomy on solving complexity in food production and resource use. *European Journal of Agronomy*, 43, 1-8. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/257505051_Avenues_to_meet_food_security_The_role_of_agronomy_on_solving_complexity_in_food_production_and_resource_use
66. Stahl, J. D., Cameron, M. D., Haselbach, J. & Aust, S. D. (2000). Biodegradation of superabsorbent polymers in soil, *Environmental Science and Pollution Research*, 7(2), 83-88. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/23473763_Biodegradation_of_Superabsorbent_Polymers_in_Soil
67. Taiz, L. & Zeiger, E. (2010). *Plant physiology*. (5th ed.). Sunderland, Massachusetts : Sinauer Associates Inc.
68. Texas, S. U. (2008). Uso de sensores de humedad del suelo para eficientizar el riego. Texas, Estados Unidos. Recuperada de <http://riograndewater.org/media/1080/e-618s-irrigation-monitoring-with-soil-water-sensors-spanish-version.pdf>
69. The Magazine. (24 de abril del 2021). Re: Pimiento Hércules: descripción y características del cultivo, cuidado de la variedad y rendimiento. Recuperado de <https://ve.tomahnousfarm.org/5233-pepper-hercules-description-and-characteristics-feat.html>.
70. Tory, S. (2014). Caracterización de núcleos o centros absorbentes de pañales desechables. (Tesis para optar la licenciatura en Química. Universidad Central de Venezuela). Recuperada de <http://190.169.28.21/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=14730>.
71. UNESCO. (2009). *World WaterAssessment Programme, Water in a Changing World*. Paris, France : The 3rd United Nations World Water Development Report.
72. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2015). *World Population Prospects: The 2015 Revision, Key Findings and Advance Tables*. Working Paper No. ESA/P/WP.241. Recuperado de https://population.un.org/wpp/Publications/Files/Key_Findings_WPP_2015.pdf

73. Vega, E. C. (2016). Desempeño de frijol común bajo riego parcial de raíces en un sistema de respuesta hidrogravitropica selectiva. (Tesis doctoral, Universidad Nacional Agraria La Molina). Recuperada de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/2908>
74. Vega, E. y Mejía, J. (2017). Desempeño del *Phaseolus vulgaris* bajo riego parcial cultivado en un sistema de respuesta hidrogravitropica. *Scientia Agropecuaria*, 8(2),137-147.
75. Wu L., Liu M. Z. & Liang R. (2008). Preparation and properties of a double-coated slow- release NPK compound fertilizer with superabsorbent and water-retention. *Bioresource Technology*, 99(3), 547-554. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/6486675_Preparation_and_properties_of_a_double-coated_slow-release_NPK_compound_fertilizer_with_superabsorbent_and_water-retention
76. Zude-Sasse, M., Hartmond, U., Ebert, G., & Lüdders, P. (2001). Pyridine nucleotide charge reduces photosynthesis under short-term oxygen deficiency. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 126(6). doi: 126.10.21273/JASHS.126.6.703.

VIII. ANEXOS

Anexo 1: Siembra, preparación del campo experimental y trasplante del cultivo pimienta.

 <p>Siembra, 01-12-2019</p>	 <p>Germinación, 11-12-2019</p>
 <p>Proceso de mezcla de las enmiendas con el sustrato de arena gruesa, 30-12-2019</p>	 <p>Replanteo del campo experimental, 03-01-2020</p>
 <p>6 hojas verdaderas (45 DDS), 16-01-2020</p>	 <p>Preparación del campo experimental, 16-01-2020</p>
 <p>Instalación del sistema de riego, 17-01-2020</p>	 <p>Trasplante, 20-01-2020</p>

Anexo 2: Instalación del sistema de riego por goteo



Fuente de agua: Reservorio del CIER



Bomba de agua: Hidrostat 5HP



Instalación del cabezal de riego



Instalación del Venturi para el Fertirriego



Instalación de las cintas de riego AZUD









Campo experimental instalado con sistema de riego por goteo







Anexo 3: Proceso de mezcla de las enmiendas con el sustrato arena gruesa

 <p>Residuo industrial de pañales (P1)</p>	 <p>Agrado retención de humedad (P2)</p>
 <p>Rayado de los bloques del residuo industrial de pañales</p>	 <p>Cuantificación de las enmiendas P1 y P2 (195 gr)</p>
 <p>Empaquetamiento de la enmienda P2</p>	 <p>Empaquetamiento de la enmienda P1</p>
 <p>Mezclado de las enmiendas con el sustrato (arena gruesa)</p>	 <p>Llenado de los sustratos (con enmienda y sin enmienda) a las bolsas almacigueras</p>

