

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA
ESCUELA DE POSGRADO
DOCTORADO EN RECURSOS HÍDRICOS**



**“APLICACIÓN DEL RIEGO DE DESECACIÓN PARCIAL (PRD)
EN EL CULTIVO DE PAPA MEDIANTE EL SISTEMA DE RIEGO
POR GOTEO”**

Presentada por:

MIGUEL ANGEL SÁNCHEZ DELGADO

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE
DOCTORIS PHILOSOPHIAE EN RECURSOS HÍDRICOS**

Lima – Perú

2023

TESIS DOCTORADO - MIGUEL SANCHEZ

INFORME DE ORIGINALIDAD

9%

INDICE DE SIMILITUD

5%

FUENTES DE INTERNET

6%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	bibliotecadigital.uca.edu.ar Fuente de Internet	2%
2	Submitted to Universidad Nacional Agraria La Molina Trabajo del estudiante	1%
3	www.gau.ac.ir Fuente de Internet	1%
4	repositorio.uteq.edu.ec Fuente de Internet	1%
5	cia.uagraria.edu.ec Fuente de Internet	<1%
6	Submitted to Universidad Nacional Abierta y a Distancia, UNAD,UNAD Trabajo del estudiante	<1%
7	FC INGENIERIA Y SERVICIOS AMBIENTALES SOCIEDAD ANONIMA CERRADA. "PAMA de Danper Trujillo - Fundo Campositán-IGA0011573", R.D.G. N° 324-2015-MINAGRI-DVDIAR-DGAAA, 2020 Publicación	<1%

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
DOCTORADO EN RECURSOS HÍDRICOS**

**“APLICACIÓN DEL RIEGO DE DESECACIÓN PARCIAL (PRD) EN
EL CULTIVO DE PAPA MEDIANTE EL SISTEMA DE RIEGO POR
GOTEO”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE
DOCTORIS PHILOSOPHIAE**

Presentada por:

MIGUEL ANGEL SÁNCHEZ DELGADO

Sustentado y aprobado ante el siguiente jurado:

Ph. D. Absalón Vásquez Villanueva

PRESIDENTE

Dr. Jesús A. Mejía Marcacuzco

ASESOR

Dr. Néstor Montalvo Arquíñigo

MIEMBRO

Dr. Guillermo Vílchez Ochoa

MIEMBRO

Dr. Jorge Leonardo Jave Nakayo

MIEMBRO EXTERNO

DEDICATORIA

A Dios, Carmen mi esposa y Miguel mi hijo, para ellos con todo mi cariño y amor.

A Lidia, Mi madre, por sus enseñanzas e inmenso amor.

AGRADECIMIENTOS

A mi asesor Dr. Jesús Abel Mejía Marcacuzco, por su permanente e invaluable apoyo, cooperación y consejos para el término de la presente tesis, además, a los miembros del jurado por su tiempo en revisar y sugerir mejoras al trabajo; por último agradezco a la Universidad Nacional Agraria La Molina – Facultad de Ingeniería Agrícola - Departamento de Recursos Hídricos y al Programa de Doctorado en Recursos Hídricos por brindarme la oportunidad de continuar capacitándome y permitirme utilizar sus parcelas demostrativas y laboratorios para culminar la presente tesis.

ÍNDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN	1
1.1.	OBJETIVOS.....	3
II.	REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
2.1.	EL CULTIVO DE LA PAPA.....	5
2.2.	RIEGO POR SECADO PARCIAL DE LA RAÍZ.....	7
2.3.	PRD EN TEORÍA	9
2.4.	SEÑALIZACIÓN QUÍMICA E HIDRÁULICA EN PRD.....	10
2.5.	INTERCAMBIO DE GASES EN PRD	11
2.6.	DESARROLLO DE RAÍCES Y CAPTACIÓN DE AGUA	12
2.7.	EFICIENCIA DE USO DEL AGUA (EUA)	13
2.8.	PRODUCTIVIDAD DEL AGUA (WP).....	14
2.9.	BULBO HÚMEDO.....	15
2.10.	DISPOSICIÓN DE LOS EMISORES EN EL PRD CON EL SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO	16
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	18
3.1.	UBICACIÓN.....	18
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	20
4.1.	EXPERIMENTO 1. APLICACIÓN DEL RIEGO DESECACION PARCIAL (PRD) UTILIZANDO CINTAS DE RIEGO POR GOTEO CON EL CULTIVO DE PAPA VARIEDAD ÚNICA	20
4.1.1.	Introducción.....	20
4.1.2.	Materiales y métodos.....	20
4.1.3.	Resultado y discusión	25
4.1.4.	Conclusiones.....	33
4.2.	EXPERIMENTO 2: APLICACIÓN DEL RIEGO DE DESECACION PARCIAL (PRD) UTILIZANDO RIEGO POR GOTEO CONVENCIONAL CON EL CULTIVO DE PAPA VARIEDAD ÚNICA	34
4.2.1.	Introducción.....	34
4.2.2.	Materiales y métodos.....	34
4.2.3.	Resultados y discusión.....	38
4.2.4.	Conclusiones.....	45

4.3. EXPERIMENTO 3. EVALUACIÓN DEL BULBO HÚMEDO EN UN SUELO FRANCO BAJO CONDICIONES DE APORQUE Y CON EL SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO	45
4.3.1. Introducción	45
4.3.2. Tratamientos en estudio	46
4.3.3. Diseño Estadístico	46
4.3.4. Análisis estadístico	46
4.3.5. Materiales y métodos	47
4.3.6. Resultados y discusión.....	47
4.3.7. Conclusiones.....	62
4.4. EXPERIMENTO 4. EFECTO DE LA DISPOSICIÓN DE LATERALES DE RIEGO POR GOTEO Y SECADO PARCIAL DEL SUELO EN EL RENDIMIENTO DE PAPA.....	64
4.4.1. Introducción.....	64
4.4.2. Materiales y métodos	64
4.4.3. Resultados y discusión.....	69
4.4.4. Conclusiones.....	82
4.5. EXPERIMENTO 5. DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE CULTIVO (KC) DE LA PAPA (SOLANUM TUBEROSUM) VARIEDAD UNICA UTILIZANDO LISÍMETRO DE DRENAJE	82
4.5.1. Introducción.....	82
4.5.2. Materiales y métodos	84
4.5.3. Resultados.....	86
4.5.4. Conclusiones.....	91
4.6. EXPERIMENTO 6. EFECTO DE LA MATERIA ORGANICA Y EL RIEGO DE SECADO PARCIAL DE RAICES EN EL CULTIVO DE PAPA VARIEDAD UNICA	91
4.6.1. Introducción.....	91
4.6.2. Materiales y métodos	92
4.6.3. Resultados y discusión.....	94
4.6.4. Conclusiones.....	109
V. CONCLUSIONES	111
VI. RECOMENDACIONES	113
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	114
VIII. ANEXOS	125

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Bases fisiológicas y moleculares de la tolerancia al estrés hídrico	10
Tabla 2: Clasificación del Rendimiento de Tubérculos por categoría.....	24
Tabla 3: Valores de Eto (mm/día)	25
Tabla 4: Datos del Cultivo de Papa	26
Tabla 5: Características del suelo	26
Tabla 6: Fecha de Riego y Volúmenes de Agua Aplicada en cada Tratamiento	27
Tabla 7: Volumen de Agua aplicada ($m^3 ha^{-1}$) en cada tratamiento por etapa y campaña ..	28
Tabla 8: Análisis de variancia de altura de planta del cultivo de papa sometido a dos tratamientos de riego	29
Tabla 9: Comparación de medias de altura de planta del cultivo de papa sometido a dos tratamientos de riego según la prueba de Tukey a nivel de $p=0.05$	29
Tabla 10: Análisis de variancia del rendimiento total del cultivo de papa sometido a dos tratamientos de riego	30
Tabla 11: Comparación de medias del rendimiento total del cultivo de papa sometido a dos tratamientos de riego según la prueba de Tukey a nivel de $p=0.05$	30
Tabla 12: Análisis de variancia del número de tubérculos por planta (N Tub /pl) del cultivo de papa sometido a dos tratamientos de riego	30
Tabla 13: Comparación de medias del número de tubérculos por planta (N Tub /pl) del cultivo de papa sometido a dos tratamientos de riego según la prueba de Tukey a nivel de $p=0,05$	31
Tabla 14: Análisis de variancia del número de tubérculos por planta del cultivo de papa sometido a dos tratamientos de riego	31
Tabla 15: Comparación de medias del número de tubérculos por planta del cultivo de papa sometido a dos tratamientos de riego según la prueba de Tukey a nivel de $p=0,05$...	32
Tabla 16: Análisis de variancia de Eficiencia de uso de agua del cultivo de papa sometido a dos tratamientos de riego	33
Tabla 17: Comparación de medias, según la prueba de Tukey a nivel de 0.05.....	33
Tabla 18: Relación de Tratamientos	36
Tabla 19: Volumen de agua aplicado en el experimento.....	38
Tabla 20: Rendimiento del cultivo de papa por parcela - Variedad Única bajo el sistema de riego por goteo al 100% de la dosis de riego (RT)	38

Tabla 21: Rendimiento del cultivo de papa por parcela - Variedad Única bajo el sistema de riego por goteo – Riego parcial (PRD)	39
Tabla 22: Rendimiento del cultivo de papa promedio por parcela - Variedad Única bajo el sistema de riego por goteo al 100% de dosis de riego	39
Tabla 23: Rendimiento del cultivo de papa promedio por parcela - Variedad Única bajo el sistema de riego por goteo. Riego parcial.....	40
Tabla 24: Análisis de varianza Rendimiento total.....	41
Tabla 25: Análisis de varianza clase extra.....	41
Tabla 26: Análisis de varianza clase selecta.....	42
Tabla 27: Análisis de varianza clase comercial.....	42
Tabla 28: Análisis de varianza clase doméstica	42
Tabla 29: Análisis de varianza clase baby.....	43
Tabla 30: Volúmenes agua aplicados durante el experimento	44
Tabla 31: Tratamientos en estudio, descripción y clave de combinación	46
Tabla 32: Análisis de Varianza de las dimensiones medias de los radios del bulbo húmedo (cm).....	48
Tabla 33: Prueba de Tukey para radios medios del bulbo húmedo (cm)	48
Tabla 34: Análisis de varianza de la profundidad media del bulbo húmedo (cm).	49
Tabla 35: Prueba de Tukey para profundidad de bulbo húmedo (cm)	50
Tabla 36: Prueba de significación del coeficiente de correlación simple.....	51
Tabla 37: Dimensiones de los radios mayores medios y profundidad (cm). Tratamientos T1, T2 y T3.....	52
Tabla 38: Dimensiones de los radios mayores medios y profundidad (cm) del bulbo húmedo. Tratamientos T4, T5 y T6.....	53
Tabla 39: Dimensiones de los radios mayores medios y profundidad (cm) del bulbo húmedo. Tratamientos T7, T8 y T9.....	54
Tabla 40: Dimensiones horizontales asumidas como radios medios mayores y profundidad (cm) del bulbo húmedo. Tratamientos T10, T11 y T12.....	55
Tabla 41: Porcentaje de humedad y su ubicación. Tratamiento T4.....	57
Tabla 42: Porcentaje de humedad y su ubicación. Tratamiento T5.....	58
Tabla 43: Porcentaje de humedad y su ubicación. Tratamiento T6.....	59
Tabla 44: Porcentaje de humedad y su ubicación. Tratamiento T10.....	60
Tabla 45: Porcentaje de humedad y su ubicación. Tratamiento T11.....	61
Tabla 46: Porcentaje de humedad y su ubicación. Tratamiento T12.....	62

Tabla 47: Datos meteorológicos mensuales	65
Tabla 48: Coeficiente de cultivo.....	66
Tabla 49: Descripción de calibres o diámetros de tubérculos de papa.....	69
Tabla 50: Lámina de agua aplicada durante el experimento	70
Tabla 51: Altura de planta en centímetros de los cuatro tratamientos registrados durante el desarrollo de la planta.....	71
Tabla 52: Tallos por planta para cada tratamiento registrados a los 30 y 106 días después de la siembra	72
Tabla 53: Cobertura promedio de dosel según la lámina de riego aplicada	72
Tabla 54: Rendimiento total de las plantas con diferentes tratamientos a los 110 días después de la siembra	73
Tabla 55: Análisis de varianza del rendimiento total por planta	74
Tabla 56: Comparación de medias, según Prueba de Duncan, rendimiento total	74
Tabla 57: Rendimiento comercial de las plantas con diferentes tratamientos a los 110 días después de la siembra.....	75
Tabla 58: Análisis de varianza del número de tubérculos comerciales por planta prueba Duncan.....	77
Tabla 59: Comparación de medias, según prueba de Duncan, número de tubérculos comerciales	77
Tabla 60: Análisis de varianza del número de tubérculos no comerciales por planta.....	78
Tabla 61: Comparación de medias, según prueba de Duncan, número de tubérculos no comerciales	78
Tabla 62: Comparación de medias del rendimiento por calibres de tubérculos por planta del cultivo de papa, sometidos a cuatro tratamientos, según la prueba de Tukey	80
Tabla 63: Eficiencia de uso del agua	80
Tabla 64: Datos de la evapotranspiración promedio	87
Tabla 65: Coeficiente del cultivo (Kc) de la papa por fases fenológicas	89
Tabla 66: Dimensiones de la unidad experimental.....	93
Tabla 67: Volumen de agua utilizado en el experimento.....	95
Tabla 68: Rendimientos del cultivo de papa variedad única con adición de materia orgánica	97
Tabla 69: Análisis de Varianza (SC tipo III) clase comercial primera con adición de materia orgánica	99
Tabla 70: Prueba de Tukey alfa 0.05	99

Tabla 71: Análisis de Varianza (SC tipo III) clase comercial primera sin adición de materia orgánica	99
Tabla 72: Prueba de Tukey alfa 0.05	100
Tabla 73: Análisis de Varianza (SC tipo III) clase comercial segunda con adición de materia orgánica	100
Tabla 74: Prueba de Tukey alfa 0.05	100
Tabla 75: Análisis de Varianza (SC tipo III) clase comercial segunda sin adición de materia orgánica	101
Tabla 76: Prueba de Tukey alfa 0.05	101
Tabla 77: Análisis de Varianza (SC tipo III) clase comercial tercera con adición de materia orgánica	101
Tabla 78: Prueba de Tukey alfa 0.05	101
Tabla 79: Análisis de Varianza (SC tipo III) clase comercial tercera sin adición de materia orgánica	102
Tabla 80: Prueba de Tukey alfa 0.05	102
Tabla 81: Rendimiento total del cultivo de papa variedad única	103
Tabla 82: Análisis de varianza (SC tipo III) del rendimiento total del cultivo de papa en Tn ha ⁻¹ con adición de materia orgánica	104
Tabla 83: Prueba de Tukey alfa 0.05	104
Tabla 84: Análisis de varianza (SC tipo III) del rendimiento total del cultivo de papa en Tn ha ⁻¹ sin adición de materia orgánica.....	104
Tabla 85: Prueba de Tukey alfa 0.05	104
Tabla 86: Prueba de LSD Fisher alfa 0.05.....	105
Tabla 87: Prueba de LSD Fisher alfa 0.05.....	105
Tabla 88: Prueba de LSD Fisher alfa 0.05.....	106
Tabla 89: Productividad de agua	107
Tabla 90: Volumen de agua utilizado y rendimientos del cultivo de papa variedad única con el sistema de riego por goteo.....	108

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Esquema del patrón de riego total FI, riego deficitario controlado DI y riego parcial de la zona de raíces PRD	7
Figura 2: Esquema de dos formas de aplicación de agua	16
Figura 3: Vista en planta de la disposición paralela de los emisores de un PRD.....	17
Figura 4: Vista en planta de la disposición lineal de los emisores de un PRD.....	17
Figura 5: Vista perfil de la alternancia de aplicación de agua a la planta.	17
Figura 6: Ubicación de los experimentos	18
Figura 7: Vista Perfil de la alternancia de aplicación de agua a la planta	21
Figura 8: Vista en Planta de la alternancia de aplicación de agua a la planta	22
Figura 9: Humedad del suelo durante la fase no experimental	23
Figura 10: Volumen de agua aplicado en cada riego al cultivo de papa – variedad Única.	28
Figura 11: Volumen de agua aplicado en cada riego al cultivo de papa – variedad Única.	32
Figura 12: Disposición de las parcelas para el experimento	36
Figura 13: El gotero 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15 es gobernado por la válvula A y los goteros 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14 y 16 por la válvula B	37
Figura 14: Rendimiento del cultivo de papa variedad única por calidad	40
Figura 15: Requerimiento de agua del cultivo de papa variedad única por todo el periodo vegetativo	43
Figura 16: Volumen de agua utilizado del cultivo de papa variedad única por todo el periodo vegetativo	44
Figura 17: Comportamiento de las dimensiones medias del radio bajo condiciones de aporque	49
Figura 18: Comportamiento de las profundidades medias en condición de aporque (cm) .	50

Figura 19: Forma y dimensiones de los bulbos húmedos de tratamientos T1, T2 y T3.....	51
Figura 20: Forma y dimensiones de los bulbos húmedos de tratamientos T4, T5 y T6.....	52
Figura 21: Forma y dimensiones de los bulbos húmedos de tratamientos T7, T8 y T9.....	54
Figura 22: Forma y dimensiones de los bulbos húmedos de tratamientos T10, T11 y T12	55
Figura 23: Puntos de muestreo de humedad del tratamiento T4	56
Figura 24: Puntos de muestreo de humedad del tratamiento T5	57
Figura 25: Puntos de muestreo de humedad del tratamiento T6	58
Figura 26: Puntos de muestreo de humedad del tratamiento T10	60
Figura 27: Puntos de muestreo de humedad del tratamiento T11	61
Figura 28: Puntos de muestreo de humedad del tratamiento T12	62
Figura 29: Disposición de laterales de riego	66
Figura 30: Tratamiento de riego	67
Figura 31: Vista en planta de la disposición lineal y la aplicación del riego deficitario con secado parcial de raíces	68
Figura 32: Vista en planta de la disposición en paralelo y la aplicación del riego deficitario con secado parcial de raíces.....	68
Figura 33: Vista en planta de la disposición en paralelo y la aplicación del riego deficitario con secado parcial de raíces.....	73
Figura 34: <i>Rendimiento comercial para cada tratamiento en tn ha⁻¹</i>	75
Figura 35: Distribución porcentual del número de tubérculos según su clasificación	76
Figura 36: Tamaño de tubérculos según su clasificación	79
Figura 37: Esquema en planta del lisímetro de drenaje.....	83
Figura 38: Esquema en elevacion del lisímetro de drenaje	83
Figura 39: Siembra en el lisímetro	85
Figura 40: Curva de coeficiente de cultivo Kc del cultivo de papa variedad única	90

Figura 41: Curva de coeficiente de cultivo promedio	91
Figura 42: Esquema del área experimental y distribución	92
Figura 43: Rendimiento del cultivo de papa por clase comercial Primera.....	97
Figura 44: Rendimiento del cultivo de papa por clase comercial segunda	98
Figura 45: Rendimiento del cultivo de papa por clase comercial tercera.....	98
Figura 46: Rendimiento total del cultivo de papa variedad única	103
Figura 47: Interacción del uso de materia orgánica y el riego.....	106
Figura 48: Relación rendimiento y consumo de agua en el cultivo de papa variedad única con riego por goteo	109

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Fotos experimento 2	125
Anexo 2: Fotos experimento 3	127
Anexo 3: Fotos experimento 4 y 5	134
Anexo 4: Fotos experimento 6	141

RESUMEN

Esta tesis tuvo como objetivo determinar el mayor rendimiento del cultivo de papa con restricciones de agua para ello, se realizaron seis experimentos donde se estudió la aplicación del riego de desecación parcial (PRD) en el cultivo de papa variedad única, mediante el sistema de riego por goteo. En el primer experimento, se definieron la forma y la dimensión del surco con aporque en un suelo franco arenoso. En el segundo y tercer experimento, se aplicó el (PRD), utilizando cintas de riego y mangueras de polietileno de 16 mm con emisores de 1,0 y 1,6 l h⁻¹ con separación entre goteros de 30cm. Se trabajaron dos tratamientos: un testigo (T1) con una lámina de riego al 100 por ciento de la necesidad hídrica del cultivo (Etc), y el sistema de PRD (T2) con una lámina de 70 por ciento de la (ETc) distribuidos en diseño completamente al azar. En el cuarto experimento, se evaluó el efecto de la disposición de los laterales de riego en el rendimiento de la papa, utilizando PRD, reponiéndose láminas de agua de 100 y 50 por ciento de la (ETc). En el experimento 5, se determinó el coeficiente (Kc) de la papa. En el experimento 6, se evaluó el efecto de la materia orgánica y el PRD. Los rendimientos para los testigos oscilan entre 40 a 64 t ha⁻¹ y para los PRD entre 24 a 61 t ha⁻¹, respectivamente, con láminas de riego que varían para los testigos entre 165,1 a 193,234 mm y para los PRD entre 82,8 a 129,1mm. El PRD incrementó la eficiencia de uso de agua en 23,7 por ciento. Asimismo, se determinó la curva rendimiento - volumen de agua para el cultivo de papa: $Y=0,0001X^3+0,3563X^2-331,16X+11162,1$ donde X representa el volumen de agua e Y el rendimiento con R² de 0,70.

