

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**



**“LÁMINAS DE RIEGO EN EL CULTIVO DE PAPA (*Solanum  
tuberosum* L.) VARIEDAD “UNICA” MEDIANTE RIEGO POR  
GOTEO EN LA MOLINA”**

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

**RUDY CHUCHÓN PRADO**

**LIMA - PERÚ**

**2019**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**

**“LÁMINAS DE RIEGO EN EL CULTIVO DE PAPA (*Solanum tuberosum* L.) VARIEDAD “UNICA” MEDIANTE RIEGO POR GOTEO EN LA MOLINA”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE:

**INGENIERO AGRÍCOLA**

Presentado por:

**BACH. RUDY CHUCHÓN PRADO**

Sustentado y aprobado por el siguiente jurado:

Dr. NÉSTOR MONTALVO ARQUIÑIGO  
Presidente

Mg. Sc. MIGUEL ÁNGEL SÁNCHEZ DELGADO  
Asesor

Dr. JOSÉ LUIS CALLE MARAVÍ  
Miembro

Ing. ANTONIO CELESTINO ENCISO GUTIÉRREZ  
Miembro

LIMA – PERU

2019

## **DEDICATORIA**

Esta investigación se lo dedico a mis padres Marcelina y Euzebio, por su apoyo y comprensión a quienes les debo la vida y mi formación profesional.

A todas las personas que me apoyaron y creyeron en mí para lograr la culminación de este trabajo.

## **AGRADECIMIENTO**

A mi alma mater la Universidad Nacional Agraria La Molina y la Facultad de Ingeniería Agrícola por los años que me formaron en sus diferentes materias.

A mi patrocinador Mg. Sc. Miguel Sánchez, por su guía, consejos y transferencia de conocimientos que permitieron terminar esta investigación.

A mi Co-asesor Dr. Abel Mejía y miembros del jurado por compartir sus conocimientos y recomendaciones.

Al proyecto financiado por el Programa Nacional de Innovación Agraria (PNIA), contrato N° 016-2015-INIA/UPMSI/IE: “Uso efectivo del agua en el cultivo de papa en zonas áridas: mejorando el manejo del riego mediante monitoreo del estatus hídrico para enfrentar el Cambio Climático” y al equipo de investigadores y técnicos.

A Mg. Sc. Javier Rinza, por sus sugerencias y comentarios en la revisión de este trabajo.

A mis amigos.

# ÍNDICE GENERAL

<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	2
1.1.1 Objetivo general .....	2
1.1.2 Objetivos específicos .....	2
<b>II. REVISIÓN LITERARIA .....</b>	<b>3</b>
2.1 ESTRÉS .....	3
2.1.1 Estrés hídrico .....	3
2.1.2 El factor hídrico en la papa.....	4
2.2 ÍNDICE DE ESTRÉS HÍDRICO DEL CULTIVO .....	6
2.3 TERMOGRAFÍA.....	10
2.4 RIEGO POR GOTEO .....	12
2.4.1 Riego deficitario .....	12
2.4.2 Riego Deficitario Controlado (RDC) .....	13
2.4.3 Lámina de riego .....	13
2.4.4 Volumen de agua disponible .....	14
2.4.5 Tiempo de riego.....	14
2.4.6 Frecuencia de riego.....	14
2.4.7 Características del riego en el cultivo de papa .....	15
2.4.8 Coeficiente de uniformidad .....	16
2.5 CARACTERÍSTICAS DE LA ESPECIE EN ESTUDIO .....	17
2.5.1 Cultivo papa variedad “UNICA” .....	17
2.5.2 Origen .....	17
2.5.3 Descripción varietal .....	18
2.5.4 Comportamiento agronómico .....	18
2.5.5 Período vegetativo del cultivo de papa.....	19

2.6	DISPONIBILIDAD DE AGUA EN EL SUELO .....	20
2.6.1	Capacidad de campo (CC).....	21
2.6.2	Punto de marchitez permanente (PMP).....	21
2.7	MEDICIÓN DE LA HUMEDAD DEL SUELO.....	21
2.7.1	Método gravimétrico .....	22
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>		<b>23</b>
3.1	MATERIALES .....	23
3.1.1	Materiales y equipos de medición. ....	23
3.1.2	Área experimental.....	24
3.1.3	Clima y Meteorología.....	24
3.1.4	Descripción del área experimental .....	25
3.2	METODOLOGÍA .....	26
3.2.1	Características físicas y químicas del suelo.....	26
3.2.2	Agua .....	27
3.2.3	Tratamientos .....	27
3.2.4	Diseño experimental.....	28
3.2.5	Especificaciones de la siembra.....	30
3.2.6	Fases de campo.....	30
3.2.7	Durante la conducción del experimento .....	33
3.2.8	Análisis estadístico .....	40
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>		<b>41</b>
4.1	HUMEDAD DEL SUELO .....	41
4.2	PRUEBAS DE COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD.....	43
4.3	LÁMINAS DE RIEGO APLICADO .....	44
4.3.1	Lámina de riego del tratamiento T1 .....	44
4.3.2	Lámina de riego del tratamiento T2 .....	45
4.3.3	Lámina de riego del tratamiento T3 .....	46

4.3.4	Lámina neta de riego aplicado en cada etapa del cultivo .....	48
4.3.5	Análisis de Varianza.....	49
4.3.6	Comprobación de los supuestos .....	50
4.3.7	Prueba de Tukey .....	51
4.4	CUANTIFICACIÓN DEL AGUA .....	52
4.5	MEDICIÓN DE TEMPERATURA DE FOLLAJE PARA CALCULAR EL CWSI 53	
4.6	PROFUNDIDAD RADICULAR .....	54
4.7	EVALUACIÓN DE LA COSECHA .....	55
4.7.1	Análisis del ANOVA.....	55
4.7.2	Comprobación de los supuestos .....	56
4.7.3	Prueba de tukey .....	57
4.8	RELACIÓN DE LÁMINA DE RIEGO CON EL RENDIMIENTO .....	58
<b>V.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>60</b>
<b>VI.</b>	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>61</b>
<b>VII.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>62</b>
<b>VIII.</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>69</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Principales formas de estimación de las temperaturas umbrales (secos y húmedos) para la obtención del índice de estrés hídrico del cultivo (CWSI) por los métodos empírico, estadístico y teórico. ....	9
Tabla 2: Valores CU, según Merriam y Keller.....	17
Tabla 3: Análisis físico del suelo.....	26
Tabla 4: Análisis químico del suelo. ....	26
Tabla 5: Características químicas del agua.....	27
Tabla 6: Relación de tratamientos. ....	28
Tabla 7: Especificaciones de la siembra.....	30
Tabla 8: Resultados de coeficiente de uniformidad.....	43
Tabla 9: Láminas neta de riego en (mm) en los tres tratamientos aplicados en cada fase fenológica del cultivo. ....	48
Tabla 10: Análisis de varianza de láminas de riego .....	49
Tabla 11: Prueba de Tukey de láminas de riego.....	51
Tabla 12: Volumen de agua aplicado en (m <sup>3</sup> /Ha) en cada tratamiento a lo largo de la fase fenológico del cultivo .....	52
Tabla 13: Profundidad radicular a lo largo de toda la campaña del cultivo. ....	54
Tabla 14: Análisis de varianza de los rendimientos. ....	56
Tabla 15: Prueba de Tukey de los rendimientos. ....	57

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Cámara térmica modelo FLIR E60. ....	9
Figura 2: Espectro electromagnético y las longitudes de onda en cada rango .....	10
Figura 3: Energía emitida y reflejada de una superficie objetivo medida con una cámara térmica. ....	11
Figura 4: Comprobación de coeficiente de uniformidad. ....	16
Figura 5: Imágenes de tallo, hoja, tubérculo y flor de la variedad. ....	18
Figura 6: Características e inicio del periodo vegetativo .....	20
Figura 7: Contenido de humedad de suelo en m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> según textura de suelo.....	21
Figura 8: Vista panorámica de la parcela experimental de papa variedad UNICA.....	24
Figura 9: Dimensiones de la parcela experimental.....	25
Figura 10: Tratamientos del área de estudio.....	28
Figura 11: Diseño experimental DBCA .....	29
Figura 12 : Preparación de area de estudio.....	31
Figura 13: Esquema del sistema de riego. ....	32
Figura 14: Riego por machaco.....	33
Figura 15: Muestreo del contenido de humedad del suelo. ....	34
Figura 16: Aporque de las plantas. ....	35
Figura 17: Evaluación de la profundidad radicular. ....	39
Figura 18: Variación de la humedad gravimétrica de los tratamientos T1, T2 y T3 .....	41
Figura 19: Variación de la humedad gravimétrica del tratamiento T1.....	42
Figura 20 : Variación de la humedad gravimétrica de los tratamientos T2 y T3. ....	43
Figura 21: Lámina de riego para los tratamientos T1, T2 y T3.....	44
Figura 22: Valores de la humedad gravimétrica y láminas de riego para el tratamiento T1. .....	45
Figura 23: Valores de la humedad gravimétrica y lámina de riego para el tratamiento T2	46
Figura 24 Valores de CWSI y lámina de riego del tratamiento T2 .....	46
Figura 25: Valores de la humedad gravimétrica y lámina de riego para el tratamiento T3.	47
Figura 26: Valores de CWSI y lámina de riego del tratamiento T3. ....	47
Figura 27: Láminas neta de riego total aplicada y el número de días en cada fase fenológica en los tratamiento T1, T2 y T3. ....	49
Figura 28 : Prueba Shapiro – Wilks de las láminas de riego.....	50

Figura 29 : Prueba de la homogeneidad de varianzas de las láminas de riego.....	51
Figura 30: Análisis de medias de las láminas de riego.....	51
Figura 31: Volumen de agua total que se consume en todo el período vegetativo en los T1,T2 y T3.....	53
Figura 32: Curva de los índices de estrés hidrico del cultivo para los T1,T2 y T3. ....	54
Figura 33: Rendimientos en la cosecha en los tratamientos T1, T2 y T3.....	55
Figura 34: Prueba Shapiro – Wilks de los rendimientos. ....	56
Figura 35: Prueba de homogeneidad de varianzas de los rendimientos. ....	57
Figura 36: Análisis de medias de los rendimientos. ....	58
Figura 37 : Relación de lámina de riego con el rendimiento.....	59

## ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: ANTES DE LA EJECUCIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN ....	69
ANEXO 2: PREPARACION DEL TERRENO Y LABORES CULTURALES DESARROLLADAS.....	69
ANEXO 3 : EVALUACIÓN DE LA COSECHA .....	74
ANEXO 4: DATOS DE LA HUMEDAD GRAVIMETRICA.....	76
ANEXO 5: DATOS DE LA HUMEDAD VOLUMETRICA.....	77
ANEXO 6: CRONOGRAMA DE RIEGOS DE LOS TRES TRATAMIENTOS.....	79
ANEXO 7: CRONOGRAMA DE FERTIRRIEGO.....	85
ANEXO 8: ANÁLISIS DE SUELO -CARACTERIZACIÓN .....	87
ANEXO 9: ANÁLISIS DE CALICATA PARA HALLAR DENSIDAD APARENTE, CAPACIDAD DE CAMPO .....	88
ANEXO 10: RESULTADOS DE LOS RENDIMIENTOS .....	89
ANEXO 11: VALORES DE ÍNDICE DE ESTRÉS HÍDRICO DEL CULTIVO CWSI DESDE EL DÍA 36 A 91 DDS .....	90
ANEXO 12: DATOS CLIMÁTICOS DEL DISTRITO DE LA MOLINA.....	91

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

AFA	Agua fácilmente aprovechable
CIP	Centro Internacional de la Papa
CU	Coefficiente de uniformidad
CC	Capacidad de campo
CWSI	Índice de estrés hídrico del cultivo
DBCA	Diseño por bloques completamente al azar
DRH	Departamento de Recursos Hídricos
DDS	Días después de la siembra
EUA	Eficiencia de uso de agua.
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
WG	Humedad gravimétrica
MINAGRI	Ministerio de Agricultura y Riego
PMP	Punto de marchitez permanente
RDC	Riego deficitario controlado
Tf	Temperatura del follaje
Ts.h	Temperatura de superficie húmeda del cultivo
Ts	Temperatura de superficie seca del cultivo
UNALM	Universidad Nacional Agraria La Molina

## RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se evaluó tres láminas de riego con el sistema de riego por goteo en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum L.*) variedad UNICA. El diseño experimental ensayado fue por bloques completamente al azar, se aplicó tres tratamientos con cinco repeticiones en un área de 71.1 m<sup>2</sup> por cada una de las repeticiones. Los tratamientos aplicados fueron: tratamiento (T1) riego control con un agotamiento de 20 por ciento de humedad disponible del suelo; tratamiento (T2) riego con un índice de estrés hídrico del cultivo (CWSI) de 0.4 y T3 riego con un índice de estrés hídrico del cultivo de 0.7. Para la determinación del índice de estrés hídrico del cultivo (CWSI), se utilizó imágenes térmicas con la cámara FLIR (modelo E-60), los cuales fueron contrastados con mediciones diarias o interdiarias del contenido de humedad del suelo determinado por el método gravimétrico. Estas mediciones nos permitieron calcular las láminas de riego de acuerdo a los tratamientos establecidos. Se aplicó un total de 29 riegos por el tratamiento control (T1), 18 riegos por el tratamiento T2 y 12 riegos por el tratamiento T3. El volumen de agua aplicado, para el tratamiento T1 fue de 2632.48 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>, y para los tratamientos T2 y T3 fueron de 1836.41 y 1144.46 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup> respectivamente. Estos valores representan un ahorro de agua de 30.24 y 56.52 por ciento respecto a la cantidad de agua empleado por el tratamiento control T1. Los rendimientos obtenidos fueron de 49.53 t.ha<sup>-1</sup>, 44.30 t.ha<sup>-1</sup> y 30.09 t.ha<sup>-1</sup> para el tratamiento control T1 y los tomados mediante las cámaras infrarrojas para los tratamientos T2 y T3 respectivamente.

**Palabras claves:** Riego por goteo, humedad gravimétrica, índice de estrés hídrico del cultivo, cámaras infrarrojas, papa.

## ABSTRACT

In this research work has been evaluated three irrigation sheets with the drip irrigation system in the potato crop (*solanum tuberosum* L.) UNICA variety. The experimental design rehersed was blocks completely random, three treatment applied with five repetitions in an area of 71.1 m<sup>2</sup> for each repetition. The treatments applied: treatment (T1) irrigation control with a depletion of 20 percent of available soil moisture; treatment (T2) irrigation with a crop water stress index (CWSI) of 0.4 and T3 irrigation with a crop water stress index of 0.7. The determination of the crop water stress index (CWSI), was for thermal images with the FLIR camera (model E60), which were contrasted with daily or alternative -days measurements of the soil moisture content determined by the gravimetric method. These measurements allowed us to calculate the irrigation sheets according to the established treatments. 29 irrigations had applied for the control treatment (T1), 18 irrigations for the treatment T2 and 12 irrigations for the treatment T3. The volume of water applied for treatment T1 was 2632.48 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>, and for treatments T2 and T3 were 1836.41 and 1144.46 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup> respectively. These values represent a water saving of 30.24 and 56.52 percent with respect to the amount of water used for the control treatment T1. The yields obtained were 49.53 t.ha<sup>-1</sup>, 44.30 t.ha<sup>-1</sup> and 30.09 t.ha<sup>-1</sup> for the control treatment T1 and those taken in the infrared cameras for the treatments T2 and T3 respectively.

**Keywords:** Drip irrigation, gravimetric humidity, crop water stress index, infrared cámaras, potato

## I. INTRODUCCIÓN

La papa es el cuarto cultivo comestible más importante del mundo (FAO, 2016) y el segundo más importante de la agricultura del Perú, llegando a representar el 10,6 por ciento del Valor Bruto de la Producción (VBP) del sub sector agrícola, siendo el sustento de más de 710 mil familias (MINAGRI, 2017).

Asimismo, la papa es uno de los cultivos primarios que están en la base principal de la cadena alimenticia de la población peruana, en tal sentido su producción es importante. Por lo tanto, lograr reducir el consumo de agua, insumo importante para la producción agrícola, es contribuir a mitigar la escasez de agua para la agricultura, destinando el excedente para otros fines de la población. Es por ello que las investigaciones acerca de dicho cultivo son de suma importancia.

Por otro lado, su cultivo se está expandiendo a áreas propensas a la sequía afectadas por el cambio climático (Monneveux et al., 2013). Debido a que tiene un alto requerimiento de agua, estimándolo en 3500–6500 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup> (Sood y Singh, 2003), es necesario determinar cuál sería el efecto en sus rendimientos y volumen de agua.

El riego por goteo es uno de los sistemas más eficientes en el uso del agua, reduciendo su consumo sin afectar significativamente la producción, en comparación con otros sistemas de irrigación que se usan en la actualidad.

Debido al cambio climático global, la escasez del agua en los valles de la costa peruana es cada vez más crítica, a lo que hay que sumar la contaminación de los cuerpos de agua, los cambios sustanciales en el régimen de las precipitaciones y, por ende, en las descargas naturales de los ríos; todo lo cual configura un escenario de menor disponibilidad de agua para la agricultura.

Es por ello que en la presente investigación se evaluó la lámina de riego en el cultivo de papa de la variedad UNICA, con diferentes tratamientos de riego, en condiciones de estrés hídrico, medido por el Índice de Estrés Hídrico del Cultivo (CWSI, por sus siglas en inglés), con imágenes térmicas en función de la temperatura del follaje y el ambiente. Este

proyecto fue realizado en el campo experimental de riego del Departamento de Recursos Hídrico (DRH) de la Facultad de Ingeniería Agrícola, en el campus de la UNALM.

## **1.1 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.1.1 Objetivo general**

Evaluar láminas de riego en el cultivo papa (*Solanum tuberosum* L.) variedad UNICA mediante riego por goteo en el campus de la UNALM, la Molina.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

- Evaluar la lámina de riego en parcelas con tratamiento control, que no debe agotar el 20 por ciento de la humedad disponible; y en condiciones de estrés hídrico con el uso de umbrales de riego de 0.4 y 0.7 o también llamado índice de estrés hídrico del cultivo (CWSI), a partir de las mediciones de las temperaturas del follaje y del ambiente, así como de la humedad del suelo en el cultivo de papa variedad UNICA.
- Comparar el volumen de riego en parcelas con restricción hídrica y con el tratamiento control.
- Relacionar la lámina de riego con el rendimiento de cultivo.

## **II. REVISIÓN LITERARIA**

### **2.1 ESTRÉS**

El concepto de estrés varía según los enfoques empleados y publicados por diferentes autores; así, la definición biofísica de estrés involucra una fuerza ejercida sobre un objeto en relación con el área sobre el cual se aplica, equivalente al concepto de presión (Tambussi, 2004). En el marco de la fisiología vegetal, el término estrés refleja la magnitud de presión ambiental que fuerza al cambio en la fisiología de una planta (Nilsen y Orcutt, 1996).

Para Lambers, Chapin and Pons (1998), estrés es cualquier factor ambiental biótico o abiótico que reduce la tasa de algún proceso fisiológico (por ejemplo, crecimiento o fotosíntesis) por debajo de la tasa máxima que podría alcanzar.

#### **2.1.1 Estrés hídrico**

Se puede definir el estrés hídrico como la situación en que se produce una transpiración insuficiente de las plantas. Este concepto es muy importante en la tecnología del riego, ya que precisamente el objeto de éste es impedir el estrés. Es considerado como uno de los parámetros básicos en el manejo del riego, concretamente para decidir la frecuencia y dosis del mismo (Pizarro, 1996).

Existen variadas clasificaciones de los factores de estrés. En general, estos pueden ser clasificados en físicos, químicos y bióticos, siendo los dos primeros agrupados bajo el término de 'estrés abiótico'. Entre los factores físicos se pueden mencionar el estrés hídrico, que incluye dos tipos de estrés contrapuestos: por déficit o exceso de agua en el suelo. (Tambussi, 2004).

### **2.1.2 El factor hídrico en la papa**

Aunque normalmente ocurren períodos cortos de estrés hídrico por inadecuadas prácticas de riego, la papa es una especie muy sensible al déficit hídrico; por eso, incluso a pesar que se riega, ocurre estrés hídrico durante el mediodía, debido a las altas tasas de transpiración (Harris,1978; Kumar et al., 2003). A nivel de campo, los requerimientos de agua varían entre 350 y 500 mm, dependiendo del período de duración del cultivo, condiciones ambientales, tipo de suelo y variedad (Sood y Singh., 2003). En condiciones de secano se ha observado que una precipitación de 600 a 800 mm, distribuidos regularmente durante el período vegetativo del cultivo de la papa, es adecuada para obtener un buen rendimiento (Barrantes,1993). Las plantas de papa pueden responder con incrementos de hasta 2 t.ha<sup>-1</sup> por cada 2 cm de lámina de agua aplicada, ya sea por riego o proveniente de la precipitación (Harris,1978).

Harris (1992), Kleinkopf y Westermann (1981) y Bailey (2000) sostienen que la limitada tolerancia a la sequía, se debe a los efectos del ineficaz sistema radicular y la tendencia de los estomas a cerrarse, mermando de esta manera el desarrollo vegetativo en respuesta a suavizar el déficit de agua. Comparando a otros cultivos como tomate, cebada y trigo, las raíces de la papa son superficiales (50-60 cm).

Vayda (1994) y Wright y Stark (1990), consideran que la papa es susceptible al estrés por sequía, ya que su óptimo rendimiento es altamente dependiente de riegos bien planificados, con bajo volumen y alta frecuencia. La frecuencia de riegos varía durante los diferentes estadios de crecimiento: inmediatamente después de sembrado, el consumo de agua del cultivo es bajo; incrementándose progresivamente hasta un máximo cuando la superficie se encuentra cubierta por el follaje (Sood y Singh, 2003). La planta muestra síntomas de estrés hídrico cuando se encuentra en estas condiciones por un tiempo prolongado. La reducción de la tasa de extensión de la hoja ocurre luego del cierre de estomas (Haverkort y MacKerron, 2000). Cuando el estrés hídrico es de corta duración la mayoría de células se recuperan; pero si es prolongada, la planta se marchita (Beukema y Van der Zaag, 1979).

Egusquiza (2000), sostiene que el cierre de estomas es, por tanto, negativo para la producción, y menciona las consecuencias que acarrea este proceso: reducción del ingreso del anhídrido carbónico (CO<sub>2</sub>) , menor actividad fotosintética, menor producción de materia seca, incremento en la temperatura interna de la planta, mayor respiración y

maduración precoz del cultivo. Cuanto mas tiempo dure la reducción de la apertura estomatal, mayor será la reducción de los rendimientos (Martinez y Huaman, 1993).

Muchos investigadores como Salter y Goode (1967), Jensen et al. (2000) y Egusquiza (2000), coinciden en que el período sensible crítico al déficit hídrico en la papa, es la tuberización, requiriéndose de un adecuado suministro de agua desde su inicio hasta la madurez completa de los tubérculos para obtener altos rendimientos. Mientras que otros como Kumar et al. (2003), señalan que los períodos sensibles más críticos al déficit hídrico, son la iniciación del estolonamiento e inicio de la tuberización, Harris (1978), afirma que es la fase de estolonamiento. Kumar et al., (2003) detallan los efectos del estrés hídrico en las diferentes etapas del cultivo, indicando que el inicio de la tuberización es el período crítico para la formación del número de tubérculos;; el período temprano de crecimiento del tubérculo lo es para la elongación del tallo y el tamaño de los tubérculos; mientras que el período tardío de llenado de tubérculo, para el tamaño de tubérculos y la producción comercial. Los mismos autores concluyen que el estrés hídrico en cualquier etapa incrementa la proporción de tubérculos pequeños a costa de los grandes.

El principal efecto del estrés hídrico en la papa es la reducción del rendimiento. Además, puede causar desordenes en el crecimiento del tubérculo, brotación secundaria, tubérculos huecos y de tamaño mas pequeño (Jensen et al., 2000). En muchos cultivares de la papa, incluso períodos cortos de estrés hídrico pueden causar reducciones significativas en el rendimiento del tubérculo y su calidad (Miller y Martin, 1987). Luego de un período de estrés, los tubérculos no retoman su crecimiento normal y en lugar de ello, el crecimiento se restringe a ciertas regiones originando tubérculos irregulares o con brotación secundaria o en cadena (Kumar et al., 2003). Bailey (2000), menciona que en cuanto al contenido de materia seca en los tubérculos y la gravedad específica, que son dos parámetros importantes para la calidad de procesamiento, existen discrepancias ya que en Inglaterra los experimentos generalmente demuestran que la mayor cantidad de materia seca es asociada al estrés hídrico, mientras que otras investigaciones realizadas en Estados Unidos sugieron lo contrario (Miller, 1998; Wright y Stark, 1990). Defectos en la forma, como tubérculos acampanados, nudosos y con puntos terminales, son producidos por períodos cortos de estrés hídrico durante la etapa de tuberización. La tuberización secundaria también puede ocurrir por temperaturas elevadas. Estos fenómenos pueden conllevar a pobres calidades de cocina. Todos estos tubérculos tienen mayor contenido de azúcares

reductores lo cual dificulta su procesamiento. Tubérculos de plantas con estrés hídrico, normalmente tienen mayor contenido total de azúcares (Kumar et al., 2003).

## **2.2 ÍNDICE DE ESTRÉS HÍDRICO DEL CULTIVO**

El método del índice de estrés hídrico del cultivo (CWSI, por sus siglas en inglés), es una medida de la transpiración que ocurre en una planta en el tiempo de medición, mediante el registro de la temperatura de la planta y el déficit de presión de vapor del agua. Este enfoque metodológico es necesario para la correcta programación del riego en cultivos agrícolas en campo abierto. Las mediciones del estrés hídrico de los cultivos, combinadas con sistemas eficientes de riego, permiten maximizar el rendimiento a través de un manejo eficiente del riego (Garrot et al., 1990).

El CWSI ha tenido uso práctico dentro de la programación del riego en regiones áridas y semiáridas (Calado et al., 1990; Itier et al., 1993; Anconelli et al., 1994; Jones, 1999; Orta et al., 2003; Yuan et al., 2004; Şimşek et al., 2005; Erdem et al., 2005); esto se debe principalmente a que el equipo requerido es de fácil manejo. En la agricultura de riego, el costo económico y ecológico del agua es alto, si se considera la incertidumbre en su disponibilidad acrecentada por el cambio climático, de ahí que el costo del equipo para cuantificar las variables climáticas y el estrés hídrico puede justificar la inversión (Feldhake et al., 1997).

El agua evaporada por una superficie vegetal funciona al mismo tiempo como un estabilizador de la temperatura de las hojas ante la demanda evapotranspirativa de la atmósfera. A partir de esto, Jackson et al. (1981), presentaron la teoría del balance energético que separa la radiación neta en calor sensible del aire y calor latente que incide en la transpiración. Cuando el cultivo se somete a estrés hídrico, los estomas se cierran, la transpiración decrece y la temperatura de la hoja aumenta. Cuando una planta transpira sin estrés hídrico, la temperatura de la hoja es entre 1 - 4 °C menor que la temperatura ambiental, en este caso el índice de estrés hídrico del cultivo (CWSI) es 0. Cuando la transpiración decrece, la temperatura de la hoja asciende y puede alcanzar de 4 a 6 °C más que la temperatura del aire. En este caso, el déficit hídrico es alto, la transpiración de las hojas se ve drásticamente reducida con el incremento de la temperatura foliar; cuando la planta está muerta o no transpira durante mucho tiempo el CWSI es 1.