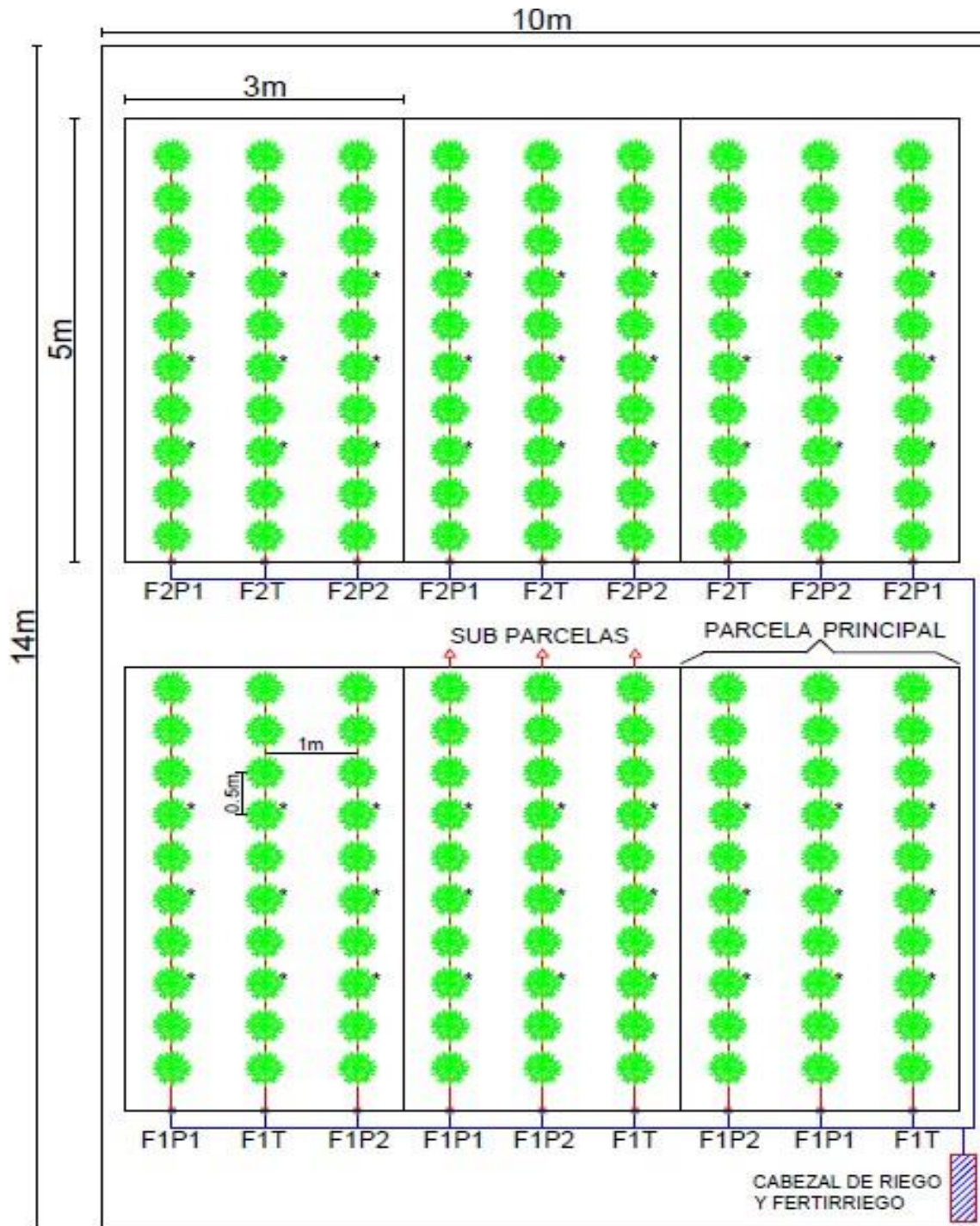
Anexo 4: Labores agronómicas

 <p>Instalación de trampas amarillas, 05-02-2020</p>	 <p>Aplicación de Azufre en polvo para el ataque de larvas, 19-02-2020</p>
 <p>Aplicación de insecticida agrícola para el ataque de trips, moscas blancas</p>	 <p>Aplicación de microelementos con quelato de hierro vía foliar</p>
 <p>Fertilización con macroelementos y microelementos esenciales para el cultivo pimiento</p>	 <p>Instalación de cables de acero y rafia para el tutorado del cultivo</p>

Anexo 5: Cálculo y mediciones de los parámetros de suelo, hídricos y fisiológicos.


 <p>Cálculo del coeficiente de uniformidad, 22-01-2020</p>	 <p>Muestras para la prueba de Retención de humedad, 10-02-2020</p>
 <p>Establecimiento de bandejas para la medición de pH y Salinidad de la solución drenada</p>	 <p>Medición de la humedad volumétrica del suelo</p>
 <p>Medición del contenido de clorofila con el equipo SPAD-502 Plus</p>	 <p>Medición de la conductancia estomática con el equipo Porómetro SC-1 (Decagon Device USA)</p>

Anexo 6: Croquis del campo experimental



Area: 133 m²

#Linea lateral: 18 (Sub parcelas)

#Cultivos por lateral: 10 

(*) Medición de la conductancia estomática

Anexo 7: Tiempo de riego promedio (min) y lamina bruta promedio (mm) para una frecuencia cada dos días en las diferentes etapas de desarrollo del cultivo pimiento

Etapa de Desarrollo	Tiempo de riego promedio (min)			Lamina bruta promedio (mm)		
	F1P1	F1P2	F1T	F1P1	F1P2	F1T
1 ^{ra} Floración (36 a 46 DDT)	8.9	10.6	9.6	5.3	6.2	5.6
1 ^{ra} Fructificación (48 a 70 DDT)	12.3	14.3	13.4	7.3	8.4	7.9
Maduración (72 a 123 DDT)	14.6	17.1	15.7	8.6	10.1	9.2

Anexo 8: Tiempo de riego promedio (min) y lamina bruta promedio (mm) para una frecuencia cada cuatro días en las diferentes etapas de desarrollo del cultivo pimiento

Etapa de Desarrollo	Tiempo de riego promedio (min)			Lamina bruta promedio (mm)		
	F2P1	F2P2	F2T	F2P1	F2P2	F2T
1 ^{ra} Floración (36 a 44 DDT)	11.7	15.7	12.7	6.9	9.2	7.5
1 ^{ra} Fructificación (48 a 68 DDT)	15.8	23.2	20.2	9.3	13.7	11.9
Maduración (72 a 121 DDT)	21.5	28.1	25.5	12.7	16.6	15.0

Anexo 9: Diferencia en el factor enmienda en cada etapa fenológica para una frecuencia de riego cada dos días

ETAPA DE LA FLORACIÓN: 27 de Febrero - 38 DDT



ETAPA DE FRUCTIFICACIÓN: 16 de Marzo - 56 DDT



ETAPA DE MADURACIÓN: 19 de Abril - 90 DDT



Anexo 10: Diferencia en el factor enmienda en cada etapa fenológica para una frecuencia de riego cada cuatro días

ETAPA DE FLORACIÓN: 27 de Febrero - 38 DDT









ETAPA DE FRUCTIFICACIÓN: 16 de Marzo - 56 DDT



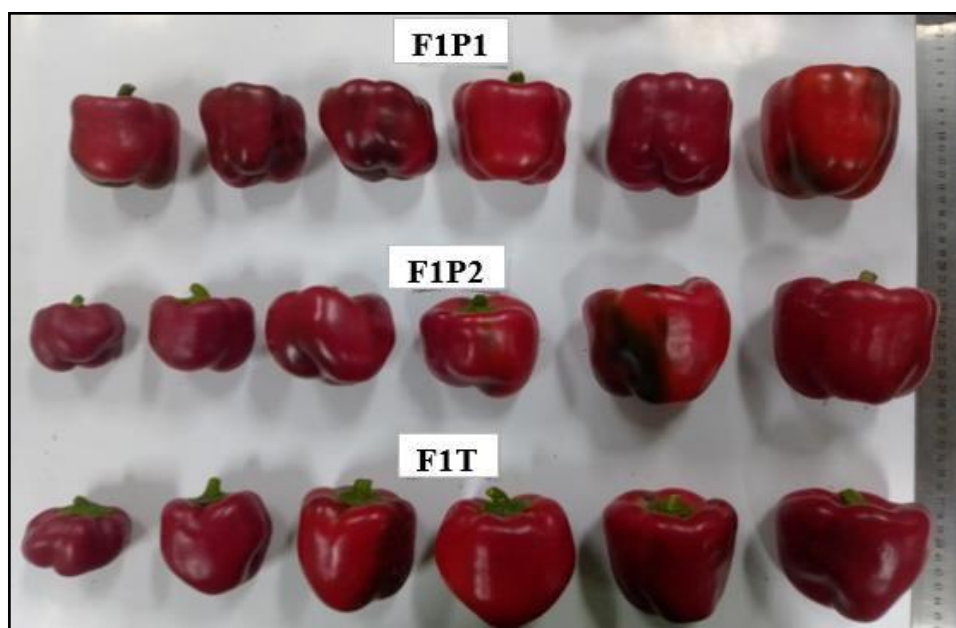
ETAPA DE MADURACIÓN: 19 de Abril - 90 DDT