Palabras claves: riego por goteo; riego de desecación parcial; rendimiento de papa.

ABSTRACT

The objective of this thesis, it was sought to determine the highest yield of the potato crop with water restrictions, for that purpose, six experiments were carried out where the application of Partial Root-zone Drying (PRD) was studied in the single variety potato crop, through the drip irrigation system. In the first experiment, the shape and dimension of the furrow with hilling in a sandy loam soil were defined. In the second and third experiment, the (PRD) was applied, using irrigation tapes and 16 mm polyethylene hoses with emitters of 1.0 and 1.6 l h⁻¹ with a 30cm separation between drippers. Two treatments were worked: a control (T1) with an irrigation sheet at 100 percent of the crop water need (Etc), and the PRD system (T2) with a sheet of 70 percent of the (ETc) distributed in a completely randomized design. In the fourth experiment, the effect of the arrangement of irrigation laterals on potato yield was evaluated, using PRD, replacing water sheets of 100 and 50 percent of the (ETc). In the experiment 5, the coefficient (Kc) of the potato was determined, using drainage lysimeter. In the experiment 6, the effect of organic matter and PRD was evaluated. The yields obtained for the controls oscillate between 40 to 64 t ha⁻¹ and for the PRD ones vary between 24 to 61 t ha⁻¹, respectively, with irrigation sheets that vary for the controls between 165,1 to 193,234 mm and for the PRD between 82,8 to 129,1mm. The PRD increased the efficiency of water use by 23.7 percent. In addition, yield curve - volume of water for the potato crop was determined: $Y=0,0001X^3+0,3563X^2-331,16X+11162,1$ where X represents the volume of water used and Y the yield with R² of 0,70.

Keywords: drip irrigation; Partial Root-zone Drying; potato yield.

I. INTRODUCCIÓN

Según Tarek *et al.* (2017), la papa (*Solanum tuberosum* L.) es uno de los cultivos más importantes del mundo en términos de su uso como alimento para las personas y en la industria del almidón (Fabeiro *et al.* 2001). La producción de papa ocupa el cuarto lugar en el mundo después del arroz, el trigo y el maíz y se espera que continúe aumentando, proporcionando una importante fuente de alimentos, nutrición e ingresos (Bowen 2003). Debido a su sistema de raíces escasas y poco profundas, la papa es altamente sensible al estrés por sequía (Jefferies 1993), y el rendimiento de los tubérculos puede reducirse considerablemente por los déficits de humedad del suelo (Porter *et al.* 1999)

La papa es uno de los cuatro cultivos alimenticios más importantes del mundo, junto al trigo, arroz y maíz, y el segundo más importante de la agricultura del Perú, llega a representar el 10,6 por ciento del Valor Bruto de la Producción (VBP) del sub sector agrícola, y es el sustento de más de 710 mil familias. En el Perú, el consumo per cápita se incrementó de 67 a 87 kilos anuales en el 2016, y se espera tener un consumo de 100 kilos por cápita anual para el 2021. En la actualidad, es el primer productor de papa de América del Sur y el segundo de América Latina. Sin embargo, el rendimiento de producción es inferior en 26 por ciento al promedio mundial, siendo la media nacional de 14,7 t ha⁻¹, superado por países vecinos, que oscilan entre 18,4 t ha⁻¹ (Ecuador), 20 t ha⁻¹ (Colombia), 27,9 t ha⁻¹ (Brasil) y 21,6 t ha⁻¹ (Chile) (MINAGRI 2017). En ese sentido, las zonas áridas y semiáridas exigen soluciones en nuevas estrategias de riego y la gestión del agua en la agricultura (Sepaskhah y Ahmadi 2010). Una de las estrategias es el secado parcial de la zona de la raíz (PRD) en cada riego, la otra parte de la raíz se deja secar a un cierto contenido de humedad en el suelo antes de volver a mojar cambiando el riego al lado seco; por lo tanto, el PRD es una estrategia de riego que permite optimizar el uso del recurso hídrico. El concepto de PRD fue aplicado por primera vez por Grimes *et al.* (1968) en EE.UU. Después, se ha probado el PRD para varios cultivos hortícolas y árboles frutales, como el frijol (Samadi and Sepaskhah 1984; Sepaskhah *et al.* 1976), la remolacha azucarera (Sepaskhah and Kamgar-Haghighi 1997), las uvas (Kriedman y Goodwin 2003; Loveys *et al.* 2000), maíz (Kang y Zhang 2004); frijol verde (Gencoglan *et al.* 2006); manzana (Leib *et al.* 2006), y tomate (Wang *et al.* 2013; Zegbe *et al.* 2004).

En China, la disminución de los recursos hídricos ha fomentado una gran atención pública en la agricultura. Por ello, se desarrollan estrategias de riego innovadoras para ahorrar agua y aumentar la eficiencia del uso del agua (EUA), en comparación con los métodos de riego convencionales (Zhang y Guo 2016; Giuliani *et al.* 2016; Qin *et al.* 2013). El PRD se ha aplicado con éxito en el cultivo de papa, disminuyendo el agua en un 30 a 50% con un aumento de EUA, sin reducción significativa del rendimiento del tubérculo (Sarker *et al.* 2019; Qin *et al.* 2018; Yactayo *et al.* 2017, 2013; Abdelraouf 2016; Karandish y Shahnazari 2016; Xie *et al.* 2012; Jovanovic *et al.* 2010; Ahmadi *et al.* 2010; Shayannejad 2009; Saeed *et al.* 2008; Shahnazari *et al.* 2007; Liu *et al.* 2006 a,b). Sin embargo, los desafíos para el PRD incluyen encontrar el momento adecuado, la duración y la intensidad del manejo de la restricción de agua en la papa que estimula algún mecanismo de tolerancia para evitar la reducción del rendimiento (Monneveux *et al.* 2013). Hallazgos recientes, trabajados en papa bajo invernadero (Saeed *et al.* 2008) y en las condiciones de campo (Yactayo *et al.* 2017, 2013; Xu *et al.* 2011), destacan que un momento temprano de la restricción de agua (a partir de 6 semanas después de la siembra) con PRD utilizando el 50 por ciento de la cantidad de agua aplicada con riego completo permite un alto EUA sin reducciones significativas de rendimiento, mediante la activación de rasgos de tolerancia a la sequía como el ajuste osmótico.

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo la aplicación del riego deficitario en el cultivo de papa. Actualmente, ante la escasez del recurso hídrico, se vienen realizando trabajos de investigación que buscan optimizar el uso del agua en cultivos de mayor demanda como es la papa. Una forma de optimizar el recurso hídrico es la aplicación del riego en forma restringida, es decir reducir las láminas de riego en porcentajes hasta de un 30 por ciento sin que merme los rendimientos promedios de los cultivos. Para ello, existen dos formas de reducción del agua de riego. Una de ellas es el riego deficitario controlado (RDC) que consiste en reducir la lámina de riego de 100 por ciento de la ET_c a láminas entre 80 y 70 por ciento de la ET_c . La otra forma es el riego desecación parcial de la zona de raíces (PRD) que consiste en aplicar el agua de riego en forma alternada (dos riegos consecutivos); es decir, en el primer riego, solo se riega la mitad de la raíz; luego la otra zona radicular se puede reducir la lámina de riego hasta un 50 por ciento de la ET_c en periodos no críticos al déficit hídrico por parte de los cultivos.

El trabajo de investigación se realizó en la Universidad Nacional Agraria La Molina en un área experimental de 500 m² en campañas efectuadas en el 2007, 2009 2016, 2017 y 2022. En el año 2007, se realizaron 2 experimentos: uno con mangueras de polietileno de 16 mm en 12 parcelas experimentales y con cintas de riego en 8 parcelas experimentales con el sistema de riego por goteo. En este, se probaron 2 tratamientos: el riego testigo (RN) al 100% de las necesidades hídricas del cultivo y el sistema de PRD con una dosis de riego del 50% de las necesidades hídricas del cultivo, partir de la segunda fase del periodo vegetativo desde los 37 días hasta la cosecha. (105 días). En el año 2009, se realizó un ensayo de bulbos de humedad con riego por goteo en condiciones de aporque, debido a que no se conseguía una adecuada aplicación del agua de riego a través del lomo del surco. Los resultados experimentales definen la forma y dimensión del bulbo húmedo en un suelo de textura franco, generado por un emisor auto compensado de 2,5 l/h, en terreno con y sin aporque para el cultivo en líneas como es la papa. Se ensayaron, dos disposiciones del lateral de riego para evaluar los bulbos de humedecimiento en un surco de forma trapecial de 30cm de corona, 80cm de base y 30cm de altura. En el año 2017, se realizaron dos ensayos. El primero, fue encontrar la mejor disposición de los emisores del riego de desecación parcial de raíces. Se estudiaron dos disposiciones: una paralela y una lineal con emisores en dos mangueras de riego. En dichas disposiciones, se evaluó la distribución de la humedad durante el desarrollo vegetativo de la papa, así mismo se implementó un aporque del tipo trapecial. El segundo ensayo consistió en la determinación del Kc de la papa con un lisímetro de drenaje. Finalmente, el año 2022, se planteó realizar un experimento del PRD en condiciones de campo que se aproxima a las parcelas que trabajan los fundos agrícolas con surcos de 50m de longitud, con la disposición de laterales recomendados y con adición de materia orgánica.

1.1. OBJETIVOS

- **Objetivo general**

Analizar el riego de secado parcial de raíces (PRD), a través del sistema de riego por goteo en el cultivo de papa.

- **Objetivos específicos**

- a. Evaluar el rendimiento del cultivo de papa al aplicar el riego de secado parcial de raíces (PRD) utilizando cintas de riego.
- b. Evaluar el rendimiento del cultivo de papa al aplicar el riego de secado parcial

de raíces (PRD) utilizando mangueras de 16mm como laterales de riego.

- c. Evaluar la forma y dimensión del bulbo húmedo a dos líneas paralelas y una sola línea lateral de riego por goteo, bajo condiciones de aporque en un suelo franco.
- d. Evaluar el efecto de la disposición de los componentes laterales de un sistema de riego por goteo en el rendimiento de la papa, utilizando el método de secado parcial de la zona de raíces PRD, y reponiendo láminas de agua equivalentes al 100 y 50% de la ETc del cultivo.
- e. Determinar el coeficiente de cultivo (Kc) de la papa variedad única, utilizando un lisímetro de drenaje.
- f. Evaluar el efecto de la adición de materia orgánica en el rendimiento del cultivo de papa variedad única, utilizando el riego de secado parcial de la de raíces PRD, con el sistema de riego por goteo
- g. Determinar el volumen de agua utilizado por el cultivo de papa al aplicar el riego de secado parcial de raíces (PRD) con el sistema de riego por goteo.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. EL CULTIVO DE LA PAPA

La papa (*Solanum tuberosum* L.) se cultiva ampliamente en todo el mundo, debido a su rica nutrición, facilidad de cultivo y alto rendimiento (Wang *et al.* 2020b). Actualmente, es el cuarto cultivo alimentario más importante del mundo, después del trigo, el arroz y el maíz, con una superficie de 19,3 millones de hectáreas y una producción de 388,2 millones de toneladas (Waqas *et al.* 2021). Se cultiva en más de 100 países, y alimenta a más de mil millones de personas en todo el mundo (Islam *et al.* 2020). Los tubérculos de papa proporcionan una gran cantidad de carbohidratos y proteínas en la dieta. La mayoría está representada por, almidón (60–80 por ciento de la materia seca), azúcares reductores y ácidos orgánicos, cuyo contenido se ve significativamente afectado por la variedad, el ambiente del suelo y sus interacciones (Romano *et al.* 2018). La calidad de la papa se modifica significativamente con la variedad y las condiciones de cultivo (Jama-Rodzeńska *et al.* 2020). Por lo tanto, es una medida clave para mejorar la calidad y el rendimiento de los tubérculos de papa y para identificar diferentes variedades de papa y ambientes de suelo, así como sus efectos de interacción. Por otro lado, la mayoría de las variedades de papa tiene raíces poco profundas y rara vez se estiran, por lo que están más sujetas al suministro de agua que la mayoría de los otros cultivos (Wagg *et al.* 2021).

La primera respuesta de la planta de papa al déficit hídrico es el cierre estomático (Büßis *et al.* 1998). Este reduce el intercambio de gases entre las células de las hojas y el medio ambiente, así como la pérdida de agua. (Wilkinson y Davies 2002). Sin embargo, el cierre de estomas aumenta la temperatura de la hoja, y reduce la difusión de dióxido de carbono en las hojas, lo que reduce la fotosíntesis (Schapendonk *et al.* 1989). El déficit de agua también reduce la presión del agua en las células vegetales (Miranda *et al.* 2021). Sin fotosíntesis y presión de agua adecuadas, el crecimiento y la calidad de los tubérculos de papa se verán limitados (Wagg *et al.* 2021). Asimismo, ese déficit, a corto plazo, tiene un efecto negativo en el crecimiento y desarrollo de la papa, especialmente durante la germinación y expansión de los tubérculos (Demirel *et al.* 2020). Su efecto en el rendimiento de los tubérculos de papa depende de la severidad del estrés, el suministro de nutrientes del suelo y la tolerancia de las variedades de papa (Grados *et al.* 2020; Jacques *et al.* 2020). En la etapa temprana del crecimiento de la papa, el déficit hídrico disminuyó

el área foliar y el número de tubérculos de la papa, mientras que en la etapa tardía disminuyó el grado de reducción del área foliar, pero tuvo efectos significativos en el tamaño y la calidad de los tubérculos (Ávila-Valdés *et al.* 2020). Sin embargo, otro punto de vista sostiene que el estrés temprano es el más desfavorable para la nodulación y la expansión, mientras que la disminución en el rendimiento de los tubérculos es el resultado de la reducción en la tasa de asimilación de carbono (Aliche *et al.* 2020). La deficiencia de agua también provoca un desorden fisiológico de la papa y una disminución en el contenido de materia seca y almidón del tubérculo (Carli *et al.* 2014). Por otro lado, las papas se cultivan principalmente por sus tubérculos. Las hojas fuente sintetizan carbohidratos a través de la fotosíntesis, y el producto final de la fotosíntesis es la sacarosa, que se transfiere al estolón y se convierte en almidón, que es el proceso fisiológico clave de la germinación y el crecimiento de los tubérculos de papa (Dahal *et al.* 2019). La coordinación efectiva entre estos procesos determina el rendimiento y la calidad de los tubérculos. Por lo tanto, estudiar la interacción entre la humedad del suelo y los nutrientes es una forma efectiva de revelar la influencia del déficit hídrico en el rendimiento y la calidad de la papa. Además, la papa es una planta intensiva en nitrógeno con baja eficiencia de absorción de nitrógeno (Gitari *et al.* 2018). La siembra de papa en condiciones de sobre fertilización en busca de un alto rendimiento tiene un alto potencial de pérdida de N (Jahanzad *et al.* 2017). El alto contenido de nitrógeno nitrato en la zona de la raíz de la papa, causado por la fertilización excesiva, es el principal problema que enfrentan los agricultores (Abdo *et al.* 2020). El aumento de la acumulación de nitratos en los tubérculos de papa, causado por la aplicación excesiva de fertilizantes nitrogenados, causará muchas enfermedades a los humanos; y representará una amenaza para la salud de toda la sociedad (Jovovic *et al.* 2021). La aplicación excesiva de nitrógeno y potasio, así como los niveles excesivos de nutrientes en el suelo, pueden reducir el rendimiento y la calidad de los tubérculos (Ayyub *et al.* 2019). La fertilización excesiva con nitrógeno no solo contamina los sistemas de agua y el medio ambiente, sino que también causa pérdidas económicas a los agricultores cuando los cultivos no absorben el nitrógeno (Ierna y Mauromicale 2019). Para obtener un rendimiento de biomasa adecuado, se requiere una aplicación equilibrada de nitrógeno, lo que conduce a un rendimiento estable y la producción de tubérculos de buena calidad (Koch *et al.* 2020). Por lo tanto, encontrar la tasa de aplicación óptima para reducir la acumulación de nitrato a límites aceptables es un tema importante. La humedad adecuada del suelo puede promover la absorción y utilización de los nutrientes del suelo por parte de las papas (Mugo *et al.* 2020). Las

prácticas de producción modernas incluyen optimizar el uso de nitrógeno y agua para optimizar la producción de cultivos y minimizar el riesgo de lixiviación de nitrógeno en las aguas subterráneas (Badr *et al.* 2012). La deficiencia de agua conduce a tubérculos de papa más pequeños y menor rendimiento, pero existen diferencias significativas en las variedades para hacer frente al estrés hídrico (Ahmadi *et al.* 2014; Mattar *et al.* 2021). Los rendimientos de papa de primavera (Cv. Draga) fueron casi el doble que los rendimientos de papa de otoño (Cv. Diamont) con ambos métodos de riego y todos los tratamientos con nitrógeno (Janat 2007). Los efectos del agua y los fertilizantes nitrogenados en el crecimiento de los cultivos de papa han sido ampliamente estudiados, pero los resultados difieren. Esto puede deberse a diferentes variedades de cultivos, densidades de plantas, tipos de suelo y condiciones climáticas.

2.2. RIEGO POR SECADO PARCIAL DE LA RAÍZ

El riego parcial de la zona de la raíz (PRD) es una forma modificada de riego deficitario (DI), que implica regar solo una parte de la zona de la raíz en cada riego; la otra se deja, se deja secar a un cierto contenido de humedad en el suelo antes de volver a mojar cambiando el riego al lado seco. Por lo tanto, el PRD es una estrategia de riego que permite optimizar el uso del recurso hídrico. En la Figura 1, se muestra un diagrama del riego total 100 por ciento del ETo (FI) el riego deficitario controlado (DI) y el riego parcial de la zona de raíces (PRD). (Ahmad *et al.* 2020; Rashid *et al.* 2019; Ahmadi *et al.* 2010).

