

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



**Influencia del hidrogel y niveles de lámina de agua en el
rendimiento de tomate (*Lycopersicum esculentum*),
Canaán a 2750 m.s.n.m., Ayacucho - 2023**

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Agrónomo

Presentado por:

Bach. Pelayo Ccorimanya Mauli

Asesor:

Mtro. Jaime Villar Rodríguez

Ayacucho - Perú

2024

Al Padre divino por la vida y la salud.

*A la mujer de mi vida, Julia Mauli Morales,
quien guía mi camino desde el cielo; y a mi padre
Segundino, por su apoyo incondicional y ser mi
motivación en la vida.*

*A mis hermanos, Juan Jesús, Yolanda y Elisa;
por apoyarme en mis decisiones y cumplir mis
metas.*

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, alma mater, centro de sabiduría y enseñanza, por haberme acogido en sus ambientes durante mi vida universitaria.

A la Facultad de Ciencias Agrarias, con mucho aprecio a la Escuela Profesional de Agronomía, a la plana de docentes de esta gloriosa escuela, quienes me compartieron sus vastos conocimientos y experiencias durante mi formación académica y profesional.

Al Mtro. Jaime Villar Rodríguez por su disposición y asesoramiento, que me permitió concluir el presente trabajo de investigación.

A los docentes Alex Lázaro Tineo Bermúdez y Alexander Curi Mendoza, quienes me brindaron su apoyo en el desarrollo de la investigación, asimismo con materiales y equipos.

Al Centro Experimental Canaán, de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, por concederme el espacio adecuado para realizar la investigación.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE GENERAL	iv
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE ANEXOS	ix
RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	2
CAPÍTULO I	4
MARCO TEÓRICO	4
1.1. Antecedentes	4
1.2. Generalidades del tomate (<i>Lycopersicum esculentum</i>)	5
1.2.1. Origen.....	5
1.2.2. Situación del cultivo	6
1.2.3. Taxonomía	7
1.2.4. Descripción botánica.....	7
1.2.5. Clima	8
1.2.6. Suelo	8
1.2.7. Agua.....	9
1.2.8. Extracción de nutrientes por el cultivo de tomate	9
1.2.9. Composición	10
1.3. Estados de humedad en el suelo	10
1.3.1. Evaluación de la humedad del suelo mediante el método gravimétrico ...	10
1.3.2. Saturación.....	11
1.3.3. Capacidad de campo (CC)	11
1.3.4. Punto de marchitez permanente (PMP)	11
1.3.5. Agua disponible en porcentaje del volumen (AD).....	12
1.3.6. Lámina de agua	13
1.4. La evapotranspiración del cultivo	14
1.4.1. La evapotranspiración del cultivo de referencia E_{To}	14
1.4.2. La evapotranspiración real E_{Tr}	14
1.4.3. El coeficiente del cultivo K_c	15
1.5. Polímeros retenedores de humedad	15

1.5.1. Generalidades.....	15
1.5.2. Clasificación.....	16
1.5.3. Fabricación o elaboración	18
1.5.4. Polímeros superabsorbentes (SAP)	19
1.5.5. Características técnicas de hidrogel	19
1.5.6. Proceso de absorción de agua	19
1.5.7. Degradación	21
CAPÍTULO II.....	23
METODOLOGÍA.....	23
2.1. Ubicación de la investigación.....	23
2.1.1. Ubicación del laboratorio de análisis de agua y suelos	23
2.1.2. Ubicación del invernadero	23
2.2. Datos meteorológicos del lugar	24
2.3. Arduino y sensor de humedad del suelo.....	25
2.3.1. Hardware Arduino.....	25
2.3.2. Software Arduino.....	25
2.3.3. Sensor de humedad del suelo FC-28	26
2.4. Análisis de caracterización del suelo utilizado.....	27
2.5. Materiales en estudio.....	28
2.5.1. Hidrogel.....	28
2.5.2. Niveles de lámina de agua.....	28
2.5.3. Material biológico	28
2.6. Tratamientos y diseño experimental.....	29
2.6.1. Factores de estudio.....	29
2.6.2. Descripción de tratamientos.....	29
2.6.3. Unidades experimentales.....	29
2.6.4. Diseño experimental	31
2.7. Instalación y conducción del experimento	31
2.7.1. Instalación del invernadero.....	31
2.7.2. Preparación y llenado del sustrato	32
2.7.3. Instalación de los sensores de humedad.....	32
2.7.4. Estandarización de los volúmenes de riego	32
2.7.5. Incorporación de la enmienda retentiva de humedad	36
2.7.6. Instalación del bioensayo	36

2.7.7. Fertilización	36
2.7.8. Deshierbo	36
2.7.9. Control fitosanitario	36
2.7.10. Poda.....	37
2.7.11. Tutorado	37
2.7.12. Cosecha	37
2.8. Parámetros de rendimiento	37
2.8.1. Porcentaje de materia seca total	37
2.8.2. Número de frutos por planta	37
2.8.3. Calibre de frutos.....	37
2.8.4. Altura de la planta.....	38
2.9. Parámetros físicos del suelo	38
2.9.1. Retención de humedad del suelo	38
2.10. Parámetros de riego	38
2.10.1. Consumo de agua	38
2.10.2. Eficiencia de uso del agua (EUA)	39
2.11. Costo de equipos y materiales	39
CAPÍTULO III.....	40
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	40
3.1. Porcentaje de materia seca total	40
3.2. Altura de planta	43
3.3. Calibre de frutos	46
3.3.1. Rendimiento de frutos (kg/planta) de categoría extra y primera	46
3.3.2. Rendimiento de frutos (kg/planta) de categoría segunda.....	48
3.4. Número de frutos por planta.....	51
3.5. Retención de humedad del suelo	53
3.6. Consumo de agua	56
3.7. Eficiencia de uso del agua (EUA)	57
CONCLUSIONES	60
RECOMENDACIONES.....	61
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62
ANEXOS	70

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1.1. <i>Composición nutricional del tomate por 100 g de producto comestible</i>	10
Tabla 1.2. <i>Valores de ETo en condición de invernadero</i>	14
Tabla 1.3. <i>Valores de la ETc del cultivo de tomate</i>	14
Tabla 1.4. <i>Coeficiente del cultivo (Kc) por etapas del cultivo de tomate</i>	15
Tabla 2.1. <i>Datos meteorológicos de la ubicación del experimento</i>	25
Tabla 2.2. <i>Resultados del análisis del suelo utilizado como sustrato</i>	27
Tabla 2.3. <i>Descripción de los tratamientos</i>	29
Tabla 2.4. <i>Detalles de las unidades experimentales</i>	30
Tabla 2.5. <i>Determinación de la humedad gravimétrica del sustrato</i>	33
Tabla 2.6. <i>Humedad del sustrato con la lectura de Hardware Arduino</i>	34
Tabla 2.7. <i>Calibración del Hardware Arduino</i>	34
Tabla 2.8. <i>Clasificación de frutos por calibres</i>	38
Tabla 2.9. <i>Costo de equipos y materiales empleados en la investigación</i>	39
Tabla 3.1. <i>ANAFUNVA para la variable porcentaje de materia seca total</i>	40
Tabla 3.2. <i>Prueba de Tukey para el porcentaje de materia seca total</i>	41
Tabla 3.3. <i>ANAFUNVA para la variable altura de planta</i>	43
Tabla 3.4. <i>Prueba de Tukey para altura de planta</i>	44
Tabla 3.5. <i>ANAFUNVA para el rendimiento de frutos de categoría extra y primera</i> ..	46
Tabla 3.6. <i>Prueba de Tukey para el rendimiento de frutos de categoría extra y primera</i>	46
Tabla 3.7. <i>ANAFUNVA para la variable rendimiento de frutos de categoría segunda</i>	49
Tabla 3.8. <i>Prueba de Tukey para el rendimiento de frutos de categoría segunda</i>	49
Tabla 3.9. <i>ANAFUNVA para la variable número de frutos por planta</i>	51
Tabla 3.10. <i>Prueba de Tukey para el número de frutos por planta</i>	51
Tabla 3.11. <i>ANAFUNVA para la variable retención de humedad del suelo</i>	54
Tabla 3.12. <i>Prueba de Tukey para retención de humedad del suelo</i>	54
Tabla 3.13. <i>Volúmenes de agua consumidos durante la campaña</i>	56
Tabla 3.14. <i>Uso eficiente de agua promedio por tratamiento</i>	58

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1. <i>Estados de humedad del suelo</i>	12
Figura 1.2. <i>Altura de lámina de agua</i>	13
Figura 1.3. <i>Síntesis de hidrogeles agrícolas</i>	18
Figura 1.4. <i>Proceso de absorción del agua por los polímeros</i>	20
Figura 1.5. <i>Absorción de agua destilada (DW), del grifo (TW) y salina (SW) por SHNC</i>	21
Figura 2.1. <i>Mapa de ubicación de la investigación</i>	24
Figura 2.2. <i>Partes de Arduino Uno R3</i>	25
Figura 2.3. <i>Estructura de Software Arduino IDE</i>	26
Figura 2.4. <i>Sensor de humedad del suelo</i>	26
Figura 2.5. <i>Distribución de las unidades experimentales</i>	30
Figura 2.6. <i>El invernadero instalado</i>	32
Figura 2.7. <i>Curva de calibración</i>	35
Figura 3.1. <i>Tendencia del rendimiento de materia seca total</i>	41
Figura 3.2. <i>Tendencia de altura de planta</i>	44
Figura 3.3. <i>Tendencia de rendimiento de frutos (kg/planta) de categoría extra y primera</i>	47
Figura 3.4. <i>Tendencia de rendimiento de frutos (kg/planta) de categoría segunda</i>	50
Figura 3.5. <i>Tendencia de número de frutos por planta</i>	52
Figura 3.6. <i>Tendencia de retención de humedad del suelo</i>	55
Figura 3.7. <i>Litros de agua aplicados según los niveles de lámina de agua</i>	57

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Estado de saturación del sustrato	71
Anexo 2. Extracción de las muestras del sustrato	71
Anexo 3. Lectura de la humedad con arduino a capacidad de campo	72
Anexo 4. Pesado de las muestras de sustrato y puesta a la estufa	72
Anexo 5. Incorporación de hidrogel a las unidades experimentales	73
Anexo 6. Establecimiento de las plántulas de tomate	73
Anexo 7. Registro de las humedades actuales de las unidades experimentales	74
Anexo 8. Aplicación de riego	74
Anexo 9. Control de plagas y enfermedades	75
Anexo 10. Tutorado	75
Anexo 11. Calibrado de los frutos	76
Anexo 12. Evaluación de la materia seca	76
Anexo 13. Cálculo de láminas de agua durante el ciclo fenológico del cultivo	77

RESUMEN

En la actualidad las tendencias recientes indican un rol cada vez mayor sobre la administración y preservación del agua, precisamente en el uso eficiente del recurso hídrico. Esta indagación tuvo como propósito conocer el efecto del hidrogel y tres niveles de lámina de agua en el rendimiento de tomate en invernadero. Conduciendo seis tratamientos, con arreglo factorial $2H \times 3L$ (H: h0, sin hidrogel, h1, con hidrogel; L: l1, lámina de agua 50%, l2, lámina de agua 75% y l3: lámina de agua 100%), conducido con el Diseño Completamente al Azar, con seis repeticiones con un total de 36 unidades experimentales. Los parámetros evaluados fueron: porcentaje de materia seca total, altura de planta, rendimiento de frutos de categorías comerciales, número de frutos por planta, porcentaje de retención de humedad y eficiencia de uso del agua (EUA). Los resultados del análisis estadístico mostraron que el hidrogel no presentó efecto significativo para las variables: rendimiento de materia seca, altura de planta, rendimiento de frutos de categoría segunda y el porcentaje de retención de humedad; sin embargo, T6 (h1+ l3) tuvo efecto significativo en el rendimiento de categoría extra y primera, número de frutos por planta y EUA. En cuanto a las láminas de agua, en la altura de planta el 100% tuvo efecto positivo, en rendimiento de segunda categoría no hubo diferencia significativa entre 75 y 100%; en retención de humedad la de 75% resulta con mejor respuesta y en porcentaje de materia seca no hubo diferencia significativa entre los tres niveles de lámina de agua.

Palabras clave: Hidrogel, láminas de agua, rendimiento, retención hídrica.

INTRODUCCIÓN

Una de las funciones principales de la agricultura es la provisión de alimentos y seguridad alimentaria. No obstante, las tendencias recientes revelan un rol cada vez mayor referente a la administración y preservación del suelo y el agua. Con referencia a las anomalías climáticas globales, en muchas partes del mundo se han producido sequías debido a una ausencia prolongada o a una distribución deficiente de las precipitaciones, en distintas escalas de gravedad. Frente a esta problemática de la escasez del recurso hídrico, el estudio de los polímeros ha ayudado a fomentar el surgimiento de polímeros agrícolas centrándose en sustancias macromoleculares naturales/sintéticas como proteínas, poliacrilatos, poliacrilamidas y polisacáridos (Ekebafe *et al.*, 2011).

Los hidrogeles se han utilizado con éxito como mejoradores del suelo para aumentar la capacidad de retención de agua y/o de nutrientes de los suelos arenosos, con una posible reducción de la frecuencia de riego, tendencia a la compactación y escurrimiento de agua (Abd El-Rehim *et al.*, 2004; Montesano *et al.*, 2015).

Actualmente existen investigaciones que comprueban el efecto del hidrogel como una enmienda retentiva de humedad del suelo. Montesano *et al.*, (2015) en su investigación concluyen que el hidrogel tiene efectos beneficiosos sobre las propiedades de retención de agua de un suelo arenoso y de perlita, ambos reconocidos como malos retenedores de agua. Por otra parte, Ortega *et al.*, (2020) realizaron una investigación utilizando en sustrato el acrilato de potasio (hidrogel) en los cultivos de tomate y pepino bajo invernadero, en la cual concluyen que el resultado fue favorable en el ahorro de agua, fertilizantes y la economía.

Joya (2019), sugiere el uso de polímeros retenedores de humedad ya que estas contribuyen notoriamente en la mejora de la productividad, aun habiendo escasez hídrica

para la producción del cultivo, por lo cual estarían disminuyendo las condiciones de estrés hídrico.

Objetivo general

Evaluar la influencia del hidrogel y tres niveles de lámina de agua en el rendimiento de tomate (*Lycopersicum esculentum*) en macetas y condiciones de invernadero.

Objetivos específicos

1. Conocer la influencia del hidrogel en el rendimiento de tomate (*Lycopersicum esculentum*) en macetas y condiciones de invernadero.
2. Conocer la influencia de tres niveles de lámina de agua en el rendimiento de tomate (*Lycopersicum esculentum*) en macetas y condiciones de invernadero.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes

López et al., (2013), en su artículo científico titulado “Evaluación de un polímero hidrófilo en chile anaheim (*capsicum annuum* l.) cultivado en invernadero”, evaluaron el uso del polímero hidrófilo a base de poliacrilamida en pimiento, empleando riego por goteo en invernadero. Conducido con el diseño experimental bloques completos al azar con cinco repeticiones. Las variables evaluadas fueron: número de frutos por planta, peso, rendimiento, tamaño del fruto (longitud y diámetro), volumen de agua aplicada, eficiencia en el uso de agua (EUA) y contenido de clorofila. Los resultados mostraron que el polímero hidrófilo no presentó influencia significativa en la producción y calidad del fruto, ni en la EUA; no obstante, hubo influencia positiva en el volumen de agua aplicada y contenido de clorofila.

Díaz (2018), en su trabajo de investigación titulado “efecto de tres dosis de hidrogel (poliacrilamida) en la producción del cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) var. única, en dos tipos de suelo en el distrito de San Jerónimo - Andahuaylas región Apurímac”, evaluó el efecto de tres dosis de hidrogel (14, 20, 26 y 0 g/tratamiento) en dos tipos de suelo, arenoso franco y franco arenoso. Se utilizó un diseño completamente al azar (DCA) con 8 tratamientos y tres repeticiones. Las variables evaluadas fueron el rendimiento del tubérculo y la retención de humedad del suelo. El mejor rendimiento de peso de tubérculo en (kg) se muestra en el suelo de textura arenoso franco con la dosis media de hidrogel (20 g/tratamiento), 30.60 kg/tratamiento, equivalente a 70 tn ha⁻¹. En cuanto a la retención de humedad, la óptima frecuencia de riego se expresó en el suelo de textura franco arenoso con la dosis alta de hidrogel (26 g/tratamiento), cada 49 días de riego y 108 litros o 0.108 m³ de volumen de agua por unidad experimental.

Joya (2019), en su trabajo de investigación titulado “Enmiendas retentivas de humedad en el cultivo de acelga (*Beta vulgaris var. cycla*) cv. Fordhook Giant”, realizó una evaluación de dos productos de hidrogel en sustrato de arena, aplicando tres dosis (8, 13 y 18g/planta) y tres láminas de riego (30, 15 y 7.5%) en el cultivo de acelga, con el objetivo de conocer su efecto en el contenido de clorofila, porcentaje de humedad del suelo, peso (fresco y seco) y porcentaje de materia seca. Empleando el diseño completamente al azar (DCA), conduciendo 21 tratamientos con 4 repeticiones. En la cual concluye que los polímeros resultan benéficos para las variables evaluadas.

Ortega et al., (2020), en el artículo científico titulado “Hidrogel acrilato de potasio como sustrato en cultivo de pepino y jitomate”, caracterizaron la porosidad, la absorción de agua y nutrientes del acrilato de potasio y evaluaron la influencia de este producto mezclando con la fibra de coco en la productividad de tomate y pepino, en condiciones de invernadero. En la cual concluyen que el resultado fue favorable en el ahorro de agua, fertilizantes y la economía.

Trebejo (2020), en su investigación titulado “Rendimiento del cultivo de tomate (*Lycopersicum esculentum*) variedad abigail a diferentes dosis de poliacrilato de potasio “lluvia sólida”, bajo condiciones de invernadero, huaraz - 2017”, evaluó la influencia de tres niveles de poliacrilato de potasio y un testigo, T0 (0 Kg ha⁻¹), T1 (60 Kg ha⁻¹), T2 (100 Kg ha⁻¹) y T3 (140 Kg ha⁻¹); utilizó dos tensiómetros para el control de la humedad del suelo y reponer las láminas de agua. Utilizó un diseño completamente al azar (DCA). En la variable láminas de agua, los niveles de polímeros tienen una influencia significativa en el requerimiento hídrico del cultivo de tomate con respecto al testigo, T1 (6060.28 m³ ha⁻¹), T2 (5306.21 m³ ha⁻¹), T3 (4212.50 m³ ha⁻¹) y T0 (7060.09 m³ ha⁻¹). Del mismo modo, para el variable rendimiento del cultivo, hay diferencias significativas con la aplicación de los niveles de polímeros con respecto al testigo, T1 (38.2 Tn ha⁻¹), T2 (42.6 Tn ha⁻¹), T3 (56.00 Tn ha⁻¹) y T0 (32.6Tn ha⁻¹).

1.2. Generalidades del tomate (*Lycopersicum esculentum*)

1.2.1. Origen

Vallejo (1999), deduce que el cultivo de tomate tiene su origen en el continente americano. Su aborigen se sitúa en un pequeño ámbito geográfico de América del sur, demarcado al Sur por la latitud 30° norte de Chile, al Norte por el Ecuador y el sur de

Colombia, al Este por la Cordillera de los Andes y al Oeste por el Océano Pacífico, abarcando el archipiélago de las Islas Galápagos. Esta estrecha franja de tierra tiene aproximadamente 300 km de longitud. Todas las especies silvestres del tomate son procedentes de la región andina de Chile, Bolivia, Perú, Ecuador, Colombia y las Islas Galápagos. Casi todas las evidencias históricas, lingüísticas, arqueológicas y etnobotánicas revelan que el tomate se domesticó en la región de Veracruz y Puebla en México.

1.2.2. Situación del cultivo

De acuerdo a la Agencia Agraria de Noticias (2020), la producción mundial de tomate en el año 2020 fue de 186.821 millones de kilogramos en una superficie de 5.051.983 hectáreas, con un rendimiento promedio de 3,71 kg/m². China es el país con mayor producción de tomate a nivel mundial con 64.768,16 millones de kilogramos, el 34,67% de la cantidad total. La extensión de terreno que China destinó en 2020 para producir tomate fue de 1.107.485 hectáreas, con un rendimiento de 5,85 kg/m². India es el segundo productor mundial con 20.573 millones de kilogramos de tomate producidos en 2020, sobre un área de 812.000 hectáreas y un rendimiento de 2,53 kg/m². Turquía es el tercer productor mundial de tomate, con una cantidad de 13.204,01 millones de kilogramos, en una superficie de 181.879 hectáreas y un rendimiento de 7,26 kg/m². En el cuarto lugar se posiciona Estados Unidos con 12.227,4 millones de kilogramos, 110.439 hectáreas y un rendimiento de 11,07 kg/m². En el quinto lugar se posiciona Egipto con 6.731,22 millones de kilogramos, cultivados sobre una superficie de 170.862 hectáreas alcanzando un rendimiento promedio de 3,94 kg/m². Asimismo, España es el octavo productor de tomate con un total de 4.312,9 millones de kilogramos, cultivados en 55.470 hectáreas, logrando un rendimiento medio de 7,78 kg/m².

Según los datos del MINAGRI (2018) mencionado por MINAM (2020), en el año 2018 en el Perú se alcanzó una producción total de 253,000 toneladas de tomate en una extensión de 5494 hectáreas, producidas en 21 departamentos del país.

El departamento con mayor producción de tomate es Ica, alcanzando una producción de 138,863 tn en una extensión de 1306 hectáreas cosechadas, lo que representa el 55% de la producción nacional y 24% de la superficie nacional cosechada. El 91% de la producción se destina principalmente al mercado nacional, el 9% a la

exportación y una pequeña fracción de 0,003% se destina a la agroindustria (INEI, 2012; MINAM, 2020).

1.2.3. *Taxonomía*

El tomate es una planta dicotiledónea, perteneciente a la familia Solanaceae y al género *Lycopersicon*. *L. esculentum* es la especie cultivada y posee nueve especies silvestres relacionadas (Vallejo, 1999).

Reino	: Plantae
División	: Magnoliophyta
Clase	: Magnoliopsida
Orden	: Solanales
Familia	: Solanaceae
Género	: <i>Lycopersicon</i>
Especie	: <i>Lycopersicum esculentum</i>
Nombre común	: Tomate

1.2.4. *Descripción botánica*

Zuluaga (1984), describe los siguientes aspectos botánicos del cultivo de tomate.

- **Raíz**

Puede ser pivotante, profunda y poco ramificada, si la siembra se hace directamente en el campo; o raíces superficiales y ramificadas si procede de trasplante.

- **Tallo y ramas**

Se caracteriza por su estructura herbácea, por ello la planta necesita soporte para sostenerse. El tallo principal posee una protuberancia en la zona próxima al cuello de la raíz, lo que puede originar adventicias si se realiza el aporque. La formación de las ramas es simpodial, es decir que de las axilas de las hojas se forman nuevas ramas, las cuales terminan en una yema floral y en las axilas de las hojas de éstas forman nuevos brazos laterales.

- **Hojas**

Son compuestas imparinadas y usualmente está recubierta de vellos.

- **Flores**

Son perfectas, pentámeras o hexámeras, agrupadas en inflorescencia de tipo racimo o cimarracemosas. En una misma inflorescencia se encuentran flores en diferentes estados, es decir: flores sin abrir, flores en antesis floral y flores fecundadas.

Después de fecundado el óvulo, la madurez completa del fruto ocurre entre siete y nueve semanas; el cuajamiento del fruto se realiza de abajo hacia arriba.

- **Fruto**

Es una baya de forma y tamaño variable. En el fruto se pueden encontrar de 150 a 300 semillas y para obtener 1000 plántulas en buen estado se requiere siete gramos (7 g) de semilla.

1.2.5. *Clima*

La temperatura es un factor limitante del cultivo de tomate. La óptima es de 25°C; valores inferiores a 15°C y superiores a 35°C, afectan la germinación de forma negativa. Para el adecuado cuajado de frutos se requieren temperaturas diurnas de 24-25°C y nocturnas de 18°C. Temperaturas nocturnas altas por encima de 25°C afectan negativamente el cuajado de frutos y por ende la producción. La temperatura óptima para la formación del licopeno, pigmento rojo del fruto, es de 24°C; en condiciones de temperaturas altas (30°C) se inhibe la formación de licopeno y se propicia la síntesis de caroteno, pigmento amarillo, produciéndose frutos amarillos de menor valor económico (Maluf, 1982; Vallejo, 1999).

Zuluaga (1984), menciona que, los vientos y las lluvias fuertes ocasionan la caída de las flores y frutos. La alta humedad relativa favorece el desarrollo de patógenos que afectan el follaje y los frutos, disminuyendo la producción.

1.2.6. *Suelo*

Según Zuluaga (1984), indica que el cultivo puede desarrollar bien en diversos tipos de suelos, siendo los más apropiados los suelos sueltos, bien drenados, bien aireados y con buena capacidad de retención de humedad. Para el tomate la acidez óptima del suelo está comprendida entre un pH de 5.5-6.5. El contenido de nitrógeno disponible en el suelo debe ser alto para evitar la competencia entre los microorganismos del suelo y la planta.

Cámara de comercio de Bogotá (2015), refiere sobre la importancia de disponer suelos bien aireados con buena capacidad de retención del agua, asimismo indica suelos sueltos con textura franca y con alto contenido de materia orgánica. El pH adecuado debe oscilar entre 6 y 7, la conductividad eléctrica ideal está entre 1,5 y 20 dS/m.

1.2.7. Agua

La aplicación del riego en el cultivo de tomate debe ser cautelosa, debido a que el déficit hídrico igual que el exceso de agua influyen en la calidad y producción del fruto. Se halló una estrecha correspondencia entre sequías prolongadas y rajaduras en el fruto. El exceso de agua se relaciona con la incidencia de enfermedades en el sistema radicular de la planta, como consecuencia se obtiene bajos rendimientos (Manjarrez, 1980; Gonzáles & Hernández, 2000).

Al respecto, Flores et al., (2007), expresan que las variaciones en el requerimiento hídrico diario del cultivo de tomate se encuentran en el orden de 200 ml, en la etapa inicial, hasta 1440 ml, en la etapa de mayor requerimiento. Mayores demandas del consumo diario en la etapa inicial se deben a la evaporación del agua de los sustratos. Si el volumen del sustrato disminuye, al utilizar bolsas, el consumo de agua en la etapa inicial se reduce, mas no los consumos máximos.

1.2.8. Extracción de nutrientes por el cultivo de tomate

De acuerdo a Quesada & Bertsch (2013), el elemento con mayor extracción es el K (762 kg ha^{-1}), seguido del N (522 kg ha^{-1}), Ca (364 kg ha^{-1}), Mg (93 kg ha^{-1}), S (79 kg ha^{-1}) y P (39 kg ha^{-1}). La etapa de máxima demanda de todos los nutrientes se da a los 130 días después de la siembra (DDS), periodo relevante en el desarrollo y llenado de frutos. En la etapa final de la producción ocurre la acumulación de N, P y K básicamente en los frutos, mientras tanto el Ca, Mg y S suelen permanecer en la parte aérea de la planta.