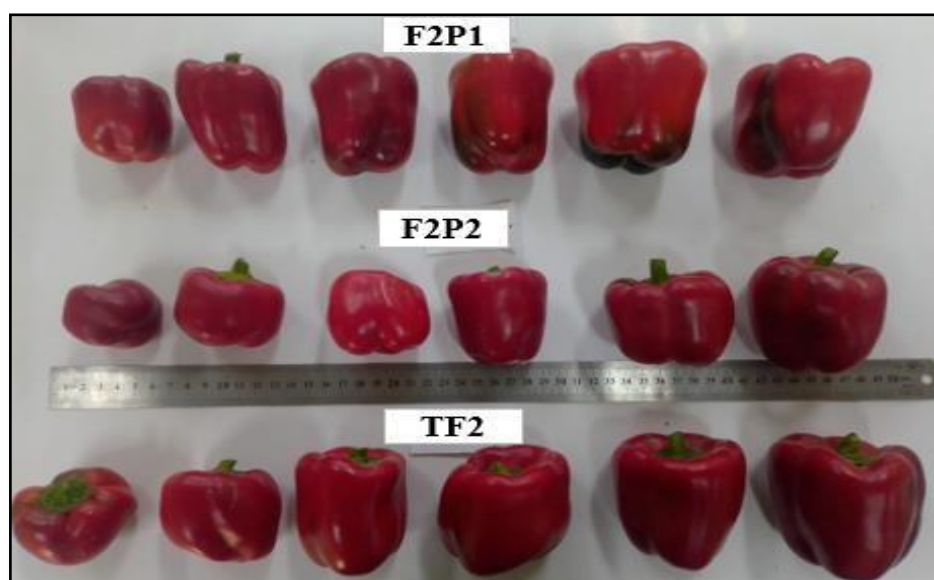
Anexo 11: Diferencia en el factor frecuencia de riego – 65DDT

Frecuencia cada dos días (F1)	Frecuencia cada cuatro días (F2)
 <p data-bbox="485 853 560 891">F1T</p>	 <p data-bbox="1059 853 1134 891">F2T</p>
 <p data-bbox="485 1413 560 1451">F1P1</p>	 <p data-bbox="1059 1413 1134 1451">F2P1</p>
 <p data-bbox="485 1984 560 2022">F1P2</p>	 <p data-bbox="1059 1984 1134 2022">F2P2</p>

Anexo 12: Cosecha del cultivo pimiento a los 95 DDT

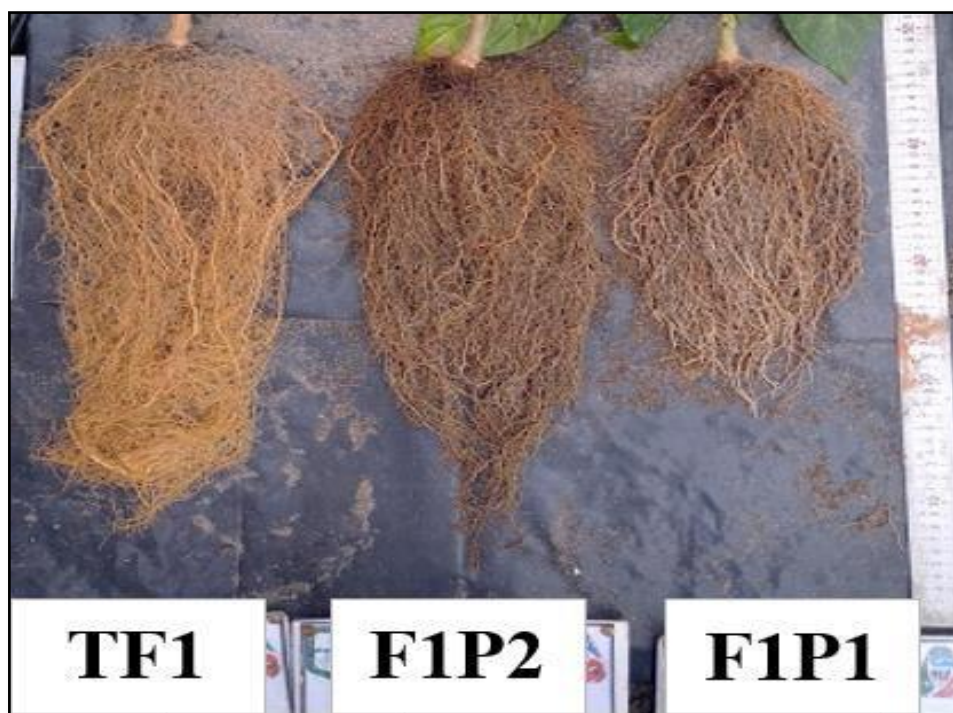


Enmiendas P1, P2 en comparación con el testigo para una frecuencia de riego cada dos días.



Enmiendas P1, P2 en comparación con el testigo para una frecuencia de riego cada cuatro días.

Anexo 13: Comparativo de profundidad de raíces entre las enmiendas y testigo para una frecuencia de reigo cada dos días



Anexo 14: Comparativo de profundidad de raíces entre las enmiendas y testigo para una frecuencia de reigo cada cuatro días



Anexo 15: Análisis estadístico para el rendimiento total

- **Prueba de normalidad**

H0: Los errores se distribuyen normalmente

H1: Los errores no se distribuyen normalmente

Shapiro-Wilk normality test

Variable: Rendimiento total

W = 0.97902, p-value = 0.9394

- **Prueba de homogeneidad**

Ho: Existe homogeneidad de varianzas (varianzas constantes)

H1: No existe homogeneidad de varianzas (varianzas no constantes)

Bartlett test of homogeneity of variances

Vol_total~ interaction(Frecuencia,Enmienda)

Bartlett's K-squared = 2.5422, df = 5, p-value = 0.7701

- **Análisis de varianza**

Fuente de variación	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	Sig.
Bloque	2	0.094211	0.047106	3.2105	0.2375	
Frecuencia	1	0.030422	0.030422	2.0735	0.286546	
Ea	2	0.029344	0.014672			
Enmienda	2	0.165678	0.082839	24.998	0.000362	***
Frecuencia:Enmienda	2	0.001144	0.000572	0.1727	0.844466	
Eb	8	0.026511	0.003314			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
cv(a) = 10.8 %, cv(b) = 5.1 %, Mean = 1.122222

