

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**



**“INFLUENCIA DEL RIEGO DEFICITARIO SUPERFICIAL Y
SUBTERRÁNEO SOBRE LA GANANCIA EN MASA SECA DE
LA ZONA RADICULAR DE LA PAPA”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO AGRÍCOLA

HUMBERTO DAVID CÁRDENAS ÁLVAREZ

LIMA – PERÚ

2020

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA

**“INFLUENCIA DEL RIEGO DEFICITARIO SUPERFICIAL Y
SUBTERRANEO SOBRE LA GANANCIA EN MASA SECA DE LA
ZONA RADICULAR DE LA PAPA”**

TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE:

INGENIERO AGRÍCOLA

Presentado por:

BACH. HUMBERTO DAVID CÁRDENAS ÁLVAREZ

Sustentado y aprobado por el siguiente jurado:

Mg. Sc. JAVIER ANTONIO GOICOCHEA RÍOS
Presidente

Mg. Sc. MIGUEL ÁNGEL SÁNCHEZ DELGADO
Asesor

Mg. Sc. LUIS RAMÓN RÁZURI RAMIREZ
Miembro

Ing. ANTONIO CELESTINO ENCISO GUTIÉRREZ
Miembro

LIMA – PERÚ

2020

Dedico este trabajo a mi esposa Juanita, por su apoyo y ánimo que me brinda día a día para alcanzar nuevas metas en mi vida y a mis adorados hijos Cristhian, Adriano y Gabriel, a quienes siempre cuidaré para verlos hechos personas capaces y que puedan valerse por si mismo.

Igualmente a mi madre y abuela Paulina, por su trabajo y sacrificio para guiarme en gran parte de mi vida. A mi tía Crecilda, por su paciencia y su esfuerzo para lograr alcanzar esta meta importante en mi vida, a Antonio, y a mi hermana María, por estar siempre ahí, en los momentos difíciles.

A mi esposa, tios y hermana, por su ayuda y apoyo para culminar esta investigación.

A mi asesor Mg. Sc. Miguel Ángel Sanchez Delgado, por su paciencia, dedicación y consejos para el presente documento.

A mis jurados Mg. Sc. Javier Antonio Goicochea Ríos, Mg. Sc. Luís Ramón Rázuri Ramirez y el Ing. Antonio Celestino Enciso Gutierrez, que mediante sus aportes técnicos enriquecieron la investigación.

A mis amigos Rodrigo, Otto y Carlos, por su apoyo en las labores rutinarias para desarrollar el trabajo de campo en el estudio.

INDICE

I.	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1.	OBJETIVOS	2
1.1.1.	Objetivo principal.....	2
1.1.2.	Objetivos específicos.....	3
II.	REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1.	CULTIVO DE PAPA	4
2.1.1.	Taxonomía.....	4
2.1.2.	Morfología de la papa.....	5
2.1.3.	Papa variedad Única	8
2.2.	FACTORES QUE AFECTAN AL CULTIVO DE LA PAPA.....	8
2.2.1.	Clima	8
2.3.	ASPECTOS DEL MANEJO DEL CULTIVO	9
2.3.1.	Preparación del terreno.....	9
2.3.2.	Semilla de la papa.....	9
2.3.3.	Siembra.....	9
2.3.4.	Abono y fertilizantes	9
2.3.5.	Aporque	10
2.3.6.	Plagas y enfermedades.....	10
2.3.7.	Cosecha y post cosecha	10
2.4.	FASES DE CRECIMIENTO DE LA PAPA	11
2.4.1.	Dormancia o reposo de la semilla.....	11
2.4.2.	Brotación	11
2.4.3.	Emergencia	11
2.4.4.	Desarrollo de tallos.....	11
2.4.5.	Tuberización y floración.....	11

2.4.6.	Desarrollo de los tubérculos	12
2.5.	RELACIÓN AGUA-SUELO-PLANTA-ATMOSFERA.....	12
2.5.1.	Agua en el suelo	12
2.5.2.	Disponibilidad de agua en el suelo	13
2.6.	MEDICIÓN DE LA HUMEDAD	13
2.6.1.	Método gravimétrico	14
2.7.	RELACIÓN AGUA – RAÍZ	14
2.8.	RELACIÓN RAÍZ - PARTE AÉREA.....	14
2.8.1.	Bulbo de humedecimiento	15
2.8.2.	Biomasa	15
2.8.3.	Masa seca de la planta de papa.....	15
2.9.	EVAPOTRANSPIRACIÓN	16
2.9.1.	Evaporación del cultivo de referencia (ET _o).....	16
2.9.2.	Evaporación del cultivo bajo condiciones estándar (ET _c)	16
2.9.3.	Coeficiente de cultivo K _c	17
2.9.4.	Factores que afectan la evapotranspiración	17
2.10.	MÉTODO PARA DETERMINAR EL ETO	18
2.10.1.	Método del tanque evaporímetro	18
2.11.	DESCRIPCIÓN DEL TANQUE EVAPORÍMETRO CLASE A	19
2.12.	RIEGO	20
2.12.1.	Riego por goteo.....	20
2.12.2.	Riego por goteo subterráneo	21
2.12.3.	Riego deficitario	21
2.12.4.	Riego parcial de zona de raíces (PRD)	22
III.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	23
3.1.	CARACTERÍSTICAS DEL AREA EXPERIMENTAL.....	23
3.1.1.	Ubicación del área de estudio	23

3.1.2.	Condiciones climáticas	24
3.1.3.	Análisis de laboratorio.....	25
3.2.	MATERIALES Y EQUIPO.....	26
3.2.1.	Materiales y equipo para la preparación del terreno.....	26
3.2.2.	Materiales para la instalación de las cintas de riego.....	27
3.2.3.	Materiales para el mantenimiento y limpieza del tanque evaporímetro clase A 27	
3.2.4.	Material y equipo para el control de humedad en las unidades experimentales 28	
3.2.5.	Materiales y equipo para determinar la materia seca de la planta de papa....	28
3.3.	DISEÑO EXPERIMENTAL	29
3.3.1.	Tratamientos en estudio.....	29
3.3.2.	Características de la parcela experimental.....	30
3.3.3.	Análisis estadístico (ANOVA)	31
3.3.4.	Prueba de Tukey	32
3.3.5.	Actividades preculturales	33
3.4.	SISTEMA DE RIEGO.....	36
3.4.1.	Riego por goteo	37
3.4.2.	Riego parcial de raíces.....	37
3.4.3.	Riego subterráneo	38
3.4.4.	Prueba de Coeficiente de Uniformidad	38
3.4.5.	Determinación del bulbo húmedo.....	39
3.5.	RIEGO DEL CULTIVO DE PAPA	40
3.5.1.	Lámina de riego (mm)	40
3.5.2.	Tiempo de riego.....	43
3.5.3.	Cuantificación del agua de riego	44

3.5.4.	Variación de la humedad del suelo.....	44
3.6.	MANEJO DEL CULTIVO.....	45
3.6.1.	Siembra.....	45
3.6.2.	Aporque del cultivo.....	45
3.6.3.	Control de malezas y enfermedades.....	46
3.7.	MASA SECA DEL CULTIVO DE PAPA VARIEDAD ÚNICA.....	47
3.7.1.	Fase de campo.....	47
3.7.2.	Fase de gabinete.....	49
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	52
4.1.	ANÁLISIS DEL SUELO.....	52
4.2.	ANÁLISIS DE AGUA.....	52
4.3.	CAPACIDAD DE CAMPO Y PUNTO DE MARCHITEZ.....	53
4.4.	PRUEBA DE UNIFORMIDAD.....	54
4.5.	BULBO HÚMEDO.....	55
4.6.	MONITOREO DE LA HUMEDAD EN LOS TRATAMIENTOS.....	56
4.6.1.	Monitoreo de la humedad para el tratamiento T1.....	56
4.6.1.	Monitoreo de la humedad para el tratamiento T2.....	57
4.6.2.	Monitoreo de la humedad para el tratamiento T3.....	58
4.6.3.	Monitoreo de la humedad para el tratamiento T4.....	59
4.7.	RESULTADOS DE LA MASA SECA DEL CULTIVO DE PAPA.....	59
4.7.1.	Masa seca de la zona radicular.....	59
4.7.2.	Masa seca de la hoja de papa.....	63
4.7.3.	Masa seca del tallo de papa variedad Única.....	66
4.7.4.	Masa seca del tubérculo.....	68
4.8.	MEDICIÓN DEL PARÁMETRO BIOFÍSICO.....	71
4.8.1.	Altura de planta.....	71
4.9.	RENDIMIENTO EN MASA SECA DE LA PAPA VARIEDAD ÚNICA.....	73

4.9.1. Rendimiento en masa seca de la zona radicular	73
4.9.2. Rendimiento en masa seca de la planta de papa.....	74
4.9.3. Relación en masa seca de la zona aérea y zona radicular de la planta de papa variedad Única.....	75
4.9.4. Rendimiento de la masa seca del tubérculo.....	75
4.10. CUANTIFICACIÓN DEL AGUA DE RIEGO.....	77
4.11. PRODUCTIVIDAD DEL AGUA	79
V. CONCLUSIONES.....	80
VI. RECOMENDACIONES	81
VII. BIBLIOGRAFIA.....	82
VIII. ANEXOS	86

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Condiciones del clima en la UNALM.....	24
Tabla 2: Resumen del análisis de suelo en el área experimental.....	25
Tabla 3: Características del agua de riego.....	26
Tabla 4: Materiales en la preparación del terreno.....	27
Tabla 5: Materiales para la instalación de las cintas de riego.....	27
Tabla 6: Materiales para el mantenimiento del tanque evaporimetro clase A.....	28
Tabla 7: Material y equipos para el control de la humedad en el suelo.....	28
Tabla 8: Materiales y equipos para determinar la materia seca de la planta de papa.....	29
Tabla 9: Distribución de los tratamientos en el área experimental.....	29
Tabla 10: Características del campo experimental.....	30
Tabla 11: Tabla ANOVA para el diseño completamente al azar.....	32
Tabla 12: Clasificación del coeficiente de uniformidad (CU).....	39
Tabla 13: Lámina de riego en el mes de agosto.....	40
Tabla 14: Lámina de riego en el mes de septiembre.....	41
Tabla 15: Lámina de riego par el mes de octubre.....	42
Tabla 16: Fecha que se realizó las muestras de la planta de papa.....	49
Tabla 17: Resultados para determinar capacidad de campo y punto de marchitez.....	53
Tabla 18: Medidas de caudales para el Coeficiente de Uniformidad.....	54
Tabla 19: Radios y profundidades del bulbo húmedo.....	55
Tabla 20: Masa seca de la zona radicular por tratamiento.....	60
Tabla 21: Interpretación estadística de la masa seca radicular.....	61
Tabla 22: Prueba de Tukey para la masa seca radicular a los 28 días.....	62
Tabla 23: Prueba de Tukey para la masa seca radicular a los 56 días.....	62

Tabla 24: Prueba de Tukey para la masa seca radicular a los 74 días.....	62
Tabla 25: Masa seca de la hoja de papa por planta	63
Tabla 26: Interpretación estadística de la masa seca de la hoja.....	64
Tabla 27: Prueba de Tukey para la masa seca de hoja a los 28 días	65
Tabla 28: Prueba de Tukey para la masa seca de hoja a los 56 días	65
Tabla 29: Prueba de Tukey para la masa seca de la hoja a los 84 días.....	66
Tabla 30: Masa seca del tallo por tratamiento	66
Tabla 31: Interpretación estadística de la masa seca del tallo	67
Tabla 32: Prueba de Tukey para la masa seca del tallo a los 28 días	68
Tabla 33: Prueba de Tukey para la masa seca del tallo a los 56 días	68
Tabla 34: Prueba de Tukey para la masa seca del tallo a los 84 días	68
Tabla 35: Masa seca del tubérculo por tratamiento	69
Tabla 36: Interpretación estadística de la masa seca del tubérculo de papa	70
Tabla 37: Prueba de Tukey para la masa seca del tubérculo a los 56 días	70
Tabla 38: Prueba de Tukey para la masa seca del tuberculo a los 84 días	70
Tabla 39: Altura del follaje por tratamiento	71
Tabla 40: Prueba de Tukey para la altura del follaje.....	73
Tabla 41: Rendimiento del cultivo de papa variedad Única.....	76
Tabla 42: Prueba de Tukey para rendimiento de la masa seca del tubérculo.....	77
Tabla 43: Volumen de agua para el tratamiento T1	77
Tabla 44: Volumen de agua para el tratamiento T2	77
Tabla 45: volumen de agua para el tratamiento T3	78
Tabla 46: Volumen de agua para el tratamiento T4	78
Tabla 47: Productividad del agua en masa seca de la planta de papa	79

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: La planta de papa y sus partes.....	7
Figura 2: Fases fenológicas del cultivo de papa.....	12
Figura 3: Valores de coeficientes del tanque tipo A.....	19
Figura 4: Dimensiones del tanque de evaporación tipo A	20
Figura 5: Ubicación del área de estudio	23
Figura 6: Área experimental.....	24
Figura 7: Fracturado y volteo del suelo en las parcelas experimentales	33
Figura 8: Preparación de la cama de siembra en las unidades experimentales	34
Figura 9: Instalación de las cintas de riego.....	34
Figura 10: Muestras de suelo en la olla de Richard para determinar CC y PMP	35
Figura 11: Mantenimiento del tanque evaporímetro clase A	36
Figura 12: Instalación del tanque tipo A	36
Figura 13: Riego por goteo.....	37
Figura 14: Primer turno de riego	38
Figura 15: Segundo turno de riego	38
Figura 16: Área mojada por el gotero.....	39
Figura 17: Área de la planta	43
Figura 18: Registro del volumen en el caudalímetro.....	44
Figura 19: Siembra de papa.....	45
Figura 20: Aporque de la planta de papa.....	46
Figura 21: Trampas amarillas para las plagas del cultivo de papa	46
Figura 22: Fumigación de la planta de papa.....	47
Figura 23: Procedimiento para obtener la muestra a 34 días.....	48

Figura 24: Procedimiento para obtener la muestra a los 56 días.....	48
Figura 25: Disección de la planta de papa.....	50
Figura 26: Pesaje de la materia seca raíz y tubérculo.....	50
Figura 27: Pesaje de la materia seca hoja y tallo.....	51
Figura 28: Curva de retención de humedad.....	54
Figura 29: Bulbo de la humedad del suelo.....	56
Figura 30: Registro de humedad T1, para el cultivo de papa variedad Única.....	57
Figura 31: Registro de humedad T2, par el cultivo de papa variedad Única.....	58
Figura 32: Registro de humedad T3, para el cultivo de papa variedad Única.....	58
Figura 33: Registro de humedad T4, para el cultivo de papa variedad Única.....	59
Figura 34: Ganancia en masa seca de la zona radicular de la papa.....	60
Figura 35: Ganancia en masa seca de la hoja de papa.....	64
Figura 36: Ganancia en masa seca del tallo de la papa.....	67
Figura 37: Ganancia en masa seca del tubérculo de la papa.....	69
Figura 38: Monitoreo de la altura del follaje de la papa variedad Única.....	72
Figura 39: Altura maxima del follaje de la papa variedad Única.....	72
Figura 40: Promedio de rendimiento en masa seca de la raíz de la papa variedad Única...	74
Figura 41: Masa seca de la planta de papa varieda Única por tratamieto.....	74
Figura 42: Relación de la materia seca: zona aérea y zona radicular.....	75
Figura 43: Rendimiento de la masa seca del tubérculo de papa.....	76
Figura 44: Consumo promedio de agua por tratamiento para el cultivo de papa variedad Única.....	78
Figura 45: Limpieza manual de la rejilla del canal.....	88
Figura 46: Fumigación de las unidades experimentales.....	88
Figura 47: Muestras del cultivo de papa.....	89

Figura 48: Cosecha de la papa variedad Única.....	89
Figura 49: Muestras representativas del tubérculo de papa.....	90

INDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: ANÁLISIS DE SUELO.....	86
ANEXO 2: ANÁLISIS DE AGUA	87
ANEXO 3: FOTOGRAFIAS TOMADAS DURANTE LA INVESTIGACIÓN	88
ANEXO 4: ANÁLISIS DE VARIANZA Y PRUEBA DE TUKEY PARA LA MASA SECA DE LA RAIZ-MUESTRA 27 DE AGOSTO	90
ANEXO 5: ANÁLISIS DE VARIANZA Y PRUEBA DE TUKEY PARA LA MASA SECA DE LA HOJA-MUESTRA 27 DE AGOSTO	91
ANEXO 6: ANÁLISIS DE VARIANZA Y PRUEBA DE TUKEY PARA LA MASA SECA DEL TALLO-MUESTRA DEL 27 DE AGOSTO	92
ANEXO 7: ANÁLISIS DE VARIANZA Y PRUEBA DE TUKEY PARA LA MASA SECA DE RAÍZ-MUESTRA 24 SEPTIEMBRE.....	92
ANEXO 8: ANÁLISIS DE VARIANZA Y PRUEBA DE TUKEY, PARA LA MASA SECA DE LA HOJA-MUESTRA 24 DE SEPTIEMBRE.....	94
ANEXO 9: ANÁLISIS DE VARIANZA Y PRUEBA DE TUKEY, PARA LA MUESTRA SECA DEL TALLO-MUESTRA 24 DE SEPTIEMBRE.....	95
ANEXO 10: ANÁLISIS DE VARIANZA Y PRUEBA DE TUKEY, PARA LA MUESTRA SECA DEL TUBÉRCULO-MUESTRA 24 DE SEPTIEMBRE	96
ANEXO 11: ANÁLISIS DE VARIANZA Y PRUEBA DE TUKEY, PARA LA MUESTRA DE MASA SECA DE RAÍZ-MUESTRA 24 DE OCTUBRE.....	97
ANEXO 12: ANÁLISIS DE VARIANZA Y PRUEBA DE TUKEY, DE LA MASA SECA DE LA HOJA-MUESTRA 24 DE OCTUBRE.....	98
ANEXO 13: ANÁLISIS DE VARIANZA Y PRUEBA DE TUKEY, PARA LA MASA SECA DEL TALLO-MUESTRA 24 DE OCTUBRE.....	99
ANEXO 14: ANÁLISIS VARIANZA Y PRUEBA TUKEY DE MASA SECA DEL TUBÉRCULO-MUESTRA 24 DE OCTUBRE.....	100

ANEXO 15: ANÁLISIS DE VARIANZA Y PRUEBA DE TUKEY, PARA EL RENDIMIENTO DE LA MASA SECA DEL TUBÉRCULO	101
ANEXO 16: ANÁLISIS DE VARIANZA Y PRUEBA DE TUKEY, PARA EL DESARROLLO FOLIAR	102

RESUMEN

Esta investigación se resume en determinar si existe diferencia significativa del riego deficitario al 75% de la Etc. (evapotranspiración del cultivo) y riego por goteo al 100% de la Etc, superficial y subterráneo sobre la ganancia en masa seca de la zona radicular y la relación en masa seca de la zona aérea entre la zona radicular de la papa variedad Única. Se planteó el diseño completamente al azar, con cuatro tratamientos. T1 riego parcial superficial en la zona de raíces con el 75% de la Etc, T2 riego parcial subterráneo en la zona de raíces con el 75% de la Etc, T3 riego por goteo superficial con el 100% de la Etc y T4 riego por goteo subterráneo con el 100% de la Etc, y cinco repeticiones. En el análisis de varianza y la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey, se encontró que a los 28, 56 y 84 días después de siembra, no hay diferencias significativas en la producción de masa seca de la zona radicular, ni del tallo, por efecto de los tratamientos, pero si se encontró diferencia significativa en la acumulación de masa seca de la hoja y del tubérculo, en los tratamientos T3 y T4 respecto al tratamiento T1 y T2 en las pruebas realizadas a 56, y 84 días. Las necesidades hídricas del cultivo, se determinaron a partir de la Etc, para ello se utilizó el tanque evaporímetro clase A y el coeficiente del cultivo Kc, de acuerdo a la etapa de crecimiento del cultivo. El promedio de la lámina de riego en los meses de agosto, septiembre y octubre fueron 3.5, 7 y 10 mm respectivamente. El rendimiento de masa seca de la planta de papa, por tratamiento T1, T2, T3, y T4 fue 5480.27, 5725.63, 6721.14 y 7223.06 kg ha^{-1} respectivamente.

Palabra clave: Riego deficitario, Materia seca, Tratamientos, Papa Única

ABSTRACT

This research is summarized in determining whether there is a significant difference between deficit irrigation at 75% of Etc. (crop evapotranspiration) and drip irrigation at 100% of Etc, superficial and underground, on the gain in dry mass of the root zone and the relationship in dry mass of the aerial zone between the root zone of the Unique variety potato. The design was completely randomized, with four treatments. T1 partial surface irrigation in the root zone with 75% of the Etc, T2 partial underground irrigation in the root zone with 75% of the Etc, T3 superficial drip irrigation with 100% of the Etc and T4 irrigation by underground drip with 100% Etc, and five reps. In the analysis of variance and the multiple comparison test of Tukey's means, it was found that at 28, 56 and 84 days after sowing, there are no significant differences in the dry mass production of the root zone, nor of the stem, due to the effect of the treatments, but if a significant difference was found in the accumulation of dry mass of the leaf and the tuber, in treatments T3 and T4 compared to treatment T1 and T2 in the tests carried out at 56, and 84 days. The water needs of the crop were determined from the Etc, for this, the class A evaporimeter tank and the coefficient of the crop Kc were used, according to the growth stage of the crop. The average of the irrigation sheet in the months of August, September and October were 3.5, 7 and 10 mm respectively. The dry mass yield of the potato plant, by treatment T1, T2, T3, and T4 was 5480.27, 5725.63, 6721.14 and 7223.06 kg/ha-1 respectively.

Keyword: Deficit irrigation, Dry matter, Treatments, Single Potato

I. INTRODUCCIÓN

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (2017) El agotamiento de la tierra, el agua y la biodiversidad, a la par con el cambio climático ya están desacelerando el ritmo de la productividad. Para contrarrestar estos efectos es necesario desarrollar sistemas agrícolas más productivos y sostenibles para satisfacer la creciente demanda de alimento. Por tanto, conocer el crecimiento y desarrollo de los cultivos permite tomar decisiones oportunas en el momento apropiado en el manejo.

La producción de materia seca y el rendimiento depende fuertemente de la captación de recursos como el agua. La capacidad de absorber agua y nutrientes están estrechamente relacionadas por la distribución radicular del cultivo en el suelo. (Chamorro & Tamagno, 2004).

Acevedo (1979) afirma que, desde el punto de vista físico, el crecimiento radicular depende fundamentalmente de la disponibilidad hídrica para la planta. La disponibilidad de agua afecta la relación entre el crecimiento de la parte aérea y la raíz; la raíz continúa su desarrollo mientras que la parte aérea deja de crecer por causa de estrés, esto nos indica que el sistema radicular continúa su desarrollo en busca de agua en zonas más profundas del suelo (Potters, Pasternak, Guisez, Palmer, & Jansen, 2007).

De los 3600 km³ de agua extraído anualmente, aproximadamente la mitad es evaporada y transpirada por la planta. La agricultura es el sector que consume más agua, representando globalmente alrededor del 70 por ciento. En países en desarrollo el cuarenta por ciento de la agricultura es bajo riego y se prevé que aumentara en 14 por ciento para el año 2030. Este intenso uso agrícola del agua puede crear una gran tensión en los recursos hídricos (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2002). En estas condiciones se hace necesario reducir el consumo de agua limitando la cantidad aplicada, distribuyendo con mayor eficiencia y evitando pérdidas innecesarias.