Por su parte, Saravia (2004), pone de manifiesto que la extracción de nutrientes por el cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) variedad alboran en kg ha^{-1} es lo siguiente: N= 307, P=61, K= 265, Ca= 155, Mg= 33, S= 43, Cu=1, Fe= 2, Mn= 3, Zn= 1 y B= 0.35 hasta el día 110 después de la siembra.

1.2.9. Composición

La Cámara de comercio de Bogotá (2015), menciona que el fruto del tomate es fuente de vitaminas A, B1, B2, B6, C y E, también contiene minerales como fósforo, potasio, magnesio, manganeso, zinc, cobre, sodio, hierro y calcio. Posee valioso valor nutricional pues incluye proteínas, carbohidratos, fibra, ácido fólico, ácido tartárico, ácido succínico y ácido salicílico. El aporte de cada 100 g de nutrientes del tomate en agua es del 93,5%. En cuanto a calorías es de 23 kcal, proporcionando al organismo la energía necesaria para realizar las actividades cotidianas.

Tabla 1.1

Composición nutricional del tomate por 100 g de producto comestible

Composición	Valores
Desperdicio	6 %
Materia seca	6.2 %
Energía	20 K cal
Proteína	1.2 g
Fibra	0.7 g
calcio	7 mg
Hierro	0.6 mg
Caroteno	0.5 mg
Tiamina	0.06 mg
riboflavina	0.04 mg
Niacina	0.6 mg
Vitamina C	2.3 mg
Valor Nutritivo Promedio (VNP)	2.39
VNP por 100 gramos de materia seca	38.5

Nota. Composición nutritiva del tomate. Tomado de *Mejoramiento genético y producción de tomate en Colombia* por Vallejo, 1999. Fuente: Grubben et al., (1977)

1.3. Estados de humedad en el suelo

1.3.1. Evaluación de la humedad del suelo mediante el método gravimétrico

Avidan (1994), manifiesta que el método gravimétrico permite evaluar el contenido de humedad para obtener los datos de la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente del suelo, así como para estimar el régimen de riego durante el periodo vegetativo del cultivo. Para obtener dicha información es fundamental extraer muestras de la capa del suelo empleando barrenos y sondas. Las muestras son enviados

al laboratorio para determinar el contenido de humedad. En el laboratorio se realizan el pesado de las muestras húmedas (P_{sh}), posteriormente se colocan a secar a la estufa a una temperatura de 105 °C por 24 horas (para un suelo ligero) y hasta 72 horas (para un suelo pesado). Al sacarlas de la estufa, se pesan las muestras secas (P_{sse}) y se calcula la humedad gravimétrica a base del peso seco de la muestra del suelo, por medio de la siguiente fórmula.

$$\%H = \frac{P_{sh} - P_{sse}}{P_{sse}} * 100$$

H: humedad, a base del peso seco del suelo (%)

P_{sh} : peso húmedo de la muestra del suelo (g)

P_{sse} : peso seco de la muestra del suelo a la estufa (g)

1.3.2. Saturación

Avidan (1994), indica que en estado de saturación, tanto los macroporos y microporos del suelo están repletos de agua y el potencial matriz es igual a cero, la presión que retiene el agua del suelo es cero.

1.3.3. Capacidad de campo (CC)

Según Avidan (1994), la condición de humedad de capacidad de campo (CC) muestra la humedad presente en un suelo después de una lluvia o riego que lo han saturado, y tras la filtración del exceso de agua (el agua gravitacional) al subsuelo. En términos de capacidad de campo se han drenado los macroporos y solo los microporos del suelo retienen agua.

$$\%CC = \frac{P_{shcc} - P_{sse}}{P_{sse}} * 100$$

CC: Capacidad de campo (%)

P_{shcc} : peso de suelo húmedo a capacidad de campo (g)

P_{sse} : peso de suelo seco a la estufa a 105 °C (g)

1.3.4. Punto de marchitez permanente (PMP)

De acuerdo a Avidan (1994), el punto crítico de humedad para las plantas se establece a través del punto de marchitez, el cual se representa como un porcentaje

respecto al peso seco del suelo. Desde un enfoque práctico, se establece una relación entre PMP y CC de 1/1.8 a 1/2.2.

$$\%PM = \frac{P_{ssa} - P_{sse}}{P_{sse}} * 100$$

PM: Punto de marchitez permanente (%)

Pssa: peso de suelo seco al aire (g)

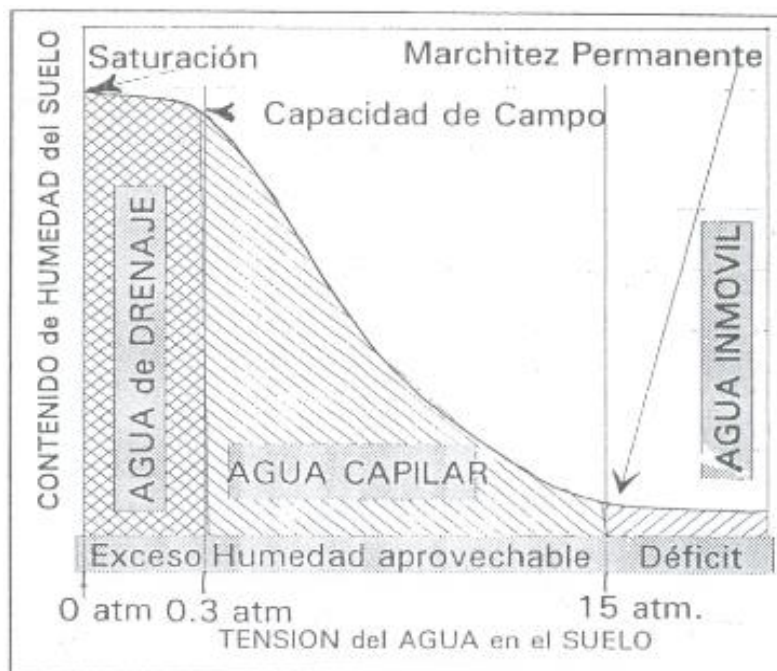
Psse: peso de suelo seco a la estufa a 105 °C (g)

1.3.5. Agua disponible en porcentaje del volumen (AD)

Se refiere al máximo porcentaje de humedad en el suelo que las plantas pueden utilizar, detallando la cantidad de agua que un suelo puede retener entre la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente. Una gran variedad de factores influyen sobre la disposición del agua del suelo para las plantas, entre ellos la distribución, profundidad radicular, actividad del sistema radicular, el uso consuntivo del cultivo (evapotranspiración), tensión de humedad del suelo y conductividad capilar (Avidan, 1994).

Figura 1.1

Estados de humedad del suelo



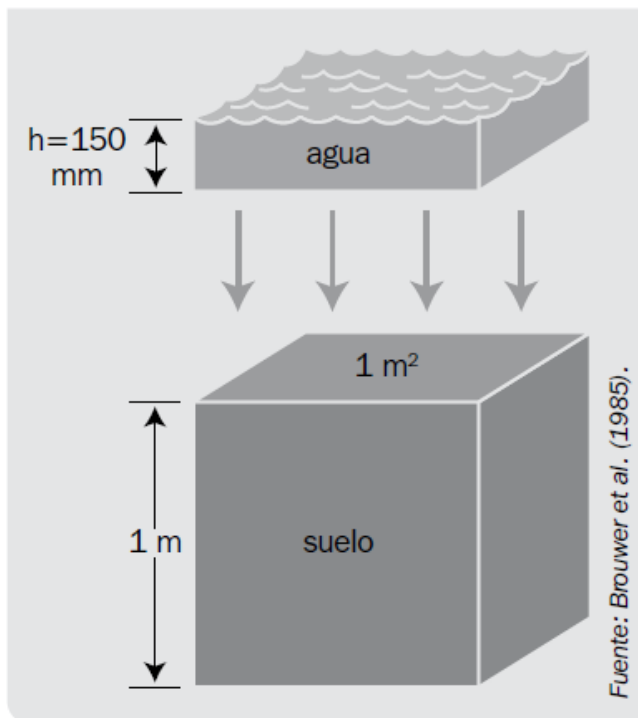
Nota. Se muestra los diferentes estados de humedad del suelo. Tomado de *Determinación del régimen de riego de los cultivos* por Avidan, 1994.

1.3.6. Lámina de agua

Carrazón (2007), señala que es el agua contenida en un volumen de suelo (el volumen total, el de las partículas del suelo más el de los poros) se expresa en altura de lámina de agua. Supongamos una porción de suelo de 1 m² de superficie y 1 m de profundidad, un volumen de 1 m³. Si sacamos el agua contenida en ese metro cúbico de suelo y lo acumulamos sobre la misma superficie, alcanzaría una altura h. Por ejemplo, si h fuera de 150 mm, podríamos expresar el contenido en humedad de este suelo como 150 mm en 1 m de profundidad de suelo, o 150 mm/m.

Figura 1.2

Altura de lámina de agua



Nota. Contenido de agua del suelo expresado en altura de lámina de agua.
Tomado de *Manual práctico para el diseño de sistemas de minirriego* por carrazón, 2007. Fuente: Brouwer et al., (1985)

$$La = \frac{\%CC - \%PM}{100} \times Pa \times Pr$$

La: Lámina de agua (mm)

CC: Humedad a capacidad de campo (%)

PM: Punto de marchitez (%)

Pa: Densidad aparente (g/cm³)

Pr: Profundidad radicular (cm)

También se puede utilizar en lugar del coeficiente de marchitez, la humedad actual del suelo (%H); por lo tanto la fórmula sería:

$$La = \frac{\%CC - \%H}{100} \times Pa \times Pr$$

1.4. La evapotranspiración del cultivo

1.4.1. La evapotranspiración del cultivo de referencia *ET_o*

Se refiere a la tasa de evaporación (mm/día) de una amplia superficie de pasto verde (grama), que comprende de 8 a 15 cm de altura, en crecimiento activo, que cubre en su totalidad la superficie del suelo y que no sufre de déficit hídrico (Doorenbos y Pruitt, 1975; Avidan, 1994).

Tabla 1.2

Valores de ET_o en condición de invernadero

Meses	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre
Etan (mm.d ⁻¹)	2.17	2.5	2.55	2.17	2.25	2.20
Ktan	0.67	0.71	0.70	0.70	0.70	0.72
ET _o (mm.d ⁻¹)	1.45	1.76	1.78	1.51	1.58	1.59

Fuente: Ortiz (2018)

1.4.2. La evapotranspiración real *ET_r*

Avidan (1994), menciona que en el campo, los cultivos se desarrollan en condiciones de humedad muy distintas de las óptimas. Por ello, el manejo del riego se debe basar en la evapotranspiración real (*ET_r*), la cual toma en consideración el agua disponible en el suelo y las condiciones ambientales en las que se desarrolla un determinado cultivo. Siempre que el cultivo en consideración tenga agua disponible en abundancia, después de un riego o una lluvia intensa y en condiciones de buena aireación del suelo, *ET_r* (mm/día) equivale a la evapotranspiración, *ET_c*.

Tabla 1.3

Valores de la ET_c del cultivo de tomate

Meses	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre
ET _o (mm.d ⁻¹)	1.45	1.76	1.78	1.51	1.58	1.59
Kc	0.40	0.40	1.00	1.01	1.01	0.87
ET _c (mm.d ⁻¹)	0.58	0.71	1.77	1.52	1.60	1.39

Fuente: Ortiz (2018)

1.4.3. El coeficiente del cultivo K_c

Según Avidan (1994), el coeficiente del cultivo (K_c), expresa la correlación entre el uso consuntivo del cultivo en consideración (ET_c) y la evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o).

$$K_c = \frac{ET_c [mm/dia]}{ET_o [mm/dia]}$$

Por lo tanto:

$$ET_c = ET_o [mm/dia] * K_c$$

K_c : Coeficiente del cultivo

ET_c : Evapotranspiración del cultivo, $[mm/dia]$

ET_o : Evapotranspiración del cultivo de referencia, $[mm/dia]$

Dichos coeficientes se determinan empíricamente comparando al uso consuntivo del cultivo, ET_c , con el del cultivo de referencia, ET_o , bajo idénticas condiciones, de acuerdo a las características del cultivo y de las fases de su desarrollo (Avidan, 1994).

Tabla 1.4

Coeficiente del cultivo (K_c) por etapas del cultivo de tomate

Etapas fenológicas del cultivo	Días	K_c
Etapas inicial	35	0.42
Etapas de desarrollo	40	1.00
Etapas de la estación	50	1.01
Etapas de estación final	15	0.87
Total	140	

Fuente: Ortiz (2018)

1.5. Polímeros retenedores de humedad

1.5.1. Generalidades

Una red tridimensional de polímeros hechos de materiales naturales o sintéticos se denomina hidrogel. Los hidrogeles existen en la naturaleza desde la aparición de la vida en el planeta, como componentes hidratados de la matriz extracelular de las bacterias y las estructuras vegetales son motivos ubicuos hinchados por el agua en la naturaleza (Ullah *et al.*, 2015).

La preparación de hidrogel fue descrita por primera vez a finales de los años 60. Desde entonces la tecnología de los polímeros ha contribuido al desarrollo de los diferentes campos tecnológicos, tales como la medicina, ingeniería y agricultura (Guilherme *et al.*, 2015).

En la actualidad, debido a las maravillosas propiedades del hidrogel sintético, como su comportamiento reversible de hinchazón/deshinchamiento, alta sensibilidad ambiental, alta conductividad iónica, alta permeabilidad, propiedades superficiales, mecánicas y la capacidad de absorción, hacen que el hidrogel proporcione una variedad de aplicaciones (Ullah *et al.*, 2015). No obstante, la mayoría de los polímeros sintéticos del mercado son productos a base de acrilato, poco biodegradables y con la tendencia actual de la protección ambiental, los hidrogeles biodegradables despiertan un gran interés para su aplicación en la agricultura (Montesano *et al.*, 2015). Por tanto, el desarrollo de estas propiedades con nuevas ideas sería posible con la combinación de polímeros naturales y sintéticos con características predeterminadas como biodegradación, solubilidad, cristalinidad y actividades biológicas.

Los polisacáridos se han utilizado como sustitutos o combinados con restos sintéticos para producir hidrogeles (ordinarios o superabsorbentes) en aplicaciones tecnológicas muy importantes: ambientales en el tratamiento de aguas residuales como absorbentes de metales y colorantes; higiénicos, como toallas femeninas, pañales desechables y en la agricultura como acondicionadores del suelo y portadores de nutrientes (Guilherme *et al.*, 2015).

1.5.2. Clasificación

Según Qiu & Park (2001), la categorización de los polímeros varía según la procedencia, cargas iónicas, sus propiedades físicas, modo de elaboración, cualidad de abultamiento, propiedad percibida de la reticulación y la tasa de biodegradación.

Kaith *et al.*, (2021), indican que los hidrogeles se pueden clasificar en diferentes categorías, según el tipo de reticulación, la presencia de carga eléctrica y en función de las uniones reticuladas:

A. Según el tipo de enlace cruzado

Los hidrogeles se dividen en dos categorías, hidrogeles químicamente reticulados que exhiben enlaces permanentes e hidrogeles físicamente reticulados que exhiben enlaces que se producen naturalmente debido a los enredos y otras interacciones diversas presentes en la cadena polimérica.

- Hidrogeles físicamente reticulados
- Hidrogeles químicamente reticulados

B. De acuerdo a las cargas eléctricas

Existen tres grupos principales en los que se clasifican los hidrogeles según las cargas eléctricas ubicadas sobre las cadenas entrecruzadas. Estos son hidrogeles iónicos, hidrogeles no iónicos e hidrogeles anfóliticos. Los hidrogeles iónicos se pueden dividir además en dos clases según la naturaleza de la carga eléctrica presente en la cadena polimérica, es decir, hidrogeles catiónicos y aniónicos. Los hidrogeles catiónicos poseen sensibilidad al pH y pueden formar complejos con otras moléculas que tienen carácter aniónico.

- Estos son hidrogeles iónicos (catiónicos y aniónicos)
- hidrogeles no iónicos
- hidrogeles anfóliticos

C. Según las uniones reticuladas

Esta clasificación describe además los hidrogeles en tres clases principales, es decir, hidrogeles combinados, hidrogeles copolímeros en bloque e hidrogeles complejos de polielectrolitos.

- **Hidrogeles combinados:** Se trata de una mezcla de dos o más hidrogeles que se pueden combinar para crear un nuevo material con diferentes propiedades físicas. Estos hidrogeles se utilizan en diversos campos y han recibido una atención significativa debido a sus novedosas propiedades, como eléctricas, térmicas y mecánicas, en comparación con los hidrogeles convencionales.
- **Hidrogeles copolímeros en bloque:** Estos hidrogeles están formados por bloques de diferentes monómeros polimerizados. Por ejemplo, el poliestireno-b-poli(metacrilato de metilo) generalmente se fabrica polimerizando primero

estireno y luego el metacrilato de metilo (MMA) del extremo reactivo de las cadenas de poliestireno. Se trata básicamente de redes poliméricas tridimensionales que pueden absorber una cantidad considerable de agua para mantener su diseño semisólido.

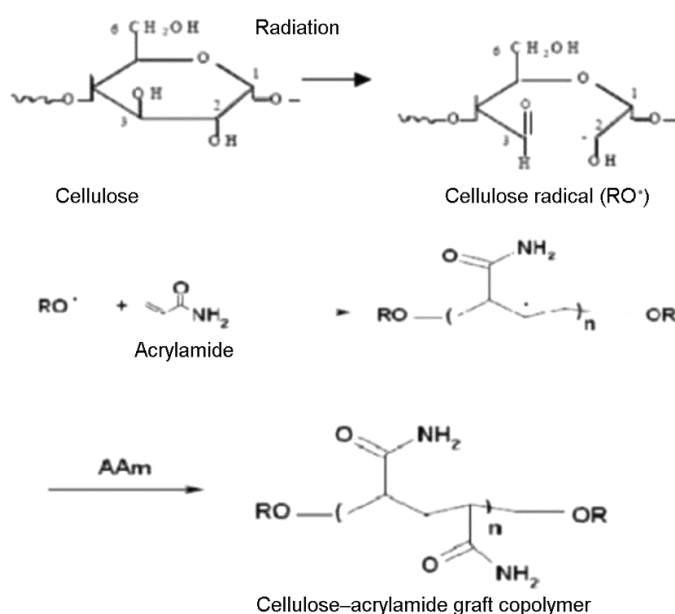
- **Hidrogeles complejos de polielectrolitos:** Estos hidrogeles contienen unidades repetidas que llevan un grupo electrolito que puede ser policationes y polianiones. El enlace entre estos poliiones conduce a la formación de complejos interpolímeros que pueden ser dirigidos por un sistema de enlace definido, como enlaces de hidrógeno o interacciones electrostáticas entre diferentes cadenas de polímeros.

1.5.3. Fabricación o elaboración

Según Kalhapure *et al.*, (2016), cuando se irradian derivados celulíticos, la radiación rompe algunos de los enlaces de carbono de las moléculas de glucosa en la cadena de celulosa, lo que da como resultado sitios de radicales libres en la columna vertebral polimérica (Figura 1.3). Los radicales de celulosa formados durante la irradiación se agregan a un lado de la acrilamida para formar un copolímero de injerto de celulosa-acrilamida.

Figura 1.3

Síntesis de hidrogeles agrícolas



Nota. Síntesis de hidrogeles agrícolas con esqueleto de celulosa y copolímero de poli(acrilamida).
Tomado de *Hydrogels: a boon for increasing agricultural productivity in water-stressed environment* por Kalhapure et al., (2016).

1.5.4. Polímeros superabsorbentes (SAP)

Los polímeros superabsorbentes (SAP) se destacan como una categoría renovada de materiales de hidrogel. Pertenecen a una categoría innovadora que son amigables con la naturaleza, estos productos se ensanchan ligeramente hasta alcanzar una gran dimensión, independientemente de la proporción inicial (Ullah *et al.*, 2015).

La principal característica de los SAP es su capacidad para absorber y retener grandes cantidades de solución acuosa. Mientras que los materiales absorbentes convencionales pueden absorber hasta cien veces su peso seco, los SAP aumentan estas características hasta mil veces (Guilherme, *et al.*, 2015).

1.5.5. Características técnicas de hidrogel

Ullah *et al.*, (2015), mencionan características técnicas de los hidrogeles:

- Máxima solidez y consistencia en ambientes de hinchamiento y en el depósito.
- Calidad de embeber (óptima hinchazón y estabilidad) en solución salina.
- Índice de absorbencia deseada (dimensión y porosidad de las partículas).
- El pH es absolutamente neutro.
- No tiene color, sabor y no genera toxicidad.
- Mayor humectación en condición de carga.
- Fotoestabilidad, baja solubilidad, monómeros residuales y bajo costo.
- Capacidad de rehumectación.
- Capacidad de biodegradabilidad, no genera sustancias tóxicas.

1.5.6. Proceso de absorción de agua

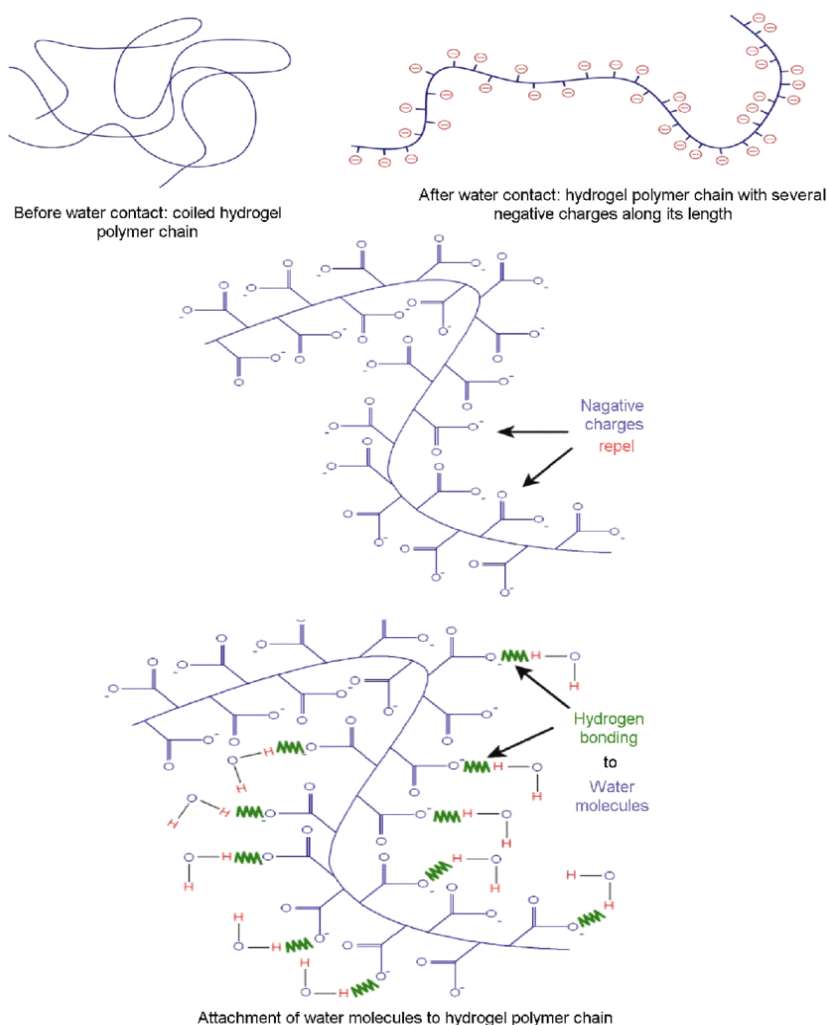
Los grupos hidrófilos (acrilamida, ácido acrílico, acrilato, ácido carboxílico, etc.) de la secuencia polimérica son encargados de la absorbencia del agua en los hidrogeles. El grupo de los ácidos se encuentran enlazados a la secuencia principal del polímero. En el momento en que los polímeros se sumergen en el agua, esta entra en la estructura del hidrogel por ósmosis y los átomos de hidrógeno al reaccionar son liberados como iones positivos. Lo cual deja iones negativos a lo largo de la secuencia del polímero. Por esta razón, el hidrogel ahora contiene diversas cargas negativas a lo largo de su estructura (Figura 1.4). Dichas cargas negativas se repelen entre sí. Lo que impone a la secuencia de polímeros a desenrollar y separarse. De esta manera las moléculas de agua son atraídas

por las cargas negativas del polímero y se unen mediante los enlaces de hidrógeno (Kalhapure *et al.*, 2016).

Kalhapure *et al.*, (2016), indican que el hidrogel puede absorber agua más de 400 veces de su peso inicial. Cuando su entorno comienza a secarse, el hidrogel dispensa gradualmente hasta el 95% del agua almacenada. Al exponerse al agua, ocurre la rehumectación y se reitera el mecanismo de acumulación del agua. El procedimiento puede prolongarse de 2 a 5 años, en ese intervalo ocurre la descomposición de los hidrogeles biodegradables. La capacidad de la absorbencia del agua surge de los grupos funcionales hidrófilos que están enlazados a la estructura principal del polímero, la resistencia a la disolución se da por la presencia de los enlaces cruzados entre las estructuras de la red de polímeros.

Figura 1.4

Proceso de absorción del agua por los polímeros

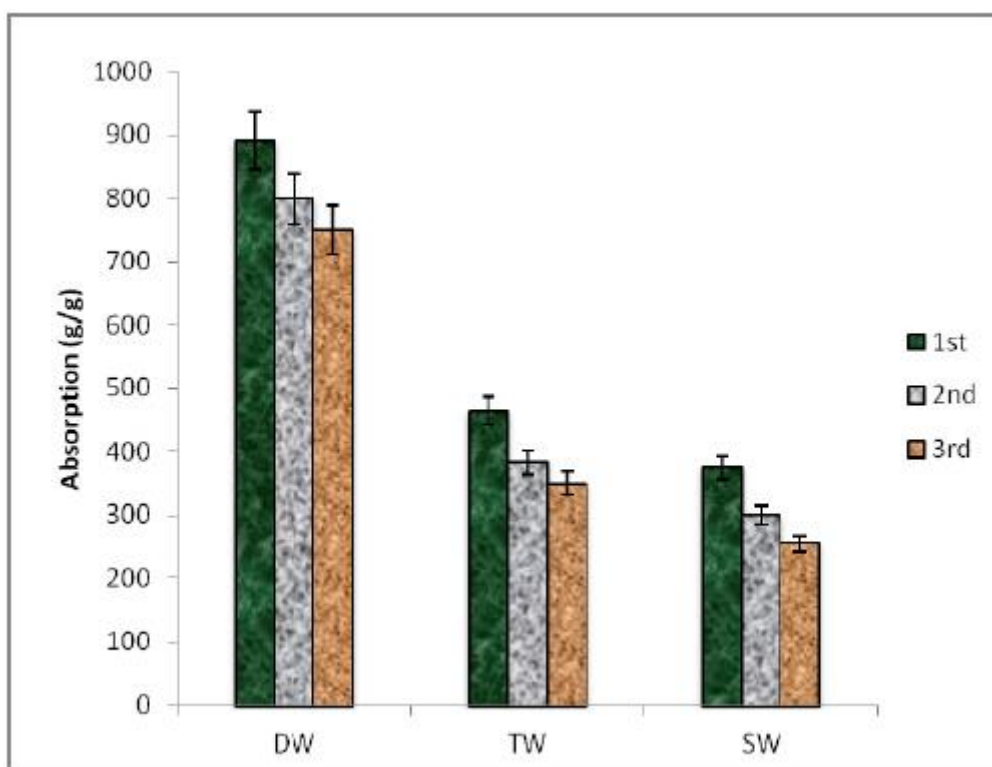


Nota. Se muestra el proceso de absorción de agua de polímeros de hidrogel. Tomado de *Hydrogels: a boon for increasing agricultural productivity in water-stressed environment* por Kalhapure *et al.*, (2016).