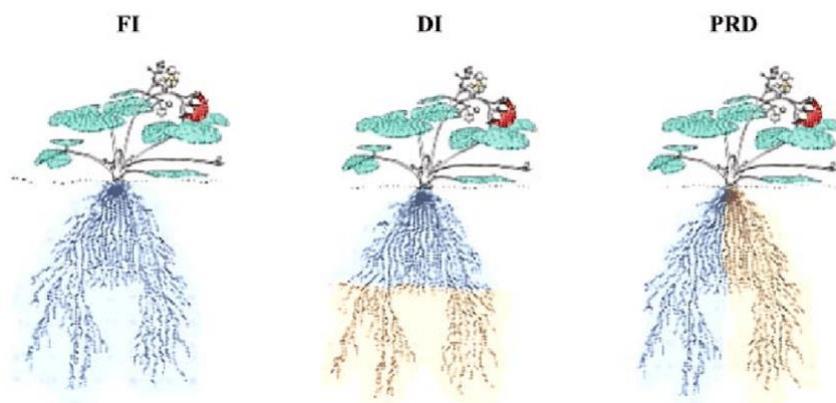


Figura 1: Esquema del patrón de riego total FI, riego deficitario controlado DI y riego parcial de la zona de raíces PRD

Fuente. Davies y Hartung (2004)

Originalmente, el concepto PRD fue utilizado, principalmente, por Grimes *et al.* (1968) en un ensayo experimental de algodón en los EE. UU., mediante el uso de alternancia en el sistema de riego por surcos. Luego, trabajado por Sepaskhah y Sichani (1976), y Samadi & Sepaskhah (1984) en cultivos (frijoles) utilizando dos métodos de riego por goteo conocidos como superficial y subterráneo. Posteriormente, se realizaron muchos estudios PRD en Australia y diversas partes del mundo; y se probó esta estrategia de riego en varios cultivos hortícolas y árboles frutales, como el frijol (Sepaskhah *et al.* 1976; Samadi & Sepaskhah 1984), la remolacha azucarera (Sepaskhah & Kamgar-Haghighi 1997), las uvas (Loveys *et al.* 2000; Kriedman y Goodwin 2003), maíz (Kang y Zhang 2004); frijol verde (Gencoglan *et al.*, 2006); manzana (Leib *et al.* 2006), durazno (Gong *et al.* 2005), papa (Shahnazari *et al.* 2007; Shayannejad 2009; Ahmadi *et al.* 2010b) y tomate (Zegbe *et al.* 2004; Wang *et al.* 2013). Por otro lado, humedecer y dejar secar cada lado de la zona de raíces de la planta depende de los cultivos, la etapa de crecimiento, la evaporación, demandas de agua, textura del suelo y balance hídrico del suelo (Saeed *et al.* 2008). Kriedmann y Goodwin (2003) mencionan que cuando la extracción de agua del suelo del lado húmedo es despreciable, debe cambiarse al lado no regado. Además, Liu *et al.* (2008) afirman que el cambio debería basarse en el contenido umbral de humedad del suelo en el que se produce la máxima concentración de ácido abscísico de xilema (ABA). El ABA es una hormona vegetal que es producido en las raíces en suelos secos y es transportado por el flujo de agua a través del xilema para regular la fisiología de la planta (Kang y Zhang, 2004). Por lo tanto, en las raíces del PRD del lado seco induce la producción de ABA que reduce la expansión de la hoja y la conductancia estomática. Al mismo tiempo, las raíces en el suelo húmedo absorben suficiente agua para mantener un nivel adecuado de agua en la planta (Zegbe *et al.* 2006; Liu *et al.* 2006a; Ahmadi *et al.* 2010a, Iqbal *et al.* 2019a,b). En varias investigaciones sobre el cultivo de papa, Ahmadi *et al.* (2010b) mostraron que el riego parcial de raíces PRD y el riego deficitario DI no tienen efectos significativos en el rendimiento fresco y en la productividad del agua de las papas cultivadas en el campo en comparación con Riego completo (FI) Ahmadi *et al.* (2010b). Liu *et al.* (2006a) estudiaron los efectos del PRD sobre las respuestas fisiológicas de la papa en condiciones de invernadero y de campo; indicaron que, la eficiencia del uso del agua aumentó en PRD en relación con FI, mientras que el PRD redujo la cantidad de agua de riego en un 30 por ciento, aumentó la eficiencia en el uso del agua en un 60 por ciento, sin una reducción significativa en el rendimiento del tubérculo. Liu *et al.* (2006b) estudiaron los efectos de FI, PRD (50 por ciento de ET) y DI (50% de ET) sobre la eficiencia del uso del agua

(EUA) y el rendimiento de papa en las etapas de iniciación del tubérculo. Mostraron que el rendimiento del tubérculo de papa se redujo significativamente bajo DI y PRD en relación con el FI, que contrastó con su estudio anterior (Liu *et al.* 2006a) donde el rendimiento de los tubérculos fue similar para FI y PRD y comparado con el tratamiento con FI, PRD ahorró un 30 por ciento de agua y aumentó el EUA en 59 por ciento. También, indicaron que el PRD y el DI usaban un 37 por ciento menos de agua que el FI, aunque la eficiencia del uso del agua fue similar para el FI y el PRD y disminuyó significativamente en el DI. Sin embargo, otros estudios han indicado que la eficiencia de uso del agua (EUA) o productividad del agua (WP) se incrementó en PRD y DI (Ahmad *et al.* 2020; Rashid *et al.* 2019; Iqbal *et al.* 2019a; Shahnazari *et al.* 2007; Saeed *et al.* 2008; Jovanovic *et al.* 2010; Ahmadi *et al.* 2010b). Los resultados prácticos mostraron que los cultivos bajo PRD rendían mejor que bajo DI cuando se aplica la misma cantidad de agua. Esto da como resultado una mayor productividad de agua (WP), e incluso mejor calidad de fruta (Sepaskhah y Kamgar-Haghighi, 1997; Kang *et al.* 1998; Kriedmann y Goodwin 2003; Kirda *et al.* 2004; Kang y Zhang 2004; Liu *et al.* 2006a; Leib *et al.* 2006; Shahnazari *et al.* 2007). Sin embargo, Wakrim *et al.* (2005) reportaron que no hay diferencias significativas entre las eficiencias de uso de agua (EUA) en PRD y DI, pero dieron como resultado un aumento sustancial de EUA en comparación con el riego total (FI). El PRD se puede usar de diferentes maneras dependiendo de los cultivos y/o las condiciones del suelo, condiciones ambientales y el método de riego. El riego en surcos en forma alternada se usó con éxito como un sistema de riego que ahorra agua (Grimes *et al.* 1968); y se adoptó para diferentes cultivos. El PRD ha sido utilizado a través del sistema de riego por goteo de superficie y subsuelo para cultivos tales como frijoles (Sepaskhah y Amin-Sichani 1976), pimienta (Kang *et al.* 2001), manzana (Leib *et al.* 2006), papa (Liu *et al.* 2006a; Shahnazari *et al.* 2007; Shahnazari *et al.* 2008; Ahmadi *et al.* 2010b), tomate (Kirda *et al.* 2004; Kaman *et al.* 2006), algodón (Du *et al.* 2008a) y uva (de la Hera *et al.* 2007; Du *et al.* 2008b).

2.3. PRD EN TEORÍA

La Tabla 1 representa el efecto del estrés hídrico en las plantas a nivel fisiológico, bioquímico y niveles moleculares en un cultivo en el que se aplica el PRD como un riego en que se ahorra agua. Puede mostrar diversas respuestas al déficit hídrico en términos de estos tres niveles según la severidad y tiempo del estrés hídrico. Los efectos en los niveles

fisiológicos y morfológicos juegan roles importantes en la regulación del desarrollo reproductivo de los cultivos, que se relacionan directamente con propiedades cuantitativas y cualitativas del rendimiento (Liu *et al.* 2005b).

Tabla 1: Bases fisiológicas y moleculares de la tolerancia al estrés hídrico

ESTRÉS POR DEFICIT HIDRICO		
Respuestas fisiológicas	Respuestas Bioquímica	Respuesta Molecular
<ul style="list-style-type: none"> • Reconocimiento de la señal de la raíz • Pérdida de turgencia y ajuste osmótico • Reducción del potencial hídrico foliar • Disminución en la conductancia estomática a CO₂ • Disminución de la concentración interna de CO₂ • Disminución de la fotosíntesis neta • Tasas de crecimiento reducidas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Disminución transitoria en la eficiencia foto física • Aumentar la eficiencia de Rubisco • Acumulación de metabolitos del estrés como MDHA, Glutathione Pro, Glybet, Polyamines y tocopherol • Aumento de enzimas antioxidantes como SOD, CAT APX, POX, GR y MDHAR • Reducción de la acumulación de ROS 	<ul style="list-style-type: none"> • Expresión sensible al estrés • Aumento de la expresión en los genes biocinéticas de ABA • Expresión de genes sensibles a ABA • Síntesis de proteínas específicas como LEA, DSP, RAB, deshidrinas • Tolerancia al estrés por sequía

Fuente. Shao *et al.* (2008)

2.4. SEÑALIZACIÓN QUÍMICA E HIDRÁULICA EN PRD

Las raíces en suelo seco producen más ácido abscísico ABA que en condiciones normales (Davies y Zhang 1991) e impulsa una señal química antiestrés desde la raíz para limitar la transpiración; y, por lo tanto, la conductancia estomática (Stoll *et al.* 2000; Kang y Zhang 2004; Liu *et al.* 2005b; Liu *et al.* 2006a; Bauerle *et al.* 2006). En caso de estrés hídrico leve, ABA emite una señal química principal (CS) que actúa antes del cambio del estado del agua de la planta señal hidráulica, (HS). Sin embargo, bajo estrés hídrico severo, tanto la señal química (CS) como la señal hidráulica (HS) pueden participar en la regulación de los procesos fisiológicos de las plantas (Ali *et al.* 1999; Liu *et al.* 2003; Liu y otros, 2005b). En algunas plantas, la CS y la HS ocurren independientemente una de la otra, mientras que en otras tienen lugar de manera dependiente (Tardieu y Davies 1993; Comstock 2002; Wakrim *et al.* 2005). Cuando se produce un equilibrio entre la CS y la HS en el PRD, las raíces en el lado mojado absorben suficiente agua para mantener un

alto potencial de agua en los brotes, y las raíces en el lado seco producen ABA para una posible reducción en la conductancia estomática. Este mecanismo optimiza el uso de agua y aumento de WP (Kang *et al.* 2000b; Sobeith *et al.* 2004; Zegbe *et al.* 2004; Zegbe *et al.* 2006; Liu *et al.* 2006b; Saeed *et al.* 2008; Ahmadi *et al.* 2010b).

Otras señales químicas actúan como el pH, la concentración de iones inorgánicos, y otras hormonas vegetales (Wilkinson 1999; Stoll *et al.* 2000). Una tensión hídrica leve en el suelo reduce la absorción de nutrientes, y aumenta el pH de la savia del xilema. Esto permite mayores cantidades de ABA en la hoja que se transloca a los estomas a través de la corriente de transpiración (Davies *et al.* 2002; Dodd 2003; Taiz y Zeiger 2006). Mayor pH en la savia del xilema es considerado como señal de sequía para la reducción del alargamiento de la hoja a través de un mecanismo dependiente de ABA (Liu *et al.* 2003).

2.5. INTERCAMBIO DE GASES EN PRD

También hay un intercambio de gases en PRD el agua se pierde como transpiración y el CO₂ se absorbe para la fotosíntesis a través de los estomas. Por lo tanto, cualquier variación en la apertura de las estomas afecta la conductancia estomática (gs) y la tasa de fotosíntesis (An). La tasa fotosintética (An) no es tan sensible al estrés hídrico leve como la expansión de la hoja. Esto se debe a que la An es mucho menos sensible a una disminución de la presión de turgencia en comparación con expansión de hojas (Taiz y Zeiger 2006). Sin embargo, el estrés hídrico severo generalmente influye tanto la tasa fotosintética An y la conductancia estomática gs.

La conductancia estomática reducida en etapas tempranas de estrés hídrico inhibe la tasa de la concentración de CO₂ intercelular que es el factor determinante para fotosíntesis. En otras palabras, debido a la relación no lineal entre la An y la gs, existe una menor sensibilidad de la An que la gs al estrés hídrico, aumenta la productividad de agua con estrés hídrico leve (Davies *et al.*, 2002; Liu *et al.*, 2005c; Liu *et al.* 2006a). En estrés hídrico severo, el potencial de agua en las células del mesófilo de la hoja disminuye, y los estomas se cierran en mayor medida. Ello inhibe la tasa de fotosíntesis a esto, se conoce como señalización hidráulica (Taiz y Zeiger 2006).

La ventaja de PRD sobre DI es la absorción de agua del lado húmedo del sistema de raíces mantener un estado de humedad de la planta favorable, mientras que las raíces en el lado seco promueven el aumento en la producción de ABA que disminuye la g_s (Tang *et al.* 2005; Costa *et al.* 2007; Shahnazari *et al.* 2007; Du *et al.* 2008b; Saeed *et al.* 2008) y aumentar la eficiencia del uso del agua (Davies *et al.* 2002). Varios estudios en diferentes condiciones ambientales han demostrado que mientras que la conductancia estomática g_s podría reducirse en PRD (el grado de reducción depende de la sensibilidad a la sequía del cultivo y / o severidad de la sequía), pero la tasa fotosintética A_n no se ve significativamente afectada en comparación con el riego total (Costa *et al.* 2007; Ahmadi 2009; Ahmadi *et al.* 2010a). Estudios sobre algodón (Tang *et al.* 2005; Du *et al.* 2006; Du *et al.* 2008a), pimiento picante (Kang *et al.* 2001), maíz (Kang *et al.* 2000a; Kang *et al.* 2000b; Du *et al.* 2010), uva (de la Hera *et al.* 2007; Du *et al.* 2008b), papa (Liu *et al.* 2006a; Liu *et al.* 2008; Ahmadi *et al.* 2010a), tomate (Zegbe *et al.* 2004; Campos *et al.* 2009) y manzana (Zegbe y Behboudian 2008) han demostrado que tasa fotosintética A_n en PRD no se reduce en comparación con las plantas completamente regadas.

Para simular el intercambio de gases, se desarrollaron muchos modelos matemáticos (ya sean físicos o empíricos) para representar la relación entre el intercambio de gases y los parámetros ambientales (A_n , g_s , concentración de xilema ABA, humedad relativa y concentración de CO_2) bajo diferentes condiciones de estrés (Ball *et al.* 1987; Tardieu 1993; Gutschick y Simonneau 2002; Liu *et al.* 2009).

2.6. DESARROLLO DE RAÍCES Y CAPTACIÓN DE AGUA

El desarrollo y la distribución de las raíces se ven afectados por su distribución espacial y temporal del agua del suelo (Wang *et al.*, 2006). Además, afectan la absorción de agua y nutrientes del suelo para mantener las actividades fisiológicas de la parte aérea del cultivo. Cuando existe estrés leve, el agua en el suelo conduce a un crecimiento de raíces preferencial en la zona del suelo húmedo. La absorción de agua es mediante la expansión del sistema de raíz, y genera un aumento de la densidad de longitud de raíz (RLD, cm de raíz por cm^3 suelo) (Benjamin y Nielsen 2006; Songsri *et al.* 2008). Estudios de PRD reportaron una mejora en el desarrollo de la longitud de la raíz primaria e inhibición de la raíz secundarias (Kang *et al.* 2000b), aumentando el crecimiento de la masa de las raíces (Dry *et al.* 2000) y (Kang *et al.* 2000a; Mingo *et al.* 2004) aumentando la conductividad

hidráulica de la raíz inducida por ABA (Glinka 1980; Taiz y Zeiger 2006; Thompson *et al.* 2007) y mejoran la aceptación de los nutrientes por parte de la planta (Wang *et al.* 2009). La tasa de absorción de agua de la planta mejora después de volver a regar en condiciones de estrés hídrico, en comparación al riego completo. Esto se obtiene debido a la mejora de la conductividad hidráulica de la raíz en sistemas que están sometidos a estrés hídrico (Kang y Zhang 2004). Esta compensación en la conductividad hidráulica de la raíz podría explicarse por nuevas raíces secundarias y cambios en las raíces viejas cuando se exponen a la re humectación (Kang y Zhang 2004). Otros estudios han demostrado que la absorción de nutrientes es mayor en PRD que en riego completo FI para diferentes cultivos de campo (Kirda *et al.* 2005; Li *et al.* 2007; Shahnazari *et al.* 2008; Wang *et al.* 2009). Esto se debe a que las raíces recién formadas en PRD mostraron una mayor recuperación de nutrientes del suelo debido a la mayor disponibilidad de agua en el suelo (Kang y Zhang 2004). El agua del suelo en el lado mojado del PRD se agota de manera más efectiva que lado correspondiente en el riego completo FI (Kang *et al.* 2000b, Kang *et al.* 2003, Rodrigues *et al.* 2008). Esto indica que el sistema de raíz puede compensar parcialmente el agua limitado por la disponibilidad en el lado seco de PRD, debido a un aumento en la conductividad hidráulica de la raíz. Se observó un gradiente hidráulico más grande en la interfaz suelo-raíz bajo PRD que el riego completo FI (Liu *et al.* 2006a). Esto explica la mayor tasa de extracción de agua de suelo en PRD. El riego deficitario (DI) tiene desventajas adicionales con respecto al PRD, que se prolonga la expansión de las raíces al suelo seco (DI) puede causar cambios anatómicos en las raíces, tales como tuberización de la epidermis, colapso de la corteza y pérdida de raíces secundarias suculentas (North y Nobel 1991, 2008).

2.7. EFICIENCIA DE USO DEL AGUA (EUA)

El término "eficiencia en el uso del agua" (EUA) se usa para expresar el rendimiento del cultivo por unidad de evapotranspiración. El cierre estomático parcial y la reducción del área foliar se produjeron, debido al aumento del ácido absísico [ABA]. Estas son las principales respuestas fisiológicas para disminuir la transpiración en plantas bajo PRD y para mejorar la "productividad del agua" WP (Davies *et al.* 2002). Por otro lado, la eficiencia del uso del agua se define como la tasa de acumulación de biomasa por unidad de agua consumida ya sea evapotranspirada y/o transpirada por las plantas (Tanner y Sinclair 1983). Además, la WUE se utiliza como un índice que permite estimar el impacto

que pueden tener diferentes condiciones de riego limitadas, en la producción de cultivos en una zona geográfica determinada (Fairweather *et al.* 2003). En relación con a lo anterior, la interpretación del aumento de la WUE, según Tanner y Sinclair (1983), se entiende por un ahorro en el agua utilizada por el cultivo, o bien, por el aumento de la producción por unidad de agua transpirada.

$$WUE = \frac{\partial B}{\partial A}$$

Donde:

WUE = Eficiencia del uso del agua

∂B = Unidad de biomasa producida

∂A = Unidad de agua utilizada o consumida

2.8. PRODUCTIVIDAD DEL AGUA (WP)

El concepto de productividad del agua fue establecido por Kijne, *et al.* (2003) como una medida sólida para determinar la capacidad de los sistemas agrícolas de convertir el agua en alimento. La productividad del agua (WP) se define como la cosecha física o económica por unidad de agua consumida por el cultivo (en $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ o $\text{\$}\cdot\text{m}^{-3}$). El numerador puede ser expresado en términos de rendimiento ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) o en términos económicos ($\text{\$}\cdot\text{ha}^{-1}$), mientras que en el denominador puede usarse la transpiración, la evapotranspiración, el agua aplicada o agua aplicada y lluvia, entre otros (González-Robaina *et al.* 2011). En los últimos 20 años, se ha incrementado considerablemente el uso del PRD en diferentes cultivos. Zhang (2003) define la “productividad del agua” (WP) como el rendimiento del cultivo por unidad de agua de riego aplicada. Estudios realizados (Sepaskhah *et al.* 1997; Davies *et al.* 2002; Zegbe *et al.* 2004; Sepaskhah & Khajehabdollahi 2005; Shani - Dashtgol *et al.* 2006; Fereres y Sariano 2007; Costa *et al.* 2007; Shahnazari *et al.* 2007; Geerts & Raes 2009; Ahmadi *et al.* 2010b.) Confirmaron que el uso de PRD mejoró la productividad del agua WP en un 82 por ciento en comparación con el riego total FI, sin una reducción significativa en los rendimientos. Sin embargo, es preciso ampliar estudios sobre:

- i) Cambios hormonales producidos por el PRD a largo plazo en el desarrollo reproductivo,
- ii) Si la señalización química en PRD es diferente de DI,

- iii) Las diferencias en el patrón de captación de agua en el suelo, crecimiento de la raíz y cómo la redistribución del agua de las raíces puede influir en la señalización química en raíces secas, y
- iv) La duración y el mejor momento para la aplicación de PRD según el cultivo, suelo y especificaciones del sitio.

2.9. BULBO HÚMEDO

Pizarro (1996) define como bulbo húmedo a la parte del suelo humedecida por un emisor de riego localizado. Gispert y García (1999) denominan volumen húmedo del suelo a la variada disposición tridimensional que puede ocupar el frente de humedad del agua de riego en un determinado suelo, a partir de un punto de irrigación (gotero, microaspersor, manguera, cinta) en un sistema de riego localizado. Sostienen que el grado de desarrollo del volumen húmedo depende de varios factores como: estructura y estratificación del suelo; tipo y caudal del irrigador; tiempo de riego; altura del irrigador; pendiente de la parcela y el contenido de humedad del suelo al inicio del riego. Gispert (2003) dice que, en los sistemas de riego a presión, especialmente en micro-irrigación, donde el agua es aportada gota a gota o pulverizada, esta se desplaza por el suelo en función de las propiedades físico-químicas de su entorno. La forma y dimensiones del volumen húmedo dependen de las propiedades y características del perfil físico del suelo, del volumen de agua aplicado, caudal del emisor, contenido de agua presente en el suelo al inicio del riego y topografía del terreno. Peña-Brown (2000) reporta que los resultados de pruebas de campo en suelo Oxisol la forma y dimensión del bulbo húmedo generado por diferentes tipos de goteros corresponden a la forma geométrica de un elipsoide truncado donde el plano de corte es la superficie del suelo. Moya (2002) manifiesta que ha visto formas y diferentes dimensiones a lo teóricamente previsto, por lo que recomienda comprobar en la propia parcela mediante una barrena o azada la presencia de una capa impermeable, de la homogeneidad o no del suelo, además de los factores mencionados por otros autores. Gispert (2005) sostiene que la forma y tamaño del volumen de suelo húmedo, como factor esencial del diseño de un sistema de riego y uso eficiente del agua, dependerán del contenido inicial de agua en el suelo. Con respecto al solape, Fuentes (2003) define como la distancia recubierta por dos bulbos consecutivos con respecto al radio del bulbo húmedo. Pizarro (1996) dice que; el solape se define en forma de porcentaje, respecto al radio del bulbo húmedo.