El secado parcial de raíces (PRD) es una estrategia potencial en el ahorro de agua para riego; en este sistema se riega alternadamente sólo una parte del sistema radicular y su

complemento se deja sin riego, hasta un determinado nivel de agotamiento de la humedad en el suelo. El objetivo es inducir que la planta genere el ácido abscísico (ABA) en las raíces parcialmente secas que sirva como señal para que las hojas reduzcan la apertura estomatal, reduciendo la tasa de pérdida de agua a través de las hojas. Al mismo tiempo las raíces que se encuentran en la zona húmeda, mantienen el follaje en buen estado hídrico (Rojas, Posadas, Holle & Málaga, 2007).

La papa (*Solanum tuberosum L*), es el tercer cultivo más importante a nivel mundial, está orientado al consumo poblacional por su alto valor nutritivo, el cual se cultivada en un área de 20 millones de hectáreas, con una producción global de aproximadamente 385 millones de toneladas anuales, con un rendimiento promedio de 20tn/ha siendo los países desarrollados los que producen más de la mitad de la producción mundial. China es el mayor productor mundial con 96 millones de toneladas anual, seguido de Rusia, India, Polonia, Estados Unidos, Alemania y Países Bajos. (Ministerio de Agroindustria, 2017).

Según El Ministerio de Agricultura y Riego (2017) en la región de Latinoamérica, Perú es el principal productor con el mayor número de variedades de papa permitiendo una amplia distribución geográfica, en regiones de la Costa y Sierra del Perú, cuyo rendimiento promedio es de 14.5tn/ha. La producción de papa en marzo del 2018 tuvo fue de 447,159 toneladas, un incremento de 15.4% respecto al mismo mes del año (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2018).

Por tanto, esta investigación busca determinar la ganancia en peso seco de la zona radicular y aérea en relación a la disponibilidad del agua.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo principal

Evaluar la influencia del riego deficitario (riego parcial de la zona de raíces) superficial y subterráneo con el 75% del Etc y riego superficial y subterráneo al 100 % del Etc sobre la ganancia en masa seca de la zona radicular y aérea de la papa variedad Única en la Universidad Nacional Agraria la Molina.

1.1.2. Objetivos específicos

- Evaluar la materia seca mediante la extracción, disección (hoja, tallo, raíz y tubérculo) y secado de las muestras de papa.
- Evaluar la relación en materia seca de la parte aérea y radicular del cultivo de papa.
- Determinar la productividad del agua en la masa seca del cultivo de papa al aplicar riego parcial de la zona de raíces (PRD) al 75% del Etc y riego por goteo al 100% Etc, superficial y subterráneo respectivamente.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. CULTIVO DE PAPA

La papa, *Solanum tuberosum* L., es una especie herbácea, perenne por sus tubérculos, pero cultivada de forma normal como planta anual. Perteneció a la familia de las Solanáceas conocida por papa. Posee un tallo aéreo; que puede ser ramificado hueco y triangular en su sección transversal. Se considera principal, el que crece directamente del tubérculo y a las ramas laterales de este, se le denomina tallos secundarios. Las hojas son alternas al igual que los estolones; consisten en un peciolo con foliolo terminal; foliolos laterales secundarios y a la vez terciarios intersticiales.

Así mismo, la papa presenta dos tipos de reproducciones: sexual y asexual.

Sexual: Es cuando la reproducción se lleva a cabo de la semilla botánica, que se utiliza básicamente para realizar mejoramiento genético en este cultivo.

Asexual: Esta se realiza de las partes vegetativas (tubérculos), que se utiliza para la producción y reproducción; es por ello que es una planta perenne.

2.1.1. Taxonomía

La siguiente descripción taxonómica de la planta de papa está basada en Montaldo (1984).

Reino: Plantae

Clase: Angiospermae

Subclase: Dicotiledónea

Orden: Tubiflorales

Familia: Solanaceae

Género: *Solanum*

Especie: *tuberosum*

2.1.2. Morfología de la papa

Egusquiza (2000), nos dice que la planta de la papa es de naturaleza herbácea y consta de las siguientes partes: El brote, el tallo, la raíz, el estolón, el tubérculo, las hojas, la flor, el fruto y la semilla, el estolón y el tubérculo.

a. El brote

El brote es un tallo que se origina en el “ojo” del tubérculo, varía en tamaño y apariencia según las condiciones que se almacena el tubérculo. Cuando se siembra el tubérculo, los brotes aceleran su crecimiento y, al salir a la superficie del suelo se convierte en tallos. No es deseable la presencia de brotes cuando el tubérculo se comercializa para consumo, todo lo contrario, cuando el tubérculo es para semilla.

Los brotes están constituidos por: lenticelas, pelos, yema terminal, yema lateral, nudo primordios radiculares.

b. El tallo

La planta de papa es un conjunto de tallos aéreos y subterráneos, (Egusquiza, 2000)

b.1. Tallos aéreos

El tallo principal se origina del brote del tubérculo semilla y el secundario, de una yema subterránea del tallo principal. El tallo estolonífero se origina de un estolón que toma contacto con la luz. La rama se origina de una yema aérea del tallo principal. Los elementos del tallo aéreo son: el nudo, ala y entrenudo.

b.2. Tallo subterráneo

El tubérculo es tallo donde se almacena los nutrientes provenientes del follaje depositados a través del estolón. La función de los tallos es sostener hojas y flores (tallos aéreos), transportar azúcares (estolones) y almacenar almidones (tubérculos).

Los tallos por lo general son angulares de color verde o rojo púrpuro; son herbáceos aun en etapas de desarrollo, la parte baja puede ser relativamente leñosa. Las raíces y estolones se desarrollan a partir del tallo subterráneo, entre el tubérculo-semilla y la superficie del suelo. (Mizicko, Livingston, & Johnson, 1974).

c. La raíz

La raíz es la estructura subterránea responsable de la absorción de nutrientes y agua. Nacen de los nudos de los tallos subterráneos, formando un sistema fibroso. En relación a otras plantas, las raíces de la papa son de menor profundidad, son débiles y se encuentran en la capa superficial del suelo (Egúsquiza, 2000).

Las plantas provenientes de semilla tubérculo tienen un sistema fibroso de raíces laterales, emergen de los nudos de los tallos subterráneos en su mayoría en grupos de tres. Las raíces laterales se originan en la zona del periciclo de las raíces y en los meristemas del tallo subterráneo, junto a la placa nodal. Las plantas provenientes de la semilla botánica tienen una raíz principal delgada, la cual se convierte en fibrosa. (Reeve, 1974).

d. El estolón

Los estolones de la papa son tallos laterales que crecen horizontalmente por debajo del suelo a partir de yemas de la parte subterránea de los tallos. Los estolones largos son comunes en las papas silvestres y el mejoramiento de la papa tiene como una de las metas obtener estolones cortos.

Los estolones pueden formar tubérculos al hincharse su extremidad justo inmediatamente después de una curvatura del estolón mediante un agrandamiento de su extremo terminal, sin embargo, no todos los estolones pueden formar tubérculo.

Sin embargo, no todos los estolones llegan a formar tubérculos. Un estolón no cubierto con suelo puede desarrollarse en tallo vertical con follaje normal (Inostroza, 2009).

e. El tubérculo

Los tubérculos de papa son tallos modificados que se originan en el extremo del estolón y que constituyen los principales órganos de almacenamiento de la planta de papa. Los tubérculos se reproducen por el incremento de los tejidos de reserva que acelere el aumento de células (Inostroza, 2009).

El tubérculo es la porción apical del estolón cuyo crecimiento es fuertemente comprimido u orientado hacia los costados (expansión lateral) de la zona subterránea y es donde se produce el almacenamiento de energía (azúcares y almidón).

f. La hoja

La hoja es parte del sistema planta donde se capta y transforma la energía solar en energía alimenticia como son los azúcares y almidones, (Egúsquiza, 2000) estas están distribuidas en espiral sobre el tallo.

g. La flor

Según Inostroza (2009) Las flores de la papa son bisexuales (tienen ambos sexos). Se desarrolla en la parte aérea de la planta papa y de acuerdo a sus características diferenciamos y reconocemos la variedad de esta. Las flores se encuentran en grupos que forman la inflorescencia cuyas partes son: Cáliz, corola, columna de anteras, estigma, botón floral, pedicelo inferior, flor, pedúnculo floral. Cada flor se encuentra al final de las ramificaciones del pedúnculo floral (pedicelos).

h. El fruto y la semilla

El número de semillas por fruto llega a ser a más de 200 según la fertilidad de cada cultivar. Las semillas son planas, ovaladas y pequeñas (1000-1500 semillas /gramo). Cada semilla está envuelta en una capa llamada testa que protege el embrión y un tejido nutritivo de reserva llamado endospermo. Las semillas son también conocidas como semillas verdaderas o botánicas, para distinguirlas de los tubérculos semilla, usados para la producción (Inostroza, 2009).

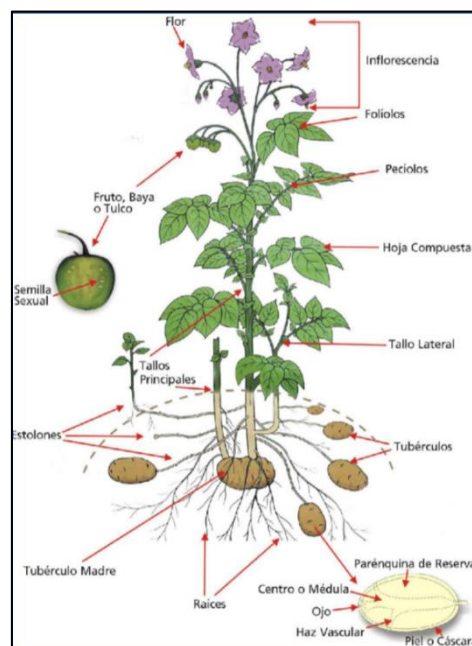


Figura 1: La planta de papa y sus partes

Fuente: Adaptado del Centro Internacional de la Papa

2.1.3. Papa variedad Única

Es una variedad de papa de piel roja desarrollada por el Centro Internacional de la Papa (CIP), que fue liberada por primera vez en el Perú en 1998 y ahora es sembrada en diversos países del mundo porque tiene atributos de resistencia y precocidad requisitos importantes para los agricultores del cultivo de papa. En el Perú, gracias a sus características para el consumo en fresco y procesamiento en tiras y su adaptación se ha distribuido geográficamente en las regiones de costa y sierra, dando un impulso económico a los agricultores de cultivo de papa variedad Única (Gutiérrez Rosales, Espinoza, & Bonierbale, 2007).

2.2. FACTORES QUE AFECTAN AL CULTIVO DE LA PAPA

2.2.1. Clima

La papa es un cultivo adaptado a climas fríos y templados con temperatura que van entre 12 a 24 grados centígrados. Normalmente esto se logra a altitudes superiores a 1400 msnm. En lugares más calientes el agricultor puede producir papa usando variedades adaptadas y buen manejo de fertilización, riego y practicas básicas a tiempo.

a. Temperatura

La papa es un cultivo que se desarrolla en condiciones de temperatura ambiental frescas. Para obtener un mayor rendimiento la temperatura debe estar entre 15.5°C a 18°C, y la temperatura más adecuada después de la siembra es 22°C, para que la planta pueda desarrollarse adecuadamente, necesita mayor temperatura, esta no debe superar los 30°C (Valadez, 1998).

b. Luz

La planta de la papa es muy sensible al fotoperiodo, un cambio en las horas de luz puede modificar los tiempos en las etapas del desarrollo fenológico del cultivo, el llenado de tubérculos depende de estas dos variables, en días cortos se producen más sustancia de tuberización que en los días largos, en dichas condiciones se produce un aumento en el crecimiento vegetativo de la planta (Guerrero, 1999).

2.3. ASPECTOS DEL MANEJO DEL CULTIVO

2.3.1. Preparación del terreno

La preparación del suelo es fundamental para lograr una buena producción de papa. El manejo agronómico definirá el desarrollo vegetativo del tubérculo, esto ara que crezcan más rápido los tallos, mayor profundidad alcancen las raíces y mejor drenaje logre los cultivos. La especie desarrolla mejor en suelos francos arenosos bien drenado, con subsuelos arcilloso y rico en materia orgánica. El PH debe oscilar de 6.0 a 6.5, mayores a 7.8 afectaran en la absorción de micronutrientes y fósforo.

2.3.2. Semilla de la papa

Las papas son susceptibles a una serie de enfermedades que reducen la productividad y la calidad de los tubérculos. Además, los patógenos se acumulan durante clonación sucesiva de tubérculo y en el suelo donde se cultiva. Por eso la producción sostenible de papa depende de la renovación constante del material de siembra libre de enfermedades.

La calidad de la semilla es un factor importante para obtener buenos rendimientos en el cultivo, la semilla debe ser una variedad certificada que esté libre de plagas y enfermedades que se adapte a las condiciones del medio donde se desarrollara el cultivo de la papa. Estas son asexual y sexual.

2.3.3. Siembra

La producción en papa es determinada por la cantidad de tallos por metro cuadrado. Donde hay una mayor cantidad de tallos, menor tamaño de tubérculo, pero mayor rendimiento por área, todo lo contrario, si hay poca cantidad de tallos. Una vez definida la densidad de siembra se recomienda mantenerla. La siembra se hace en el lomo de la cama a una profundidad de 10 a 15 cm.

2.3.4. Abono y fertilizantes

El uso del fertilizante químico depende de la cantidad de nutrientes presentes en el suelo, por ello, antes de la siembra es recomendable realizar un análisis de suelo con el fin de determinar la cantidad de nutrientes disponibles para la planta y generar un plan de fertilización balanceado y eficiente, de esta manera se mejorará la producción y cosecha de alta calidad en termino de peso y tamaño. (Theodoracopoulos, Arias & Avila, 2008).

2.3.5. Aporque

El aporque consiste en aproximar la tierra a las plantas dejando camellones bien formados. Se deberá hacer cuando las plantas alcancen una altura de 25 a 30 centímetros o su equivalente a un mes de edad.

Para variedades de estolón corto, se recomienda hacer el aporque a los 35 días una vez sembrado, luego se recomienda aplicar fungicida de contacto o sistémico para evitar daños de enfermedades del cultivo de papa.

2.3.6. Plagas y enfermedades

Para combatir las enfermedades, se recomienda tomar precauciones básicas que pueden evitar grandes pérdidas como son: Semillas saludables y certificadas, uso de semillas tolerantes y de tubérculo semilla saludable.

Las plagas de insectos pueden destruir por completo un cultivo de papa. Es necesario tomar medidas para combatirlas, es recomendable hacer una vigilancia para proteger de las plagas combatiendo a los insectos, sus huevos y sus larvas cuando aparezcan a principio de temporada. La sanidad, el uso de variedades resistentes de papa y la rotación de cultivo ayudan a prevenir la propagación de los nematodos.

2.3.7. Cosecha y post cosecha

Cuando las hojas de la planta se ponen amarilla y los tubérculos se desprenden con facilidad de sus estolones, significa que la papa está madura. Si las papas van a almacenarse en vez de consumirse enseguida, se deja en el suelo para que la piel se haga más gruesa, esta característica ayuda a prevenir las enfermedades que se producen durante el almacenamiento.

Para facilitar la cosecha, el follaje de la planta de la papa se deberá eliminar dos semanas antes de sacar el tubérculo de la tierra. Durante la cosecha no dañar o producir algún tipo de lesión en los tubérculos que puedan servir de ingreso a las enfermedades durante el almacenamiento. Este almacenamiento se deberá hacer correctamente para evitar daños en sus tejidos ya que estos son muy susceptibles a descomponerse. (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2002).

2.4. FASES DE CRECIMIENTO DE LA PAPA

El cultivo de la papa presenta diversas fases en su desarrollo fenológico, en cada una de ellas se debe realizar actividades de manejo y para determinar que hacer en permanente observación para determinar qué hacer con respecto al manejo de plagas que se presentan.

2.4.1. Dormancia o reposo de la semilla

Es el periodo que transcurre entre la cosecha y la brotación. Para el tubérculo semilla, esta fase dura de 2 a 3 meses y para la semilla sexual entre 4 a 6 meses, La dormancia puede ser rota o inducida por heridas o algunas enfermedades del tubérculo, en estos casos la dormancia ocurre en menos tiempo.

2.4.2. Brotación

Esta etapa comienza a emerger las yemas de los tubérculos, dura de dos a tres meses, luego la papa está apta para sembrarse, es ideal que los tubérculos presenten por lo menos tres brotes cortos, fuertes y que tengan una longitud de 0.5 a 1 cm.

2.4.3. Emergencia

Una vez realizada la siembra y en condiciones adecuadas de temperatura y humedad en el suelo, los brotes emergen de 10 a 12 días del tubérculo, y de 8 a 10 días de semilla sexual.

2.4.4. Desarrollo de tallos

Las plantas provenientes de semillas verdaderas tienen solo un tallo principal mientras que, los que provienen de tubérculo semilla pueden producir varios tallos. Los tallos laterales son ramas de los tallos principales. En esta etapa, hay crecimiento de follaje y raíces en forma simultánea.

2.4.5. Tuberización y floración

En esta fase, la papa comienza a desarrollar estolones o la tuberización. En variedades precoces, esto ocurre a los 30 días después de realizado la siembra, en variedades intermedias, entre 35 a 45 días y en las tardías ocurre de 50 a 60 días. Esta etapa dura un promedio de 30 días.

2.4.6. Desarrollo de los tubérculos

Los tubérculos alcanzan la madurez fisiológica a los 75 días en variedades precoces; 90 días para intermedias y 120 días para variedades tardías.

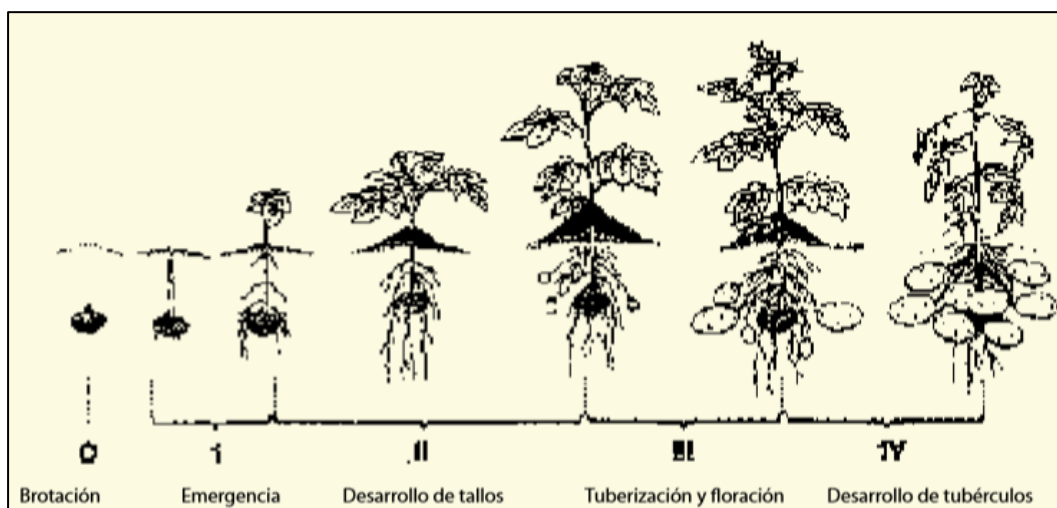


Figura 2: Fases fenológicas del cultivo de papa

Fuente: CIP, Perú

2.5. RELACIÓN AGUA-SUELO-PLANTA-ATMOSFERA

2.5.1. Agua en el suelo

Según Vásquez A.; Vásquez I.; Vásquez C.; & Cañamero M. (2017), el suelo es un cuerpo natural que varía continuamente en el espacio y en el tiempo, es un medio poroso constituido por partículas sólidas de diferentes tamaños y composición química, con espacios porosos entre ellas, estas ocupado por aire o agua o ambos. El volumen de poros en relación al volumen de sólidos varía entre en un 35% a 60%. Es importante conocer la permeabilidad hidráulica en el suelo y el volumen que está disponible para las plantas interactuando íntimamente con el tamaño de partículas minerales en relación a su potencial mátrico (Ψ_m). También la capacidad de almacenar agua un suelo, en relación con la profundidad de la zona radicular, por último, reponer el agua consumido por las plantas debido a la tecnología de riego (Salgado , 2001).

2.5.2. Disponibilidad de agua en el suelo

El suelo almacena cierta cantidad de agua en los macros y micros poros, de este volumen, una parte está disponible para las plantas. En consecuencia, se considera que el agua disponible para las plantas es la que se encuentra entre los niveles de capacidad de campo (CC, 0.33bares) y el punto de marchitamiento (PMP, 15 bares), estas nos indica la tensión con la que el suelo retiene el agua (Vásquez, Vásquez, Vásquez, & Cañamero, 2017).

a. Saturación (S)

Nos indica que el contenido de agua en el suelo está a su máxima capacidad de almacenamiento, esto se da cuando todo su poro está lleno de agua, esta situación puede observarse inmediatamente después de una lluvia o riego abundante.

b. Capacidad de campo (CC)

Es el contenido de agua presente en un suelo luego de drenar libremente durante los 2 o 3 días posteriores a una lluvia o riego intenso. Se estima que corresponde al agua retenida a un potencial mátrico (Ψ_m) que puede variar entre 0.1 bar para suelos arenosos hasta 0.5 bares para suelos arcillosos. Se puede tomar como valor medio 0.3 bar (Angella, Frias, & Salgado, 2016).

c. Punto de marchitez permanente (PMP)

Es el contenido de agua de un suelo retenida tan firmemente que las plantas no pueden extraer causándoles una marchitez irreversible. En este estado se admite en general, que el agua esta retenida con potenciales menores a 15 bares. No todas las especies vegetales tienen la misma capacidad para extraer agua del suelo, incluso esta capacidad puede variar según el estado fenológico de la planta; por tanto, el PMP no será un punto constante (Vásquez, Vásquez, & Cañamero, 2017).

2.6. MEDICIÓN DE LA HUMEDAD

Se considera que la cantidad de agua existente en un suelo entre la humedad a capacidad de campo (CC) y el punto de marchitez permanente (PMP) constituye el agua disponible total para las necesidades fisiológicas del cultivo. Por tanto, es importante conocer con cuánto de agua dispone la planta para sus necesidades.

2.6.1. Método gravimétrico

Este método permite calcular el contenido de agua del suelo extrayendo muestra (20 – 200g), las cuales se pesan y luego se meten a la estufa por un periodo de 24 horas a 105°C y luego volver a pesar y luego aplicar la siguiente fórmula.

$$\text{Contenido humedad suelo (\%)} = [(PF - PS) / PS] \times 100$$

PF Peso fresco de la muestra

PS Peso seco de la muestra de suelo

2.7. RELACIÓN AGUA – RAÍZ

Villegas (2010) asegura que el sistema radical de las especies vegetales tiene un papel importante en el rendimiento de los cultivos. Bajo condiciones naturales el abastecimiento de agua y nutrimentos a la planta depende en gran medida de la disponibilidad y capacidad de absorción de las raíces. La disposición de los nutrimentos está en función de la cantidad en el medio, su movilidad en el suelo y la ocupación que hagan de éste las raíces.