La disminución en la absorbencia de agua se atribuye a la presencia de Ca^{+2} , Mg^{+2} y otros iones presentes en el agua, que forman sales insolubles con el ácido acrílico. Los cationes polivalentes como Ca^{+2} y Mg^{+2} producen carboxilatos de ácido acrílico relativamente estables. Las sales tienen poco poder de ionización, lo que reduce la absorción de agua (Ali *et al.*, 2012).

Figura 1.5

Absorción de agua destilada (DW), del grifo (TW) y salina (SW) por SHNC



Nota. La cantidad máxima de agua absorbida por SHNC fue de 892 g/g para agua destilada, 471 g/g para agua del grifo y 390 g/g para agua salina durante su 1er ciclo de hidratación. Tomado de *Improvement in the Water Retention Characteristics of Sandy Loam Soil Using a Newly Synthesized Poly (acrylamide-co-acrylic Acid) /AlZnFe2O4* Superabsorbent Hydrogel Nanocomposite Material por Ali *et al.*, (2012).

1.5.7. Degradación

Actualmente la biodegradación del compuesto es un tema relevante de investigación en este contexto, a causa de las tendencias emergentes de la protección ambiental. La vida media de los polímeros suele oscilar entre 5 a 7 años, generalmente se descomponen en amonio (HN_4^+), dióxido de carbono (CO_2) y agua (Lentz, 2003).

Actualmente existen investigaciones que examinan la degradación química, mecánica, térmica, fotolítica y biológica de los polímeros del hidrogel. Freitas *et al.*,

(2019), indican que en presencia de radiación ultravioleta, el ion Hierro y la Urea tienen una mayor influencia en el proceso de degradación del polímero de poliacrilamida y pueden liberar pequeñas cantidades de acrilamida al suelo. Cuando se degrada, las redes tridimensionales del polímero se ven comprometidas, lo que contribuye a una menor retención y cantidad de agua en la estructura. Los poliacrilamidas son estables a temperatura ambiental y en presencia de luces fluorescentes (es decir, condiciones de laboratorio) sin que se detectara acrilamida ni productos de hidrólisis después de 15 días. Cuando se calienta a 95 °C, la cadena principal de poliacrilamida carbono-carbono es estable y no libera ninguna acrilamida detectable después de 15 días. Sin embargo, el grupo amida de poliacrilamida se hidroliza, se liberan NH₃ los que luego pueden formar iones de amonio y grupos funcionales de carboxilato en agua (Caulfield *et al.*, 2003).

La biodegradación de la poliacrilamida (PAM) ocurre cuando los microorganismos utilizan el grupo amida del polímero como fuente de nitrógeno y/o la cadena principal de carbono como fuente de carbono (Wen *et al.*, 2010; Xiong *et al.*, 2018). Varios estudios respaldan la hipótesis de que los microorganismos que se encuentran naturalmente en suelos, sedimentos y sistemas de agua pueden degradar la acrilamida a productos no tóxicos, amoníaco y ácido acrílico, durante períodos de días a meses (Labahn *et al.*, 2010; Xiong *et al.*, 2018).

Según Zohuriaan-Mehr & Kabiri (2008), los polímeros superabsorbentes (SAP) convencionales son neutros e inertes. Son moderadamente biodegradables en el suelo por medios iónicos y microbianos para convertirse finalmente en agua, dióxido de carbono y materia orgánica.

Los polímeros superabsorbentes (SAP) no son capaces de retornar a sus monómeros iniciales, dicho de otro modo, son científicamente no reversibles a los elementos iniciales nocivos. Como en el caso de muchos polímeros, los monómeros nocivos iniciales se transmutan químicamente en productos completamente no dañinos a través de las reacciones de polimerización (Buchholz & Graham, 1998; Zohuriaan-Mehr & Kabiri, 2008).

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1. Ubicación de la investigación

El proyecto de investigación se llevó a cabo en dos etapas: la primera, en el Laboratorio de Análisis de Agua y Suelos en la Escuela Profesional de Agronomía de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga (UNSCH), en la que se determinó la humedad gravimétrica, capacidad de campo, punto de marchitez y la densidad aparente de las muestras de suelo; paralelamente se realizó las lecturas de la humedad del suelo en el campo, utilizando el Hardware Arduino y su respectivo sensor de humedad, con la finalidad de calibrar el Hardware. La segunda etapa consistió en la conducción del experimento (aplicación de tratamientos, conducción del cultivo de tomate y las evaluaciones correspondientes) en el invernadero ubicado en el C. E. Canaán de la UNSCH.

2.1.1. Ubicación del laboratorio de análisis de agua y suelos

Políticamente dicho laboratorio se ubica en el pabellón de la Escuela Profesional de Agronomía, campus UNSCH, perteneciente al distrito Ayacucho, provincia Huamanga y departamento Ayacucho. Geográficamente se ubica a una latitud de 13°8'43.54"S, longitud 74°13'19.26"O y altitud 2791 m s. n. m.

2.1.2. Ubicación del invernadero

El invernadero se ubica en el C. E. Canaán de la UNSCH, pertenece al distrito Andrés Avelino Cáceres Dorregaray, provincia Huamanga y departamento Ayacucho. Geográficamente se encuentra a una latitud de 13°9'28.18" S, longitud 74°12'21.02" O y altitud 2750 m. s. n. m.

Mapa de ubicación de la investigación



24

Tabla 2.1

Datos meteorológicos de la ubicación del experimento

Meses	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
T Máx (°C)	24.1	22.3	23.0	25.3	23.9	25.1	25.7	26.5	26.0	26.4	26.4	25.5
T Mín (°C)	10.9	11.2	10.3	9.70	8.20	6.30	7.10	8.10	7.60	12.2	11.9	11.6
T Media (°C)	17.5	16.7	16.6	17.5	16.0	15.7	18.6	17.3	18.2	19.3	19.2	18.6
HR (%)	83.9	89	75.5	83.8	71.7	80	78	76	77	78	80	85
Pp (mm)	121.8	150.2	94	24.6	9	0	0	1.20	17.4	26	42.8	93
ETR (mm)	67.2	61.2	59.6	59.6	36.0	21.0	18.0	10.2	22.4	30.0	43.8	75.6
H suelo (mm)	54.6	89	34.3	-38.7	-44.1	-50.5	-69.2	-60.2	-51.2	-52.5	-36.5	17.3
Exceso (mm)		40.9	34.3									
Dh(mm)				-3.74	-17.1	-29.5	-51.2	-51.2	-46.2	-48.5	-35.5	

Fuente: Estación meteorológica INIA Canaán 2023.

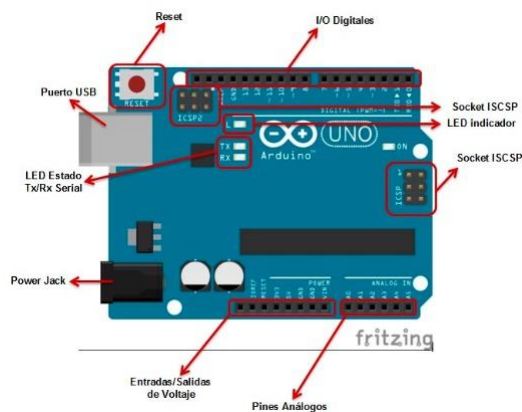
2.3. Arduino y sensor de humedad del suelo

2.3.1. Hardware Arduino

La placa Arduino Uno cuenta con un microcontrolador ATmega328P. Permite la creación de diversos proyectos electrónicos.

Figura 2.2

Partes de Arduino Uno R3



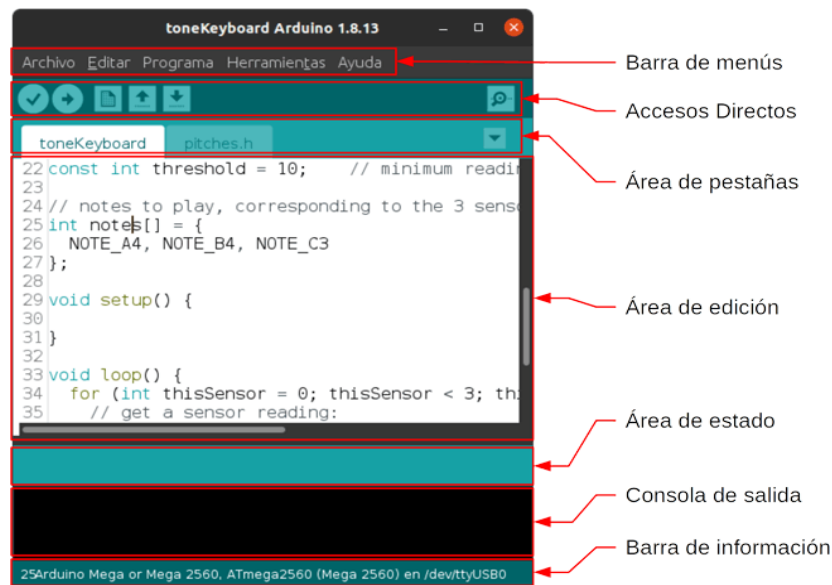
Nota: Partes de Arduino Uno. Tomado de Guerrero (2014).

2.3.2. Software Arduino

El Software Arduino se ejecuta mediante el uso de códigos en el entorno de desarrollo provisto por la plataforma Arduino. Este lenguaje de programación posibilita a los usuarios la creación y gestión de diversos proyectos electrónicos de forma sencilla e intuitiva.

Figura 2.3

Estructura de Software Arduino IDE



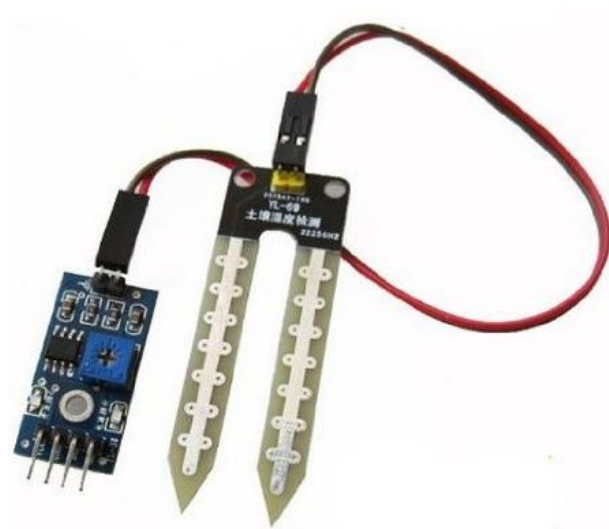
Nota: Secciones del Software Arduino IDE. Tomado de Guerra (2016)

2.3.3. Sensor de humedad del suelo FC-28

El sensor mide la resistencia eléctrica entre dos electrodos instalados en el suelo. Esta resistencia varía en función de la humedad del terreno: cuando está muy húmedo, la resistencia es baja (similar a un cortocircuito), y cuando está muy seco, la resistencia es alta (como si fuera un circuito abierto). En el mercado nacional, el sensor FC-28 tiene un precio que oscila entre 7 y 8 soles.

Figura 2.4

Sensor de humedad del suelo



Nota: Sensor de humedad del suelo. Tomado de (Electrónica Emedin, s.f.)

Ventajas del uso

- Bajo costo
- Conocer las condiciones de humedad del suelo en tiempo real
- Vida útil con el electrodo sumergido: 3 a 6 meses
- Necesario para el control de sistemas de riego

Desventajas del uso

- Es un sensor de baja tecnología
- Propenso a la corrosión electrolítica a través de las sondas
- No tiene la precisión suficiente para realizar una medición absoluta de la humedad del suelo

2.4. Análisis de caracterización del suelo utilizado

Se realizó el muestreo del suelo que se utilizó como sustrato, proveniente del C. E Canaán, después de la obtención de la muestra se envió a un laboratorio específico para el respectivo análisis de caracterización, los resultados se presentan en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2

Resultados del análisis del suelo utilizado como sustrato

LABSAF 8196		
pH (1.1)		7.4
C.E. (Ms/m)		20
MO %		4.30
Nt %		0.22
P ppm		10.80
K ppm		581.10
Análisis mecánico	Arena %	33
	Limo %	56
	Arcilla %	11
Clase textural		Franco limoso
Cationes intercambiables (meq/100 g)	Al ⁺ H ⁺	0
	Ca ⁺⁺	3.51
	Mg ⁺⁺	0.23
	K ⁺	0.48
	Na ⁺	0.05
	CIC	4.27

Fuente: Laboratorio de suelos, aguas y foliares, LABSAF-INIA.

Interpretación del análisis de caracterización

Realizando la interpretación, el pH es medianamente básico, en cuanto a la C.E es un suelo normal, alto contenido de nitrógeno (N), alto contenido de materia orgánica (MO), bajo en el contenido de fósforo (P), muy alto en potasio (K) y de clase textural franco limoso.

Cationes intercambiables

La CIC es muy baja, bajo en calcio (Ca), muy bajo en magnesio (Mg), medio en potasio (K) y muy bajo en sodio (Na). El suelo tiene deficiencia en los cationes.

2.5. Materiales en estudio

2.5.1. Hidrogel

Es un producto cuyo elemento principal son los polímeros como el poliacrilato de potasio. El cual tiene propiedades relevantes como la retención y preservación de la humedad del suelo, previene la compactación, mejora la estructura del suelo y reduce la pérdida de nutrientes.

2.5.2. Niveles de lámina de agua

L1: 50 % de lámina de agua

L2: 75 % de lámina de agua

L3: 100 % de lámina de agua (respecto a la capacidad de campo del sustrato utilizado)

Se utilizó el agua de riego del C. E. Canaán cuya clasificación es C1-S1, agua de buena calidad apta para riego. El agua que llega al reservorio de geomembrana de 200 m³ viene desde el río Huatatas, en su primer tramo se almacena en los reservorios de Canaán alto (Skate park).

2.5.3. Material biológico

Plántulas de tomate variedad Rio Grande, este cultivo se distingue por su consistencia herbácea y crecimiento determinado. El ciclo fenológico varía entre 90 a 120 días. Se utilizó este cultivo como indicador por sus cualidades de precocidad y aclimatamiento a las condiciones ambientales de los valles interandinos.

2.6. Tratamientos y diseño experimental

2.6.1. Factores de estudio

- **Factor H: hidrogel**

H0: sin hidrogel

H1: con hidrogel

- **Factor L: niveles de lámina de agua**

L1: 50 % de lámina de agua

L2: 75 % de lámina de agua

L3: 100 % de lámina de agua (respecto a la capacidad de campo del sustrato utilizado)

2.6.2. Descripción de tratamientos

Se ejecutó 6 tratamientos resultado del arreglo factorial (2H*3L), basado en tres niveles de lámina de agua, con y sin hidrogel. Los detalles se presentan en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3

Descripción de los tratamientos

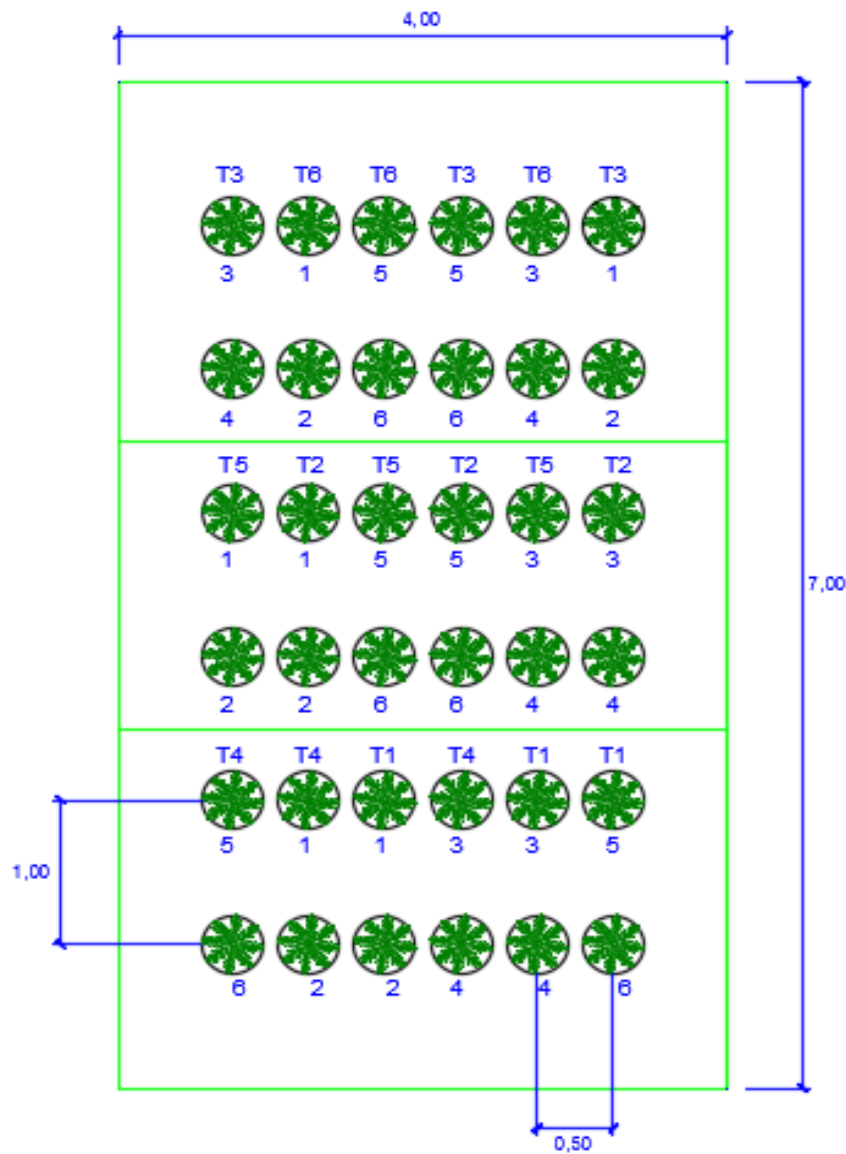
Tratamientos	Descripción	Código
T1	Lámina de agua (50 %) - sin hidrogel	H0L1
T2	Lámina de agua (75 %) - sin hidrogel	H0L2
T3	Lámina de agua (100 %) - sin hidrogel	H0L3
T4	Lámina de agua (50 %) - con hidrogel (12 g)	H1L1
T5	Lámina de agua (75 %) - con hidrogel (12 g)	H1L2
T6	Lámina de agua (100 %) - con hidrogel (12 g)	H1L3

2.6.3. Unidades experimentales

Las unidades experimentales fueron constituidas por las bolsas de plástico (macetas), con las características que se describen en la Tabla 2.4.

Tabla 2.4*Detalles de las unidades experimentales*

Descripción	Unidad	Medida
Diámetro de maceta	m	0.40
Altura de maceta	m	0.30
Área de maceta	m ²	0.126
Volumen de maceta	m ³	0.038
Distancia entre macetas	m	0.50
Distancia entre hileras	m	1.0
Número de plantas manejadas/maceta	Unidad	1.0

Figura 2.5*Distribución de las unidades experimentales*

Nota: Unidad en metros (m).

2.6.4. Diseño experimental

El presente estudio se ajusta a un arreglo factorial de 2H*3L (H, con y sin hidrogel y L, niveles de lámina de agua), conducido con el Diseño Completamente al Azar (DCA) con 6 repeticiones, presentando en su totalidad 36 unidades experimentales.

El modelo aditivo lineal es:

$$Y_{ijk} = \mu + A_j + B_k + (AB)_{jk} + e_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = Es la observación de la unidad experimental.

μ = Es la media general.

A_j = Es el efecto debido al j-ésimo del factor hidrogel.

B_k = Es el efecto debido al k-ésimo del factor niveles de lámina de agua.

$(AB)_{jk}$ = Efecto de la interacción entre el j-ésimo del factor hidrogel y el k-ésimo del factor niveles lámina de agua.

e_{ijk} = Es el efecto del error experimental.

Posterior a la evaluación de las variables, se efectuó el análisis funcional de varianza (ANAFUNVA), con un nivel de confiabilidad de 95% y para la comparación de las medias se utilizó la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

2.7. Instalación y conducción del experimento

2.7.1. Instalación del invernadero

Se construyó un invernadero con las dimensiones de 4 m x 7 m, empleando rollizos, listones de madera para la estructura y malla Raschell de 65% de sombra para la cubierta, las características se muestran en la Figura 2.6:

Figura 2.6

El invernadero instalado



2.7.2. Preparación y llenado del sustrato

El sustrato consistió de tierra agrícola, zarandeado libre de impurezas. Luego se realizó el llenado de las macetas hasta un 80 % de su capacidad.

2.7.3. Instalación de los sensores de humedad

Se instalaron los sensores de humedad en todas las unidades experimentales a una profundidad de 10 cm, para el monitoreo de la humedad del suelo con el Hardware Arduino.

2.7.4. Estandarización de los volúmenes de riego

2.7.4.1. Evaluación de la humedad del sustrato mediante el método gravimétrico

En una maceta se colocaron las muestras del sustrato utilizado, después se le aplicó un riego pesado hasta alcanzar el estado de saturación, se dejó que se infiltre el agua gravitacional por 24 horas. Posteriormente se sacaron muestras de forma diaria, durante 8 días, las muestras se llevaron al laboratorio en la que se determinó la humedad. Previamente se pesaron las muestras húmedas (Psh) y se llevó a secar a la estufa a 105 °C por 24 horas. Al sacarlas de la estufa, se pesaron las muestras secas (Psse) y se determinaron el porcentaje de humedad a base del peso seco del sustrato, empleando la siguiente fórmula.

$$\%H = \frac{Psh - Psse}{Psse} * 100$$

H: humedad, a base del peso seco del suelo (%)

Psh: peso húmedo del suelo (g)

Psse: peso seco del suelo a la estufa (g)

De la misma forma se determinó la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente del suelo.

Tabla 2.5

Determinación de la humedad gravimétrica del sustrato

N°	Fecha	PLr (g)	PLr +Psh (g)	Psh (g)	PLr +Psse (g)	Psse (g)	% humedad
1	15/08/2023	149.48	302.94	153.46	250.16	100.68	52.42
2	16/08/2023	142.00	251.26	109.26	218.71	76.71	42.43
3	17/08/2023	147.81	251.00	103.19	226.01	78.2	31.96
4	18/08/2023	139.43	250.76	111.33	231.12	91.69	21.42
5	19/08/2023	148.59	280.09	131.5	254.61	106.02	24.03
6	20/08/2023	142.78	245.22	102.44	229.43	86.65	18.22
7	21/08/2023	149.26	263.41	114.15	246.3	97.04	17.63
8	22/08/2023	141.06	248.03	106.97	234.17	93.11	14.89

2.7.4.2. Determinación del contenido de humedad de sustrato con hardware arduino

Se instaló un sensor de humedad a una profundidad de 10 cm, en la maceta que contiene las muestras de sustrato que se utiliza en el método gravimétrico, antes de aplicar el volumen de agua hasta el estado de saturación. Pasado las 24 horas se procedió a tomar lecturas con el Hardware Arduino, este procedimiento se llevó a cabo paralelamente con el método gravimétrico.

Tabla 2.6*Humedad del sustrato con la lectura de Hardware Arduino*

Nº	Fecha	% Humedad
1	15/08/2023	80
2	16/08/2023	79
3	17/08/2023	78
4	18/08/2023	70
5	19/08/2023	72
6	20/08/2023	67
7	21/08/2023	59
8	22/08/2023	58

2.7.4.3. Calibración de hardware arduino

La calibración del sensor resistencia-tensión se realizó para determinar las equivalencias entre los datos obtenidos del método gravimétrico y los registrados con las lecturas del Hardware Arduino, tal como se muestra en la Tabla 2.7.

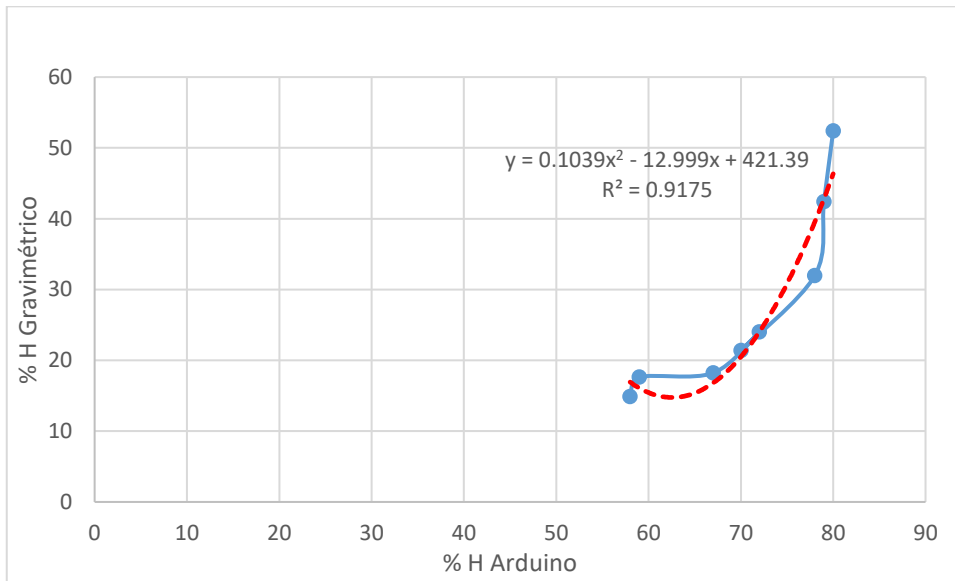
Tabla 2.7*Calibración del Hardware Arduino*

Nº	Fecha	%H Arduino	%H Gravimétrico
1	15/08/2023	80	52.42
2	16/08/2023	79	42.43
3	17/08/2023	78	31.96
4	18/08/2023	70	21.42
5	19/08/2023	72	24.03
6	20/08/2023	67	18.22
7	21/08/2023	59	17.63
8	22/08/2023	58	14.89

En la Tabla 2.7, se muestra las equivalencias entre la humedad gravimétrica y la lectura del Arduino, estos datos sirven para el cálculo de lámina de agua para la reposición del riego. En la cual también se determinó la capacidad de campo del sustrato 52.42% que en el Arduino equivale a 80% y el punto de marchitez permanente 14.89% equivalente a 58% en el Arduino.

Figura 2.7

Curva de calibración



2.7.4.4. Establecimiento de láminas de riego

La cantidad de riego se estableció mediante la fórmula de lámina de agua, para ello se utilizó la capacidad de campo del sustrato utilizado 52.42% que equivale a 80% en la lectura del Hardware Arduino, la humedad actual del suelo obtenido con la lectura del Hardware Arduino de forma interdiario con su respectiva equivalencia (Tabla 2.7), la densidad aparente de 1.17 g/cm³ y la profundidad radicular de 30 cm correspondiente a la altura de la maceta.

$$La = \frac{\%CC - \%H}{100} \times Pa \times Pr$$

La: Lámina de agua (mm)

CC: Humedad a capacidad de campo (%)

H: Humedad actual del suelo (%)

Pa: Densidad aparente (g/cm³)

Pr: Profundidad radicular (cm)

Después del cálculo de láminas de agua, se realizó la conversión a litros de agua para poder aplicar el riego correspondiente a cada tratamiento, mediante la siguiente equivalencia:

$$1 \text{ mm} = \frac{1L}{m^2} = \frac{10m^3}{ha}$$

La frecuencia de riego fue interdiario, reponiendo el 50, 75 y 100% de la capacidad de campo de acuerdo a los tratamientos, el cálculo de las láminas de agua durante todo el ciclo fenológico del cultivo se muestra en el Anexo 13.