El aporque es una labor agronómica que se realiza después del brote de la planta y cuando alcanza una altura determinada. Se coloca la tierra en los flancos de la plantación a lo largo de la hilera o línea de cultivo. Se hace con diversos propósitos de acuerdo con la especie cultivada. Entre ellos, busca mejorar el anclaje, favorecer el crecimiento de nuevas raíces, asegurar la nutrición, conservar la humedad del suelo o brindar protección a los frutos subsuperficiales. Ramos-Carranza (1999) hizo estudios del efecto de cuatro alturas de aporque en dos variedades de papa, y manifiesta que no encontró diferencia estadística entre los tratamientos de altura de aporque.

2.10. DISPOSICIÓN DE LOS EMISORES EN EL PRD CON EL SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO

La aplicación del agua de riego en el PRD con el sistema de riego por goteo se efectúa a través de dos disposiciones ensayadas en el presente trabajo de investigación: Doble lateral con emisores paralelos a una distancia de 20 cm. (Figuras 2 y 3) y Doble lateral juntas con los emisores alternados cada 60cm y defesados 30 cm del primer emisor al segundo emisor (Figuras 4 y 5).

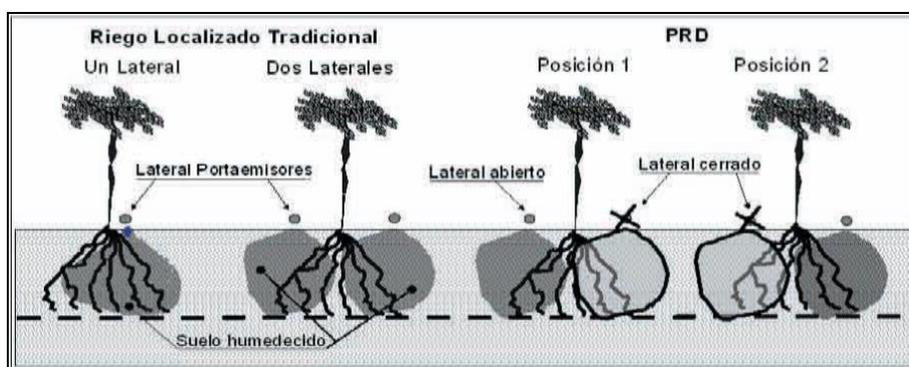


Figura 2: Esquema de dos formas de aplicación de agua

Fuente. Sánchez y Meza (2014)

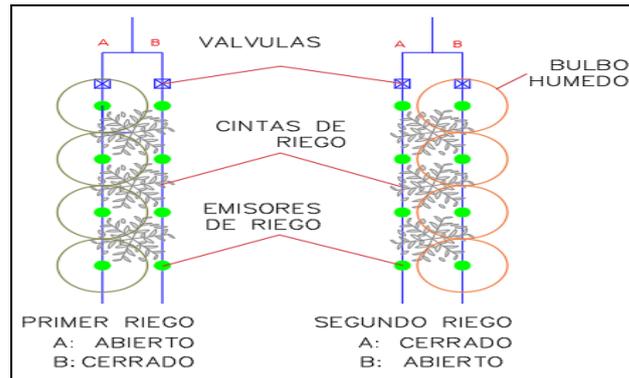


Figura 3: Vista en planta de la disposición paralela de los emisores de un PRD.

Fuente. Sánchez y Meza (2014)

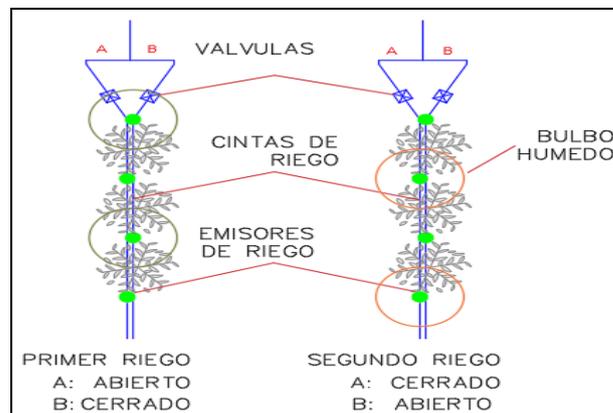


Figura 4: Vista en planta de la disposición lineal de los emisores de un PRD.

Fuente. Sánchez y Meza (2014)

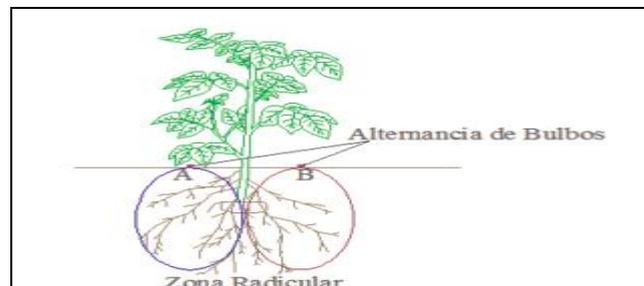


Figura 5: Vista perfil de la alternancia de aplicación de agua a la planta.

Fuente. Sánchez y Meza (2014)

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN

Para esta investigación, se realizaron 6 trabajos experimentales realizados en el campus universitario de la Universidad Nacional Agraria la Molina.



Figura 6: Ubicación de los experimentos

Los experimentos 1, 2 y 3 se llevaron a cabo en el área experimental de Riegos del Departamento de Recursos Hídricos, localizado al frente del laboratorio de Silvicultura de la Facultad de Ciencias Forestales. El 4 y 5 localizado a lado derecho de la entrada de la puerta principal de ingreso vehicular y el experimento 6 en el Centro de Investigación y Extensión en Riegos.

El trabajo de investigación se realizó a través de 6 experimentos:

1. Aplicación del riego desecación parcial (PRD) utilizando cintas de riego por goteo con el cultivo de papa variedad única
2. Aplicación del riego de desecación parcial (PRD) utilizando riego por goteo convencional el cultivo de papa variedad única.
3. Evaluación del bulbo húmedo en un suelo franco bajo condiciones de aporque y con el sistema de riego por goteo
4. Efecto de la disposición de los laterales de riego por goteo y secado parcial del suelo en el rendimiento de papa variedad única.
5. Determinación del coeficiente de cultivo (kc) de la papa variedad única utilizando lisímetro de drenaje
6. Efecto del uso de materia orgánica y el riego de secado parcial de raíces en el cultivo de papa variedad única.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. EXPERIMENTO 1. APLICACIÓN DEL RIEGO DESECACIÓN PARCIAL (PRD) UTILIZANDO CINTAS DE RIEGO POR GOTEO CON EL CULTIVO DE PAPA VARIEDAD ÚNICA

4.1.1. Introducción

El experimento fue realizado en la parcela demostrativa del Departamento de Recursos (DRH) de la Facultad de Ingeniería Agrícola, en la Universidad Nacional Agraria La Molina a una altitud de 238 m.s.n.m., 12° 05' 06'' de latitud sur y 76° 57' 00'' de longitud oeste, durante los meses de agosto a diciembre del 2008. El ensayo se realizó con cintas de riego con goteros espaciados cada 30cm.

4.1.2. Materiales y métodos

4.1.2.1. Material Vegetal

La variedad de papa con la que se trabajó fue UNICA, por ser apropiada para el consumo en fresco, y presentar tolerancia al calor pudiendo tuberizar con temperaturas nocturnas de hasta 16°C. La siembra se llevó a cabo el 21 de agosto de 2008. De acuerdo con el análisis de suelos, la dosis de fertilización aplicada de NPK fue de 120 – 100 -100, correspondiente a una cantidad de 3,13 Kg de Urea, 2,61 Kg de Superfosfato triple y 2 Kg de cloruro de potasio. La fertilización fue en dos momentos. En la siembra, se aplicó la mitad del nitrógeno (urea), el 100 por ciento del fósforo (superfosfato triple) y el potasio (sulfato de potasio). La mitad restante se aplicó en el aporque. El control fitosanitario fue cultural y químico, con aplicaciones de productos químicos para el control de plagas y enfermedades. Las malezas se controlaron manualmente. Desde el inicio hasta el final del experimento, se irrigó con el agua proveniente del río Rímac a través del canal Ate, el que se deriva hacia el área experimental mediante canales revestidos para ser almacenada revestidos, para ser almacenada en un reservorio de 20 m³. Seguidamente, el agua ingresa al sistema de riego a través de la red primaria y laterales respectivos.

4.1.2.2. Tratamientos

El diseño estadístico empleado en la ejecución del trabajo fue el Diseño Completamente Randomizado con cuatro repeticiones cada uno. Un tratamiento testigo (T1) con una lámina de riego al 100 por ciento de la necesidad hídrica del cultivo; y otro bajo el sistema de PRD (T2) con una lámina de 70 por ciento de la necesidad hídrica del cultivo. Los datos se analizaron con el programa de cómputo utilizado para efectuar el análisis estadístico Statistical Analysis System (SAS).

El experimento tuvo un área neta de trabajo de 120 m² que se dividió en 8 parcelas experimentales de 15 m² cada una. Cada unidad experimental fue conformada por 3 líneas de riego de 5 metros de longitud, 12 correspondiente al Tratamiento Testigo (T1) y 24 correspondiente al PRD (T2). Para el caso del tratamiento testigo, se instaló por hilera de plantas, un lateral de riego a una distancia de 10 cm de la planta. En el PRD se instaló, por hilera de plantas, dos laterales de riego espaciados 0,20 m y emisores distribuidos cada 0.30 m en cada lateral. Cada línea de riego se operó de manera individual. Ello permitió alternar las aplicaciones de riego entre la parte izquierda y la parte derecha del sistema radical, tal como se indica en las figuras 19 y 20. El caudal de los emisores de la cinta de riego fue de 1,0 l h⁻¹. El sistema permite dotar de agua a cada unidad experimental independientemente. Con la finalidad de controlar el volumen de agua aplicado, en cada parcela se instaló un caudalímetro. Para el control de la presión de trabajo del sistema de riego, se contó con un manómetro instalado al inicio de todo el sistema de distribución. El riego fue programado a partir de los datos climáticos de la estación Alexander Von Humboldt de la UNALM.

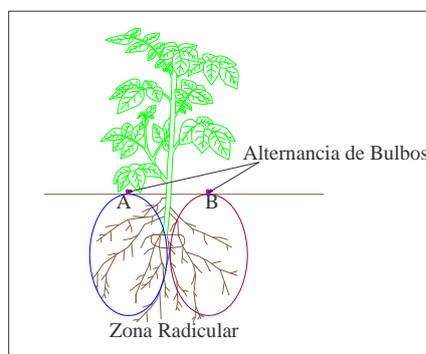


Figura 7: Vista Perfil de la alternancia de aplicación de agua a la planta

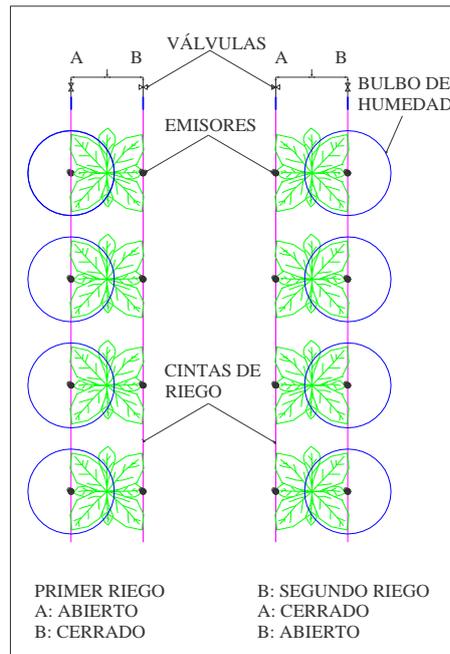


Figura 8: Vista en Planta de la alternancia de aplicación de agua a la planta

4.1.2.3. Contenido de Humedad

Durante la campaña, se hicieron en total 13 riegos en 2 etapas. La primera fue el período previo a la aplicación de tratamientos (fase no experimental) y la segunda fue la etapa de aplicación de tratamientos (fase experimental). La fase no experimental empezó desde que se hizo el primer riego, 3 días antes de la siembra, con la finalidad de humedecer el suelo para favorecer la brotación de los tubérculos. Luego, se hicieron 6 riegos de acuerdo con el régimen establecido cada 5 días. Durante esta fase, los riegos se hicieron de manera uniforme en todo el campo, ya que el objetivo era lograr que las plantas alcancen un desarrollo vegetativo y radicular uniforme y adecuado para la posterior etapa de aplicación de tratamientos. El régimen hídrico del suelo durante esta fase está representado en la Figura 9. Los picos de la curva indican los días en los que se realizaron los riegos. La fase experimental empezó a los 51 días después de la siembra, cuando se realizó el primer riego experimental, y se prolongó hasta el final de la campaña. Para determinar el contenido de humedad, se empleó el método gravimétrico y el método del tensiómetro en la fase no experimental y experimental respectivamente. En total, se hicieron 7 riegos experimentales, que se diferenciaron en lámina de agua (al 100 y 70 por ciento) a través del riego por goteo.

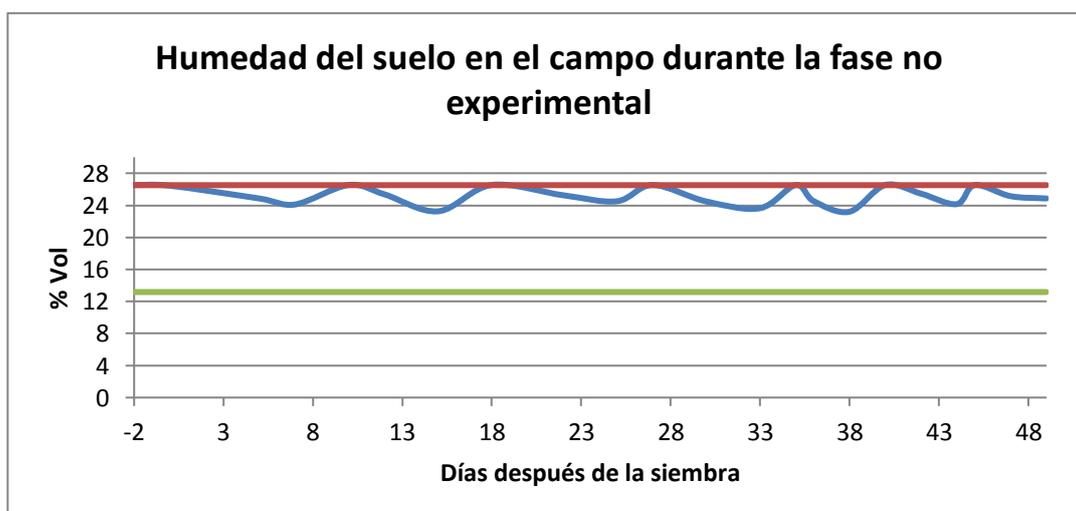


Figura 9: Humedad del suelo durante la fase no experimental

Nota. La línea de color azul representa la humedad de suelo, la línea roja la humedad a capacidad de campo y la línea verde la humedad a punto de marchitez.

La cosecha se realizó a los 107 días (06 de diciembre de 2008) después de la siembra; los rendimientos obtenidos están referidos en base a un surco central cosechado en cada unidad experimental.

4.1.2.4. Resultados y discusión

a. Evaluaciones experimentales del cultivo

- **Emergencia de plantas**

Para evaluar la emergencia de plantas, se realizaron observaciones en tres fechas diferentes. Se logró 99 por ciento de emergencia a los 26 días después de la siembra.

- **Altura de plantas**

Se midió desde el cuello de la planta hasta el final del tallo principal. Para evaluar el crecimiento de las plantas, se realizaron las mediciones de altura en el surco central de cada unidad experimental; y se tomó el promedio de los datos obtenidos.

b. Evaluaciones a la Cosecha

• Rendimiento (Kg ha⁻¹) Total de Tubérculos

Peso Total por hectárea: Es el valor estimado llevado a hectárea con relación al valor total hallado para cada unidad experimental. Para cada tratamiento de riego se ha considerado el producto final cosechado.

$$\text{Rdto (Kg/ha)} = \frac{\text{Peso x Parcela (Kg)}}{\text{Area de la parcela (m}^2\text{)}} \times 10000 \text{ m}^2$$

• Número de tubérculos/planta

Para evaluar el número de tubérculos, se realizó el conteo por planta en el surco central de cada unidad experimental. Luego, se tomó el promedio de los datos obtenidos.

• Rendimiento de Tubérculos por Categoría

Se tomaron los datos de cada surco central, y se clasificaron de acuerdo con a las categorías establecidas por el CIP. Esta clasificación se hizo sobre la base del peso de cada tubérculo y se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2: Clasificación del Rendimiento de Tubérculos por categoría

Categoría	Peso (g)
Extra	>=266
Selecta	135-265
Comercial	86-134
Doméstica	37-85
Baby	21-36
Otros	<20

c. Del Sistema de Riego

Presión Promedio de trabajo del sistema: Se evaluó durante todo el ciclo vegetativo del cultivo de papa.

Caudal: se evaluó a la siembra y al final del ciclo vegetativo del cultivo.

Coeficiente de Uniformidad del sistema de riego a la siembra del cultivo.

Eficiencia de uso de agua (Kg m^{-3}): en el presente trabajo, se entiende por eficiencia de uso de agua EUA, al rendimiento de tubérculos obtenidos por cada metro cúbico de agua aplicado.

$$\text{EUA (Kg/m}^3\text{)} = \frac{\text{Rendimiento de tubérculos comerciales (}\frac{\text{kg}}{\text{Ha}}\text{)}}{\text{Vol. de Agua Aplicado (}\frac{\text{m}^3}{\text{Ha}}\text{)}}$$

4.1.3. Resultado y discusión

4.1.3.1. Necesidad de agua del cultivo

Para el cálculo de las necesidades de agua del cultivo de papa, se hizo uso del programa diseñado por la FAO denominado CROPWAT, el cual permitió obtener, además de las necesidades de agua del cultivo, las fechas y número de riegos.

Evapotranspiración de referencia Eto según Penman – Monteith.

Haciendo uso del método Penman – Monteith, a través del programa CROPWAT, se determinó la ETP del cultivo de referencia el cual se muestra en la tabla 3, cuyos valores están comprendidos entre 1.95 (agosto) y 3.46 (noviembre) mm/día.

El valor de la precipitación para todos los meses se consideró nulo.

Tabla 3. Valores de Eto (mm/día)

Mes	Etp (mm/día)
Agosto	1,95
Setiembre	2,53
Octubre	3,05
Noviembre	3,46

4.1.3.2. Factor de cultivo Kc, Pr, F y Ky

Para el cultivo de papa variedad única, se tomó un período vegetativo de 105 días. Los valores de duración, Kc, profundidad de raíz, nivel de agotamiento y respuesta al rendimiento de cada fase de desarrollo del cultivo se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4: Datos del cultivo de papa

Etapas de crecimiento	Inicial	Desarrollo	Media	Final
Duración (días)	25	30	30	20
Coefficiente Kc	0,45	-	1,15	0,85
Profundidad Raíz Pr (m)	0,10	-	0,30	0,30
Nivel de Agotamiento F	0,25	-	0,25	0,25
Respuesta al rendimiento Ky	0,45	0,80	0,70	0,20

Fuente. Yagué (1996)

Asimismo, se tomaron en cuenta los siguientes valores que se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5: Características del suelo

Tipo de Suelo	Franco Arenoso
Humedad Disponible del suelo (mm/m)	140
Profundidad radicular máxima (mm)	0,30 m
Humedad inicial disponible en el suelo (mm/m)	140

Se establecieron intervalos de riego cada 5 días. En cada riego, se llegó hasta la capacidad de campo.

4.1.3.3. Cantidad de agua aplicada

En la Tabla 6, se observan las fechas de los riegos y volumen de agua aplicados en cada tratamiento durante la campaña; y está representado en la Figura 10. El número de riegos durante la fase no experimental fueron seis los que se caracterizaron por ser homogéneos y los cuales se dieron con intervalos de 5 - 9 días.