Diagrama de cajas para el rendimiento total (kg/m²)

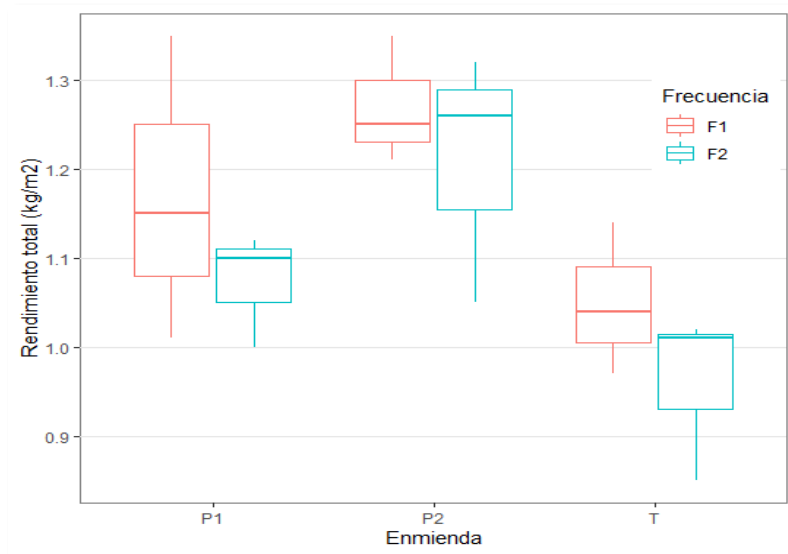
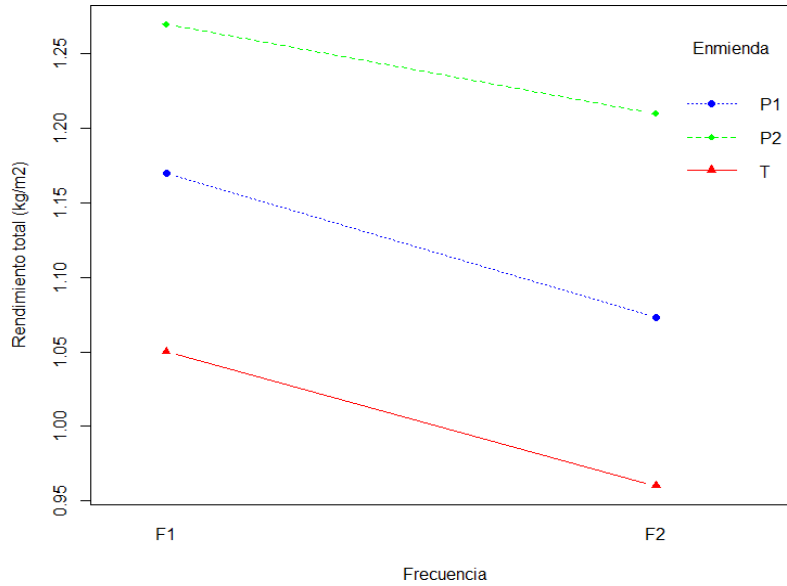


Gráfico de la interacción: Frecuencia - Enmienda



Anexo 16: Análisis estadístico para el rendimiento comercial

- **Prueba de normalidad**

H0: Los errores se distribuyen normalmente

H1: Los errores no se distribuyen normalmente

Shapiro-Wilk normality test

Variable: Rendimiento total
W = 0.96562, p-value = 0.7125

- **Prueba de homogeneidad**

Ho: Existe homogeneidad de varianzas (varianzas constantes)

H1: No existe homogeneidad de varianzas (varianzas no constantes)

Bartlett test of homogeneity of variances

rdto_comercial~ interaction(Frecuencia,Enmienda)
Bartlett's K-squared = 3.5082, df = 5, p-value = 0.6221

- **Análisis de varianza**

Response: rdto_comercial

Fuente de variación	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	Sig.
Bloque	2	0.260233	0.130117	4.997	0.16675	
Frecuencia	1	0.060089	0.060089	2.3077	0.26808	
Ea	2	0.052078	0.026039			
Enmienda	2	0.114633	0.057317	8.53	0.01039	*
Frecuencia:Enmienda	2	0.010411	0.005206	0.7747	0.49256	
Eb	8	0.053756	0.006719			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

cv(a) = 16.9 %, cv(b) = 8.6 %, Mean = 0.9566667

Diagrama de cajas para el rendimiento comercial (kg/m²)

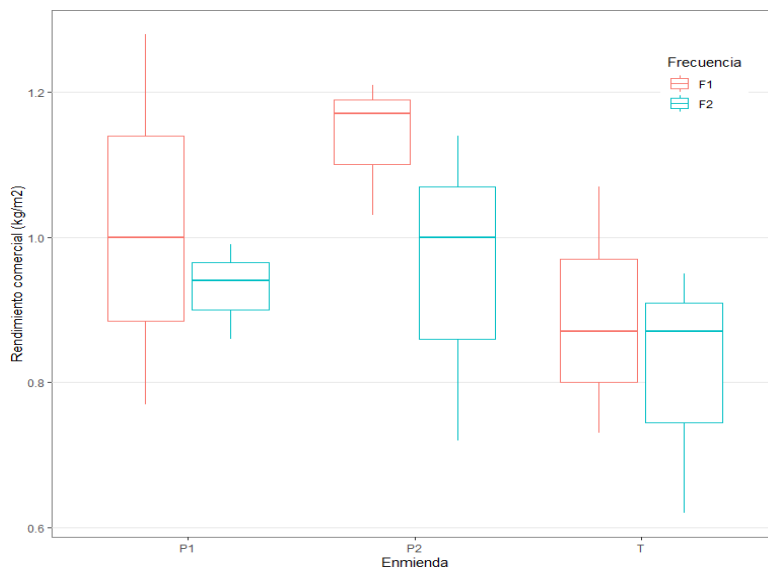
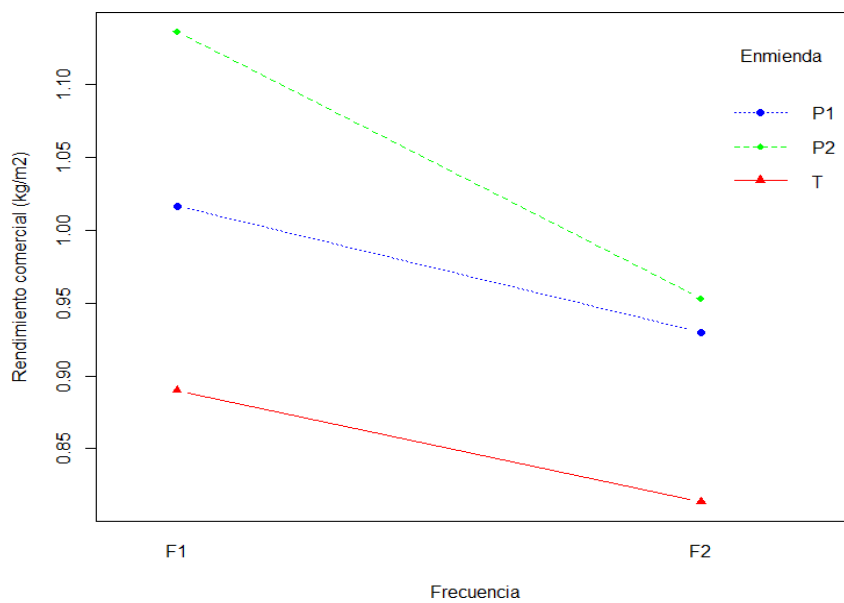