Idso et al. (1981) desarrollaron el método empírico (CWSI) para la cuantificación de la humedad atmosférica y de la planta en regiones áridas, la cual depende de la determinación “de las líneas base sin estrés hídrico” que facilitan la normalización de cambios en la temperatura del follaje para condiciones ambientales. Sin embargo, estas líneas base son específicas del cultivo y están influenciadas por el clima (Bucks et al., 1985). Además, Jackson et al. (1981) modificaron el CWSI para incluir una predicción más teórica de los efectos del clima sobre la temperatura del follaje, que incluye explícitamente el déficit de presión del vapor de agua, la radiación neta y la resistencia aerodinámica. Esta aproximación teórica para determinar la humedad atmosférica que se utiliza en el CWSI, es más precisa que la aproximación empírica, particularmente en climas más húmedos (Keener y Kircher 1983).

El índice de estrés hídrico del cultivo según Idso (1981) y Jackson et al. (1981) está definido como:

$$CWSI = \frac{((Tc-Ta)m - (Tc-Ta)li)}{((Tc-Ta)ls - (Tc-Ta)li)} \quad (1)$$

Dónde, Tc= temperatura del cultivo; Ta= temperatura del aire. El subíndice m denota la diferencia medida entre las dos temperaturas, el subíndice li (límite inferior) denota la diferencia entre las dos temperaturas cuando la evapotranspiración no está restringida por disponibilidad del agua, de modo que la Tc es el valor más bajo para las condiciones del clima, y el subíndice ls (límite superior) denota la diferencia hipotética entre las dos temperaturas cuando la evapotranspiración es cero, como resultado de falta de disponibilidad de agua en el sistema suelo-planta-atmósfera.

La fórmula simplificada desarrollada por Jones (2004):

$$CWSI = \frac{Tfollaje - Thum}{Tseca - Thum} \quad (2)$$

Donde, Tfollaje es la temperatura de cultivo (dosel vegetativo), Tseca es la temperatura de referencia de máximo estrés hídrico o temperatura seca del cultivo; Thum es la temperatura de referencia de mínimo estrés hídrico o húmeda del cultivo.

Según Jones (2014), hallar el valor de índice de estrés hídrico del follaje involucra hallar una relación que permita brindar una guía al momento de programar el riego. Es ampliamente asumido que este índice refleja cambios en la apertura de estomas y las

variaciones en la evaporación producida a medida que el déficit de agua se torna un limitante en el desarrollo del cultivo.

Jones (1999) reformula el CWSI para superficies de referencia, como una alternativa de “imitación” para superficies de referencia de hoja (seca y húmeda). En condiciones de cultivo bien regados (no estresada) y estresada, comparado con la superficie húmeda y seca respectivamente siendo:

$$CWSI = \frac{T_f - T_{sh}}{T_s - T_{sh}} \quad (3)$$

Donde  $T_{sh}$  es la temperatura de una superficie húmeda ( $T_{base}$  de  $I_{dso}$ ) y obtenida en hojas que han sido rociados con agua, cuya resistencia de la superficie al vapor de agua ( $r_h$ ) resulta cero. Además,  $T_s$  es la temperatura de una superficie seca ( $T_{max}$  de  $I_{dso}$ ) y es obtenida cubriendo con vaselina (Petroleum Jelly), donde se simula que la transpiración de la hoja se ha detenido ( $r_h = \infty$ ) (Jones, 2014). Además, Jones (1999) propone ecuaciones para estimar  $T_s$  y  $T_{sh}$  en función a los términos del balance de energía. Por otro lado, Moller et al. (2006) describen un método empírico para determinar  $T_{sh}$  con una superficie de referencia húmeda (bandeja húmeda), en tanto para encontrar  $T_s$  se ha propuesto en papa como  $7^\circ\text{C}$  sobre la temperatura del aire (Ramírez et al., 2016; Rud et al., 2014). En la tabla 1, se muestra las principales formas de calcular el CWSI.

**Tabla 1: Principales formas de estimación de las temperaturas umbrales (secos y húmedos) para la obtención del índice de estrés hídrico del cultivo (CWSI) por los métodos empírico, estadístico y teórico.**

Método	Temperatura seca ( $T_s$ )	Temperatura húmeda ( $T_h$ )
Empírico	Cubrir con vaselina a las hojas de las plantas ( $r_h = \infty$ ). (Jones, 1999).	Rociado de agua a las hojas de las plantas ( $r_h = 0$ ). (Jones, 1999) -Paño húmedo (Moller et al., 2006)
Estadístico	Promedio de valores superiores al percentil 95th. ( $T_a + 7$ °C) y que cumpla con la relación de $T_a - 10$ °C < $T_f < T_a + 7$ en el caso del cultivo de papa (Rud et al., 2014). $T_a + 5$ °C: Uva, aceitunas, algodón (Moller et al., 2006). $T_a + 2$ °C: Ciruelo y $T_a + 4$ °C: Cítrico (Gonzalez-Dugo et al., 2014)	Promedio de los valores inferiores al 5% de la temperatura del follaje. (Rud et al., 2014)
Teórico	( $T_s = T_f - T_a$ ) del balance de energía. (Jones, 1999)	( $T_{sh} = T_f - T_a$ ) del balance de energía. (Jones, 1999)

FUENTE: Rinza, (2018)



**Figura 1: Cámara térmica modelo FLIR E60.**

FUENTE: Elaboración propia.

### 2.3 TERMOGRAFÍA

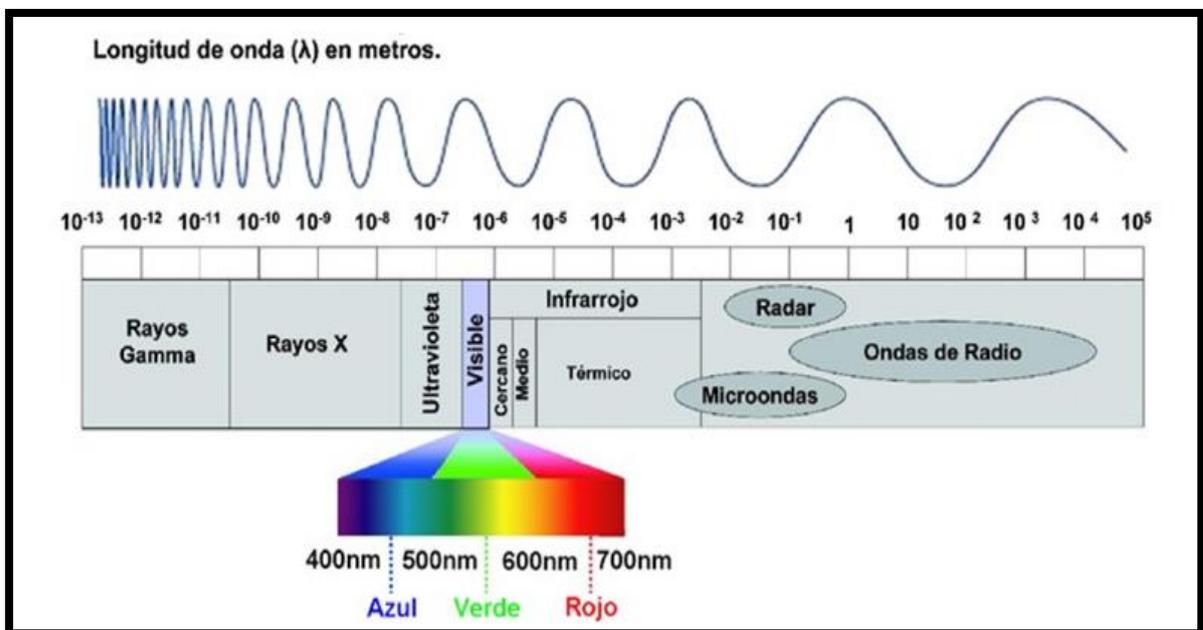
La termografía es una técnica con amplitud de usos en la industria automovilística, aeronáutica, armamentística, de construcción civil, electrónica, en medicina, agricultura, fisiología vegetal, etc. (Kaplan 2007). Esta técnica se basa en la detección de la radiación en el rango infrarrojo térmico del espectro electromagnético (ver Figura 2), emitida por los cuerpos, convirtiendo la información obtenida en imágenes visibles con información sobre la temperatura de la superficie de los mismos. Así, los objetos con una temperatura superior al 0 absoluto (0 °K) emiten energía electromagnética en el rango térmico.

Según la ley de Stefan-Boltzmann, esta radiación infrarroja emitida aumenta con la temperatura de los cuerpos:

$$w = \sigma * Ts^4$$

(4)

Donde, W es la energía de radiación total emitida (energía radiante en  $Wm^{-2}$ );  $\sigma$  es la constante de Stefan-Boltzmann ( $5.67 \times 10^{-8} Wm^{-2}K^{-4}$ ); Ts es la temperatura absoluta del cuerpo (°K).



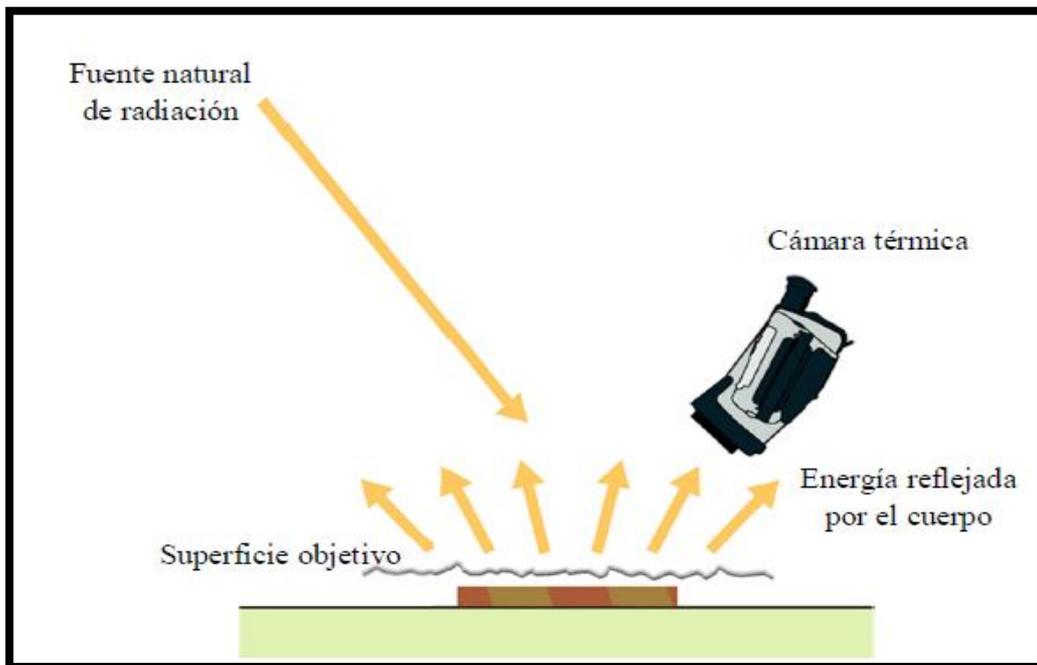
**Figura 2: Espectro electromagnético y las longitudes de onda en cada rango**  
FUENTE: Elaboración propia.

Esta ley es aplicable a cuerpos negros, que son cuerpos ideales, emisores perfectos de radiación infrarroja, es decir, la emisividad ( $\epsilon$ ) es igual a 1. La emisividad se define como

la capacidad que tiene todo cuerpo para irradiar energía. Los cuerpos reales tienen una  $\epsilon < 1$ , por lo que además de emitir radiación infrarroja térmica, también reflejan una parte de la radiación infrarroja térmica incidente (ver Figura 3).

Por ello, la radiación total infrarroja que es detectada por la cámara termografía, es la sumatoria de la energía emitida  $\epsilon\sigma(T_s)^4$  y de la energía reflejada  $((1 - \epsilon)W_{background})$  por el objeto observado, considerándose como no significativa la absorción de la radiación infrarroja por parte de la masa de aire existente entre el objeto estudiado y el sensor de la cámara, cuando la distancia existente no es demasiado grande o cuando el sensor infrarrojo trabaja en el rango de los 3-5 o 7-14  $\mu\text{m}$ , donde la transmisividad de la atmósfera a los infrarrojos es máxima.

$$w = \epsilon\sigma(T_s)^4 + (1 - \epsilon)W_{background} \quad (5)$$



**Figura 3: Energía emitida y reflejada de una superficie objetivo medida con una cámara térmica.**

FUENTE: Elaboración propia.

En el caso de que la distancia entre la cámara y el objeto estudiado sea mayor (por ejemplo, en el caso de observaciones aéreas), resulta necesario introducir otro factor: la emisión atmosférica ( $W_{atm}$ ), así como la transmisividad de la energía de radiación en la atmósfera ( $\tau$ ).

$$w = \tau(\epsilon\sigma(T_s)^4 + (1 - \epsilon)W_{background}) + W_{atm} \quad (6)$$

Al respecto, los softwares para el procesamiento de imágenes térmicas permiten realizar correcciones a las variables que influyen sobre la información de estas, permitiendo así el desarrollo de mediciones más exactas de la temperatura de los objetos observados. Siendo necesario disponer de los valores de emisividad del cuerpo de interés, humedad relativa y la temperatura del aire, la distancia al objeto y la temperatura reflejada por el ambiente circundante (Duran, 2018).

## **2.4 RIEGO POR GOTEO**

Vermeiren y Joblin (1980), definieron el riego por goteo como un sistema localizado de alta frecuencia cuya característica principal es el aporte de pequeños caudales y pequeñas dosis de agua y de fertilizantes, muy localmente, en la zona de raíces de los cultivos por medio de dispositivos de distribución tales como goteros, boquillas, tubos porosos, etc.

García y Briones (2007), señalan que un sistema de riego por goteo es aquel donde se aplica agua filtrada (y fertilizante) dentro o sobre el suelo directamente a cada planta en forma individual. Así mismo, expresan que el agua puede ser suministrada al cultivo con base en una baja tensión y una alta frecuencia, con lo cual se crea un medio óptimo de humedad necesaria en el suelo.

Shalhevet, Mantel y Bielordi (1970), manifiestan que en Israel el 80 por ciento de los cultivos se han desarrollado con una humedad constante, proporcionadas por el método de goteo, sistema que ha demostrado algunas ventajas tales como: realizar riegos con agua salina y conservar una humedad constante en el suelo por las altas frecuencia de aplicación de agua.

### **2.4.1 Riego deficitario**

Técnica que consiste en reducir el agua aplicada al cultivo con el mínimo impacto posible sobre la producción, lo que se consigue aplicando altas frecuencias de riego. Es por eso que también es llamado “Riego Deficitario de Alta Frecuencia”, que consiste en regar todo el ciclo por debajo de la demanda del cultivo, usando una frecuencia de aportes hídricos lo suficientemente alta como para evitar la aparición de situaciones de estrés trascendentes.

Los primeros trabajos hechos en distintos cultivos herbáceos consiguieron apreciables reducciones de agua sin mermas en la producción, es aceptable considerar al riego

deficitario de alta frecuencia como una clara alternativa en cuanto a la optimización del agua, pero es cierto que deja algunas dudas respecto al momento fenológico de la planta.

Por estas razones, en los últimos años han adquirido relevancia enfoques más fisiológicos del problema, prestando atención tanto a la fenología del cultivo como a su capacidad de resistir situaciones de déficit hídrico, de esta manera surge un nuevo tipo de riego deficitario llamado: Riego Deficitario Controlado (RDC) (Sánchez y Torrecillas, 1995).

#### **2.4.2 Riego Deficitario Controlado (RDC)**

El RDC consiste en reducir los aportes hídricos en aquellos períodos fenológicos en los que un déficit hídrico controlado no afecta sensiblemente a la producción y calidad de la cosecha, y cubrir plenamente la demanda de la planta durante el resto del ciclo de cultivo, donde una clara separación entre los procesos de crecimiento de los ramos y el fruto puede definir la idoneidad de un cultivo para ser utilizado en RDC. (Sánchez y Torrecillas, 1995).

El déficit de agua en el suelo parece provocar en las raíces la emisión de señales químicas que inducen a su vez en las hojas un efecto de mayor duración sobre el cierre estomático para prevenir la deshidratación foliar. Cuando este control estomático es insuficiente para prevenir el desarrollo de déficits hídricos nocivos, se inducen procesos de defoliación para disminuir las pérdidas de agua por transpiración (Sánchez y Torrecillas, 1995).

#### **2.4.3 Lámina de riego**

Es la cantidad de agua que se aplica a una extensión unitaria de cultivo en el momento del riego, donde el valor del aporte se expresa comúnmente en  $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$  o como lámina de riego, pues este término expresa el espesor de la capa de agua con que un área de suelo resultaría abarcada por el aporte del riego (Losada, 2009).

Está representada por la cantidad de agua contenida en una profundidad de suelo. La expresión para el cálculo de la lámina neta de agua es la siguiente:

$$Ln = \frac{W_{gcc} - W_g}{100} * da * z \quad (7)$$

Donde:

Ln : lámina neta de riego (mm)

$W_{gcc}$  : humedad gravimétrica a capacidad de campo (%)

$W_g$  : humedad gravimétrica en contenido de humedad del suelo (%)

da : densidad aparente ( $\text{g.cm}^{-3}$ )  
z : profundidad de suelo (cm)

#### 2.4.4 Volumen de agua disponible

Conociendo la lámina de agua aprovechable o disponible total y el área de terreno, se calcula el volumen de agua disponible o aprovechable total en la capa de raíces, mediante la relación:

$$V = A * Lr \quad (8)$$

Donde:

V: volumen de agua disponible total en la zona de raíces (L) o ( $\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$ )

A: Área de terreno ( $\text{m}^2$ )

Lr: lámina de riego (mm)

#### 2.4.5 Tiempo de riego

Es el tiempo expresado en horas o minutos, mediante el cual el sistema de riego oferta a través de sus emisores, el volumen por unidad de área requerida para satisfacer las necesidades totales de agua del cultivo. El tiempo de riego será:

$$Tr = \frac{V}{Q} \quad (9)$$

Donde:

Tr: tiempo de riego (h)

V: volumen de riego (L)

Q: caudal de riego ( $\text{L.h}^{-1}$ )

#### 2.4.6 Frecuencia de riego

Se determina la frecuencia constante de los riegos para satisfacer las necesidades puntas de agua (Vermeiren y Jobling, 1980). Los suelos de textura gruesa, con fuerte permeabilidad y baja capacidad de retención, necesitan pequeñas y frecuentes aplicaciones de agua para evitar las pérdidas por percolación profunda. En los períodos de fuerte evapotranspiración, los riegos pueden ser lo suficientemente frecuentes para que la tensión del agua en el suelo sea baja.

#### **2.4.7 Características del riego en el cultivo de papa**

La mayor parte de la producción de papa en el mundo se realiza con riegos suplementarios a las precipitaciones. Mientras que en los subtrópicos la producción es posible solo con riego, en el Perú el 20 por ciento del área de producción de papa se siembra bajo riego, de eso 15 por ciento en la sierra y 5 por ciento en la costa, donde hay escasez de agua (Kumar et al., 2003; MINAG, 2005).

En la papa, el riego es una actividad de importancia significativa para la alta productividad. Existe relación positiva y directa entre la cantidad de agua que dispone la planta y el rendimiento comercial. (Egúsqiza, 2000). Esto quiere decir que a nivel de campo solo el 50 por ciento de la cantidad de agua que se aplica es evapotranspirada (Carr et al., 1993). Solamente el 5 por ciento del agua que toma la planta es utilizada en su constitución celular y en las funciones fisiológicas. La mayor parte (95%), es transpirada (Beukema y Van der Zaag, 1979); Kumar et al. (2003) mencionan que es el 99 por ciento. Un campo con papa en pleno desarrollo puede evapotranspirar de 2 a 10 mm de agua al día, esto es equivalente a 20-100 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup> de agua por día, o bien 0.5-2.5 litros.planta<sup>-1</sup>(Van der Zaag, 1979). Carr et al. (1993), estudiando la respuesta del rendimiento de tubérculo fresco a la cantidad de agua aplicada y evapotranspirada en ambos sistemas de cultivo por secano y con riego, encontraron que la primera fue de 9 kg.m<sup>-3</sup>, mientras que por cantidad de agua evapotranspirada el doble, 18 kg.m<sup>-3</sup>.

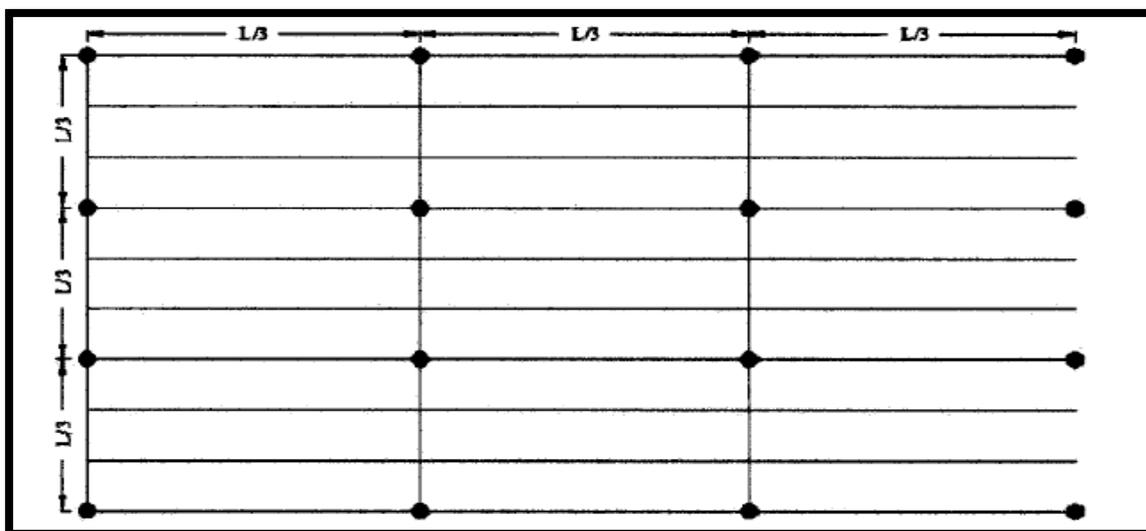
De acuerdo a una serie de trabajos se ha podido determinar que para obtener buenos rendimientos en el cultivo de papa, los riegos deben ser proporcionados a intervalos cortos y ligeros durante toda la campaña, con la finalidad de que exista una buena humedad disponible durante todo el ciclo del cultivo (Montesinos, 1973; Beukema y Van der Zaag, 1979; Lopez et al., 1980). Cuando hay deficiencia de agua disponible en el suelo, la transpiración es mayor que la absorción, lo cual induce al cierre de estomas (Egusquiza, 2000). La condición óptima de un riego es que sea suficiente para cubrir el déficit de humedad del suelo (Sood y Singh, 2003); en otras palabras, que la cantidad de agua aplicada sea suficiente para restituir la humedad en la zona radicular hasta la capacidad de campo. En la variedad UNICA, de preferencia no debe agotarse el 20 por ciento de la humedad disponible en el suelo. En promedio, para las zonas de Ica y Nazca se recomienda un riego cada 5 a 7 días, por tener una alta ET (UNICA, 1998) . En suelos con textura

arena franca, los riegos deben hacerse cuando la evaporación acumulada es de 15 a 25 mm y hasta 40 mm en suelos en suelos franco arcillosos (Sood y Singh, 2003).

#### 2.4.8 Coeficiente de uniformidad (CU)

La uniformidad de riego se refiere al reparto más o menos uniforme del agua infiltrada y se expresa mediante un valor porcentual. Cuando este valor es 100 significa que en toda la superficie de riego se infiltra la misma cantidad de agua, cosa que nunca ocurre en la práctica. La falta de uniformidad en la distribución del agua origina un aumento de la cantidad de agua aplicada, con el fin que las plantas que reciban menos cantidad tengan lo suficiente para cubrir sus necesidades, con lo cual habrá otras plantas que reciban con exceso.

Cuando la instalación está en funcionamiento hay que efectuar la comprobación del CU previsto en el diseño, para lo cual en cada sub-unidad se puede adoptar el siguiente criterio (Figura 4) (Mori, 2015).



**Figura 4: Comprobación de coeficiente de uniformidad.**

FUENTE: Elaboración propia.

Dentro de la sub unidad se eligen cuatro laterales: el primero, el último y los dos intermedios, situados, respectivamente, a  $1/3$  del primero y a  $1/3$  del último. Dentro del lateral se eligen 4 plantas: la primera, la última y las dos intermedias, escogidas con el mismo criterio anterior (Mori, 2015).

Se mide el caudal que reciben las 16 plantas (suministrado por todos los emisores que abastecen a esa planta) y se aplica el CU, que incluye solo factores hidráulicos:

$$Cu = \frac{Q_{25}}{Q_{prom}} \quad (10)$$

Donde:

Q<sub>25</sub>:caudal medio de los emisores que constituyen el 25% del cual más bajo

Q<sub>prom</sub>:caudal medio de todos los emisores considerados.

Los valores recomendados de CU, según Merrian y Keller (1978), lo, podemos apreciar en la Tabla 2.

**Tabla 2: Valores CU, según Merrian y Keller**

funcionamiento	valores de CU
Excelente	90-100%
Bueno	80-90%
Aceptable	70-80%
Inaceptable	<70%

FUENTE: Merrian y Keller (1978).

## 2.5 CARACTERÍSTICAS DE LA ESPECIE EN ESTUDIO

### 2.5.1 Cultivo papa variedad “UNICA”

*Solanum Tuberosum* L., papa UNICA, es una variedad que fue seleccionada y evaluada por el Centro Internacional de la Papa (CIP) durante más de 7 años, sembrada en experimentos en más de 20 localidades. Tiene atributos de resistencia y precocidad que la hacen atractiva para los agricultores involucrados en el cultivo de la papa.

La adaptación de la UNICA a diferentes ambientes permite una amplia distribución geográfica, en regiones de la Costa y Sierra del Perú. Las buenas características para el consumo en fresco y para el procesamiento en tiras, representa una alternativa de mejores ingresos para los agricultores por la demanda que puede generar en el mercado (Gutiérrez et al ., 2007).