En la Tabla 7, se observa el volumen de agua aplicado en cada tratamiento durante la campaña. Como se muestra, durante la fase no experimental para el caso del tratamiento testigo (T1) se aplicó menor cantidad de agua que en la fase experimental, ya que en la fase experimental que corresponde desde la tuberización hasta la madurez completa el requerimiento hídrico es mayor (Egúsqüiza 2000), a diferencia del Tratamiento PRD que durante la fase experimental se aplicó el 70 por ciento de la lámina aplicada al T1, esto por ser objetivo de evaluación de este experimento. Sin embargo, el volumen total de agua aplicado durante la campaña en el tratamiento testigo (T1) es aceptable, comparado con Villa (1998) que menciona que, empleando el riego por goteo se obtiene un ahorro de agua

del 50 por ciento con respecto al riego por gravedad; además Rojas (2007), señala que la cantidad de agua utilizada por el cultivo de papa, empleando el sistema de riego por gravedad es de 3500 a 5000 m³ ha⁻¹ de terreno cultivado.

En total, la cantidad de agua aplicada al cultivo de papa para el T1 bajo el sistema de riego por goteo fue de 1 857 m³ ha⁻¹; comparando este resultado con los autores citados líneas arriba, se obtiene un ahorro de agua equivalente a 2 393,00 m³ ha⁻¹. Es decir, la cantidad de agua requerida por el cultivo representa el 43,70 por ciento del volumen total de agua utilizando el riego por gravedad, durante la campaña (03 meses).

Para el T2, la cantidad de agua aplicada al cultivo de papa bajo el sistema de riego por goteo fue de 1 181 m³ ha⁻¹, que comparado con el T1 representa un ahorro de agua equivalente a 676 m³ ha⁻¹. Es decir, la cantidad de agua requerida por el cultivo representa el 64% del volumen total de T1.

Tabla 6: Fecha de Riego y Volúmenes de Agua Aplicada en cada Tratamiento

FECHA	TRATAMIENTOS	
	T1	T2
31/08/2008	0,33	0,33
08/09/2008	0,35	0,35
17/09/2008	0,54	0,54
25/09/2008	0,66	0,66
30/09/2008	0,79	0,79
05/10/2008	0,93	0,93
Fase no experimental (m ³)	3,59	3,59
11/10/2008	1,08	0,76
20/10/2008	1,21	0,42
27/10/2008	1,25	0,44
02/11/2008	1,33	0,47
08/11/2008	1,37	0,48
13/11/2008		0,47
18/11/2008	1,29	0,45
Fase experimental (m ³)	7,55	3,49
Total Aplicado (m ³)	11,14	7,09
Nº de Riegos		
Uniformes	6	6
Diferenciados	6	7
Total	12	13

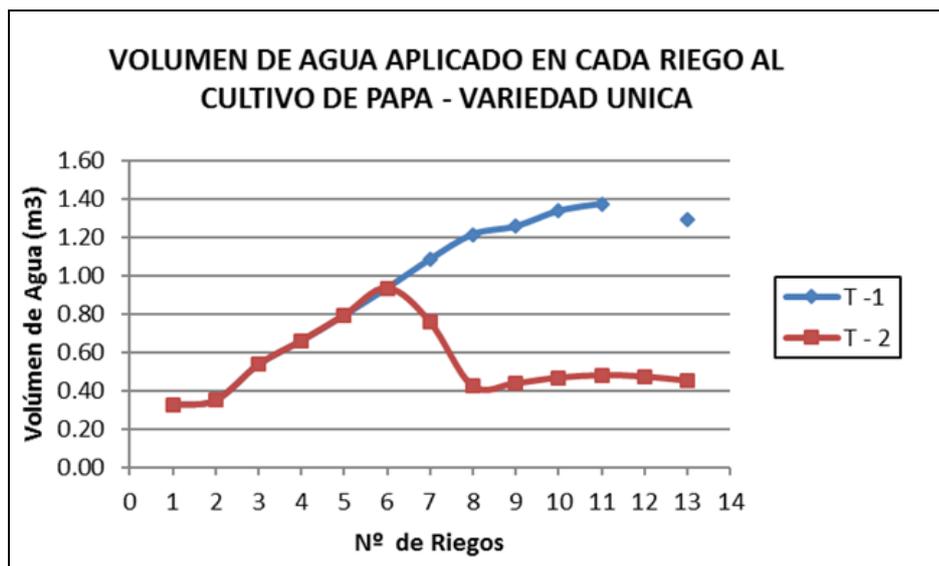


Figura 10: Volumen de agua aplicado en cada riego al cultivo de papa – variedad Única

Tabla 7: Volumen de agua aplicada ($m^3 ha^{-1}$) en cada tratamiento por etapa y campaña

Tratamiento	Fase no experimental	Fase experimental	Volumen total por campaña
T1	599	1 258	1 857
T2	599	582	1 181

4.1.3.4. Altura de planta

La variación de altura de planta de los tratamientos muestra una tendencia exponencial. Las plantas sometidas al tratamiento T1 mostraron una mayor intensidad de crecimiento entre los 50 y 65 días después de la siembra, alcanzando su máxima altura promedio de 90,18 cm a los 75 días, mientras las plantas sometidas al tratamiento T2 crecieron con mayor intensidad hasta los 55 días, alcanzando su máxima altura promedio de 72,65 cm a los 65 días, fecha a partir de la cual empezó a disminuir. Para la variable altura de planta, se detectaron diferencias altamente significativas ($P \leq 0,05$) entre los dos tratamientos, siendo mayor T1 que T2. Es decir, el riego con suministro normal de agua resultó ser más favorable que el riego parcial (Tabla 8 y 9).

Tabla 8: Análisis de variancia de altura de planta del cultivo de papa sometido a dos tratamientos de riego

FUENTE	GL	CM
Tratamientos	1	614,2512500 **
Error Experimental	6	0,4962500
Error Total	7	

Nota. * Significativo al 0,05 de probabilidad

** Significativo al 0,01 de probabilidad

CV = 0,865285%

Tabla 9: Comparación de medias de altura de planta del cultivo de papa sometido a dos tratamientos de riego según la prueba de Tukey a nivel de p=0.05

Tratamiento	Altura de planta cm
Testigo T1	90,1750 A
Riego parcial T2	72,65 B

4.1.3.5. Efectos sobre el rendimiento total, número de tubérculos por planta y rendimiento de tubérculos por categoría

a. Rendimiento Total

En la Tabla 10, se presentan los resultados del ANVA para los rendimientos totales de tubérculos de los tratamientos en estudio. Dichos resultados indican que existen diferencias altamente significativas entre ambos tratamientos en estudio. Por ello, en la Tabla 11, se presentan los resultados de la prueba de comparación de medias de Tukey, a nivel de $p=0,05$ para los tratamientos de riego.

Los rendimientos obtenidos fueron 40 010 y 31 480 Kg ha⁻¹ para T1 y T2, respectivamente. Como se puede observar, el tratamiento testigo (T1) fue mejor en comparación con el riego parcial (T2). Resultado similar fue obtenido por Rojas (2007) quien al estudiar la producción del cultivo de papa variedad UNICA detectó que el rendimiento de tubérculos fue menor en el PRD como consecuencia de la disminución de la lámina, 45 000 Kg ha⁻¹ para una lámina del 100 por ciento Etc y 31 000 Kg ha⁻¹ para una lámina del 50 por ciento de T1 utilizando riego por gravedad, valores que se encuentran en el rango a lo obtenido en el experimento de papa variedad única empleando riego por goteo. Con ello, se corrobora lo afirmado por Egúsquiza (2000) quien afirma que existe

una relación positiva y directa entre la cantidad de agua que dispone la planta y el rendimiento comercial.

Tabla 10: Análisis de variancia del rendimiento total del cultivo de papa sometido a dos tratamientos de riego

FUENTE	GL	CM
Tratamientos	1	145521800,0 **
Error Experimental	6	943133,3
Error Total	7	

Nota. * Significativo al 0.05 de probabilidad

** Significativo al 0.01 de probabilidad

CV = 2.716885 por ciento

Tabla 11. Comparación de medias del rendimiento total del cultivo de papa sometido a dos tratamientos de riego según la prueba de Tukey a nivel de p=0.05

Tratamiento	Rendimiento total Kg ha ⁻¹
Testigo T1	40 010,00 A
Riego parcial T2	31 480,00 B

b. Número de Tubérculos por planta

En la Tabla 12, se presentan los resultados del ANVA para el número promedio de tubérculos por planta. Los resultados nos indican que existen diferencias significativas para los tratamientos en estudio. Los números de tubérculos cosechados por planta para los tratamientos T1 y T2 fueron 13,72 y 10,72 respectivamente. De ello, se deduce que, para la producción obtenida de papa, el número de tubérculos por planta se incrementa a medida que aumenta la lámina de riego (Tabla 13).

Tabla 12. Análisis de variancia del número de tubérculos por planta (N Tub /pl) del cultivo de papa sometido a dos tratamientos de riego

FUENTE	GL	CM
Tratamientos	1	18,0000000*
Error Experimental	6	1,57916667
Error Total	7	

Nota. * Significativo al 0,05 de probabilidad

** Significativo al 0,01 de probabilidad

CV = 10,27934 por ciento

Tabla 13: Comparación de medias del número de tubérculos por planta (N Tub /pl) del cultivo de papa sometido a dos tratamientos de riego según la prueba de Tukey a nivel de $p=0,05$

Tratamiento	Número de tubérculos por planta (N Tub /pl)
Testigo T1	13,7250 A
Riego parcial T2	10,7250 B

c. Rendimiento de Tubérculos por categoría

En la Tabla 14, se muestran los resultados del ANVA para los rendimientos promedio de tubérculos, de acuerdo con el peso alcanzado, clasificados como categorías extra, selecta, comercial, doméstica, baby y otros. La Figura 11 nos permite apreciar el comportamiento de dichas categorías. El rendimiento de tubérculos para las categorías extra, selecta, doméstica, baby y otros no muestran diferencias significativas, mientras que para la categoría comercial existen diferencias significativas (Tabla 15).

Tabla 14: Análisis de variancia del número de tubérculos por planta del cultivo de papa sometido a dos tratamientos de riego

Fuentes	Grados de Libertad	Cuadrados Medios Rendimiento Extra	Cuadrados Medios Rendimiento Selecta	Cuadrados Medios Rendimiento Comercial	Cuadrados Medios Rendimiento Doméstica	Cuadrados Medios Rendimiento Baby	Cuadrados Medios Rendimiento Otros
Tratamientos	1	3726450 NS	5024450 NS	12500000.00 *	13624200.00NS	500000.000 NS	1800.00000 NS
Error Experimental	6	3316050	3936916.67	1299066.67	4234066.67	903866.667	7666.66667
Error Total	7						
CV (%)		20,24	20,80	15,00	31,20	39,61	14,24

Nota. Ns=No significativo. *Significativo al 0.05 de probabilidad. **Significativo al 0.01 de probabilidad

Tabla 15: Comparación de medias del número de tubérculos por planta del cultivo de papa sometido a dos tratamientos de riego según la prueba de Tukey a nivel de $p=0,05$

Variable	Tratamiento T1	Tratamiento T2	Significación
Rendimiento extra	9 680 A	8 315 A	NS
Rendimiento selecta	10 330 A	8 745 A	NS
Rendimiento comercial	8 850 A	6 350 B	Significativo
Rendimiento domestica	7 900 A	5 290 A	NS
Rendimiento Baby	2 650 A	2 150 A	NS
Rendimientos otros	600 A	630 A	NS

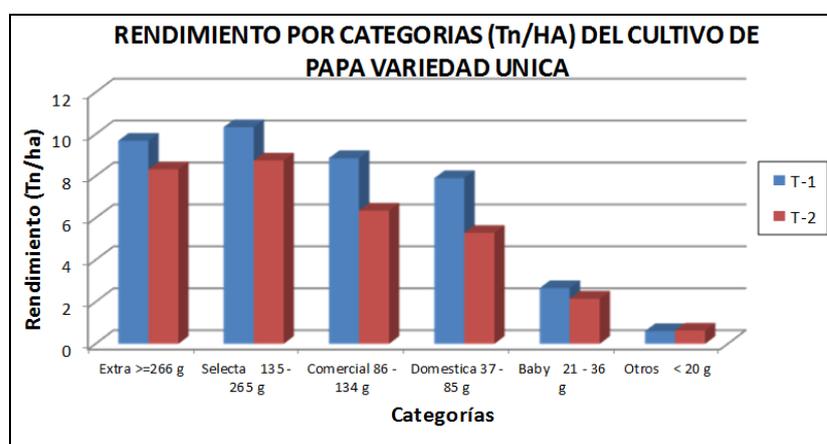


Figura 11: Volumen de agua aplicado en cada riego al cultivo de papa – variedad Única

d. Eficiencia de Uso de Agua

En la Tabla 16, se muestran los resultados obtenidos de la Eficiencia de Uso de Agua (EUA) del cultivo de papa. Asimismo, se aprecia que existen diferencias altamente significativas entre ambos tratamientos en estudio. Los resultados de la prueba de comparación de Tukey, a nivel de $p=0.05$ para los tratamientos de riego se muestran en la Tabla 17.

Los valores obtenidos de EUA fueron de 26,64 y 21,54, para los tratamientos T2 y T1 respectivamente. Con ello, se demuestra que la EUA fue significativamente

mejorada en 23.7 por ciento, en aquellas plantas expuestas bajo el sistema de PRD, en relación con aquellas bajo riego por goteo al 100 por ciento de la Etc. La EUA se expresa como la producción de papa en Kilogramos por metro cúbico de agua aplicado al cultivo, siendo este valor menor cuando se aplica mayor lámina de riego (T1) y mayor para una menor lámina de riego (T2).

Tabla 16 : Análisis de variancia de Eficiencia de uso de agua del cultivo de papa sometido a dos tratamientos de riego

FUENTE	GL	CM
Tratamientos	1	52,02000000
Error Experimental	6	0,28176667
Error Total	7	

Nota. * Significativo al 0,05 de probabilidad ** Significativo al 0.01 de probabilidad CV = 2,203017 por ciento

Tabla 17: Comparación de medias, según la prueba de Tukey a nivel de 0.05

Tratamiento	Eficiencia de uso de agua
T1	21,5450 B
T2	26,6450 A

4.1.4. Conclusiones

- Durante el ensayo se dieron dos tipos de riego, riegos uniformes y riegos diferenciados. Se aplicaron 6 riegos uniformes con la finalidad de permitir el establecimiento del cultivo; luego se dio inicio a los tratamientos, 6 y 7 riegos para el tratamiento 1 y 2, respectivamente.
- El volumen total de agua de riego aplicado durante el cultivo para el tratamiento 1 fue de 1 857 m³ equivalente a una lámina de riego de 185,7 mm. Para el tratamiento 2, fue de 1 181 m³ equivalente a una lámina de riego de 118,1 mm.
- Los rendimientos obtenidos para el T1 y T2 fueron de 40,01 y 31,48 t ha⁻¹ respectivamente, observándose el mayor rendimiento para el tratamiento 1, con diferencias altamente significativas entre ambos tratamientos.
- Los números de tubérculos cosechados por planta para los tratamientos T1 y T2 fueron 13,72 y 10,72, respectivamente, observándose un mayor número de

tubérculos para el tratamiento 1, con diferencias significativas para los tratamientos en estudio. Del mismo, se detectaron diferencias altamente significativas para la variable altura de la planta, siendo los valores obtenidos de 90,18 y 72,65 cm. para T1 y T2, respectivamente.

- Al evaluar la Eficiencia de Uso de Agua, el PRD incrementó la eficiencia de uso de agua en 23,7%. Así, el PRD muestra potencial para el ahorro hídrico, importante para sistemas agroecológicos con limitaciones de agua.
- Finalmente, el sistema de riego localizado de alta frecuencia, dada sus particulares características permitió manejar y controlar eficientemente los regímenes de riego en estudio.

4.2. EXPERIMENTO 2: APLICACIÓN DEL RIEGO DE DESECACION PARCIAL (PRD) UTILIZANDO RIEGO POR GOTEO CONVENCIONAL CON EL CULTIVO DE PAPA VARIEDAD ÚNICA

4.2.1. Introducción

Este experimento también fue realizado en condiciones desérticas (en promedio 23 mm/año de precipitación) en la Universidad Nacional Agraria - La Molina, Lima – Perú. Las coordenadas geográficas son: 12° 05' Latitud Sur, 76° 77' Longitud Oeste y una altitud de 233 msnm. Los datos meteorológicos del período agosto – diciembre del 2008 en La Molina muestran que las condiciones de clima fueron favorables para el trabajo, y la temperatura fue adecuada para el desarrollo de la papa. El suelo analizado antes de la siembra presentaba características físicas (profundidad de 40 cm., buen drenaje, textura franca) y químicas (pH moderadamente alcalino, ligeramente salino y medianamente fértil) apropiadas para realizar las pruebas y para el desarrollo del cultivo.

4.2.2. Materiales y métodos

4.2.2.1. Material vegetal

La variedad de papa con la que se trabajó es la UNICA. La semilla provino de la Estación Experimental del CIP ubicada en Huancayo. La edad aproximada fue de 1 mes y medio de brotación y el peso promedio de los tubérculos semilla fue de 20 a 40 gr. La variedad

UNICA es buena el consumo en fresco, su potencial de rendimiento (45 t ha^{-1}) es alto, tiene resistencia al estrés y presenta tolerancia a la mosca minadora y al calor (puede tuberizar con temperaturas nocturnas de hasta $16 \text{ }^\circ\text{C}$). Su período vegetativo en costa es de 110 a 120 días. Dentro de sus características internas, el contenido de materia seca de los tubérculos maduros es de 19 por ciento en promedio y el contenido de azúcares reductores mayor a 0.5 por ciento, por lo que, es adecuado para el consumo en fresco (Tríptico informativo de la Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica e Instituto Superior Tecnológico de Nazca. 1998).

Entre los equipos de evaluación utilizados, están los sensores de humedad del suelo Irrometer Watermark que permitió monitorear la humedad. Se utilizó un caudalímetro de turbina para registrar el volumen de cada riego y manómetros de glicerina para monitorear la presión en la red de riego. Asimismo, se utilizó un Conductímetro (Spectrum Technologies Inc.) para medir la Conductividad Eléctrica del suelo antes y después del experimento y una Balanza Digital (Spectrum Technologies Inc.) para tomar el peso de los tubérculos.

4.2.2.2. Descripción del experimento

El campo tuvo un área de 180m^2 . Cada unidad experimental (UE) estuvo formada por una parcela de 3 surcos de plantas, cada uno de 5 metros de longitud en los que se sembraron 15 tubérculos de papa en cada uno a un distanciamiento de 0.3 m entre plantas y 1.0 m entre surcos. El área efectiva de cada unidad experimental de $5 \text{ m} \times 3 \text{ m} = 15 \text{ m}^2$. Número de repeticiones: 6. Número total de unidades experimentales: 12. Las unidades experimentales se establecieron de acuerdo con el diseño experimental completamente al azar (Figura 12).

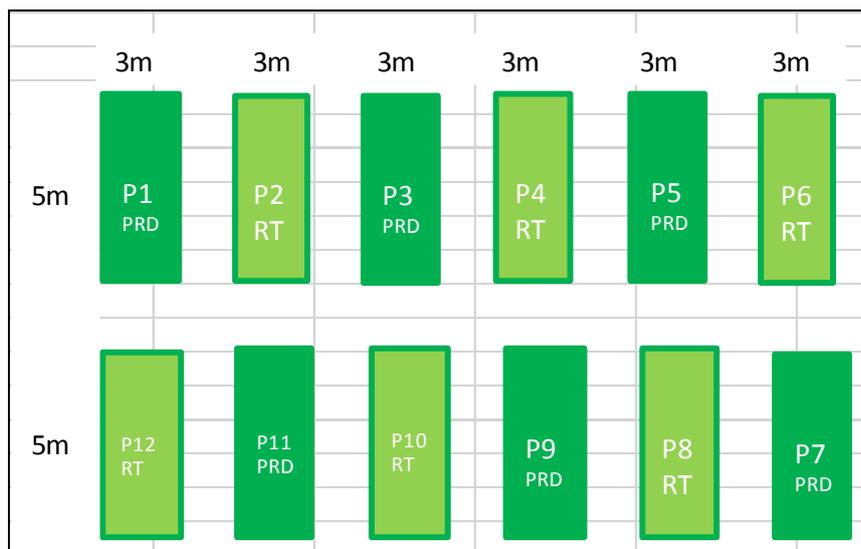


Figura 12: Disposición de las parcelas para el experimento

En el tratamiento testigo el suelo se mantuvo con una humedad equivalente al punto de marchitez.