Gráfico de la interacción: Frecuencia - Enmienda



Anexo 17: Análisis estadístico para el uso eficiente del agua

- Prueba de normalidad**

H0: Los errores se distribuyen normalmente

H1: Los errores no se distribuyen normalmente

Shapiro-Wilk normality test

Variable: UEA

W = 0.95967, p-value = 0.5952

- Prueba de homogeneidad**

Ho: Existe homogeneidad de varianzas (varianzas constantes)

H1: No existe homogeneidad de varianzas (varianzas no constantes)

Bartlett test of homogeneity of variances

UEA~ interaction (Frecuencia,Enmienda)

Bartlett's K-squared = 2.3526, df = 5, p-value = 0.7985

- Análisis de varianza**

Response: UEA

Fv	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	Sig
Bloque	2	64.085	32.043	4.7693	0.1733314	
Frecuencia	1	23.393	23.393	3.4818	0.2030321	
Ea	2	13.437	6.719			
Enmienda	2	156.386	78.193	31.086	0.0001689	***
Frecuencia:Enmienda	2	17.166	8.583	3.4121	0.0848142	.
Eb	8	20.123	2.515			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

cv(a) = 9.1 %, cv(b) = 5.6 %, Mean = 28.38222

Diagrama de cajas del uso eficiente del agua (kg/m³)

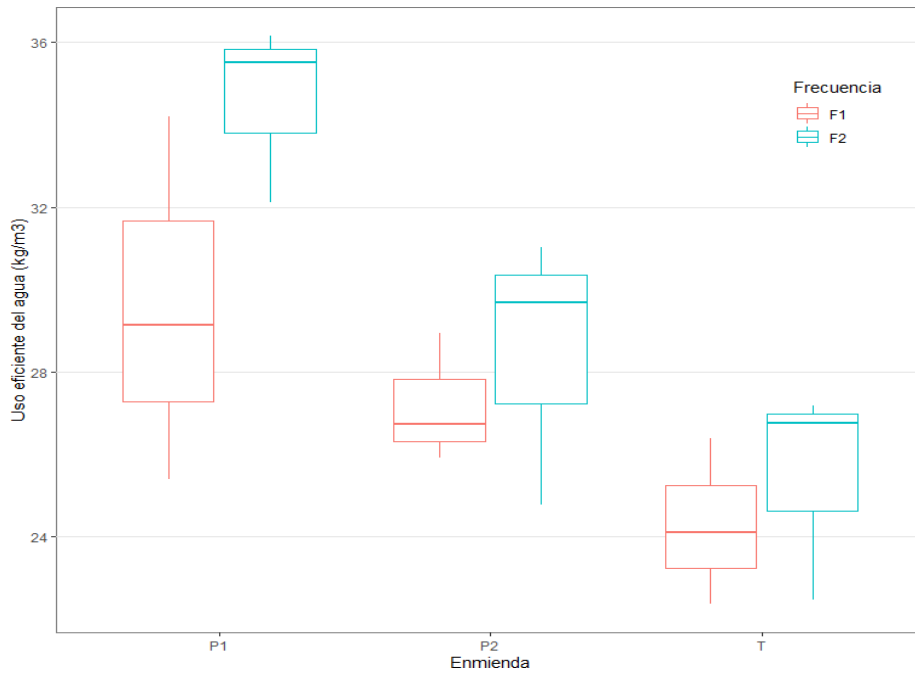
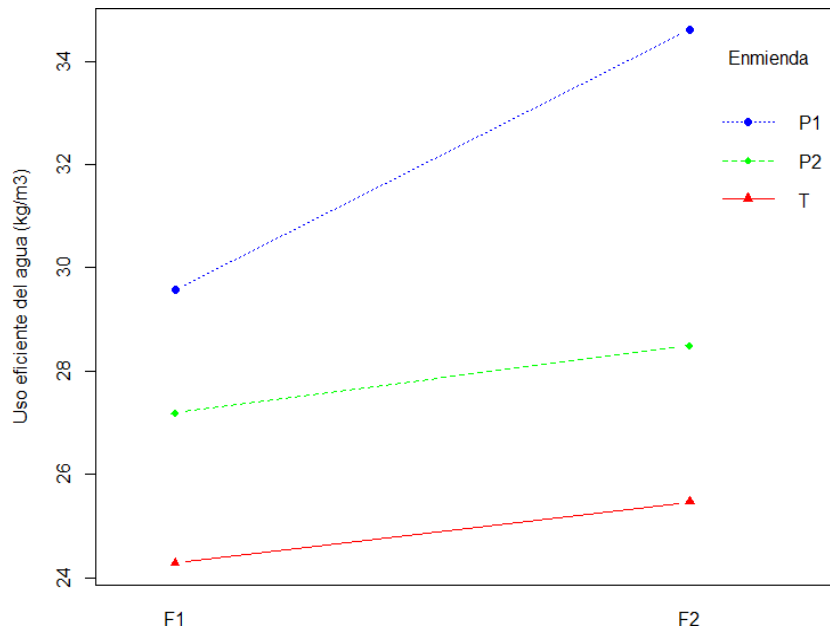


Gráfico de la interacción: Frecuencia - Enmienda



Anexo 18: Análisis estadístico para el contenido de clorofila a los 43 DDT

- **Prueba de normalidad**

H0: Los errores se distribuyen normalmente

H1: Los errores no se distribuyen normalmente

Shapiro-Wilk normality test

Variable: SPAD_43 DDT

W = 0.96518, p-value = 0.7037

- **Prueba de homogeneidad**

Ho: Existe homogeneidad de varianzas (varianzas constantes)