Según Acevedo (1979), el crecimiento radicular está determinado por factores genéticos y del medio. Entre los factores del medio se destacan las propiedades físicas y químicas del suelo, además de las variables que afectan el desarrollo aéreo del cultivo. Desde un punto de vista físico, el crecimiento radicular depende en gran medida del agua. El potencial de presión Ψ_p , o turgor en el interior de las células, proporciona la fuerza necesaria para la elongación celular. En el tejido en elongación, la componente axial de esta fuerza es la que empuja la caliptra a través del suelo.

2.8. RELACIÓN RAÍZ - PARTE AÉREA

el crecimiento de la parte aérea depende del transporte de nutrientes desde las raíces. Las raíces requieren de los carbohidratos producidos en la parte aérea por la fotosíntesis, mientras que la parte aérea requiere los nutrientes y el agua absorbidos por las raíces (Mitchell & Russell, 1971).

Según Acevedo (1979) la mayoría de las especies vegetales obtienen el agua del suelo. El agua se mueve a través del suelo, interactúa con el sistema radicular penetrando al interior

de las raíces, luego para pasar a la parte aérea y de ahí, casi en su totalidad a la atmósfera por el proceso de transpiración.

2.8.1. Bulbo de humedecimiento

Se llama bulbo húmedo a la distribución espacial y temporal del agua en el suelo humedecido por un gotero cuando se deja caer gota a gota ésta se mueve hacia los lados (horizontalmente) y hacia abajo (verticalmente) formando el bulbo húmedo y que depende de las propiedades y características del suelo en cuanto a perfil y topografía, este bulbo tiene gran importancia ya que en él se desarrollan las raíces de las plantas (Fernández, Ávila, López, Gavilan & Oyonarte.2010).

2.8.2. Biomasa

Según Lesczynsky & Tanner (1976) la longitud de la raíz está estrechamente ligado con la absorción de agua y nutrientes por lo cual, al controlar la tasa de absorción de agua y nutrientes, el sistema radicular influirá en procesos fisiológicos como la respiración, la elongación celular y la fotosíntesis. Ésta última puede alterar drásticamente el crecimiento de las raíces debido a su dependencia de los productos de fotosíntesis proporcionado por la parte aérea, y todo ello indudablemente en la producción de biomasa y en el rendimiento.

2.8.3. Masa seca de la planta de papa

La asimilación de materia seca y su distribución dentro de la planta, son procesos importantes que determinan la productividad del cultivo. El estudio de los patrones de asignación de materia seca hacia las diferentes partes de la planta, la variabilidad de estos patrones entre cultivares y el efecto de las condiciones ambientales en el proceso, pueden ayudar a maximizar la productividad (Tekalign & Hammes, 2005).

El conocimiento acerca del crecimiento y desarrollo de los cultivos permite tomar decisiones adecuadas de manejo. La producción de materia seca y el rendimiento dependen fuertemente de la captación de recursos: luz, agua y nutrientes. La capacidad de absorber agua y nutrientes están condicionadas por la exploración del suelo por las raíces (Chamorro & Tamagno, 2004).

2.9. EVAPOTRANSPIRACIÓN

Definición

La evapotranspiración es un indicador de las necesidades brutas de los cultivos, es decir es una combinación de dos procesos donde el agua pasa a la atmósfera mediante la evaporación de agua desde la superficie del suelo y el proceso de transpiración a través de los tejidos vegetales, con la apertura y cierre de las estomas (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 1990).

2.9.1. Evaporación del cultivo de referencia (ET_o)

Viene a ser la tasa de evapotranspiración de una superficie de referencia, que ocurre sin restricción de agua. La superficie de referencia corresponde a un cultivo hipotético de pasto con características específicas, las cuales son: una altura asumida de 0.12 m, una resistencia superficial fija de 70 s/m y un albedo de 0.23. El ET_o está en función de los parámetros climáticos, por ende, el ET_o también es un parámetro climático que se puede calcular a partir de datos meteorológicos. Se obtiene utilizando el método FAO Penman-Monteith o con la evaporación del tanque evaporímetro clase A (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 1990).

2.9.2. Evaporación del cultivo bajo condiciones estándar (ET_c)

Se refiere a la evapotranspiración de cualquier cultivo cuando se encuentra exento de enfermedades, con buena fertilización y que se desarrolla en parcelas amplias, bajo óptimas condiciones de suelo y agua, y que alcanza la máxima producción de acuerdo a las condiciones climáticas reinantes. La cantidad de agua requerida para compensar la pérdida por evapotranspiración del cultivo se define como necesidades de agua del cultivo, por tanto, la necesidad de riego básicamente representa la diferencia entre la necesidad de agua del cultivo y la precipitación efectiva. Las diferencias en la anatomía de las hojas, características de las estomas, las propiedades aerodinámicas, e incluso el albedo, ocasionan que la evapotranspiración del cultivo difiera de la evapotranspiración del cultivo de referencia bajo las mismas condiciones climáticas y se calcula (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 1990).

$$E_{tc} = K_c * E_{to}$$

Etc: Evaporación del cultivo (mm/d)

Kc: Coeficiente del cultivo (adimensional)

Eto: Evapotranspiración del cultivo de referencia (mm/d)

2.9.3. Coeficiente de cultivo Kc

(Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación, 2008), indica que el coeficiente de cultivo es un valor que cambia con el tiempo, este valor estará en función del grado de desarrollo y de las etapas fenológicas del cultivo. El Kc presentará diferentes valores en relación a las características del cultivo, fecha de siembra, ritmo de desarrollo del cultivo, evaporación del suelo, condiciones climáticas, frecuencia de lluvia o riego.

2.9.4. Factores que afectan la evapotranspiración

El clima, las características del cultivo, el manejo y el medio de desarrollo son factores que afectan a la evaporación y transpiración.

a. Clima

Los principales parámetros climáticos que la evapotranspiración son la radiación, la temperatura del aire, la humedad atmosférica y la velocidad del viento. Con los datos de estos parámetros es posible determinar la evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo) mediante el método FAO Penman-Montith.

b. Características del cultivo

Respecto a las características del cultivo se refiere al tipo, variedad y etapa de desarrollo en el cual se va definiendo el distanciamiento entre las plantas como las características de las hojas y de las estomas que afectan la evaporación del cultivo

c. Evaporación del suelo

Cuando el cultivo cubre completamente el suelo la evaporación es principalmente la transpiración del cultivo. Cuando la relación de cobertura es menor, la evaporación del suelo

cobra importancia, es principalmente en cultivos pequeños con menos enraizamiento en los que la superficie del suelo debe estar húmeda con mayor frecuencia.

2.10. MÉTODO PARA DETERMINAR EL ETO

2.10.1. Método del tanque evaporímetro

Este método es directo porque nos permite estimar los efectos del clima (radiación, temperatura, viento y humedad relativa), en relación con la evaporación registrada de una superficie de agua libre de dimensiones estándar. El comportamiento del tanque evaporímetro responde de manera similar a los mismos factores climáticos que afectan la transpiración del cultivo, pero hay otros factores que actúan de manera diferente en la pérdida de agua de una superficie libre evaporante y de una superficie cultivada. La reflexión de la radiación solar del agua en el tanque puede ser diferente del 23% asumido para el cultivo de referencia. El almacenaje de calor dentro del tanque puede ser apreciable y puede causar una significativa evaporación durante la noche mientras que la mayoría de los cultivos transpiran solamente durante el día. También se distinguen diferencias en la turbulencia, temperatura y humedad del aire que se encuentran inmediatamente sobre estas dos superficies. La transferencia de calor a través de las paredes del tanque también afecta el balance energético. (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 1990).

$$E_{To} = K_p \times E_v$$

E_{To} : evapotranspiración de referencia (mm día^{-1})

K_p : coeficiente del tanque evaporímetro

E_v : evaporación del tanque evaporímetro (mm día^{-1})

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

Figura 3: Valores de coeficientes del tanque tipo A

Fuente: Manual 56 de la FAO

2.11. DESCRIPCIÓN DEL TANQUE EVAPORÍMETRO CLASE A

Se puede construir de hierro galvanizado o de lámina de metal (0.8mm), debe ser circular de 120.7 cm de diámetro y 25 cm de profundidad. Se debe ubicar sobre una plataforma de madera en forma de reja que se encuentra a 15 cm por encima del suelo completamente a nivel. Realizado la instalación, el tanque se llena con agua hasta 5 cm por debajo del borde y el espejo de agua no debe bajar a más de 7.5 cm por debajo del borde. Se recomienda cambiar el agua una vez a la semana, para eliminar turbidez. Si el tanque es galvanizado, debe ser pintado anualmente con pintura de aluminio. Las mallas sobre los tanques deben evitarse y éstas deben ser protegidos con mallas para evitar el acceso de los animales.

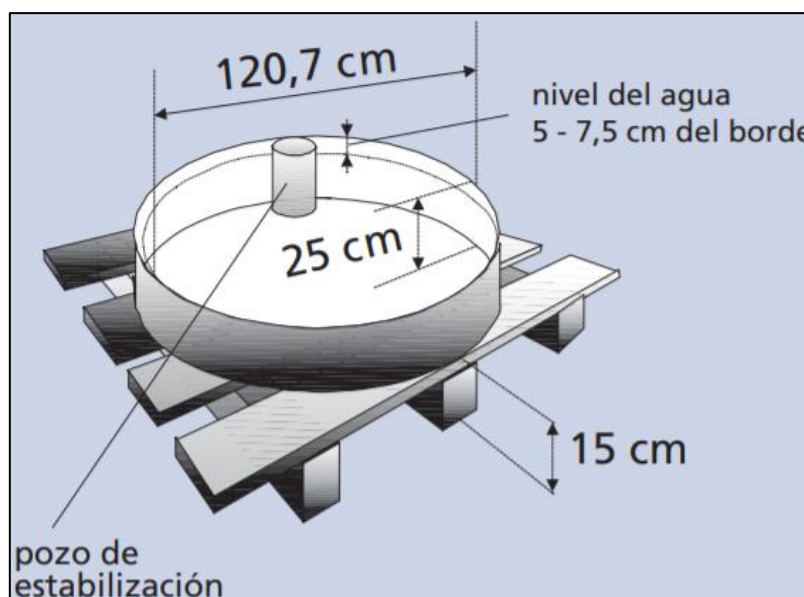


Figura 4: Dimensiones del tanque de evaporación tipo A
Fuente: Manual de la FAO

2.12. RIEGO

Cuando se habla de riego en general, se dice que el problema principal por plantearse es el Cuánto, Cuándo y cómo regar.

El Cuánto plantea el problema de la cantidad de agua que hay que aplicara un suelo en el que se va establecer un cultivo.

El Cuándo plantea el problema de la oportunidad con que se debe aplicar esa cantidad de agua.

El Como plantea el problema de la forma en que esa cantidad de agua deba aplicarse al suelo en la oportunidad que definió el cuándo.

Todo esto con el fin del aprovechamiento integral del agua para que sea aplicada en oportunidad y con la mayor eficiencia posible, obteniendo el máximo de los rendimientos en la producción.

2.12.1. Riego por goteo

El agua se subministra en forma de gotas directamente a la zona radicular de cada planta, para que de esta forma puede ser utilizada al máximo (Medina San Juan , 2000).

La ventaja principal que nos brinda la aplicación del riego por goteo es el ahorro de agua, esto se debe al poco escurrimiento que se puede producir, a la evaporación y percolación

también se evita el contacto del agua con el follaje o tallos disminuyendo las enfermedades que pueden incidir negativamente en su producción (Shock & Welch, 2013).

2.12.2. Riego por goteo subterráneo

El riego localizado subterráneo es la aplicación de agua bajo la superficie del suelo mediante emisores alrededor del sistema radicular de los cultivos, con dosis de descarga en el mismo rango que el riego localizado superficial. Presenta una uniformidad de 90-95% si el manejo es correcto.

a. Ventajas del riego por goteo subterráneo

Mayor ahorro de agua. Disminuye o evita la pérdida de agua por evaporación superficial al no llegar la humedad a la superficie, salvo en puntuales ocasiones necesarias para el cultivo.

Evita escorrentía y se consigue mayor uniformidad de riego, evitándose el problema del viento.

Disminuye la presencia de malas hierbas al no mojar la superficie del terreno.

Reduce la presencia de enfermedades y plagas, ya que se reduce la humedad en el tallo y las hojas de las plantas.

Mejoran la nutrición de la planta, ya que se administra el agua y los nutrientes directamente al sistema radicular, teniendo así un mejor aprovechamiento del nitrógeno, fósforo y potasio.

Evitan los daños que producen roedores y pájaros, así como también riesgos de vandalismo.

2.12.3. Riego deficitario

Consiste en reducir el agua aplicada al cultivo con el mínimo impacto posible sobre la producción del cultivo para ello se aplica riegos más frecuentes. Es una técnica que consiste todo el periodo vegetativo por debajo del requerimiento hídrico del cultivo, usando una mayor frecuencia de aplicación para evitar la aparición de situaciones de estrés trascendentes. En este sentido esta técnica da un enfoque más fisiológico del problema, prestando atención al ciclo del cultivo como a su capacidad de resistir situaciones de déficit hídrico, es por ello surge un nuevo tipo de riego deficitario llamado: Riego Deficitario Controlado (Sanchez & Torrecillas, 1995).

2.12.4. Riego parcial de zona de raíces (PRD)

Es una técnica de riego deficitario donde la mitad del sistema radical está sometida a déficit hídrico mientras que la otra mitad permanece húmedo asegurando un aporte hídrico necesario para mantener el vigor de la parte aérea, mientras la otra mitad de la zona radical permanece seca, con la finalidad de inducir la producción de ácido abscísico (ABA) que son transportadas vía xilema a las hojas y estas regulan la apertura estomatal y de esta manera disminuye la pérdida de agua vía transpiración. (Kang & Zhang, 2004).

Este mecanismo que dispone la planta al reducir la abertura estomática puede reducir la pérdida de agua sustancialmente con poco efecto sobre la fotosíntesis, parte del sistema radicular en el suelo puede responder enviando una señal proveniente de la raíz a los brotes, donde las estomas se pueden cerrar para reducir la pérdida de agua, las plantas abren sus estomas para la absorción de CO_2 y al mismo tiempo pierden agua interna.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. CARACTERÍSTICAS DEL AREA EXPERIMENTAL

3.1.1. Ubicación del área de estudio

El proyecto se llevó a cabo en la parcela demostrativa del Departamento de Recursos Hídricos (DRH) de la facultad de Ingeniería Agrícola, de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM),

Departamento: Lima

Provincia: Lima

Distrito: La Molina

Longitud: 12°4'55.63"

Latitud: 76° 56' 21.42"

Altitud: 234 m.s.n.m.



Figura 5: Ubicación del área de estudio

Fuente: Tomado de Google 2019

En la Figura 6 muestra el área donde se llevó a cabo la investigación.



Figura 6: Área experimental

3.1.2. Condiciones climáticas

Condiciones del clima brindados por la estación del DRH de la Universidad Nacional Agraria la Molina, durante la etapa fenológica del cultivo de papa variedad Única, en el periodo agosto-noviembre 2018.

Tabla 1: Condiciones del clima en la UNALM

Mes	T (°C) Máxima	T (°C) Mínima	T (°C) promedio	Humedad rel. (%)	Vel. de Viento (m/s)	Horas de sol diario	Eto (mm/día)
julio	18.91	14.16	16.53	88.70	0.85	2.04	1.69
agosto	18.31	13.92	16.11	88.53	0.88	2.40	1.89
Septiembre	19.98	13.95	16.96	88.07	0.99	3.23	2.33
octubre	21.18	14.52	17.85	86.09	1.08	4.37	2.85
noviembre	22.69	15.67	19.18	84.25	1.10	5.01	3.16
diciembre	25.06	17.42	21.23	82.74	1.14	4.89	3.6

En la Tabla 1 se menciona las variables climáticas más importantes para el desarrollo de la investigación.

3.1.3. Análisis de laboratorio

Para llevar a cabo la investigación en la parcela experimental, se realizaron muestreo de suelo y de agua.

a. Análisis de Suelo

El análisis de caracterización del suelo se realizó en el Laboratorio de Análisis de Agua, Suelo, Medio Ambiente y Fertirriego del Departamento de Recursos Hídricos de la Facultad de Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional Agraria la Molina (UNALM) donde se obtuvieron los datos que se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2: Resumen del análisis de suelo en el área experimental

CE (dS/m) Relación 1:1	PH Relación 1:1	M.O. %	P ppm	K ppm	CaCo₃ %
1.39	7.83	1.70	35.88	222.00	1.19

b. Análisis de Agua

El análisis de caracterización del agua de riego se realizó en el Laboratorio de Análisis de Agua, Suelo, Medio Ambiente y fertirriego del departamento de Recursos Hídricos de la Facultad de Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional Agraria la Molina (UNALM), donde se obtuvieron los siguientes resultados que se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3: Características del agua de riego

Indicadores	Valor
Conductividad eléctrica CE (dS/m)	0.66
PH	7.52
Calcio (meq/l)	4.9
Magnesio (meq/l)	0.83
Sodio (meq/l)	0.89
Potasio (meq/l)	0.05
Suma de cationes	6.67
Cloruro (meq/l)	1.13
Sulfato (meq/l)	2.67
Bicarbonato (meq/l)	2.83
Nitratos (meq/l)	0
Carbonatos (meq/l)	0
Suma de aniones	6.62
SAR	0.52
Clasificación	C₂-S₁
Boro (ppm)	0.57

3.2. MATERIALES Y EQUIPO

3.2.1. Materiales y equipo para la preparación del terreno

Los materiales y equipo para la preparación del terreno se muestran en la tabla 4.

Tabla 4: Materiales en la preparación del terreno

Materiales y Equipo	Cantidad
Pala	2
pico	2
Rastrillo	2
Costales	1
Mantas	2
Wincha métrica	1
Tractor	1

3.2.2. Materiales para la instalación de las cintas de riego

Los materiales para complementar la instalación de riego en las parcelas experimentales, se muestran en la tabla 5.

Tabla 5: Materiales para la instalación de las cintas de riego

Herramientas y Materiales	Cantidad
Cinta de riego	1200 m
Adaptador de cinta a tubo 16 mm	80
T para cinta de riego	8
Valvula goteo 16 mm a cinta	24
Codo de 90° espiga 16 mm	16
Cutter	1
Filtro	1

3.2.3. Materiales para el mantenimiento y limpieza del tanque evaporímetro clase A

Los materiales y las herramientas que se utilizó en el mantenimiento del tanque evaporímetro clase A se muestran en la tabla 6.

Tabla 6: Materiales para el mantenimiento del tanque evaporímetro clase A

Materiales	Cantidad
Tanque evaporímetro clase A	1
Micrómetro o pozo de estabilización	1
Malla Galvanizada de 1/2" 1m	8
Plataforma de madera	1
Pintura esmalte blanca (gl)	0.5
Carretilla	1
Balde	1
Alicate	1

Debo señalar que el tanque evaporímetro clase A y el micrómetro pertenecen a la Facultad de Ingeniería Agrícola.

3.2.4. Material y equipo para el control de humedad en las unidades experimentales

El material que se utilizó para monitorear la humedad del suelo durante el ciclo fenológico de la planta de papa variedad Única, se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7: Material y equipos para el control de la humedad en el suelo

Materiales y Equipos	Cantidad
Horno	1
Barreno muestreador	1
Sobre manila	20

3.2.5. Materiales y equipo para determinar la materia seca de la planta de papa

Los materiales y equipos para determinar la materia seca de la planta de papa realizado en el Laboratorio de Recursos Hídrico, se muestran en la Tabla 8.

Tabla 8: Materiales y equipos para determinar la materia seca de la planta de papa

Materiales y Equipo	Cantidad
Balanza Sartorius TE 101	1
Balanza Radwag PS 360/C/1	1
Horno	1
Sobre manila	80
Bolsa	20
Pala	1
Pico	1
Espátula	1
Libreta de apuntes	1

3.3. DISEÑO EXPERIMENTAL

La investigación estuvo constituida por cuatro tratamientos en un área experimental de 612m², empleándose un diseño completamente al azar con 5 repeticiones.

3.3.1. Tratamientos en estudio

Las características de los tratamientos en estudio se detallan en la Tabla 9.

Tabla 9: Distribucion de los tratamientos en el área experimental

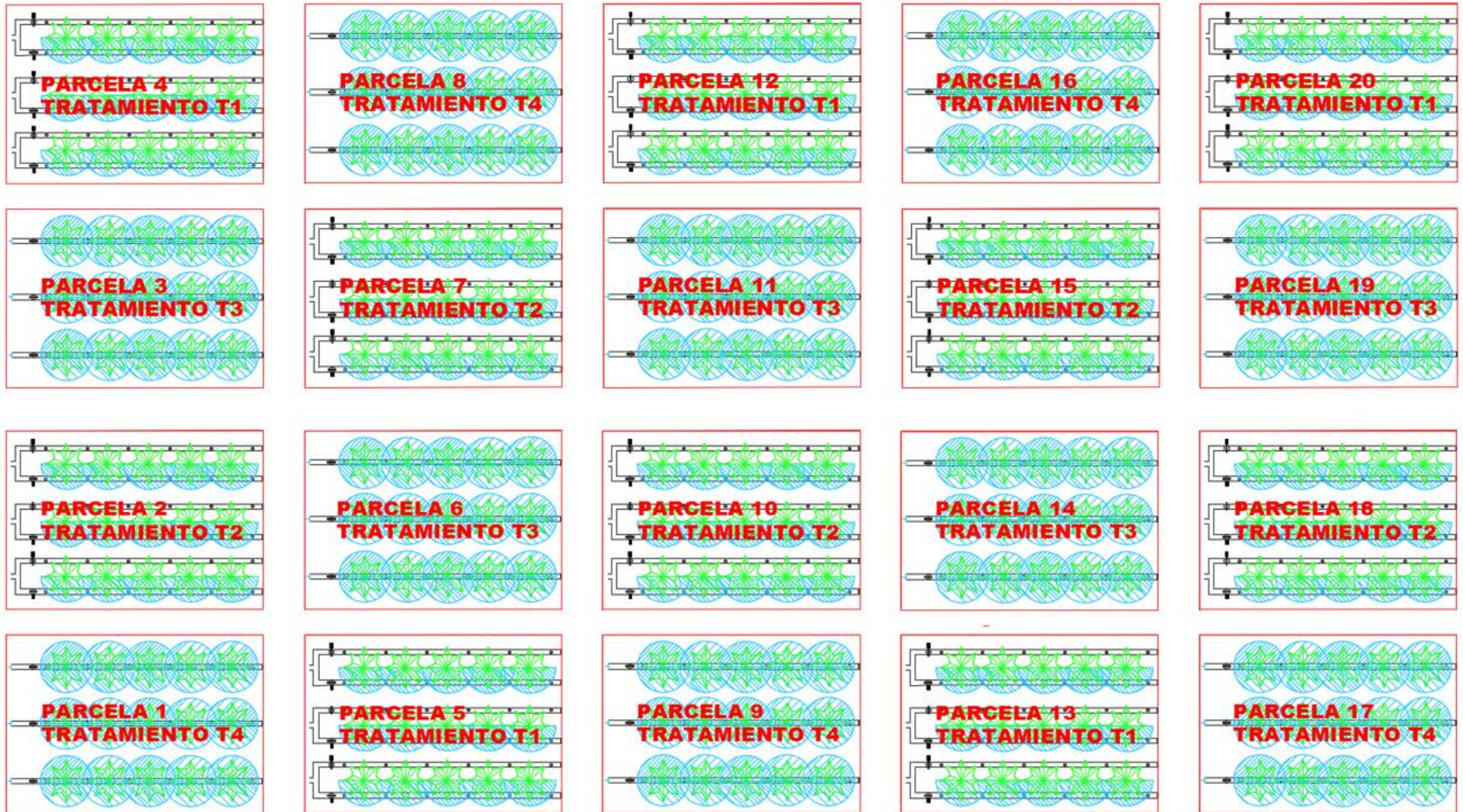
Tratamientos	Descripción	Parcelas
T1	Lámina de riego parcial superficial en la zona de raíces PRD con el 75 por ciento de la Etc, con laterales dobles	4-5-12-13-20
T2	Lámina de riego parcial subterráneo en la zona de raíces PRD con el 75 por ciento de la Etc, con laterales dobles	2-7-10-15-18
T3	Lámina de riego por goteo superficial con el 100 por ciento de la Etc, con lateral simple	3-6-11-14-19
T4	Lámina de riego por goteo subterráneo con el 100 por ciento de la Etc, con lateral simple	1-8-9-16-17

3.3.2. Características de la parcela experimental

Las características de la parcela y de las unidades experimentales se detallan en la Tabla 10.