Tabla 18: Relación de Tratamientos

Número	Tratamientos	Código
1	Riego control usando el 100 por ciento de la dosis de riego	RT
2	Riego de desecación parcial usando el 50 por ciento de la dosis de riego.	PRD

4.2.2.3. Ttratamientos

Se probaron 2 tratamientos (Tabla 18): el riego control (RT) al 100 por ciento de las necesidades hídricas del cultivo. El sistema de PRD con una dosis de riego del 50% a partir de la segunda fase del periodo vegetativo desde los 37 días hasta la cosecha. (105 días). Para la aplicación de tratamientos de PRD, se estableció un esquema de riego en la cual cada surco contó con dos laterales de riego y dos válvulas de regulación para el ingreso de agua. El espaciamiento de los emisores de riego fue de 60 cm en cada lateral, pero dispuestos de tal manera que en el surco el espaciamiento entre emisores de riego fue de 30 cm (Figura 13). El objetivo de colocar dos laterales de riego en un surco fue para lograr una alternancia de la zona de raíces. La válvula A solo se riega con 8 goteros y la válvula B con los 8 restantes lográndose de esa forma la alternancia de la zona de raíces de la planta. Esta alternancia se repitió periódicamente desde el día 37 (2 meses), hasta el final de la

campaña, tal como se muestra en el cronograma de riegos.

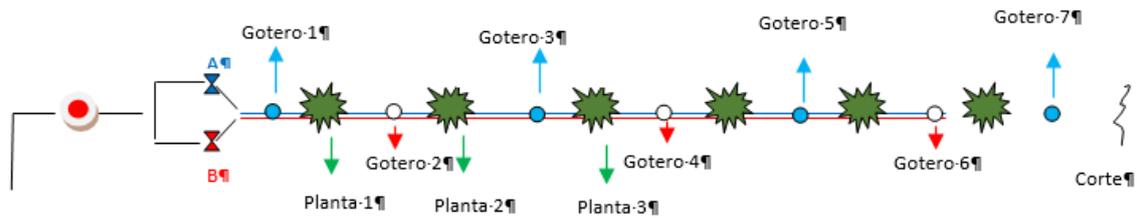


Figura 13: El gotero 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15 es gobernado por la válvula A y los goteros 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14 y 16 por la válvula B

4.2.2.4. Labores culturales

El tubérculo al momento de la siembra tuvo brotamiento uniforme (1 o 2 brotes). La fertilización fue en 3 momentos: en la siembra se aplicó un tercio de la dosis de nitrógeno (urea) y el 100% del fósforo (superfosfato triple) y el potasio (sulfato de potasio) y en cada uno de los dos aporques se aplicaron los dos tercios restantes de nitrógeno. La dosis de fertilización aplicada fue de 180-180-200 (N, P, K). El espaciamiento entre plantas fue de 30 cm. y entre surcos de 90. Durante toda la campaña, se realizaron aplicaciones de productos químicos para el control de plagas, enfermedades y malezas con lo cual se evitó todo tipo de problemas sanitarios.

4.2.2.5. Riegos

Durante la campaña en la que se realizó el experimento, se hicieron en total 13 riegos en 2 etapas. La primera fue el período previo a la aplicación de tratamientos que duró hasta el día 37 después de la siembra durante el cual se realizaron 5 riegos uniformes con una frecuencia promedio de una semana. Esta etapa se llevó a cabo con la finalidad de que las plantas se uniformicen y alcancen un buen desarrollo radicular y vegetativo. La segunda, que se prolongó hasta el final de campaña, consistió en 8 riegos diferenciados (experimentales), que difirieron en el modo de riego (RT y PRD) de acuerdo a los tratamientos (Tabla 19).

Tabla 19: Volumen de agua aplicado en el experimento

Fecha Riego	RIEGO CONTROL (RT)	RIEGO PARCIAL (PRD)	Observaciones
05/08/2010	1,707	1,707	
15/08/2010	0,431	0,431	
22/08/2010	0,443	0,443	
28/08/2010	0,597	0,597	
05/09/2010	0,774	0,774	7,02
			Inicio Tratamiento
15/09/2010	1,441	0,721	
22/09/2010	1,327	0,663	
27/09/2010	1,597	0,799	
03/10/2010	1,652	0,826	
10/10/2010	1,859	0,930	
15/10/2010	1,699	0,849	
20/10/2010	1,852	0,926	
31/10/2010	2,013	1,007	20,160

4.2.3. Resultados y discusión

4.2.3.1. Rendimiento del cultivo según calidades

El rendimiento del cultivo fue en total de 42,270 kg en las 6 parcelas experimentales. Se aplicó el riego al 100 por ciento de la dosis de riego y 32,370 kg en las 6 parcelas experimentales con el riego parcial. Detalles de la evaluación del rendimiento por su calidad se presenta en la tabla 20 y 21.

Tabla 20: Rendimiento del cultivo de papa por parcela - Variedad Única bajo el sistema de riego por goteo al 100 por ciento de la dosis de riego (RT)

Parcela	Extra >= 266 g	Selecta 135 - 265 g	Comercial 86 - 134 g	Domestica 37 - 85 g	Baby 21 - 36 g	Otros < 20 g	Total (kg)
P2	3,340	1,780	0,900	0,790	0,500	0,100	7,410
P4	2,870	1,500	1,040	0,720	0,320	0,300	6,750
P6	2,580	1,490	1,000	1,220	0,340	0,140	6,770
P8	2,480	1,740	1,380	0,720	0,500	0,200	7,020
P9	2,870	1,400	1,220	1,220	0,300	0,100	7,110
P11	3,160	1,700	1,180	0,790	0,280	0,100	7,210
Total (kg)	17,300	9,610	6,720	5,460	2,240	0,940	42,270

Tabla 21: Rendimiento del cultivo de papa por parcela - Variedad Única bajo el sistema de riego por goteo – Riego parcial (PRD)

Parcela	Extra >=266 g	Selecta 135 - 265 g	Comercial 86 - 134 g	Domestica 37 - 85 g	Baby 21 - 36 g	Otros < 20 g	Total (kg)
P1	1,700	1,080	1,240	0,620	0,540	0,150	5,330
P3	1,880	1,580	1,220	0,640	0,300	0,100	5,720
P5	1,540	1,400	1,280	0,680	0,240	0,340	5,480
P7	1,380	1,440	1,220	0,640	0,220	0,100	5,000
P10	1,880	1,300	1,000	0,600	0,540	0,200	5,520
P12	1,400	1,400	1,460	0,560	0,360	0,140	5,320
Total (kg)	9,780	8,200	7,420	3,740	2,200	1,030	32,370

De los resultados, podemos observar que hay una diferencia marcada en la calidad extra entre el 100 por ciento de dosis de riego y el riego parcial, mientras que en las otras calidades no se observa mayor diferencia. La merma en cuanto a rendimiento se observa en la calidad extra.

4.2.3.2. Rendimiento total del cultivo llevado a Kg ha⁻¹

El rendimiento del cultivo fue de 52 837,50 kg ha⁻¹/ha aplicado el riego al 100 por ciento de la dosis de riego y 40 462,50 kg ha⁻¹ con el riego parcial. Detalles de la evaluación del rendimiento se presentan en las Tablas 22, 23 y Figura 14.

Tabla 22: Rendimiento del cultivo de papa promedio por parcela - Variedad Única bajo el sistema de riego por goteo al 100 por ciento de dosis de riego

Parcela	Extra >=266 g	Selecta 135 - 265 g	Comercial 86 - 134 g	Domestica 37 - 85 g	Baby 21 - 36g	Otros < 20 g	Rendimiento Total (Kg/ha)
P2	25 050	13 350	6 750	5 925	3 750	750	55 575,00
P4	21 525	11 250	7 800	5400	2 400	2 250	50 625,00
P6	19 350	11 175	7 500	9 150	2 550	1 050	50 775,00
P8	18 600	13 050	10 350	5 400	3 750	1 500	52 650,00
P9	21 525	10 500	9 150	9 150	2 250	750	53 325,00
P11	23 700	12 750	8 850	5 925	2 100	750	54 075,00
Promedio (kg ha ⁻¹)	129 750	72 075	50 400	40 950	16 800	7 050	52 837,50

Tabla 23: Rendimiento del cultivo de papa promedio por parcela - Variedad Única bajo el sistema de riego por goteo. Riego parcial

Parcela	Extra >=266 g	Selecta 135 - 265 g	Comercial 86 - 134 g	Domestica 37 - 85 g	Baby 21 - 36 g	Otros < 20 g	Rendimiento. Total (Kg/ha)
P1	12 750	8 100	9 300	4 650	4 050	1 125	39 975,00
P3	14 100	11 850	9 150	4 800	2 250	750	42 900,00
P5	11 550	10 500	9 600	5 100	1 800	2 550	41 100,00
P7	10 350	10 800	9 150	4 800	1 650	750	37 500,00
P10	14 100	9 750	7 500	4 500	4 050	1 500	41 400,00
P12	10 500	10 500	10 950	4 200	2 700	1 050	39 900,00
Total (kg)	73 350	61 500	55 650	28 050	16 500	7 725	40 462,50

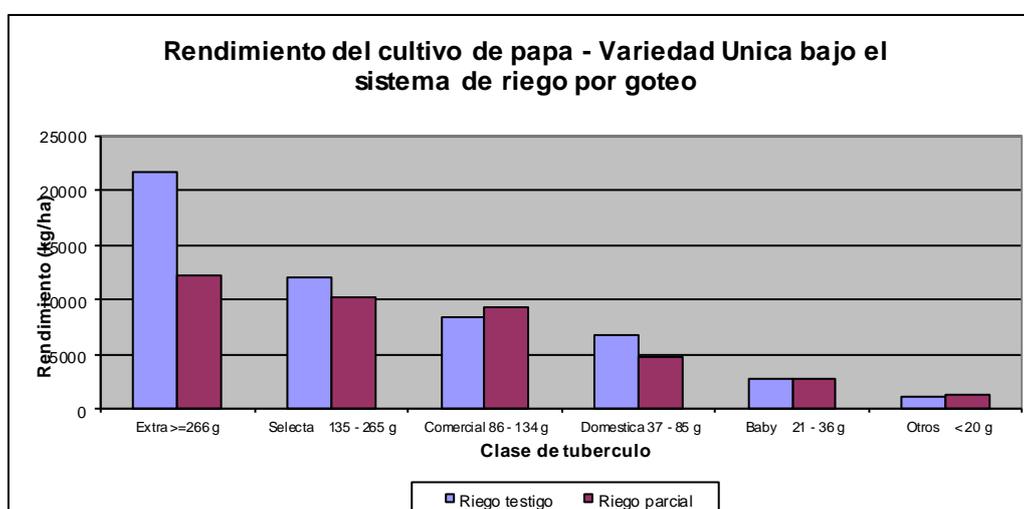


Figura 14: Rendimiento del cultivo de papa variedad única por calidad

4.2.3.3. Análisis estadístico

El análisis estadístico del experimento se realizó a través del análisis de varianza y la prueba de Tukey, cuyos resultados se muestran en las tablas del 24 al 29. Se realizó el análisis estadístico de los rendimientos totales y por clase: extra, selecta, comercial, doméstica y baby.

Tabla 24: Análisis de varianza Rendimiento total

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV (%)	
Rendimiento	12	0.95	0.89	4.82	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	469198125	6	78199687,5	15,5	0,0043
Tratamiento	459421875	1	459421875	91,05	0,0002
Repetición	9776250	5	1955250	0,39	0,8393
Error	25228125	5	5045625		
Total	494426250	11			
Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=3333.71339					
Error: 5045625.0000 gl: 5					
Tratamiento	Medias	n	E.E.		
t1	52837,5	6	917,03	A	
t2	40462,5	6	917,03	B	

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Tabla 25: Análisis de varianza clase extra

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV (%)	
Rendimiento	12	0.94	0.88	10.98	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	Gl	CM	F	p-valor
Modelo	8123593,75	6	1353932,29	14,11	0,0053
Tratamiento	7363333,33	1	7363333,33	76,76	0,0003
Repetición	760260,42	5	152052,08	1,59	0,3128
Error	479635,42	5	95927,08		
Total	8603229,17	11			
Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=459.66496					
Error: 95927.0833 gl: 5					
Tratamiento	Medias	n	E.E.		
t1	3604,17	6	126,44	A	
t2	2037,5	6	126,44	B	

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Del análisis varianza y la prueba de Tukey, se puede afirmar que en el rendimiento final se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos de la clase extra y la clase doméstica.

Tabla 26: Análisis de varianza clase selecta

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Rendimiento	12	0,58	0,07	12,84	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	387369,79	6	64561,63	1,14	0,4533
Tratamiento	258867,19	1	258867,19	4,56	0,0858
Repetición	128502,6	5	25700,52	0,45	0,7974
Error	283710,94	5	56742,19		
Total	671080,73	11			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=353,52800
Error: 56742.1875 gl: 5

Tratamiento	Medias	n	E.E.
t1	2002,08	6	97,25
t2	1708,33	6	97,25

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Tabla 27: Análisis de varianza clase comercial

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Rendimiento	12	0,5	0	14,63	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	235937,5	6	39322,92	0,85	0,584
Tratamiento	63802,08	1	63802,08	1,37	0,939
Repetición	172135,42	5	34427,08	0,74	0,6246
Error	232135,42	5	46427,08		
Total	468072,92	11			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=319.78381
Error: 46427.0833 gl: 5

Tratamiento	Medias	n	E.E.
t2	1545,83	6	87,97
t1	1400	6	87,97

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Tabla 28: Análisis de varianza clase doméstica

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Rendimiento	12	0,75	0,44	21,73	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	639531,25	6	106588,54	2,46	0,1712
Tratamiento	385208,33	1	385208,33	8,88	0,0308
Repetición	254322,92	5	50864,58	1,17	0,4327
Error	216822,92	5	43364,58		
Total	856354,17	11			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=309.05684
Error: 43364.5833 gl: 5

Tratamiento	Medias	n	E.E.
t1	1137,5	6	85,01
t2	779,17	6	85,01

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Tabla 29: Análisis de varianza clase baby

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Rendimiento	12	0,49	0	33,55	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	117708,33	6	19618,06	0,81	0,601
Tratamiento	208,33	1	208,33	0,01	0,9295
Repetición	117500	5	23500	0,98	0,5104
Error	120416,67	5	24083,33		
Total	238125	11			
Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=230.31863					
Error: 24083.3333 gl: 5					
Tratamiento	Medias	n	E.E.		
t1	466,67	6	63,36	A	
t2	458,33	6	63,36	A	

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Del análisis de varianza y la prueba de Tukey, para la clase selecta, comercial y baby no existen diferencias significativas entre los tratamientos.

4.2.3.4. Evaluación del consumo de agua

En la Figura 15, se muestra el requerimiento de agua del cultivo de papa variedad única por todo el periodo vegetativo en el cual se puede observar el máximo requerimiento en la fase 2 y 3 del cultivo y un mínimo de requerimiento de agua en la fase inicial.

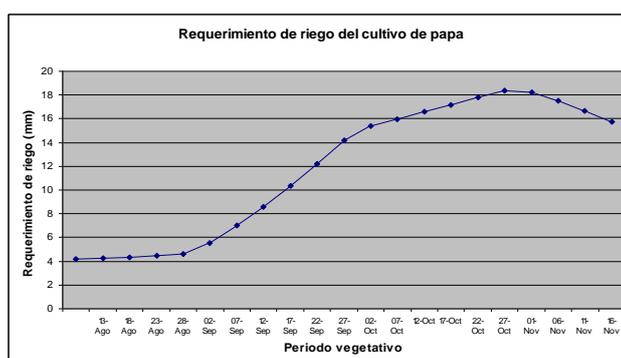


Figura 15: Requerimiento de agua del cultivo de papa variedad única por todo el periodo vegetativo

4.2.3.5. Volúmenes de agua aplicados en el experimento

En la Tabla 30 y la Figura 16, se muestra el volumen de agua aplicado durante la ejecución del experimento en el que puede observarse que se realizó 13 riegos en total, de los cuales 5 fueron antes de empezar la aplicación del riego parcial. Durante el experimento se utilizó

un total de 28,062 m³ de los cuales 17.391 m³ fueron aplicados al tratamiento testigo y los 10,671m³ al riego parcial. En términos de m³/ha, se utilizó en total 3 118,028m³ha⁻¹ de los cuales 1 932,34 m³ ha⁻¹ corresponde al tratamiento testigo y 1 185,68 m³ha⁻¹ para el riego parcial.

Tabla 30: Volúmenes agua aplicados durante el experimento

Fecha Riego	RIEGO CONTROL (RT)	RIEGO PARCIAL (PRD)	Total m ³	Observaciones
05/08/2008	1,707	1,707	3,414	
15/08/2008	0,431	0,431	0,862	
22/08/2008	0,443	0,443	0,885	
28/08/2008	0,597	0,597	1,193	
05/09/2008	0,774	0,774	1,548	7,902
				Inicio Tratamiento
15/09/2008	1,441	0,721	2,162	
22/09/2008	1,327	0,663	1,990	
27/09/2008	1,597	0,799	2,396	
03/10/2008	1,652	0,826	2,478	
10/10/2008	1,859	0,930	2,789	
15/10/2008	1,699	0,849	2,548	
20/10/2008	1,852	0,926	2,777	
31/10/2008	2,013	1,007	3,020	20,160
				Área 90m ² por tratamiento
Total (m³)	17,391	10,671	28,062	
Total (mm)	193,234	118,568	311,803	
Total (m³ha⁻¹)	1 932,344	1 185,684	3 118,028	

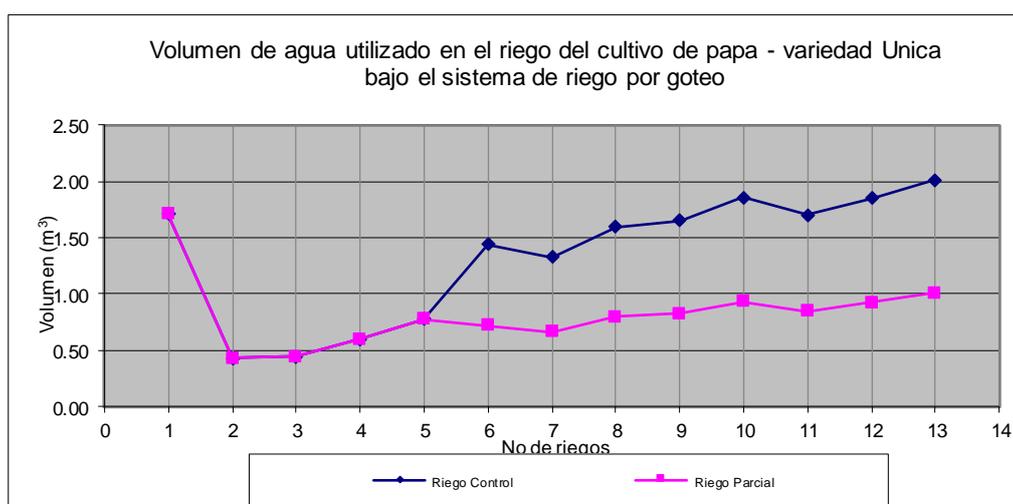


Figura 16: Volumen de agua utilizado del cultivo de papa variedad única por todo el periodo vegetativo

4.2.4. Conclusiones

- Se aplicaron, en total, 6 riegos uniformes con la finalidad de permitir el establecimiento del cultivo y 7 riegos durante la aplicación del tratamiento.
- El volumen total de agua de riego aplicado durante el cultivo para el tratamiento 1 fue de $1\,932,34\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}$ equivalente a una lámina de riego de 193,234 mm. Para el tratamiento 2, fue de $1\,185,68\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}$ equivalente a una lámina de riego de 118,568 mm.
- Los rendimientos obtenidos para el T1 y T2 fueron de $52\,837,50\text{ kg ha}^{-1}$ y $40\,462,50\text{ kg ha}^{-1}$ respectivamente. Se observa el mayor rendimiento para el tratamiento 1 con diferencias altamente significativas entre ambos tratamientos. Al evaluar la Eficiencia de Uso de Agua, el PRD incrementó en 23.7 por ciento. Así, el PRD muestra potencial para el ahorro hídrico, importante para sistemas donde hay limitaciones de agua.

4.3. EXPERIMENTO 3. EVALUACIÓN DEL BULBO HÚMEDO EN UN SUELO FRANCO BAJO CONDICIONES DE APORQUE Y CON EL SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO

4.3.1. Introducción

El estudio se realizó en el campo experimental del Departamento de Recursos Hídricos (DRH) de la Facultad de Ingeniería Agrícola, propiedad de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), ubicado en el Departamento de Lima con coordenadas: Latitud Sur $12^{\circ}05'06''$ Longitud Oeste $76^{\circ}57'00''$ y una altitud de 238 m.s.n.m. Según la Clasificación de Koeppen, el clima corresponde a Desierto subtropical árido caluroso. El suelo es Ultisol (FAO) con textura franca, con pH de neutro a ligeramente alcalino, baja dotación de materia orgánica. Se utilizó la infraestructura de riego por goteo dotado de una electrobomba de 0,5 HP. La tubería portagotero fue de 16 mm de diámetro donde se insertaron los goteros Katif de $2,5\text{ l h}^{-1}$. La presión de trabajo fue de 21 mca en el cabezal y 15 mca en los laterales. El aporque fue construido con base mayor de 80 cm, base menor (corona) de 34 cm, altura de 25 cm y con talud al 100 por ciento de pendiente.