H1: No existe homogeneidad de varianzas (varianzas no constantes)

Bartlett test of homogeneity of variances

SPAD_43 DDT~ interaction (Frecuencia,Enmienda)

Bartlett's K-squared = 8.353, df = 5, p-value =
0.1378

- **Análisis de varianza**

Response:		SPAD_43 DDT				
Fuente de variación	Df	Sum Sq	Mean Sq	F	value Pr(>F)	Sig.
Bloque	2	18.21	9.1	1.6511	0.3772	
Frecuencia	1	94.76	94.76	17.186	0.05356	.
Ea	2	11.03	5.51			
Enmienda	2	919.66	459.83	474.19	4.90E-09	***
Frecuencia:Enmienda	2	80.44	40.22	41.478	5.99E-05	***
Eb	8	7.76	0.97			

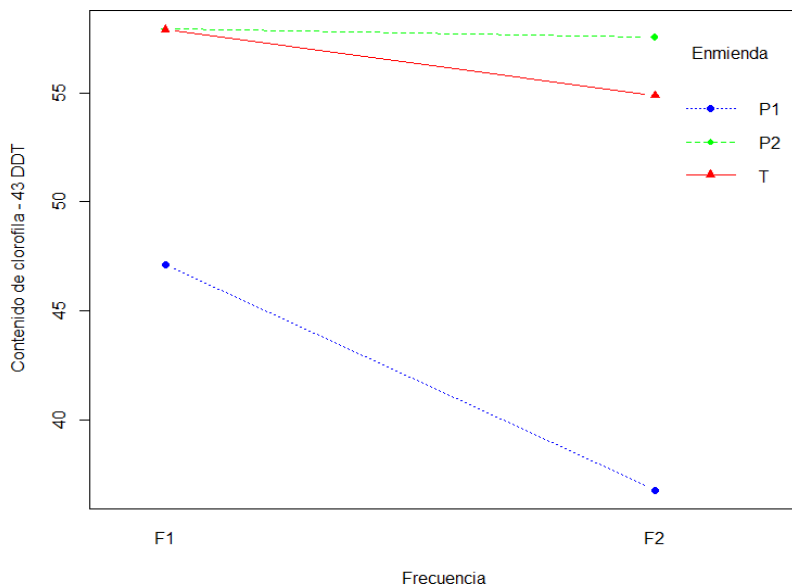
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

cv(a) = 4.5 %, cv(b) = 1.9 %, Mean = 52.02778

- **Comparación de media para la interacción Frecuencia: Enmienda**

Interacción	SPAD_43 DDT	Grupos
F1:P2	57.9	a
F1:T	57.9	a
F2:P2	57.6	a
F2:T	54.9	b
F1:P1	47.1	c
F2:P1	36.8	d

Gráfico de la interacción: Frecuencia - Enmienda



Anexo 19: Análisis estadístico para el contenido de clorofila a los 55 DDT

- **Prueba de normalidad**

H0: Los errores se distribuyen normalmente

H1: Los errores no se distribuyen normalmente

Shapiro-Wilk normality test

Variable: SPAD_55 DDT

W = 0.96149, p-value = 0.6307

- **Prueba de homogeneidad**

Ho: Existe homogeneidad de varianzas (varianzas constantes)

H1: No existe homogeneidad de varianzas (varianzas no constantes)

Bartlett test of homogeneity of variances

SPAD_55 DDT~ interaction(Frecuencia,Enmienda)

Bartlett's K-squared = 6.3785, df = 5, p-value =
0.2711

- **Análisis de varianza**

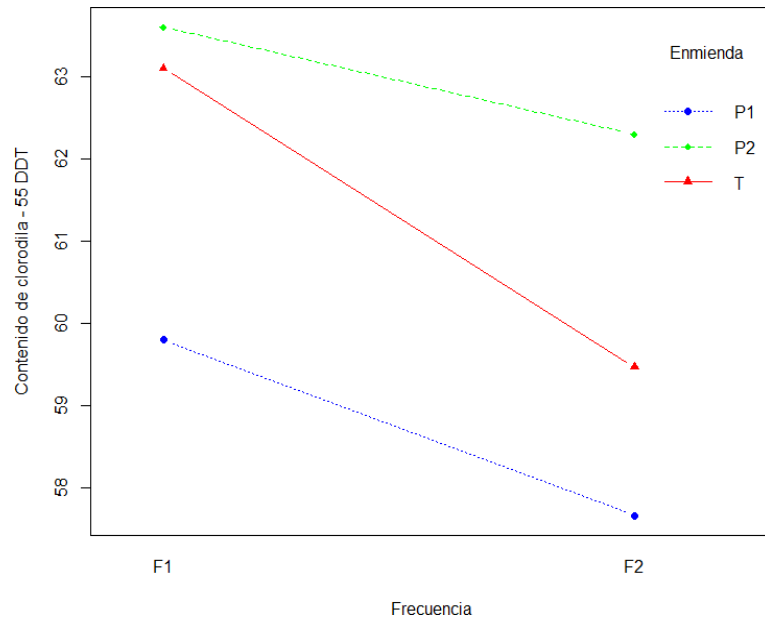
Response: SPAD_55 DDT

Fuente de variación	Df	Sum Sq	Mean Sq	F	value Pr(>F)	Sig.
Bloque	2	11.924	5.9622	1.8019	0.356903	
Frecuencia	1	24.969	24.9689	7.546	0.110906	
Ea	2	6.618	3.3089			
Enmienda	2	54.121	27.0606	10.7644	0.005387	**
Frecuencia:Enmienda	2	4.194	2.0972	0.8343	0.468729	
Eb	8	20.111	2.5139			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

cv(a) = 3 %, cv(b) = 2.6 %, Mean = 60.98889

Gráfico de la interacción: Frecuencia - Enmienda



Anexo 20: Análisis estadístico para el contenido de clorofila a los 99 DDT

- **Prueba de normalidad**

H0: Los errores se distribuyen normalmente

H1: Los errores no se distribuyen normalmente

Shapiro-Wilk normality test

Variable: SPAD_99 DDT

W = 0.96149, p-value = 0.6307

- **Prueba de homogeneidad**

Ho: Existe homogeneidad de varianzas (varianzas constantes)

H1: No existe homogeneidad de varianzas (varianzas no constantes)

Bartlett test of homogeneity of variances

SPAD_99 DDT~ interaction (Frecuencia,Enmienda)