Tabla 10: Características del campo experimental

Características	
Número de unidades experimentales	20
Número de tratamientos	4
Número de repeticiones	5
Área total del experimento	612 m ²
Largo de ensayo	35 m
Ancho de ensayo	18 m
Características de la unidad experimental	
Número de tubérculos/parcela	51
Número de surcos	3
Ancho de la parcela	3 m
Largo de la parcela	6 m
Distancia entre surco	0.9 m
Distancia entre planta	0.3 m
Área neta de parcela	18 m ²
Área total de parcela	180 m ²
Forma de parcela	Rectangular



Esquema de la parcela experimental

3.3.3. Análisis estadístico (ANOVA)

Se utilizó el diseño completamente al azar con cuatro tratamientos y cinco repeticiones.

a. Modelo estadístico

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \epsilon_{ij}$$

Y_{ij} = j-ésima observación del tratamiento i

$i = 1, 2, 3, \dots$, tratamientos

$j = 1, 2, 3, \dots$ repeticiones

μ = Media global

τ_i = Efecto del tratamiento i

ϵ_{ij} = Efecto del error experimental de la medición Y_{ij}

b. Análisis de varianza

Para la inferencia (la hipótesis de la muestra representa a la población) y obtener la diferencia estadística significativa de la fuente de variabilidad se realizó el análisis de varianza de los pesos de la masa seca de la zona radicular, tallo, hoja y tubérculo, con un nivel de significación de 0.05. Esto realizó semanalmente a partir de los 28 días después de siembra.

Para el modelo de efectos fijos se analizó bajo la siguiente hipótesis.

H_0 : Que todos los tratamientos producen el mismo efecto en la producción de materia seca en la zona radicular.

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_k = \mu$$

$$H_0 : \tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = \dots = \tau_k = 0$$

H_a : Que al menos uno de los tratamientos producen efectos significativos en la producción de materia seca en la zona radicular.

$$H_a : \mu_i \neq \mu_j \text{ para algún } i \neq j$$

Ha : $\tau_i \neq 0$ para algún i

Tabla 11: Tabla ANOVA para el diseño completamente al azar

FV	SC	GL	CM	Fo	Valor -p
Ttratamientos	SCtrat	k-1	CMtrata	CMtrat/CMerror	P(F>Fo)
Error	SCerror	N-k	CMerror		
Total	SCtotales	N-1			

FV = Fuente de variabilidad

SC = Suma de cuadrados

GL = Grados de libertad

CM = Cuadrado medio

Fo = Estadístico de prueba

Valor -p = Significancia oservada

Por último, para cuantificar el grado de homogeneidad, se realizó con el coeficiente de Variabilidad, el cual se calcula de la siguiente manera.

$$CV = \frac{\sqrt{CME}}{\mu}$$

CV: Coeficiente de variabilidad.

μ : Efecto de la media general de la variable respuesta.

CME: Cuadrado Medio de los Errores.

3.3.4. Prueba de Tukey

Debido a que el análisis de varianza solo indica si existe efecto o no sobre al menos uno de los tratamientos en la materia seca, la prueba de Tukey realiza la prueba de comparación múltiple de medias, esto con la finalidad de conocer cuál de los tratamientos tuvo mayor efecto.

$$w = q \times \sqrt{\frac{CME}{r}}$$

q: es un valor que se obtiene de la tabla de Tukey.

CME: Cuadrado medio del error.

r: El número de repeticiones.

3.3.5. Actividades preculturales

a. Preparación del terreno

Se procedió al retiro de malezas y materia seca de la campaña anterior a la parte posterior de la parcela con la ayuda de una carretilla luego se realizó el fracturado y volteo del suelo hasta una profundidad entre 30 y 40 cm, con tractor que nos facilitó el departamento de mecanización de la Facultad de Ingeniería Agrícola (Figura 7).



Figura 7: Fracturado y volteo del suelo en las parcelas experimentales

Luego del desterronado y volteado, con la ayuda de pico y rastrillo, se procedió a realizar un mejor mullido y delimitación del terreno con el objetivo de tener una cama de siembra adecuada en las respectivas unidades experimentales (Figura 8).



Figura 8: Preparación de la cama de siembra en las unidades experimentales

b. Instalación de las cintas de riego

Terminado las camas de siembra se procedió a la instalación de las cintas de riego de acuerdo a los tratamientos que se configuro en la investigación (Figura 9).



Figura 9: Instalación de las cintas de riego

c. Capacidad de campo (CC) y punto de marchitez (PMP)

Las actividades realizadas para calcular la capacidad de campo (CC) y punto de marchitez (PMP) por el método de la olla de Richard, comenzó con una visita al campo y realizar una excavación de 40 cm de ancho por 40 cm largo y 40 cm de profundidad de donde se procedió a retirar la muestra de suelo lo más inalterada posible con los cilindro de prueba, esta se

cubrió la parte inferior con una seda para posteriormente introducir en una vasija con agua destilada con el objetivo de saturar dichas muestras de suelo. Después de pesar se colocó dentro de la olla de Richard, para someter a las muestras a diferentes presiones (atm), después de cada cesión se pesó una muestra y se metió en el horno a 105 °C durante 24 horas, para obtener el peso seco.



Figura 10: Muestras de suelo en la olla de Richard para determinar CC y PMP

d. Limpieza y mantenimiento del tanque Evaporímetro Clase A

Para poner en funcionamiento el tanque clase A, se tuvo que hacer una limpieza, lijado y pintado (Figura 11). Se condicionó una reja cubierta con malla galvanizada de 1/2" con la finalidad de evitar el ingreso de animales al taque, así mismo se lijo y limpio el tornillo micrométrico y el pozo de estabilización. Tanto el tornillo como el pozo de estabilización eran de cobre para que el contacto permanente con el agua no deteriore a dichos materiales del tanque. Para la protección de agua de la formación de algas, se utilizó de 5 a 10 gramos de sulfato de cobre.



Figura 11: Mantenimiento del tanque evaporímetro clase A

Se contó con una plataforma de madera en forma de reja (Figura 12) a 15 cm del nivel del suelo, sobre la cual se ubica el tanque. La función de la plataforma era de estabilizar el tanque y con la herramienta de nivel se dejó el tanque a nivel.

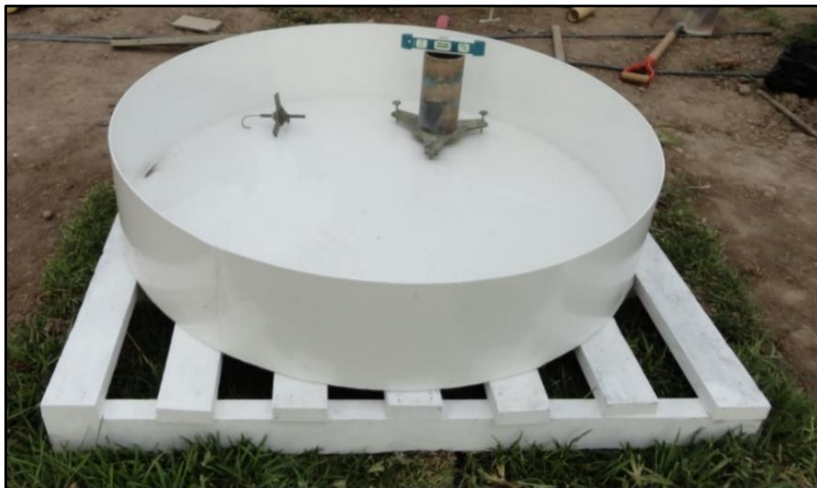


Figura 12: Instalación del tanque tipo A

La recarga de agua se hacía cuando era recomendable y se dejaba 5 centímetros del borde de la parte superior del tanque.

3.4. SISTEMA DE RIEGO

Todo el sistema de riego estaba habilitado hasta la cabecera de cada unidad experimental, consta de un reservorio de 500 m³ de donde la bomba de 5HP extrae el agua y presuriza el sistema, el cual es controlado por la llave de paso y manómetro.

El sistema conduce agua en una tubería de 300 metros de longitud y de diámetro de 2½” de pvc clase 7, desde el cabezal hasta la cabecera de la parcela donde está instalado el filtro y la llave de paso, la toma de presión y el caudalímetro. Luego es conducido por una tubería principal de 2” en la cual se acopla cinco arcos de riego de 1½” de tubería secundaria, para un mejor control y distribución de las 20 unidades experimentales.

3.4.1. Riego por goteo

En 10 unidades experimentales se instalaron tres cintas de riego por unidad experimental, cinco de ellas para riego superficial y otras cinco para riego subterráneo. Estas parcelas se regaron con lámina de riego del 100 por ciento del Eto.

De acuerdo al diseño, las plantas se sembraron equidistantes de los goteros como se puede ver en la Figura 13.

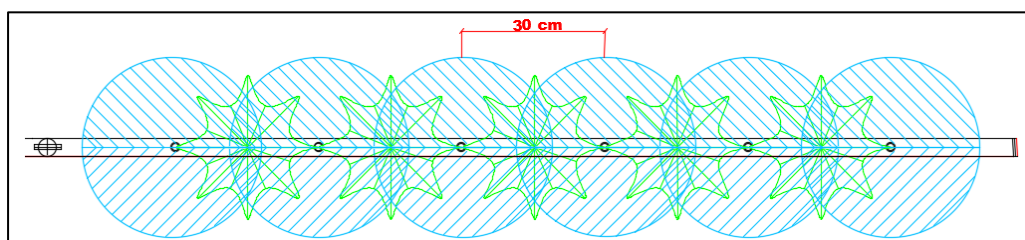


Figura 13: Riego por goteo

3.4.2. Riego parcial de raíces

Al aplicar la técnica de riego (SPR) se sometió una parte del sistema radicular a déficit hídrico, cerrando la llave de paso B, mientras la otra parte se mantiene húmeda durante el primer turno de riego (figura 14).

En un segundo turno de riego, se cerró la válvula de paso del lateral A y abrimos el lateral B para humedecer aproximadamente la otra mitad de la zona radicular que se dejó de regar en el turno anterior (figura 15).

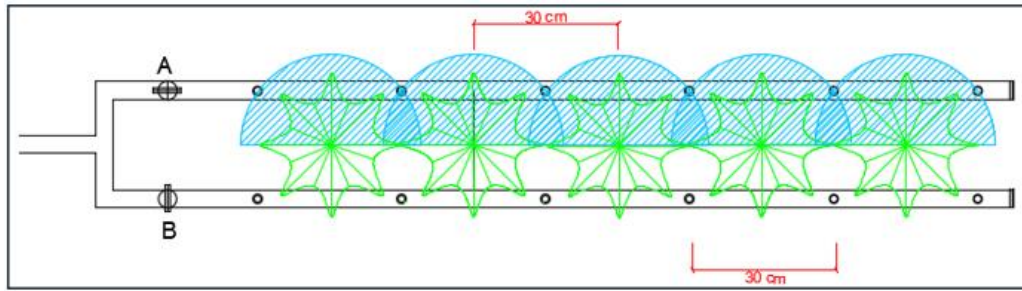


Figura 14: Primer turno de riego

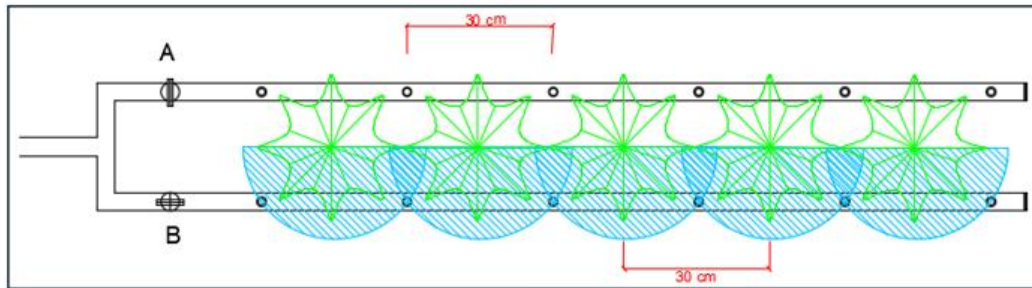


Figura 15: Segundo turno de riego

3.4.3. Riego subterráneo

Los laterales de riego con tratamiento T2 y T4 se enterraron a una profundidad de 10 centímetros aproximadamente por debajo de la superficie, esta actividad se realizó en el momento del aporque para seguir con los tratamientos de acuerdo al diseño experimental.

3.4.4. Prueba de Coeficiente de Uniformidad

Para determinar la uniformidad en la descarga real de los emisores se calcula el coeficiente de uniformidad. En los sistemas localizados de alta frecuencia como el riego por goteo, se deberá utilizar un coeficiente más exigente, varios autores han trabajado al respecto, siendo el más aceptado el coeficiente establecido en 1978 por de Merriam y Kelly, cuya ecuación es:

$$CU = q_{25}/q_a$$

CU = Coeficiente de uniformidad.

q_{25} = Caudal medio de los emisores que conforman el 25 % de más bajo caudal.

q_a = Caudal medio de todos los emisores.

El CU puede ser utilizado tanto para la instalación de nuevos equipos como para la evaluación de equipos en funcionamiento.

En la Tabla 12 se muestra la clasificación del Coeficiente de Uniformidad CU, según la Asociación Americana de Ingenieros Agrícolas ASAE.

Tabla 12: Clasificación del coeficiente de uniformidad (CU)

Clasificación	
95 a 100%	Excelente
81 a 94%	Buena
71 a 80%	Aceptable
60 a 70%	CU
Menor de 60%	Inaceptable

3.4.5. Determinación del bulbo húmedo

El movimiento del agua en el suelo determina la forma y el tamaño del bulbo húmedo, por ello se evaluó para diferentes tiempos el comportamiento del frente húmedo debido al caudal de los goteros (Figura 16).



Figura 16: Área mojada por el gotero

3.5. RIEGO DEL CULTIVO DE PAPA

3.5.1. Lámina de riego (mm)

Para determinar cuándo y cuánto hay que regar el cultivo, se midió de lunes a sábado el descenso del espejo de agua en el tanque tipo A y con el coeficiente de cultivo K_c se determinó la lámina de riego. Los resultados para el mes de agosto se muestran en la Tabla 13.

a. Mes de agosto

Tabla 13: Lámina de riego en el mes de agosto

Fecha	$E_{to} = E_v * x K_p$ (mm)	K_c^*	$E_{tc} = K_c * E_{to}$ (mm)	$L_r^* = E_{tc} / E_a$ (mm)
01-ago-18	1.93	0.50		
02-ago-18	1.89			
03-ago-18	1.80		3	3
04-ago-18	1.91			
06-ago-18	4.02		3	3
07-ago-18	2.10			
08-ago-18	1.92			
09-ago-18	1.93		3	4
10-ago-18	1.80			
11-ago-18	1.91			
13-ago-18	3.64		4	4
14-ago-18	1.81			
15-ago-18	1.90			
16-ago-18	1.72			
17-ago-18	1.69		4	5
18-ago-18	1.72			
20-ago-18	4.12		3	3
21-ago-18	1.83			
22-ago-18	1.93			
23-ago-18	1.69			
24-ago-18	2.10		4	4
25-ago-18	2.30			
27-ago-18	4.14		4	5
28-ago-18	2.00			
29-ago-18	2.15		3	4
30-ago-18	1.68			
31-ago-18	1.95			

b. Mes de septiembre

Los resultados de las laminas de riego en el mes de septiembre se muestra en la Tabla 14.

Tabla 14: Lámina de riego en el mes de septiembre

Fecha	$E_{to} = E_v * K_p$ (mm)	K_c *	$E_{tc} = K_c * E_{to}$ (mm)	$L_r = E_{tc} / E_a$ (mm)
01-sep-18	2.21	0.50		
03-sep-18	4.20		6	6
04-sep-18	2.20			
05-sep-18	2.11			
06-sep-18	2.15		3	4
07-sep-18	2.22			
08-sep-18	2.33		2	3
10-sep-18	4.56		3	4
11-sep-18	2.32	1.00		
12-sep-18	2.41			
13-sep-18	2.48		8	10
14-sep-18	2.22			
15-sep-18	2.42			
17-sep-18	5.16		11	13
18-sep-18	2.15			
19-sep-18	2.46			
20-sep-18	2.27			
21-sep-18	2.66		11	13
22-sep-18	2.67			
24-sep-18	5.45		9	11
25-sep-18	2.22			
26-sep-18	2.43			
27-sep-18	2.32			
28-sep-18	2.63		11	13
29-sep-18	2.34			

Ev* Lectura de evaporación de la tina

Kp* Coeficiente de tina (0.8)

Ea* Eficiencia de riego (0.85)

Lr* Lámina de riego

c. Mes de octubre

Los resultados de las laminas de riego en el mes de septiembre se muestra en la Tabla 15.

Tabla 15: Lámina de riego par el mes de octubre

Fecha	Eto= Ev*xKp (mm)	Kc*	Etc = KcxEto (mm)	Lr*=Etc/0.85 (mm)
01-oct-18	5.62	1.00		
02-oct-18	2.81		11	13
03-oct-18	2.51			
04-oct-18	2.49			
05-oct-18	2.67			
06-oct-18	2.72		10	12
08-oct-18	5.22			
09-oct-18	2.60			
10-oct-18	2.82		11	13
11-oct-18	2.71			
12-oct-18	2.60			
13-oct-18	2.40			
15-oct-18	5.24		13	14
16-oct-18	3.02			
17-oct-18	3.12			
18-oct-18	2.60		9	10
19-oct-18	3.00			
20-oct-18	2.98	0.85		
22-oct-18	5.28		10	11
23-oct-18	3.40			
24-oct-18	3.00		6	7

Ev* Lectura de evaporación de la tina

Kp* Coeficiente de tina (**0.8**)

Ea* Eficiencia de riego (0.85)

Lr* Lámina de riego

La lectura de evaporación de tina (Ev) es corregida por un coeficiente (Kp). Para nuestra investigación se consideró un coeficiente de tina de 0.8 porque la velocidad del viento promedio en la zona de estudio es menor a 2m/s (estación del DRH) y una superficie cultivada media (manual 56 de la FAO).

3.5.2. Tiempo de riego

El tiempo de riego (min) que se aplicó en cada turno de riego, se calculó usando la lectura (mm) de evaporación del tanque clase A (E_v), multiplicado por el factor de ajuste (K_p) del tanque, el área de riego por planta y el caudal del gotero.

$$T = \frac{E_v \times k_p \times A \times 60}{q}$$

T = tiempo (min)

E_v = evaporación del tanque clase A (mm)

$K_p = 0.8$

$A = L \times l$ (m^2)

q = caudal de cada gotero (l/h)

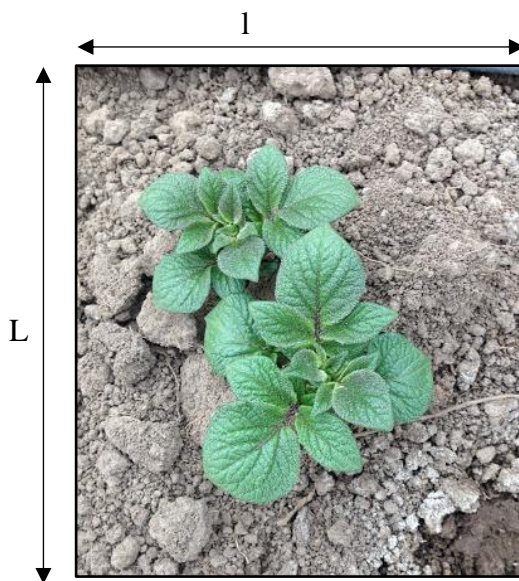


Figura 17: Área de la planta

3.5.3. Cuantificación del agua de riego

Para realizar un mejor control del volumen descargado por el sistema durante el tiempo de riego, se realizó la lectura de los caudalímetros perfectamente identificada antes y después de cada riego. Mediante este monitoreo se fue comprobando si la lámina que se entregó al cultivo estaba en relación con el volumen de descarga del sistema, de esta manera se sabía si hay pérdidas y en que magnitud para tomar las decisiones adecuadas para en buen manejo del sistema de riego.



Figura 18: Registro del volumen en el caudalímetro

3.5.4. Variación de la humedad del suelo

El comportamiento de la humedad del suelo se determinó usando el método gravimétrico.

a. Humedad mediante el método gravimétrico

El porcentaje de humedad se determinó extrayendo una muestra de suelo de cada unidad experimental a una profundidad de 15 a 20 cm, luego se introdujeron en sobres manila correctamente identificadas para ser trasladado al laboratorio y realizar los pesajes antes y después de introducir al horno a 105°C por un periodo de 24 horas. Los cálculos matemáticos se realizaron con la siguiente fórmula.

$$Hg = \frac{(Wm - Ws) \times 100}{Ws}$$

Hg Humedad gravimétrica (%)

Wm Peso de la muestra

Ws Peso seco de la muestra

3.6. MANEJO DEL CULTIVO

3.6.1. Siembra

La fecha de siembra se realizó el día 30 de julio del 2018, dicha actividad se realizó con la ayuda de un pico y pala para poder realizar una zanja de aproximadamente 10 centímetros de profundidad y 20 de ancho para depositar la semilla tubérculo cada 30 centímetros (Figura 19) esa labor se realizó en las 20 unidades experimentales. Todas las labores de sembrado se realizaron en 6 horas.

Cabe recordar que se regó dos días antes para que el suelo estuviera bastante manejable a la hora de la siembra.



Figura 19: Siembra de papa

3.6.2. Aporque del cultivo

Esta actividad se realizó desplazando tierra suelta de ambos costados de la hilera alrededor del cuello de la planta para formar un camellón, esto para proteger los tubérculos y las raíces del sol y de las eventuales plagas que podrían perjudicar al cultivo, otro efecto de esta labor es que aérea el suelo y ayuda a la planta a mantenerse verticalmente soportando su peso. Esta actividad se realizó con la ayuda de un pico (Figura 20).



Figura 20: Aporque de la planta de papa

3.6.3. Control de malezas y enfermedades

Para la prevención, control de plagas y enfermedades se realizó varias actividades de monitoreo y evaluación de insectos por planta colocando trampas amarillas a cada unidad experimental (Figura 21). Cuando se detectó la presencia de mosca blanca, se realizaron labores de fumigación (Figura 22) y se aplicó Insecticida Lannate 50g/bomba, llegándose a aplicar bomba y media el día 10 y 15 de septiembre, el 26 de septiembre se fumigó con imidacloprid 52 ml en mochila y media.