2.7.5. Incorporación de la enmienda retentiva de humedad

Se realizó la activación del hidrogel con agua, una hora antes del trasplante de las plántulas, la dosis fue de 12 g por litro de agua. Luego se procedió a la incorporación del hidrogel activado a los tratamientos correspondientes.

2.7.6. Instalación del bioensayo

Previo riego de acuerdo con el establecimiento de las láminas de agua, se procedió al trasplante de las plántulas de tomate, éstas ya presentaban tres a cuatro hojas verdaderas y su altura oscilaba entre 10 a 15 cm.

2.7.7. Fertilización

Una semana después del trasplante se realizó la incorporación de los fertilizantes, cierta parte en su totalidad y otras de forma fraccionada según el crecimiento y demanda de la planta, enseguida se muestran los detalles: N (12 g/maceta), P (2 g/maceta), K (8 g/maceta), Ca (3 g/maceta), Mg, S, Fe, Cu, Zn, Mn, B, Mo (por fertirriego a una dosis de 100 ml/20 L), para todas las unidades experimentales por igual. La fertilización se ha basado en el análisis e interpretación del suelo utilizado como sustrato. La extracción de nutrientes de NPK por el cultivo de tomate se basó en las recomendaciones de Quesada & Bertsch (2013).

2.7.8. Deshierbo

Esta labor consistió en extraer las malezas que generan competencia con el cultivo en el aprovechamiento de los nutrientes y el agua. Se realizaba cada dos semanas.

2.7.9. Control fitosanitario

Se realizó el control de la incidencia de las enfermedades de podredumbre gris y tizón tardío causados por *Botrytis cinerea* y *Phytophthora infestans*; así como la incidencia persistente de la plaga polilla de tomate (*Tuta absoluta*). Se utilizó fungicidas, Fordazim 5 FW (carbendazim), Hiloxil Mix 72 polvo mojable (metalaxyl y mancozeb) e insecticidas, Éxito 10 CE (Alpha cypermethrin) y tifón (chlorfyrifos).

2.7.10. Poda

Esta actividad consistió en eliminar las ramas que crecen de la axila de las hojas, las cuales son innecesarias, porque generan competencia en la asimilación de los nutrientes y el agua.

2.7.11. Tutorado

El tutorado se realizó a los 45 días después del trasplante, con la finalidad de guiar el tallo de la plata en forma erguido, para lo cual se utilizó palos de carrizo y rafia.

2.7.12. Cosecha

La cosecha se realizó de acuerdo a la madurez comercial, se recogió los frutos en ocho oportunidades a medida que maduraban poco a poco, la primera cosecha fue a los 90 días después del trasplante y el último a los 137 días después del trasplante.

2.8. Parámetros de rendimiento

2.8.1. Porcentaje de materia seca total

Esta evaluación se realizó a la madurez de cosecha del cultivo, se procedió a extraer las plantas, lavar las raíces y cortar en pequeñas proporciones. Posteriormente se colocaron en sobres de papel para efectuar el pesado y poner en la estufa por 72 horas a una temperatura de 70°C hasta alcanzar un peso permanente. Para determinar el porcentaje de materia seca, se utilizó la siguiente fórmula:

$$MS = \frac{Ps}{Pf} * 100$$

MS = Materia seca (%).

Ps = Peso seco a la estufa de la planta (g).

Pf = Peso fresco de la planta (g).

2.8.2. Número de frutos por planta

Se contabilizó la cantidad de frutos por cada unidad experimental en el momento de la cosecha.

2.8.3. Calibre de frutos

La clasificación de los frutos se realizó de acuerdo al diámetro, empleando las normas de la FAO que se muestra en la Tabla 2.8.

Tabla 2.8*Clasificación de frutos por calibres*

Código de calibre	Diámetro de fruto (mm)	Categoría
1	30 a 34	Tercera
2	35 a 39	
3	40 a 46	
4	47 a 56	Segunda
5	57 a 66	
6	67 a 81	Primera
7	82 a 101	
8	Mayor a 102	Extra

Nota. Clasificación de los frutos de tomate oblongos o alargados según el diámetro. Tomado de *Norma del Codex para el tomate* por FAO (2007).

2.8.4. Altura de la planta

Esta medida se realizó en la etapa de plena floración, se procedió a medir la altura de la planta, desde la base hasta la rama más alta, empleando el flexómetro y registrándose en el sistema métrico.

2.9. Parámetros físicos del suelo

2.9.1. Retención de humedad del suelo

Esta evaluación se realizaba con la lectura del hardware arduino en cada unidad experimental, se registraba antes de aplicar cada riego.

2.10. Parámetros de riego

2.10.1. Consumo de agua

Se realizó el registro del consumo de agua de los tratamientos en cada riego, durante todo el ciclo fenológico de la planta, para ello se utilizaba la ecuación de lámina de agua:

$$La = \frac{\%CC - \%H}{100} \times Pa \times Pr$$

La: Lámina de agua (mm)

CC: Humedad a capacidad de campo (%)

H: Humedad actual del suelo (%)

Pa: Densidad aparente (g/cm³)

Pr: Profundidad radicular (cm)

Después del cálculo de láminas de agua, se realizó la conversión a litros de agua para poder aplicar el riego correspondiente a cada tratamiento, mediante la siguiente equivalencia:

$$1 \text{ mm} = \frac{1L}{m^2} = \frac{10m^3}{ha}$$

2.10.2. Eficiencia de uso del agua (EUA)

Esta evaluación se realizó dividiendo el rendimiento de frutos (kg) con el consumo de agua total (m³) de cada tratamiento.

$$EUA = \frac{\text{Rendimiento de frutos}(kg)}{\text{Consumo de agua (m}^3\text{)}}$$

2.11. Costo de equipos y materiales

Tabla 2.9

Costo de equipos y materiales empleados en la investigación

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario (s/.)	Precio total (s/.)
Kit completo para Arduino Uno R3	Unid	1.00	224.96	224.96
Sensores de humedad FC-28	Unid	36.00	7.50	270.00
Hidrogel	kg	1.00	60.00	60.00
Malla Raschell	Metros	32.00	6.00	192.00
Bolsas de plástico (macetas)	Unid	36.00	1.50	54.00
Plántulas de tomate	Unid	220.00	0.136	30.00
Total				830.96

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Porcentaje de materia seca total

El ANAFUNVA del porcentaje de materia seca total (Tabla 3.1), muestra una diferencia significativa solo en la ecuación lineal para los niveles de lámina de agua de 50, 75 y 100% con aplicación de hidrogel. El coeficiente de variabilidad (5.88%) muestra un buen índice de precisión en el variable estudiado.

Tabla 3.1

ANAFUNVA para la variable porcentaje de materia seca total

Fuentes de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F-Valor	Pr > F	
Tratamiento	5	6.25544722	1.25108944	1.94	0.1178	ns
H0 VS H1	1	0.59033611	0.59033611	0.91	0.3469	ns
Lineal La /H0	1	0.58520833	0.58520833	0.91	0.3490	ns
Cuadr La/H0	1	0.06166944	0.06166944	0.10	0.7596	ns
Lineal La/H1	1	2.81300833	2.81300833	4.35	0.0456	*
Cuadr La/H1	1	2.20522500	2.20522500	3.41	0.0746	ns
Error	30	19.39511667	0.64650389			
Total	35	25.65056389				

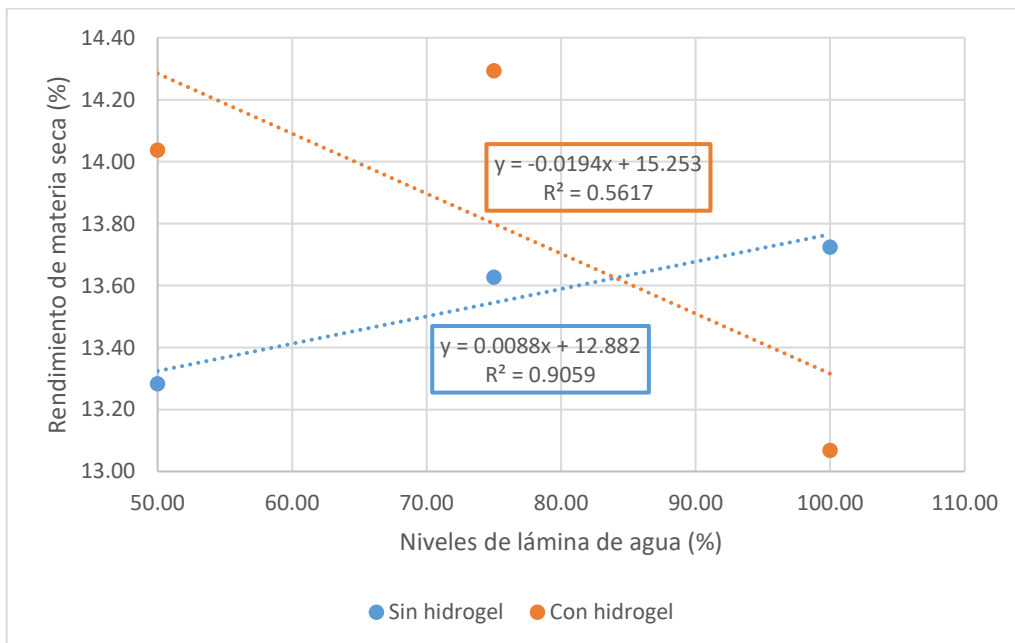
C.V.: 5.88%

Nota: La: Lámina de agua, H0: Tratamientos sin hidrogel y H1: tratamientos con hidrogel

Tabla 3.2*Prueba de Tukey para el porcentaje de materia seca total*

Tratamiento	Media	N	Agrupamiento Tukey
5	14.2950	6	a
4	14.0367	6	a
3	13.7233	6	a
2	13.6267	6	a
1	13.2817	6	a
6	13.0683	6	a

Al realizar la prueba de Tukey para porcentaje de materia seca total (Tabla 3.2), para el análisis de factores principales, se observa que estadísticamente no hay una diferencia significativa entre los tratamientos con y sin hidrogel, asimismo entre los niveles de lámina de agua. Sin embargo, numéricamente el tratamiento 5 (con hidrogel y 75% de lámina de agua) tiene una mínima superioridad en el rendimiento de materia seca total (14.30%) en relación a los demás tratamientos.

Figura 3.1*Tendencia del rendimiento de materia seca total*

La Figura 3.1 muestra la tendencia del rendimiento de la materia seca total (%) producto de la aplicación de tres niveles de láminas de agua con y sin hidrogel, en el que

se observa que las tendencias son diferentes; cuando los niveles de lámina de agua son 50 y 75% con la aplicación de hidrogel, hay una mínima superioridad en el rendimiento de la materia seca, respecto al resto de los tratamientos. Al aplicarse el hidrogel la tasa de incremento de materia seca total es de 0.1585% por cada unidad de lámina de agua. Mientras cuando no se aplica el hidrogel la tasa de incremento de materia seca total es de 0.0384% por unidad de lámina de agua.

Ghosh *et al.*, (2004), indican que el rendimiento en la producción de materia seca tiene una estrecha relación con la cantidad de clorofila y el índice fotosintético de las hojas, este último es el factor determinante en la alteración del rendimiento.

Considerando que el ensayo se ha conducido en condiciones de invernadero con cobertura de malla raschel, lo cual reducía la luminosidad y producía un ligero incremento de la temperatura, estos factores de cierta forma influyeron en el contenido de clorofila y la tasa de fotosíntesis y por ende en la materia seca resultante. Por otra parte, la incidencia de las enfermedades causados por *Botrytis cinerea* y *Phytophthora infestans*; así como la incidencia persistente de la plaga *Tuta absoluta*, tuvieron una influencia significativa en el rendimiento de la biomasa.

En cuanto al porcentaje de materia seca total, no se encontró una diferencia significativa entre los tratamientos estudiados, el resultado coincide con lo reportado por Ortega *et al.*, (2001), en su investigación, en la que evaluaron el efecto de cuatro láminas de agua (70, 100 y 150% de la ETr) y un testigo en el cultivo de tomate, en la cual no encontraron una diferencia significativa en el rendimiento de la materia seca. Por otra parte, Medina & Samudio (2022), evaluaron el efecto de dos tipos de hidrogel en cuatro dosis, el poliacrilato de potasio (0, 1, 2 y 3g) y el poliacrilato de sodio (0, 0.5, 1.0 y 1.5g) en el rendimiento de materia seca y sistema radicular del cultivo de frijol (*Vigna unguiculata*) en invernadero, estadísticamente no encontraron una diferencia significativa en el rendimiento de materia seca entre los productos y las diferentes dosis de hidrogeles aplicados.

Además, el resultado obtenido presenta una tendencia similar con lo expuesto por Islam *et al.*, (2011), en su indagación de eficiencia en el cuidado y preservación de la humedad del suelo, por efecto de la aplicación de un hidrogel superabsorbente, en el que

resulta que el polímero no tiene influencia en la materia seca del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) aplicando un riego adecuado y moderado, aunque si con el riego deficitario.

El resultado del estudio se justifica con lo expuesto por Núñez *et al.*, (2012), quienes realizaron una investigación en el cultivo de tomate en invernadero, con el propósito de conocer su crecimiento y desarrollo, así como su partición y acumulación de materia seca durante todo el ciclo fenológico, en la cual demostraron que el cultivo acumuló 1003,47 g de materia seca por planta, de los cuales el 54% se destinó hacia los frutos y el 46% restante hacia las hojas y tallos.

3.2. Altura de planta

El ANAFUNVA para la altura de planta (Tabla 3.3), indica que para los niveles de lámina de agua sin hidrogel la ecuación lineal es altamente significativo, mientras que la cuadrática no es significativo; esto significa que al aumentar los niveles de láminas de agua aumenta proporcionalmente la altura de la planta. De igual manera para láminas de agua con aplicación de hidrogel, solo la ecuación lineal resultó ser altamente significativo, lo que indica que la incorporación del hidrogel y el aumento de los niveles de láminas de agua tiene una influencia significativa en la tasa de crecimiento de la planta.

Tabla 3.3

ANAFUNVA para la variable altura de planta

Fuentes de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F-Valor	Pr > F	
Tratamiento	5	5277.472222	1055.494444	43.85	<.0001	**
H0 VS H1	1	0.027778	0.027778	0.00	0.9731	ns
Lineal La /H0	1	2241.333333	2241.333333	93.11	<.0001	**
Cuadr La/H0	1	25.000000	25.000000	1.04	0.3163	ns
Lineal La/H1	1	3008.333333	3008.333333	124.97	<.0001	**
Cuadr La/H1	1	2.777778	2.777778	0.12	0.7365	ns
Error	30	722.166667	24.072222			
Total	35	5999.638889				

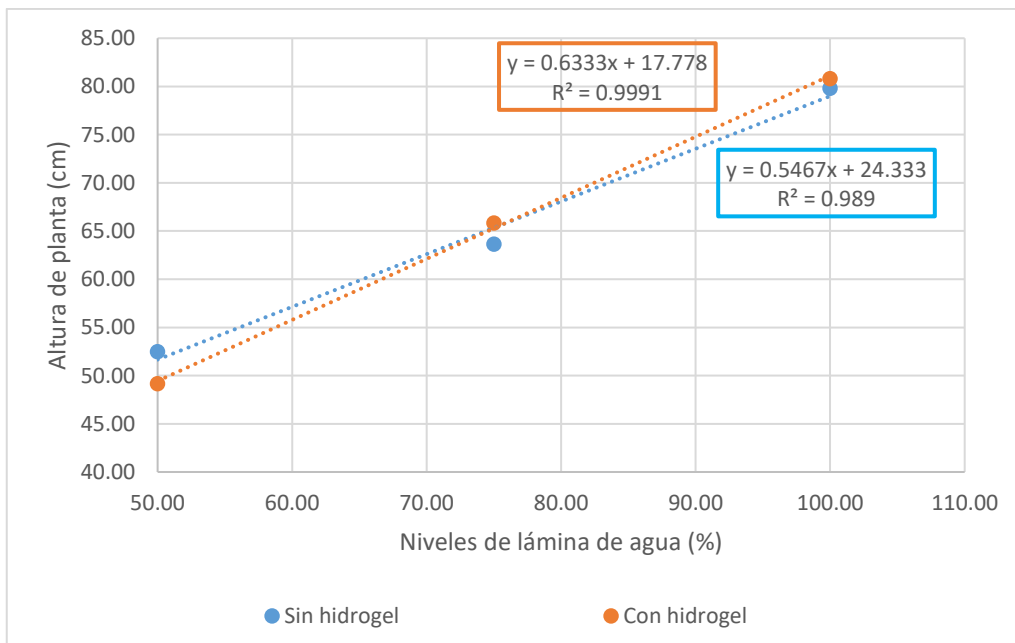
C.V.: 7.51%

Nota: La: Lámina de agua, H0: Tratamientos sin hidrogel y H1: tratamientos con hidrogel

Tabla 3.4*Prueba de Tukey para altura de planta*

Tratamiento	Media	N	Agrupamiento Tukey
6	80.833	6	a
3	79.833	6	a
5	65.833	6	b
2	63.667	6	b
1	52.500	6	c
4	49.167	6	c

Al encontrarse diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos evaluados, se efectuó la prueba de Tukey (Tabla 3.4), en la cual se muestra que no hay una diferencia significativa entre los tratamientos con y sin hidrogel, entre los niveles de lámina de agua hay una diferencia significativa. La lámina de agua de 100% resultó con mejor respuesta en esta variable, las alturas de planta 80.83 y 79.83 cm corresponden a los tratamientos 6 y 3 con y sin hidrogel respectivamente, las alturas de planta más bajas resultaron con la lámina de agua de 50%, 52.50 y 49.17 cm pertenecientes a los tratamientos 1 y 4 sin y con hidrogel respectivamente.

Figura 3.2*Tendencia de altura de planta*

La Figura 3.2 muestra la tendencia de altura de planta (cm) por efecto de la aplicación de tres niveles de láminas de agua con y sin hidrogel, se puede apreciar que las tendencias son semejantes, lo cual indica que a mayor nivel de lámina de agua se incrementa la altura; existe mínima diferencia en la altura de planta en relación con los tratamientos sin hidrogel. Al aplicarse el hidrogel el índice de incremento es de 0.63 cm por unidad de lámina de agua, cuando no se aplica el hidrogel el índice de incremento es de 0.55 cm por unidad de lámina de agua.

La aplicación del hidrogel no tiene una influencia significativa para la variable altura de planta, lo cual tiene concordancia con lo reportado por Rivera *et al.*, (2018), manifiestan que probaron cinco dosis de hidrogel (0,5, 1,0, 1,5, 2,0 y 2,5 g/planta) en el cultivo de pimiento, en la cual no hubo diferencia significativa en la altura de planta, lo que sugiere que el hidrogel no tuvo efecto negativo en los cultivos. Por su parte Liñan (2023), en su trabajo de investigación evaluó la influencia de cuatro dosis de hidrogel (10, 15, 20 y 25 g/planta) en el cultivo de frijol, quien indica que no encontró evidencia estadística que demuestre que las diferentes dosis de hidrogel tengan efectos a lo largo del periodo del cultivo sobre esta variable de altura de planta.

Los niveles de láminas de agua tienen influencia altamente significativa en la variable estudiado, lo cual presenta una similitud con lo reportado por Ferreyra (1987), quien indica que las cantidades de agua aplicadas de forma creciente (0 a 130% de la ETr) a cultivos de tomate en condiciones de campo, incrementan sus rendimientos de manera lineal. Por otro lado, Mancini y Caliandro (1989) evaluaron la influencia de tres láminas de agua (50, 100 y 150% de la ETr) en el rendimiento de tomate en condiciones de invernadero, en la que encontraron mayor rendimiento con el 100% de la ETr.

La disposición del agua altera la estrecha correlación que existe entre el crecimiento de la parte aérea y el sistema radicular; la raíz prosigue desarrollándose mientras que la parte aérea cesa su crecimiento a causa del estrés hídrico. De esta manera, las raíces de las plantas tienen la capacidad de realizar búsqueda de agua en zonas más profundas del suelo y continuar su desarrollo (Potters *et al.*, 2007; Kavar *et al.*, 2007; Dinneny *et al.*, 2008; Boursiac *et al.*, 2008; Florido & Bao, 2014).

3.3. Calibre de frutos

3.3.1. Rendimiento de frutos (kg/planta) de categoría extra y primera

El ANAFUNVA para el rendimiento de frutos de categoría extra y primera (Tabla 3.5), muestra diferencias altamente significativas entre los tratamientos con y sin hidrogel, las ecuaciones lineales de láminas de agua sin hidrogel, la ecuación lineal y la cuadrática de láminas de agua con hidrogel. El coeficiente de variabilidad (32.21%) muestra un índice aceptable de precisión en el variable estudiado.

Tabla 3.5

ANAFUNVA para el rendimiento de frutos de categoría extra y primera

Fuentes de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F-Valor	Pr > F	
Tratamiento	5	8.65833889	1.73166778	45.97	<.0001	**
H0 VS H1	1	0.38027778	0.38027778	10.09	0.0034	**
Lineal La /H0	1	1.13098800	1.13098800	30.02	<.0001	**
Cuadr La/H0	1	0.00072900	0.00072900	0.02	0.8903	ns
Lineal La/H1	1	6.17480533	6.17480533	163.90	<.0001	**
Cuadr La/H1	1	0.97153878	0.97153878	25.79	<.0001	**
Error	30	1.13020167	0.03767339			
Total	35	9.78854056				

C.V.: 32.21%

Nota: La: Lámina de agua, H0: Tratamientos sin hidrogel y H1: tratamientos con hidrogel

Tabla 3.6

Prueba de Tukey para el rendimiento de frutos de categoría extra y primera

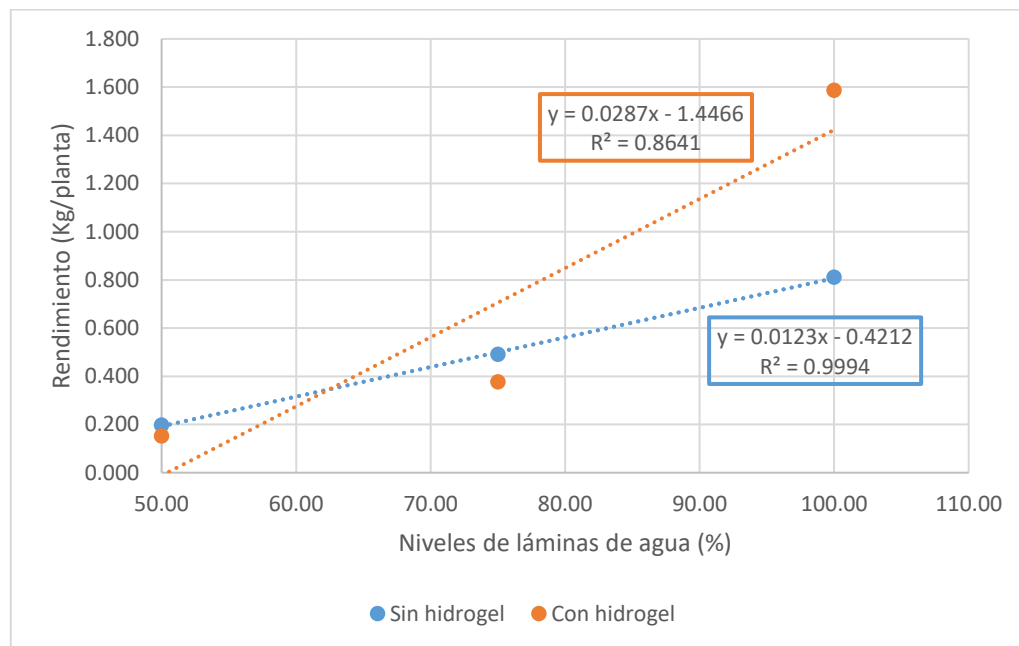
Tratamiento	Media	N	Agrupamiento Tukey		
6	1.5870	6	a		
3	0.8113	6		b	
2	0.4908	6		b	c
5	0.3768	6			c
1	0.1973	6			c
4	0.1523	6			c

Al encontrarse diferencia estadística altamente significativa entre los tratamientos evaluados, se efectuó la prueba de Tukey (Tabla 3.6), se muestra que hay diferencia significativa entre los tratamientos con y sin hidrogel solo cuando la lámina de agua es

100%, con las láminas de 50 y 75% no se encuentra una diferencia significativa. El mayor rendimiento de frutos (1.587 kg/planta equivalente a 31.74 tn/ha) corresponde al tratamiento 6 (240 kg/ha de hidrogel y lámina de agua 100%) y el menor rendimiento de frutos (0.152 kg/planta equivalente a 3.046 tn/ha) correspondió al tratamiento 4 (240 kg/ha de hidrogel y lámina de agua 50%).

Figura 3.3

Tendencia de rendimiento de frutos (kg/planta) de categoría extra y primera



En la Figura 3.3 se presenta la tendencia del rendimiento de frutos (kg/planta) de categoría extra y primera por la influencia de tres niveles de láminas de agua con y sin hidrogel, cuando el nivel de lámina de agua es 100% con la aplicación de hidrogel, hay un incremento en el rendimiento de frutos (kg/planta), respecto al resto de los tratamientos.

Este comportamiento, muestra el efecto positivo de la aplicación del hidrogel no solamente como enmiendas retentivas de humedad, también como mejoradores del suelo que contribuyen con potencializar o incrementar la efectividad del aprovechamiento de los nutrientes disponibles en el suelo, como lo confirman las investigaciones de Jeevan *et al.*, (2023), que la aplicación de hidrogel aumenta la capacidad máxima de retención de agua, previene la escorrentía y la pérdida de agua del suelo por evaporación. Además, se

puede prevenir la pérdida de nutrientes por lixiviación y volatilización, lo que a largo plazo beneficia a las plantas para su crecimiento y desarrollo.

Mahgoub (2020), pone de manifiesto sobre la influencia de dos niveles de hidrogel en el rendimiento del cultivo de tomate (HG1, 2 g/planta y HG2, 4 g/planta), fertilizantes recomendados (F) y combinación de hidrogel y media cantidad de fertilizantes recomendados (HG1+0,5 F y HG2+0,5 F), los resultados indicaron que el mayor número y peso de frutos (2.01kg/planta) se registró en el tratamiento (HG2, 4 g/planta), seguido del tratamiento (HG2+0,5 F). Esto puede atribuirse a la disponibilidad de fertilizante de hidrogel para una rápida entrega de nutrientes a la planta y agua en la zona de la raíz, lo que resulta en un aumento en la absorción de los nutrientes dentro de la planta, lo que conduce a un aumento en la producción. Asimismo, Jeevan *et al.*, (2023), manifiestan que la interacción entre el riego y los niveles de hidrogel mostró un efecto significativo sobre los atributos de rendimiento en el cultivo de tomate. Relación de la cantidad de agua aplicada y la evaporación acumulada en el recipiente (IW/CPE) de 1,0 con gel de pusa a 11,2 kg ha⁻¹ registró un mayor rendimiento de frutos (72,4 t ha⁻¹), que estaba a la par con una relación IW/CPE de 1,0 con gel zeba a 37,5 kg ha⁻¹. El nivel de riego de 0,6 IW/CPE con el control registró un menor rendimiento de frutos (58,2 t ha⁻¹). Todos estos efectos son resumidos por Jeevan *et al.*, (2023), expresan que una mayor aplicación de agua con una mayor tasa de hidrogel almacena más agua y nutrientes en comparación con niveles más bajos de riego con una menor tasa de hidrogel.