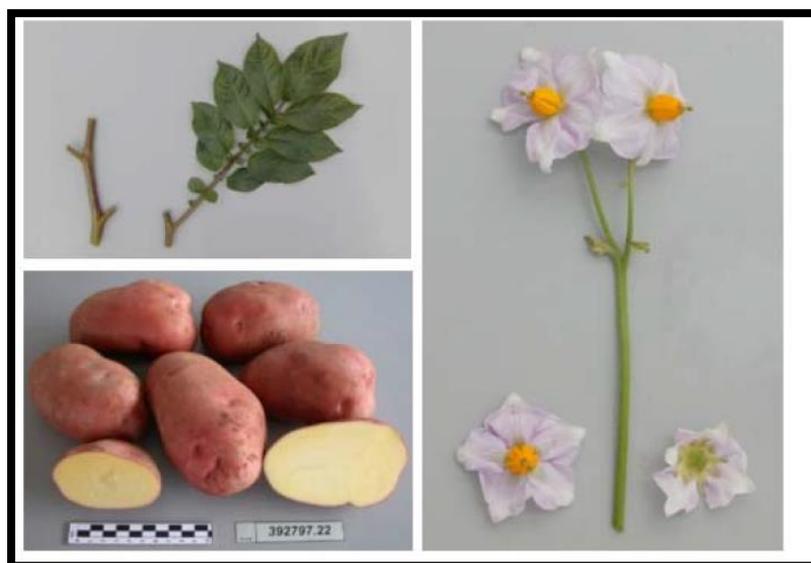
### 2.5.2 Origen

Esta especie, cuyo nombre científico es (*Solanum tuberosum* L.), es el resultado de las investigaciones participativas, con los agricultores (asociaciones de productores), las instituciones nacionales de investigación en el sector agrícola (universidad Nacional “San

Luis Gonzaga” de Ica y centro Internacional de la Papa (CIP). Entre sus principales atributos resaltan la resistencia a virus (PVY), su tolerancia al calor, su moderada resistencia al nematodo del nudo (*Meloidogyne* ssp.), su precocidad, su estabilidad de rendimiento en varias épocas de siembra y su leve tolerancia a sales. (Gutiérrez et al., 2007).

### 2.5.3 Descripción varietal

En general, la planta de la variedad UNICA es herbácea con hábito de crecimiento erecto, los tallos son gruesos, de color verde oscuro, alcanzando una longitud entre 0,90 a 1,20 metros, las hojas son compuestas y se distribuyen en espiral sobre el tallo. La forma de la hoja es disectada, con cinco pares de folíolos laterales y un par de interhojuelas sobre los peciólulos. Tiene floración moderada, entrada la temporada de primavera en Costa, escasa floración en el Invierno en Costa y ausencia de floración en condiciones de Sierra (mayor a 2.000 msnm); las flores son violetas y no forman bayas en épocas con bajas temperaturas. Los estolones son alargados en el Invierno o bajo condiciones de Sierra; ligeramente cortos y pegados al tallo en la primavera. (Gutiérrez et al., 2007).



**Figura 5: Imagenes de tallo, hoja, tubérculo y flor de la variedad.**

FUENTE: Gutiérrez et al. (2007).

### 2.5.4 Comportamiento agronómico

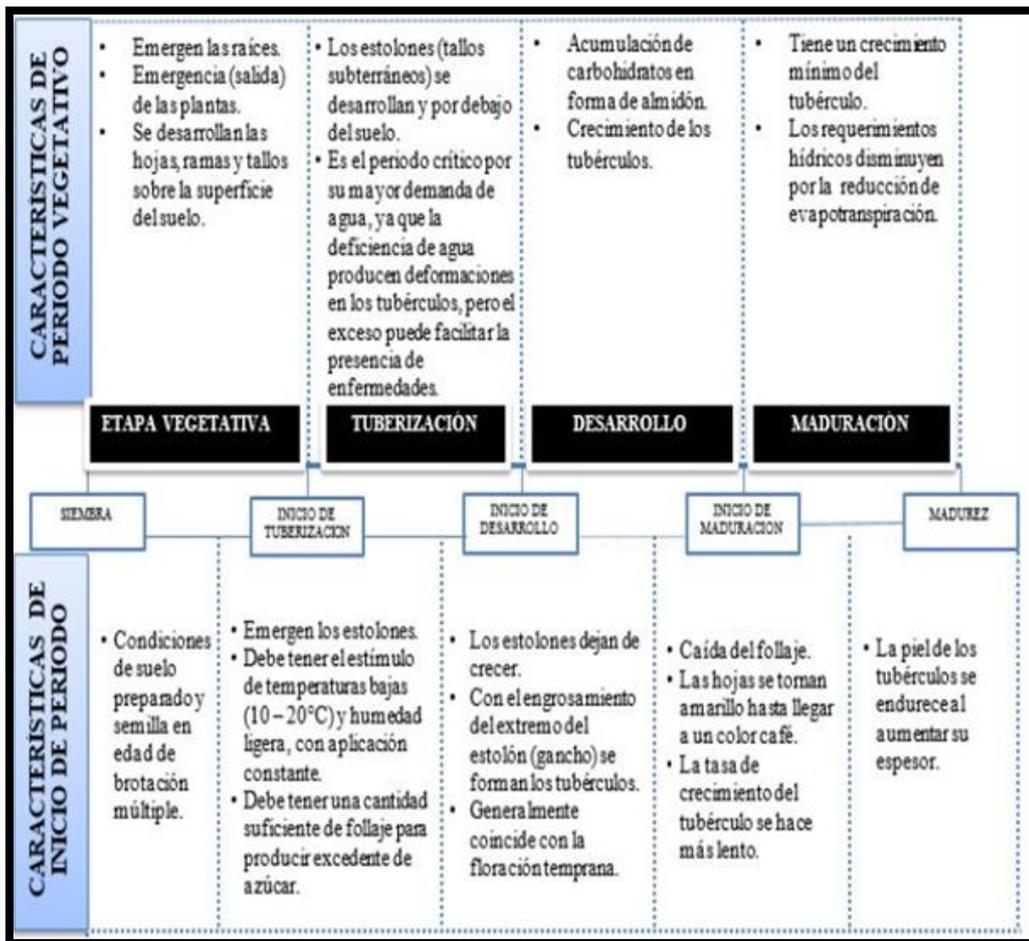
El período de dormancia de la semilla alcanza los 40 a 50 días, presenta ligera dominancia apical. El período vegetativo es precoz (70 a 90 dds) en condiciones de trópico alto o Sierra (2.000 a 3.800 msnm) para fines de multiplicación de semilla. Presenta

características de semi-precocidad (90 a 110 dds) en condiciones de trópico bajo, como la Costa o los Valles Interandinos (0 a 1.500 msnm) (Gutiérrez et al ., 2007).

Tiene un alto rendimiento potencial ( $50 \text{ t.ha}^{-1}$ ). Para el invierno en zonas de Costa Peruana (trópico bajo) y en épocas húmedas de la zona Sierra (trópico alto), se puede alcanzar el rendimiento potencial. En la primavera y en la época seca de las respectivas zonas, se reduce el rendimiento. Comercialmente se pueden lograr rendimientos promedios de hasta  $40 \text{ t.ha}^{-1}$ . Posee ligera tolerancia a sales y a temperaturas cálidas, pudiendo tuberizar con temperaturas nocturnas de hasta  $16 \text{ }^{\circ}\text{C}$  (Vásquez 2003), siendo una ventaja, pues en condiciones del fenómeno de El Niño, la producción de papa en la Costa Peruana se ve afectada por el incremento de la temperatura, inhibiéndose la tuberización en las variedades tradicionales. La amplia adaptabilidad a diferentes condiciones climáticas de la Costa, favorece la programación de las siembras y cosechas en una mayor amplitud de épocas (CIP, 1997 y 1998; UNICA, 1998)

#### **2.5.5 Período vegetativo del cultivo de papa**

En la siguiente Figura 6, se describe el período vegetativo según Egúsquiza (2000).

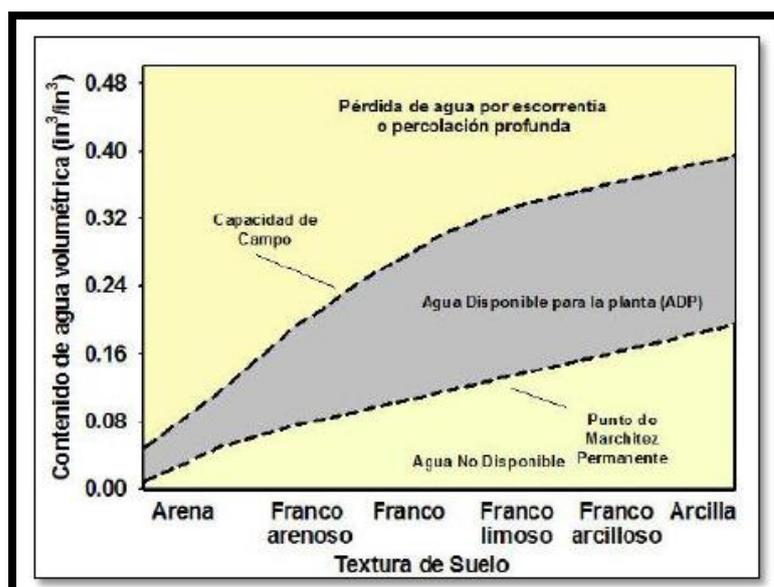


**Figura 6: Características e inicio del periodo vegetativo**

FUENTE: Egúsquiza (2000).

## 2.6 DISPONIBILIDAD DE AGUA EN EL SUELO

La cantidad de agua disponible en el suelo para ser utilizada por las plantas está comprendida entre el rango de humedad a capacidad de campo (CC, 0.33 bares) y el punto de marchitez permanente (PMP, 15 bares). Si se mantuviera el contenido de humedad del suelo a un nivel mayor que la CC, existe el peligro de que la falta de aire en el suelo sea un factor limitante para el normal desarrollo de las plantas. Esto ocurre en un suelo con drenaje restringido o a niveles de humedad cercanos al PMP, y producirá daños irreversibles al cultivo a nivel fisiológico. En efecto, si este nivel de humedad persiste, las plantas morirán. (Vásquez et al., 2017).



**Figura 7: Contenido de humedad de suelo en m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> según textura de suelo.**  
 FUENTE:Zotarelli et al. (2013).

### 2.6.1 Capacidad de campo (CC)

Se define como la máxima capacidad de retención de agua de un suelo sin problemas de drenaje, y que se alcanza, según la textura del suelo, entre las 6 y 72 horas después de un riego pesado o una lluvia que permitió saturar momentáneamente al suelo. Es decir, cuando la percolación o drenaje del agua gravitacional haya, prácticamente, cesado (Vásquez et al., 2017). El tiempo de drenado puede ser de un día para los suelos arenosos y tres días para los suelos arcillosos (Mendoza, 2013).

### 2.6.2 Punto de marchitez permanente (PMP)

Es el contenido de humedad del suelo en el cual la planta manifiesta síntomas de marchitamiento, caída de hojas, escaso desarrollo o fructificación, debido a un flujo muy lento de agua del suelo hacia la planta; y que, en promedio, corresponde a un estado energético de 15 bares, cercano a éste valor dependiendo del tipo de cultivo (Vásquez et al., 2017).

## 2.7 MEDICIÓN DE LA HUMEDAD DEL SUELO

A lo largo de los años se han desarrollado métodos directos e indirectos para determinar el contenido de humedad del suelo. La elección de un método en particular depende tanto de la aplicación como de los recursos disponibles (Robock et al., 2000).

Entre los métodos directos están la gravimetría y las placas de Richards, mientras que entre los métodos indirectos están los tensiómetros, los sensores de resistencia eléctrica, las sondas de neutrones y las medidas de la constante dieléctrica del suelo, donde estos últimos incluyen la reflectometría en el dominio de la frecuencia y la reflectometría en el dominio del tiempo. Los métodos indirectos presentan mayores opciones, pues, aunque los métodos directos son más precisos, presentan grandes inconvenientes en su uso porque son destructivos, requieren de mano de obra y son inútiles para el monitoreo de la humedad de suelo de forma continua. No obstante, estos últimos se emplean para calibrar métodos indirectos (Buesa, 2013).

### **2.7.1 Método gravimétrico**

El método gravimétrico, el cual es un método directo, es el único método que mide la humedad del suelo directamente (Dorigo et al., 2011). Se trata de un antiquísimo método tradicional en el que se obtienen muestras de suelo a través de dispositivos de extracción como barrenas, a las diferentes profundidades y locaciones requeridas. La muestra obtenida es pesada en una balanza y, posteriormente, secada en un horno a 105°C, para finalmente volver a ser pesada. La diferencia entre los pesos húmedos y secos permite obtener la humedad del suelo de la muestra. Tal parámetro puede ser expresado volumétricamente si el resultado de la humedad gravimétrica se multiplica por la densidad del suelo. Este método se puede desarrollar con baja tecnología y es simple de efectuar. Sin embargo, como se trata de un trabajo intensivo y bastante destructivo, se han desarrollado otras tecnologías más modernas basadas en principios de la electrónica (Robock et al., 2000).

## **III. MATERIALES Y METODOS**

### **3.1 MATERIALES**

#### **3.1.1 Materiales y equipos de medición.**

- Tractor y herramientas de preparación del terreno.
- Cintas de riego de polietileno de 16 mm.
- Bolsas de papel.
- Bolsas de plástico, para llevar las muestras de suelo, para hallar el contenido de humedad del suelo.
- Vasos, probeta par determinar el coeficiente de uniformidad.
- Balanza.
- Manómetros para medir la presión en las tuberías secundarias.
- Microonda para secar las muestras.
- Palas, picos y rastrillos.
- Cámara fotográfica.
- Fertilizantes.
- Semilla certificadas papa variedad “UNICA”, del centro internacional de la papa (CIP).
- Tornillo muestreador para medir el contenido de humedad del suelo.
- Válvulas de aire.
- Dos tanques de agua con capacidad de 5,000 L cada uno.
- Tapones.
- Válvulas plasson y miniválvulas.
- Templadores de cintas de riego.
- Bomba de 1 hp.
- Tuberías 1.5 pulg y 1 pulg.
- Cámara térmica modelo FLIR E60.

### 3.1.2 Área experimental

#### Localización

El experimento se realizó durante los meses de Junio a Setiembre del 2018, en el campo experimental de riego del Departamento de Recursos Hídrico de la Facultad de Ingeniería Agrícola, dentro del campus de la UNALM, en el distrito de La Molina, Provincia de Lima, Región Lima, como se muestra en la Figura 8. Teniendo como coordenadas geográficas: 12° 4'58.38"S, 76°57'6.94"O y 232 m.s.n.m., latitud, longitud y cota, respectivamente.



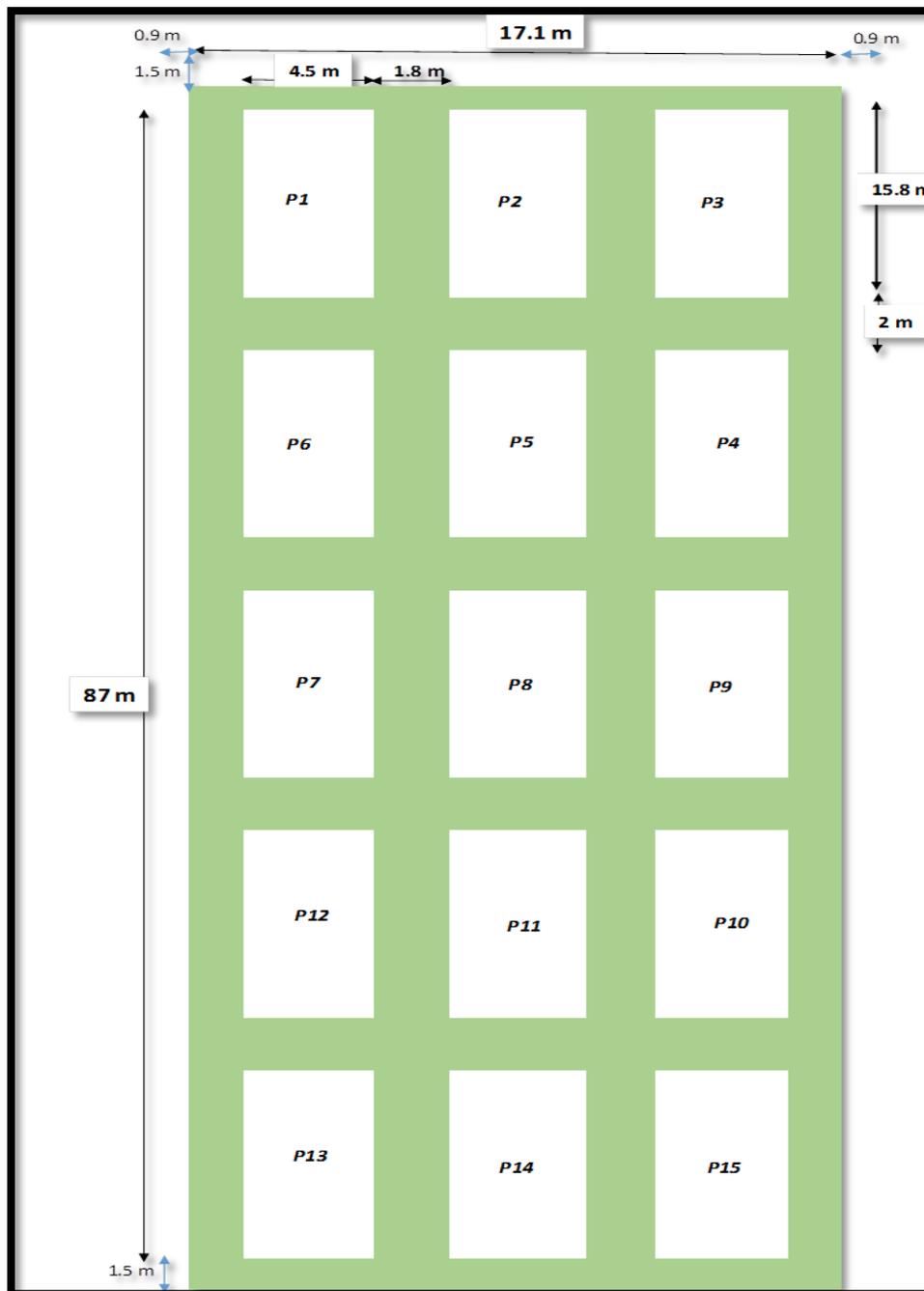
**Figura 8: Vista panorámica de la parcela experimental de papa variedad UNICA.**  
FUENTE: Elaboración propia

#### 3.1.3 Clima y Meteorología

Se adquirió información meteorológica local de la estación, (HOBO U30, Onset Computer Corporation, Bourne, MA, USA) a 1.5 m sobre el nivel del suelo, ubicada en la misma parcela de estudio, en el período 19 de julio al 12 de setiembre del mismo año 2018; todos estos resultados se registraron en el horario de las 12 am a 2 p.m.; el área de estudio presentó un clima húmedo. Los datos registrados fueron importantes para hallar los índices de estrés hídrico del cultivo CWSI, con más detalles se muestra en el Anexo 12.

### 3.1.4 Descripción del área experimental

Las dimensiones de la parcela experimental se pueden apreciar en el siguiente esquema:



**Figura 9: Dimensiones de la parcela experimental.**

FUENTE: Elaboración propia

## 3.2 METODOLOGÍA

### 3.2.1 Características físicas y químicas del suelo

Las características físicas y químicas del suelo se determinaron en el laboratorio de análisis de agua, suelo, medio ambiente y fertirriego de la Facultad de Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional Agraria La Molina, cuyos resultados se muestran en la tabla 3.

**Tabla 3: Análisis físico del suelo**

CE  dS / m Relación 1:1	Análisis Mecánico				pH Relación 1:1	CC %	PMP %
	Arena %	Limo %	Arcilla %	Textura			
1.3	64.9	21.6	13.5	franco arenoso	7.79	19.99	7

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

De acuerdo a la tabla 3, el suelo presenta una textura franco arenosa, conductividad eléctrica (CE) igual  $1.30 \text{ ds.m}^{-1}$ , lo que indica que está en la categoría ligeramente salino (< 2 por ciento). El valor de PH 7.79 se trata de un suelo ligeramente alcalino. Mientras las características hídricas del suelo con capacidad de campo fue de 19.99 por ciento, y el punto de marchitez, 7 por ciento.

Los resultados en cuanto a nutrientes y iones intercambiables se pueden observar en la Tabla 4.

**Tabla 4: Análisis químico del suelo.**

nutrientes				Cationes Cambiables					
M.O %	p ppm	k ppm	CaCO <sub>3</sub>	CIC total	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>-</sup>	Al <sup>+3</sup> +H <sup>+1</sup>
			%						
1.34	18.2	233.5	3.8	9.7	8.2	1	0.1	0.4	-

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

El análisis químico del suelo arrojó que la materia orgánica fue de 1.34 por ciento, que es bajo y supone una pobre concentración de nitrógeno total; el contenido de fósforo es 18.2 ppm y el contenido de potasio de 233.5 ppm, lo que se encuentran en el rango medio; el material calcáreo (CaCO<sub>3</sub>) se considera en el rango bajo.

### 3.2.2 Agua

Para satisfacer el riego, hubo momentos en que se regó con agua de pozo de la misma universidad, pero el análisis de la conductividad eléctrica, a los 41 días después de la siembra, arrojó valores muy altos, como se observa en la tabla 5. A partir de ese momento se dejó de regar con dicha agua. Los demás riegos se hicieron mediante cisternas que provenían del río Rímac, para ser almacenados en dos tanques 5000L de capacidad cada uno. El análisis de esta agua, a los 55 DDS, también se hizo en el laboratorio de riego de la Facultad de Ingeniería Agrícola de la UNALM. Los resultados se muestran en la Tabla 5.

**Tabla 5: Características químicas del agua.**

fecha de muestreo	DDS	PH	CE (dm/m)	observaciones
24/07/2018	41	7.83	3.14	agua de pozo
07/08/2018	55	8.41	0.895	agua Rio Rímac

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

### 3.2.3 Tratamientos

En este experimento se aplicaron tres tratamientos de riego: T1,T2 y T3.

Tratamiento control (T1): en este tratamiento se considera un agotamiento del 20 por ciento de la humedad disponible del suelo.

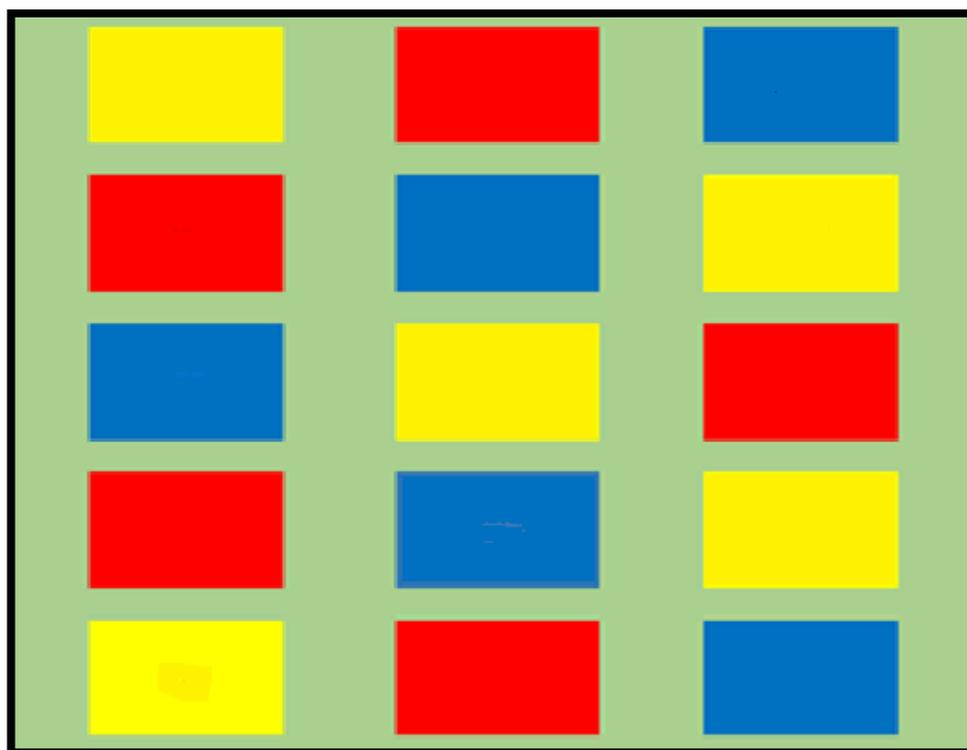
Tratamiento (T2): Tratamiento de déficit hídrico con un umbral de riego 0.4 CWSI, propuesto por Ramírez et al. (2016) y Rinza (2018).

Tratamiento (T3): Tratamiento de déficit hídrico con umbral de riego 0.7 CWSI propuesto por Ramírez et al. (2016) y Rinza (2018).

A continuación se muestran los tratamientos en toda la parcela experimental.

**Tabla 6: Relación de tratamientos.**

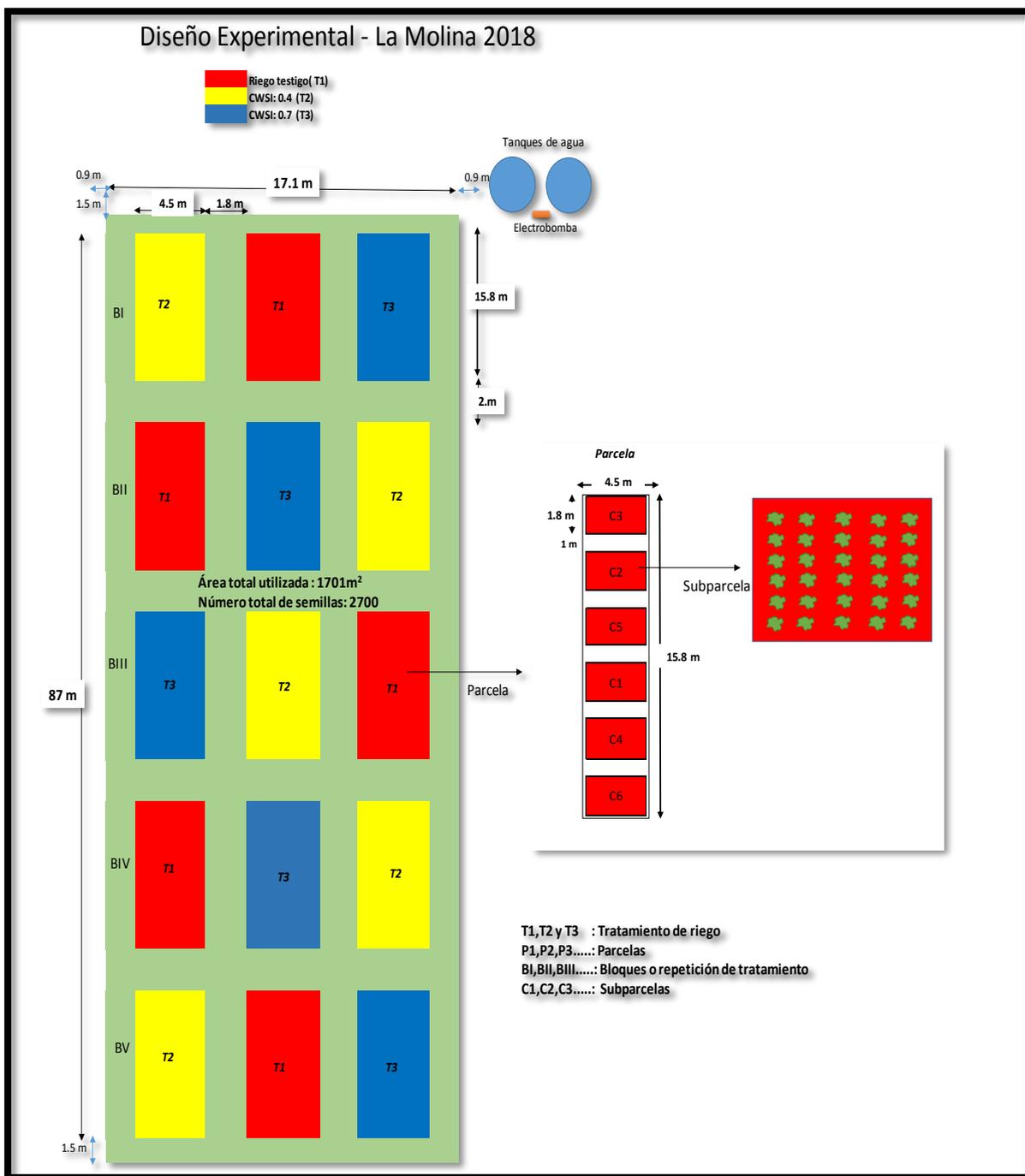
tratamiento	descripción
T1	control
T2	CWSI:0.4
T3	CWSI:0.7



**Figura 10: Tratamientos del área de estudio.**  
FUENTE: Elaboración propia

### 3.2.4 Diseño experimental

El trabajo de investigación se hizo con un diseño cuantitativo e inductivo de bloques completamente al azar (DBCA), teniendo en cuenta un área de 1701m<sup>2</sup>, tres tratamientos de riego distribuidos al azar en cinco bloques usando un sistema de riego por goteo. El tratamiento T1 será establecido en base a un riego a capacidad de campo, el cual no debe agotar el 20 por ciento de la humedad disponible en el suelo (tratamiento testigo, T1); en los otros dos tratamientos las plantas fueron regadas mediante umbrales de riego o índice de estrés hídrico del cultivo 0.4 (T2) y 0.7 (T3), así como también tomando en cuenta el contenido de humedad del suelo.