Figura 21: Trampas amarillas para las plagas del cultivo de papa

Cabe indicar que las labores de fumigación con funguicidas se deben llevar a cabo con mascara especial para evitar la respiración directa y el contacto con la piel.



Figura 22: Fumigación de la planta de papa

3.7. MASA SECA DEL CULTIVO DE PAPA VARIEDAD ÚNICA

3.7.1. Fase de campo

Para obtener la masa seca de la papa tanto de la zona radicular y aérea, se sacó una planta por unidad experimental, obteniendo 20 muestras en total, esta actividad se realizó los lunes por la mañana.

Las muestras realizaron excavaciones de acuerdo a la etapa fenológica del cultivo y distantes respecto al eje del tallo con una paleta de jardinería y una regla graduada que progresivamente se fue descubriendo la zona radicular, este procedimiento se realizó siempre antes de regar la parcela para facilitar la separación de la tierra y demás materiales ajenos a la planta de papa. Una vez retirado completamente del suelo, se introdujo en una bolsa blanca totalmente identificada con el tratamiento y el número de parcela, luego se trasladó al laboratorio.

En la Figura 23 se aprecia el procedimiento del retiro de la primera muestra de la planta de papa variedad Única, a los 34 días.



Figura 23: Procedimiento para obtener la muestra a 34 días

En la Figura 24 se aprecia el retiro de la muestra de la planta de papa variedad Única a los 56 días.



Figura 24: Procedimiento para obtener la muestra a los 56 días

En la Tabla 16 se indica las 9 fechas que se casaron las muestras, el muestreo comenzó con el inicio del tratamiento hasta una semana antes de la fecha de cosecha.

Tabla 16: Fecha que se realizó las muestras de la planta de papa

Muestras	Fecha	Dias
Primera Muestra	27 de agosto del 2018	28
Segunda Muestra	03 de septiembre del 2018	35
Tercera Muestra	10 de septiembre del 2018	42
Cuarta Muestra	17 de septiembre del 2018	49
Quinta Muestra	24 de septiembre del 2018	56
Sesta muestra	01 de octubre del 2018	63
Séptima Muestra	08 de octubre del 2018	70
Octava Muestra	15 de octubre del 2018	77
Novena Muestra	24 de octubre del 2018	84

3.7.2. Fase de gabinete

Las 20 muestras totalmente identificadas se trasladaron al laboratorio para proceder a diseccionar la planta en hoja, tallo, tubérculo y la zona radicular (Figura 25), luego cuidadosamente se introdujeron por separado en sobres manila (80 sobres) de 19 x 25.5 centímetros perfectamente identificadas, luego se procedió a pesar en una balanza electrónica por separado, inmediatamente, se introdujo dentro del horno y se dejó por un periodo de tiempo de 48 horas a 60°C.

Cabe recordar que todas las actividades mencionadas, se llevaron a cabo en el laboratorio de Recursos Hídricos de la Facultad de Ingeniería Agrícola de la UNALM.



Figura 25: Disección de la planta de papa

Después de 48 horas se retiraron los sobres con las muestras y a continuación se extrajo la masa seca y se retiró todo rasgo de material ajeno a la planta en estudio a continuación, se procedió a pesar uno por uno las muestras en la balanza, datos que fueron anotados en el cuaderno de notas. Esta actividad se realizó todos los miércoles por la tarde a partir del 29 de agosto hasta el 26 de octubre.

En la Figura 26 se muestran el pesaje de la materia seca de la raíz y del tubérculo de la planta de papa variedad Única



Figura 26: Pesaje de la materia seca raíz y tubérculo

La Figura 27 muestra el pesaje de la materia seca de la hoja y tallo de la planta de papa variedad Única



Figura 27: Pesaje de la materia seca hoja y tallo

Cabe recordar que los tubérculos que tuvieron dimensiones considerables debido a la ganancia en masa a consecuencia de su desarrollo, se cortaron en cubos de 2 centímetros de arista aproximadamente para un mejor manejo de las actividades descritas anteriormente.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. ANÁLISIS DEL SUELO

Las características físicas del suelo (Anexo 1) indican que tiene una textura franco arcillo arenoso (arena: 50.2 %, limo: 26.2 %, arcilla: 23.6 %), es decir el suelo contiene mucha arena pero suficiente limo y arcilla que le dan propiedades cohesivas.

De acuerdo a los resultados de los análisis las características químicas del suelo se clasificó como muy ligeramente salino (Conductividad eléctrica menor a 2 dS/m), moderadamente alcalino (pH igual a 7.83), presentó una baja presencia de materia orgánica (M.O. menor a 2 %), existió baja presencia de fósforo (P aproximado 36 ppm), pero un contenido medio de potasio (P aproximado 220 ppm) y finalmente una disponibilidad de calcáreo total medio (CaCO_3 entre 1 – 5 por ciento).

4.2. ANÁLISIS DE AGUA

De acuerdo al análisis realizado en la investigación el pH del agua de riego es 7.52, valor que no deja de ser neutra. Otro parámetro importante en la caracterización del agua es la cantidad de sales que presenta, la cual se mide a través de la conductividad eléctrica (CE), que en este estudio es 0.66 dS/m, valor que se encuentra dentro de la clasificación C_2 , es decir la salinidad en el agua fue moderada. La cantidad de sodio que contiene el agua puede influir en la permeabilidad del suelo, es decir puede afectar el drenaje del agua en el suelo. Para poder clasificar el contenido de sodio en el agua, se utiliza la relación de adsorción de sodio (RAS) que para este experimento fue 0.52. Valor que corresponde a la clasificación S_1 , la cual indica que no presenta peligro de sodio. Por tanto, deducimos que se desarrolló la investigación con un agua C_2-S_1 , lo que significa un agua de buena calidad para el desarrollo del cultivo de papa.

4.3. CAPACIDAD DE CAMPO Y PUNTO DE MARCHITEZ

De acuerdo a los resultados de la Tabla 17 , se determinó que la Capacidad de Campo (CC) y Punto de Marchitez (PMP) del suelo se obtiene 18 y 12 % de humedad gravimétrica respectivamente, con una humedad aprovechable total de 6 % .

Tabla 17: Resultados para determinar capacidad de campo y punto de marchitez

Profundidad (cm)	Presión (atm)	Peso suelo + Peso cilindro(g)	Peso cilindro (g)	Peso suelo húmedo (g)	peso suelo seco (g)	Humedad (%)
15.00	0.30	237.20	98.90	138.30	116.50	18.43
15.00	0.60	235.30	98.90	136.40	116.50	17.08
15.00	0.90	233.80	98.90	134.90	116.50	15.79
15.00	5.00	231.20	98.90	132.30	116.50	13.56
15.00	10.00	230.70	98.90	131.80	116.50	13.13
15.00	15.00	230.30	98.90	131.40	116.50	12.42

En la Figura 28 representa el estado energetico del agua en el suelo de la parcela donde se llevó a cabo la investigación. Las muestras se sometió de 0.30 a 15 atmosferas para determinar la capacidad de campo CC y el punto de marchitez permanente PMP respectivamente.

Se debe menciona que los valores de la Capacidad de Campo y Punto de Marchitez representan a valores negativos, pues expresan el nivel se succión o retención del agua por el suelo, pero que por fines prácticos, normalmente se expresan como si se tratasen de cifras positivas.

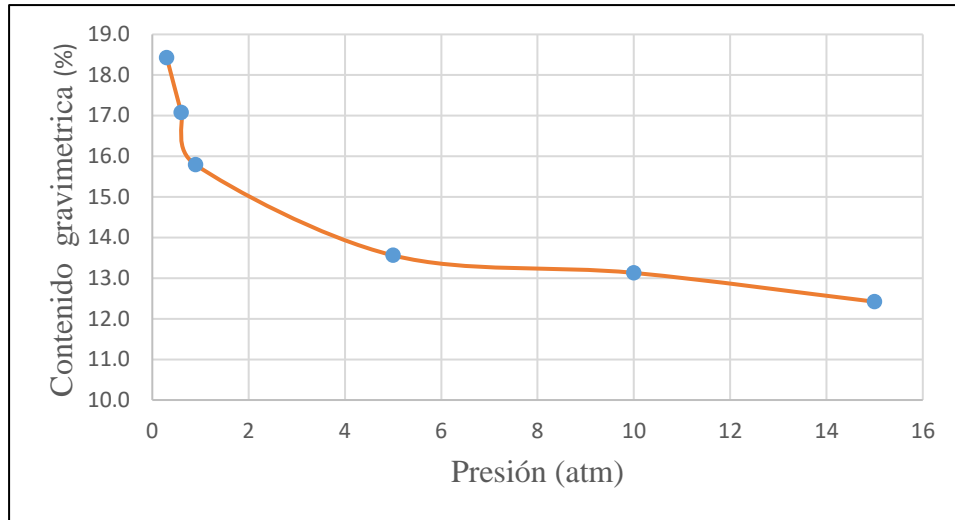


Figura 28: Curva de retención de humedad

4.4. PRUEBA DE UNIFORMIDAD

En la Tabla 18 se muestran los caudales reales de los emisores para determinar el coeficiente de uniformidad.

Tabla 18: Medidas de caudales para el Coeficiente de Uniformidad

	Primer lateral (l/h)	Segundo lateral (l/h)	Tercer lateral (l/h)
Primer emisor (l/h)	1	0.95	0.95
Emisor 1/3 (l/h)	0.94	1	0.95
Emisor 2/3 (l/h)	0.94	0.96	0.9
Ultimo emisor (l/h)	0.95	0.92	0.95
Promedio (l/h)	0.96	0.96	0.94
Primer emisor (l/h)	0.95	0.96	0.93
Emisor 1/3 (l/h)	0.9	0.85	0.85
Emisor 2/3 (l/h)	0.85	0.94	0.75
Ultimo emisor (l/h)	0.8	0.85	0.8
Promedio (l/h)	0.88	0.90	0.83
Primer emisor (l/h)	0.9	0.92	0.9
Emisor 1/3 (l/h)	0.9	0.85	0.9
Emisor 2/3 (l/h)	0.8	0.9	0.85
Ultimo emisor (l/h)	0.8	0.88	0.87
Promedio (l/h)	0.85	0.8875	0.88

Primer emisor (l/h)	0.9	0.85	0.9
Emisor 1/3 (l/h)	0.9	0.9	0.85
Emisor 2/3 (l/h)	0.8	0.86	0.88
Ultimo emisor (l/h)	0.8	0.88	0.85
Promedio (l/h)	0.85	0.87	0.87
Primer emisor (l/h)	0.9	0.87	0.88
Emisor 1/3 (l/h)	0.85	0.89	0.83
Emisor 2/3 (l/h)	0.8	0.83	0.83
Ultimo emisor (l/h)	0.75	0.74	0.81
Promedio (l/h)	0.83	0.83	0.84

El caudal promedio de todo los emisores fue de 0.91 l/h y el promedio de los 25 por ciento de los caudales mas bajos fue de 0.79 l/h. Luego de hacer los cálculos obtenemos un coeficiente de uniformidad de 86 por ciento. De acuerdo a la Asociación Americana de Ingenieros Agricolas ASAE se clasifica como buena.

4.5. BULBO HÚMEDO

En la Tabla 19 se muestran las dimensiones del bulbo humedo para diferentes tiempos que se realizó en la parcela experimental.

Tabla 19: Radios y profundidades del bulbo húmedo

Tiempo (min)	Profundidad (cm)	Radio + x (cm)	radio -x (cm)
0	0	0	0
15	6	9.2	-9.2
30	9.5	11.5	-11.5
45	13.4	12.8	-12.8
60	16.2	13.6	-13.6
90	19.5	15	-15
120	21.5	16.2	-16.2

La geometría del frente humedo (Figura 29) es aproximadamente un elipsoide cortado característico de un suelo franco arenoso.

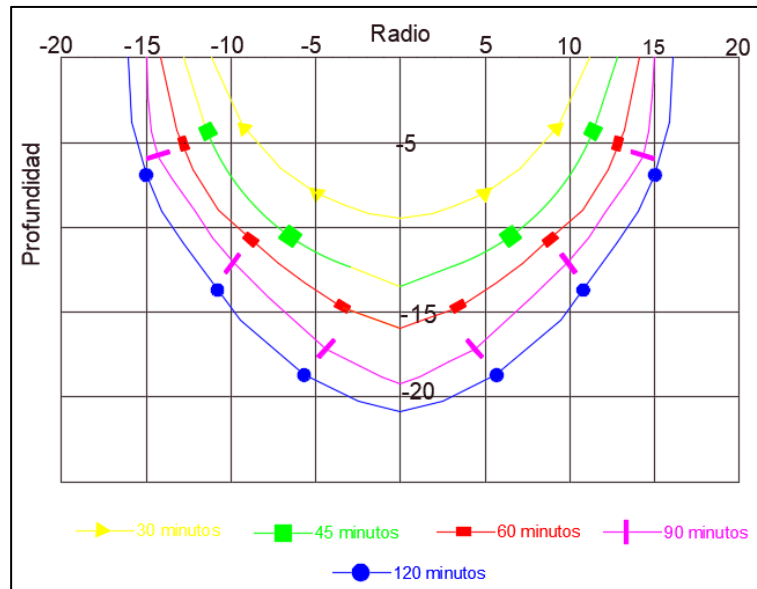


Figura 29: Bulbo de la humedad del suelo

4.6. MONITOREO DE LA HUMEDAD EN LOS TRATAMIENTOS

4.6.1. Monitoreo de la humedad para el tratamiento T1

En la Figura 30 se aprecia la variación de la humedad de 20 a 33 mm de lámina, manteniendo un promedio de humedad del suelo en 26.5 mm de lamina para el tratamiento T1 (riego parcial superficial en la zona de raíces con 75% Etc), de acuerdo a estos resultados se puede decir que la planta se expuso a periodos secos y húmedos.

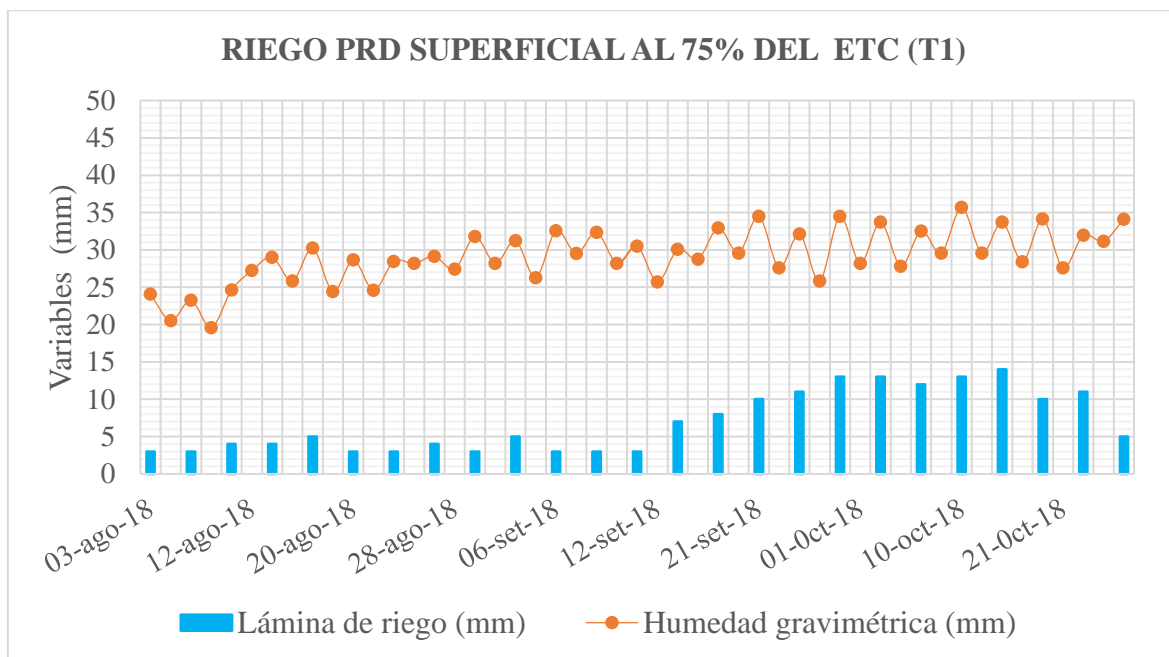


Figura 30: Registro de humedad T1, para el cultivo de papa variedad Única

4.6.1. Monitoreo de la humedad para el tratamiento T2

En la Figura 31 se muestra la variación de la humedad de suelo de 19.6 a 35.7 mm de lámina, durante el ciclo fenológico de la papa, con promedio de 27.6 mm de lámina para el T2 (riego parcial subterráneo en la zona de raíces con 75% Etc), también en este caso la planta se expuso a periodos secos y húmedos.

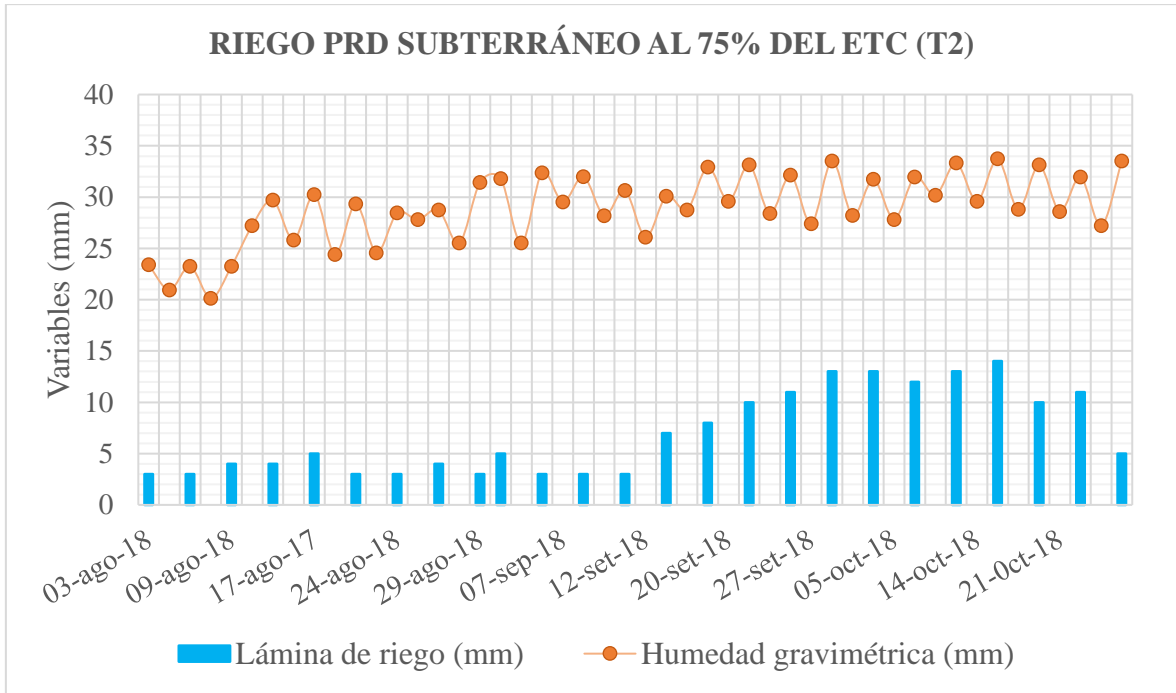


Figura 31: Registro de humedad T2, para el cultivo de papa variedad Única

4.6.2. Monitoreo de la humedad para el tratamiento T3

En la Figura 32 se presenta la variación de la humedad para el tratamiento T3 (riego por goteo superficial con 100% Etc), durante el ciclo fenológico de la papa. Alcanzando un mínimo en el mes de agosto 19.5 y un máximo en el mes de septiembre 37.5 mm de lamina de agua, con un promedio de 28.5 mm de lámina.

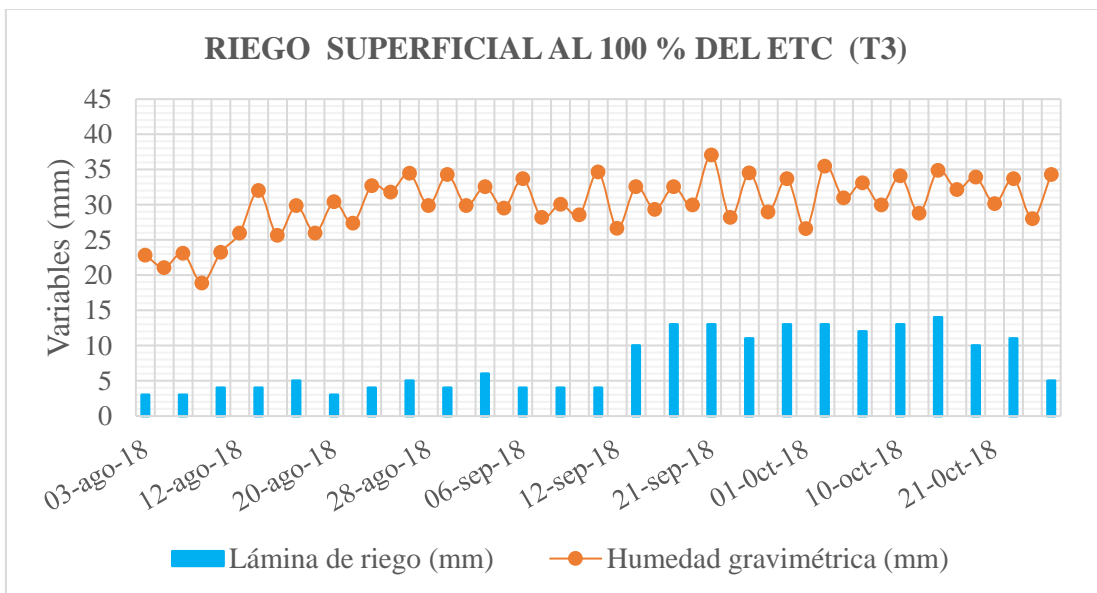


Figura 32: Registro de humedad T3, para el cultivo de papa variedad Única

4.6.3. Monitoreo de la humedad para el tratamiento T4

La variación de la humedad del suelo a 20 cm de la superficie nos dio un mínima y máxima 19.9 y 38.7 mm de lámina (Figura 33) y un promedio de 29.3 mm de lámina de humedad en la campaña del cultivo para el T4 (riego por goteo subterráneo al 100% Etc).