Bartlett's K-squared = 6.3785, df = 5, p-value = 0.2711

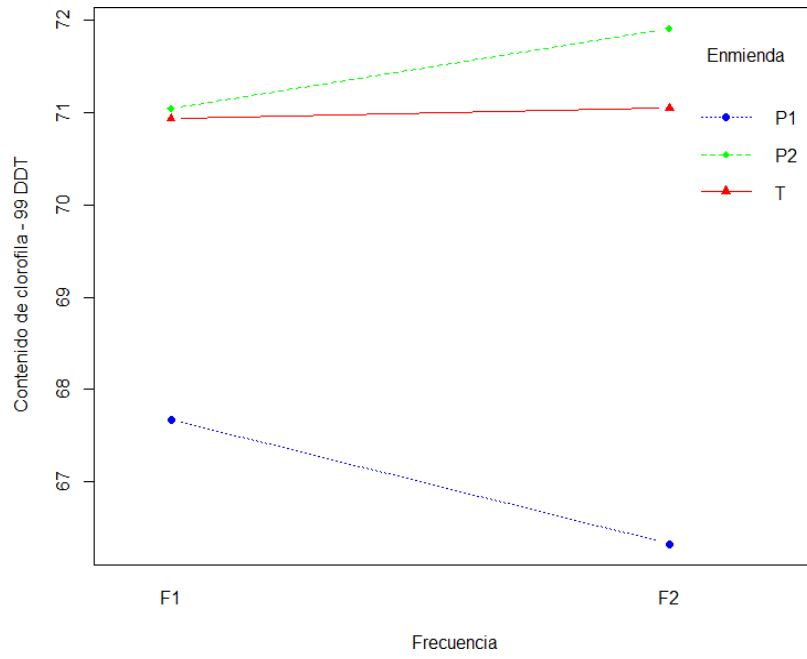
- **Análisis de varianza**

Response:		SPAD_99 DDT				
Fuente de variación	Df	Sum Sq	Mean Sq	F	value Pr(>F)	Sig.
Bloque	2	14.749	7.374	0.9828	0.50435	
Frecuencia	1	0.067	0.067	0.009	0.93322	
Ea	2	15.008	7.504			
Enmienda	2	72.461	36.231	6.8407	0.01854	*
Frecuencia:Enmienda	2	3.799	1.899	0.3586	0.70931	
Eb	8	42.37	5.296			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

cv(a) = 3.9 %, cv(b) = 3.3 %, Mean = 69.82333

Gráfico de la interacción: Frecuencia - Enmienda



Anexo 21: Análisis estadístico para altura de planta

- **Prueba de normalidad**

H0: Los errores se distribuyen normalmente

H1: Los errores no se distribuyen normalmente

Shapiro-Wilk normality test

Variable: Altura

W = 0.95928, p-value = 0.5879

- **Prueba de homogeneidad**

Ho: Existe homogeneidad de varianzas (varianzas constantes)

H1: No existe homogeneidad de varianzas (varianzas no constantes)

Bartlett test of homogeneity of variances

Altura~ interaction(Frecuencia,Enmienda)

Bartlett's K-squared = 2.1896, df = 5, p-value = 0.8223

- **Análisis de varianza**

Response: Altura

Fuente de variación	Df	Sum Sq	Mean Sq	F	value Pr(>F)	Signif.
Bloque	2	41.951	20.975	12.347	0.07492	.
Frecuencia	1	4.109	4.1089	2.4187	0.26015	
Ea	2	3.398	1.6988			
Enmienda	2	5.287	2.6433	1.4714	0.28566	
Frecuencia:Enmienda	2	27.996	13.998	7.7921	0.01324	*
Eb	8	14.372	1.7964			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

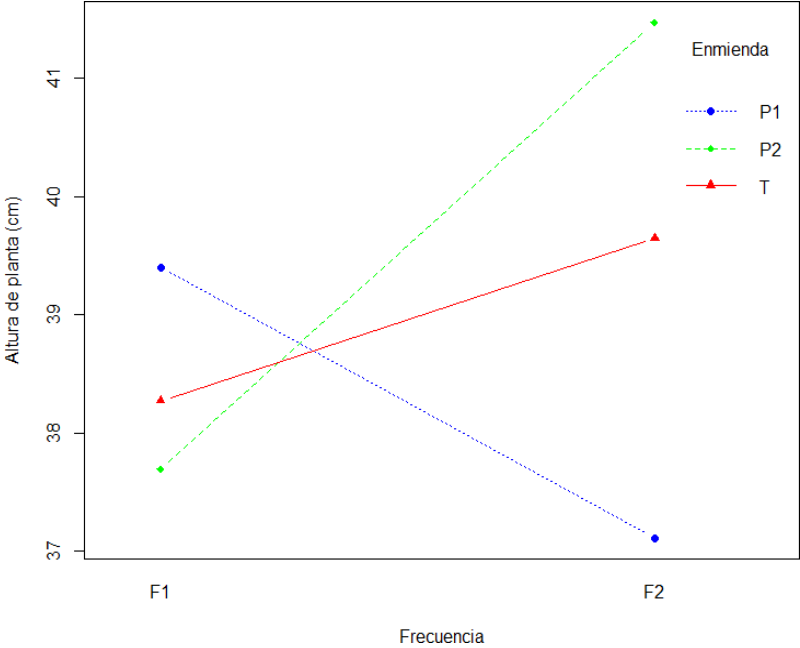
cv(a) = 3.3 %, cv(b) = 3.4 %, Mean = 38.93333

- **Comparación de media para la interacción Frecuencia: Enmienda**

Interacción	Altura	Groups
F2:P2	41.47	a
F2:T	39.65	ab
F1:P1	39.4	ab

F1:T	38.27	ab
F1:P2	37.69	b
F2:P1	37.11	b

Gráfico de la interacción: Frecuencia - Enmienda



Anexo 22: Análisis estadístico para el número de hojas

- **Prueba de normalidad**

H0: Los errores se distribuyen normalmente

H1: Los errores no se distribuyen normalmente

Shapiro-Wilk normality test

Variable: N_hojas

W = 0.95928, p-value = 0.5879

- **Prueba de homogeneidad**

Ho: Existe homogeneidad de varianzas (varianzas constantes)

H1: No existe homogeneidad de varianzas (varianzas no constantes)

Bartlett test of homogeneity of variances

N_hojas~ interaction(Frecuencia,Enmienda)