**Figura 11: Diseño experimental DBCA**  
 FUENTE: Elaboración propia

### 3.2.5 Especificaciones de la siembra

La distancia entre plantas es de 0.3 m, es decir se sembraron 36 plantitas por surco, y considerando cinco surcos por cada unidad experimental, un total de 180 plantas en cada unidad experimental, haciendo un total de 2700 plantas.

El área neta sembrada fue de 1066.5 m<sup>2</sup>, divididos en 75 surcos, con una separación de 0.9 m entre surcos, con un largo neto de surco de 10.8 m. El período vegetativo fue de 91 días.

**Tabla 7: Especificaciones de la siembra**

Especificaciones de la siembra	
distancia entre plantas	0.3 m
distancia entre surcos	0.9 m
N° plantas por surco	36
N° surcos por unidad experimental	5
largo total del surco	15.8 m
largo neto del surco	10.8 m
ancho de unidad experimental	4.5 m
área de unidad experimental	71.1 m
N° de unidades experimentales	15
área neta del experimento	1066.5 m <sup>2</sup>
área libre (caminos)	643.5 m <sup>2</sup>
área total del terreno	1701 m <sup>2</sup>

FUENTE: Elaboración propia

### 3.2.6 Fases de campo

- **Preparación del terreno**

Se empleó maquinaria agrícola para el arado, nivelación del terreno y el surcado. Esta actividad se hizo con la finalidad de tener a disposición un área adecuada para el normal desarrollo del cultivo.



**Figura 12 : Preparación de área de estudio.**

FUENTE: Elaboracion propia

- **Instalación del sistema de riego**

El cabezal de riego estuvo constituido por dos tanques de 5000 L cada uno, para abastecer la demanda hídrica del cultivo, una bomba de 1 HP, filtro de arena, tablero eléctrico de control y un medidor de volumen de agua caudalímetro.

La conducción del agua fue mediante tuberías de PVC, fueron instalados superficialmente, de la red primaria a las secundarias tuvieron un diámetro de 1.5 pulg, y se unen a la red terciaria de diámetro de 1pulg; se unen con la red secundaria con una válvula plason, como se observa en la Figura 13, también se usó este tipo de válvulas que servían como reguladores del volumen de agua; también se instalaron cintas de riego de clase 5000 con un espaciamiento entre los emisores de 20cm y eran tapados mediante tapones; se usarón manómetros que trabajaban a la presión a 0.4 bar y el caudal del gotero a  $1.56 \text{ L.h}^{-1}$  de la marca agua traxx .

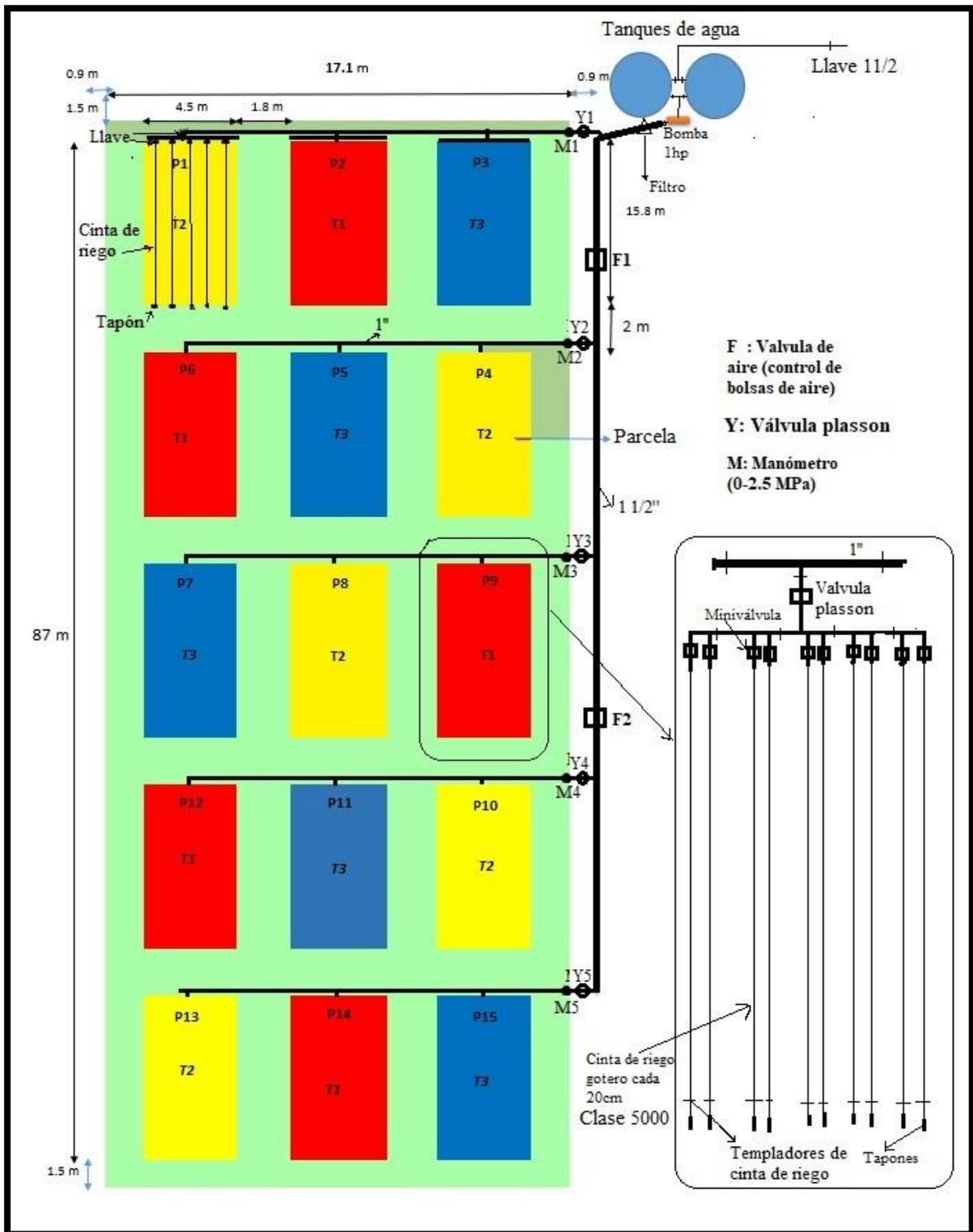


Figura 13:Esquema del sistema de riego.

FUENTE: Elaboración propia

- **Riego de machaco**

Riego de machaco consiste en un riego pesado o prolongado (inundación) que permite que el suelo duro pueda absorber el agua a través de las capas duras y de este modo pueda ponerse más suave para posterior siembra: se aplicó 27m<sup>3</sup> de agua, por un tiempo de 90 minutos, en un área de 0.17 ha, equivalente a 158.82 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>.



**Figura 14: Riego por machaco**  
FUENTE: Elaboración propia

- **Pruebas de coeficiente de uniformidad**

Para obtener el CU se procedió a la colocación de recipientes para el almacenamiento por medio de los goteros y se utilizó la cantidad de emisores necesarios, una vez obtenido un volumen representativo se midió éste mediante una probeta, y luego con un cronómetro se calculó el tiempo, de allí se obtiene el caudal del gotero para los emisores, y por último, se obtiene el coeficiente de uniformidad.

### **3.2.7 Durante la conducción del experimento**

- **Medición de humedad del suelo**

Durante el desarrollo del experimento se realizaron mediciones del contenido de humedad de suelo mediante el método gravimétrico, antes del riego de cada tratamiento. Se procedió de la siguiente manera:

1. se muestreó las quince parcelas experimentales, de cada una se extrajeron cuatro muestras aleatorias que fueron puestas en una bolsa de plástico teniendo cuidado con cada tratamiento.
2. Luego se llevaron al laboratorio, las muestras húmedas fueron pesadas y colocadas en una estufa para llevarlos a un horno microonda (CQ1570Model, Samsung, Bangkok, Tailandia), por veinticinco minutos a una temperatura de 105°C.
3. Pasado ese tiempo, se volvió a pesar la muestra seca.
4. Finalmente se obtuvo el contenido de humedad de suelo para cada parcela con la siguiente formula:

$$Wg = \frac{Ma}{Ms} \times 100$$

Donde:

Wg: contenido de humedad en base a masa o peso de agua en porcentaje.

Ma: peso de agua.

Ms: peso de suelo seco.

Obtenidos los contenidos de humedad del suelo en cada una de las unidades experimentales, se tomó el promedio por cada tratamiento. Con más detalle se muestran los resultados en el Anexo 4.



**Figura 15: Muestreo del contenido de humedad del suelo.**  
FUENTE: Elaboración propia

### **Labores culturales:**

- **Aporque**

se realizó un solo aporque y fue a los 26 días después de haber realizado la siembra. Esta labor agronómica nos sirvió para la estimulación de los tubérculos.



**Figura 16: Aporque de las plantas.**

FUENTE: Elaboracion propia

- **Abonamiento y control fitosanitario**

Se aplicó abono de ovino cuando se sembró la planta, para el control fitosanitario se instalaron trampas amarillas que contenían un producto químico llamado feromonas para mantener baja la producción de adultos de la “mosca minadora”; se instalaron en el campo experimental a los 9 días después de la siembra, y se colocaron después del aporque. También se instalaron una especie de vasijas que contenían detergente de ropa, con el fin de controlar adecuadamente a los insectos, causándoles la deshidratación.

- **Cosecha**

Se realizó a los 91 días después de la siembra, de acuerdo a la madurez fisiológica.

- **Cuantificación de riego o demanda hídrica**

Para la cuantificación de agua o lámina que requiere el cultivo de papa variedad “UNICA”, para compensar el déficit de transpiración del cultivo, así como la humedad del suelo, se utilizó el siguiente procedimiento:

1. Se extrajeron muestras de cada parcela con un muestreador socavado a una profundidad de raíz, que varía de acuerdo al período vegetativo del cultivo.
2. Se pesó la muestra húmeda y seca, luego se calculó la humedad gravimétrica multiplicada por la densidad aparente para convertirla en humedad volumétrica que contiene el suelo en ese momento ( $Wv$  actual).
3. Con una diferencia de este último valor ( $Wv$  actual), y con la humedad volumétrica a capacidad de campo ( $Wvcc$ ), se obtiene el volumen de agua consumido por el suelo ( $\Delta Wv$ ), y este valor multiplicado por la profundidad radicular, se obtuvo la lámina neta de riego que se aplicó a cada tratamiento.

$$Ln = \frac{Wgcc - Wgactual}{100} * da * z = \frac{Wvcc - Wvactual}{100} * z = \Delta Wv * z$$

Estos valores se observan con más detalle en el Anexo 6.

- **Tiempo de Riego**

Una vez determinada la lámina a aplicar por tratamiento, se calculó el tiempo de riego con la siguiente fórmula:

$$\begin{aligned} \text{Tiempo de riego} &= \frac{\text{volumen}}{\text{caudal}} \\ &= \frac{\text{área de la planta}(m^2) * \# \text{ de plantas por surco} * Lr}{qgot * \# \text{ de goteros por surco}} \\ \text{Tiempo de riego} &= \frac{0.65 * 0.3(m^2) * \# \text{ de plantas por surco} * Lr}{1.56 \text{ l. hr}^{-1} * \# \text{ de goteros por surco}} \end{aligned}$$

- **Frecuencia de riego**

La frecuencia de riego para los tratamientos T2 y T3, se determinó mediante índice de estrés hídrico del cultivo (CWSI) o umbrales de riego. Ramírez et al., (2016) y Rinza (2018). Para el tratamiento control T1, se tomó en cuenta la capacidad de retención de suelo, es decir, la humedad debe estar en el rango de agua fácilmente aprovechable (AFA).

- **Medición de la temperatura del follaje de la planta para obtener el CWSI**

Mediante imágenes térmicas se determinó el índice de estrés hídrico del cultivo (CWSI), para definir los umbrales de riego, y se tomó estos valores después de iniciada la tuberización.

Para obtener estos valores se procedió de la siguiente manera:

1. Se descargaron datos meteorológicas de la estación de modelo (HOBO U30, Onset Computer Corporation, Bourne, USA), que estuvo en la misma parcela experimental: temperatura atmosférica (Ta) y humedad relativa (HR).
2. Con la ayuda de un cartón de 0.5 x 1.0m, se determinó la temperatura reflejada del ambiente; se midió al inicio y al medio, aproximadamente, de la parcela experimental; de acuerdo a la teoría de superficies de referencia propuesta por Jones (2014).
3. Con los datos anteriores: la temperatura atmosférica (Ta), humedad relativa (HR), la temperatura reflejada, la distancia con la cobertura de cultivo y por último la emisividad del cultivo de 0.96. Para su calibración, son introducidos a la cámara térmica (FLIR, 2016).
4. Para la medición de la temperatura del follaje, se eligieron cuatro plantas situadas en el centro de cada parcela, lo que se tomó como área representativa para las demás parcelas, y en este experimento fue de 15. Estas mediciones se realizaron entre las 12h y las 14h, según Jackson et al., (1982), con la cámara termográfica (modelo E60, FLIR Systems Inc., Wilsonville, USA), a una distancia aproximada de 3.0 metros de la base del cultivo, con un campo de visión angular de 25° y una resolución de 320\*240 píxeles, y un rango de sensibilidad espectral de 7,5-13  $\mu\text{m}$ . La emisividad térmica se fijó en 0.96.
5. En el mismo momento que se hacían las mediciones anteriores, se tomaron imágenes de la superficie de referencia artificial húmeda, y esta se acondicionó, según Moller et al. (2006), con una tela blanca doblada de algodón, de 1 mm de espesor, usada como material absorbente, que envuelve a un pedazo de poliestireno (“tecnopor”) que flota en una bandeja con agua de 0.32m x 0.22m x 0.1m.
6. Nuevamente se descargan a la computadora los datos de la estación meteorológica, que registraba cada 5 minutos: temperatura del aire, humedad relativa, radiación solar, viento y dirección del viento; para posteriormente, ya en gabinete, elegir

aquellas temperaturas del aire ( $T_{air}$ ) que se midieron en el mismo momento que se hicieron las mediciones de la temperatura del follaje de cada parcela. Para encontrar  $T_s$  se ha propuesto, en papa,  $7^{\circ}\text{C}$  sobre la temperatura del aire en ambientes húmedos (Ramírez et al., 2016; Rud et al., 2014).

7. Procesamiento imágenes en el software FLIR tools y TIP CIP :

- Retiro de tarjeta SD y descarga de imágenes.
- Se procesan las imágenes con el software y se analiza individualmente de cada imagen.
- Con la ayuda del software FLIR tools, introduciendo parametros de emisividad, temperatura reflejada de 1 y 0  $^{\circ}\text{C}$ , respectivamente, se obtiene la temperatura reflejada del cartón, utilizando el método directo (FLIR 2016), con imágenes RGB visibles (3.1 Mpixels) tomadas por la cámara infrarroja.
- Luego, los valores son introducidos a un excel en formato CVS, así como también el número de imagen termal, la emisividad de 0.96 y la temperatura reflejada del cartón.
- Las imágenes visibles y termales que fueron tomadas por las cámaras térmicas, de las 15 parcelas y descargadas de éstas, así como la temperatura reflejada del cartón, son introducidas al software TIP CIP V1.2, y mediante un procesamiento de alineación de éstas se obtiene la temperatura promedio de follaje ( $T_{follaje}$ ).
- Por medio de un análisis individual, de la superficie de referencia artificial húmeda, de cada una de las imágenes, utilizando el software FLIR tools, se obtiene Thum, según Moller et al. (2006).
- Como se explica en el paso seis, cómo obtener la temperatura del aire ( $T_a$ ), este valor es introducido en la temperatura seca ( $T_{seca}$ ):  $T_a + 7$

8. Y por último se obtendra el indice de estrés hídrico del cultivo (CWSI) a partir de la fórmula desarrollada por Jones (1999) :

$$CWSI = \frac{T_f - T_s \cdot h}{T_s - T_s \cdot h} = \frac{T_f - T_s \cdot h}{T_{air} + c - T_s \cdot h}$$

Donde:

$T_f$ : temperatura de cultivo (dosel vegetativo)

Ts: temperatura de referencia máximo estrés hidrico o temperatura seca del cultivo

c: el valor de C puede variar de 1 °C hasta 12 °C. (Idso et al., 1982).

Ts.h: temperatura de referencia de mínimo estrés hidrico o temperatura húmeda del cultivo.

### **Evaluación de crecimiento y desarrollo de la planta:**

- **Profundidad radicular**

Esta evaluación se realizó durante todo el período vegetativo del cultivo, ya que era importante para nuestro análisis de la lámina de riego a aplicar; para obtener la altura radicular se excavó con cuidado para no dañar a la planta y se midió con una regla como se aprecia en la Figura 17.



**Figura 17: Evaluación de la profundidad radicular.**

FUENTE: Elaboracion propia.

- **Evaluación de la cosecha**

Se realizó luego de culminado el período vegetativo del cultivo, a los 92 días después de la siembra. Se registrarón datos de la producción total de los tres tratamientos en toda la parcela experimental, se tomaron al azar cuatro plantas de cada parcela, haciendo un promedio de cada tratamiento, y se calculó de la siguiente manera:

$$\text{Rendimiento (Kg. ha}^{-1}\text{)} = \frac{\text{Peso x Parcela (Kg)}}{\text{Area de la parcela (m}^2\text{)}} \times 10000\text{m}^2$$

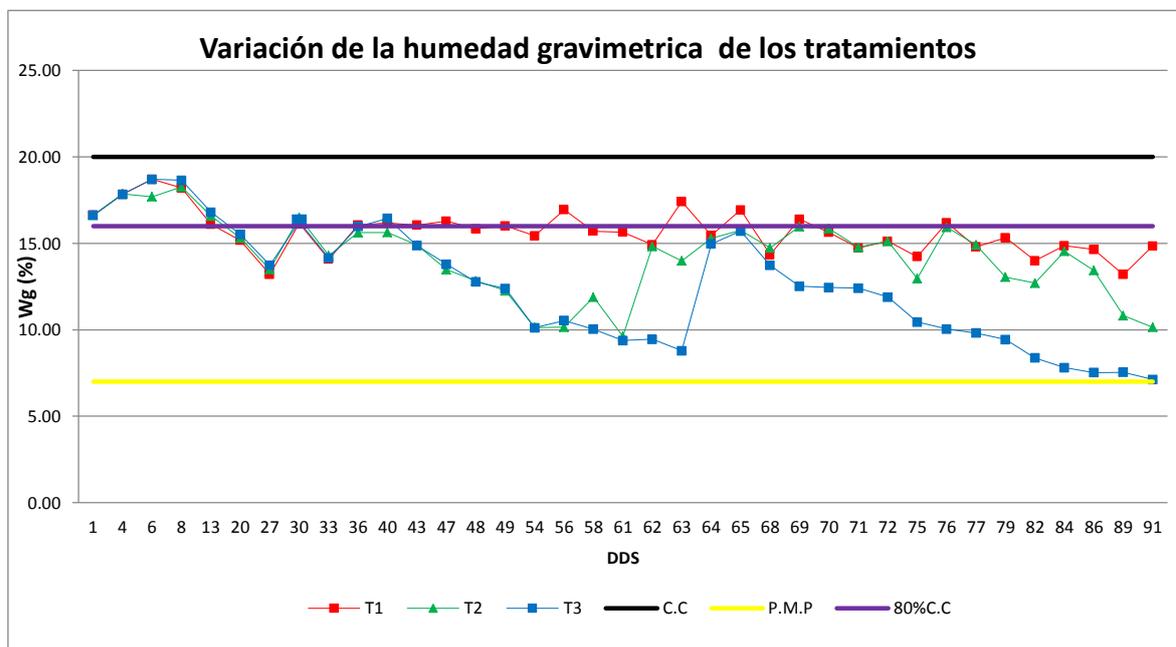
### **3.2.8 Análisis estadístico**

Para el análisis estadístico de las variables, para un diseño por bloques completamente al azar (DBCA), se analizó su varianza ANOVA, así como para la prueba de comparación múltiple de medias de las variables entre los tratamientos, se utilizó la Prueba Estadística de Comparación de Tukey. Se utilizó la versión libre del software InfoStat y RStudio.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

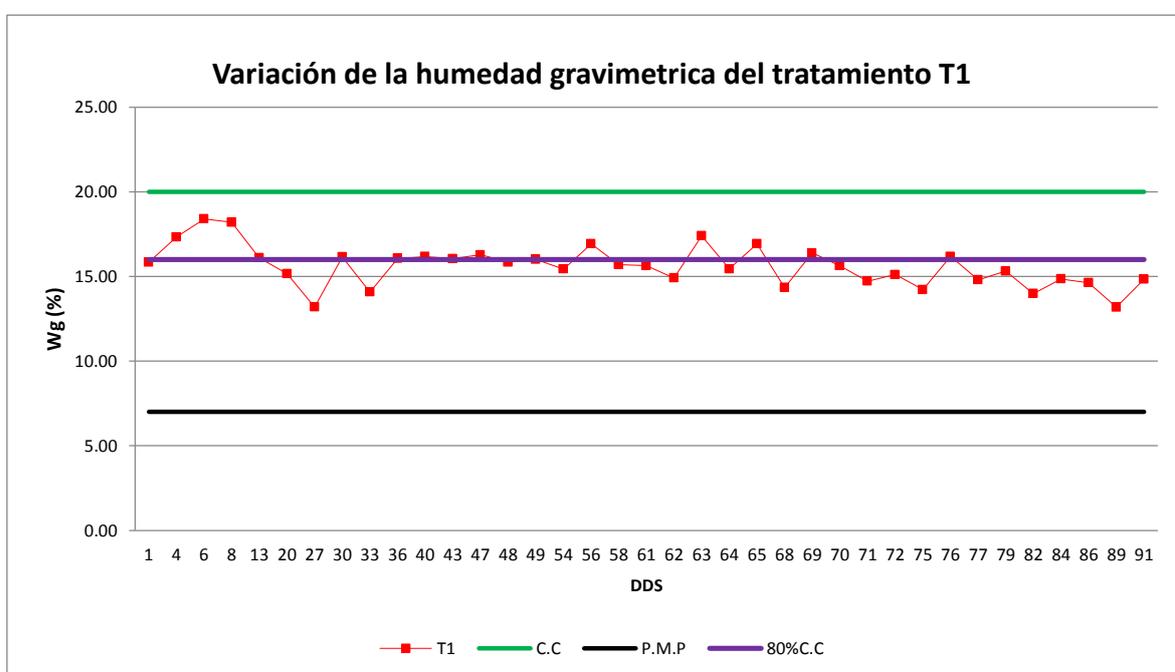
### 4.1 HUMEDAD DEL SUELO

El contenido de humedad del suelo se midió durante todo el período vegetativo del cultivo, usándose el método gravimétrico, antes de cada riego, para los tres tratamientos. En la Figura 18 se observan las curvas de los tres tratamientos. Se extrajeron las muestras de cada tratamiento a una determinada profundidad radicular, a los días después de la siembra (DDS), como se aprecia en la Tabla 15; a partir de la última vez que se midió la altura de la raíz (47 días después de siembra), se muestreó el contenido de humedad del suelo hasta el momento que se cosechó.



**Figura 18: Variación de las humedad gravimétrica de los tratamientos T1, T2 y T3**  
FUENTE: Elaboración propia

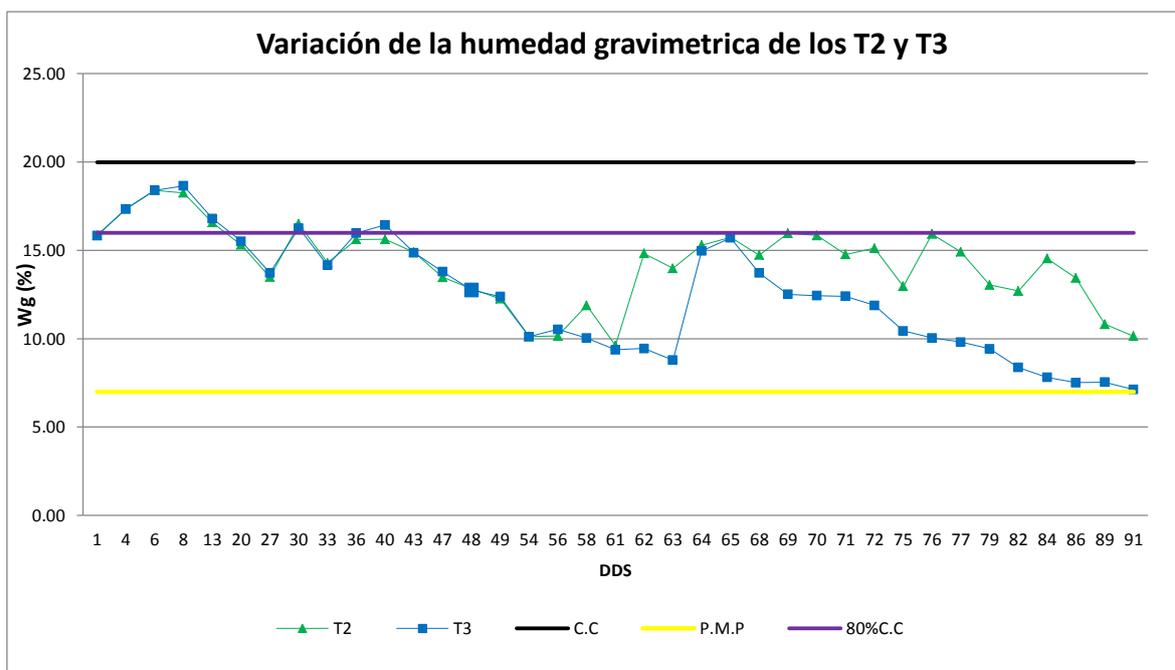
Para el tratamiento control T1, se trató de que el porcentaje de humedad se encuentre entre 80 por ciento C.C, o sea 15.99 por ciento de la humedad gravimétrica y a capacidad de campo o en 19.99 por ciento de la Wg, como se aprecia en la Figura 19; con la variación de la humedad en este rango se trató de mantener un apropiado nivel de humedad para el cultivo, ya que el cultivo de papa es sensible al déficit hídrico, para posteriormente aplicar la lámina de riego actual. Este cultivo se desarrolla en óptimas condiciones con humedad entre 60 y 80 por ciento de capacidad de campo (Sood y Singh, 2003). Pero en el día 27 y 33 después de la siembra, respectivamente, tuvo un desbalance de este rango llegando la humedad gravimétrica a 13.02 y 14.08 por ciento. Pero a ello se obtuvo un rendimiento aceptable.