3.3.2. Rendimiento de frutos (kg/planta) de categoría segunda

El ANAFUNVA para el rendimiento de frutos de categoría segunda (Tabla 3.7), presenta diferencias altamente significativas entre los tratamientos, las ecuaciones lineales de láminas de agua con y sin hidrogel y la cuadrática de láminas de agua con hidrogel presenta solo diferencia significativa. El coeficiente de variación (26.28%) muestra un índice aceptable de precisión en el variable estudiado.

Tabla 3.7*ANAFUNVA para la variable rendimiento de frutos de categoría segunda*

Fuentes de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F-Valor	Pr > F	
Tratamiento	5	1.47153256	0.29430651	10.87	<.0001	**
H0 VS H1	1	0.03828544	0.03828544	1.41	0.2437	ns
Lineal La /H0	1	0.31557633	0.31557633	11.65	0.0019	**
Cuadr La/H0	1	0.05506844	0.05506844	2.03	0.1642	ns
Lineal La/H1	1	0.89162008	0.89162008	32.93	<.0001	**
Cuadr La/H1	1	0.17098225	0.17098225	6.31	0.0176	*
Error	30	0.81230967	0.02707699			
TOTAL	35	2.28384222				

C.V.: 26.28%

Nota: La: Lámina de agua, H0: Tratamientos sin hidrogel y H1: tratamientos con hidrogel

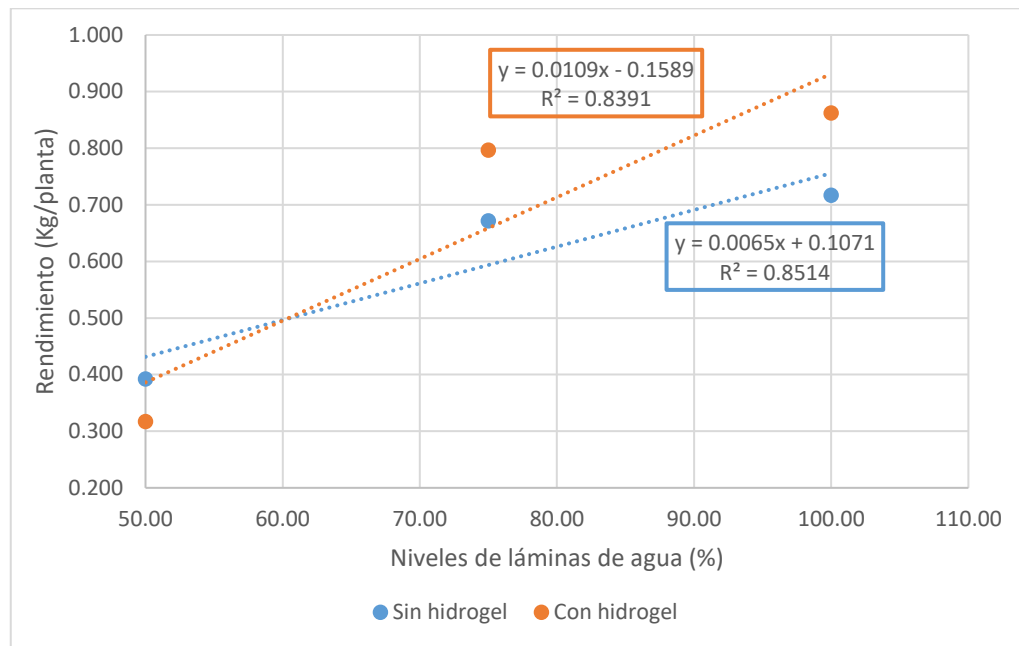
Tabla 3.8*Prueba de Tukey para el rendimiento de frutos de categoría segunda*

Tratamiento	Media	N	Agrupamiento Tukey		
6	0.86250	6	a		
5	0.79667	6	a		
3	0.71667	6	a		
2	0.67183	6	a	b	
1	0.39233	6		b	c
4	0.31733	6			c

Al encontrarse diferencia estadística altamente significativa entre los tratamientos evaluados, se efectuó la prueba de Tukey (Tabla 3.8), en la cual se muestra que entre los tratamientos con y sin hidrogel no hay diferencia significativa, en los niveles de láminas de agua solo la lámina de agua de 50% muestra diferencia significativa con respecto a las láminas de agua de 75 y 100%. El rendimiento de frutos más alto (0.862 kg/planta equivalente a 17.250 tn/ha) corresponde al tratamiento 6 (240 kg/ha de hidrogel y 100% de lámina de agua) y el rendimiento de frutos más bajo (0.317 kg/planta, equivalente a 6.347 tn/ha) correspondió al tratamiento 4 (240 kg/ha de hidrogel y lámina de agua 50%).

Figura 3.4

Tendencia de rendimiento de frutos (kg/planta) de categoría segunda



En la Figura 3.4 se presenta la tendencia del rendimiento de frutos (kg/planta) de categoría segunda por la influencia de tres niveles de láminas de agua con y sin hidrogel, numéricamente hay un incremento en el rendimiento de frutos (kg/planta) con los niveles de lámina de agua de 75 y 100% con hidrogel, pero estadísticamente no hay una diferencia significativa con los niveles de lámina de agua de 75 y 100% con y sin hidrogel en la variable en estudio.

En el resultado obtenido no se muestra una influencia significativa del hidrogel en el variable estudiado. Para el factor niveles de lámina de agua, solo la lámina de 50% muestra diferencia significativa con respecto a las láminas de 75 y 100%, en relación a este resultado Nirmala & Thirupathaiah (2019), manifiestan que el estrés hídrico es uno de los factores primordiales que limitan el crecimiento de los cultivos, la productividad y la calidad de los frutos.

Similar respuesta fue reportado por Diaz (2018), en su trabajo de investigación, en la que evaluó el efecto de tres dosis de hidrogel (14.00, 20.00 y 26.00 g/planta) y un testigo en la producción del cultivo de papa (*Solanum tuberosum*), en dos tipos de suelos, arenoso franco y franco arenoso; en la cual no encontró ninguna diferencia significativa entre los tratamientos en la variable rendimiento de frutos de categoría segunda.

Además, el resultado tiene concordancia con lo reportado por Ortega *et al.*, (2001), quienes dan a conocer que evaluaron cuatro láminas de agua (70, 100 y 150% de la ETr) y un testigo que correspondió que el agricultor tradicionalmente usa en la zona, en los resultados no encontraron una diferencia significativa en el rendimiento de calibre de frutos de segunda categoría del cultivo de tomate.

3.4. Número de frutos por planta

El ANAFUNVA para la variable número de frutos por planta (Tabla 3.9), muestra diferencia altamente significativa en las ecuaciones lineales y no significativa en las cuadráticas. El coeficiente de variación (23.23%) expresa un índice de precisión moderada en los resultados obtenidos de esta variable.

Tabla 3.9

ANAFUNVA para la variable número de frutos por planta

Fuentes de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F-Valor	Pr > F	
Tratamiento	5	4998.222222	999.644444	22.99	<.0001	**
H0 VS H1	1	160.444444	160.444444	3.69	0.0643	ns
Lineal La /H0	1	816.750000	816.750000	18.79	0.0002	**
Cuadr La/H0	1	66.694444	66.694444	1.53	0.2251	ns
Lineal La/H1	1	3924.083333	3924.083333	90.25	<.0001	**
Cuadr La/H1	1	30.250000	30.250000	0.70	0.4108	ns
Error	30	1304.333333	43.477778			
TOTAL	35	6302.555556				

C.V.: 23.23%

Nota: La: Lámina de agua, H0: Tratamientos sin hidrogel y H1: tratamientos con hidrogel

Tabla 3.10.

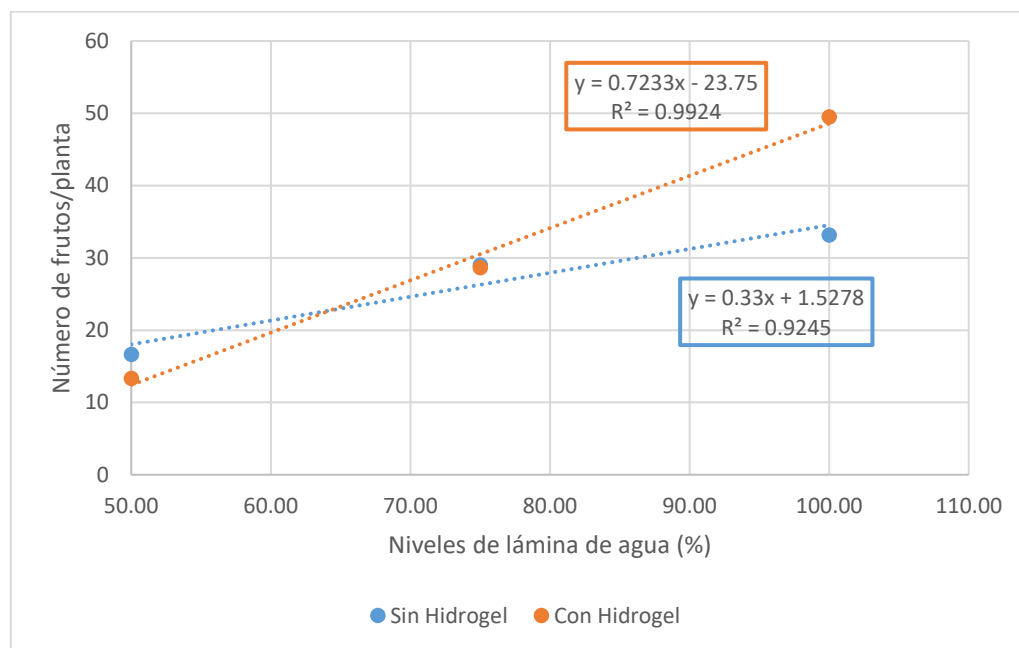
Prueba de Tukey para el número de frutos por planta

Tratamiento	Media	N	Agrupamiento Tukey
6	49.500	6	a
3	33.167	6	b
2	29.000	6	b
5	28.667	6	b
1	16.667	6	c
4	13.333	6	c

Al encontrarse diferencia estadística altamente significativa entre los tratamientos evaluados, se efectuó la prueba de Tukey (Tabla 3.10), se muestra que en los tratamientos con y sin hidrogel solo hay diferencia significativa con el nivel de lámina de agua de 100%, con los niveles de 50 y 75% no hay diferencia significativa. Por otra parte, se observa que el nivel de lámina de agua de 75% con hidrogel y la lámina de agua de 100% sin hidrogel no tienen diferencia significativa, esto nos indica que tienen rendimientos similares en la variable número de frutos por planta. El mejor rendimiento en cuanto a número de frutos por planta (50) corresponde al tratamiento 6 (con hidrogel y 100% de lámina de agua) y el número de frutos más bajo (13 frutos/planta) corresponde al tratamiento 4 (con hidrogel y lámina de agua 50%).

Figura 3.5

Tendencia de número de frutos por planta



En la Figura 3.5 se presenta la tendencia de número de frutos por planta por efecto de la aplicación de tres niveles de láminas de agua con y sin hidrogel, cuando el nivel de lámina de agua es 100% con la aplicación de hidrogel, hay un incremento en el rendimiento de número de frutos por planta, respecto al resto de los tratamientos.

Aouada *et al.*, (2008) citado por Guilherme *et al.*, (2015), manifiestan que la biodisponibilidad adecuada de agua y nutrientes en los suelos es importante para el

crecimiento y desarrollo de las plantas. Como consecuencia, los índices de productividad de hortalizas, leguminosas, cereales y gramíneas son mayores.

Wu & Liu (2008), señalan que por lixiviación se pierde entre 40 a 70% del nitrógeno, 50 a 70% del potasio del suelo. Al respecto Aouada *et al.*, (2008), indican que el hidrogel superabsorbente (SH) a base de polisacáridos, tienen la capacidad de liberar los nutrientes del suelo de forma controlada y como portadores mejora la eficiencia funcional de nutrientes, herbicidas, insecticidas y fungicidas, disminuyendo el costo del proceso de aplicación, la toxicidad para los humanos y la contaminación ambiental. El resultado del estudio coincide con lo mencionado anteriormente, el hidrogel influye en la disponibilidad del agua y los nutrientes para el cultivo, por ende en el rendimiento del fruto. Esto se observa, cuando la lámina de agua es 100% con la aplicación del hidrogel; la lámina de agua de 75% con hidrogel es equivalente en el rendimiento de fruto por planta a la lámina de agua de 100% sin hidrogel.

El resultado obtenido tiene concordancia con lo reportado por Trebejo (2020), en el efecto positivo al incrementar el rendimiento del número de frutos por planta, aplicando hidrogel en el cultivo de tomate en invernadero, quien demuestra que al evaluar cuatro dosis de poliacrilato de potasio (0, 3, 5 y 7 g/planta) encontró una diferencia significativa en la variable número de frutos por planta y afirma que estadísticamente es superior el tratamiento con la dosis de 7g/planta de hidrogel con respecto al resto.

3.5. Retención de humedad del suelo

El ANAFUNVA de retención de humedad del suelo (Tabla 3.11), muestra diferencia altamente significativa entre los tratamientos, asimismo en la ecuación lineal y cuadrática de las láminas de agua con hidrogel y diferencia significativa en la ecuación lineal y cuadrática de las láminas de agua sin hidrogel. El coeficiente de variabilidad (5.96%) muestra un buen índice de precisión para la variable evaluada.

Tabla 3.11*ANAFUNVA para la variable retención de humedad del suelo*

Fuentes de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F-Valor	Pr > F	
Tratamiento	5	1289.473289	257.894658	20.61	<.0001	**
H0 VS H1	1	0.0144000	0.0144000	0.00	0.9732	ns
Lineal La /H0	1	80.0316750	80.0316750	6.39	0.0169	*
Cuadr La/H0	1	53.4117361	53.4117361	4.27	0.0476	*
Lineal La/H1	1	506.8700083	506.8700083	40.50	<.0001	**
Cuadr La/H1	1	649.1454694	649.1454694	51.87	<.0001	**
Error	30	375.472167	12.515739			
Total	35	1664.945456				

C.V.: 5.55%

Nota: La: Lámina de agua, H0: Tratamientos sin hidrogel y H1: tratamientos con hidrogel

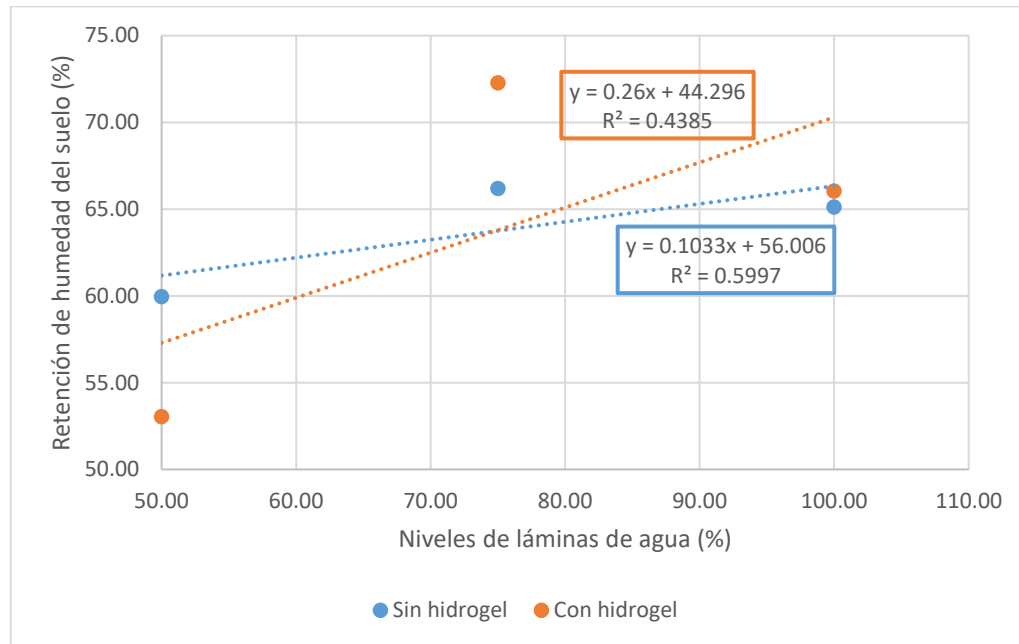
Tabla 3.12*Prueba de Tukey para retención de humedad del suelo*

Tratamiento	Media	N	Agrupamiento Tukey		
5	72.287	6	a		
2	66.190	6	a	b	
6	66.047	6		b	c
3	65.118	6		b	c
1	59.953	6			c
4	53.048	6			d

Al encontrarse diferencia estadística altamente significativa entre los tratamientos evaluados, se efectuó la prueba de Tukey (Tabla 3.12), se muestra que el hidrogel no tiene influencia significativa en esta variable. En cuanto a los niveles de lámina de agua el de 75% tiene mejor respuesta en la retención de humedad del suelo con respecto a 50 y 100%. El porcentaje de humedad del suelo más alto (72.28%) corresponde al tratamiento 5 (240 kg/ha de hidrogel y lámina de agua 75%) y la humedad del suelo más bajo (53.048%) corresponde al tratamiento 4 (240 kg/ha de hidrogel y lámina de agua 50%).

Figura 3.6

Tendencia de retención de humedad del suelo



La Figura 3.6 muestra la tendencia de retención de humedad del suelo por efecto de la aplicación de tres niveles de láminas de agua con y sin hidrogel, con el nivel de lámina de agua de 75%, hay un incremento en el porcentaje de retención de humedad del suelo, respecto al resto de los tratamientos.

Ruiz *et al.*, (2016), indican que la retención de humedad tiene una estrecha relación con la superficie específica y el contenido de arcilla. Además, la capacidad de retención de humedad se reduce notablemente cuando el agua de riego tiene mayores índices de sales diluidas o por las sales provenientes de los fertilizantes incorporados al suelo (Wang y Gregg, 1989; Emileh *et al.*, 2007; Ganji *et al.*, 2010; Romero, 2022).

James y Richards (1986) citado por Romero (2022), sugieren que los cationes divalentes (Mg^{2+} , Ca^{2+} , Fe^{2+}) generan interacciones fuertes con el hidrogel y tienen la capacidad de desalojar moléculas de agua contenidas dentro de los polímeros, de igual forma los cationes monovalentes (Na^{+}) pueden desplazar las moléculas de agua, el impacto no es muy relevante como con los cationes divalentes.

El en resultado obtenido, la incorporación del hidrogel no tiene una influencia significativa en la variable retención de humedad del suelo, este comportamiento del suelo

se debe a la textura del sustrato utilizado, franco limoso y el contenido de materia orgánica, 4.30% interpretado como alto. Al respecto Rivera & Gallo (2018), manifiestan que el comportamiento del hidrogel varía dependiendo a la clase textural del suelo, en su investigación evaluaron el incremento de la humedad de tres tipos de suelos, para cada tipo de suelo colocaron 1g de hidrogel en suelo seco. En los suelos arenosos incrementa la humedad en 14,7%, en suelos de textura limoso en 17,4% y en suelos arcillosos en 14,5%. El incremento de la humedad no se muestra si el suelo está en estado de saturación o en capacidad de campo. Por lo expuesto anteriormente, la lámina de agua de 75% tiene mejor respuesta en la retención de humedad del suelo.

En suelos de textura arenosa el hidrogel tiene mayor efecto en la retención de humedad del suelo, como lo demuestran las investigaciones de Idrobo *et al.* (2010), quienes evaluaron la influencia del hidrogel en un suelo arenoso, utilizando como indicador el cultivo de rábano; señalan que la mayor cantidad de hidrogel en el suelo aumenta la capacidad de retención de la humedad. Asimismo, Joya (2019), indica que en suelo de textura arenoso, el porcentaje de retención de humedad se presenta con mayor eficiencia cuando la dosis de hidrogel es alta y con riego adecuado.

3.6. Consumo de agua

La cantidad total de agua entregado se obtuvo de la sumatoria de los riegos aplicados a los tratamientos. La cantidad de agua entregado fue de 537.29 litros a la lámina de 50%, 805.93 litros a la lámina de 75% y 1074.58 litros a la lámina de 100%. La diferencia entre los niveles de láminas de agua aplicados fue de 268.64 litros o 0.27 m³, como se presenta en la Tabla 3.13.

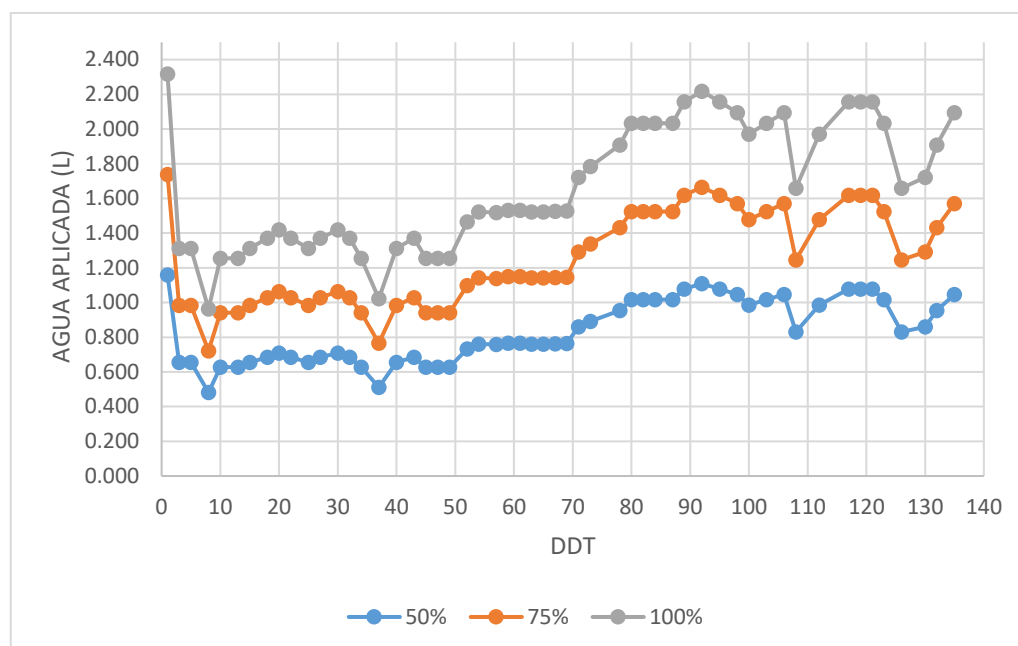
Tabla 3.13

Volúmenes de agua consumidos durante la campaña

Niveles de lámina de agua	Tratamientos	Consumo de agua/planta (L)	Consumo total (L)	Consumo total (m ³ /ha)
50%	1	44.774	268.64	895.479
	4	44.774	268.64	895.479
75%	2	67.161	402.97	1343.219
	5	67.161	402.97	1343.219
100%	3	89.548	537.29	1790.958
	6	89.548	537.29	1790.958

Figura 3.7

Litros de agua aplicados según los niveles de lámina de agua



En la Figura 3.7, se muestra el consumo de agua durante todo el ciclo fenológico del cultivo. En el primer día el volumen de riego fue muy elevado debido al estado de humedad del sustrato que se encontraba en el punto de marchitez permanente.

Los volúmenes más bajos corresponden a los días en las que hubo presencia de la precipitación. Durante los primeros 45 días los volúmenes de agua de riego aplicados son menores debido al menor consumo de agua por las plantas en la etapa inicial. Desde el día 50 se evidencia el inicio de la floración y el incremento progresivo del volumen del agua de riego hasta el día 70, donde inicia el cuajado e inicio de la formación de los frutos, en esta etapa aumenta aún más el volumen de riego. En el día 90 inicia la maduración de los frutos, donde empieza a descender el volumen del agua de riego hasta el último día de evaluación.

3.7. Eficiencia de uso del agua (EUA)

El promedio de la eficiencia en el uso del agua fue de 7.92 kg/m³, con el valor mínimo y máximo de 3.40 y 17.72 kg/m³ respectivamente. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 3.14.

Tabla 3.14*Uso eficiente de agua promedio por tratamiento*

Tratamientos	UEA (kg/m ³)
1	4.41
4	3.40
2	7.31
5	5.61
3	9.06
6	17.72
Promedio	7.92

Los valores del UEA muestran que con el tratamiento 6 (240 kg/ha de hidrogel y lámina de agua 100%), se alcanza a producir 17.72 kg de frutos de tomate de la categoría comercial extra y primera por 1 m³ de agua aplicada. La lámina de agua de 100% con hidrogel resulta beneficioso, en vista de que se logra mayor rendimiento de frutos de la categoría comercial y es el más eficiente en el uso del agua comparando con la lámina de agua de reposición del 100% sin hidrogel. Este resultado se muestra a mayor detalle en el punto 3.3.1. correspondiente al rendimiento de la categoría comercial.

En el resultado obtenido, el hidrogel no influye en el rendimiento del frutos cuando las láminas de agua es deficitario (50%) y moderado (75%), pero si influye con la lámina adecuado (100%). Al respecto, Nirmala & Thirupathaiah (2019), manifiestan que el estrés hídrico es uno de los factores primordiales que limitan el crecimiento de los cultivos, la productividad y la calidad de los frutos.

En cuanto a la eficiencia del uso de agua (EUA), el resultado tiene cierta semejanza con lo reportado por Garrido (2013), quien indica que evaluó el uso de un hidrogel a base de poliacrilamida en condiciones de invernadero en dos dosis (0 y 50 kg/ha) y dos niveles de lámina de agua (80% y 100% de la ETc) en cultivo de pimiento, con la lámina de agua de 80% más la dosis de hidrogel obtuvo 5.5 kg/m³, mientras que con la lámina de agua 100% más la dosis de hidrogel obtuvo 4.6 kg/m³, pero no halló contraste significativo entre los tratamientos. La diferencia de los resultados con la lámina de agua de 100% con hidrogel, puede deberse a la dosis aplicada, pues en el caso del presente estudio se utilizó 240 kg/ha. Al respecto Jeevan *et al.*, (2023), afirmaron que una

mayor aplicación de agua con una mayor tasa de hidrogel almacena más agua y nutrientes en comparación con niveles más bajos de riego con una menor tasa de hidrogel.

Por otra parte, en el factor de láminas de agua, el resultado no coincide con el reporte de Colimba (2022), quien evaluó cuatro láminas de agua (80, 100, 120 y 140% de ETc) y dos frecuencias de riego (uno y dos riegos al día) en el cultivo de tomate, en la cual las láminas de agua de 80 y 100% tuvieron 54.26 kg/m³ en rendimiento comercial mientras que la lámina de agua de 140% tuvo la menor eficiencia 42.81 kg/m³, el factor frecuencia de riego no ha influido de manera significativa en la EUA.