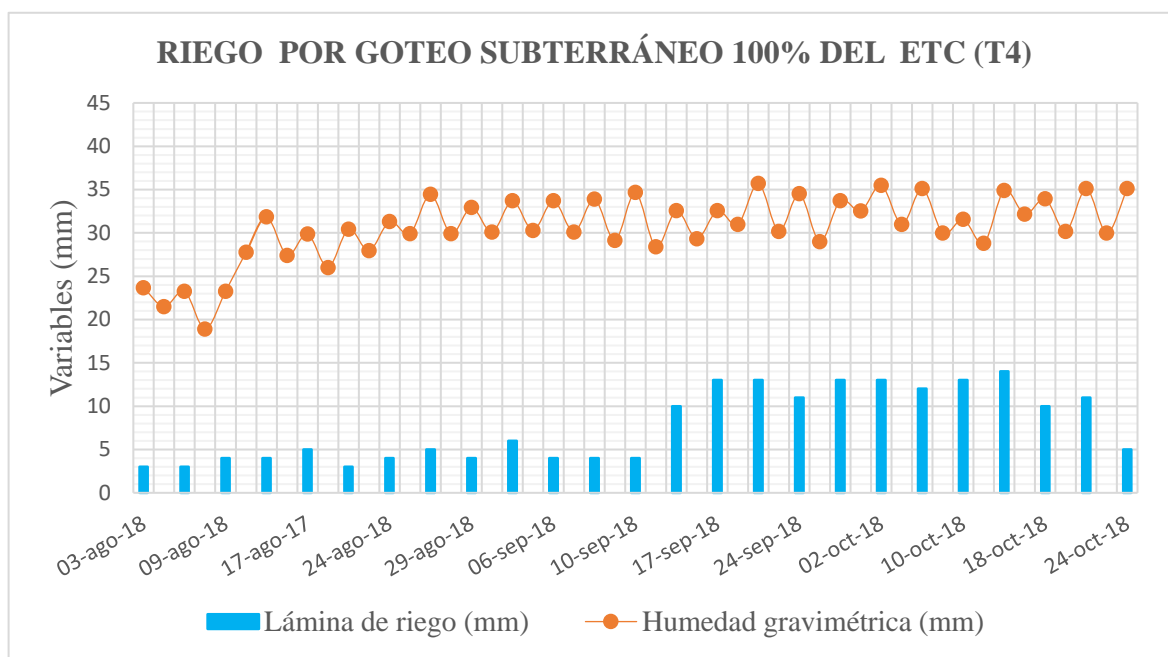


Figura 33: Registro de humedad T4, para el cultivo de papa variedad Única

4.7. RESULTADOS DE LA MASA SECA DEL CULTIVO DE PAPA

4.7.1. Masa seca de la zona radicular

En la tabla se muestra la ganancia en masa seca de la zona radicular por planta para los cuatro tratamientos (Tabla 20).

Tabla 20: Masa seca de la zona radicular por tratamiento

FECHA	T1 (g)	T2 (g)	T3 (g)	T4(g)
27-ago-18	3.384	3.121	2.882	2.472
03-sep-18	3.961	3.721	3.553	3.730
10-sep-18	4.295	4.524	4.856	4.644
17-sep-18	5.545	6.049	6.819	6.524
24-sep-18	6.914	6.522	7.450	8.061
01-oct-18	7.379	7.125	8.179	8.443
08-oct-18	7.596	7.367	8.221	8.690
15-oct-18	7.241	7.456	8.004	8.165
24-oct-18	6.661	7.087	7.666	7.365

De acuerdo a los resultados se obtuvo mayor masa seca en los tratamientos T3 y T4, respecto a los T1 y T2 (Figura 34)

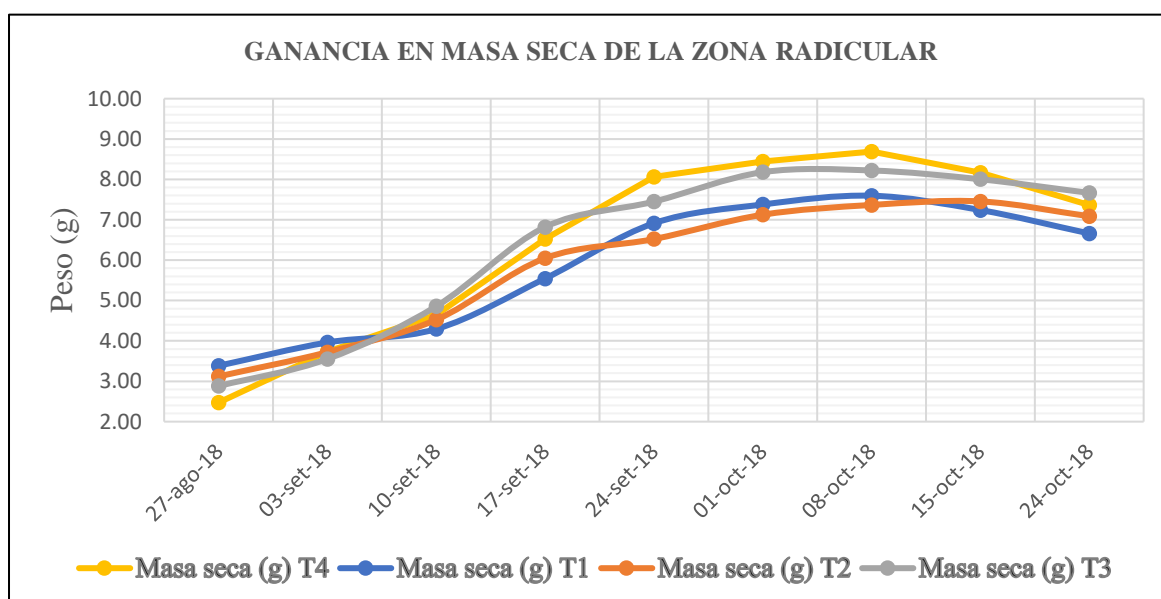


Figura 34: Ganancia en masa seca de la zona radicular de la papa

La mayor ganancia en masa seca se registró entre los días 65 y 75

Para el tratamiento T3, 8.22 gramos y para el tratamiento T1, 7.59 gramos, 10% menos

Para el tratamiento T4, 8.71 gramos y para el tratamiento T2, 7.36 gramos, 14% menos.

a. Análisis estadístico de la masa seca de la zona radicular

El análisis de variación (ANOVA) para las variables de la masa seca de la zona radicular durante el tratamiento se muestra en la Tabla 21.

Tabla 21: Interpretación estadística de la masa seca radicular

Día	CV (%)	OBSERVACIONES
28	26.4	No existe diferencias significativas ($p > 0.05$) en la producción de masa seca por la planta debido a los tratamientos al inicio de la investigación.
56	20.8	No se encontró diferencias significativas ($p > 0.05$) en la ganancia de masa seca de la raíz debido a los tratamientos.
84	17.8	No se encontró diferencias significativas ($p > 0.05$) en la producción de masa seca de la raíz a los 84 días debido a los tratamientos.

A tres días después que empezó el tratamiento se encontró que los pesos de las muestras de masa seca que han sido regados bajo la técnica de riego parcial en la zona de raíces PRD, son mayores, a los que se regó mediante goteo con lateral simple, ambos al 100 por ciento del Etc.

Esta diferencia encontrada en la masa seca se debería a la alternancia de la zona húmeda en la raíz, debido a la técnica de riego PRD, ocasionando un mejor desarrollo longitudinal del sistema radicular, esto corroboraría lo dicho por (Rojas, Posadas, Quiroz, Holle, & Malaga, 2007).

A los 56 días después de siembra, la tendencia cambió, ahora, la ganancia en masa es mayor cuando se aplica riego por goteo al 100 por ciento del Etc, que a los que se riega mediante la técnica PRD al 75 por ciento del Etc, La reducción del 25 por ciento de la lámina requerida por la planta, limitaría el desarrollo radicular tal como lo sostiene (Acevedo, 1979), que el estrés hídrico juega un papel importante en el desarrollo radicular.

b. Prueba de tukey

Los resultados de las pruebas de comparación múltiple de medias de Tukey, se muestra en las siguientes Tablas 22, 23 y 24.

Tabla 22: Prueba de Tukey para la masa seca radicular a los 28 días

Tratamiento	Media	N	Tukey
T1	3.38	5	A
T2	3.12	5	A
T3	2.88	5	A
T4	2.47	5	A

La prueba de Tukey realizadas a las muestras que se obtuvieron a los 28 días de siembra, 3 días después del inicio del tratamiento, no se encuentra diferencia significativa en los promedios de la masa seca debido al efecto de los tratamientos.

Tabla 23: Prueba de Tukey para la masa seca radicular a los 56 días

Tratamiento	Media	N	Tukey
T4	8.06	5	A
T3	7.45	5	A
T1	7.04	5	A
T1	6.54	5	A

La prueba de Tukey, realizadas a los 56 días a las muestras de masa de la raíz, nos indica que no hay diferencias significativas entre tratamientos.

Tabla 24: Prueba de Tukey para la masa seca radicular a los 74 días

Tratamiento	Media	N	Tukey
T3	7.74	5	A
T4	7.32	5	A
T2	7.02	5	A
T1	6.64	5	A

En las tres pruebas que se realizo no se encuentra diferencia significativa, estos resultados coincide con lo obtenido por Peña (2018), quien señala la diferencia no significativa en los efectos de los tratamientos sobre la masa seca radicular, en su investigacion sobre la entrega de lamina con riego PRD con el 25, 50 y 75 por ciento de agotamiento.

4.7.2. Masa seca de la hoja de papa

La ganancia en masa seca de la hoja por planta de papa para los cuatro tratamientos se muestra en la Tabla 25.

Tabla 25: Masa seca de la hoja de papa por planta

FECHA	Masa seca (g) T1	Masa seca (g) T2	Masa seca (g) T3	Masa seca (g) T4
27-ago-18	6.075	5.114	3.542	4.194
03-sep-18	8.033	8.035	9.632	9.002
10-sep-18	10.166	10.806	12.463	11.713
17-sep-18	11.580	12.645	14.850	13.921
24-sep-18	13.323	13.396	15.777	16.984
01-oct-18	15.588	16.033	19.432	21.230
08-oct-18	17.360	18.399	21.427	23.525
15-oct-18	16.040	16.999	22.341	21.132
24-oct-18	14.910	13.919	19.730	18.610

La ganancia de masa seca de la hoja del cultivo de papa variedad Única, debido a los tratamientos es de manera exponencial, alcanzando el mayor valor entre los dias 65 y 75, después de la siembra (Figura 35).

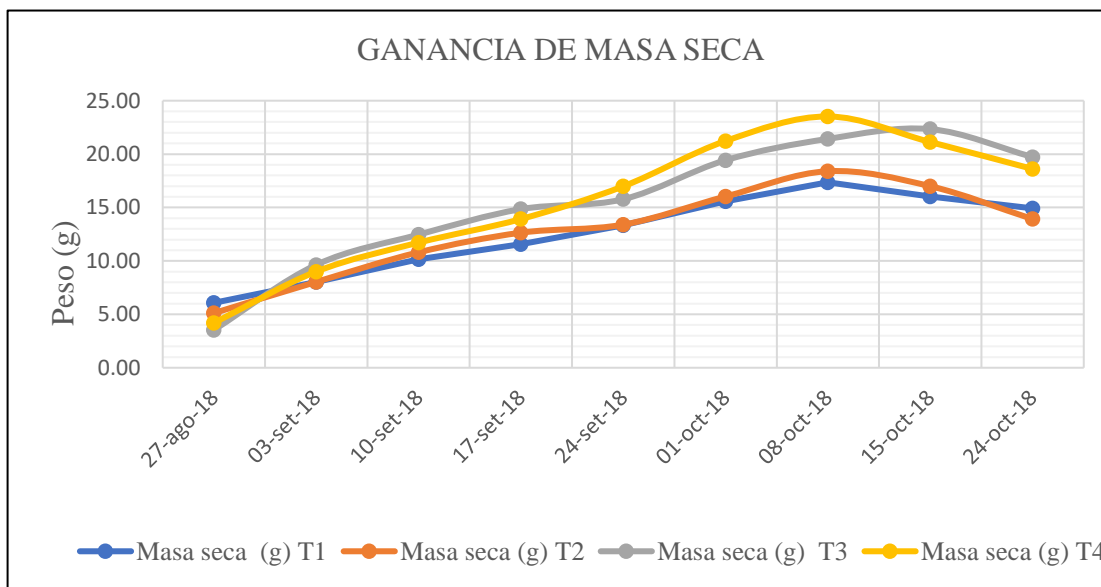


Figura 35: Ganancia en masa seca de la hoja de papa

El peso de la masa seca de hoja a 70 días es 21.42 gramos para el tratamiento (T3) y para el tratamiento T1 es 17.36 gramos, 19% menos de masa.

El peso de la masa seca a 70 días es 23.52 gramos para el tratamiento T4 y para el tratamiento T2, 16.99 gramos, 27% menos de masa.

a. Análisis estadístico de la masa seca de la papa

El análisis de variación (ANOVA) para la variable de la masa seca de la hoja de papa variedad Única, durante el tratamiento se muestra en la Tabla 26

Tabla 26: Interpretación estadística de la masa seca de la hoja

MATERIA SECA DE LA HOJA			
Día	P	CV (%)	OBSERVACIONES
28	0.748	28.0	No existe diferencias significativas ($p > 0.05$) entre las masas secas de las hojas a consecuencia de los tratamientos aplicados
56	0.002	1.4	Existe diferencias significativas en la masa seca de la hoja ($p < 0.05$), prueba realizada al final del tratamiento
84	0.012	12.3	Existe diferencias significativas en la masa seca de la hoja ($p < 0.05$)

b. Prueba de Tukey para las hojas

Los resultados de las pruebas de comparación múltiple de medias de Tukey, se muestra en las siguientes Tablas 27, 28 y 29.

Tabla 27: Prueba de Tukey para la masa seca de hoja a los 28 días

Tratamiento	Media	N	Tukey
T1	6.28	5	A
T2	5.14	5	A
T4	4.20	5	A
T3	3.34	5	A

La prueba de Tukey realizadas a las muestras obtenidas 3 días después de dar inicio al tratamiento, nos da como resultado que no hay efecto de los tratamientos sobre el promedio en la masa de hoja.

Tabla 28: Prueba de Tukey para la masa seca de hoja a los 56 días

Tratamiento	Media	N	Tukey
T4	16.98	5	A
T3	16.04	5	A
T2	13.39	5	B
T1	13.33	5	B

La prueba de Tukey realizada a las muestras de la masa seca de hoja obtenida a los 56 días de siembra, se encontró que, si hay diferencia significativa y mayor producción en la masa seca de hoja de papa debido a los tratamientos T4 y T3, frente a los que se aplicó T2 y T1.

Tabla 29: Prueba de Tukey para la masa seca de la hoja a los 84 días

Tratamiento	Media	N	Tukey
T3	19.73	5	A
T4	18.58	5	A
T1	14.81	5	B
T2	13.99	5	B

En la prueba de Tukey, se encontró que, si hay diferencia significativa entre los tratamientos PRD al 75% del Etc y los tratamientos al 100% del Etc a los 74 días después de siembra y que los tratamientos T3 y T4 generan mayor masa seca de hoja de papa, que los tratamientos T1 y T2.

4.7.3. Masa seca del tallo de papa variedad Única

La ganancia en masa seca del tallo por planta de papa de acuerdo a los cuatro tratamientos, se muestra en la Tabla 30.

Tabla 30: Masa seca del tallo por tratamiento

FECHA	Masa seca (g) T1	Masa seca (g) T2	Masa seca (g) T3	Masa seca (g) T4
27-ago-18	2.01	1.69	1.38	1.25
03-sep-18	3.07	2.96	2.57	2.88
10-sep-18	3.71	3.81	4.05	4.46
17-sep-18	4.87	5.33	5.56	6.30
24-sep-18	5.63	6.55	6.18	6.83
01-oct-18	6.59	6.95	7.49	7.66
08-oct-18	7.65	7.36	8.12	8.69
15-oct-18	7.43	6.94	7.86	7.53
24-oct-18	6.43	6.25	6.83	7.18

La ganancia de masa seca del tallo tiene un crecimiento ligeramente exponencial (Figura 36), donde no se encontró una tendencia clara que nos que nos indique el efecto de los tratamientos sobre la ganancia en masa seca del tallo de papa.

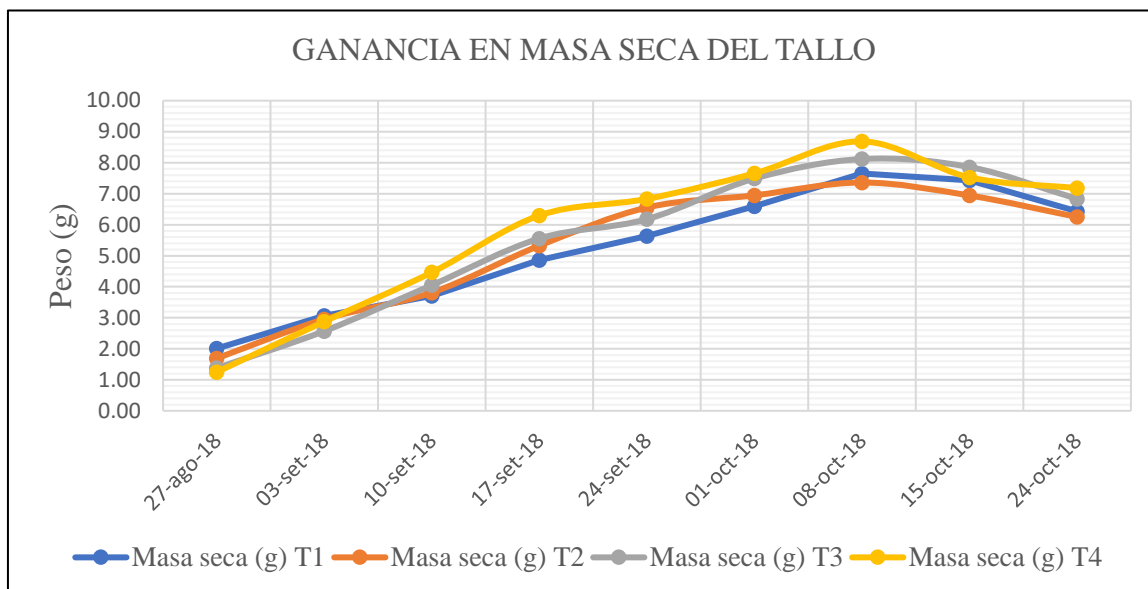


Figura 36: Ganancia en masa seca del tallo de la papa

a. Análisis estadístico de la masa seca del tallo de papa

El análisis de variación (ANOVA) para la variable de la masa seca del tallo de papa variedad Única durante el tratamiento se muestra en la Tabla 31.

Tabla 31: Interpretación estadística de la masa seca del tallo

Día	CV (%)	OBSERVACIONES
28	27.1	No existe diferencias significativas ($p > 0.05$) entre las masas secas del tallo al inicio del tratamiento (28 días)
56	20.0	No existe diferencias significativas ($p > 0.05$) entre las masas secas del tallo al final del tratamiento (56 días)
87	20.3	No existe diferencias significativas ($p > 0.05$) entre las masas secas

En el análisis estadístico a la masa seca del tallo de papa, no se encontró diferencias significativas entre los tratamientos.

b. Prueba de Tukey para la masa seca del tallo

La prueba de comparación múltiple de medias de Tukey a los resultados de las masas secas se muestra en las siguientes Tablas 32, 33 y 34.

Tabla 32: Prueba de Tukey para la masa seca del tallo a los 28 días

Tratamiento	Media	N	Tukey
T1	2.01	5	A
T2	1.71	5	A
T3	1.37	5	A
T4	1.28	5	A

Tabla 33: Prueba de Tukey para la masa seca del tallo a los 56 días

Tratamiento	Media	N	Tukey
T1	5.68	5	A
T2	6.51	5	A
T3	6.19	5	A
T4	6.81	5	A

Tabla 34: Prueba de Tukey para la masa seca del tallo a los 84 días

Tratamiento	Media	N	Tukey
T4	7.23	5	A
T3	6.91	5	A
T1	6.40	5	A
T2	6.28	5	A

La ganancia en masa seca del tallo tuvo un crecimiento inverso a partir del tratamiento debido al aumento y mejor distribución de la humedad en la zona radicular debido a los tratamientos T3 y T4 y disminuye para los T1 y T2.

4.7.4. Masa seca del tubérculo

La ganancia en masa seca del tubérculo de la papa en las etapas de crecimiento se muestra en la Tabla 35.

Tabla 35: Masa seca del tubérculo por tratamiento

FECHA	Masa seca (g) T1	Masa seca (g) T2	Masa seca (g) T3	Masa seca (g) T4
03-sep-18	4.624	5.259	2.430	3.725
10-sep-18	11.312	14.879	10.687	13.319
17-sep-18	20.203	24.299	27.046	32.848
24-sep-18	34.255	38.276	48.937	47.892
01-oct-18	68.863	64.322	83.936	77.829
08-oct-18	95.410	88.752	111.069	118.467
15-oct-18	110.730	112.950	124.069	127.067
24-oct-18	125.690	127.840	141.542	143.643

La ganancia en masa seca del tubérculo crece exponencialmente con un fuerte cambio de pendiente. Los del tratamiento con riego al 100% de la Etc T3 y T4 generan mayor ganancia en masa que los tratamientos PRD al 75 % de la Etc, T1 y T2 (figura 37).

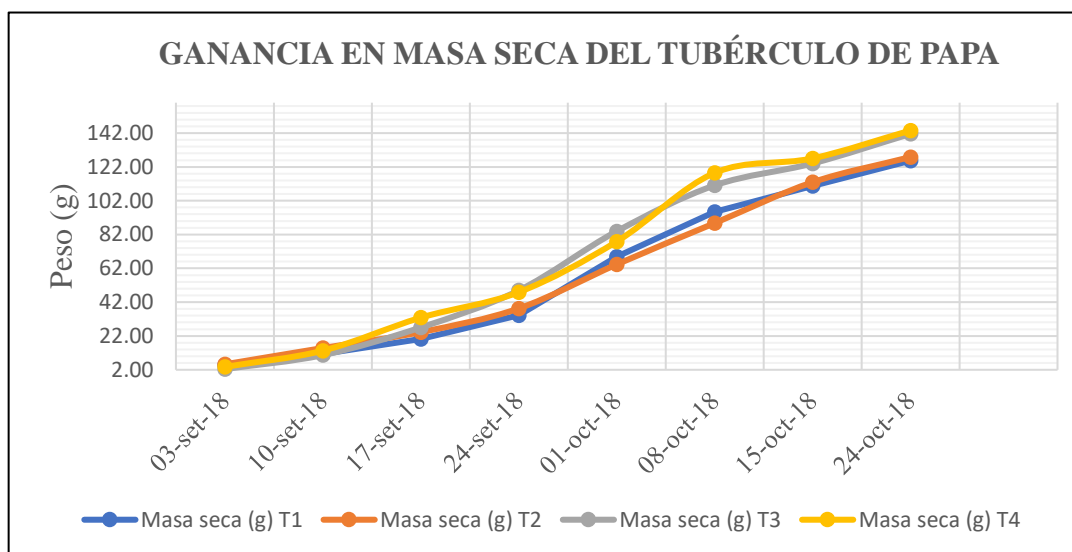


Figura 37: Ganancia en masa seca del tubérculo de la papa

a. Análisis estadístico de la masa seca del tubérculo

El análisis de varianza (ANOVA) para la variable masa seca nos indica que existe alta significancia entre tratamientos PRD al 75 % de la Etc y riego al 100% de la Etc en ambas pruebas (Tabla 36).

Tabla 36: Interpretación estadística de la masa seca del tubérculo de papa

Día	CV (%)	OBSERVACIONES
56	12.7	Existe diferencias significativas en masa seca del tubérculo debido a los tratamientos T3, T4 respecto a T1 y T2
84	7.2	A los 84 días de siembra, se encontró que existe diferencia significativa de los T3, T4 respecto a T1, T2

b. Prueba de Tukey para la masa seca del tubérculo

La prueba de comparación múltiple de medias de Tukey se muestra en las Tablas 37 y 38.