**Figura 19: Variación de la humedad gravimétrica del tratamiento T1.**  
FUENTE: Elaboración propia

A los tratamientos T2 y T3 se les midió de la misma manera que el tratamiento control, solo hasta luego de iniciada la tuberización, a partir de ese momento se empezó con la restricción hídrica para estos tratamientos, que fue a los 36 DDS como se muestra en la Figura 20; los valores de humedad comenzaron a cambiar, el indicador del CWSI indicó la frecuencia de riego, tratando que no superen los valores de 0.4 y 0.7, propuestos por Ramírez et al., (2016) y Rinza (2018). Llegando a esos valores, se tomaba una muestra del suelo que indicaba el contenido de humedad del suelo, para posteriormente aplicar las

láminas de riego respectivamente, como se aprecia en las curvas, manteniéndose dentro del rango de C.C y P.M.P. El tratamiento T2 llegó hasta 9.61 y 10.14 por ciento de la humedad gravimétrica, en los 61 y 91 días después de siembra; para el tratamiento T3 llegó a 8.79 y 7.12 por ciento del contenido de humedad de suelo, en los 63 y 91 DDS respectivamente.



**Figura 20 : Variación de la humedad gravimétrica de los tratamientos T2 y T3.**  
FUENTE: Elaboración propia

#### 4.2 PRUEBAS DE COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD

En el presente trabajo de investigación se realizaron mediciones de uniformidad de acuerdo con el marco teórico, obteniéndose resultados del C.U como se presenta en la Tabla 8.

**Tabla 8: Resultados de coeficiente de uniformidad.**

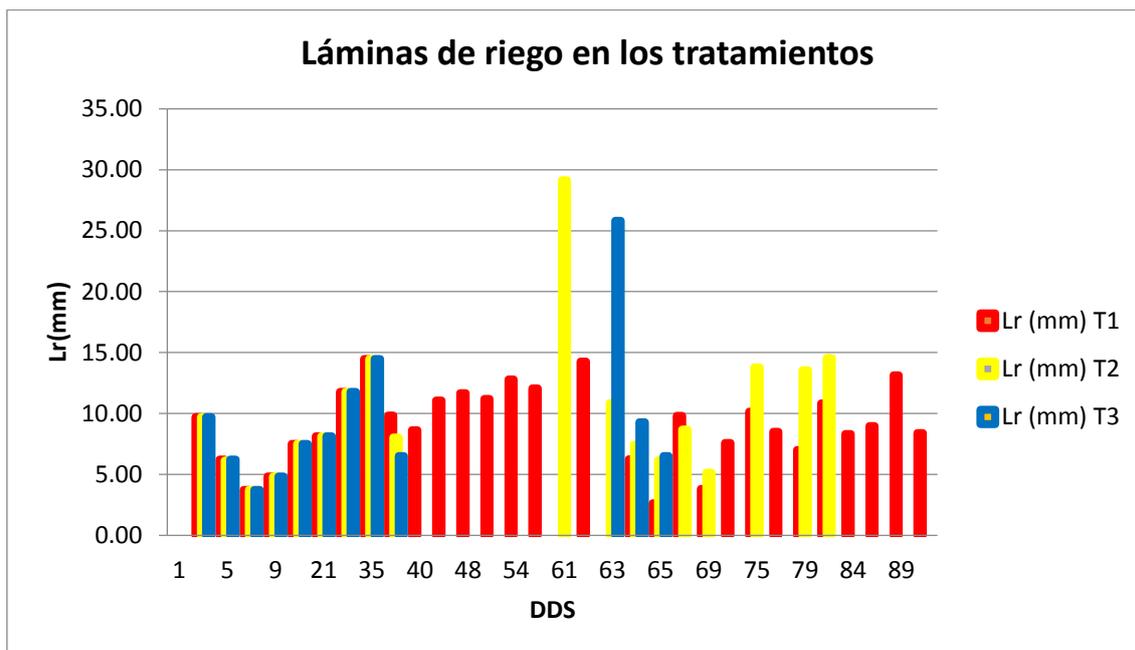
fecha	C.U
20-jun	81.11
31-ago	78.94

FUENTE: Elaboración propia

Los resultados obtenidos, en las fechas que se midieron, indican que, según Merrian y Keller (1978), con respecto al C.U en campo, el primero fue bueno y el segundo regular, según el rango de clasificación de la Tabla 2.

### 4.3 LÁMINAS DE RIEGO APLICADO

En la Figura 21 se presentan los valores de las láminas de riego aplicadas a cada tratamiento a lo largo del período vegetativo del cultivo; hasta el día 36 después de la siembra, las láminas se mantuvieron iguales para los tres tratamientos, se aplicaron iguales riegos; después de esa fecha se comenzó con el déficit hídrico para los tratamientos T2 y T3.

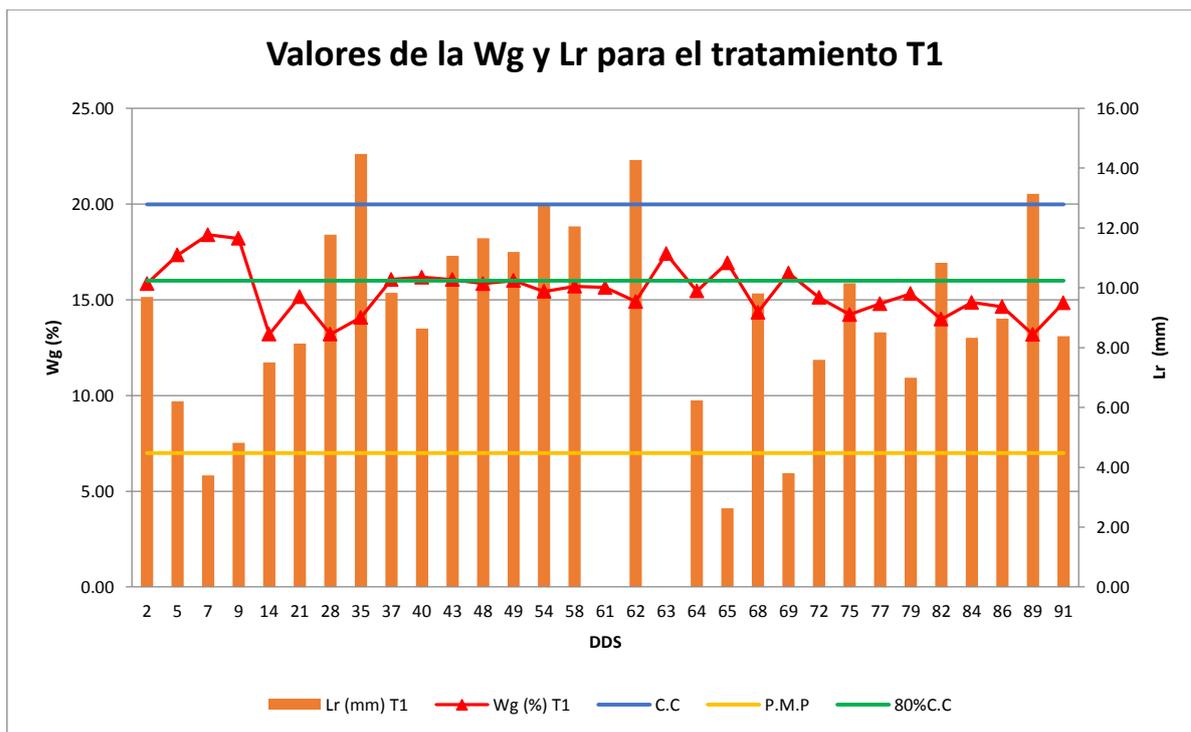


**Figura 21: Lámina de riego para los tratamientos T1,T2 y T3**

FUENTE: Elaboración propia

#### 4.3.1 Lámina de riego del tratamiento T1

El T1 se regó a lo largo de toda la campaña, tratando de mantener el contenido de humedad del suelo entre capacidad de campo y 80 por ciento de C.C, manteniéndolo dentro del rango de agua fácilmente aprovechable (AFA), sin llegar al punto de marchitez permanente; llegando a recibir 29 láminas de riego a lo largo del período del cultivo. Como se muestra en la Figura 22.

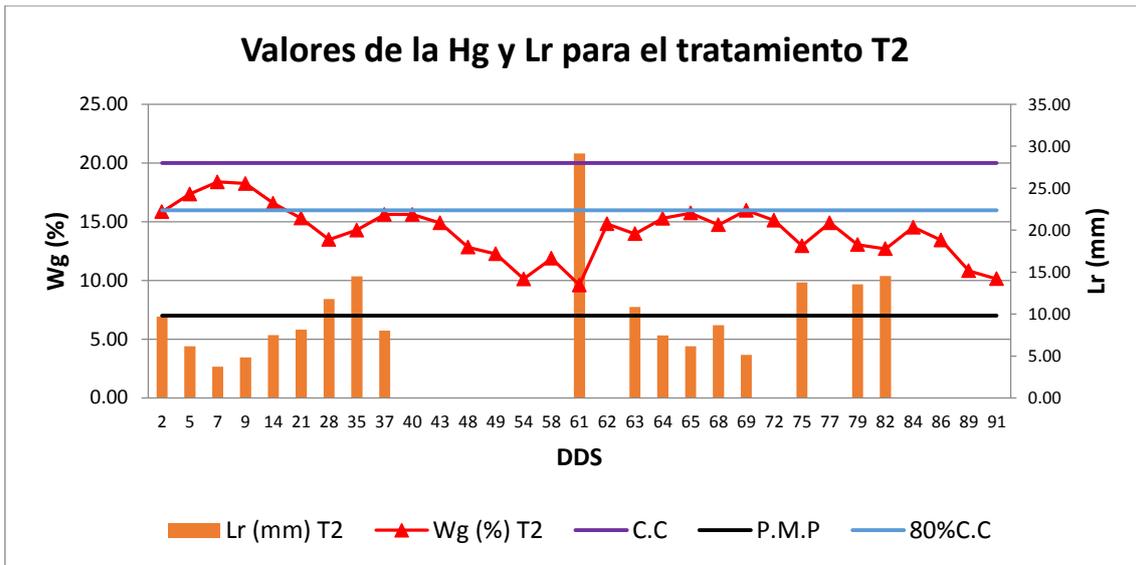


**Figura 22: Valores de la humedad gravimétrica y láminas de riego para el tratamiento T1.**

FUENTE: Elaboracion propia.

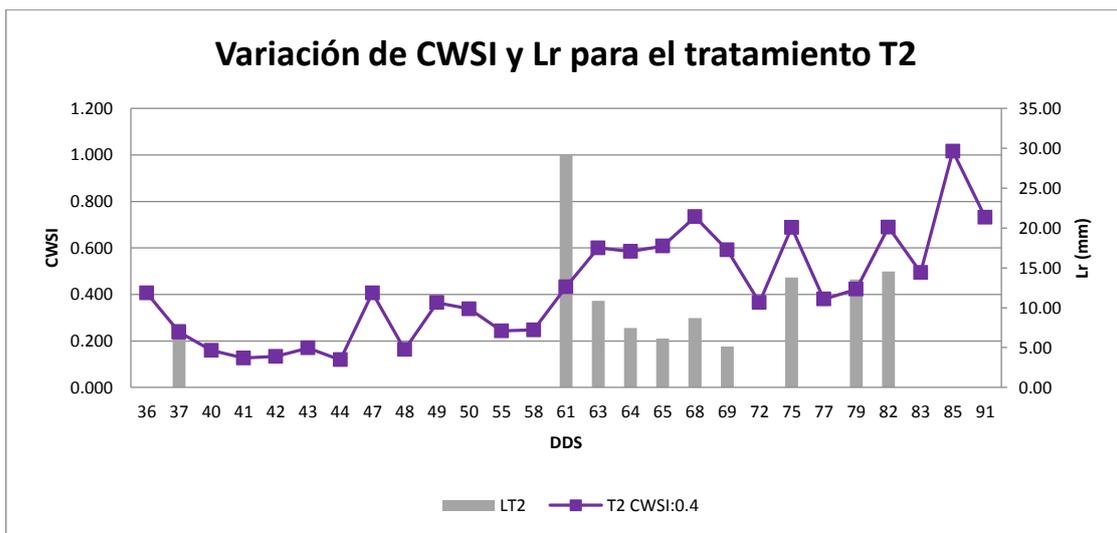
#### 4.3.2 Lámina de riego del tratamiento T2

Para este tratamiento se empleó, antes de la restricción hídrica, un total de 8 riegos, y después, un total de 10 riegos, como se observa en la Figura 23, llegando a recibir en toda la campaña 18 riegos; cuando se inicia la restricción hídrica, después de la tuberización, en el día 36 DDS, el momento de riego fue por el método de superficie de referencia propuesta por Jones (1999) . En base a la temperatura de la planta y el ambiente, medidos con la cámara infrarroja y en condiciones meteorológicas locales, aplicado este método para este tratamiento para el primer riego se regó con una frecuencia de 25 días desde el 37 al 61 DDS, el umbral de riego CWSI llegó aproximadamente a 0.4 como se observa en la Figura 24, cuya lámina repuesta fue de 29.15 mm, pasados esos días, la humedad gravimétrica llegó a descender a 9.61 o un 48.05 por ciento C.C, es decir, tuvo un agotamiento de 51.92 por ciento de su C.C, como se observa en las Figura 23; después se regó los días 63, 64, 65, 68, 75,79 y 82 tratando que los umbrales de riego CWSI no superen a 0.4 propuesto por Ramírez et al., (2016) y Rinza (2018). Según el estado fisiológico del cultivo como se observa en la Figura 24.



**Figura 23: Valores de la humedad gravimétrica y lámina de riego para el tratamiento T2**

FUENTE : Elaboración propia



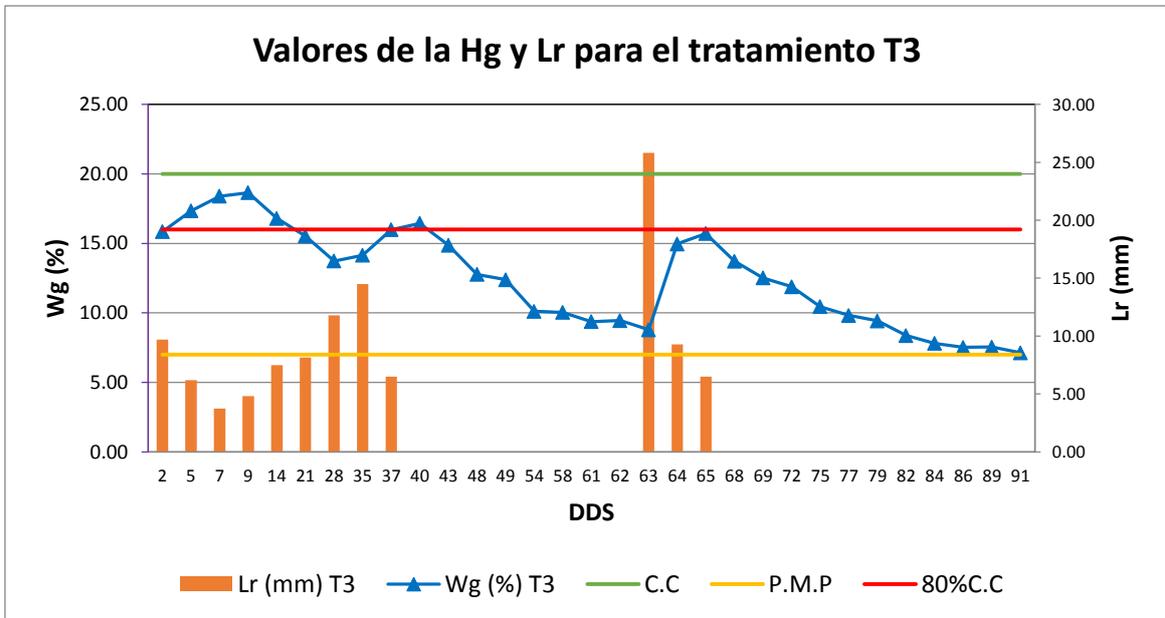
**Figura 24 Valores de CWSI y lámina de riego del tratamiento T2**

FUENTE: Elaboración propia

### 4.3.3 Lámina de riego del tratamiento T3

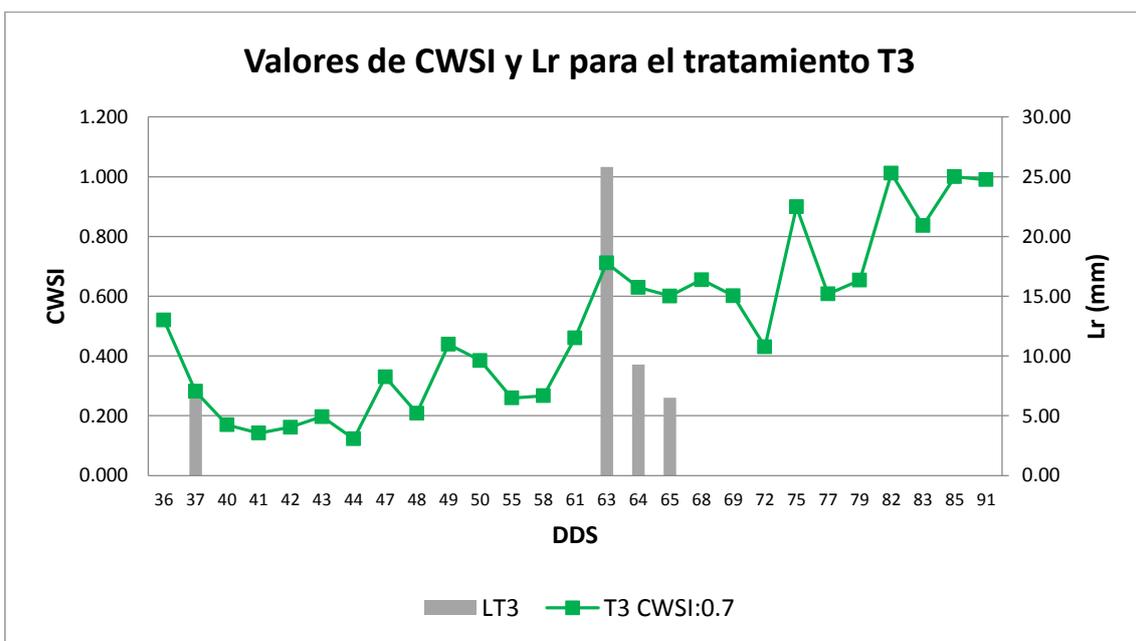
En este tratamiento antes de la restricción hídrica se aplicó un total de 8 riegos, y después un total de 4 riegos, llegando a recibir en toda la campaña 12 riegos como se aprecia en la Figura 25, para este tratamiento la frecuencia de riego fue de 27 días desde el 37 al 63 DDS, el umbral de riego CWSI llegó a 0.7 como se observa en la Figura 26, se llegó a reponer una lámina de 25.81 mm, pasado esos días el contenido de humedad gravimétrica llegó a 8.79 o un 43.62 por ciento de C.C, con un agotamiento de 56.38 por ciento de su

C.C estando cerca a PMP de 7 por ciento como se observa en las Figura 25, después de este riego se regó el día 64 y 65 empleándose de la misma manera que el tratamiento anterior, pero en este caso el valor del CWSI no supere al valor de 0.7 propuesto por Ramírez et al., (2016) y Rinza (2018), como se observa en la Figura 26.



**Figura 25: Valores de la humedad gravimétrica y lámina de riego para el tratamiento T3.**

FUENTE : Elaboración propia



**Figura 26: Valores de CWSI y lámina de riego del tratamiento T3.**

FUENTE: Elaboración propia

#### 4.3.4 Lámina neta de riego aplicado en cada etapa del cultivo

En la Tabla 9 se observan los valores de las láminas netas de riego aplicadas en los tratamientos para cada fase fenológica del cultivo (más detalles en el Anexo 6).

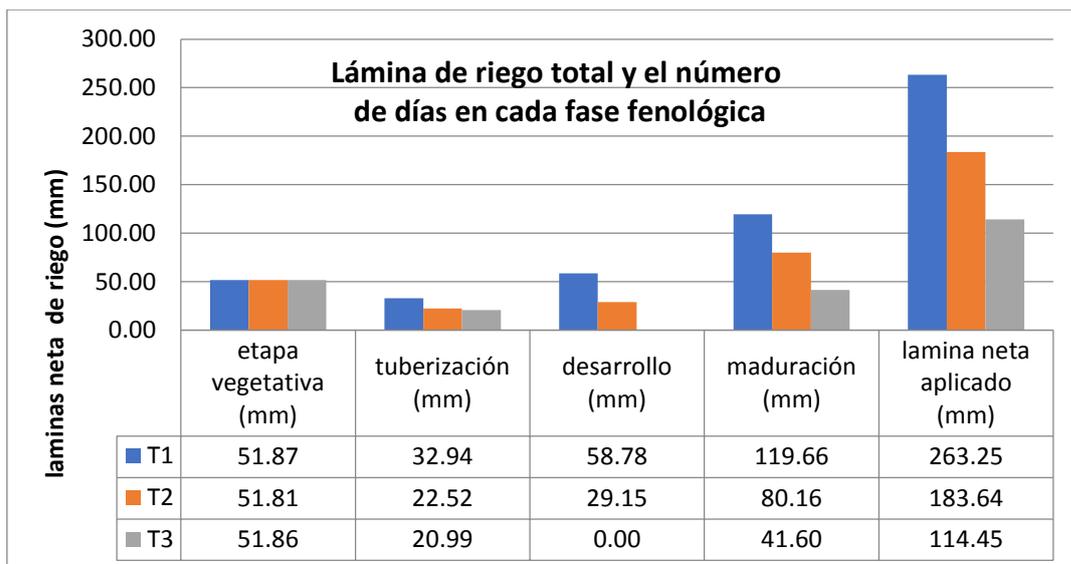
Como se muestra, el mayor consumo de agua para los tratamientos T1 y T2 fue en la maduración, así como las menores láminas recibidas fueron en la tuberización; para el T3, en la etapa de desarrollo no se aplicaron láminas y su mayor consumo de agua fue en la etapa vegetativa, siendo su menor consumo en la tuberización.

**Tabla 9: Láminas neta de riego en (mm) en los tres tratamientos aplicados en cada fase fenológica del cultivo.**

tratamientos	etapa vegetativa	tuberización	desarrollo	maduración	lámina neta aplicada (mm)
T1	51.87	32.94	58.78	119.66	263.25
T2	51.81	22.52	29.15	80.16	183.64
T3	51.86	20.99	0	41.6	114.45

FUENTE: Elaboración propia

En la Figura 27 se observa el número de días que duró en cada fase fenológica: Etapa vegetativa de 30 días, tuberización 11 días, desarrollo 20 días y maduración 30 días. En toda la etapa vegetativa se mantuvo para los tres tratamientos las mismas láminas de riego, y a partir de ese momento se aplicaron diferentes láminas de riego de acuerdo a los tratamientos establecidos. Las láminas totales que utilizó a lo largo de toda la campaña para los tratamientos T1 fue de 263.2 mm; T2 de 183.6 mm y para el T3 fue de 114.4 mm.



DDS	30 días	11 días	20 días	30 días
-----	---------	---------	---------	---------

**Figura 27: Láminas neta de riego total aplicada y el número de días en cada fase fenológica en los tratamiento T1,T2 y T3.**

FUENTE: Elaboración propia

Análisis estadístico:

El análisis estadístico para las láminas de riego se realizó a través del análisis de varianza y la prueba de tukey.

#### 4.3.5 Análisis de Varianza

Los resultados de este análisis se presenta en la tabla 10.

**Tabla 10: Análisis de varianza de láminas de riego**

variable	N	R <sup>2</sup>	Aj	CV
láminas	15	0.98	0.97	6.08

cuadro de Análisis de la varianza (SC tipo III)

F.V	SC	GL	CM	F	p-valor	Sig
Modelo	57817.12	6	9636.19	74.36	<0.0001	
tratamientos	55456.48	2	27728.24	213.97	<0.0001	**
bloques	2360.63	4	590.16	4.55	0.0328	
Error	1036.71	8	129.59			
total	58853.8314	14				

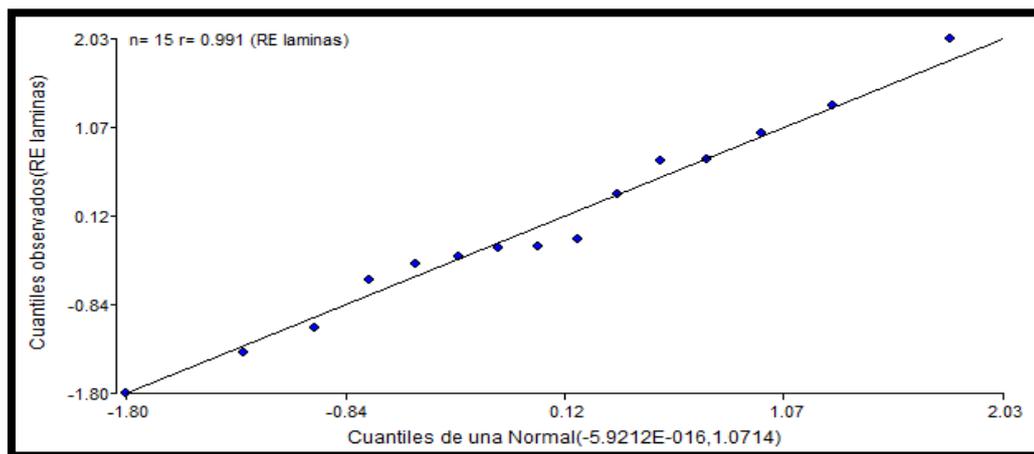
como se observa de la tabla 10, hay diferencias altamente significativas entre los tratamientos, el valor  $p=0.0001$  es mayor al nivel de significación  $\alpha=0.01$ , y así como las repeticiones existe una diferencia significativa, ya que el valor  $p=0.0328$  se encuentra entre 0.01 a 0.05 del valor de significación, con un coeficiente de variabilidad (CV)= 6.08 %.