4.3.2. Tratamientos en estudio

Para la evaluación del bulbo húmedo en suelo franco, bajo condiciones de aporque y con el sistema de riego por goteo, se han considerado las condiciones del laboreo del suelo; sin aporque (tratamiento de comparación testigo) y con aporque, con tiempos de aplicación de riego de una, dos y tres horas respectivamente, proponiéndose 12 tratamientos que se muestra en la Tabla 31.

Tabla 31: Tratamientos en estudio, descripción y clave de combinación

Tratamientos	Descripción	Combinación
T1	Sin aporque, un solo lateral, tiempo de riego 1 hora	SaS R1
T2	Sin aporque, un solo lateral, tiempo de riego 2 horas	SaS R2
T3	Sin aporque, un solo lateral, tiempo de riego 3 horas	SaS R3
T4	Sin aporque, doble lateral, tiempo de riego 1 hora	SaD R1
T5	Sin aporque, doble lateral, tiempo de riego 2 horas	SaD R2
T6	Sin aporque, doble lateral, tiempo de riego 3 horas	SaD R3
T7	Con aporque, un solo lateral, tiempo de riego 1 hora	CaS R1
T8	Con aporque, un solo lateral, tiempo de riego 2 horas	CaS R2
T9	Con aporque, un solo lateral, tiempo de riego 3 horas	CaS R3
T10	Con aporque, doble lateral, tiempo de riego 1 hora	CaD R1
T11	Con aporque, doble lateral, tiempo de riego 2 horas	CaD R2
T12	Con aporque, doble lateral, tiempo de riego 3 horas	CaD R3

4.3.3. Diseño Estadístico

El diseño estadístico empleado fue el Bloque Completo Randomizado para 12 tratamientos y 4 repeticiones. El Modelo aditivo lineal es el siguiente:

$$X_{ij} = u + T_i + B_j + e_{ij}$$

Donde:

X_{ij} = Variable respuesta

u = media general

T_i = efecto i -ésimo de tratamiento

B_j = efecto j -ésimo de bloque

e_{ij} = efecto de error experimental

4.3.4. Análisis estadístico

Para obtener la diferencia estadística significativa de las fuentes de variabilidad, se realizó el análisis de varianza de los radios medios y profundidad del bulbo húmedo.

Las diferencias estadísticas entre tratamientos fueron estudiadas utilizando la prueba de “Comparación múltiple de Tukey” a 0,01 de probabilidad.

La asociación de los caracteres del radio medio mayor y la profundidad media del bulbo húmedo se determinaron por el “Análisis de correlación lineal simple”.

4.3.5. Materiales y métodos

Después de 24 horas, terminada la aplicación del riego, con una pala recta, se realizó el corte transversal del suelo sin aporque y con aporque, cruzando la parte central del bulbo tomando como eje la proyección vertical del emisor. Se registraron la forma, dimensiones horizontales de los radios mayores y las profundidades alcanzadas por el bulbo. Las fechas de evaluación fueron: Bloque I: 20-02-08; Bloque II: 26-02-08; Bloque III: 04-03-08; Bloque IV: 11-03-08.

4.3.5.1. Determinación del contenido de humedad del bulbo

Aprovechando el corte transversal, se tomaron muestras de suelo al interior del bulbo (zona húmeda), interfaz húmeda-seca (zona de interface), parte seca (zona seca), y en la estimada como solape. Las muestras se llevaron al laboratorio. La determinación del contenido de humedad fue por el Método gravimétrico, sobre la base de suelo seco. Los resultados sirvieron para elaborar un mapa básico de ubicación de la muestra y el porcentaje de humedad, para su respectivo análisis.

4.3.6. Resultados y discusión

4.3.6.1. Análisis de varianza de las dimensiones medias de radio húmedo

En la Tabla 32, se muestra alta diferencia significativa para condición de cultivo y tiempo de riego. No hay significación en las demás fuentes de variabilidad. La prueba de Comparación múltiple de Tukey a 0.01 de probabilidad (Tabla 33), muestra que no hay diferencia significativa entre tratamientos de igual denominación literal.

Tabla 32: Análisis de Varianza de las dimensiones medias de los radios del bulbo húmedo (cm)

F. de Variabilidad	SC	GL	CM	Fc	Ft		SIG
					0,005	0,01	
Bloques	6,644	3	2,214	1,29	2,89	4,44	NS
Condición de Cultivo	196,920	3	65,640	38,52	2,89	4,44	* *
Tiempo de Riego	293,251	2	146,625	86,05	3,29	5,31	* *
Condición versus riego	7,043	6	1,173	0,68	2,39	3,4	NS
Error	56,243	33	1,704				
Total General	560,101	47					

Nota. Coeficiente de variación: 7 por ciento

Tabla 33: Prueba de Tukey para radios medios del bulbo húmedo (cm)

Tratamiento N°	Combinación	Radio medio (cm)	Significación Prueba de Tukey (0.01)
T3	SaS R3	23,2	a
T9	CaS R3	23,00	a b
T6	SaD R3	21,68	a b c
T2	SaS R2	21,00	a b c d
T8	CaS R2	20,50	a b c d e
T5	SaD R2	19,93	a b c d e f
T12	CaD R3	17,43	d e f g
T7	CaS R1	16,87	e f g h
T1	SaS R1	16,75	e f g h i
T11	CaD R2	15,56	g h i j
T4	SaD R1	15,00	g h i j
T10	CaD R1	12,78	j

Nota. DSH(T) 0.01 = 3.833

4.3.6.2. Comportamiento de las dimensiones de los radios bajo condiciones de aporque

En la Figura 17, comparando los sistemas de tratamiento de riego bajo condiciones CaS y el sistema de tratamiento SaS, se observó que las dimensiones medias de los radios en el sistema CaS y SaS no tienen diferencia significativa, considerándose como iguales.

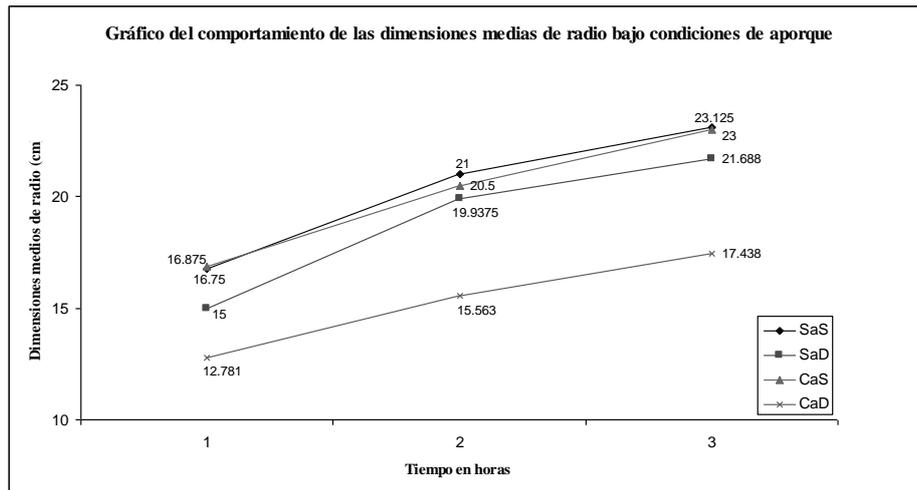


Figura 17: Comportamiento de las dimensiones medias del radio bajo condiciones de aporque

Comparando los sistemas de tratamientos: CaD y SaD, se observó que las dimensiones medias de los radios, del sistema CaD son menores frente al sistema SaD. Es posible que se deba a la posición del emisor en el borde de la parte superior (corona) del aporque, que ha influido en el desarrollo horizontal del frente de humedad del bulbo.

4.3.6.3. Análisis de varianza de las dimensiones de profundidad del bulbo

La Tabla 34, muestra alta diferencia significativa para el tiempo de riego. No presenta, las demás fuentes de variabilidad.

Tabla 34: Análisis de varianza de la profundidad media del bulbo húmedo (cm)

F. de Variabilidad	SC	GL	CM	Fc	Ft		SIG
					0,005	0,01	
Bloques	30,557	3	10,185	2,43	2,89	4,44	NS
Condición de cultivo	10,849	3	3,616	0,86	2,89	4,44	NS
Tiempo de riego	544,557	2	272,278	64,99	3,29	5,31	* *
Condición versus riego	46,776	6	7,796	1,86	2,39	3,4	NS
Error	138,256	33	4,189				
Total General	770,995	47					

Nota. Coeficiente de variación: 7,12 por ciento

En la Tabla 35, la prueba de Comparación múltiple de Tukey a 0,01 de probabilidad, indica que no existe diferencia significativa entre el grupo de tratamientos de igual denominación literal.

Tabla 35: Prueba de Tukey para profundidad de bulbo húmedo (cm)

Tratamiento N°	Combinación	Profundidad media (cm)	Signif. Prueba de Tukey (0.01)
T12	CaD R3	34,50	a
T6	SaD R3	32,87	a b
T9	CaS R3	32,25	a b c
T3	SaS R3	31,50	a b c d
T2	SaS R2	29,50	a b c d e
T5	SaD R2	29,37	a b c d e
T11	CaD R2	29,37	a b c d e
T8	CaS R2	28,25	c d e
T4	SaD R1	24,75	e
T1	SaS R1	24,25	e
T10	CaD R1	24,25	e
T7	CaS R1	24,00	e

Nota. DSH(T) 0.01= 6.015

4.3.6.4. Comportamiento de las dimensiones de profundidad del bulbo bajo condiciones de aporque realizadas

En la Figura 18; comparando las dimensiones de profundidad del sistema de tratamiento CaS y SaS, se observó que la tendencia de registrar la mayor dimensión de profundidad se encuentra en el sistema CaS, frente al SaS. Comparando las dimensiones de profundidad del bulbo, en el sistema CaD y el sistema SaD, se que en el sistema de tratamiento CaD se obtiene la mayor profundidad de humedad del bulbo frente al sistema SaD, de acuerdo con a las condiciones experimentales.

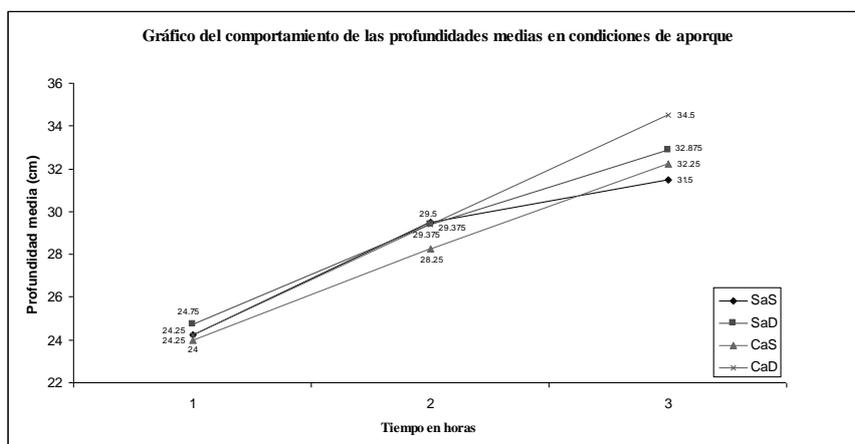


Figura 18: Comportamiento de las profundidades medias en condición de aporque (cm)

4.3.6.5. Correlación lineal simple

En la Tabla 36, se muestra la prueba de significación del coeficiente de correlación de la asociación de caracteres de las dimensiones medias mayores de los radios y la profundidad del bulbo húmedo, donde $r = 0,663$.

Tabla 36: Prueba de significación del coeficiente de correlación simple

r calculado	r tabulado		Significación
	0,05	0,01	
0,663	0,576	0,708	*

Según la tabla de significación del coeficiente de correlación de Calzada (1970), y de acuerdo con los valores tabulados; se rechaza la hipótesis nula, $H_0 p=0$. Por lo tanto, existe correlación positiva entre los caracteres mencionados.

4.3.6.6. Forma y dimensión del bulbo húmedo en terreno llano sin aporque, con un solo lateral de riego. Tratamientos T1, T2 y T3

La forma geométrica que más se aproxima es el de un elipsoide truncado, donde el plano de corte es la superficie del suelo que concuerda con los estudios de Peña y Brown (2000). Es predominante en los 3 tratamientos (Figura 19).

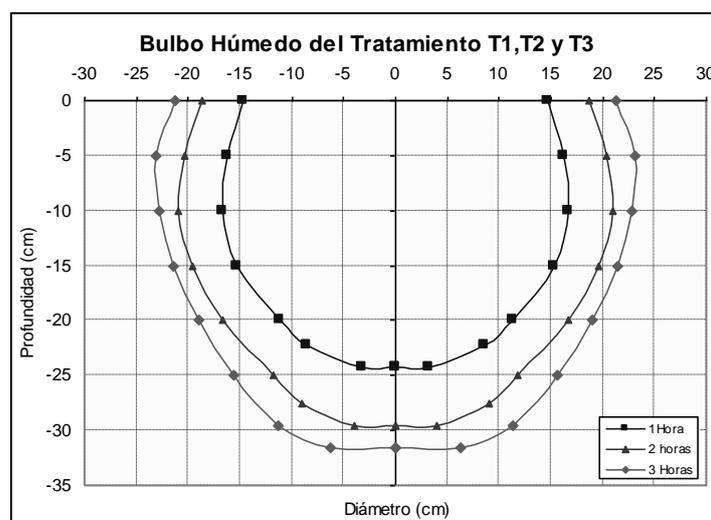


Figura 19: Forma y dimensiones de los bulbos húmedos de tratamientos T1, T2 y T3

La Tabla 37 muestra los valores de las dimensiones del radio del diámetro mayor de cada bulbo húmedo, ¿sugeridas? para los fines de orientación en el diseño agronómico.

Tabla 37: Dimensiones de los radios mayores medios y profundidad (cm). Tratamientos T1, T2 y T3

Trat. N°	Riego (h)	Volumen. (l)	Radio (cm.)	Nivel ubic. del radio (cm)	Prof. de bulbo(cm)
T1	1	2,5	16,7	-10	24,2
T2	2	5,0	21,0	-10	29,5
T3	3	7,5	23,1	-5	31,5

4.3.6.7. Forma y dimensión del bulbo húmedo en terreno llano sin aporque, con dos laterales de riego. Tratamientos T4, T5 y T6

En los tratamientos mencionados, los laterales están distanciados 30 cm, entre ellos. En el tratamiento T4, la forma predominante es el de un elipsoide truncado, donde el plano de corte es la superficie del suelo. En los tratamientos T5 y T6; se estima que los bulbos presentan la forma de dos elipsoides truncados y superpuestos parcialmente (Figura 20).

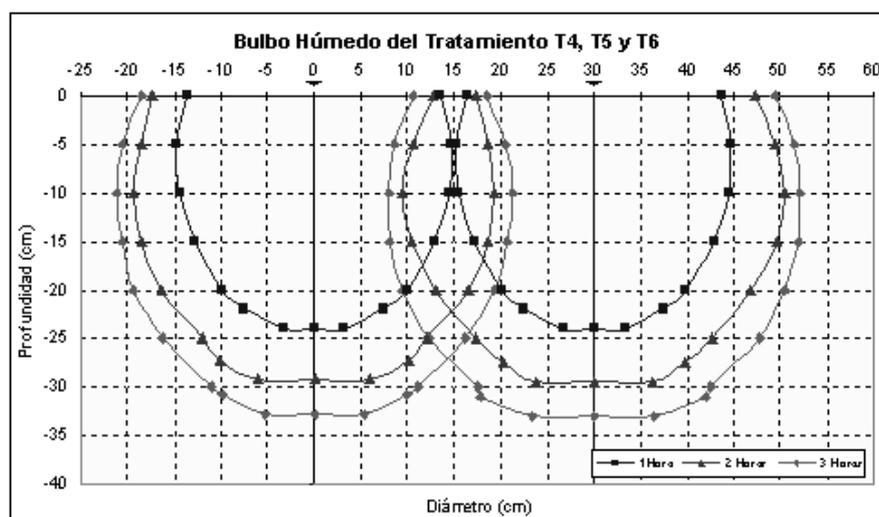


Figura 20: Forma y dimensiones de los bulbos húmedos de tratamientos T4, T5 y T6

4.3.6.8. Dimensiones de los diámetros y profundidad del bulbo húmedo

Se observó que las dimensiones mayores de los diámetros horizontales y la profundidad alcanzada por los dos bulbos húmedos (A y B) son semejantes o tiene valores muy aproximados. En la Tabla 38, se muestran los valores de las dimensiones del radio del diámetro mayor de cada bulbo húmedo, para los fines de orientación en el diseño agronómico.

Tabla 38: Dimensiones de los radios mayores medios y profundidad (cm) del bulbo húmedo. Tratamientos T4, T5 y T6

Trat. N°	Riego (h)	Volumen c/emisor (l)	Radio medio (cm)	Nivel de ubic. radio (cm)	Prof. med. bulbo (cm)	Solape estimado (%)	Prof. de solape (cm)
T4	1	2,5	15,0	-10 -5	24,7	-.-	(11)*
T5	2	5,0	20,0	-10	29,4	49,0	22,2
T6	3	7,5	21,6	-10	32,8	61,2	27,2

Nota. (11)*= No hay solape, presenta humedad de contacto entre bulbos o de zona de interface, 11 cm., de profundidad.

4.3.6.9. Forma y dimensión del bulbo húmedo en una estructura de aporque, con un lateral de riego ubicado en la parte central de la corona. Tratamientos T7, T8 y T9

La forma predominante de los bulbos en los tratamientos T7, T8 con excepción del T9 es el de un elipsoide truncado (Figura 21), donde el plano de corte es la superficie de la corona del aporque. En el tratamiento T9, fue un elipsoide truncado, a inicios del riego; pero se observó que conforme transcurre el tiempo de aplicación de riego, la forma se adapta a la sección de la estructura de aporque, es decir; el avance de la humedad queda limitado por las superficies laterales (talud) del aporque. Este aspecto observado coincide con los estudios realizado por Gispert-Folch (2005), quien señala que si el agua aplicada tiene origen en un gotero, entran en juego los mecanismos que gobiernan el flujo horizontal y vertical, por los cuales los volúmenes húmedos del suelo tenderán a adoptar formas diversas según las características del entorno.

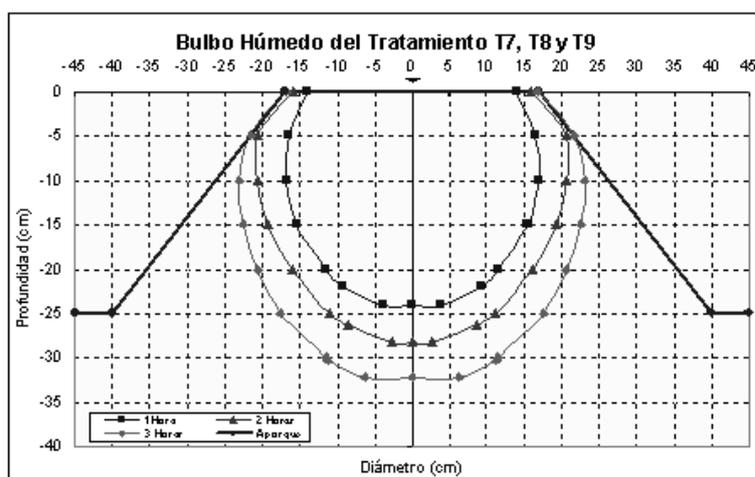


Figura 21: Forma y dimensiones de los bulbos húmedos de tratamientos T7, T8 y T9

En la Tabla 39, se muestran los valores de las dimensiones del radio del diámetro mayor de cada bulbo húmedo, para los fines de orientación en el diseño agronómico.

Tabla 39: Dimensiones de los radios mayores medios y profundidad (cm) del bulbo húmedo. Tratamientos T7, T8 y T9

Tratam. N°	Riego (h)	Volumen. (l)	Radio (cm)	Nivel ubic. de radio (cm)	Prof. De bulbo(cm)
T7	1	2,5	16,87	-10	24,00
T8	2	5,0	20,50	-10	28,25
T9	3	7,5	23,00	-10	32,25

4.3.6.10. Forma y dimensión del bulbo húmedo en una estructura de aporque, con dos laterales de riego ubicado en los bordes de la corona. Tratamientos T10, T11 y T12

Los laterales de riego están separados a 30 cm, entre los mismos (Figura 22). En este caso, la forma es compleja; se aproxima a un elipsoide cortado en la parte superior de la corona y en el talud del aporque. Es posible que se deba al resultado del escurrimiento superficial y la influencia de la pendiente del talud (100 por ciento) del aporque, que restringe el avance horizontal de la humedad (potencial mátrico).