Tabla 37: Prueba de Tukey para la masa seca del tubérculo a los 56 días

Tratamiento	Media	N	Tukey
T3	48.94	5	A
T4	47.82	5	A
T2	37.78	5	B
T1	34.26	5	B

Tabla 38: Prueba de Tukey para la masa seca del tuberculo a los 84 días

Tratamiento	Media	N	Tukey
T4	143.14	5	A
T3	141.54	5	A
T2	127.84	5	B
T1	125.69	5	B

Las pruebas de Tukey a los 56 y 84 días después de siembra, nos da como resultado que si hay efecto de los tratamientos y que hay mayor producción en materia seca del tubérculo para los tratamientos T3 y T4 que los tratamientos T1 y T2 respectivamente.

4.8. MEDICIÓN DEL PARÁMETRO BIOFÍSICO

4.8.1. Altura de planta

La altura de planta se midió desde el cuello hasta el ápice del tallo en 6 plantas tomadas en los surcos centrales de cada unidad experimental. Los resultados se muestran en la Tabla 39.

Tabla 39: Altura del follaje por tratamiento

Fecha	Altura follaje T1	Altura follaje T2	Altura follaje T3	Altura follaje T4
27- ago-18	13	11	8	13
03-sep-18	17	15	13	19
10-sep-18	27	24	21	23
18-sep-18	32	34	37	40
24-sep-18	40	38	47	51
05-oct-18	47	49	56	58
19-oct-18	45	40	50	53
24-oct-18	35.	38	43	41

El crecimiento del follaje es de manera exponencial (Figura 38) alcanzando mayor altura entre los 60 y 70 días. La planta con riego al 100 por ciento del Etc es 14.6 % más alto que las plantas con PRD al 75 % del Etc.

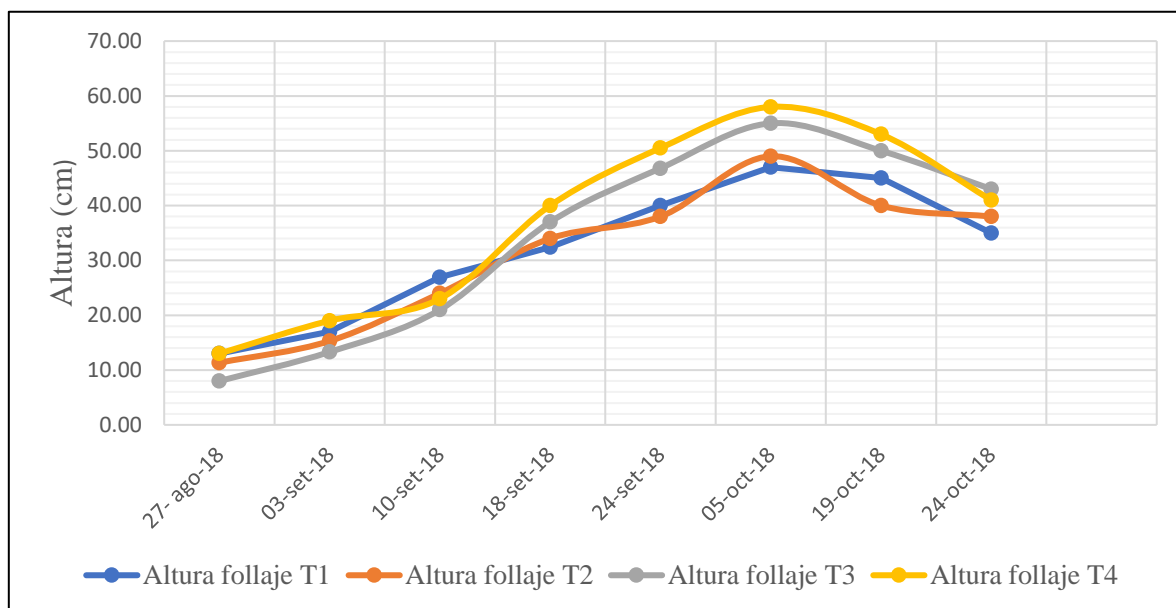


Figura 38: Monitoreo de la altura del follaje de la papa variedad Única

En la Figura 39 se indica las máximas alturas del follaje de la papa a los 65 días debido a los tratamientos T1, T2, T3 y T4.

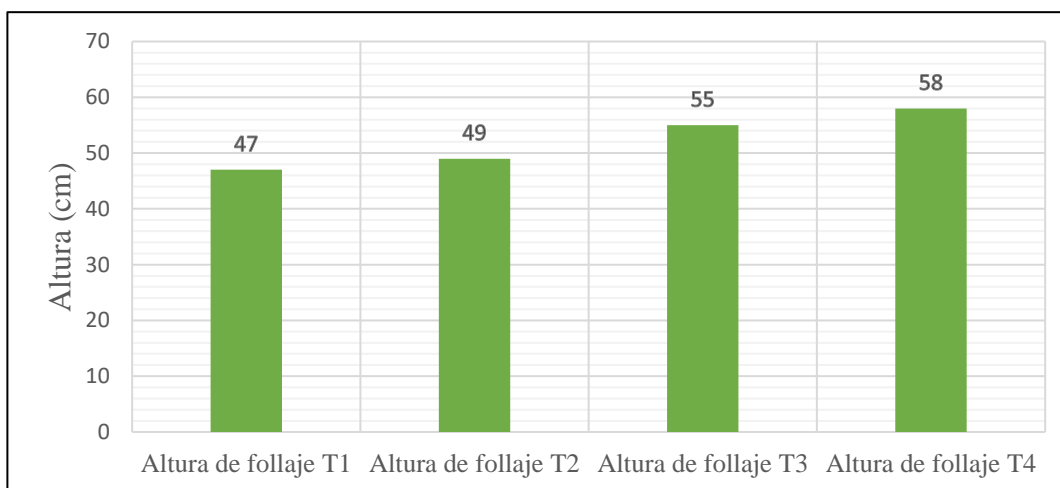


Figura 39: Altura máxima del follaje de la papa variedad Única

a. Análisis estadísticos de la altura del follaje de papa variedad Única

El análisis de varianza (ANOVA) para la variable altura del follaje de la planta de papa variedad Única, nos indica que si existe diferencia significativa entre los tratamientos con un coeficiente de variabilidad (CV) de 8.1%. Esto quiere decir que, el riego con suministro al 100 % del Etc resulto ser más favorable que el riego PRD al 75 % Etc.

b. Prueba de Tukey para la altura del follaje

La prueba de comparación múltiple de medias de Tukey para la altura del follaje de acuerdo a los tratamientos se muestra en la Tabla 40

Tabla 40: Prueba de Tukey para la altura del follaje

Tratamiento	Media	N	Tukey
T4	58.4	5	A
T3	56.31	5	A
T2	48.50	5	B
T1	46.70	5	B

La prueba de comparación múltiple de medias de Tukey nos indica que alcanzan mayor altura el follaje en los tratamientos T4 y T3, que en los tratamientos T2, T1.

4.9. RENDIMIENTO EN MASA SECA DE LA PAPA VARIEDAD ÚNICA

4.9.1. Rendimiento en masa seca de la zona radicular

La Figura 40 muestra los rendimientos por hectárea de la materia seca de la raíz de papa variedad Única, por tratamiento en la etapa de máximo desarrollo radicular.

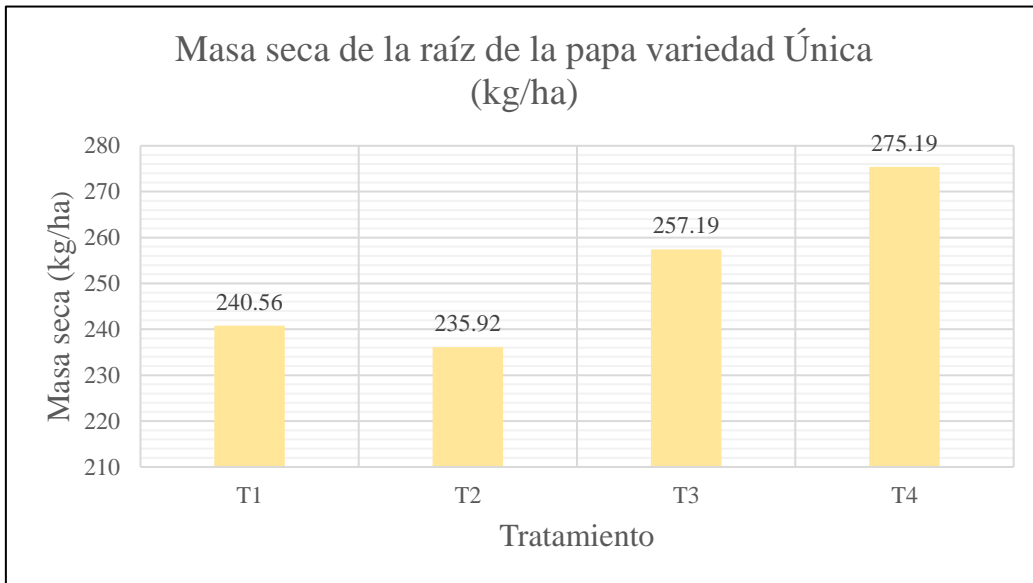


Figura 40: Promedio de rendimiento en masa seca de la raíz de la papa variedad Única

4.9.2. Rendimiento en masa seca de la planta de papa

La máxima ganancia en masa de la planta de papa variedad Única, se muestra en la Figura 41.

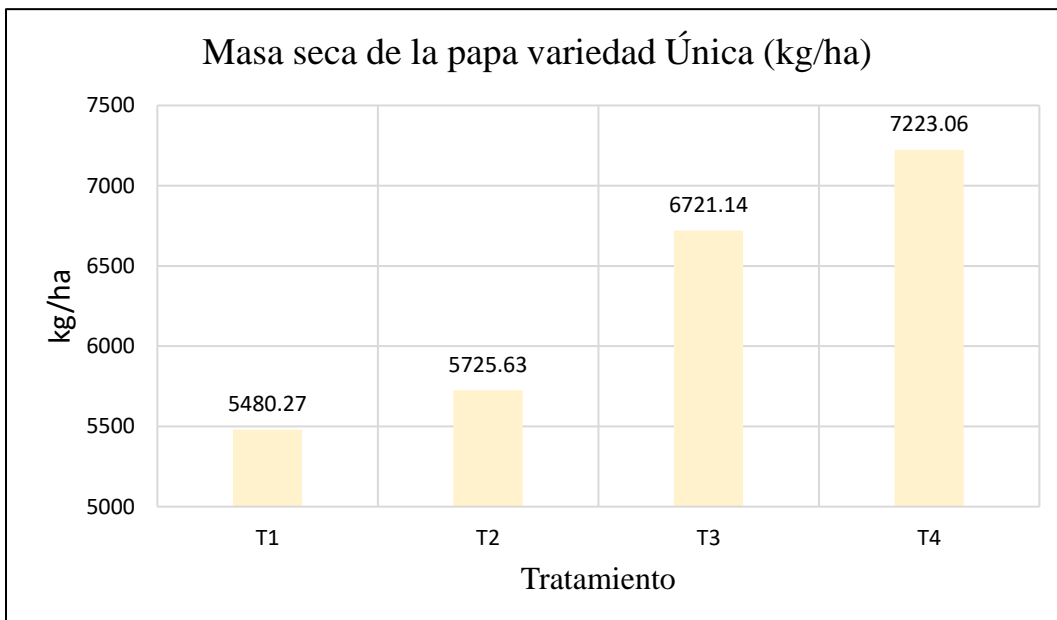


Figura 41: Masa seca de la planta de papa variedad Única por tratamiento

4.9.3. Relación en masa seca de la zona aérea y zona radicular de la planta de papa variedad Única

La Figura 42 muestra la relación del efecto de la raíz sobre el follaje (tallo más hoja) en producción de materia seca por tratamiento que se aplicó en la investigación.

El desarrollo radicular es mayor cuando se aplicó riego por goteo al 100 por ciento del Etc que cuando se aplicó PRD al 75 por ciento del Etc. Este mejor desarrollo radicular indujo mayor ganancia en materia seca de la parte aérea de la papa, con acuerdo lo señalado por Villegas (2010).

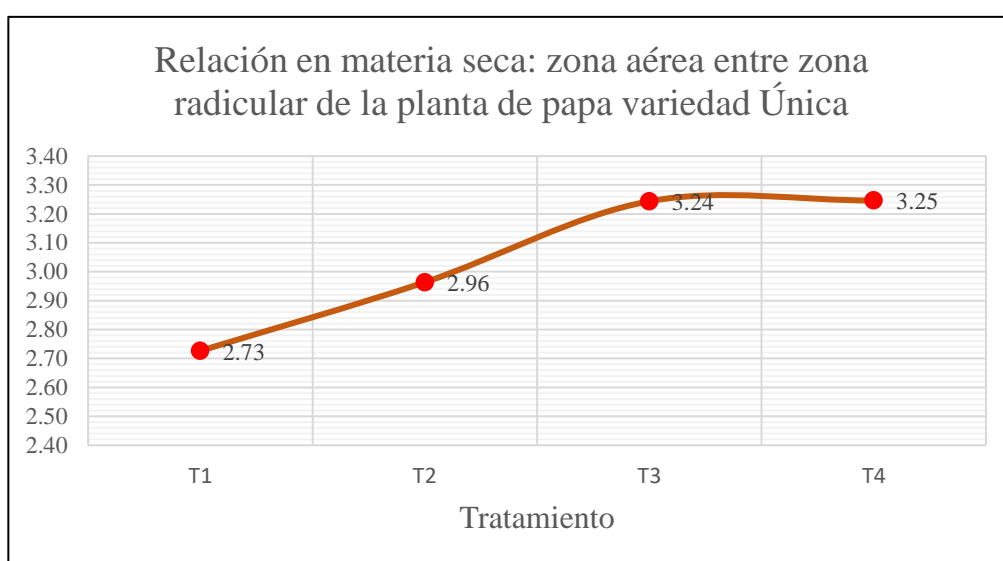


Figura 42: Relación de la materia seca: zona aérea y zona radicular

4.9.4. Rendimiento de la masa seca del tubérculo

Para evaluar el rendimiento de la masa seca del tubérculo por tratamiento, se cogió tubérculos de la parte central del surco, posteriormente se obtuvo una sub muestra que se introdujo dentro del horno a 80°C por 72 horas. Con el número de plantas por área de la unidad experimental se obtuvo los datos mostrados en la tabla 41.

Tabla 41: Rendimiento del cultivo de papa variedad Única

Tratamiento	Rendimiento de la papa variedad Única (tn/ha)	Masa seca de la papa variedad Única (kg/ha)
T3	32.17	5629.67
T1	25.46	4583.84
T4	35.61	6054.49
T2	26.61	4790.50

En la Figura 43 se puede apreciar el rendimiento en kilogramos por hectárea de la masa seca del tubérculo de papa por tratamiento.

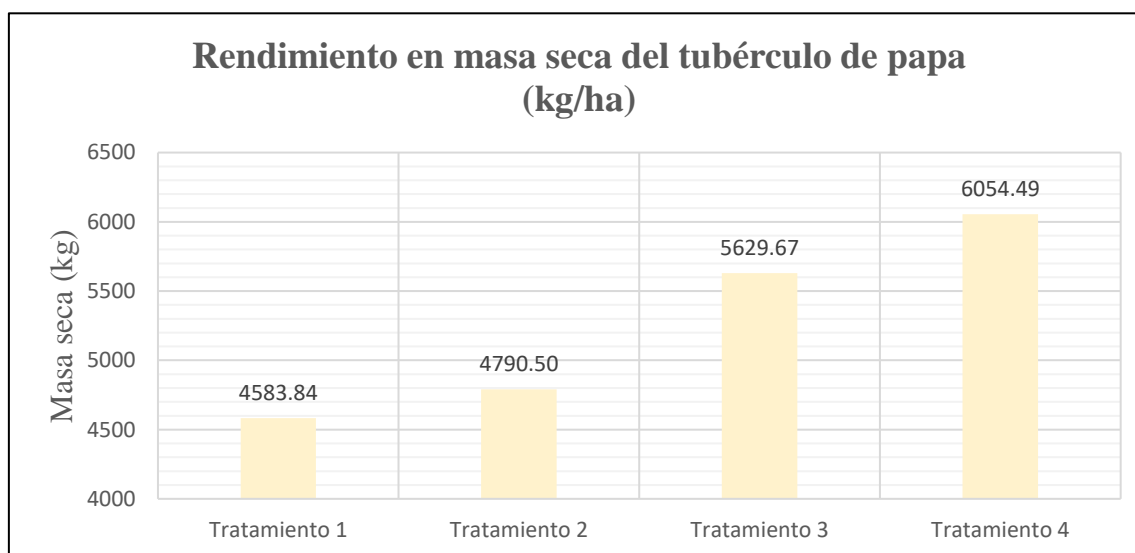


Figura 43: Rendimiento de la masa seca del tubérculo de papa

a. Análisis estadístico del rendimiento de la masa seca del tubérculo de papa variedad Única

El análisis de varianza (ANOVA) para la variable rendimiento de masa seca del tubérculo por hectárea del cultivo de papa variedad Única, nos indicó que si existe diferencia significativa aplicando riego por goteo al 100 % del Etc y PRD al 75 % del Etc con un coeficiente de variabilidad (CV) de 5%.

b. Prueba de Tukey para el rendimiento de la masa seca del tubérculo de papa variedad Única

La prueba de comparación múltiple de medias de Tukey, indica que hay mayor producción de masa seca del tubérculo en los tratamientos T4 y T3, que en los tratamientos T2 y T1 (Tabla 42).

Tabla 42: Prueba de Tukey para rendimiento de la masa seca del tubérculo

Tratamiento	Media	N	Tukey
T4	5954.0	5	A
T3	5630.0	5	A
T2	4785.4	5	B
T1	4583.8	5	B

4.10. CUANTIFICACIÓN DEL AGUA DE RIEGO

Las tablas 43, 44, 45 y 46 muestran las láminas de riego por fases durante el ciclo fenológico del cultivo de papa. En el tratamiento T4, T3 se utilizó 18 mm más de lámina de riego que para los tratamientos T2 y T1.

Tabla 43: Volumen de agua para el tratamiento T1

Periodo de Tratamiento	Tratamiento 1	Lámina (mm)
03-08-18 al 23-08-18	Fase Inicial	22
24-08-18 al 21-09-18	Fase de Tratamiento	49
22-09-18 al 24-10-18	Fase Final	102
Final de la campaña	total	173

Tabla 44: Volumen de agua para el tratamiento T2

Periodo de Tratamiento	Tratamiento 2	Lámina (mm)
03-08-18 al 23-08-18	Fase Inicial	22
24-08-18 al 21-09-18	Fase de Tratamiento	49
22-09-18 al 24-10-18	Fase Final	102
Final de la campaña	total	173

Tabla 45: volumen de agua para el tratamiento T3

Periodo de Tratamiento	Tratamiento 3	Lámina (mm)
03-08-18 al 23-08-18	Fase Inicial	22
24-08-18 al 21-09-18	Fase de Tratamiento	67
22-09-18 al 24-10-18	Fase Final	102
Final de la campaña	total	191

Tabla 46: Volumen de agua para el tratamiento T4

Periodo de Tratamiento	Tratamiento 4	Lámina (mm)
03-08-18 al 23-08-18	Fase Inicial	22
24-08-18 al 21-09-18	Fase de Tratamiento	67
22-09-18 al 24-10-18	Fase Final	102
Final de la campaña	total	191

La Figura 44 se muestra el volumen de agua que se necesitó por cada tratamiento en metros cúbicos por hectárea.

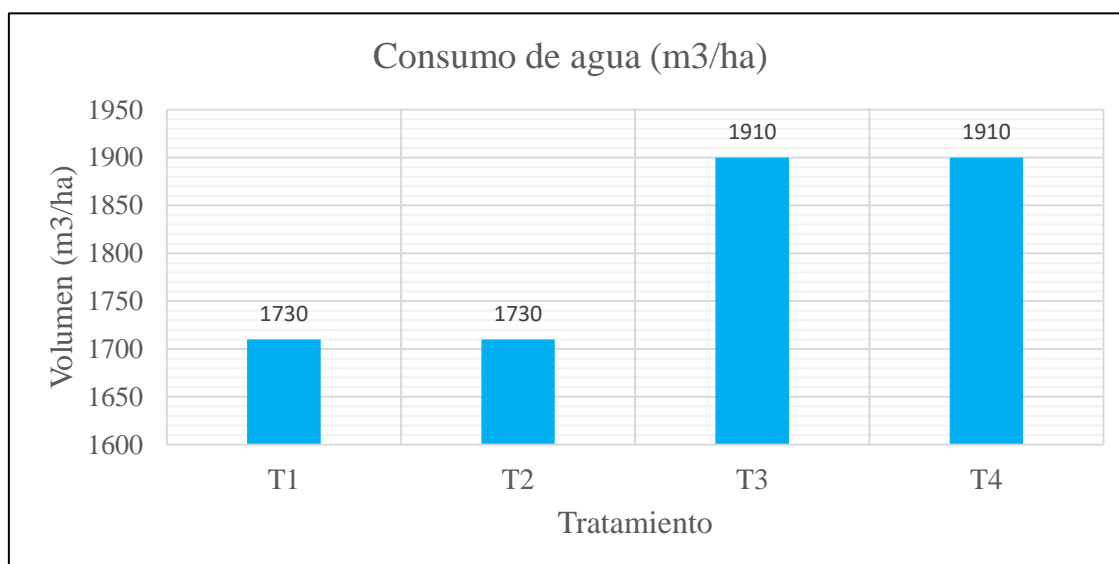


Figura 44: Consumo promedio de agua por tratamiento para el cultivo de papa variedad Única

4.11. PRODUCTIVIDAD DEL AGUA

De acuerdo a los resultados, el volumen de agua por metro cúbico que se necesitó para producir 1 kg de masa seca de la planta de papa variedad Única, por tratamiento se muestra en la Tabla 47.

Tabla 47: Productividad del agua en masa seca de la planta de papa

Tratamiento	Productividad de la masa seca de la planta de papa (kg/m³)
T1	3.34
T2	3.5
T3	3.69
T4	3.94

Importante

Se regó hasta el día 84 las unidades experimentales para poder realizar la cosecha a los 90 días, 2 semanas antes de su ciclo fenológico recomendado, para evitar daños en el rendimiento en la producción de masa seca del cultivo porque fue atacado por la polilla (*Phthorimaea operculella*). Esta interrupción del ciclo fenológico evito la aplicación de 5 riegos, con un total de 40 mm de lámina de agua, esto quiere decir 400 m³/ha más de lo que se obtuvo.

V. CONCLUSIONES

- No se encontró diferencia significativa en la producción de masa seca de la zona radicular y del tallo en el cultivo de papa variedad Única, cuando se aplicó los siguientes tratamientos: T1 riego parcial superficial en la zona de raíces con el 75% de la Etc, T2 riego parcial subterráneo en la zona de raíces con el 75% de la Etc, riego por goteo superficial con el 100% de la Etc y riego por goteo subterráneo con el 100% de la Etc.
- La aplicación del T4 y T3 (834,27, 893.38 kg ha⁻¹) influye significativamente y produce mayor masa seca de hoja de papa variedad Única, e influye significativa en el desarrollo del follaje con un CV coeficiente de variabilidad 8.1% que cuando se aplica T1 y T2
- Si hay diferencia significativa con un CV de 5% y mayor producción en la masa seca del tubérculo si se aplica T4 (6054.49 kg ha⁻¹) y T3 (5629.67kg ha⁻¹) que cuando se aplica T2 (4790.50 kg ha⁻¹) y T1 (4583.84 kg ha⁻¹). El aumento de rendimiento en los dos primeros tratamientos significó un consumo de agua de 180 m³ha⁻¹ más que los dos últimos tratamientos, lo que significa que disminuir el estrés hídrico y mejorar la distribución de la humedad en la zona radicular influirá significativamente en la producción de la masa seca de papa variedad Única.
- El consumo de agua fue de 1730 m³ha⁻¹ para el T1 y el mismo para el T2, con una productividad en masa seca de la planta de papa de 3.34 y 3.5 kgm⁻³ y para el T3 y T4 de 1910 m³ha⁻¹ con una productividad de 3.70 y 3.94 kgm⁻³
- La relación de masa seca de la zona aérea (hoja más tallo)-Zona radicular del cultivo de papa aplicando PRD al 75% Eto superficial y subterráneo (2.73, 2.96) y riego por goteo al 100% Eto superficial y subterráneo (3.24, 3.25) es creciente.