#### 4.3.6 Comprobación de los supuestos

Los supuestos realizados para esta prueba son:

- **Distribución normal**

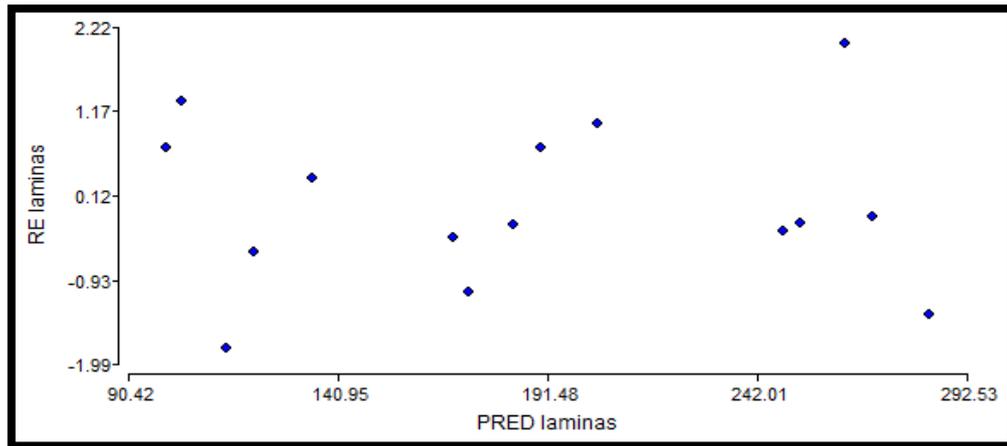
La recta de la regresión en la Figura 28 fue trazada según la prueba Shapiro-Wilk, donde el valor de  $r$  es 0.991, valor mayor a 0.94, por tanto, no se rechaza la hipótesis planteada ( $H_0$ ) hipótesis nula, concluyendo que los errores del modelo se distribuyen con normalidad.



**Figura 28 : Prueba Shapiro – Wilks de las láminas de riego**  
FUENTE: Elaboración propia.

- **Homogeneidad de varianzas**

En la Figura 29, se muestra que los puntos no forman un cono marcado, entonces existe homogeneidad de varianzas, en conclusión se cumplen los dos principios del diseño por bloques completamente al azar, tanto la distribución normal y homogeneidad de varianzas.



**Figura 29 : Prueba de la homogeneidad de varianzas de las láminas de riego.**  
FUENTE: Elaboración propia.

#### 4.3.7 Prueba de Tukey

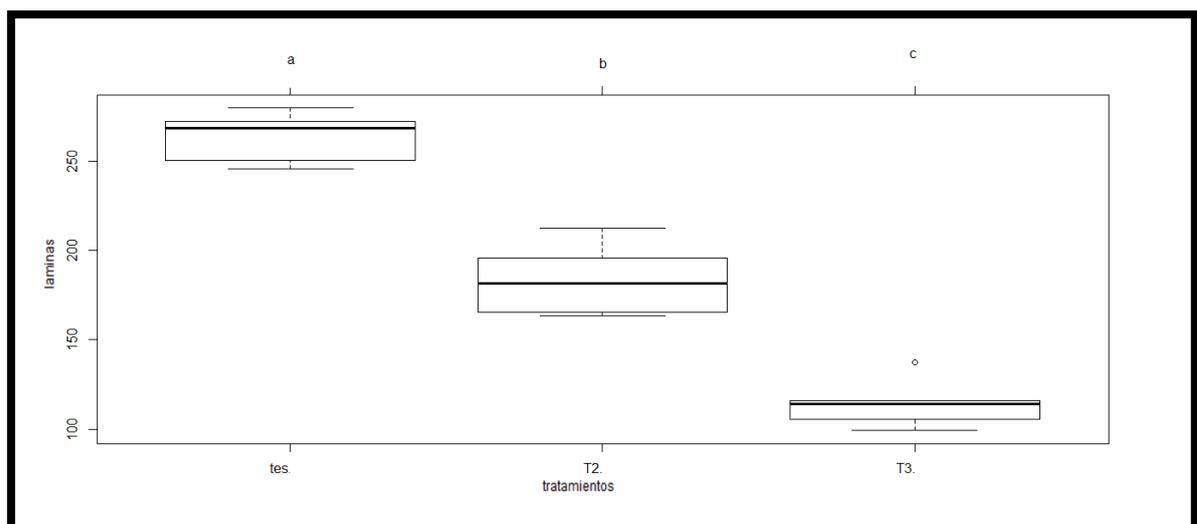
En la tabla 11 y figura 30, la prueba de comparación media de Tukey mostró que si existe una diferencia significativa entre los tratamientos, ya que tienen diferentes medias.

**Tabla 11: Prueba de Tukey de láminas de riego.**

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=20.5766

Error: 129.5882 GL: 8

Tratamientos	Medias	n	E.E	
1	263.29	5	5.09	A
2	183.64	5	5.09	B
3	114.48	5	5.09	C



**Figura 30: Análisis de medias de las láminas de riego.**  
FUENTE: Elaboración propia.

#### 4.4 CUANTIFICACIÓN DEL AGUA

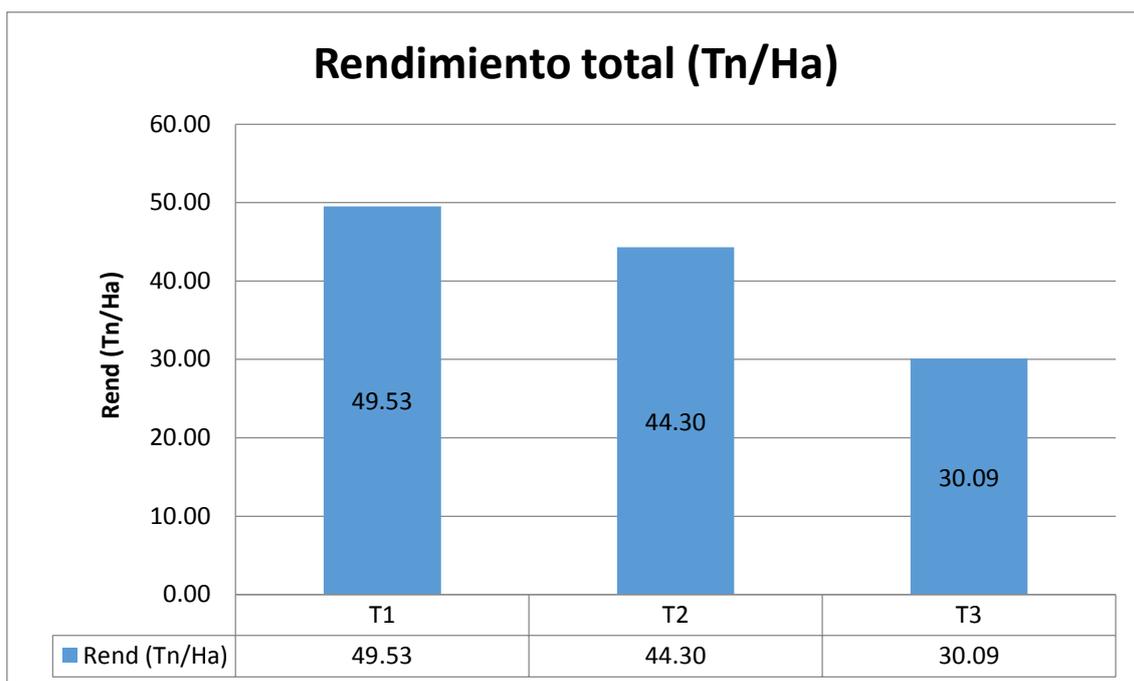
El volumen de agua total aplicado en el cultivo papa variedad “UNICA” para el tratamiento control T1 fue de 2632.48 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup> y en todo el período vegetativo fue determinado en base al contenido humedad del suelo, manteniendo al suelo a CC; para los tratamientos T2 y T3, fue de 1836.41 y 1144.46 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup> respectivamente, así como los volúmenes en cada período vegetativo. Estos valores se muestran en la Tabla 12, la cuantificación del agua fue similar al tratamiento T1, es decir hasta antes de la retracción hídrica, a partir de ese momento las aplicaciones de riego se realizaron cuando llegaron a los indicadores de índice de estrés hídrico del cultivos (CWSI).

**Tabla 12: Volumen de agua aplicado en (m<sup>3</sup>/Ha) en cada tratamiento a lo largo de la fase fenológico del cultivo**

tratamientos	etapa			Volumen de agua total aplicado (m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup> )	
	vegetativa	tuberización	desarrollo maduración		
T1	518.68	329.42	587.77	1196.61	2632.48
T2	518.14	225.17	291.45	801.64	1836.41
T3	518.64	209.86	0	415.96	1144.46

FUENTE: Elaboración propia

En la Figura 31 se muestra el volumen total de agua aplicado en m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>; observamos que hay un ahorro de agua equivalente a 796.13 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>, 1488 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>; y en porcentaje el ahorro de agua representa el 30.24, 56.52 por ciento respectivamente, con el sistema de riego por goteo de los tratamiento T2 y T3, con respecto al tratamiento testigo T1.

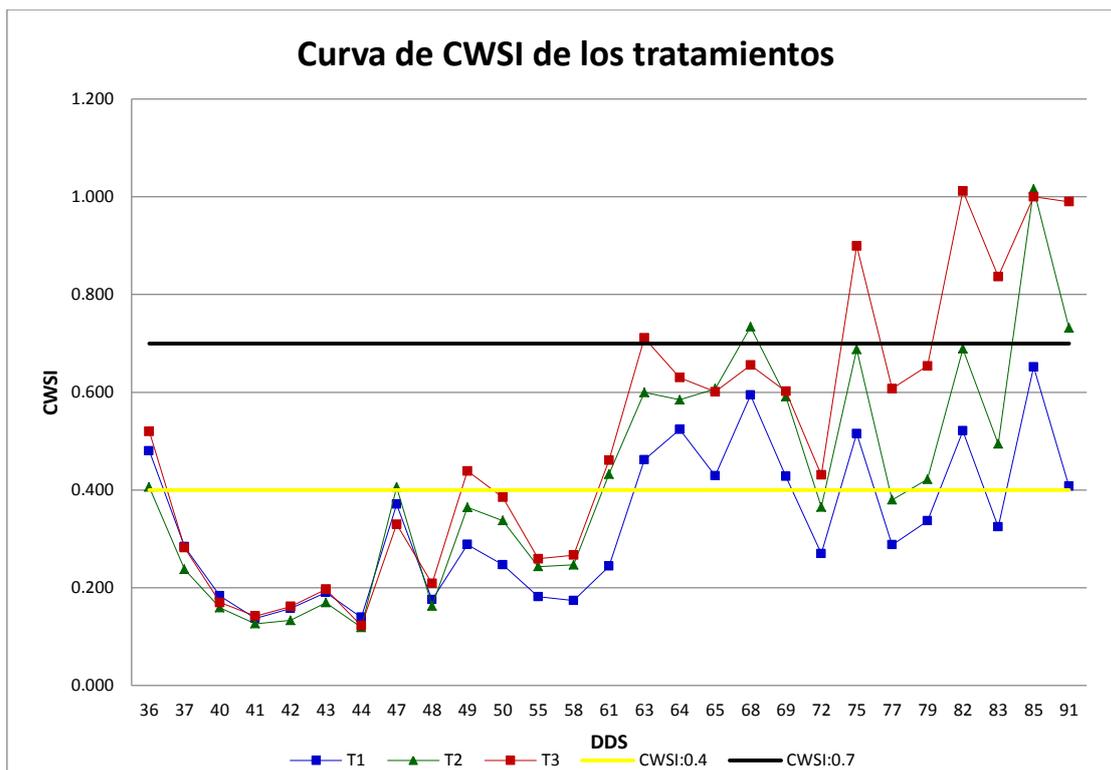


**Figura 31: Volumen de agua total que se consume en todo el período vegetativo en los T1,T2 y T3**

FUENTE: Elaboración propia.

#### 4.5 MEDICIÓN DE LA TEMPERATURA DEL FOLLAJE PARA CALCULAR EL CWSI

Estas mediciones se realizaron luego de iniciada la tuberización, a los 36 días después de la siembra (DDS) , hasta el último día de la fase fenológico para los tratamientos T2 y T3. Para el tratamiento control T1, como se observa en la Figura 32, nunca llegó a 1, ya que constantemente el contenido de humedad del suelo se mantenía entre capacidad de campo y 80 por ciento de la C.C; T2, para este tratamiento se evitó que los valores de CWSI superen al umbral propuesto por Ramírez et al. (2016) y Rinza (2018), de 0.4, como se observa en la Figura 32. Este valor indicaba una detección de estrés hídrico del cultivo para evitar el deterioro fisiológico, así como también evitar una drástica reducción en el rendimiento; para el tratamiento T3 se siguió el mismo procedimiento que el T2, pero en este caso el umbral de riego fue de 0.7. Estos valores fueron determinados con la medición de la temperatura del follaje de la planta y la temperatura del ambiente.



**Figura 32: Curva de los índices de estrés hídrico del cultivo para los T1,T2 y T3.**

FUENTE: Elaboración propia.

#### 4.6 PROFUNDIDAD RADICULAR

La profundidad radicular se midió a lo largo del período vegetativo del cultivo, en la tabla 13 se muestran los respectivos valores después de siembra.

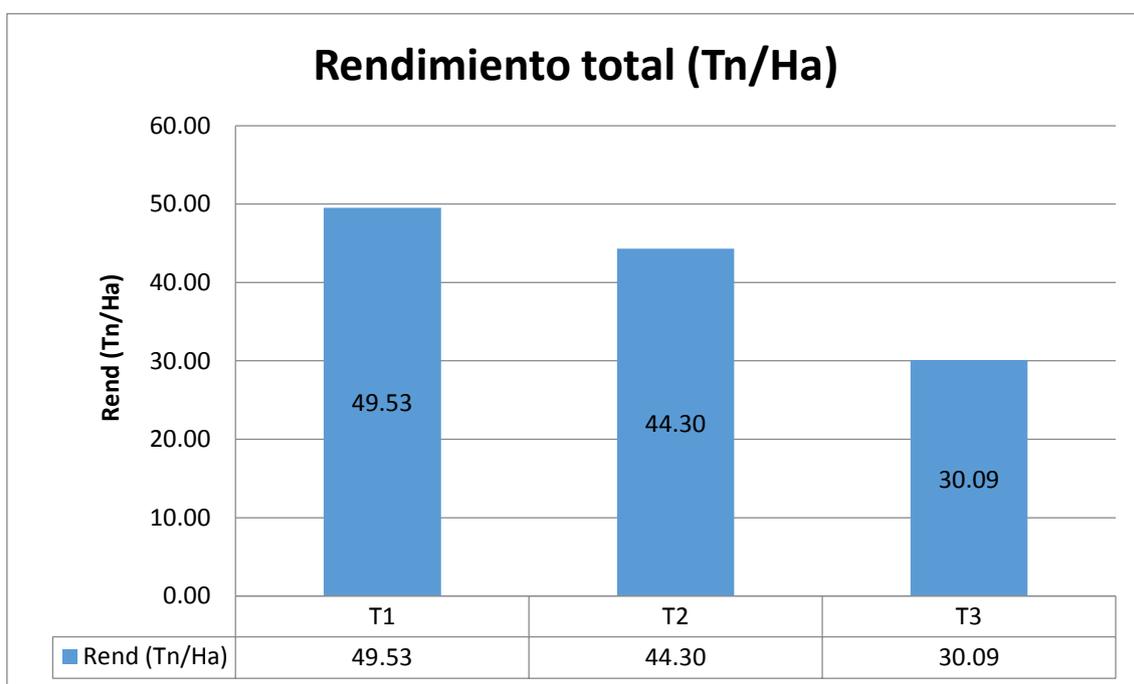
**Tabla 13: Profundidad radicular a lo largo de toda la campaña del cultivo.**

DDS	Prof. (cm)
8	0.12
13	0.13
20	0.16
27	0.18
30	0.2
33	0.23
36	0.23
40	0.24
42	0.25
47	0.26
91	0.26

FUENTE: Elaboración propia

#### 4.7 EVALUACIÓN DE LA COSECHA

El rendimiento que se obtuvo en la papa variedad “UNICA” fue el siguiente: para el T1 control fue de 49.53 t.ha<sup>-1</sup>, el T2 44.30 t.ha<sup>-1</sup> y T3 30.09 t.ha<sup>-1</sup>. Estos resultados se pueden ver en la Figura 33, los valores son superiores a los registrados para la costa peruana: 32 t.ha<sup>-1</sup>, y superan el rendimiento promedio nacional de 14.7 t.ha<sup>-1</sup>.(MINAGRI, 2017). También se llegó a obtener mayor rendimiento en la tesis desarrollada en la UNALM por Meza (2013). En la parcela demostrativa del departamento de Recursos Hídricos (DRH), se obtuvo un rendimiento de 40 tn.ha<sup>-1</sup>, en la misma variedad de papa UNICA.



**Figura 33: Rendimientos en la cosecha en los tratamientos T1, T2 y T3**

FUENTE: Elaboración propia.

Análisis estadístico:

El análisis estadístico para el rendimiento del cultivo se realizó a través del análisis de varianza y la prueba de tukey.

##### 4.7.1 Análisis del ANOVA

Los resultados de este análisis se presentan en la Tabla 14.

**Tabla 14: Análisis de varianza de los rendimientos.**

Análisis de la varianza						
variable	N	R <sup>2</sup>	Aj	CV		
rendimiento	15	0.82	0.68	13.88		
cuadro de Análisis de la varianza (SC tipo III)						
F.V	SC	GL	CM	F	p-valor	Sig
Modelo	1167.14	6	194.52	5.92	0.0125	
tratamientos	1010.04	2	505.02	15.36	0.0018	**
bloques	157.1	4	39.28	1.19	0.3833	
Error	262.99	8	32.87			
total	1430.13	14				

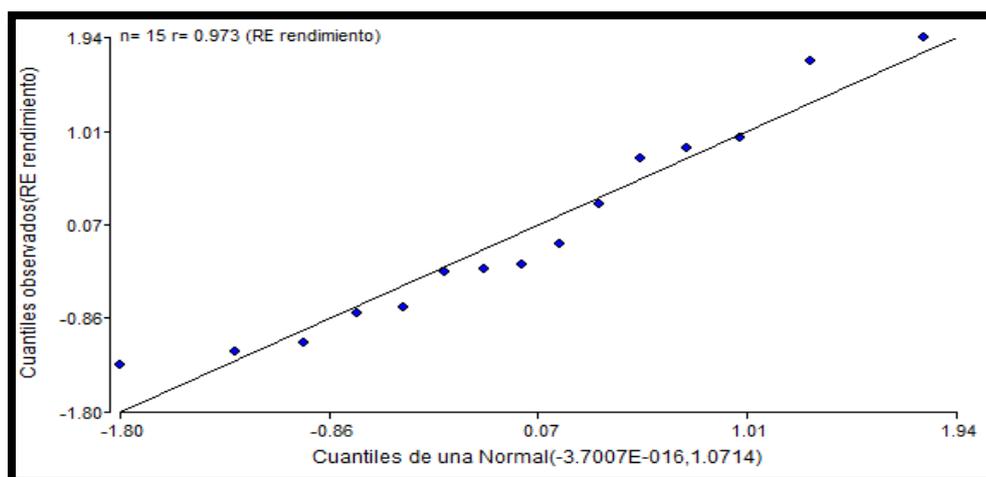
Como se observa, existe una alta significación en los tratamientos, el valor  $p=0.0018$  es menor al nivel de significación  $\alpha=0.01$ , y en las repeticiones no existe diferencia significativa (NS), ya que el valor  $p=0.3833$  es mayor al nivel de significación  $\alpha=0.05$ , con un coeficiente de variabilidad (CV) de 13.88 %.

#### 4.7.2 Comprobación de los supuestos

Los supuestos realizados para esta prueba son:

- Distribución normal.

La recta de la regresión en la Figura 34 fue trazada según la prueba Shapiro-Wilk, donde el valor de  $r$  es 0.991, mayor a 0.94, por tanto, no se rechaza la hipótesis planteada ( $H_p$ ) o hipótesis nula, concluyendo que los errores del modelo se distribuyen con normalidad.



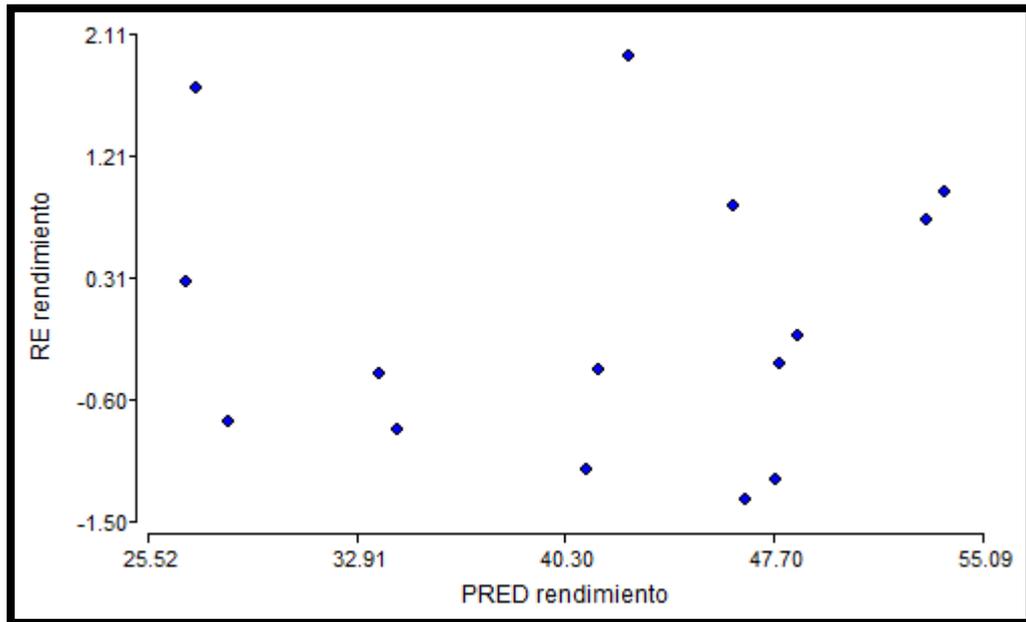
**Figura 34: Prueba Shapiro – Wilks de los rendimientos.**

FUENTE: Elaboración propia

- Homogeneidad de varianzas.

En la Figura 35, se muestra que los puntos no forman un cono marcado, entonces existe homogeneidad de varianzas.

En conclusión, se cumplen los dos supuestos del diseño por bloques completamente al azar, tanto la distribución normal como la homogeneidad de varianzas.



**Figura 35: Prueba de homogeneidad de varianzas de los rendimientos.**  
FUENTE: Elaboración propia.

#### 4.7.3 Prueba de tukey

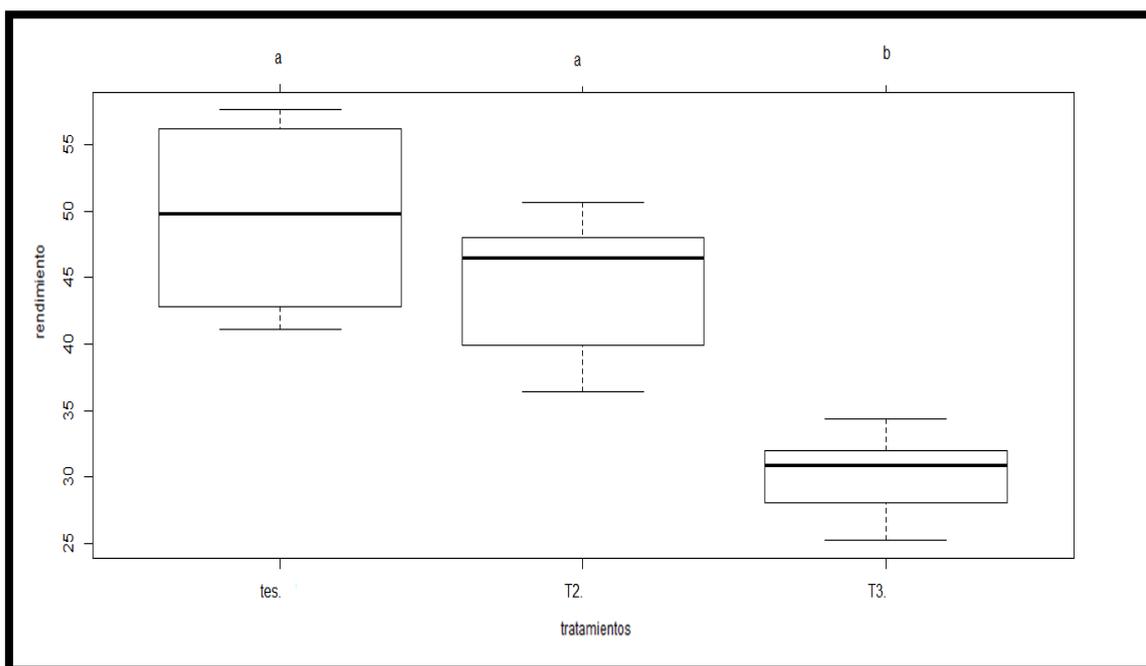
En la tabla 15 y figura 36, la prueba de comparación media de Tukey muestra que no existe diferencia significativa entre los tratamientos T1 y T2; sin embargo entre el T1 y el T3, entre el T2 y T3, si existen diferencias significativas.