CONCLUSIONES

1. El hidrogel con la interacción de tres niveles de lámina de agua en el rendimiento de tomate (*Lycopersicum esculentum*) en macetas y condiciones de invernadero, tiene influencia significativa solo en el tratamiento 6 (240 kg/ha de hidrogel y lámina de agua de 100%) en el suelo de clase textural franco limoso, para las variables rendimiento de los frutos de categoría extra y primera, número de frutos por planta y eficiencia de uso del agua (EUA).
2. El empleo de hidrogel resulta significativo en el rendimiento del cultivo de tomate (*Lycopersicum esculentum*) para algunos parámetros evaluados en contraste a no emplearla. El hidrogel no tuvo influencia significativa en el rendimiento de materia seca total, la altura de planta, rendimiento de frutos de categoría segunda y en el porcentaje de retención de humedad del suelo. Sin embargo, se mostró diferencia significativa en el rendimiento de frutos de la categoría comercial extra y primera, número de frutos por planta y eficiencia de uso del agua correspondientes al tratamiento 6.
3. La lámina de agua de 100% tiene una influencia significativa en la altura de planta, categoría comercial extra y primera, número de frutos por planta y en eficiencia de uso del agua (EUA). En la variable rendimiento de segunda categoría las láminas de agua de 75 y 100% resultaron con respuestas similares, en el porcentaje de retención de humedad del suelo la lámina de agua de 75% resulta con mejor respuesta y en el rendimiento de materia seca total no hubo diferencia significativa entre los tres niveles de lámina de agua.

RECOMENDACIONES

1. Realizar investigaciones con diferentes dosis de hidrogel y niveles de lámina de agua, en hortalizas y en otros cultivos, con la finalidad de estimar la influencia del producto y la interacción con las láminas de agua en el rendimiento de los cultivos. De acuerdo a las investigaciones existentes se recomienda el uso del hidrogel en suelos arenosos que tienen deficiencia en la retención de humedad.
2. Se recomienda aplicar el hidrogel, la dosis de 240 kg/ha con el nivel de lámina de agua de 100% en suelos de clase textural franco limoso, con este tratamiento se obtienen mayor rendimiento de los frutos de categoría extra y primera, número de frutos por planta y eficiencia de uso del agua (EUA).
3. Se recomienda replicar la presente investigación en terreno agrícola a campo abierto en áreas considerables $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$ hasta 1 hectárea a más y en diversos pisos altitudinales para evaluar la influencia de hidrogel y los niveles de láminas de agua en diferentes cultivos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abd El-Rehim, H. A., Hegazy, E.-S. A., & Abd El-Mohdy, H. L. (2004). Radiation Synthesis of Hydrogels to Enhance Sandy Soils Water Retention and Increase Plant Performance. *Journal of Applied Polymer Science*, 93(3), 1360–1371. <https://doi.org/10.1002/app.20571>
- Agencia Agraria de Noticias. (04 de enero de 2020). *La producción de tomate en el mundo supera 186.800 millones de kilos*. <https://agraria.pe/noticias/la-produccion-de-tomate-en-el-mundo-supera-los-186-800-millo-26564#:~:text=%C3%97-,La%20producci%C3%B3n%20de%20tomate%20en%20e>
- Ali, S., Ahmad, A., Anwar, F., Ullah, I., & Rashid, U. (2012). Improvement in the Water Retention Characteristics of Sandy Loam Soil Using a Newly Synthesized Poly(acrylamide-co-acrylic Acid)/AlZnFe₂O₄ Superabsorbent Hydrogel Nanocomposite Material. *Molecules*, 17(8), 9397-9412. <https://doi.org/10.3390/molecules17089397>
- Aouada, F. A., de Moura, M. R., Menezes, E. A., de Araujo Nogueira, A. R., & Capparelli Mattoso, L. H. (2008). Hydrogel synthesis and kinetics of ammonium and potassium release. *Revista Brasileira De Ciencia Do Solo*, 32(4), 1643-1649. https://www.researchgate.net/publication/262761030_Hydrogel_synthesis_and_kinetics_of_ammonium_and_potassium_release
- Avidan, A. (1994). *Determinación del régimen de riego de los cultivos. Fascículo 1 y 2*. <https://es.slideshare.net/slideshow/albert-avidan-la-evapotranspiracion-de-los-cultivos-fasciculo-2/185135212>
- Boursiac, Y., Boudet, J., Postaire, O., Luu, D.-T., Tournaire-Roux, C., & Maurel, C. (2008). Stimulus-induced downregulation of root water transport involves reactive oxygen species-activated cell signalling and plasma membrane intrinsic protein internalization. *Plant J*, 56(2), 207-218. <https://doi.org/10.1111/j.1365-313x.2008.03594.x>
- Brouwer, C., Goffeau, A., & Heibloem, M. (1985). *Irrigation Water Management: Training Manual No. 1 - Introduction to Irrigation*. <https://www.fao.org/4/r4082e/r4082e00.htm>
- Buchholz, F. L., & Graham, A. T. (1998). Modern superabsorbent polymer technology. *Materials Science, Chemistry*, 1-7. <https://doi.org/10.5860/choice.35-5664>

- Cámara de comercio de Bogotá. (2015). *Manual de Tomate*.
<http://hdl.handle.net/11520/14307>
- Carrazón, J. (2007). *Manual práctico para el diseño de sistemas de minirriego*. FAO.
<https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/e5f94074-33d1-4542-b01b-54fc2306044c/content>
- Caulfield, M., Hao, X., Qiao, G., & Solomon, D. (2003). Degradation on polyacrylamides. Part I. Linear polyacrylamide. *Polymer*, 44(5), 1331–1337.
https://www.researchgate.net/publication/244304803_Degradation_on_polyacrylamides_Part_I_Linear_polyacrylamide
- Colimba, J. E. (2022). *Eficiencia en el uso del agua en el cultivo de tomate bajo invernadero en Natabuela, Ecuador [Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid]*. <https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.73024>
- Díaz, A. (2018). *Efecto de tres dosis de hidrogel (poliacrilamida) en la producción del cultivo papa (solanum tuberosum) var. única en dos tipos, de suelo en el distrito de San Jerónimo - Andahuaylas región Apurímac [Tesis de Pregrado, UNSAAC]*.
<http://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/20.500.12918/4272?locale-attribute=en>
- Dinneny, J. R., Long, T. A., Wang, J. Y., Jung, J. W., Mace, D., Pointer, S., . . . Benfey, P. N. (2008). Cell identity mediates the response of Arabidopsis roots to abiotic stress. *Science*, 320(5878), 942-945. <https://doi.org/10.1126/science.1153795>
- Doorenbos, J., & Pruitt, W. O. (1975). *Las necesidades de agua de los cultivos. Volumen 24 de FAO. Riego y Drenaje*.
https://books.google.com.pe/books/about/Las_necesidades_de_agua_de_los_cultivos.html?id=rDprAAAACAAJ&redir_esc=y
- Ekebafé, L., Ogbeifun, D., & Okieimen, F. (2011). Polymer Applications in Agriculture. *Biokemistri*, 23(2), 81-89.
https://www.researchgate.net/publication/268383590_Polymer_Applications_in_Agriculture
- Electrónica Emedin. (s.f.). *Electrónica Emedin*. Recuperado el 23 de Junio de 2023, <https://electronicaemedin.cl/>
- Emileh, A., Vasheghani-Farahani, E., & Imani, M. (2007). Swelling behavior, mechanical properties and network parameters of pH- and temperature-sensitive hydrogels of poly((2-dimethyl amino) ethyl methacrylate-co-butyl methacrylate). *European Polymer Journal*, 43(5), 1986-1995.
<https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2007.02.002>

- FAO. (2007). *Norma del codex para el tomate*.
https://www.fao.org/input/download/standards/11013/CXS_293s.pdf
- Ferreira, R. (1987). Efecto de diferentes alturas de agua sobre el cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Relación evapotranspiración-rendimiento. *Agricultura Técnica*, 47(3), 254-259. <https://hdl.handle.net/20.500.14001/31016>
- Flores, J., Ojeda, W., López, I., Rojano, A., & Salazar, I. (2007). Requerimiento de riego para tomate de invernadero. *Terra Latinoamericana*, 25(2), 127-134. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57325204>
- Florido B., M., & Bao F., L. (2014). Tolerancia a estrés por déficit hídrico en tomate. *Cultivos Tropicales*, 35(3), 70-88. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362014000300008
- Freitas, J., Oliveira, L., Abreu, E., & Almeida, A. (2019). Fotodegradação de hidrogel de poliacrilamida na presença de substâncias químicas para o uso na agricultura. *Revista Matéria*, 24(3). <https://doi.org/10.1590/S1517-707620190003.0722>
- Ganji, F., Vasheghani, F. S., & Vasheghani, F. E. (2010). Theoretical description of hydrogel swelling: a review. *Iranian Polymer Journal*, 19(5), 375-398. <https://www.sid.ir/paper/561994/en>
- Garrido, O. D. (2013). *Uso de un polímero hidrófilo en el cultivo de chile serrano (Capsicum annuum L.) en condiciones de invernadero [Tesis de Pregrado, Universidad de Sonora]*. <http://hdl.handle.net/20.500.12984/3176>
- Ghosh, P. K., Ajay, Bandyopadhyay, K. K., Manna, M. C., Mandal, K. G., Misra, A. K., & Hati, K. M. (2004). Comparative effectiveness of cattle manure, poultry manure, phosphocompost and fertilizer-NPK on three cropping systems in vertisols of semi-arid tropics. II. Dry matter yield, nodulation, chlorophyll content and enzyme activity. *Bioresource Technology*, 95(1), 85-93. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2004.02.012>
- González, A., & Hernández, B. (2000). Estimación de las necesidades Hídricas del tomate. *Terra Latinoamericana*, 18(1), 45-50. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57318105>
- Grubben, G. J., Tindall, H. D., & Williams, J. T. (1977). *Tropical vegetables and their genetic resources*. <https://hdl.handle.net/10568/104798>
- Guerra, J. (18 de Marzo de 2016). *Arduino IDE entorno de desarrollo oficial*. Programafacil.com: <https://programafacil.com/blog/arduino-blog/arduino-ide/>

- Guerrero, J. (21 de Setiembre de 2014). *Arduino Uno: Especificaciones y características*. PLUSELECTRIC. <https://pluselectric.wordpress.com/2014/09/21/arduino-uno-especificaciones-y-caracteristicas/>
- Guilherme, M., Aouada, F., Fajardo, A., Martins, A., Paulino, A., Davi, M., . . . Muniz, E. (2015). Superabsorbent hydrogels based on polysaccharides for application in agriculture as soil conditioner and nutrient carrier: A review. *European Polymer Journal*, 72(1), 365-385. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2015.04.017>
- Idrobo, H. J., Rodríguez, A. M., & Díaz, J. E. (2010). Comportamiento del hidrogel en suelos arenosos. *Ingeniería de recursos naturales y del ambiente*(9), 33-37. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=231116434004>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). (2012). *IV Censo Nacional Agropecuario*. <https://proyectos.inei.gob.pe/web/DocumentosPublicos/ResultadosFinalesIVCENAGRO.pdf>
- Islam, M. R., Mao, S., Xue, X., Eneji, A. E., Zhao, X., & Hu, Y. (2011). A lysimeter study of nitrate leaching, optimum fertilisation rate and growth responses of corn (*Zea mays* L.) following soil amendment with water-saving super-absorbent polymer. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91(11), 1990-1997. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4407>
- James, E. A., & Richards, D. (1986). The influence of iron source on the water-holding properties of potting media amended with water-absorbing polymers. *Scientia Horticulturae*, 28(3), 201-208. [https://doi.org/10.1016/0304-4238\(86\)90001-4](https://doi.org/10.1016/0304-4238(86)90001-4)
- Jeevan, R., Dr. Ananthakumar, M., Dr. Kadalli, G., Dr. Thimmegowda, M., & Dr. Asha, N. (2023). Influence of hydrogel on growth, yield and soil properties at varied moisture regimes under drip fertigation of tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *The Pharma Innovation Journal*, 12(2), 1483-1488. <https://www.thepharmajournal.com/archives/2023/vol12issue2/PartR/12-2-68-636.pdf>
- Joya, C. Y. (2019). *Enmiendas retentivas de humedad en el cultivo de acelga (Beta vulgaris var. cycla) cv. Fordhook Giant [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina]*. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/4095>
- Kaith, B., Singh, A., Sharma, A., & Sud, D. (2021). Hydrogels: Synthesis, Classification, Properties and Potential-A Brief Review. *Journal of Polymers and the Environment*, 1-15. <https://doi.org/10.1007/s10924-021-02184-5>

- Kalhapure, A., Kumar, R., Singh, V., & Pandey, D. (2016). Hydrogels: a boon for increasing agricultural productivity in water-stressed environment. *CURRENT SCIENCE*, 111(11), 1773-1779. https://www.researchgate.net/publication/311570564_HydrogelsA_Boon_for_Increasing_Agricultural_Productivity_in_Water-Stressed_Environment
- Kavar, T., Maras, M., Kidric, M., Sustar-Vozlic, J., & Meglic, V. (2007). Identification of genes involved in the response of leaves of *Phaseolus vulgaris* to drought stress. *Molecular breeding*, 21, 159-172. <https://doi.org/10.1007/s11032-007-9116-8>
- Labahn, S. K., Fisher, J. C., Robleto, E. A., Young, M. H., & Moser, D. P. (2010). Microbially Mediated Aerobic and Anaerobic Degradation of Acrylamide in a Western United States Irrigation Canal. *Journal of Environmental Quality*, 39(5), 1563-1569. <https://doi.org/10.2134/jeq2009.0318>
- Lentz, R. (2003). Inhibiting water infiltration with polyacrylamide and surfactants: Applications for irrigated agriculture. *Journal of Soil and Water Conservation*, 58(5), 290-300. https://www.researchgate.net/publication/279681972_Inhibiting_water_infiltration_with_polyacrylamide_and_surfactants_Applications_for_irrigated_agriculture
- Liñan, A. Y. (2023). *Uso de hidrogel en frijol (Phaseolus vulgaris L.) var. canario centenario bajo riego por goteo en condiciones de la Molina [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina]*. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/5833>
- López, E. J., Huez, M., Rueda, E., Jiménez, J., Rodríguez, J. C., Romero, L. K., & Dávila, F. X. (2013). Evaluación de un polímero hidrófilo en chile anaheim (*Capsicum annuum* L.) cultivado en invernadero. *Terra Latinoamericana*, 31(2), 115-118. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57328308004>
- Mahgoub, N. (2020). Effectiveness of Hydrogel Application on Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) Growth and some Sandy Soil Chemical Properties under Drip Irrigation System. *Journal of Soil & Water Sciences*, 5(1), 49-54. https://www.researchgate.net/publication/353011026_Effectiveness_of_Hydrogel_Application_on_Tomato_Solanum_lycopersicum_L_Growth_and_some_Sandy_Soil_Chemical_Properties_under_Drip_Irrigation_System
- Maluf, W. R. (1982). *Melhoramento genético do tomate (Lycopersicon esculentum Mili)*.

- Mancini , L., & Caliandro, A. (1989). The effect of irrigation method and regime on greenhouse salad tomatoes. *Irrigazione e Drenaggio*, 36, 70-73.
- Manjarrez, J. (1980). *El cultivo del tomate para consumo fresco en el valle de Culiacán*.
- Medina , A. Y., & Samudio , A. (2022). Comportamiento de polímeros hidroabsorbentes en suelos arcillosos de orden ultisol y vertisol, en la producción de materia seca y sistema radicular del cultivo de frijol (*Vigna unguiculata*) en invernadero. *Revista Investigaciones Agropecuarias*, 4(1), 30-50.
<http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/222/2222832003/index.html>
- MINAGRI. (2018). *Anuario Estadístico de Producción Agrícola*.
https://siea.midagri.gob.pe/portal/phocadownload/datos_estadisticas/anuarios/agricola/agricola_2018.pdf
- MINAM. (2020). *Línea de base de la diversidad del tomate peruano con fines de bioseguridad*.
https://bioseguridad.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2021/01/libro_tomate_peruano.pdf
- Montesano, F., Parentea, A., Santamaria, P., Sannino, A., & Serio, F. (2015). Biodegradable Superabsorbent Hydrogel Increases Water Retention Properties of Growing Media and Plant Growth. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 4, 451 – 458. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2015.03.052>
- Nirmala , A., & Thirupathaiah , G. (2019). Hydrogel/superabsorbent polymer for water and nutrient management in horticultural crops-review. *International Journal of Chemical Studies*, 7(5), 787-795.
<https://www.chemijournal.com/archives/?year=2019&vol=7&issue=5&ArticleId=7033&si=false>
- Núñez, F., Grijalva, R. L., Macías, R., Robles, F., & Ceceña, C. (2012). Crecimiento, acumulación y distribución de materia seca en tomate de invernadero. *Biotechnia*, 14(3), 25-31. <https://doi.org/10.18633/bt.v14i3.169>
- Ortega, A. E., Flores, L. B., Guevara, R. G., Rico, E., & Soto, G. M. (2020). Hidrogel acrilato de potasio como sustrato en cultivo de pepino y jitomate. *Revista Mexicana Ciencias Agrícolas*, 11(6), 1447-1455.
<https://doi.org/10.29312/remexca.v11i6.2222>
- Ortega, S. F., Márquez, J., Valdés, H., & Paillán, J. H. (2001). Efecto de cuatro láminas de agua sobre el rendimiento y calidad de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill. cv. FA-144) de invernadero producido en otoño. *Agricultura Técnica*, 61(4), 479-487. <http://dx.doi.org/10.4067/S0365-28072001000400010>

- Ortiz, J. (2018). *Evapotranspiración del cultivo para calcular la demanda de agua del tomate (Lycopersicum esculentum) en condición de invernadero y campo abierto a 2760 msnm – Ayacucho [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]*.
<https://repositorio.unsch.edu.pe/server/api/core/bitstreams/c6739d22-91c6-4174-8a46-0b42e25b71c8/content>
- Potters, G., Pasternak, T. P., Guisez, Y., Palme, K. J., & K Jansen, M. A. (2007). Stress-induced morphogenic responses: growing out of trouble? *Trends Plant Sci*, 12(3), 98-105. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2007.01.004>
- Qiu, Y., & Park, K. (2001). Environment-sensitive hydrogels for drug delivery. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 53(3), 321-339. [https://doi.org/10.1016/S0169-409X\(01\)00203-4](https://doi.org/10.1016/S0169-409X(01)00203-4)
- Quesada, G., & Bertsch, F. (2013). Obtención De La Curva De Extracción Nutrimental Del Híbrido De Tomate FB-17. *TERRA LATINOAMERICANA*, 31(1), 7. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792013000100001
- Rivera , R. D., Rodríguez , F., Mesías, F., & Mendoza, D. A. (2018). Hydrogel for improving water use efficiency of Capsicum annum crops in Fluvisol soil. *Rev. FCA INCUYO*, 50(2), 23-31. <https://bdigital.uncu.edu.ar/11588>
- Rivera, R., & Gallo , F. (2018). Absorción de agua de hidrogel de uso agrícola y su humedecimiento de tres tipos de suelo. *Rev. FCA UNCUYO*, 50(2), 15-21. https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/11587/cp-02-rivera-absorcin.pdf
- Romero, F. N. (2022). *Manejo del agua de riego en sustrato enarenado con enmienda retentiva de humedad en el cultivo de pimiento en invernadero [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina]*.
<https://hdl.handle.net/20.500.12996/5347>
- Ruiz, H., Sarli, G., Reynaud, C., Filgueira , R., & Silva de Souza, F. (2016). La superficie específica de oxisoles y su relación con la retención hídrica. *Rev. FCA UNCUYO*, 48(2), 95-105. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=382847506009>
- Saravia, F. M. (2004). *Elaboración de curvas de absorción de nutrientes para la variedad de tomate (Lycopersicon esculentum Mill) Alboran bajo condiciones de invernadero en Zamorano, Honduras [Tesis de Licenciatura, Universidad de Zamorano]*. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/12c83420-d44c-439a-9c81-f98b69fabe49/content>

- Trebejo, W. C. (2020). *Rendimiento del cultivo de tomate (Lycopersicum esculentum) variedad abigail a diferentes dosis de poliacrilato de potasio "lluvia sólida", bajo condiciones de invernadero, Huaraz - 2017 [Tesis de Pregrado, UNASAM]*. <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/4928>
- Ullah, F., Hafi, M. B., Javed, F., Ahmad, Z., & Akil, H. (2015). Classification, processing and application of hydrogels: A review. *Materials Science and Engineering C*(57), 414-433. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2015.07.053>
- Vallejo, F. A. (1999). *Mejoramiento genético y producción de tomate en Colombia. Universidad Nacional de Colombia*. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/51997>
- Wang, Y.-T., & Gregg, L. L. (1989). Uniconazole Affects Vegetative Growth, Flowering, and Stem Anatomy of Hibiscus. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 114(6), 927–932. <https://doi.org/10.21273/JASHS.114.6.927>
- Wen, Q., Chen, Z., Zhao, Y., Zhang, H., & Feng, Y. (2010). Biodegradation of polyacrylamide by bacteria isolated from activated sludge and oil-contaminated soil. *Journal of Hazardous Materials*, 175(1-3), 955-959. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.10.102>
- Wu, L., & Liu, M. (2008). L. Wu, M. Liu, Preparation and properties of chitosan-coated NPK compound fertilizer with controlled-release and water-retention. *Carbohydr Polym*, 72(2), 240-247. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2007.08.020>
- Xiong, B., Dettam, R., Shields, D., Pawlik, T., Hochreiter, R., Zydney, A., & Kumar, M. (2018). Polyacrylamide degradation and its implications in environmental systems. *npj Clean Water*, 17, 1-9. <https://www.nature.com/articles/s41545-018-0016-8>
- Zohuriaan-Mehr, M., & Kabiri, K. (2008). Superabsorbent Polymer Materials: A Review. *Iranian Polymer Journal*, 17(6), 451-477. https://www.researchgate.net/publication/242582443_Superabsorbent_Polymer_Materials_A_Review
- Zuluaga, M. L. (1984). *El Cultivo de Tomate*. https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/20959/23278_4805.pdf?sequence=1&isAllowed=y

ANEXOS

Anexo 1. Estado de saturación del sustrato



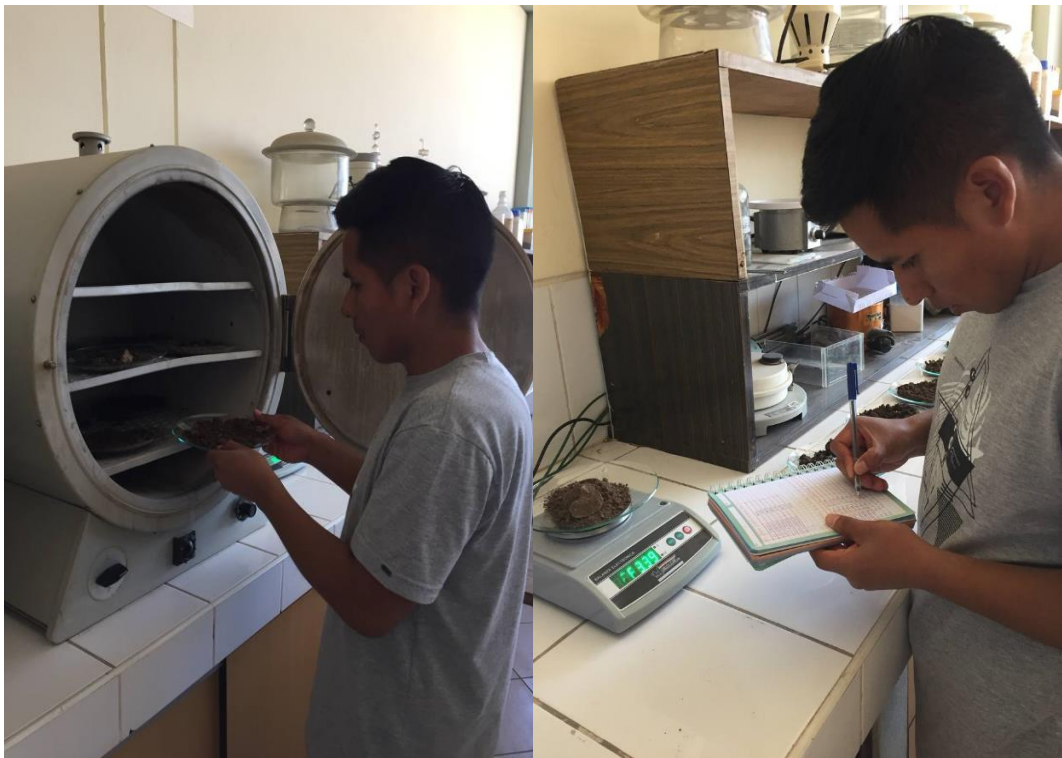
Anexo 2. Extracción de las muestras del sustrato



Anexo 3. Lectura de la humedad con arduino a capacidad de campo



Anexo 4. Pesado de las muestras de sustrato y puesta a la estufa



Anexo 5. Incorporación de hidrogel a las unidades experimentales



Anexo 6. Establecimiento de las plántulas de tomate



Anexo 7. Registro de las humedades actuales de las unidades experimentales



Anexo 8. Aplicación de riego



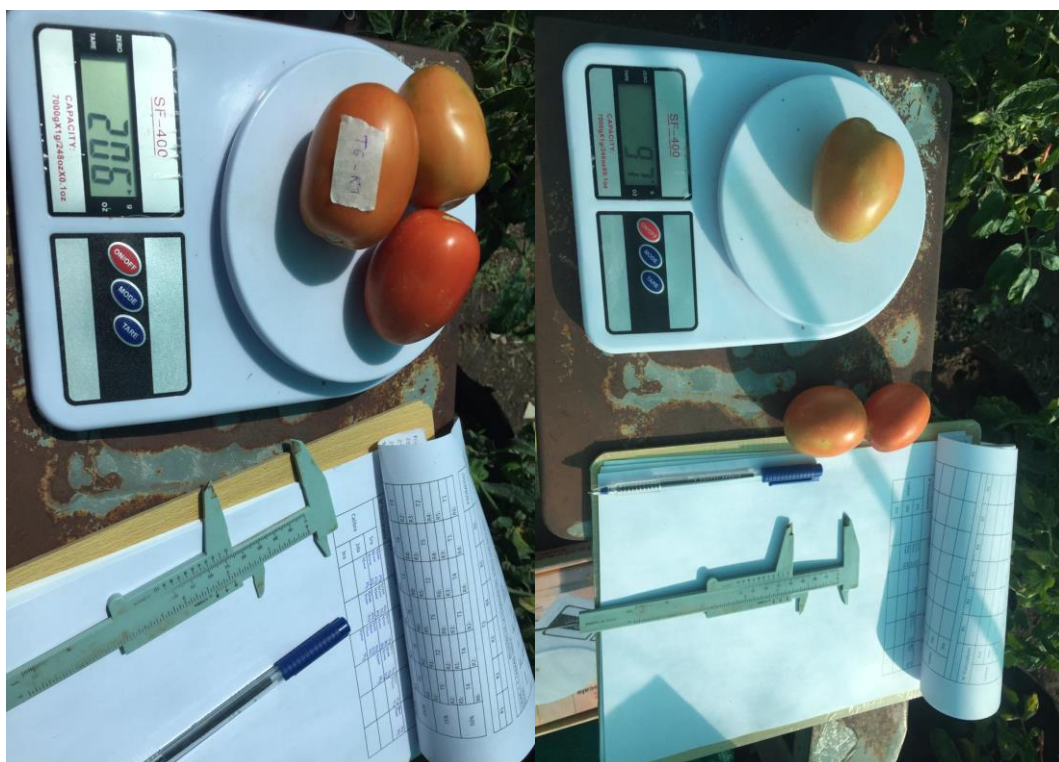
Anexo 9. Control de plagas y enfermedades