VI. RECOMENDACIONES

- Realizar el mismo experimento con otras variedades en la zona norte y sierra del Perú, con parámetros meteorológicos similares.
- Realizar experimentos con periodos de tratamiento de 45 y 60 días durante el ciclo vegetativo del cultivo de papa.
- Incluir en la investigación el análisis económico para determinar la rentabilidad y la relación costo y beneficio.
- Se recomienda la utilización de lisímetros para un mejor monitoreo del requerimiento hídrico del cultivo.

VII. BIBLIOGRAFIA

- Acevedo, E. (1979). Interacciones suelo-agua-raíz en el proceso de absorción de agua por las plantas. Chile. Recuperado de <http://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/INTERACCIONES%20SUELO-AGUA-RAIZ%20EN%20EL%20PROCESO%20DE.pdf>
- Angella, G., Frias, C., & Salgado, R. (2016). Conceptos básicos de las relaciones agua - suelo - planta. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/322888562_Conceptos_basicos_de_las_relaciones_agua-suelo-planta
- Chamorro, A. M., & Tamagno, L. N. (2004). Producción de materia seca aérea y radical de colza primaveral (Brassica napus L. ssp oleifera forma annua). Recuperado de <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/15678>
- Egúsqiza, B. R. (2000). La papa: Produccion, Transformación y Comercialización. Lima, Perú. Recuperado de https://books.google.com.pe/books?id=6ciGbBX0uFwC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- El Ministerio de Agricultura y Riego. (22 de mayo de 2017). Perú es imbatible en la produccion de papa en Lationamérica. Recuperado de <http://minagri.gob.pe/portal/noticias-antiores/notas-2017/19273-peru-es-imbatible-en-la-produccion-de-papa-en-latinoamerica>
- Fernández, R.; Ávila, R.; López, M.; Gavilán, P.; Oyonarte, N. (2010). Manual de Riego para Agricultores Módulo 1. Sevilla. Recuperado de https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/1337160941Fundamento_del_riego_1.pdf
- Guerrero, A. (1999). Cultivo herbáceos extensivos. Madrid, España: Mundi-Prensa.
- Gutiérrez, R. O.; Espinoza, J. A. & Bonierbale, M. (2007). Única variedad Peruana para mercado fresco y papa frita con tolerancia y resistencia para condiciones climáticas adversas. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5512141>

- Inostroza, J. (2009). Manual de papa para la Araucania: manejo y plantación. Chile: INIA Chile.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (23 de mayo de 2018). Producción de papa se incrementó 15.4% en marzo del presente año. Recuperado de <https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/noticias/nota-de-prensa-no-079-2018-inei.pdf>
- Kang, S. & Zhang, J. (2004). Controlled alternate partial root-zone irrigation: its physiological consequences and impact on water use efficiency. doi:<https://doi.org/10.1093/jxb/erh249>
- Lesczynsky, D. B., & Tanner, C. B. (1976). Seasonal variation of root distribution of irrigated, field-grown Russet Burbank potato. *American Potato Journal* 53, 69-78 doi:<https://doi.org/10.1007/BF02852656>
- Medina San Juan, J. A. (2000). Riego por goteo. Madrid, España: Mundi-Prensa.
- Mengel, K., & Kirby, E. A. (1982). Principles of Plant Nutrition. International Potash Institute
- Ministerio de Agroindustria. (mayo de 2017). Mercado Externo de la Papa. Recuperado de https://www.agroindustria.gob.ar/sitio/areas/ss_mercados_agropecuarios/areas/hortalizas/_archivos/000030_Informes/000995_Mercado%20Externo%20de%20la%20Papa%20-%202017.pdf
- Mitchell, R. L. & Russell, W. J. (1971). Root Development and Rooting Patterns of Soybean (*Glycine max* (L) Merrill) Evaluated Under Field Conditions. doi:10.2134/agronj1971.00021962006300020034x
- Mizicko, J.; Livingston, C. H. & Johnson, G. (1974). The effects of dihydroquercetin on the cut surface of seed potatoes. *American Potato Journal* 51, 216-222. doi:<https://doi.org/10.1007/BF02851415>
- Montaldo, A. (1984). Cultivo y mejoramiento de la papa. San Jose-Costa Rica. Recuperado de https://books.google.com.pe/books?id=ZLocZrEbTDIC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (1990). Evapotranspiración del cultivo Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-x0490s.pdf>

- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2002). El agua y la agricultura. Recuperado de <http://www.fao.org/WorldFoodSummit/sideevents/papers/Y6899S.htm>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2002. (mayo de 2008). Año Internacional de la papa: Nueva luz sobre un tesoro enterrado. Obtenido de FAO: <http://www.fao.org/potato-2008/es/actividades/index.html>
- Organización de las Naciones Unidas par la Alimentación y la Agricultura. (2017). El estado mundial de la agricultura y la alimentacion: Aprovechar los sistemas alimentarios para lograr una transformación rural inclusiva. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-I7658s.pdf>
- Peña, R.F. (2018). Riego parcial por goteo a niveles de humedad del suelo en la papa (*solanum spp.*) variedad Victoria, Riobamba, Ecuador (Tesis maestría). Recuperado de <https://es.scribd.com/document/397053857/Pena-Murillo-Robinson-Fabricio-RIEGO-PARCIAL-TESIS>
- Potters , G., Pasternak, T. P., Guisez, Y., Palmer, K. J., & Jansen, M. A. (2007). Stress-induced morphogenic responses: growing out of trouble? Vol. 12 No.3 doi: 10.1016/j.tplants.2007.01.004
- Reeve, R. M. (1974). Relevance of immature tuber periderm to high comercial peeling losses. doi:<https://doi.org/10.1007/BF02851437>
- Rojas, G.; Posadas, A.; Quiroz, R.; Holle, M. & Málaga, M. Secado parcial de raíces: Una promisoría técnica de riego en papa. Lima Perú. Recuperado de <http://www.lamolina.edu.pe/zonasaridas/za11/pdfs/ZA11%2000%20art15.pdf>
- Salgado, E. (2001). Relacion agua suelo planta. Santiago de Chile, Chile: Ediciones Universitarias de Valparaiso de la Universidad Católica de Valparaiso. Recuperado de https://www.academia.edu/12657528/Curso_RELACI%C3%93N_SUELO_AGUA_PLANTA
- Sanchez, M. J. & Torrecillas, A. (1995). Riego Deficitario Controlado, Fundamentos y Aplicación . Madrid, España: Mundi-Prensa.
- Sanchez, M. A. & Meza, R. (2015). Evaluación del rendimiento del cultivo de papa bajo la aplicación del riego deficitario (PRD) utilizando cintas de riego. DOI: <http://dx.doi.org/10.21704/ac.v76i1.760>
- Shock, C. C. & Welch, T. (2013). El riego por goteo: Una introducción. Recuperado de <https://catalog.extension.oregonstate.edu/sites/catalog/files/project/pdf/em8782-s.pdf>

- Salomó, J.; Sanmartin, J. M.; Pérez, C.; Maresma, A. & Lloveras, J. (2019). Riego por goteo subterráneo en cultivos de maíz y alfalfa. doi:DOI: 10.13140/RG.2.2.20197.65763
- Tekalign, T., & Hammes, P. S. (2005). Growth and productivity of potato as influenced by cultivar and reproductive growth: II. Growth analysis, tuber yield and quality. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2005.01.021>
- Theodoracopoulos, M., Arias, S. & Avila, H. (2008). Honduras. Recuperado de http://www.agronegocioshonduras.org/wp-content/uploads/2014/06/compendio_de_11_manuales.pdf
- Valadez Lopez, A. (1998). Producción de hortalizas. Mexico, Mexico: Limusa.
- Vásquez, A.; Vásquez, I.; Vásquez, C. & Cañamero, M. (2017). Fundamentos de la ingeniería de riegos. Lima, Perú: Q&P Impresores S.R.L.
- Villegas, F. (2010). Sistema radical de la caña de azúcar. El sistema radical de las plantas y la absorción de nutrimentos. Recuperado de http://www.tecnicana.org/pdf/2010/tec_no25_2010_p27-31.pdf

VIII. ANEXOS

ANEXO 1: ANÁLISIS DE SUELO



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO
 Av. La Molina s/n Teléfono: 614 7800 Anexo 226 Lima Email: las-fia@lamolina.edu.pe



Nº 014021

ANÁLISIS DE SUELO - CARACTERIZACIÓN

SOLICITANTE : HUMBERTO DAVID CARDENAS ALVAREZ
 RODRIGO HUERTA VALDIVIA
PROYECTO : PROYECTO DE TESIS
PROCEDENCIA : Parcela experimental de la facultad de Ingeniería Agrícola - UNALM
RESP. ANALISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 13 de agosto de 2018

Número de muestra		CE dS / m Relación 1:1	Análisis Mecánico				pH Relación 1:1	M.O. %	P ppm	K ppm	CaCO ₃ %	Cationes Cambiables						N %
Lab.	Campo		Arena %	Limo %	Arcilla %	Textura						CIC total	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Al ³⁺ +H ⁺	
												Cmol (+) / Kg						
14021	Suelo	1.39	50.20	26.20	23.60	Franco arcillo arenoso	7.83	1.70	35.88	222.00	1.19	14.75	13.01	1.20	0.12	0.43	-	0.08

ANEXO 2: ANÁLISIS DE AGUA



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO



Av. La Molina s/n. Telefax: 6147800 Anexo 226 Lima. E-mail: las-fia@lamolina.edu.pe **Nº 007877**

ANALISIS DE AGUA - RUTINA

SOLICITANTE : MIGUEL SANCHEZ
UBICACIÓN : Unaim
RESPONSABLE ANALISIS : Ing. Nore Arévalo Flores
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 15 de Junio del 2017

Nº LABORATORIO	7877
Nº DE CAMPO	Agua
CE dS/m	0.66
pH	7.52
Calcio meq/l	4.90
Magnesio meq/l	0.83
Sodio meq/l	0.89
Potasio meq/l	0.05
SUMA DE CATIONES	6.67
Cloruro meq/l	1.13
Sulfato meq/l	2.67
Bicarbonato meq/l	2.83
Nitratos meq/l	0.00
Carbonatos meq/l	0.00
SUMA DE ANIONES	6.62
SAR	0.52
CLASIFICACION	C2-S1
Boro ppm	0.57

ANEXO 3: FOTOGRAFIAS TOMADAS DURANTE LA INVESTIGACIÓN



Figura 45: Limpieza manual de la rejilla del canal



Figura 46: Fumigación de las unidades experimentales



Figura 47: Muestras del cultivo de papa



Figura 48: Cosecha de la papa variedad Única



Figura 49: Muestras representativas del tubérculo de papa

ANEXO 4: ANÁLISIS DE VARIANZA Y PRUEBA DE TUKEY PARA LA MASA SECA DE LA RAIZ-MUESTRA 27 DE AGOSTO

ANOVA de un solo factor: T1, T2, T3, T4

Análisis de variación para la masa seca de la raíz-muestra 27 de agosto del 2018

Método

Hipótesis nula Todas las medias son iguales
 Hipótesis alterna No todas las medias son iguales

Nivel de significancia $\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	3	2.303	0.7676	1.16	0.356
Error	16	10.600	0.6625		
Total	19	12.903			

Coff Var 27.45163

Comparaciones en parejas de Tukey

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Factor	N	Media	Agrupación
T1	5	3.385	A
T2	5	3.160	A
T3	5	2.902	A
T4	5	2.472	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

ANEXO 5: ANÁLISIS DE VARIANZA Y PRUEBA DE TUKEY PARA LA MASA SECA DE LA HOJA-MUESTRA 27 DE AGOSTO

ANOVA de un solo factor: T1, T2, T3, T4

Análisis de Varianza de la masa seca de la hoja-muestra 27 de agosto del 2018

Método

Hipótesis nula Todas las medias son iguales

Hipótesis alterna No todas las medias son iguales

Nivel de significancia $\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	3	16.20	5.398	2.84	0.071
Error	16	30.43	1.902		
Total	19	46.63			

Coff Var 28.10171

Comparaciones en parejas de Tukey

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Factor	N	Media	Agrupación
T1	5	5.924	A
T2	5	5.009	A
T4	5	4.174	A
T3	5	3.527	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

ANEXO 6: ANÁLISIS DE VARIANZA Y PRUEBA DE TUKEY PARA LA MASA SECA DEL TALLO-MUESTRA DEL 27 DE AGOSTO

ANOVA de un solo factor: T1, T2, T3, T4

Análisis de varianza para la masa seca del tallo - muestra del 27 de agosto del 2018

Método

Hipótesis nula Todas las medias son iguales
Hipótesis alterna No todas las medias son iguales

Nivel de significancia $\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	3	1.608	0.5361	2.77	0.075
Error	16	3.092	0.1933		
Total	19	4.700			

Coff Var 27.47868

Comparaciones en parejas de Tukey

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Factor	N	Media	Agrupación
T1	5	1.996	A
T2	5	1.718	A
T3	5	1.376	A
T4	5	1.283	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

ANEXO 7: ANÁLISIS DE VARIANZA Y PRUEBA DE TUKEY PARA LA MASA SECA DE RAÍZ-MUESTRA 24 SEPTIEMBRE

ANOVA de un solo factor: T1, T2, T3, T4

Análisis de Varianza de la masa seca de la raíz-muestra del 24 de septiembre del 2018

Método

Hipótesis nula Todas las medias son iguales

Hipótesis alterna No todas las medias son iguales

Nivel de significancia $\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Factor	4	T1, T2, T3, T4

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	3	6.334	2.111	0.93	0.447
Error	16	36.136	2.258		
Total	19	42.470			

Coff Var 20.63390

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
1.50282	14.91%	0.00%	0.00%

Medias

Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
T1	5	7.055	1.446	(5.631, 8.480)
T2	5	6.542	1.556	(5.117, 7.967)
T3	5	7.451	1.796	(6.026, 8.876)
T4	5	8.082	1.138	(6.657, 9.506)

Desv.Est. agrupada = 1.50282

Comparaciones en parejas de Tukey

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Factor	N	Media	Agrupación
T4	5	8.082	A
T3	5	7.451	A
T1	5	7.055	A
T2	5	6.542	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

ANEXO 8: ANÁLISIS DE VARIANZA Y PRUEBA DE TUKEY, PARA LA MASA SECA DE LA HOJA-MUESTRA 24 DE SEPTIEMBRE

ANOVA de un solo factor: T1, T2, T3, T4

Análisis de Varianza de masa seca de hoja-muestra del 24 de septiembre del 2018

Método

Hipótesis nula Todas las medias son iguales
 Hipótesis alterna No todas las medias son iguales

Nivel de significancia $\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Factor	4	T1, T2, T3, T4

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	3	51.56	17.187	8.23	0.002
Error	16	33.40	2.088		
Total	19	84.96			

Coff Var 9.69792

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
1.44485	60.69%	53.32%	38.57%

Medias

Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
T1	5	13.323	1.182	(11.953, 14.693)
T2	5	13.394	1.450	(12.024, 14.763)
T3	5	16.041	1.194	(14.671, 17.411)
T4	5	16.964	1.851	(15.594, 18.333)

Desv.Est. agrupada = 1.44485

Comparaciones en parejas de Tukey

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Factor	N	Media	Agrupación
T4	5	16.964	A
T3	5	16.041	A
T2	5	13.394	B
T1	5	13.323	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

ANEXO 9: ANÁLISIS DE VARIANZA Y PRUEBA DE TUKEY, PARA LA MUESTRA SECA DEL TALLO-MUESTRA 24 DE SEPTIEMBRE

ANOVA de un solo factor: T1, T2, T3, T4

Análisis de Varianza para la masa seca del tallo-muestra del 24 de septiembre

Método

Hipótesis nula	Todas las medias son iguales
Hipótesis alterna	No todas las medias son iguales
Nivel de significancia	$\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Factor	4	T1, T2, T3, T4

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	3	3.452	1.151	0.72	0.553
Error	16	25.453	1.591		
Total	19	28.905			

Coff Var 20.02140

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
1.26127	11.94%	0.00%	0.00%

Medias

Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
T1	5	5.692	1.217	(4.496, 6.888)
T2	5	6.512	1.286	(5.316, 7.708)
T3	5	6.192	1.523	(4.996, 7.388)
T4	5	6.814	0.953	(5.618, 8.010)

Desv.Est. agrupada = 1.26127

Comparaciones en parejas de Tukey

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Factor	N	Media	Agrupación
T4	5	6.814	A
T2	5	6.512	A
T3	5	6.192	A
T1	5	5.692	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

ANEXO 10: ANÁLISIS DE VARIANZA Y PRUEBA DE TUKEY, PARA LA MUESTRA SECA DEL TUBÉRCULO-MUESTRA 24 DE SEPTIEMBRE

ANOVA de un solo factor: T1, T2, T3, T4

Análisis de varianza de la masa seca del tuberculo-muestra del 24 de septiembre del 2018

Método

Hipótesis nula Todas las medias son iguales

Hipótesis alterna No todas las medias son iguales

Nivel de significancia $\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Factor	4	T1, T2, T3, T4

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	3	776.1	258.69	9.01	0.001
Error	16	459.5	28.72		

Total 19 1235.6
Coff Var 12.72644

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
5.35885	62.81%	55.84%	41.89%

Medias

Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
T1	5	34.26	6.56	(29.17, 39.34)
T2	5	37.78	3.18	(32.70, 42.86)
T3	5	48.54	5.79	(43.46, 53.62)
T4	5	47.89	5.31	(42.81, 52.97)

Desv.Est. agrupada = 5.35885

Comparaciones en parejas de Tukey

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Factor	N	Media	Agrupación
T3	5	48.54	A
T4	5	47.89	A
T2	5	37.78	B
T1	5	34.26	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

ANEXO 11: ANÁLISIS DE VARIANZA Y PRUEBA DE TUKEY, PARA LA MUESTRA DE MASA SECA DE RAÍZ-MUESTRA 24 DE OCTUBRE

ANOVA de un solo factor: T1, T2, T3, T4

Análisis de Varianza para la masa seca de raíz-muestra 24 de octubre del 2018

Método

Hipótesis nula Todas las medias son iguales

Hipótesis alterna No todas las medias son iguales

Nivel de significancia $\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	3	3.273	1.091	0.68	0.578
Error	16	25.718	1.607		
Total	19	28.990			

Coff Varr 17.65736

Comparaciones en parejas de Tukey

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Factor	N	Media	Agrupación
T3	5	7.740	A
T4	5	7.325	A
T2	5	7.012	A
T1	5	6.640	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

ANEXO 12: ANÁLISIS DE VARIANZA Y PRUEBA DE TUKEY, DE LA MASA SECA DE LA HOJA-MUESTRA 24 DE OCTUBRE

ANOVA de un solo factor: T1, T2, T3, T4

Análisis de Varianza de la masa seca de hoja-muestra del 24 de octubre del 2018

Método

Hipótesis nula Todas las medias son iguales

Hipótesis alterna No todas las medias son iguales

Nivel de significancia $\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Factor	4	T1, T2, T3, T4

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	3	121.97	40.656	9.41	0.001
Error	16	69.12	4.320		
Total	19	191.08			

Coff Var 12.33595

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
2.07840	63.83%	57.05%	43.48%

Medias

Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
T1	5	14.859	1.783	(12.888, 16.829)
T2	5	14.014	1.999	(12.043, 15.984)
T3	5	19.87	2.42	(17.90, 21.85)
T4	5	18.648	2.056	(16.678, 20.619)

Desv.Est. agrupada = 2.07840

Comparaciones en parejas de Tukey

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Factor	N	Media	Agrupación
T3	5	19.87	A
T4	5	18.648	A
T1	5	14.859	B
T2	5	14.014	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

ANEXO 13: ANÁLISIS DE VARIANZA Y PRUEBA DE TUKEY, PARA LA MASA SECA DEL TALLO-MUESTRA 24 DE OCTUBRE

ANOVA de un solo factor: T1, T2, T3, T4

Análisis de Varianza de la masa seca del tallo-muestra del 24 de octubre del 2018

Método

Hipótesis nula Todas las medias son iguales

Hipótesis alterna No todas las medias son iguales

Nivel de significancia $\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	3	2.998	0.9992	0.54	0.664
Error	16	29.763	1.8602		
Total	19	32.761			

Coff Var 20.35549

Comparaciones en parejas de Tukey

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Factor	N	Media	Agrupación
T4	5	7.245	A
T3	5	6.914	A
T1	5	6.406	A
T2	5	6.287	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

ANEXO 14: ANÁLISIS VARIANZA Y PRUEBA TUKEY DE MASA SECA DEL TUBÉRCULO-MUESTRA 24 DE OCTUBRE

ANOVA de un solo factor: T1, T2, T3, T4

Análisis de Varianza de la masa seca del tuberculo- muestra del 24 de octubre del 2018

Método

Hipótesis nula Todas las medias son iguales

Hipótesis alterna No todas las medias son iguales

Nivel de significancia $\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	3	1258.8	419.60	7.76	0.002
Error	16	865.5	54.10		
Total	19	2124.3			

Coff Var 5.46299

Comparaciones en parejas de Tukey

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Factor	N	Media	Agrupación
T4	5	143.57	A
T3	5	141.43	A
T2	5	127.87	B
T1	5	125.69	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

ANEXO 15: ANÁLISIS DE VARIANZA Y PRUEBA DE TUKEY, PARA EL RENDIMIENTO DE LA MASA SECA DEL TUBÉRCULO

ANOVA de un solo factor: T1, T2, T3, T4

Análisis de Varianza y Prueba de Tukey para el rendimiento de masa seca de papa

Método

Hipótesis nula Todas las medias son iguales
 Hipótesis alterna No todas las medias son iguales

Nivel de significancia $\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	3	6496369	2165456	30.81	0.000
Error	16	1124530	70283		
Total	19	7620898			

Coff Var 5.06098

Comparaciones en parejas de Tukey

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Factor	N	Media	Agrupación
T4	5	5954	A
T3	5	5630	A
T2	5	4785.4	B
T1	5	4583.8	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

ANEXO 16: ANÁLISIS DE VARIANZA Y PRUEBA DE TUKEY, PARA EL DESARROLLO FOLIAR

ANOVA de un solo factor: T1, T2, T3, T4

Análisis de Varianza y prueba de Tukey para la altura de follaje a los 66 días de siembra

Método

Hipótesis nula Todas las medias son iguales

Hipótesis alterna No todas las medias son iguales

Nivel de significancia $\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	3	495.1	165.03	8.96	0.001
Error	16	294.6	18.42		
Total	19	789.7			

Coff Var 8.17495

Comparaciones en parejas de Tukey

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Factor	N	Media	Agrupación
T4	5	58.40	A
T3	5	56.31	A
T2	5	48.50	B
T1	5	46.70	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