**Tabla 15: Prueba de Tukey de los rendimientos.**

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=10.36164

Error: 32.8732 GL: 8

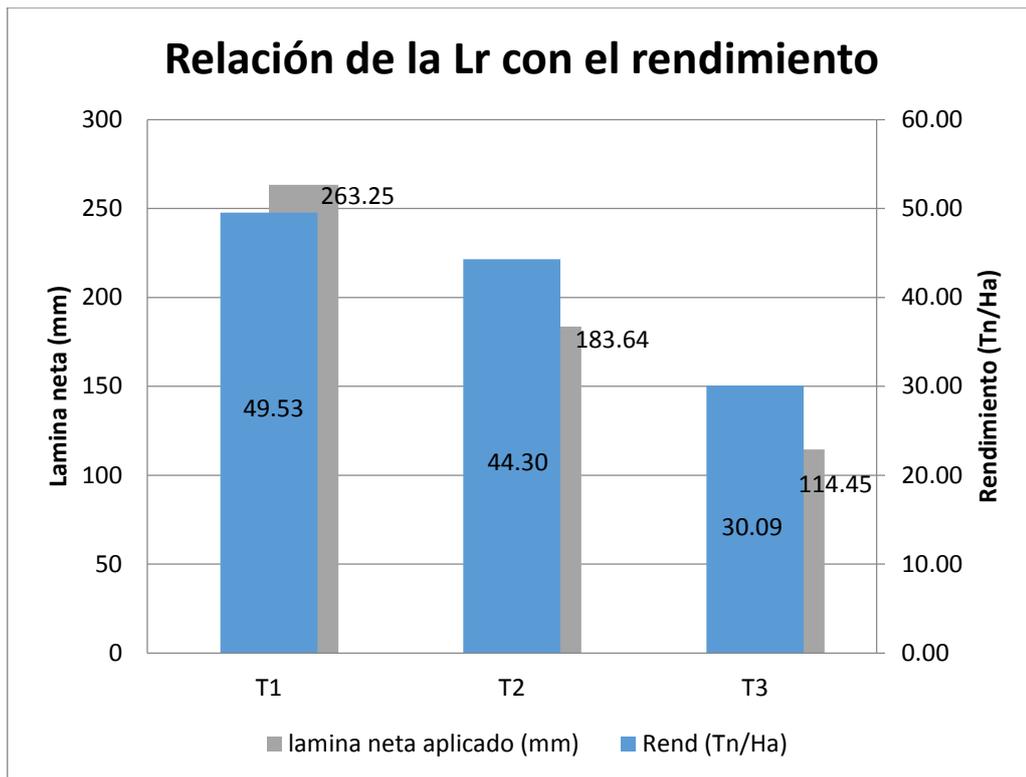
Tratamientos	Medias	n	E.E	
1	49.5	5	2.56	A
2	44.3	5	2.56	A
3	30.1	5	2.56	B



**Figura 36: Análisis de medias de los rendimientos.**  
 FUENTE: Elaboración propia.

#### 4.8 RELACIÓN DE LÁMINA DE RIEGO CON EL RENDIMIENTO

En la Figura 37, se observa la lámina neta de riego aplicado (mm) en relación al rendimiento (t.ha<sup>-1</sup>) en el cultivo papa variedad “UNICA”, con cada uno de sus tratamientos, bajo riego por goteo. Con respecto al tratamiento control T1, la lámina de riego aplicada es 263.25 mm y se obtuvo un rendimiento de 49.53 t.ha<sup>-1</sup>; para el tratamiento T2, la lámina aplicada es de 183.64 mm y su rendimiento de 44.30 t.ha<sup>-1</sup>; y para el tratamiento T3, la lámina aplicada es de 114.45 mm, con un rendimiento de 30.09 t.ha<sup>-1</sup>. Como se observa en los tres tratamientos, a mayor lámina de agua aplicada se obtuvo un mayor rendimiento. Con ello se corroboró lo afirmado por Egusquiza (2000), quien afirma que existe una relación positiva y directa entre la cantidad de agua que dispone la planta y el rendimiento del cultivo.



**Figura 37 : Relación de lámina de riego con el rendimiento.**  
 FUENTE: Elaboración propia

## V. CONCLUSIONES

- En el tratamiento control T1 se aplicaron 29 láminas de riego manteniendo un agotamiento del 20 por ciento de humedad del suelo. En los tratamientos T2 y T3, en los que se usaron cámaras infrarrojas, se aplicaron 18 y 12 láminas, las cuales tuvieron un agotamiento de la humedad del suelo de 51.92 y 56.28 por ciento respectivamente.
- El volumen de agua utilizado por el tratamiento control T1 fue de 2632.48 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>; y para los tratamientos T2 y T3 de 1836.41 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>, 1144.46 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup> respectivamente.
- Se obtuvo un ahorro de agua en el cultivo papa variedad UNICA, para los tratamientos T2 y T3 equivalente a 796.13 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup> y 1488 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup> respectivamente; en porcentaje representa el 30.24 , 56.52 por ciento, con respecto al tratamiento testigo T1.
- Los rendimientos obtenidos en la cosecha T1,T2 y T3 fueron de 49.53, 44.30 y 30.09 t.ha<sup>-1</sup>, observándose el mayor rendimiento para el tratamiento control T1, así como las láminas aplicadas 263.25, 183.64 y 114.45 mm respectivamente.

## **VI. RECOMENDACIONES**

- Se recomienda realizar trabajos de investigación con estos umbrales de riego CWSI, para el monitoreo de contenido de humedad del suelo como los sensores FDR y Watermark.
- El uso del método de riego por gravedad empleándose el índice del CWSI.
- Se recomienda realizar el mismo experimento, usando un tanque evaporímetro tipo clase A.
- Realizar investigaciones de láminas de riego y rendimiento para otras variedades de papa, en la costa y sierra empleándose las cámaras infrarrojas.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anconelli, S.; Mannini, P. y Battilani, A. (1994). CWSI and baseline studies to increase quality of processing tomatoes. *Acta Hort.* V.376. (40). 303-306.
- Bailey R.J. (2000). Practical use of soil water measurement in potato production.p. 206-218, In: Haverkort A.J. and MacKerron D.K.L 2000. Management of Nitrogen and Water in potato production. Wageningen, The Netherlands:Wageningen Pers.
- Barrantes, JAG. (1993). Estudio del efecto del déficit hídrico y de la fertilización potásica en algunas características morfo-fisiológicas y en el rendimiento de plantas de papa provenientes de semilla sexual. s.l.
- Beukema H.P y Vand der Zaag.D.E. (1979). Potato Improvement.Some factors and facts.International Agricultural Center:IAC.Wageningen.The Netherlands.
- Buesa, I. (2013). Determinación del estado hídrico del suelo mediante sensores FDR en vid cv. Moscatel de Alejandría regada por goteo. Trabajo Fin de Máster. Valencia, España. 2013. 85p.
- Bucks, D. A.; Nakavamma, F. S.; French, O. F.; Regard, W and Alexander, W. L. (1985). Irrigated guayule evapotranspiration and plant water stress. *Agricultural Water Management* V.10. 61-79.
- Calado, A. M.; Monzon, A.; Clark, D. A.; Phene, C. J.; Ma, C and Wang, Y. (1990). Monitoring and control of plant water stress in processing tomatoes. *Acta Hort.* V.277. (14).129-136.
- Carr M.K.V., Evans M.T.B. y Williams, D. (1993). Improving water use efficiency by good soil management. Irrigating potatoes. UK Irrigation. Association Technical Monograph N°5. edited by R.J Bayle. 70-83. Cranfield Press: Cranfield.
- CIP. (1997-1998). Informe Técnico Anual del Proyecto PROMESPA “Proyecto para el Mejoramiento y Semilla de Papa”. Centro Internacional de la Papa,CIP. Lima, Perú.V14. (1).54pp.

- CIP. (2002). Informe Técnico Anual del Proyecto FONTAGRO “Selección y Utilización de Variedades de Papa con Resistencia a Enfermedades para el Procesamiento Industrial de América Latina”. Centro Internacional de la Papa – CIP. Lima, Perú. (2001-2.002)
- Dorigo, W; Wagner, W; Hohensinn, R; Hahn, S; Paulik, C; Xaver, A; Gruber, A; Drusch, M; Mecklenburg, S; Van Oevelen, P; Robock, A; Jackson, T. (2011). The International Soil Moisture Network: a data hosting facility for global in situ soil moisture measurements. *Hydrology and Earth system sciences*. V 15. (5). 1675-1698.
- Durán Gómez, M.R. (2018). Caracterización del índice de estrés hídrico del cultivo de arroz mediante el uso de sensores térmicos y de humedad del suelo en la molina, lima-Perú. Tesis Ing. agrícola. Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria la Molina. 2018. 92 pp.
- Egúsquiza, B.R. (2000). La Papa. Producción, transformación y comercialización. (primera edición). Lima, Perú. A.B prisma S.A .
- Erdem, Y.; Erdem, A. T.; Orta H.; and Okursoy, H. (2005). Irrigation scheduling for watermelon with crop water stress index (CWSI). *J. Central European Agric.* V.6 (4). 449-460.
- FAO. (2016). Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistics Division (FAOSTAT). consultado 20 enero del 2019. Disponible en <http://faostat.fao.org>
- Feldhake, C. M.; Glenn, D. M.; Edwards, W. M. and Peterson, D. L. (1997). Quantifying drought for humid, temperate pastures using the crop water stress index (CWSI). *N. Z. J. Agric. Res.* V.40. 17-23.
- FLIR. (2016). User’s manual FLIR Exx series. 178pp.
- García Casillas, I; Briones Sánchez, G. (2007). Sistema de riego por aspersión y goteo. 2 ed. México, D.F., México. Editorial trillas.
- Garrot Jr., D. J.; Ray, D.T.; Livingston, M.; Fangmeier, D. D. and Husman, S. H. (1990). Watermelon field irrigation management using the crop water stress index. *Acta Hort.* V.278. (74). 755-762.
- Gutiérrez, R., Espinoza, J., Bonierbale, M., (2007). UNICA: variedad peruana para mercado fresco y papa frita con tolerancia y resistencia para condiciones climáticas adversas. (En línea). *Revista latinoamericana de la papa*. 14(1):1-5. Consultado 30 may.2018. Disponible en <file:///C:/Users/USER/Downloads/143-428-1-PB.pdf>.

- Harris, P.M. (1978). The potato crop production. Chapman and Hall, London. The Scientific Basic for Improvement Ed.
- Harris, P.M. (1992). The influence of genotype and water stress on the nitrogen requirement of the potato crop. Conference: Meeting of the Section Physiology of the EAPR. Le conquet (France). 24-28 jun 1991. Potato research (Netherlands) ISSN 0014-3065.1992.35 V.1:72v.
- Haverkort A.J.and .MacKerron.D. K. L (2000). Management of Nitrogen and Water in potato Production. Wageningen, The Netherlands: Wageningen per.
- Itier, B.; Flura, D. and Belabbes, K. (1993). An alternative way for CWSI. Calculation to improve relative evapotranspiration estimates-results of an experiment over soybean-. Acta Hort. V.335. 333-340.
- Idso, S.B.; Jackson, R. D.; Pinter, P. J.; Reginato, R. J. and Hatfield, J. L. (1981). Normalizing the stress-degree-day parameter for environmental variability. Agric. Meteorol. V.24 .(1). 45-55.
- Idso, S. B. (1982). Non-water-stressed baselines: A key to measuring and interpreting plant water stress. Agric. Meteorol. V.27(1-2), 59-70.
- Jackson, R. D.; Idso, S. B., Reginato, R. J. and Pinter Jr, P. J. (1981). Canopy temperature as a crop water stress indicator. Water Resour. Res. V.17. 1133
- Jackson, R-D. (1982). Canopy temperature and crop water stress. In: advances in irrigation. Hillel, D. I. Editor. Academic Press. V.1. 43-85.
- Jensen, C.R.; Jacobsen, S.E.; Andersen, M.N.; Nunez, N.; Andersen, S.D.; Rasmussen, L.; Mogensen, V.O. (2000). Leaf gas exchange and water relation characteristics of field quinoa (chenopodium quinoa Willd.) during soil drying. European Journal of Agronomy (Netherlands). ISSN 1161-0301. V.1. (13): 11-25.
- Jones, H. G. (1999). Use of infrared thermometry for estimation of stomatal conductance as a possible aid to irrigation scheduling. Agric. & For. Meteorol.
- Jones H. G. (2004). Irrigation scheduling: advantages and pitfalls of plant-based methods. Journal of Experimental Botany.V55. (407). 2427–2436.

- Jones, H.G. (2004). Application of thermal imaging and infrared sensing in plant physiology and ecophysiology. *Advances in Botanical Research*. V.41. 108-155.
- Jones, H.G. (2014). *Plants and Microclimate: A Quantitative Approach to Environmental Plant Physiology*. (3rd Edition). Cambridge University Press.
- Kaplan, H. (2007). Practical applications of infrared thermal sensing and imaging equipment. (3 Ed). BSPIE Press., US.
- Kleinkopf, G.E. and Westermann, D. T. (1981). Predicting nitrogen requirements for optimum potato growth. *proc. Univ. Idaho Winter commodity School*.
- Keener, M. E. and Kircher, P. L. (1983). The use of canopy temperature as an indicator of drought stress in humid regions. *Agric. Meteorol*. V.28. 339-349.
- Kumar D. J.; S. Minhas and B. Singh. (2003). Abiotic Stress and potato production. In: khurana, S.M.P; Minhas; J.S, Pandey, S.K. (Eds). *The potato: production and utilization in sub-tropics*. Mehta Publishers, New Delhi (India).
- Lambers, H.; Stuart-Chapin III, f.; Pons, T. L. (1998). *Plant physiological ecology*. Springer-Verlag, New York.
- Losada Villasante, A. (2009). *fundamentos hidráulicos*. 4 ed. Madrid, España. Mundi-prensa.
- Lopez C; Egusquiza, R y V. Villagomez. *Cultivo de papa*. (1980). Centro Nacional de capacitación e investigación para la Reforma Agraria. CENCIRA. Lima. 197 p.
- Martínez y Huamán C.A. (1993). *Expresiones metabólicas de resistencia a la sequía en dos clones de papa sometidas a Estrés hídrico*. Tesis papa optar el Grado de magister Scientiae. UNALM. Limas-Perú. 1993. 100 p.
- Meza, R.E. (2013). *Evaluación del rendimiento del cultivo de papa bajo la aplicación del riego deficitario (PRD) utilizando cintas de riego*. Tesis Ing. agrícola. Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria la Molina. 2013. 37-39 p.
- Merriam, J.L. and Keller, J. (1978). *Farm irrigation system evaluation: a guide for management*, Utah State University, Logan, Utah, USA.
- Mendoza, A. (2013). *Riego por goteo*. (En línea). 1 ed. El salvador. Centa. Consultado 17 may. 2018. Disponible en [www.centa.gob.sv/docs/guias/riego/Riego%20por%20goteo.pdf](http://www.centa.gob.sv/docs/guias/riego/Riego%20por%20goteo.pdf).

- Miller, D.E. Martin, M.W. (1987). The effect of irrigation regime and subsoiling on yield and quality of three potato cultivars. American potato journal (USA). ISSA 003-0589. V.64 (3). 109-117.
- Montesinos Bao, V.A. (1973). Efecto del intervalo de riego en relación con la cantidad de agua aplicada sobre el rendimiento de papa (*Solanum andigenum* variedad Renacimiento). Tesis para obtener el grado de ingeniero agrícola. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima (Perú). 1973. 101pp.
- Morí Rabanal, A.M. (2015). Efecto de cinco láminas de riego en el cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd), mediante el riego por goteo. Tesis Ing. agrícola. Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria la Molina. 2015. 10-11 p.
- MINAG. (2005). Estadística Agraria. Disponible en <http://www.minang.gob.pe/estadistica.shtml> Ministerio de Agricultura del Perú.
- MINAGRI (Ministerio de Agricultura y Riego) (2017). Papa: características de la producción nacional y de la comercialización en Lima Metropolitana. Lima, Perú. 13. Disponible en: <http://www.minagri.gob.pe/portal/analisis-economico/analisis-2017>.
- Moller, M., Alchanatis, V., Cohen, Y., Meron, M., Tsipris, J., Naor, A., Cohen, S. (2006). Use of thermal and visible imagery for estimating crop water status of irrigated grapevine. *Jour. of Exper Botan*, V. 58(4), 827-838.
- Monneveux, P., Ramírez, D.A., Pino, M.T. (2013). Drought tolerance in potato (*Stuberosum* L.): Can we learn from drought tolerance research in cereals? *PlantSci*. 205–206, 76–86.
- Nilsen, E.T. and Orcutt, D.M. (1996). *The physiology of plants under stress*. (2° Ed). wiley. New York, EE.UU. ISBN edition.
- Orta, A. H.; Erdem Y.; and Erdem T. (2003). Crop water stress index for watermelon. *Sci. Hort*. V.98 (2). 121-130.
- Pizarro Cabello, F. (1996). Riegos localizados de alta frecuencia. Consultado 30 de may. 2018. Disponible en <https://es.scribd.com/doc/312379749/Pizarro-Riego-Localizados-de-Alta-Frecuencia>.
- Ramírez, D.A., Yactayo, W., Rens, L.R., Rolando, J.L., Palacios, S., Mendiburu, F.D., Mares, V., Barreda, C., Loayza, H., Monneveux, P., Zotarelli, L., Khan, A., Quiroz, R. (2016). Defining biological thresholds associated to plant water status for monitoring water

restriction effects: Stomatal conductance and photosynthesis recovery as key indicators in potato. *Agric. Water Manag*, V.177. 369-378.

Rinza Díaz, J.I. (2018). Temperatura radiométrica de follaje como indicador del estatus hídrico del cultivo de papa (*solanum tuberosum* l.) en la Molina-Perú. Tesis para optar el grado de magister scientiae en meteorología aplicada. Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria la Molina. 2018. 92 p.

Robock, A; Vinnikov, K; Srinivasan, G; Entin, J; Hollinger, S; Speranskaya N; Liu, S; Namkhai, A. (2000). *Bulletin of the American Meteorological Society*.V. 81.(6). 1281-1299.

Rud, R., Cohen, Y., Alchanatis, V., Levi, A., Brikman, R., Shenderey, C., Nigon, T. (2014). Crop water stress index derived from multi-year ground and aerial thermal images as an indicator of potato water status. *Preci. Agric.*, V.15. (3). 273-289.

Sánchez-Blanco, J. y Torrecillas, A. (1995). *Riego Deficitario Controlado*. Madrid. España. Ediciones Mundi – Prensa.

Salter, P. J; Goode, J.E. (1967). *Crop responses to water at different stages of growth*. Farnham Royal , the united kingdom, commonwealth agricultural bureau, Farnham Royal, England.

Şimşek, M.; Tonkaz T.; Kaçira, M.; Çömlekçioğlu, N.; and Doğan, Z. (2005). The effects of different irrigation regimes on cucumber (*Cucumis sativus* L.) yield and yield characteristics under open field conditions. *Agricultural Water Management*. V.73:240-252.

Sood, M. C., and Singh, N. (2003). *Water management*. Khurana,SMP, Minhas; JS, Pandey, SK (Eds.). *The Potato: Production and utilization in sub-tropics*. New Delhi, India. Mehta Publishers.

Shalhevet, J; Mantel, A; Bielordi, H. (1970). *Irrigation of field and Orchard crops under semi-arid conditions*. Center Betdagan, Israel.

Tambussi, E. A. (2004). *Fotosíntesis, fotoprotección, productividad y estrés abiótico: algunos casos de estudio*. Memoria presentada para optar al grado de Doctor en Biología. Universidad de Barcelona. España. 2004. 203 pp.

UNICA. (1998). *Nuevas variedades de papa con tolerancia al calor y calidad industrial: UNICA, Reiche*. Triptico informativo. Universidad Nacional “San Luis Gonzaga “de Ica-UNICA e instituto Superior Tecnológico de Nazca. Ica, Perú.

- Vásquez, A; Vásquez, I; Vásquez, C; Cañamero. (2017). Fundamentos de la ingeniería de riego. Consultado 7 may. 2018. Disponible en <http://innovacionydesarrolloagricula.blogspot.com/2017/10/libro-fundamentos-de-la-Ingeniería-de.html>.
- Vásquez, E. (2003). Influencia de los Factores Ambientales en la Predicción del Comportamiento de los Clones de Papa para la Costa del Perú. Universidad Nacional Agraria “La Molina”. Lima, Perú.2003. 102 p.
- Van der Zaag. (1979). Aportación de agua al cultivo de la papa. Instituto consultivo Holandés sobre la patata. Wageningen, Holanda. Traducción en español por cortesía del a Instituto Nacional de semillas y plantas de vivero. Madrid, España.
- Vayda, M.E. (1994). Environmental stress and its impact n potato yields. Wallingford (UK). Centre for agriculture and Biosciences International (CABI). ISBN 0-85198-869-5. 1994 . 239-261.
- Vermeiren, L.; Jobling, G.A. (1980). Localized irrigation: desing, installation, operation, evaluation. Irrigation and Drainage paper N°36. FAO Rome. 203pp.
- Wright, J.L. and Stark, J.C. (1990). Potato. American society of Agronomy (ASA).crop science Society of America (ASA). Soil science society of America (SSSA). Wisconsin (USA). ISBN 0-89118-102-4.
- Yuan, G.; Luo, Y.; Sun, X.; and Tang, D. (2004). Evaluation of a crop water stress index for detecting water stress in winter wheat in the North China Plain. Agricultural Water Management. V.64.29-40.
- Zotarelli, L; Dukes, M; Morgan, K. Interpretación del contenido de la humedad del suelo para determinar capacidad de campo y evitar riego excesivo en suelos arenosos utilizando sensores de humedad. Universidad de Florida.2013. p. 1,2.

## VIII. ANEXOS

### ANEXO 1: ANTES DE LA EJECUCIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN



Campo previo a la ejecución del proyecto.

### ANEXO 2: PREPARACION DEL TERRENO Y LABORES CULTURALES DESARROLLADAS



Compactación del suelo



trazado de las parcelas experimentales



Trazado del surco



Instalaciones de cintas de riego



Instalaciones de tubería terciaria



Calicata para la caracterización del suelo



Siembra del tubérculo.



Instalaciones de trampa amarilla.



Insumos para el fertilizante.



Emergencia de plantas.



Analisis de PH,CE del agua.



Muestras recogidas de las parcelas.



Muestras de peso húmedo del suelo.



Las muestras húmedas pesadas.



Muestras de suelo llevadas al horno



Muestras de suelo en peso seco



Cabezal de riego.



Pleno desarrollo del follaje.



Uso del método gravimétrico.



Uso de la cámara térmica.

### ANEXO 3 : EVALUACIÓN DE LA COSECHA



Cosecha en las parcelas



Papas cosechadas llevadas al laboratorio.



Muestras cosechadas clasificadas según tratamiento.



Papas pesadas.



Muestras de papa variedad UNICA.



Papas medidas sus diametro.

**ANEXO 4: FECHA DE RIEGO Y VOLUMENES DE AGUA ALICADA EN CADA TRATAMIENTO**

	V(m <sup>3</sup> )			
	riego uniforme			
fecha	DAP	T1	T2	T3
14/06/18	1	0.00	0.00	0.00
15/06/18	2	1.70	1.70	1.70
18/06/18	5	1.09	1.08	1.09
20/06/18	7	0.65	0.65	0.65
22/06/18	9	0.85	0.85	0.85
27/06/18	14	1.32	1.32	1.32
04/07/18	21	1.43	1.43	1.43
11/07/18	28	2.07	2.07	2.07
18/07/18	35	2.54	2.54	2.54
total uniforme(m <sup>3</sup> )		11.64	11.63	11.64
	riego con restricción hídrica			
20/07/18	37	1.72	1.41	1.14
23/07/18	40	1.52	0.00	0.00
26/07/18	43	1.94	0.00	0.00
31/07/18	48	2.05	0.00	0.00
01/08/18	49	1.97	0.00	0.00
06/08/18	54	2.25	0.00	0.00
10/08/18	58	2.11	0.00	0.00
13/08/18	61	0.00	5.12	0.00
14/08/18	62	2.50	0.00	0.00
15/08/18	63	0.00	1.91	4.53
16/08/18	64	1.09	1.31	1.63
17/08/18	65	0.46	1.08	1.14
20/08/18	68	1.72	1.52	0.00
21/08/18	69	0.67	0.90	0.00
24/08/18	72	1.33	0.00	0.00
27/08/18	75	1.78	2.42	0.00
29/08/18	77	1.49	0.00	0.00
31/08/18	79	1.23	2.38	0.00
03/09/18	82	1.90	2.55	0.00
05/09/18	84	1.46	0.00	0.00
07/09/18	86	1.57	0.00	0.00
10/09/18	89	2.31	0.00	0.00
12/09/18	91	1.47	0.00	0.00
total restricción hídrica (m <sup>3</sup> )		34.56	20.59	8.44
riego total aplicado(m <sup>3</sup> )		46.20	32.23	20.09

FUENTE: Elaboración propia

**ANEXO 4: DATOS DE LA HUMEDAD GRAVIMETRICA**

fecha	DAP	T2	T1	T3	T2	T3	T1	T3	T2	T1	T2	T3	T1	T2	T1	T3
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15
21-jun	8	19.75	20.06	20.76	18.75	18.68	16.86	17.82	17.52	18.51	17.97	18.19	18.15	17.30	17.42	17.79
26-jun	13	18.46	17.86	17.66	16.95	16.80	16.15	15.97	15.56	0.00	16.82	16.37	16.74	15.08	15.27	17.20
03-jul	20	17.39	15.47	16.44	15.48	15.05	14.52	15.42	15.37	16.13	15.12	15.16	15.40	13.18	14.30	15.52
10-jul	27	14.98	13.60	14.66	13.86	13.02	12.32	14.18	13.56	14.66	13.53	12.63	12.78	11.51	12.63	14.18
13-jul	30	17.70	16.44	16.25	16.46	15.63	15.53	15.82	15.58	16.30	16.94	16.99	16.53	15.84	15.98	16.59
16-jul	33	14.79	14.94	14.62	14.55	13.65	13.38	14.27	13.19	13.94	14.83	14.01	14.09	14.08	14.04	14.21
19-jul	36	16.14	17.46	16.30	15.41	15.22	15.34	15.36	14.28	14.21	17.80	16.35	16.66	14.46	16.63	16.64
23-jul	40	16.52	16.89	17.13	15.12	15.76	16.16	16.17	14.71	14.92	15.89	17.55	16.56	15.89	16.34	15.59
26-jul	43	15.76	14.71	15.59	13.86	14.81	15.96	15.40	14.44	16.74	15.43	14.67	16.36	14.97	16.50	13.86
30-jul	47	15.17	17.20	14.11	12.60	13.73	16.40	14.75	11.43	15.73	14.05	12.92	15.74	14.15	16.32	13.45
31-jul	48	13.69	15.30	13.07	11.86	12.68	15.12	13.70	11.76	16.70	12.99	12.01	17.05	13.83	15.03	12.35
01-ago	49	13.58	17.10	13.12	11.60	13.26	15.68	13.18	11.59	15.01	12.83	10.39	15.40	11.69	16.82	11.97
06-ago	54	12.34	15.60	10.68	9.95	9.98	15.88	10.20	8.67	15.18	9.91	9.26	15.28	9.76	15.24	10.46
08-ago	56	11.01	17.38	11.40	9.99	10.13	16.76	10.33	9.58	15.95	9.98	10.38	17.89	10.21	16.69	10.44
10-ago	58	11.16	16.34	10.76	15.56	9.16	15.54	9.31	8.94	14.18	11.88	9.94	16.44	11.89	16.01	11.00
13-ago	61	10.22	15.43	9.23	8.49	9.26	13.94	9.24	9.21	16.56	9.79	9.08	15.77	10.36	16.50	10.05
14-ago	62	14.59	14.54	9.46	14.43	9.24	14.31	9.03	14.40	15.32	15.88	9.86	15.17	14.80	15.23	9.66
15-ago	63	14.81	18.26	8.57	13.51	9.04	16.65	9.17	12.67	16.25	14.68	8.21	17.42	14.22	18.44	8.95
16-ago	64	13.85	15.28	15.17	14.77	12.56	15.66	14.96	15.76	14.21	16.00	15.86	15.16	16.06	16.95	16.27
17-ago	65	16.17	15.45	15.81	15.92	16.38	16.28	15.37	15.07	18.34	16.11	16.87	16.95	15.44	17.62	14.09
20-ago	68	14.95	13.56	13.33	14.18	14.10	14.47	12.83	14.31	14.59	15.76	13.76	15.12	14.48	13.98	14.58
21-ago	69	16.17	17.56	13.13	16.94	12.76	16.70	12.76	14.69	15.78	16.27	12.39	15.69	15.77	16.22	11.52
22-ago	70	16.59	15.31	12.78	15.30	12.18	14.90	11.92	15.61	16.39	16.22	12.34	15.98	15.49	15.55	12.97

23-ago	71	15.06	13.68	12.01	14.24	12.35	13.61	11.85	15.28	15.52	14.53	12.23	15.47	14.74	15.36	13.58
24-ago	72	15.91	14.41	12.43	14.38	11.23	15.12	11.34	15.12	15.52	15.53	12.30	14.95	14.66	15.56	12.13
27-ago	75	13.84	14.98	10.17	12.04	10.53	14.11	10.31	13.09	13.56	13.29	9.84	14.58	12.54	13.89	11.37
28-ago	76	15.22	16.44	9.85	15.24	9.47	14.91	9.84	16.32	15.94	16.80	9.58	17.13	16.06	16.51	11.47
29-ago	77	15.13	14.60	10.62	14.44	9.20	14.34	9.00	14.59	14.02	16.01	9.58	16.06	14.38	14.96	10.67
31-ago	79	14.15	16.39	10.27	12.40	8.84	14.23	9.15	12.84	14.81	13.98	9.24	15.63	11.84	15.55	9.65
3-set	82	13.60	14.08	8.64	11.50	8.30	13.86	8.87	12.00	13.30	14.62	7.63	14.93	11.78	13.76	8.41
5-set	84	13.95	16.28	7.91	14.99	7.88	14.16	6.64	15.11	14.42	14.82	7.49	14.74	13.81	14.70	9.13
7-set	86	13.88	13.98	7.32	13.19	6.81	14.33	7.25	13.27	14.90	14.58	8.08	15.48	12.21	14.49	8.12
10-set	89	10.72	13.03	8.05	10.63	7.43	12.79	6.65	11.18	12.28	11.55	8.04	13.92	10.03	13.92	7.55
12-set	91	10.22	14.65	7.66	9.45	7.03	14.83	6.32	10.56	15.22	11.46	7.94	14.22	9.02	15.28	6.68

FUENTE: Elaboración propia.