Anexo 10. Tutorado



Anexo 11. Calibrado de los frutos



Anexo 12. Evaluación de la materia seca



Anexo 13. Cálculo de láminas de agua durante el ciclo fenológico del cultivo

CÁLCULO DE LÁMINAS DE AGUA													
N°	FECHA	DDT	%CC	%H	Pa (g/cm3)	Pr (cm)	La (mm)	Litros	ml	Niveles de láminas de agua			TOTAL DE AGUA (L)
										50%	75%	100%	
1	27/08/2023	1	52.42	0	1.17	30	18.40	2.318	2318.327	1.159	1.739	2.318	62.595
2	29/08/2023	3	52.42	22.74	1.17	30	10.42	1.313	1312.628	0.656	0.984	1.313	35.441
3	31/08/2023	5	52.42	22.74	1.17	30	10.42	1.313	1312.628	0.656	0.984	1.313	35.441
4	03/09/2023	8	52.42	30.64	1.17	30	7.64	0.963	963.242	0.482	0.722	0.963	26.008
5	05/09/2023	10	52.42	24.03	1.17	30	9.96	1.256	1255.576	0.628	0.942	1.256	33.901
6	08/09/2023	13	52.42	24.03	1.17	30	9.96	1.256	1255.576	0.628	0.942	1.256	33.901
7	10/09/2023	15	52.42	22.74	1.17	30	10.42	1.313	1312.628	0.656	0.984	1.313	35.441
8	13/09/2023	18	52.42	21.42	1.17	30	10.88	1.371	1371.006	0.686	1.028	1.371	37.017
9	15/09/2023	20	52.42	20.35	1.17	30	11.26	1.418	1418.328	0.709	1.064	1.418	38.295
10	17/09/2023	22	52.42	21.42	1.17	30	10.88	1.371	1371.006	0.686	1.028	1.371	37.017
11	20/09/2023	25	52.42	22.74	1.17	30	10.42	1.313	1312.628	0.656	0.984	1.313	35.441
12	22/09/2023	27	52.42	21.42	1.17	30	10.88	1.371	1371.006	0.686	1.028	1.371	37.017
13	25/09/2023	30	52.42	20.35	1.17	30	11.26	1.418	1418.328	0.709	1.064	1.418	38.295
14	27/09/2023	32	52.42	21.42	1.17	30	10.88	1.371	1371.006	0.686	1.028	1.371	37.017
15	29/09/2023	34	52.42	24.03	1.17	30	9.96	1.256	1255.576	0.628	0.942	1.256	33.901
16	02/10/2023	37	52.42	29.32	1.17	30	8.11	1.022	1021.621	0.511	0.766	1.022	27.584
17	05/10/2023	40	52.42	22.74	1.17	30	10.42	1.313	1312.628	0.656	0.984	1.313	35.441
18	08/10/2023	43	52.42	21.42	1.17	30	10.88	1.371	1371.006	0.686	1.028	1.371	37.017
19	10/10/2023	45	52.42	24.03	1.17	30	9.96	1.256	1255.576	0.628	0.942	1.256	33.901
20	12/10/2023	47	52.42	24.03	1.17	30	9.96	1.256	1255.576	0.628	0.942	1.256	33.901
21	14/10/2023	49	52.42	24.03	1.17	30	9.96	1.256	1255.576	0.628	0.942	1.256	33.901
22	17/10/2023	52	52.42	19.29	1.17	30	11.63	1.465	1465.207	0.733	1.099	1.465	39.561
23	19/10/2023	54	52.42	18.00	1.17	30	12.08	1.522	1522.259	0.761	1.142	1.522	41.101
24	22/10/2023	57	52.42	18.07	1.17	30	12.06	1.519	1519.163	0.760	1.139	1.519	41.017
25	24/10/2023	59	52.42	17.78	1.17	30	12.16	1.532	1531.989	0.766	1.149	1.532	41.364
26	26/10/2023	61	52.42	17.78	1.17	30	12.16	1.532	1531.989	0.766	1.149	1.532	41.364
27	28/10/2023	63	52.42	18.00	1.17	30	12.08	1.522	1522.259	0.761	1.142	1.522	41.101
28	30/10/2023	65	52.42	18.00	1.17	30	12.08	1.522	1522.259	0.761	1.142	1.522	41.101
29	01/11/2023	67	52.42	17.93	1.17	30	12.11	1.525	1525.355	0.763	1.144	1.525	41.185
30	03/11/2023	69	52.42	17.85	1.17	30	12.13	1.529	1528.893	0.764	1.147	1.529	41.280
31	05/11/2023	71	52.42	13.49	1.17	30	13.66	1.722	1721.718	0.861	1.291	1.722	46.486
32	07/11/2023	73	52.42	12.08	1.17	30	14.16	1.784	1784.077	0.892	1.338	1.784	48.170
33	12/11/2023	78	52.42	9.27	1.17	30	15.15	1.908	1908.352	0.954	1.431	1.908	51.526
34	14/11/2023	80	52.42	6.46	1.17	30	16.13	2.033	2032.627	1.016	1.524	2.033	54.881
35	16/11/2023	82	52.42	6.46	1.17	30	16.13	2.033	2032.627	1.016	1.524	2.033	54.881
36	18/11/2023	84	52.42	6.46	1.17	30	16.13	2.033	2032.627	1.016	1.524	2.033	54.881
37	21/11/2023	87	52.42	6.46	1.17	30	16.13	2.033	2032.627	1.016	1.524	2.033	54.881
38	23/11/2023	89	52.42	3.65	1.17	30	17.12	2.157	2156.902	1.078	1.618	2.157	58.236
39	26/11/2023	92	52.42	2.25	1.17	30	17.61	2.219	2218.818	1.109	1.664	2.219	59.908
40	29/11/2023	95	52.42	3.65	1.17	30	17.12	2.157	2156.902	1.078	1.618	2.157	58.236
41	02/12/2023	98	52.42	5.06	1.17	30	16.62	2.095	2094.543	1.047	1.571	2.095	56.553
42	04/12/2023	100	52.42	7.87	1.17	30	15.64	1.970	1970.268	0.985	1.478	1.970	53.197
43	07/12/2023	103	52.42	6.46	1.17	30	16.13	2.033	2032.627	1.016	1.524	2.033	54.881
44	10/12/2023	106	52.42	5.06	1.17	30	16.62	2.095	2094.543	1.047	1.571	2.095	56.553
45	12/12/2023	108	52.42	14.89	1.17	30	13.17	1.660	1659.802	0.830	1.245	1.660	44.815
46	16/12/2023	112	52.42	7.87	1.17	30	15.64	1.970	1970.268	0.985	1.478	1.970	53.197
47	21/12/2023	117	52.42	3.65	1.17	30	17.12	2.157	2156.902	1.078	1.618	2.157	58.236
48	23/12/2023	119	52.42	3.65	1.17	30	17.12	2.157	2156.902	1.078	1.618	2.157	58.236
49	25/12/2023	121	52.42	3.65	1.17	30	17.12	2.157	2156.902	1.078	1.618	2.157	58.236
50	27/12/2023	123	52.42	6.46	1.17	30	16.13	2.033	2032.627	1.016	1.524	2.033	54.881
51	30/12/2023	126	52.42	14.89	1.17	30	13.17	1.660	1659.802	0.830	1.245	1.660	44.815
52	03/01/2024	130	52.42	13.49	1.17	30	13.66	1.722	1721.718	0.861	1.291	1.722	46.486
53	05/01/2024	132	52.42	9.27	1.17	30	15.15	1.908	1908.352	0.954	1.431	1.908	51.526
54	08/01/2024	135	52.42	5.06	1.17	30	16.62	2.095	2094.543	1.047	1.571	2.095	56.553
TOTAL										44.774	67.161	89.548	2417.794

Influencia del hidrogel y niveles de lámina de agua en el rendimiento de tomate (*Lycopersicum esculentum*)

Ccorimanya Mauli Pelayo, Villar Rodríguez Jaime, Tineo Bermúdez Alex Lázaro, Sulca Castilla Orlando Fidel y Del Águila Ríos Sandra

Agua, suelo y desarrollo rural, cambio climático en sistemas agrarios

pelayo.ccorimanya.01@unsch.edu.pe

jaime.villar@unsch.edu.pe

alex.tineo@unsch.edu.pe

orlando.sulca@unsch.edu.pe

sandra.delaguila@unsch.edu.pe

RESUMEN

En la actualidad las tendencias recientes indican un rol cada vez mayor sobre la administración y preservación del agua, precisamente en el uso eficiente del recurso hídrico. Esta indagación tuvo como propósito conocer el efecto del hidrogel y tres niveles de lámina de agua en el rendimiento de tomate en invernadero. Conduciendo seis tratamientos, con arreglo factorial $2H \times 3L$ (H: h0, sin hidrogel, h1, con hidrogel; L: l1, lámina de agua 50%, l2, lámina de agua 75% y l3: lámina de agua 100%), conducido con el Diseño Completamente al Azar, con seis repeticiones con un total de 36 unidades experimentales. Los parámetros evaluados fueron: porcentaje de materia seca total, altura de planta, rendimiento de frutos de categorías comerciales, número de frutos por planta, porcentaje de retención de humedad y eficiencia de uso del agua (EUA). Los resultados del análisis estadístico mostraron que el hidrogel no presentó efecto significativo para las variables: rendimiento de materia seca, altura de planta, rendimiento de frutos de categoría segunda y el porcentaje de retención de humedad; sin embargo, T6 (h1+ l3) tuvo efecto significativo en el rendimiento de categoría extra y primera, número de frutos por planta y EUA. En cuanto a las láminas de agua, en la altura de planta el 100% tuvo efecto positivo, en rendimiento de segunda categoría no hubo diferencia significativa entre 75 y 100%; en retención de humedad la de 75% resulta con mejor respuesta y en porcentaje de materia seca no hubo diferencia significativa entre los tres niveles de lámina de agua.

Palabras clave: Hidrogel, láminas de agua, rendimiento, retención hídrica.

Influence of the hydrogel and water sheet levels on the tomato yield

(*Lycopersicum esculentum*)

SUMMARY

Currently, recent trends indicate an increasing role for water administration and preservation, precisely in the efficient use of water resources. The purpose of this investigation was to know the effect of the hydrogel and three levels of water layer on tomato yield in the greenhouse. Conducting six treatments, with a 2H*3L factorial arrangement (H: h0, without hydrogel, h1, with hydrogel; L: l1, 50% water sheet, l2, 75% water sheet and l3: 100% water sheet), conducted with the Completely Randomized Design, with six repetitions with a total of 36 experimental units. The parameters evaluated were: percentage of total dry matter, plant height, fruit yield of commercial categories, number of fruits per plant, percentage of moisture retention and water use efficiency (WUE). The results of the statistical analysis showed that the hydrogel did not present a significant effect for the variables: dry matter yield, plant height, second category fruit yield and the percentage of moisture retention; However, T6 (h1+ l3) had a significant effect on the yield of extra and first category, number of fruits per plant and EUA. Regarding the water sheets, 100% had a positive effect on plant height, in second category performance there was no significant difference between 75 and 100%; In humidity retention, 75% results in the best response and in percentage of dry matter there was no significant difference between the three levels of water level.

Keywords: Hydrogel, water sheets, performance, water retention.

INTRODUCCIÓN

Una de las funciones principales de la agricultura es la provisión de alimentos y seguridad alimentaria. No obstante, las tendencias recientes revelan un rol cada vez mayor referente a la administración y preservación del suelo y el agua. Con referencia a las anomalías climáticas globales, en muchas partes del mundo se han producido sequías debido a una ausencia prolongada o a una distribución deficiente de las precipitaciones, en distintas escalas de gravedad. Frente a esta problemática de la escasez del recurso hídrico, el estudio de los polímeros ha ayudado a fomentar el surgimiento de polímeros agrícolas centrándose en sustancias macromoleculares naturales/sintéticas como proteínas, poliacrilatos, poliacrilamidas y polisacáridos (Ekebafé *et al.*, 2011).

Los hidrogeles se han utilizado con éxito como mejoradores del suelo para aumentar la capacidad de retención de agua y/o de nutrientes de los suelos arenosos, con una posible reducción de la frecuencia de riego, tendencia a la compactación y escurrimiento de agua (Abd El-Rehim *et al.*, 2004; Montesano *et al.*, 2015).

Actualmente existen investigaciones que comprueban el efecto del hidrogel como una enmienda retentiva de humedad del suelo. Montesano *et al.*, (2015) en su investigación concluyen que el hidrogel tiene efectos beneficiosos sobre las propiedades de retención de agua de un suelo arenoso y de perlita (sustrato sin suelo), ambos reconocidos como malos retenedores de agua. Por otra parte, Ortega *et al.*, (2020) realizaron una investigación utilizando en sustrato el acrilato de potasio (hidrogel) en los cultivos de tomate y pepino bajo invernadero, en la cual concluye que el resultado fue favorable en el ahorro de agua, fertilizantes y la economía.

Joya (2019), sugiere el uso de polímeros retenedores de humedad ya que estas contribuyen notoriamente en la mejora de la productividad, aun habiendo escasez hídrica para la producción del cultivo, por lo cual estarían disminuyendo las condiciones de estrés hídrico.

El objetivo del presente trabajo consistió en evaluar la influencia del hidrogel y tres niveles de lámina de agua en el rendimiento de tomate en macetas bajo invernadero.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en ambientes del Centro Experimental de Canaán de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga (UNSCH), ubicada en el distrito de Andrés Avelino Cáceres Dorregaray, Ayacucho, Perú, a 2750 m.s.n.m. La unidad experimental (UE) consistió en macetas (30 cm de altura y 40 cm de diámetro) de material plástico, con capacidad para 20 kg de suelo, en las cuales se cultivó una planta de tomate variedad Río Grande proveniente de un almácigo, en condiciones de invernadero.

La muestra de suelo se obtuvo de un terreno; de topografía plana, superficial, textura franco limoso, pH 7,4, capacidad de campo 52.42%, punto de marchitez 14.89%, y densidad aparente 1,17 g cm⁻³. Las características químicas, determinadas en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Aguas y Foliare del INIA – LABSAF, indican que el suelo tiene 4,30% de materia orgánica, 0,22% de N total, 10,80 ppm de P disponible, 581.10 ppm de K disponible; su CIC es de 4,27 meq/100g, los cationes cambiabes, predominantes son: Ca⁺², Mg⁺², K⁺, 3,51, 0,23, y 0,48 meq/100g, respectivamente.

Se utilizaron plántulas de tomate variedad Río Grande, este cultivar se caracteriza por su consistencia herbácea y crecimiento determinado. El ciclo fenológico varía entre 90 a 120 días. Se eligió esta especie como cultivo indicador debido a su precocidad y adaptación a las condiciones climáticas de los valles interandinos. Los factores en estudio fueron, el hidrogel y tres niveles de lámina de agua, 50, 75 y 100% respecto a la capacidad de campo del sustrato utilizado.

Tratamientos y diseño experimental

Se condujo un total de 6 tratamientos producto del arreglo factorial (2H*3L), en base a niveles de lámina de agua, con y sin hidrogel. La descripción se muestra en la Tabla 1. Las unidades experimentales (UE) estuvieron distribuidas en 6 filas (separadas a 1 m) y 6 columnas (separadas a 0,50 m); de manera que fue necesario construir un invernadero de 28 m² (7 m x 4 m), para albergar 36 plantas de tomate.

Tabla 1

Descripción de los tratamientos

Tratamiento	Descripción	Código
T1	Sin hidrogel - lámina de agua (50 %)	H0L1
T2	Sin hidrogel - lámina de agua (75 %)	H0L2
T3	Sin hidrogel - lámina de agua (100 %)	H0L3
T4	Con hidrogel (12 g) - lámina de agua (50 %)	H1L1
T5	Con hidrogel (12 g) - lámina de agua (75 %)	H1L2
T6	Con hidrogel (12 g) - lámina de agua (100 %)	H1L3

Instalación y conducción del experimento

Preparación y llenado del sustrato

El sustrato consistió de tierra agrícola, zarandeado libre de impurezas. Luego se realizó el llenado de las macetas hasta un 80 % de su capacidad.

Instalación de los sensores de humedad

Se instalaron los sensores de humedad a cada unidad experimental a una profundidad de 10 cm, para el control de humedad del suelo con el Hardware Arduino.

Determinación del contenido de humedad del sustrato por el método gravimétrico

Se procedió a colocar una muestra de cada sustrato utilizado en una maceta, luego se aplicó un volumen de agua hasta el estado de saturación, este se dejó que escurra totalmente por 24 horas. Posteriormente se sacaron muestras de forma diaria, durante 8 días, las muestras se llevaron al laboratorio donde se determinó su contenido de humedad. En el laboratorio se pesaron las muestras húmedas (Psh) y se llevó a secar a la estufa a 105 °C por 24 horas. Al sacarlas de la estufa, se pesaron las muestras secas (Psse) y se determinaron el porcentaje de humedad a base del peso seco de la muestra del suelo, mediante la siguiente fórmula.

$$\%H = \frac{Psh - Psse}{Psse} * 100$$

H: humedad, a base del peso seco del suelo (%)

Psh: peso húmedo de la muestra del suelo (g)

Psse: peso seco de la muestra del suelo a la estufa (g)

De la misma forma se determinó la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente del suelo, los resultados se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2

Determinación de la humedad gravimétrica del sustrato

N°	Fecha	PLr (g)	PLr +Psh (g)	Psh (g)	PLr +Psse (g)	Psse (g)	% humedad
1	15/08/2023	149.48	302.94	153.46	250.16	100.68	52.42
2	16/08/2023	142.00	251.26	109.26	218.71	76.71	42.43
3	17/08/2023	147.81	251.00	103.19	226.01	78.2	31.96
4	18/08/2023	139.43	250.76	111.33	231.12	91.69	21.42
5	19/08/2023	148.59	280.09	131.5	254.61	106.02	24.03
6	20/08/2023	142.78	245.22	102.44	229.43	86.65	18.22
7	21/08/2023	149.26	263.41	114.15	246.3	97.04	17.63
8	22/08/2023	141.06	248.03	106.97	234.17	93.11	14.89

Determinación del contenido de humedad del sustrato con hardware arduino

Se instaló un sensor de humedad a una profundidad de 10 cm, en la maceta que contiene las muestras de sustrato que se utiliza en el método gravimétrico, antes de aplicar el volumen de agua hasta el estado de saturación. Pasado las 24 horas se procedió a tomar lecturas con el Hardware Arduino, este procedimiento se llevó a cabo paralelamente con el método gravimétrico, los resultados se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3

Humedad del sustrato con la lectura de Hardware Arduino

N°	Fecha	% Humedad
1	15/08/2023	80
2	16/08/2023	79
3	17/08/2023	78
4	18/08/2023	70
5	19/08/2023	72
6	20/08/2023	67
7	21/08/2023	59
8	22/08/2023	58

Calibración de hardware arduino

La calibración del sensor resistencia-tensión se realizó para determinar las equivalencias entre los datos obtenidos del método gravimétrico y los registrados con las lecturas del Hardware Arduino, los resultados se muestran en la Tabla 4. Se muestra las equivalencias entre la humedad gravimétrica y la lectura del Arduino. Se determinó la capacidad de campo del sustrato 52.42% que en el arduino equivale a 80% y el punto de marchitez permanente 14.89% equivalente a 58% en el Arduino.

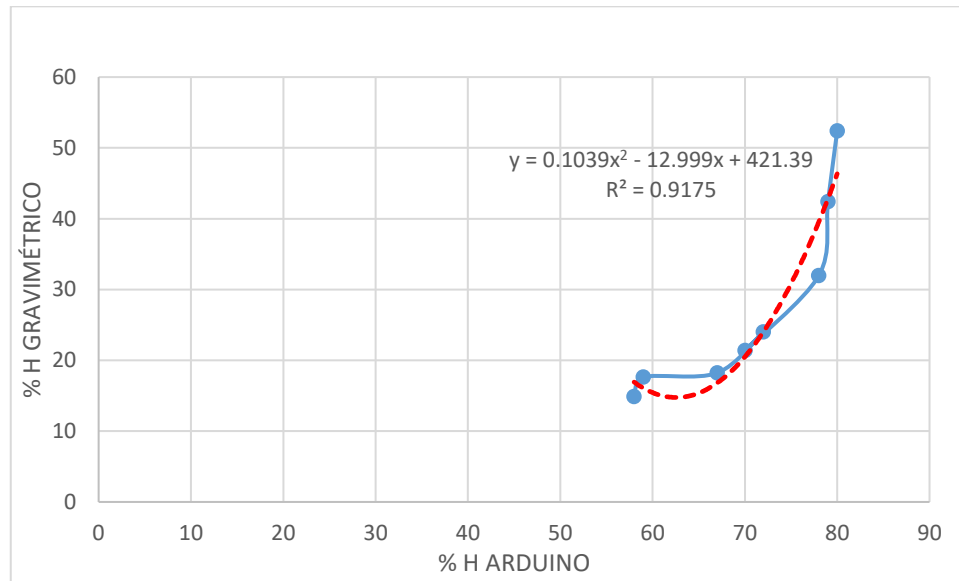
Tabla 4

Calibración del hardware arduino

N°	Fecha	%H Arduino	%H Gravimétrico
1	15/08/2023	80	52.42
2	16/08/2023	79	42.43
3	17/08/2023	78	31.96
4	18/08/2023	70	21.42
5	19/08/2023	72	24.03
6	20/08/2023	67	18.22
7	21/08/2023	59	17.63
8	22/08/2023	58	14.89

Figura 1

Curva de calibración



Establecimiento de láminas de riego

La cantidad de riego se estableció mediante la fórmula de lámina de agua, para ello se utilizó la capacidad de campo del sustrato utilizado 52.42% que equivale a 80% en la lectura del Hardware Arduino, la humedad actual del suelo obtenido con la lectura del Hardware Arduino de forma interdiario con su respectiva equivalencia (tabla 4), la densidad aparente de 1.17 g/cm³ y la profundidad radicular de 30 cm correspondiente a la altura de la maceta.

$$La = \frac{\%CC - \%H}{100} \times Pa \times Pr$$

La: Lámina de agua (mm)

CC: Humedad a capacidad de campo (%)

H: Humedad actual del suelo (%)

Pa: Densidad aparente (g/cm³)

Pr: Profundidad radicular (cm)

Después del cálculo de láminas de agua, se realizó la conversión a litros de agua para poder aplicar el riego correspondiente a cada tratamiento, mediante la siguiente equivalencia:

$$1 \text{ mm} = \frac{1L}{m^2} = \frac{10m^3}{ha}$$

La frecuencia de riego fue interdiario, reponiendo el 50, 75 y 100% de la capacidad de campo de acuerdo a los tratamientos.

Incorporación del hidrogel

Se realizó la activación del hidrogel con agua, una hora antes del trasplante de las plántulas, la dosis fue de 12 g por litro de agua. Luego se procedió a la incorporación del hidrogel activado a los tratamientos correspondientes.

Trasplante

Previo riego de acuerdo con el establecimiento de las láminas de agua, se procedió al trasplante de las plántulas de tomate, éstas ya presentaban tres a cuatro hojas verdaderas y su altura oscilaba entre 10 a 15 cm.

Conducción del cultivo

Esta etapa, que duró desde el trasplante hasta culminar con la cosecha de frutos, consistió en realizar labores de fertilización, deshierbo, control fitosanitario, poda, tutorado y riego de acuerdo al establecimiento de los tratamientos; la cosecha de frutos se inició el 23 de noviembre de 2023.

Cosecha

La cosecha se realizó de acuerdo a la madurez comercial, se recogió los frutos en ocho oportunidades a medida que maduraban poco a poco, la primera cosecha fue a los 90 días después del trasplante y el último a los 137 días después del trasplante.

Análisis estadístico

El trabajo de investigación corresponde a un arreglo factorial de 2H*3L (H, con y sin hidrogel y L, niveles de lámina de agua), dispuestos en el Diseño Completamente al Azar (DCA) con 6 repeticiones, haciendo un total de 36 unidades experimentales.

El modelo aditivo lineal es:

$$Y_{ijk} = \mu + A_j + B_k + (AB)_{jk} + e_{ijk}$$

Donde:

- ✓ Y_{ijk} = Es la observación de la unidad experimental.
- ✓ μ = Es la media general.
- ✓ A_j = Es el efecto debido al j-ésimo del factor hidrogel.
- ✓ B_k = Es el efecto debido al k-ésimo del factor niveles de lámina de agua.
- ✓ $(AB)_{jk}$ = Efecto de la interacción entre el j-ésimo del factor hidrogel y el k-ésimo del factor niveles lámina de agua.
- ✓ e_{ijk} = Es el efecto del error experimental.

Después de evaluar las variables, se procedió a realizar el análisis de varianza (ANVA), con un nivel de confianza del 95% y pruebas de significación utilizando Tukey ($p < 0.05$), para comparación de medias.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 5, se presenta el análisis de factores principales para el rendimiento de la materia seca total, se observa que estadísticamente no hay una diferencia significativa entre los tratamientos con y sin hidrogel, asimismo entre los niveles de lámina de agua. Sin embargo, numéricamente el tratamiento 5 (con hidrogel y 75% de lámina de agua) tiene una mínima superioridad en el rendimiento de materia seca total (14.30%) en relación a los demás tratamientos.

Tabla 5

Efecto de hidrogel y tres niveles de lámina de agua sobre el rendimiento de materia seca total, altura de planta y la retención de humedad del suelo

Tratamientos	Rendimiento de materia seca total (%)	Altura de planta (cm)	Retención de humedad del suelo (%)
T1	13.2817 a*	52.500 c	59.953 c
T2	13.6267 a	63.667 b	66.190 ab
T3	13.7233 a	79.833 a	65.118 bc
T4	14.0367 a	49.167 c	53.048 d
T5	14.2950 a	65.833 b	72.287 a
T6	13.0683 a	80.833 a	66.047 bc

*Valores con la misma letra en cada columna no presentan diferencias entre tratamientos (Tukey, $p < 0.05$)

El resultado coincide con lo reportado por Ortega *et al.*, (2001), en su investigación, en la que evaluaron el efecto de cuatro láminas de agua (70, 100 y 150% de la ETr) y un testigo en el cultivo de tomate, en la cual no encontraron una diferencia significativa en el rendimiento de la materia seca. Por otra parte, Medina & Samudio (2022), evaluaron el efecto de dos tipos de hidrogel en cuatro dosis, el poliacrilato de potasio (0, 1, 2 y 3g) y el poliacrilato de sodio (0, 0.5, 1.0 y 1.5g) en el rendimiento de materia seca y sistema radicular del cultivo de frijol (*Vigna unguiculata*) en invernadero, estadísticamente no encontraron diferencia significativa en el rendimiento de materia seca entre los productos y las diferentes dosis de hidrogeles aplicados.

Lo expresado anteriormente se justifica con lo expuesto por Núñez *et al.*, (2012), quienes realizaron una investigación en el cultivo de tomate en invernadero, con el propósito de conocer su crecimiento y desarrollo, así como su partición y acumulación de materia seca durante todo el ciclo fenológico, en la cual demostraron que el cultivo acumuló 1003,47 g de materia seca por planta, de los cuales el 54% se destinó hacia los frutos y el 46% restante hacia las hojas y tallos.