Bartlett's K-squared = 2.1896, df = 5, p-value = 0.8223

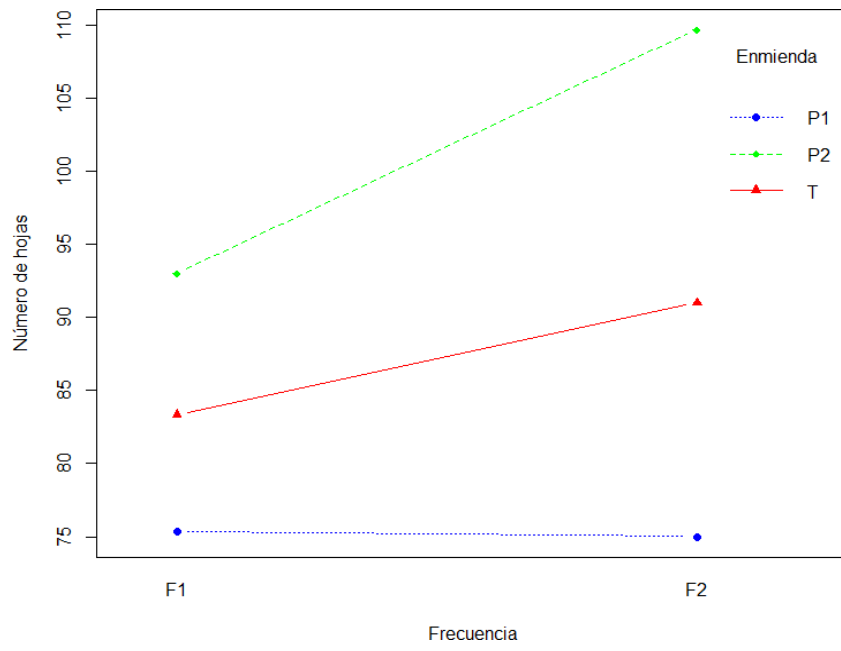
- **Análisis de varianza**

Response:		N_hojas				
Fuente de variación	Df	Sum Sq	Mean Sq	F	value Pr(>F)	Signif.
Bloque	2	414.11	207.06	1.2664	0.4412294	
Frecuencia	1	288	288	1.7615	0.3156809	
Ea	2	327	163.5			
Enmienda	2	2058.78	1029.39	30.856	0.0001734	***
Frecuencia:Enmienda	2	217	108.5	3.2523	0.0925421	.
Eb	8	266.89	33.36			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

cv(a) = 14.5 %, cv(b) = 6.6 %, Mean = 87.89

Gráfico de la interacción: Frecuencia - Enmienda



Anexo 23: Análisis estadístico para el diámetro de tallo

- Prueba de normalidad**

H0: Los errores se distribuyen normalmente

H1: Los errores no se distribuyen normalmente

Shapiro-Wilk normality test

Variable: Diam_tallo

W = 0.97566, p-value = 0.8947

- Prueba de homogeneidad**

Ho: Existe homogeneidad de varianzas (varianzas constantes)

H1: No existe homogeneidad de varianzas (varianzas no constantes)

Bartlett test of homogeneity of variances

Diam_tallo~ interaction(Frecuencia,Enmienda)

Bartlett's K-squared = 9.5678, df = 5, p-value = 0.08845

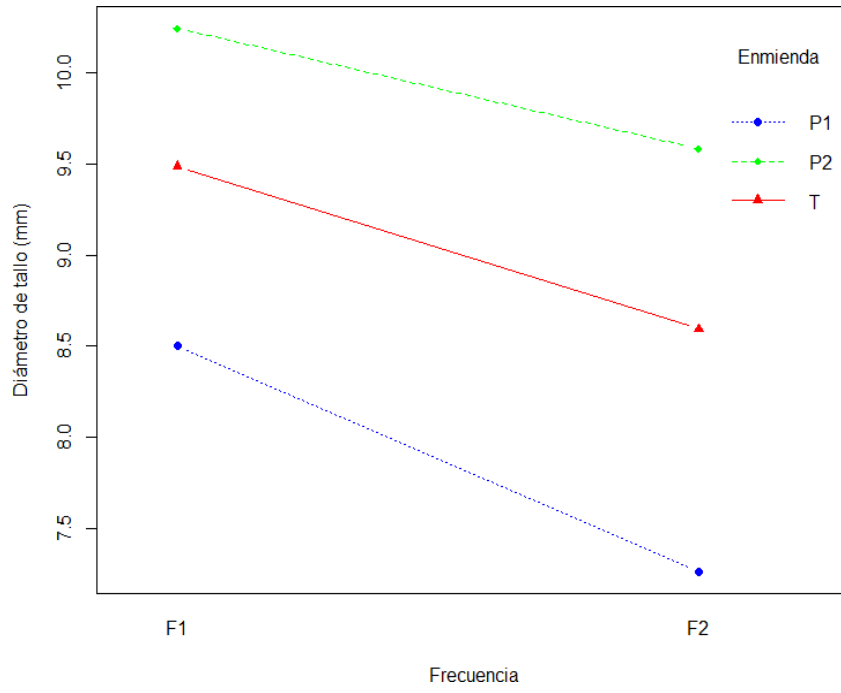
- Análisis de varianza**

Response: Diam_tallo						
Fuente de variación	Df	Sum Sq	Mean Sq	F	value Pr(>F)	Signif.
Bloque	2	0.9037	0.4519	0.4042	0.712173	
Frecuencia	1	3.8921	3.8921	3.4812	0.2030577	
Ea	2	2.236	1.118			
Enmienda	2	12.4642	6.2321	24.8292	0.0003706	***
Frecuencia:Enmienda	2	0.2524	0.1262	0.5029	0.6227131	
Eb	8	2.008	0.251			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

cv(a) = 11.8 %, cv(b) = 5.6 %, Mean = 8.945

Gráfico de la interacción: Frecuencia - Enmienda



Anexo 24: Análisis estadístico para la profundidad de raíces

- **Prueba de normalidad**

H0: Los errores se distribuyen normalmente

H1: Los errores no se distribuyen normalmente

Shapiro-Wilk normality test

Variable: Prof. raíz

W = 0.97544, p-value = 0.8914

- **Prueba de homogeneidad**

Ho: Existe homogeneidad de varianzas (varianzas constantes)

H1: No existe homogeneidad de varianzas (varianzas no constantes)

Bartlett test of homogeneity of variances

Prof. raíz~ interaction(Frecuencia,Enmienda)
Bartlett's K-squared = 9.8824, df = 5, p-value =
0.07864

- **Análisis de varianza**

Response:		Prof_raíz				
Fuente de variación	Df	Sum Sq	Mean Sq	F	value Pr(>F)	Signif.
Bloque	2	18.93	9.465	3.6726	0.214	
Frecuencia	1	4.702	4.702	1.8245	0.3093	
Ea	2	5.154	2.577			
Enmienda	2	285.13	142.565	39.5709	7.10E-05	***
Frecuencia:Enmienda	2	0.921	0.461	0.1278	0.8818	
Eb	8	28.822	3.603			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

cv(a) = 5 %, cv(b) = 5.9 %, Mean = 32.3

Gráfico de la interacción: Frecuencia - Enmienda