### ANEXO 5: DATOS DE LA HUMEDAD VOLUMETRICA

		T2	T1	T3	T2	T3	T1	T3	T2	T1	T2	T3	T1	T2	T1	T3
fecha	DAP	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15
21-jun	8	30.81	31.29	32.39	29.25	29.14	26.31	27.80	27.34	28.88	28.04	28.38	28.31	26.99	27.17	27.75
26-jun	13	28.80	27.85	27.56	26.44	26.21	25.20	24.92	24.27	0.00	26.23	25.53	26.11	23.52	23.83	26.83
03-jul	20	27.12	24.13	25.65	24.14	23.48	22.65	24.05	23.97	25.16	23.59	23.65	24.03	20.56	22.30	24.21
10-jul	27	23.37	21.22	22.87	21.62	20.31	19.23	22.12	21.16	22.87	21.10	19.71	19.93	17.95	19.70	22.11
13-jul	30	27.61	25.65	25.35	25.67	24.38	24.23	24.68	24.31	25.43	26.43	26.50	25.78	24.71	24.93	25.89
16-jul	33	23.07	23.31	22.80	22.70	21.29	20.87	22.27	20.57	21.75	23.13	21.85	21.98	21.96	21.91	22.17
19-jul	36	25.17	27.24	25.43	24.04	23.75	23.93	23.97	22.28	22.17	27.76	25.51	25.99	22.55	25.94	25.97
23-jul	40	25.76	26.35	26.73	23.59	24.59	25.21	25.22	22.96	23.28	24.78	27.37	25.83	24.79	25.49	24.32
26-jul	43	24.59	22.95	24.33	21.62	23.11	24.89	24.03	22.53	26.11	24.07	22.88	25.52	23.36	25.74	21.62

30-jul	47	23.67	26.83	22.01	19.66	21.42	25.59	23.00	17.83	24.54	21.92	20.15	24.56	22.07	25.46	20.99
31-jul	48	21.36	23.87	20.39	18.50	19.79	23.59	21.37	18.35	26.05	20.27	18.73	26.60	21.57	23.45	19.27
01-ago	49	21.19	26.68	20.46	18.09	20.68	24.47	20.56	18.07	23.42	20.02	16.21	24.03	18.23	26.24	18.67
06-ago	54	19.25	24.34	16.66	15.52	15.58	24.77	15.91	13.53	23.68	15.47	14.45	23.84	15.22	23.78	16.32
08-ago	56	17.18	27.11	17.78	15.59	15.80	26.15	16.11	14.95	24.88	15.56	16.19	27.90	15.92	26.04	16.29
10-ago	58	17.41	25.49	16.79	24.27	14.28	24.24	14.53	13.94	22.12	18.54	15.50	25.65	18.54	24.97	17.16
13-ago	61	15.95	24.07	14.40	13.24	14.45	21.75	14.42	14.37	25.84	15.27	14.16	24.60	16.16	25.74	15.67
14-ago	62	22.76	22.69	14.75	22.51	14.41	22.32	14.09	22.47	23.89	24.77	15.38	23.66	23.09	23.75	15.08
15-ago	63	23.70	29.22	13.71	21.61	14.46	26.65	14.68	20.27	26.00	23.49	13.14	27.86	22.76	29.51	14.32
16-ago	64	22.17	24.44	24.27	23.63	20.09	25.06	23.94	25.21	22.74	25.60	25.38	24.25	25.69	27.12	26.04
17-ago	65	25.87	24.73	25.30	25.48	26.21	26.05	24.60	24.11	29.34	25.78	26.99	27.12	24.71	28.19	22.54
20-ago	68	23.91	21.70	21.33	22.70	22.56	23.15	20.53	22.89	23.35	25.21	22.01	24.18	23.16	22.36	23.34
21-ago	69	25.87	28.09	21.01	27.10	20.41	26.72	20.42	23.51	25.25	26.03	19.82	25.11	25.24	25.95	18.43
22-ago	70	26.55	24.49	20.44	24.47	19.49	23.84	19.07	24.97	26.23	25.96	19.74	25.57	24.79	24.88	20.75
23-ago	71	24.09	21.88	19.22	22.79	19.76	21.78	18.96	24.44	24.83	23.25	19.56	24.75	23.58	24.58	21.72
24-ago	72	25.46	23.06	19.90	23.02	17.96	24.19	18.14	24.19	24.84	24.86	19.67	23.92	23.45	24.90	19.40
27-ago	75	22.15	23.96	16.28	19.27	16.85	22.57	16.50	20.95	21.70	21.27	15.74	23.33	20.06	22.22	18.20
28-ago	76	24.35	26.30	15.76	24.39	15.15	23.86	15.74	26.11	25.50	26.88	15.32	27.41	25.69	26.42	18.36
29-ago	77	24.21	23.36	17.00	23.11	14.72	22.95	14.39	23.34	22.43	25.61	15.32	25.70	23.01	23.93	17.07
31-ago	79	22.65	26.22	16.44	19.85	14.14	22.76	14.64	20.55	23.69	22.37	14.79	25.01	18.95	24.88	15.45
3-set	82	21.76	22.54	13.82	18.40	13.28	22.17	14.20	19.20	21.29	23.39	12.22	23.90	18.86	22.01	13.45
5-set	84	22.32	26.05	12.66	23.98	12.61	22.66	10.62	24.17	23.07	23.71	11.98	23.58	22.10	23.51	14.61
7-set	86	22.22	22.37	11.72	21.10	10.89	22.92	11.60	21.23	23.83	23.33	12.93	24.77	19.54	23.18	13.00
10-set	89	17.16	20.84	12.88	17.00	11.89	20.47	10.63	17.88	19.64	18.48	12.86	22.27	16.05	22.27	12.08
12-set	91	16.35	23.44	12.25	15.11	11.24	23.73	10.11	16.90	24.34	18.33	12.70	22.75	14.43	24.45	10.69

FUENTE: Elaboración Propia

## ANEXO 6: CRONOGRAMA DE RIEGOS DE LOS TRES TRATAMIENTOS

### Tratamiento T1

Tratamiento T1								
etapa fenológica	dia	DDS	lb(mm)	Ln(mm)	volumen(m <sup>3</sup> )	Tr(min)	# de riego	tipo de riego
etapa vegetativa	14-jun	1	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-
	15-jun	2	12.12	9.70	1.70	24.25	riego N°01	uniforme
	18-jun	5	7.76	6.21	1.09	15.51	riego N°02	uniforme
	20-jun	7	4.66	3.73	0.65	9.32	riego N°03	uniforme
	22-jun	9	6.03	4.82	0.85	12.06	riego N°04	uniforme
	27-jun	14	9.38	7.50	1.32	18.76	riego N°05	uniforme
	04-jul	21	10.17	8.14	1.43	20.34	riego N°06	uniforme
	11-jul	28	14.72	11.78	2.07	29.44	riego N°07	uniforme
tuberización	14-jul	31	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-
	18-jul	35	18.10	14.48	2.54	36.20	riego N°08	uniforme
	20-jul	37	12.29	9.83	1.72	24.57	riego N°09	uniforme
	23-jul	40	10.79	8.63	1.52	21.59	riego N°10	uniforme
desarrollo	25-jul	42	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-
	26-jul	43	13.83	11.07	1.94	27.67	riego N°11	uniforme
	31-jul	48	14.57	11.66	2.05	29.14	riego N°12	uniforme
	01-ago	49	14.00	11.20	1.97	28.01	riego N°13	uniforme
	06-ago	54	16.00	12.80	2.25	32.00	riego N°14	uniforme
	10-ago	58	15.06	12.05	2.11	30.13	riego N°15	uniforme

	13-ago	61	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-
maduración	14-ago	62	17.84	14.27	2.50	35.67	riego N°16	uniforme
	15-ago	63	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-
	16-ago	64	7.79	6.23	1.09	15.58	riego N°17	uniforme
	17-ago	65	3.29	2.63	0.46	6.58	riego N°18	uniforme
	20-ago	68	12.27	9.81	1.72	24.53	riego N°19	uniforme
	21-ago	69	4.76	3.81	0.67	9.52	riego N°20	uniforme
	24-ago	72	9.49	7.59	1.33	18.98	riego N°21	uniforme
	27-ago	75	12.70	10.16	1.78	25.39	riego N°22	uniforme
	29-ago	77	10.63	8.51	1.49	21.26	riego N°23	uniforme
	31-ago	79	8.74	6.99	1.23	17.49	riego N°24	uniforme
	03-sep	82	13.54	10.84	1.90	27.09	riego N°25	uniforme
	05-sep	84	10.41	8.32	1.46	20.81	riego N°26	uniforme
	07-sep	86	11.22	8.97	1.57	22.43	riego N°27	uniforme
	10-sep	89	16.43	13.14	2.31	32.86	riego N°28	uniforme
	12-sep	91	10.48	8.38	1.47	20.96	riego N°29	uniforme

FUENTE: Elaboración propia.

Tratamiento T2

Tratamiento T2								
etapa fenológica	día	DDS	Lb (mm)	Ln (mm)	volumen(m³)	Tr (min)	# de riego	tipo de riego
etapa vegetativa	14-jun	1	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-
	15-jun	2	12.12	9.70	1.70	24.25	riego N°01	uniforme
	18-jun	5	7.69	6.15	1.08	15.37	riego N°02	uniforme
	20-jun	7	4.66	3.73	0.65	9.32	riego N°03	uniforme
	22-jun	9	6.03	4.82	0.85	12.06	riego N°04	uniforme
	27-jun	14	9.38	7.50	1.32	18.76	riego N°05	uniforme
	04-jul	21	10.17	8.14	1.43	20.34	riego N°06	uniforme
	11-jul	28	14.72	11.78	2.07	29.44	riego N°07	uniforme
tuberización	14-jul	31	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-
	18-jul	35	18.10	14.48	2.54	36.20	riego N°08	uniforme
	20-jul	37	10.05	8.04	1.41	20.09	riego N°09	restricción hídrica
	23-jul	40	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-
desarrollo	25-jul	42	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-
	26-jul	43	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-
	31-jul	48	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-
	01-ago	49	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-
	06-ago	54	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-
	10-ago	58	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-
	13-ago	61	36.43	29.15	5.12	72.86	riego N°10	restricción hídrica
maduración	14-ago	62	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-
	15-ago	63	13.58	10.86	1.91	27.15	riego N°11	restricción hídrica

16-ago	64	9.31	7.45	1.31	18.62	riego N°12	restricción hídrica
17-ago	65	7.70	6.16	1.08	15.39	riego N°13	restricción hídrica
20-ago	68	10.86	8.69	1.52	21.71	riego N°14	restricción hídrica
21-ago	69	6.42	5.13	0.90	12.84	riego N°15	restricción hídrica
24-ago	72	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-
27-ago	75	17.24	13.79	2.42	34.48	riego N°16	restricción hídrica
29-ago	77	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-
31-ago	79	16.94	13.55	2.38	33.88	riego N°17	restricción hídrica
03-sep	82	18.17	14.54	2.55	36.34	riego N°18	restricción hídrica
05-sep	84	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-
07-sep	86	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-
10-sep	89	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-
12-sep	91	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-

FUENTE: Elaboración propia

Tratamiento T3

Tratamiento T3								
etapa fenológica	día	DDS	Lb(mm)	Ln(mm)	volumen	Tr (min)	# de riego	tipo de riego
etapa vegetativa	14-jun	1	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-
	15-jun	2	12.12	9.70	1.70	24.25	riego N°01	uniforme
	18-jun	5	7.76	6.21	1.09	15.51	riego N°02	uniforme
	20-jun	7	4.66	3.73	0.65	9.32	riego N°03	uniforme
	22-jun	9	6.03	4.82	0.85	12.06	riego N°04	uniforme
	27-jun	14	9.38	7.50	1.32	18.76	riego N°05	uniforme
	04-jul	21	10.17	8.14	1.43	20.34	riego N°06	uniforme
	11-jul	28	14.72	11.78	2.07	29.44	riego N°07	uniforme
tuberización	14-jul	31	0.00	0.00	0.00	0.00		
	18-jul	35	18.10	14.48	2.54	36.20	riego N°08	uniforme
	20-jul	37	8.13	6.51	1.14	16.27	riego N°09	retracción hídrica
	23-jul	40	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-
desarrollo	25-jul	42	0.00	0.00	0.00	0.00		
	26-jul	43	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-
	31-jul	48	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-
	01-ago	49	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-
	06-ago	54	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-
	10-ago	58	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-

	13-ago	61	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-
maduración	14-ago	62	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-
	15-ago	63	32.27	25.81	4.53	64.53	riego N°10	retracción hídrica
	16-ago	64	11.60	9.28	1.63	23.20	riego N°11	retracción hídrica
	17-ago	65	8.13	6.50	1.14	16.25	riego N°12	retracción hídrica
	20-ago	68	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-
	21-ago	69	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-
	24-ago	72	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-
	27-ago	75	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-
	29-ago	77	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-
	31-ago	79	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-
	03-sep	82	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-
	05-sep	84	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-
	07-sep	86	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-
	10-sep	89	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-
	12-sep	91	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-

FUENTE: Elaboración propia.

### ANEXO 7: CRONOGRAMA DE FERTIRRIEGO

Área de campo (m <sup>2</sup> )	<b>1066.5</b>
---------------------------------	---------------

# Semillas	<b>2700</b>
------------	-------------

FERTILIZANTE Comercial (kg/ha)					Unidades macronutrientes (Kg/ha) (*)					FERTILIZACION (kg/area)				
NDA	AF	NK	NCA	NMG	N	P	K	CaO	MgO	NDA	AF	NK	NCA	NMG
149.0	88.8	400.0	230.7	191.5	160.0	80.0	180.0	60.0	30.0	15.9	9.5	42.7	24.6	20.4
P2O5    K2O														
										(L/area)				
										<b>5.7</b>				

Fertilizante (*)	Simbolo	Potasio (K2O)	Nitrogeno (N)	Fosforo (P2O5)	Calcio soluble (CaO)	Magnesio (MgO)
Nitrato de Potasio cristalizado (KNO3)	NK	45%	13.50%			
Nitrato de Amonio (NDA) NH4NO3	NDA		33%	3%		
Acido fosf[orico (H3PO4)	AF			85%		
Nitrato de calcio Ca(NO3)2	NCA		15.50%		26%	
Nitrato de Magnesio hexahidratado Mg(NO3)2·6H2O Pureza 98%	NMG		11%			16%
<b>Interpretación del análisis de suelo</b>		<b>Medio</b>		<b>Alto</b>	<b>Medio</b>	

Dosis sugerida por el ing. Lorenzo Hurtado (UNALM)

180	160	80	60kg/ha	30kg/ha
-----	-----	----	---------	---------

0.2-  
0.3g/l

No mezclar con fósforo

Siembra		13-jun		FERTILIZANTE Comercial Area (1066.5 m2)				1 parcelas					4 plantas				
Fecha	Semana	DDS	NDA (kg)	AF (L)	NK (kg)	NCA (kg)	NMG (kg)	NDA (g)	AF (mL)	NK (g)	NCA (g)	NMG (g)	NDA (g)	AF (mL)	NK (g)	NCA (g)	NMG (g)
20/06/2018	SEM 1	7															
27/06/2018	SEM 2	14	1.0	0.5	3.0	0.0	0.0	66.7	33.3	200.0	0.0	0.0	1.5	0.7	4.4	0.0	0.0
04/07/2018	SEM 3	21	3.0	0.9	7.0	4.0	3.2	200.0	60.0	466.7	266.7	213.3	4.4	1.3	10.4	5.9	4.7
11/07/2018	SEM 4	28	5.0	1.9	12.0	7.0	5.0	333.3	126.7	800.0	466.7	333.3	7.4	2.8	17.8	10.4	7.4
18/07/2018	SEM 5	35	6.9	2.4	20.7	13.6	12.2	460.0	160.0	1380.0	906.7	813.3	10.2	3.6	30.7	20.1	18.1
<b>TOTAL</b>			<b>15.9</b>	<b>5.7</b>	<b>42.7</b>	<b>24.6</b>	<b>20.4</b>	1060.0	380.0	2846.7	1640.0	1360.0	23.6	8.4	63.3	36.4	30.2

FUENTE: Elaborado por el centro internacional de la papa (CIP)

### ANEXO 8: ANÁLISIS DE SUELO -CARACTERIZACIÓN

# de muestra		CE dS / m Relación 1:1	Análisis Mecánico				pH Relación 1:1	M.O. %	P ppm	K ppm	CaCO <sub>3</sub> %	Cationes Cambiables					
Lab.	muestra		Arena %	Limo %	Arcilla %	Textura						CIC total	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>-</sup>	Al <sup>+3</sup> +H <sup>+1</sup>
												Cmol (+) / Kg					
	1	1.4	66.4	20	13.6	franco arenoso	7.97	1.38	17.8	220	4.02	10.06	8.56	1	0.11	0.39	...
	2	1.35	64.4	22	13.6	franco arenoso	7.96	1.38	17.9	228	4.52	10.4	8.74	1.12	0.13	0.41	...
	3	1.17	62.4	24	13.6	franco arenoso	7.99	1.21	19.8	258	3.6	9.68	8.12	1.1	0.06	0.4	...
	4	1.27	66.4	20.4	13.2	franco arenoso	7.97	1.38	17.4	228	2.93	8.83	7.55	0.83	0.11	0.34	...
		1.30	64.9	21.6	13.5	franco arenoso	7.97	1.34	18.2	233.5	3.8	9.7	8.2	1.0	0.1	0.4	

FUENTE: Laboratorio de Agua, Suelo, Medio Ambiente y Fertirriego – FIA, UNALM

## ANEXO 9: ANÁLISIS DE CALICATA PARA HALLAR DENSIDAD APARENTE, CAPACIDAD DE CAMPO

Evaluación 23-04-2018, secada en horno a 105°C después de 72 h.

Altura		Pes.H (gr)	P.cil (gr)	P.alum (g)	P.seco (gr)	Mss (gr)	D (mm)	H (mm)	V (cm <sup>3</sup> )	da (gr/cm <sup>3</sup> )	HV (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )
0	A1	256.82	81.51	3.11	225.53	140.91	49.86	51.03	99.64	1.41	31.40
10	A2	267.49	79.95	3.09	236.91	153.87	49.58	50.75	97.98	1.57	31.21
25	A3	268.26	79.90	3.03	245.62	162.69	49.86	50.65	98.89	1.65	22.89
40	A4	241.52	80.03	3.10	228.95	145.82	49.69	50.68	98.28	1.48	12.79
		<b>B</b>									
0	B1	267.42	79.99	3.08	238.19	155.12	49.97	50.71	99.45	1.56	29.39
10	B2	269.91	80.02	3.06	242.17	159.09	49.74	50.86	98.83	1.61	28.07
25	B3	272.34	80.00	3.07	250.06	166.99	49.86	50.78	99.15	1.68	22.47
40	B4	244.40	80.07	3.04	232.29	149.18	49.79	50.88	99.07	1.51	12.22
		<b>C</b>									
0	<b>C1</b>	272.63	79.93	3.01	236.80	153.86	49.71	50.93	98.84	1.56	36.25
10	<b>C2</b>	277.02	79.88	3.00	246.90	164.02	49.70	50.80	98.55	1.66	30.56
25	<b>C3</b>	265.53	80.07	3.11	243.58	160.40	49.97	50.87	99.76	1.61	22.00
40	<b>C4</b>	293.11	79.99	3.09	268.95	185.87	49.91	50.77	99.33	1.87	24.32
		<b>D</b>									
0	<b>D1</b>	257.72	79.95	3.06	227.25	144.24	49.83	50.88	99.22	1.45	30.71
10	<b>D2</b>	276.46	79.86	3.07	245.02	162.09	49.82	50.54	98.52	1.65	31.91
25	<b>D3</b>	291.75	81.66	3.02	267.79	183.11	49.92	51.05	99.92	1.83	23.98
40	<b>D4</b>	291.06	80.03	3.00	266.59	183.56	49.83	50.83	99.13	1.85	24.69

FUENTE: Elaboración propia.

h (cm)	promedios		
	da (gr/cm <sup>3</sup> )	HV (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	HG (%)
0	1.50	31.94	21.35
10	1.62	30.44	19.22
25	1.69	22.84	16.78
40	1.68	18.51	15.45
Prom	1.62	25.93	18.20
0-25	1.60	28.40	19.12
0-10	1.56	31.19	20.29

A Y B

C y D

FUENTE: Elaboración propia

## ANEXO 10: RESULTADOS DE LOS RENDIMIENTOS

Resultados de la cosecha por cada parcela realizado el 13 setiembre del 2018.

Tratamiento	Parcela	Rend (Tn/Ha)
T2	P1	36.4
T1	P2	49.8
T3	P3	28
T2	P4	50.7
T3	P5	25.2
T1	P6	42.8
T3	P7	30.9
T2	P8	48
T1	P9	57.7
T2	P10	46.5
T3	P11	32
T1	P12	56.2
T2	P13	39.9
T1	P14	41.1
T3	P15	34.4

Resultados promedio de los rendimientos de los tres tratamientos.

Rend (Tn/Ha)	T1	T2	T3
Goteo	49.5	44.3	30.1

FUENTE: Elaboración propia.

**ANEXO 11: VALORES DE ÍNDICE DE ESTRÉS HÍDRICO DEL CULTIVO CWSI  
DESDE EL DÍA 36 A 91 DDS**

N	Fecha	DAP	DDT	T1	T2	T3
1	19/07/2018	36	0	0.480	0.406	0.520
2	20/07/2018	37	1	0.284	0.238	0.282
3	23/07/2018	40	4	0.183	0.159	0.170
4	24/07/2018	41	5	0.138	0.127	0.142
5	25/07/2018	42	6	0.157	0.133	0.162
6	26/07/2018	43	7	0.190	0.170	0.197
7	27/07/2018	44	8	0.140	0.119	0.123
8	30/07/2018	47	11	0.371	0.406	0.330
9	31/07/2018	48	12	0.176	0.163	0.209
10	01/08/2018	49	13	0.288	0.365	0.439
11	02/08/2018	50	14	0.247	0.338	0.385
12	07/08/2018	55	19	0.182	0.243	0.259
13	10/08/2018	58	22	0.174	0.247	0.267
14	13/08/2018	61	25	0.244	0.432	0.461
15	15/08/2018	63	27	0.462	0.600	0.711
16	16/08/2018	64	28	0.524	0.585	0.630
17	17/08/2018	65	29	0.429	0.607	0.601
18	20/08/2018	68	32	0.594	0.734	0.655
19	21/08/2018	69	33	0.428	0.591	0.602
20	24/08/2018	72	34	0.270	0.365	0.431
21	27/08/2018	75	37	0.516	0.688	0.899
22	29/08/2018	77	39	0.288	0.380	0.608
23	31/08/2018	79	41	0.337	0.422	0.654
24	03/09/2018	82	44	0.521	0.689	1.012
25	04/09/2018	83	45	0.324	0.494	0.837
26	06/09/2018	85	47	0.65	1.02	1
27	12/09/2018	91	53	0.41	0.73	0.99

FUENTE: Elaboración propia.

## ANEXO 12: DATOS CLIMÁTICOS DEL DISTRITO DE LA MOLINA

Dia	Tmax (°C)	Tmin (°C)	Tprom (°C)	HR(%)	VPD(Kpa)	V de viento (m/s)
19-jul	21.18	19.89	20.56	72.79	0.66	3.48
20-jul	18.08	17.15	17.58	85.87	0.28	2.01
23-jul	17.01	16.65	16.81	90.25	0.19	1.48
24-jul	16.73	16.49	16.61	93.45	0.12	1.83
25-jul	17.44	17.08	17.29	90.50	0.19	2.25
26-jul	17.23	16.87	17.05	87.02	0.25	1.93
27-jul	18.39	17.44	17.86	85.46	0.30	1.83
30-jul	20.75	18.65	19.59	75.25	0.57	2.92
31-jul	16.61	16.13	16.36	88.83	0.21	2.22
01-ago	19.20	18.68	18.89	79.77	0.44	3.56
02-ago	19.67	18.32	19.03	82.52	0.38	2.57
07-ago	16.82	16.30	16.48	87.75	0.23	1.61
10-ago	16.49	15.94	16.24	86.55	0.25	2.17
13-ago	17.89	17.11	17.52	82.78	0.35	1.86
15-ago	20.65	20.06	20.35	72.75	0.65	3.34
16-ago	20.60	19.53	19.92	75.62	0.57	3.32
17-ago	19.32	18.37	18.84	80.75	0.42	3.56
18-ago	20.79	20.15	20.45	70.67	0.71	3.59
21-ago	18.27	16.77	17.74	82.26	0.36	3.37
24-ago	18.18	17.61	17.86	79.00	0.43	1.02
27-ago	21.25	20.08	20.46	72.49	0.66	2.84
29-ago	18.06	17.42	17.65	81.24	0.38	2.25
31-ago	16.99	16.39	16.66	84.45	0.29	2.33
03-sep	20.91	19.32	19.84	74.85	0.58	3.44
04-sep	19.63	18.68	19.08	78.93	0.47	2.52
06-sep	20.08	19.18	19.56	78.51	0.49	3.61
12-sep	19.51	18.58	18.94	77.16	0.50	3.56

FUENTE: Elaboración propia