En relación a la altura de planta (Tabla 5), el estudio indica que no hay diferencia significativa entre los tratamientos con y sin hidrogel, entre los niveles de lámina de agua hay diferencia significativa. La lámina de agua de 100% resultó con mejor respuesta en esta variable, las alturas de planta 80.83 y 79.83 cm corresponden a los tratamientos 6 y 3 con y sin hidrogel respectivamente, las alturas de planta más bajas resultaron con la lámina de agua de 50%, 52.50 y 49.17 cm pertenecientes a los tratamientos 1 y 4 sin y con hidrogel respectivamente.

La aplicación del hidrogel no tiene una influencia significativa para la variable altura de planta, lo cual tiene concordancia con lo reportado por Rivera *et al.*, (2018), manifiestan que probaron cinco dosis de hidrogel (0,5, 1,0, 1,5, 2,0 y 2,5 g/planta) en el cultivo de pimiento, en la cual no hubo diferencia significativa en la altura de planta. Por su parte Liñan (2023), en su trabajo de investigación evaluó la influencia de cuatro dosis de hidrogel (10, 15, 20 y 25 g/planta) en el cultivo de frijol, quien indica que no encontró evidencia estadística entre las diferentes dosis de hidrogel en la variable de altura de planta.

Los niveles de láminas de agua tienen influencia altamente significativa en la variable estudiado, lo cual presenta una similitud con lo reportado por Ferreyra (1987), quien indica que las cantidades de agua aplicadas de forma creciente (0 a 130% de la ETr) a cultivos de tomate en condiciones de campo, incrementan sus rendimientos de manera lineal. Por otro lado, Mancini y Caliandro (1989) evaluaron la influencia de tres láminas de agua (50, 100 y 150% de la ETr) en el rendimiento de tomate en condiciones de invernadero, en la que encontraron mayor rendimiento con el 100% de la ETr.

Con respecto a la retención de humedad del suelo (Tabla 5), se muestra que el hidrogel no tiene influencia significativa en esta variable. En cuanto a los niveles de lámina de agua el de 75% tiene mejor respuesta en la retención de humedad del suelo con respecto a 50 y 100%. El porcentaje de humedad del suelo más alto (72.28%) corresponde al tratamiento 5 (240 kg/ha de hidrogel y lámina de agua 75%) y la humedad del suelo más bajo (53.048%) corresponde al tratamiento 4 (240 kg/ha de hidrogel y lámina de agua 50%). Al respecto Ruiz *et al.*, (2016), indican que la retención de humedad tiene una estrecha relación con la superficie específica y el contenido de arcilla. En el estudio, la incorporación del hidrogel no tiene una influencia significativa en esta variable, esto se debe a la clase textural del sustrato utilizado, franco limoso y el alto contenido de materia orgánica, (4.30%).

En suelos de textura arenosa el hidrogel tiene mayor efecto en la retención de humedad del suelo, como lo demuestran las investigaciones de Idrobo *et al.* (2010), quienes evaluaron la influencia del hidrogel en un suelo arenoso, utilizando como indicador el cultivo de rábano; señalan que la mayor cantidad de hidrogel en el suelo aumenta la capacidad de retención de la humedad. Asimismo, Joya (2019), indica que en suelo de textura arenoso, el porcentaje de retención de humedad se presenta con mayor eficiencia cuando la dosis de hidrogel es alta y con riego adecuado.

Tabla 6

Efecto de hidrogel y tres niveles de lámina de agua sobre el calibre de frutos comerciales y número de frutos por planta

Tratamientos	Extra y primera (kg/planta)	Segunda (kg/planta)	Número de frutos por planta
T1	0.1973 c*	0.39233 bc	16.667 c
T2	0.4908 bc	0.67183 ab	29.000 b
T3	0.8113 b	0.71667 a	33.167 b
T4	0.1523 c	0.31733 c	13.333 c
T5	0.3768 c	0.79667 a	28.667 b
T6	1.5870 a	0.86250 a	49.500 a

*Valores con la misma letra en cada columna no presentan diferencias entre tratamientos (Tukey, $p < 0.05$)

El efecto de tres niveles de láminas de agua con y sin hidrogel sobre el rendimiento de frutos de categoría extra y primera se muestra en la Tabla 6, existe diferencia significativa entre los tratamientos con y sin hidrogel solo cuando la lámina de agua es 100%, con las láminas de 50 y 75% no se muestra diferencia significativa. El mayor rendimiento de frutos (1.587 kg/planta equivalente a 31.74 tn/ha) corresponde al tratamiento 6 (240 kg/ha de hidrogel y lámina de agua 100%) y el menor rendimiento de frutos (0.152 kg/planta equivalente a 3.046 tn/ha) correspondió al tratamiento 4 (240 kg/ha de hidrogel y lámina de agua 50%).

El resultado anterior concuerdan con lo reportado por Mahgoub (2020), pone de manifiesto sobre la influencia de dos niveles de hidrogel en el rendimiento del cultivo de tomate (HG1, 2 g/planta y HG2, 4 g/planta), fertilizantes recomendados (F) y combinación de hidrogel y media cantidad de fertilizantes recomendados (HG1+0,5 F y HG2+0,5 F), los resultados indicaron que el mayor número y peso de frutos (2.01kg/planta) se registró en el tratamiento (HG2, 4 g/planta), seguido del tratamiento (HG2+0,5 F). Asimismo, Jeevan *et al.*, (2023), manifiestan que la interacción entre el

riego y los niveles de hidrogel mostró un efecto significativo sobre los atributos de rendimiento en el cultivo de tomate. Relación de la cantidad de agua aplicada y la evaporación acumulada en el recipiente (IW/CPE) de 1,0 con gel de pusa a 11,2 kg ha⁻¹ registró un mayor rendimiento de frutos (72,4 t ha⁻¹), que estaba a la par con una relación IW/CPE de 1,0 con gel zeba a 37,5 kg ha⁻¹. El nivel de riego de 0,6 IW/CPE con el control registró un menor rendimiento de frutos (58,2 t ha⁻¹). Todos estos efectos son resumidos por Jeevan *et al.*, (2023), expresan que una mayor aplicación de agua con una mayor tasa de hidrogel almacena más agua y nutrientes en comparación con niveles más bajos de riego con una menor tasa de hidrogel.

En relación al efecto de tres niveles de láminas de agua con y sin hidrogel sobre el rendimiento de frutos de categoría segunda se muestra en la Tabla 6, se observa que entre los tratamientos con y sin hidrogel no hay diferencia significativa, en los niveles de láminas de agua solo la lámina de agua de 50% muestra diferencia significativa con respecto a las láminas de 75 y 100%. El rendimiento de frutos más alto (0.862 kg/planta equivalente a 17.250 tn/ha) corresponde al tratamiento 6 (240 kg/ha de hidrogel y 100% de lámina de agua) y el rendimiento de frutos más bajo (0.317 kg/planta, equivalente a 6.347 tn/ha) correspondió al tratamiento 4 (240 kg/ha de hidrogel y lámina de agua 50%). Similar respuesta fue reportada por Diaz (2018), en su trabajo de investigación, en la que evaluó el efecto de tres dosis de hidrogel (14.00, 20.00 y 26.00 g/planta) y un testigo en la producción del cultivo de papa (*Solanum tuberosum*), en dos tipos de suelos, arenoso franco y franco arenoso; en la cual no encontró ninguna diferencia significativa entre los tratamientos en la variable rendimiento de frutos de categoría segunda. Por otra parte, el resultado tiene concordancia con lo reportado por Ortega *et al.*, (2001), quienes dan a conocer que evaluaron cuatro láminas de agua (70, 100 y 150% de la ETr) y un testigo que correspondió que el agricultor tradicionalmente usa en la zona, en los resultados no encontraron una diferencia significativa en el rendimiento de calibre de frutos de segunda categoría del cultivo de tomate.

Con respecto a la variable número de frutos por planta (Tabla 6), se muestra que en los tratamientos con y sin hidrogel solo hay diferencia significativa con el nivel de lámina de agua de 100%, con los niveles de 50 y 75% no hay diferencia significativa. Por otra parte, se observa que el nivel de lámina de agua de 75% con hidrogel y la lámina de agua de 100% sin hidrogel no tienen diferencia significativa, esto nos indica que tienen rendimientos similares en la variable número de frutos por planta. El mejor rendimiento

en cuanto a número de frutos por planta (50) corresponde al tratamiento 6 (con hidrogel y 100% de lámina de agua) y el número de frutos más bajo (13 frutos/planta) corresponde al tratamiento 4 (con hidrogel y lámina de agua 50%).

El resultado obtenido tiene concordancia con lo reportado por Trebejo (2020), en el efecto positivo al incrementar el rendimiento del número de frutos por planta, aplicando hidrogel en el cultivo de tomate en invernadero, quien demuestra que al evaluar cuatro dosis de poliacrilato de potasio (0, 3, 5 y 7 g/planta) encontró una diferencia significativa en la variable número de frutos por planta y afirma que estadísticamente es superior el tratamiento con la dosis de 7g/planta de hidrogel con respecto al resto.

Con respecto a los niveles de láminas de agua, Aouada *et al.*, (2008) citado por Guilherme *et al.*, (2015), manifiestan que la biodisponibilidad adecuada de agua y nutrientes en los suelos es importante para el crecimiento y desarrollo de las plantas. Como consecuencia, los índices de productividad de hortalizas, leguminosas, cereales y gramíneas son mayores.

Consumo de agua

La cantidad de agua entregado fue de 537.29 litros a la lámina de 50%, 805.93 litros a la lámina de 75% y 1074.58 litros a la lámina de 100%. La diferencia entre los niveles de láminas de agua aplicados fue de 268.64 litros o 0.27 m³, como se presenta en la Tabla 7.

Tabla 7

Volúmenes de agua consumidos durante la campaña

Niveles de lámina de agua	Tratamientos	Consumo de agua/planta (L)	Consumo total (L)	Consumo total (m ³ /Ha)
50%	1	44.774	268.64	895.479
	4	44.774	268.64	895.479
75%	2	67.161	402.97	1343.219
	5	67.161	402.97	1343.219
100%	3	89.548	537.29	1790.958
	6	89.548	537.29	1790.958

Eficiencia de uso del agua (EUA)

El promedio de la eficiencia en el uso del agua fue de 7.92 kg/m³, con el valor mínimo y máximo de 3.40 y 17.72 kg/m³ respectivamente. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 8.

Tabla 8*Uso eficiente de agua promedio por tratamiento*

Tratamientos	UEA (kg/m ³)
1	4.41
4	3.40
2	7.31
5	5.61
3	9.06
6	17.72
Promedio	7.92

Los valores del UEA muestran que con el tratamiento 6 (240 kg/ha de hidrogel y lámina de agua 100%), se alcanza a producir 17.72 kg de frutos de tomate de la categoría comercial extra y primera por 1 m³ de agua aplicada. La lámina de agua de 100% con hidrogel resulta beneficioso, en vista de que se logra mayor rendimiento de frutos de la categoría comercial y es el más eficiente en el uso del agua comparando con la lámina de agua de reposición del 100% sin hidrogel.

En el resultado obtenido, el hidrogel no influye en el rendimiento del frutos cuando las láminas de agua es deficitario (50%) y moderado (75%), pero si influye con la lámina adecuado (100%). Al respecto, Nirmala & Thirupathaiah (2019), manifiestan que el estrés hídrico es uno de los factores primordiales que limitan el crecimiento de los cultivos, la productividad y la calidad de los frutos.

En cuanto a la eficiencia del uso de agua (EUA), el resultado tiene cierta semejanza con lo reportado por Garrido (2013), quien indica que evaluó el uso de un hidrogel a base de poliacrilamida en condiciones de invernadero en dos dosis (0 y 50 kg/ha) y dos niveles de lámina de agua (80% y 100% de la ETc) en cultivo de pimiento, con la lámina de agua de 80% más la dosis de hidrogel obtuvo 5.5 kg/m³, mientras que con la lámina de agua 100% más la dosis de hidrogel obtuvo 4.6 kg/m³, pero no halló contraste significativo entre los tratamientos. La diferencia de los resultados con la lámina de agua de 100% con hidrogel, puede deberse a la dosis aplicada, pues en el caso del presente estudio se utilizó 240 kg/ha. Al respecto Jeevan *et al.*, (2023), afirmaron que una mayor aplicación de agua con una mayor tasa de hidrogel almacena más agua y nutrientes en comparación con niveles más bajos de riego con una menor tasa de hidrogel.

Por otra parte, en el factor de láminas de agua, el resultado no coincide con el reporte de Colimba (2022), quien evaluó cuatro láminas de agua (80, 100, 120 y 140% de ETc) y

dos frecuencias de riego (uno y dos riegos al día) en el cultivo de tomate, en la cual las láminas de agua de 80 y 100% tuvieron 54.26 kg/m³ en rendimiento comercial mientras que la lámina de agua de 140% tuvo la menor eficiencia 42.81 kg/m³, el factor frecuencia de riego no ha influido de manera significativa en la EUA.

CONCLUSIONES

1. El hidrogel con la interacción de tres niveles de lámina de agua en el rendimiento de tomate (*Lycopersicum esculentum*) en macetas y condiciones de invernadero, tiene influencia significativa solo en el tratamiento 6 (240 kg/ha de hidrogel y lámina de agua de 100%) en el suelo de clase textural franco limoso, para las variables rendimiento de los frutos de categoría extra y primera, número de frutos por planta y eficiencia de uso del agua (EUA).
2. El empleo de hidrogel resulta significativo en el rendimiento del cultivo de tomate (*Lycopersicum esculentum*) para algunos parámetros evaluados en contraste a no emplearla. El hidrogel no tuvo influencia significativa en el rendimiento de materia seca total, la altura de planta, rendimiento de frutos de categoría segunda y en el porcentaje de retención de humedad del suelo. Sin embargo, se mostró diferencia significativa en el rendimiento de frutos de la categoría comercial extra y primera, número de frutos por planta y eficiencia de uso del agua.
3. La lámina de agua de 100% tiene una influencia significativa en la altura de planta, categoría comercial extra y primera, número de frutos por planta y en eficiencia de uso del agua (EUA). En la variable rendimiento de segunda categoría las láminas de agua de 75 y 100% resultaron con respuestas similares, en el porcentaje de retención de humedad del suelo la lámina de agua de 75% resulta con mejor respuesta y en el rendimiento de materia seca total no hubo diferencia significativa entre los tres niveles de lámina de agua.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abd El-Rehim, H. A., Hegazy, E.-S. A., & Abd El-Mohdy, H. L. (2004). Radiation Synthesis of Hydrogels to Enhance Sandy Soils Water Retention and Increase Plant Performance. *Journal of Applied Polymer Science*, 93(3), 1360–1371. <https://doi.org/10.1002/app.20571>

- Aouada, F. A., de Moura, M. R., Menezes, E. A., de Araujo Nogueira, A. R., & Capparelli Mattoso, L. H. (2008). Hydrogel synthesis and kinetics of ammonium and potassium release. *Revista Brasileira De Ciencia Do Solo*, 32(4), 1643-1649. https://www.researchgate.net/publication/262761030_Hydrogel_synthesis_and_kinetics_of_ammonium_and_potassium_release
- Colimba, J. E. (2022). *Eficiencia en el uso del agua en el cultivo de tomate bajo invernadero en Natabuela, Ecuador [Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid]*. <https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.73024>
- Diaz, A. (2018). *Efecto de tres dosis de hidrogel (poliacrálamida) en la producción del cultivo papa (solanum tuberosum) var. única en dos tipos, de suelo en el distrito de San Jerónimo - Andahuaylas región Apurímac [Tesis de Pregrado, UNSAAC]*. <http://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/20.500.12918/4272?locale-attribute=en>
- Ekebafé, L., Ogbeifun, D., & Okieimen, F. (2011). Polymer Applications in Agriculture. *Biokemistri*, 23(2), 81-89. https://www.researchgate.net/publication/268383590_Polymer_Applications_in_Agriculture
- Ferreira, R. (1987). Efecto de diferentes alturas de agua sobre el cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Relación evapotranspiración-rendimiento. *Agricultura Técnica*, 47(3), 254-259. <https://hdl.handle.net/20.500.14001/31016>
- Garrido, O. D. (2013). *Uso de un polímero hidrófilo en el cultivo de chile serrano (Capsicum annuum L.) en condiciones de invernadero [Tesis de Pregrado, Universidad de Sonora]*. <http://hdl.handle.net/20.500.12984/3176>
- Guilherme, M., Aouada, F., Fajardo, A., Martins, A., Paulino, A., Davi, M., . . . Muniz, E. (2015). Superabsorbent hydrogels based on polysaccharides for application in agriculture as soil conditioner and nutrient carrier: A review. *European Polymer Journal*, 72(1), 365-385. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2015.04.017>
- Idrobo, H. J., Rodríguez, A. M., & Díaz, J. E. (2010). Comportamiento del hidrogel en suelos arenosos. *Ingeniería de recursos naturales y del ambiente*(9), 33-37. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=231116434004>
- Jeevan, R., Dr. Ananthakumar, M., Dr. Kadalli, G., Dr. Thimmegowda, M., & Dr. Asha, N. (2023). Influence of hydrogel on growth, yield and soil properties at varied moisture regimes under drip fertigation of tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *The Pharma Innovation Journal*, 12(2), 1483-1488.

<https://www.thepharmajournal.com/archives/2023/vol12issue2/PartR/12-2-68-636.pdf>

- Joya, C. Y. (2019). *Enmiendas retentivas de humedad en el cultivo de acelga (Beta vulgaris var. cycla) cv. Fordhook Giant [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina]*. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/4095>
- Liñan, A. Y. (2023). *Uso de hidrogel en frijol (Phaseolus vulgaris L.) var. canario centenario bajo riego por goteo en condiciones de la Molina [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina]*. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/5833>
- Mahgoub, N. (2020). Effectiveness of Hydrogel Application on Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) Growth and some Sandy Soil Chemical Properties under Drip Irrigation System. *Journal of Soil & Water Sciences*, 5(1), 49-54. https://www.researchgate.net/publication/353011026_Effectiveness_of_Hydrogel_Application_on_Tomato_Solanum_lycopersicum_L_Growth_and_some_Sandy_Soil_Chemical_Properties_under_Drip_Irrigation_System
- Mancini , L., & Caliandro, A. (1989). The effect of irrigation method and regime on greenhouse salad tomatoes. *Irrigazione e Drenaggio*, 36, 70-73.
- Medina , A. Y., & Samudio , A. (2022). Comportamiento de polímeros hidroabsorbentes en suelos arcillosos de orden ultisol y vertisol, en la producción de materia seca y sistema radicular del cultivo de frijol (*Vigna unguiculata*) en invernadero. *Revista Investigaciones Agropecuarias*, 4(1), 30-50. <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/222/2222832003/index.html>
- Montesano, F., Parentea, A., Santamaria, P., Sannino, A., & Serio, F. (2015). Biodegradable Superabsorbent Hydrogel Increases Water Retention Properties of Growing Media and Plant Growth. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 4, 451 – 458. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2015.03.052>
- Nirmala , A., & Thirupathaiah , G. (2019). Hydrogel/superabsorbent polymer for water and nutrient management in horticultural crops-review. *International Journal of Chemical Studies*, 7(5), 787-795. <https://www.chemijournal.com/archives/?year=2019&vol=7&issue=5&ArticleId=7033&si=false>

- Núñez, F., Grijalva, R. L., Macías, R., Robles, F., & Ceceña, C. (2012). Crecimiento, acumulación y distribución de materia seca en tomate de invernadero. *Biotecnia*, 14(3), 25-31. <https://doi.org/10.18633/bt.v14i3.169>
- Ortega, A. E., Flores, L. B., Guevara, R. G., Rico, E., & Soto, G. M. (2020). Hidrogel acrilato de potasio como sustrato en cultivo de pepino y jitomate. *Revista Mexicana Ciencias Agrícolas*, 11(6), 1447-1455. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i6.2222>
- Ortega, S. F., Márquez, J., Valdés, H., & Paillán, J. H. (2001). Efecto de cuatro láminas de agua sobre el rendimiento y calidad de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill. cv. FA-144) de invernadero producido en otoño. *Agricultura Técnica*, 61(4), 479-487. <http://dx.doi.org/10.4067/S0365-28072001000400010>
- Rivera , R. D., Rodríguez , F., Mesías, F., & Mendoza, D. A. (2018). Hydrogel for improving water use efficiency of *Capsicum annuum* crops in Fluvisol soil. *Rev. FCA INCUYO*, 50(2), 23-31. <https://bdigital.uncu.edu.ar/11588>
- Ruiz, H., Sarli, G., Reynaud, C., Filgueira , R., & Silva de Souza, F. (2016). La superficie específica de oxisoles y su relación con la retención hídrica. *Rev. FCA UNCUYO*, 48(2), 95-105. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=382847506009>
- Trebejo, W. C. (2020). *Rendimiento del cultivo de tomate (Lycopersicum esculentum) variedad abigail a diferentes dosis de poliacrilato de potasio “lluvia sólida”, bajo condiciones de invernadero, Huaraz - 2017 [Tesis de Pregrado, UNASAM]*. <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/4928>

**UNSCH**FACULTAD DE CIENCIAS
AGRARIAS

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS
Bach. PELAYO CCORIMANYA MAULI
R.D. N° 193-2024-UNSCH-FCA-D

En la ciudad de Ayacucho a cinco días del mes de agosto del año dos mil veinticuatro, siendo las dieciocho horas, se reunieron en el auditorio de la Facultad de Ciencias Agrarias, bajo la presidencia del Dr. Felipe Escobar Ramírez Decano de la Facultad de Ciencias Agrarias; los miembros del jurado conformado por M.Sc. Alex Lázaro Tineo Bermúdez, Mtro. Jaime Villar Rodríguez como asesor, Ph.D. Sandra Del Águila Ríos y el Ing. Orlando Fidel Sulca Castilla; actuando como secretario de actas el Mtro. Rodolfo Alca Mendoza, para recibir la sustentación de la Tesis titulado: **Influencia del hidrogel y niveles de lámina de agua en el rendimiento de tomate (*Lycopersicum esculentum*), Canaán a 2750 m.s.n.m., Ayacucho-2023**, para obtener el Título Profesional de Ingeniero Agrónomo presentado por el Bachiller **PELAYO CCORIMANYA MAULI**

El señor Decano, previa verificación de los documentos exigidos solicitó se proceda con la sustentación y posterior defensa de la tesis en un periodo de cuarenta y cinco minutos de acuerdo al reglamento de grados y títulos vigente. Terminado la exposición, los miembros del Jurado, formularon sus preguntas, aclaraciones y/o observaciones correspondientes. Luego se invito a los miembros del jurado pasar a otra aula para la deliberación y calificación del trabajo de tesis, teniendo el siguiente resultado:

Jurado evaluador	Exposición	Respuestas a las preguntas	Generación de conocimiento	Promedio
M.Sc. Alex Lázaro Tineo Bermúdez	15	15	17	16
Mtro. Jaime Villar Rodríguez	16	17	17	17
Ph.D. Sandra Del Águila Ríos	17	16	16	16
Ing. Orlando Fidel Sulca Castilla	17	17	16	17
PROMEDIO GENERAL				17

Acto seguido se invita a la sustentante y publico en general para dar a conocer el resultado final. Firman el acta.


.....
M.Sc. Alex Lázaro Tineo Bermúdez
Presidente


.....
Mtro. Jaime Villar Rodríguez
Asesor


.....
Ph.D. Sandra Del Águila Ríos
Jurado


.....
Ing. Orlando Fidel Sulca Castilla
Jurado


.....
Mtro. Rodolfo Alca Mendoza
Secretario Docente



UNSCH

FACULTAD DE CIENCIAS
AGRARIAS

CONSTANCIA DE CONTROL DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE TESIS

El que suscribe coordinador responsable de la valoración y verificación de originalidad de los trabajos de investigación y de tesis de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, designado mediante la RCF N° 005-2024-UNSCH-FCA-CF; hace constar que el trabajo de tesis titulado;

Influencia del hidrogel y niveles de lámina de agua en el rendimiento de tomate (*Lycopersicum esculentum*), Canaán a 2750 m.s.n.m., Ayacucho-2023

Autor : Pelayo Ccorimanya Mauli
Asesor : Jaime Villar Rodríguez

Ha sido sometido al control de originalidad mediante el software TURNITIN UNSCH, acorde al Reglamento de originalidad de trabajos de investigación, aprobado mediante RCU N° 039-2021-UNSCH-CU, y RCU N° 1530-2023-UNSCH-CU, emitiendo un resultado de **diecinueve (19 %)** de índice de similitud, realizado con **depósito de trabajos estándar**.

En consecuencia, se otorga la presente Constancia de Originalidad para los fines pertinentes.

Nota: Se adjunta el resultado con Identificador de la entrega: 2431596900

Ayacucho, 13 de agosto de 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL DE
SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
Facultad de Ciencias Agrarias

Dr. Yuri Gálvez Gastelú
Coordinador de Control de originalidad

Influencia del hidrogel y niveles de lámina de agua en el rendimiento de tomate (*Lycopersicum esculentum*), Canaán a 2750 m.s.n.m., Ayacucho-2023

por Pelayo Ccorimanya Mauli

Fecha de entrega: 13-ago-2024 12:11p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2431596900

Nombre del archivo: INFORME_FINAL-BORRADORA.docx (7.75M)

Total de palabras: 18232

Total de caracteres: 98640

Influencia del hidrogel y niveles de lámina de agua en el rendimiento de tomate (*Lycopersicum esculentum*), Canaán a 2750 m.s.n.m., Ayacucho-2023

INFORME DE ORIGINALIDAD

19%	20%	3%	8%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.unsch.edu.pe	4%
	Fuente de Internet	
2	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga	3%
	Trabajo del estudiante	
3	repositorio.lamolina.edu.pe	1%
	Fuente de Internet	
4	agraria.pe	1%
	Fuente de Internet	
5	repositorio.unal.edu.co	1%
	Fuente de Internet	
6	repositorio.uaaam.mx	1%
	Fuente de Internet	
7	repository.unad.edu.co	1%
	Fuente de Internet	
8	repositorio.uta.edu.ec	1%
	Fuente de Internet	

9	google.redalyc.org Fuente de Internet	<1 %
10	hdl.handle.net Fuente de Internet	<1 %
11	faz.ujed.mx Fuente de Internet	<1 %
12	purl.org Fuente de Internet	<1 %
13	es.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %
14	biotecnia.unison.mx Fuente de Internet	<1 %
15	creativecommons.org Fuente de Internet	<1 %
16	redalyc.uaemex.mx Fuente de Internet	<1 %
17	1library.co Fuente de Internet	<1 %
18	repositorio.ucundinamarca.edu.co Fuente de Internet	<1 %
19	repositorio.unamba.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
20	repositorio.uaaan.mx:8080 Fuente de Internet	<1 %

21	repositorio.unesp.br Fuente de Internet	<1 %
22	repositorio.unsaac.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
23	www.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
24	livrosdeamor.com.br Fuente de Internet	<1 %
25	www.scielo.org.mx Fuente de Internet	<1 %
26	bdigital.uncu.edu.ar Fuente de Internet	<1 %
27	bibdigital.epn.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
28	core.ac.uk Fuente de Internet	<1 %
29	repositorio.unac.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
30	idus.us.es Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 30 words

Excluir bibliografía

Activo