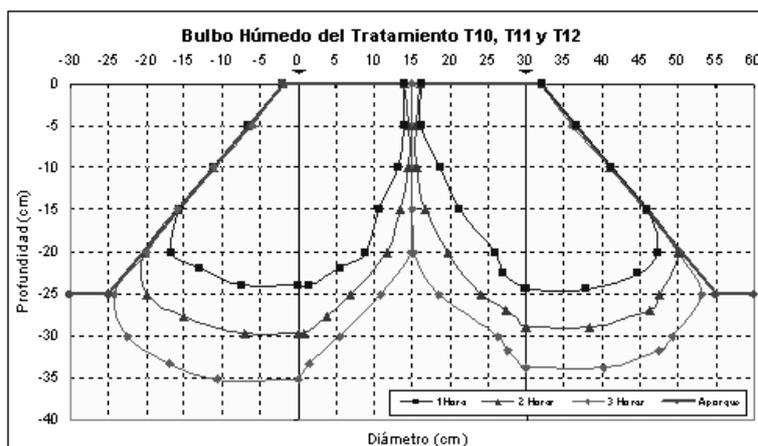


Figura 22: Forma y dimensiones de los bulbos húmedos de tratamientos T10, T11 y T12

En la Tabla 40, se presentan los valores de las dimensiones del radio del diámetro mayor de cada bulbo húmedo, para los fines de orientación en el diseño agronómico. Es muy importante para la interpretación de este cuadro observar la Figura 22 la forma del bulbo al nivel que se analiza.

Tabla 40: Dimensiones horizontales asumidas como radios medios mayores y profundidad (cm) del bulbo húmedo. Tratamientos T10, T11 y T12

Trat. N°	Riego (hr)	Volumen c/emisor (lt)	Radio medio (cm)	Nivel de ubicación radio (cm)	Prof. media bulbo (cm)
T10	1	2,5	12,78	-15	24,25
T11	2	5,0	15,56	-20	29,37
T12	3	7,5	17,43	-25 -20	34,50

4.3.6.11. Estudio del solape entre bulbos húmedos

a. Solape entre bulbos húmedos de dos líneas laterales de riego, instalados sobre un terreno llano sin aporque. Tratamientos T4, T5 y T6

Una de las consideraciones muy importantes que se tiene en el presente trabajo de investigación es la forma de avance del frente húmedo del bulbo, que se realiza por vía o medio del suelo. Gispert-Folch (2003), Pizarro (1996). Por lo mismo, es discutible aceptar el término de traslape o solape en el sistema de riego por goteo,

pero sí, en el riego por aspersión donde la aplicación del riego utiliza el medio aéreo. El presente estudio asume como solape la proyección imaginaria de superposición de radios de dos bulbos consecutivos ubicados uno frente del otro. En el riego por goteo, el avance del frente de humedad del agua de riego, en un momento determinado, estará en contacto con el otro frente, este lugar o espacio, designaremos como “punto de encuentro” o “punto intermedio”. Y para el estudio del porcentaje de humedad de los puntos de muestreo, es importante considerar la humedad de la zona de interfaz identificada con la letra (x), que va descendiendo al aproximarse a la zona seca.

b. Tratamiento T4

En este tratamiento, no hubo solape. Sin embargo, se observó humedad de 11 cm, de profundidad aproximadamente, posiblemente por el efecto del contacto entre interfaces de los frentes húmedos de los bulbos (Figura 23). La mayor dimensión de los radios está ubicada a profundidad, entre 5 - 10 cm, en el bulbo (A), y a 5 cm, en el bulbo (B), por debajo del nivel de la superficie del suelo. Comparando los porcentajes de humedad de los puntos de muestreo a 10 cm, de profundidad que se muestra en la Tabla 41; en general, no hay gran diferencia entre los porcentajes de (a), (a1) y el punto de encuentro (m).

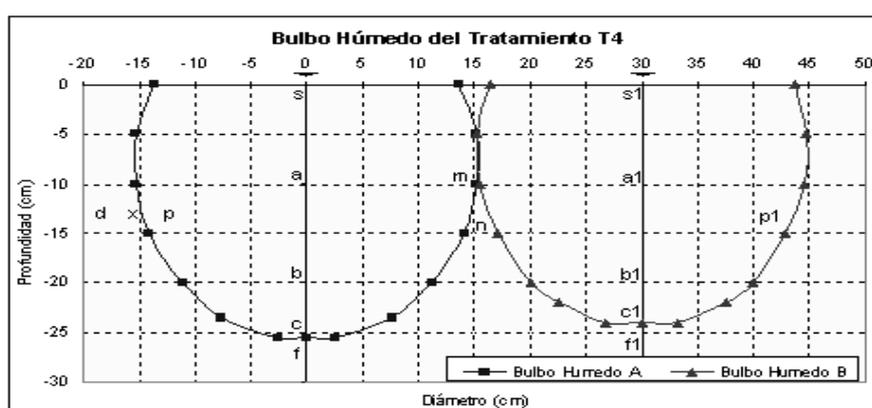


Figura 23: Puntos de muestreo de humedad del tratamiento T4

Tabla 41: Porcentaje de humedad y su ubicación. Tratamiento T4

Tratamiento T4. Humedad en el bulbo (%)				
Ubicación	B-I	B-II	B-III	B-IV
S	12,01	5,58	8,08	16,61
s1	18,97	7,20	9,76	15,83
A	15,17	8,07	8,89	16,73
a1	15,43	8,24	8,46	17,36
B	13,79	8,15	7,82	14,24
b1	14,82	7,88	8,30	14,25
C		7,73		
c1		6,82		
D	6,80	3,27	6,79	3,42
F	1,33	5,22	6,52	10,54
f1	9,83	5,39	6,35	11,21
P			8,28	16,45
p1			7,50	15,82
M	14,03	8,12	8,29	15,25
N	9,98	6,19	5,86	12,49
X	9,50	4,03	8,03	8,81

c. Tratamiento T5

Se estima un solape de 9.8 cm, (49 por ciento); ubicado a 10 cm, debajo de la superficie del suelo (Figura 24). La profundidad de humedad vertical en el encuentro registra una media de 22.2 cm, que se inicia a nivel de la superficie. Comparando los porcentajes de humedad en los puntos de muestreo a 10 cm, de profundidad que se muestra en la Tabla 42. En general, no hay gran diferencia significativa entre los porcentajes de humedad de las muestras (a), (a1) y (m).

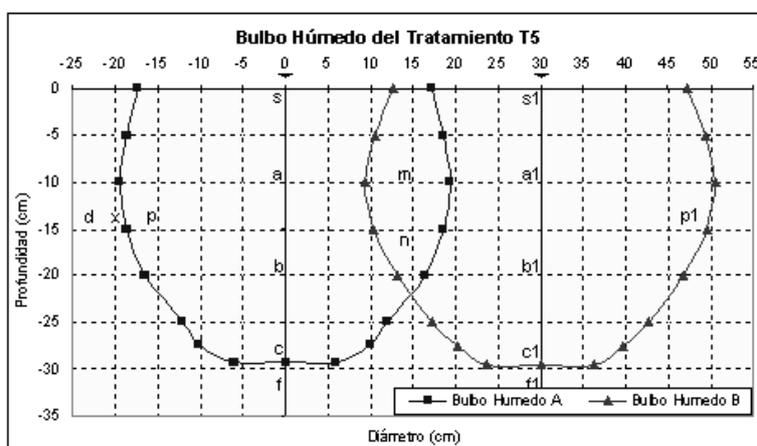


Figura 24: Puntos de muestreo de humedad del tratamiento T5

Tabla 42: Porcentaje de humedad y su ubicación. Tratamiento T5

Tratamiento T5. Humedad en el bulbo (%)				
Ubicación	B-I	B-II	B-III	B-IV
S	14,89	8,44	12,01	19,08
s1	15,83	10,27	10,09	19,14
A	16,60	9,95	11,52	19,60
a1	16,42	11,37	11,53	19,26
B	15,75	9,94	11,87	18,84
b1	15,10	10,46	9,90	18,68
C	15,24	10,29		18,58
c1	14,56	10,61		16,28
D	7,61	3,50	6,70	4,91
F	13,36	7,12	7,80	15,38
f1	12,88	5,23	7,63	15,47
P			11,24	19,10
p1			11,02	17,16
M	16,86	12,39	10,75	18,29
N	13,53	9,61	9,97	17,32
X	11,95	5,62	8,36	11,50

d. Tratamiento T6

Se estima un solape de 13,37 cm, (61,5 por ciento) de cobertura entre radios de bulbos consecutivos (Figura 25). La humedad vertical en el punto de encuentro es de 27,2 cm, de promedio, se inicia a nivel de superficie del suelo. La comparación de porcentajes de humedad en los puntos de muestreo a 10 cm, de profundidad que se muestra en la Tabla 43; se indica que no existe diferencia significativa entre los porcentajes de las muestras (a), (a1) y (m).

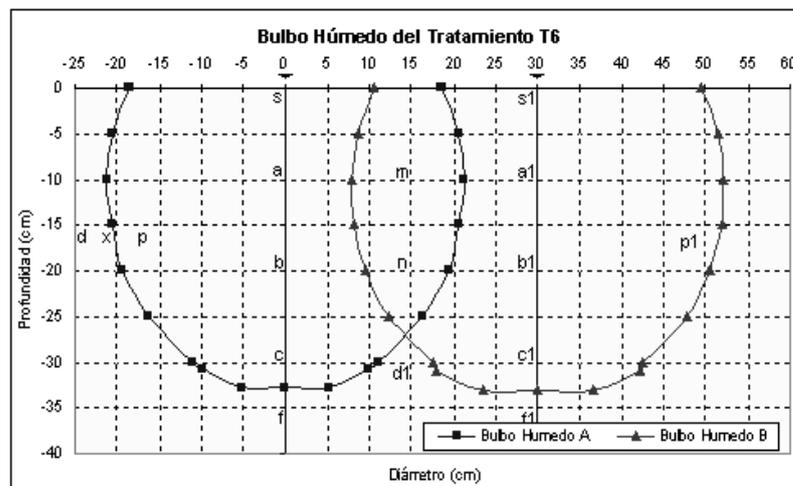


Figura 25: Puntos de muestreo de humedad del tratamiento T6

Tabla 43: Porcentaje de humedad y su ubicación. Tratamiento T6

Tratamiento T6. Humedad en el bulbo (%)				
Ubicación	B-I	B-II	B-III	B-IV
S	15,72	11,26	15,29	19,93
sl	16,10	8,70	14,57	19,70
A	16,13	10,16	16,13	19,10
a1	17,59	10,45	15,24	20,72
b	17,08	10,34	14,7	19,64
bl	17,5	10,63	14,24	16,83
c	15,66	9,96	12,6	19,37
cl	15,17	7,99	12,94	18,33
d	9,98	3,77	7,25	9,06
dl		5,72	9,65	14,77
f	10,96	7,35	8,51	16,40
fl	11,11	6,13	9,01	15,08
m	16,77	10,88	13,84	19,50
n	15,76	9,09	15,04	18,08
x	11,69	6,34	7,77	13,06

4.3.6.12. Estudio del Solape entre bulbos húmedos de dos líneas laterales de riego instalados sobre una estructura de aporque. Tratamientos T10, T11 y T12

Si el emisor está cerca del borde de la corona; al inicio, el avance del frente de humedad es radial, luego el flujo produce escurrimiento superficial sobre el talud del aporque, causando erosión ligera en la mayoría de los casos. En consecuencia, el avance de la humedad es más rápido sobre la superficie del talud, que motiva su acumulación en la parte baja y lateral del aporque, quedando un espacio de zona seca al interior entre los dos frentes de humedad. Este proceso se debe a la influencia del factor pendiente y concuerda con los estudios realizados por Gispert y García (1999) y Moya (2002).

a. Tratamiento T10

En la Figura 26, los resultados demuestran que no existe solape entre las dimensiones mayores horizontales del bulbo A, (26,3 cm.) y el bulbo B, (24,7 cm, las mismas están ubicadas a 15 cm., por debajo de la superficie de la corona. A este nivel, los frentes de humedad de los bulbos están separados 10,6 centímetros entre ellos. Comparando los porcentajes de humedad de las muestras obtenidas a 10 cm, de profundidad que se muestra en la Tabla 44; se observa que existe diferencia significativa entre las muestras (a), (a1) y (m), confirmando la ausencia de solape.

Tabla 44: Porcentaje de humedad y su ubicación. Tratamiento T10

Tratamiento T10. Humedad en el bulbo (%)				
Ubicación	B-I	B-II	B-III	B-IV
s	14,14	14,66	10,35	9,19
s1	14,91	13,9	9,71	9,70
a	14,77	15,88	10,88	9,23
a1	14,95	14,87	10,03	10,67
b	12,35	16,87	11,02	7,12
b1	12,49	15,75	10,85	8,55
d	4,46	3,18	6,26	2,52
f	8,20		8,03	7,38
f1	9,01		8,78	5,62
p			9,28	
m	10,46	7,97	7,79	8,58
n	4,95	8,43	6,18	5,16
x	10,64	11,11	8,81	6,13

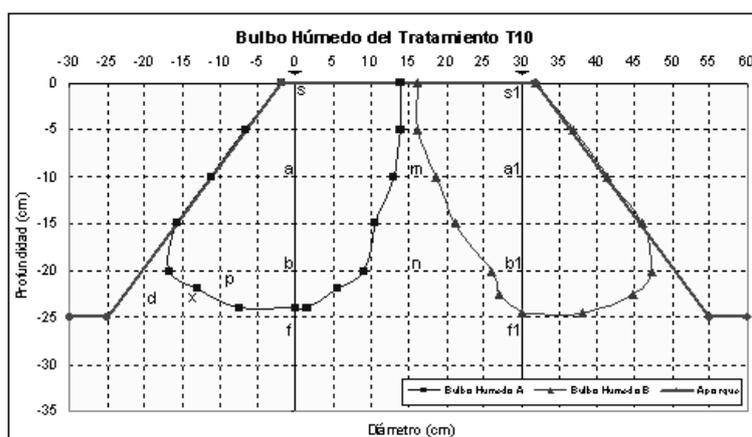


Figura 26: Puntos de muestreo de humedad del tratamiento T10

b. Tratamiento T11

En la Figura 27, se observa que no existe solape entre las dimensiones mayores de los bulbos consecutivos de A, (32 cm.) y B, (30,25 cm.); las mismas, están ubicadas a 20 cm., por debajo de la superficie de la corona. A este nivel, la separación entre los bulbos húmedos es de 8 cm. En la tabla 45, comparando el porcentaje de humedad de las muestras obtenidas a 10 cm, de profundidad, se indica que existe diferencia significativa de humedad en el bloque B-II, entre (a), (a1) y (m), más no, en los demás bloques.

Tabla 45: Porcentaje de humedad y su ubicación. Tratamiento T11

Tratamiento T11. Humedad en el bulbo (%)				
Ubicación	B-I	B-II	B-III	B-IV
s	14,51	15,32	6,13	12,58
s1	14,56	14,54	4,34	10,36
a	15,74	17,56	6,66	13,57
a1	17,44	16,86	6,70	11,12
b	17,05	16,85	5,19	15,65
b1	16,39	16,29	4,32	12,29
c	14,92			13,85
c1	14,00			10,95
d	8,43	4,93	2,45	4,19
d1	8,32	5,05	2,38	6,08
f	11,70			6,53
f1	11,54			6,49
p			5,53	13,78
p1			5,15	10,83
m	15,85	8,35	6,62	9,36
n	8,29	9,75	5,76	6,56
x	9,84	10,65	3,42	6,40

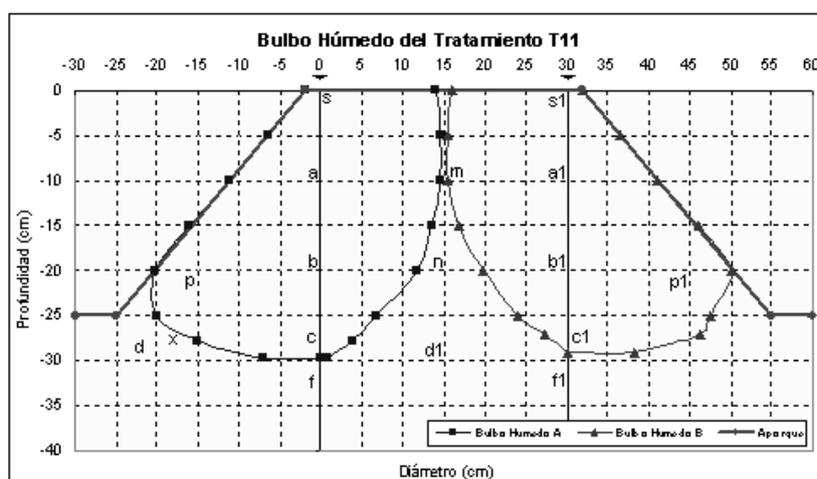


Figura 27: Puntos de muestreo de humedad del tratamiento T11

c. Tratamiento T12

De acuerdo con la Figura 28, no hay solape entre las dimensiones mayores horizontales. La mayor dimensión horizontal del bulbo A es 35 cm. y está ubicada a 25 cm., de profundidad; en el bulbo B, es 34,75 cm, ubicada a 20 cm., por debajo de la superficie de la corona. En la Tabla 46, de la comparación de los porcentajes

de humedad de las muestras, se muestra que no existe diferencia significativa entre las humedades de (a), (a1) y (m), obtenidas a 10 cm, de profundidad.

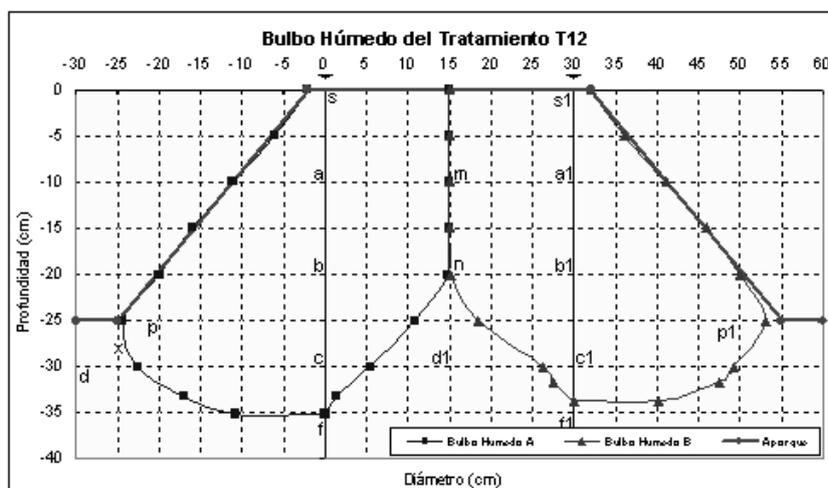


Figura 28: Puntos de muestreo de humedad del tratamiento T12

Tabla 46: Porcentaje de humedad y su ubicación. Tratamiento T12

Tratamiento T12. Humedad en el bulbo (%)				
Ubicación	B-I	B-II	B-III	B-IV
s	12,77	5,04	5,91	11,52
s1	14,23	6,17	7,77	12,67
a	13,98	6,83	7,50	13,95
a1	16,13	7,28	5,53	15,63
b	13,39	6,88	8,4	15,23
b1	17,31	7,49	6,72	14,79
c	12,93	5,76	7,01	12,09
c1	14,78	6,71	5,43	13,91
d	4,23	3,49	2,14	5,87
f	6,96	4,75	3,95	6,93
f1	6,12	4,30	3,8	6,72
m	14,72	7,01	7,35	12,00
n	14,76	7,04	7,4	12,22
p1			5,13	15,52
x	10,17	4,49	4,57	9,84

4.3.7. Conclusiones

- La forma geométrica que describe el bulbo húmedo bajo un gotero auto compensado de $2,5 \text{ l h}^{-1}$, en un suelo franco de superficie plana, es de un elipsoide truncado donde el plano de corte es la superficie del suelo.

- De las dimensiones del radio: En los tratamientos CaS y tratamientos SaS, no tienen diferencia significativa, se consideran iguales. Así mismo, en los tratamientos CaD, se obtienen menores dimensiones de radio que en los tratamientos SaD.
- De las dimensiones de profundidad del bulbo húmedo: Hay tendencia de registrar mayor profundidad en los tratamientos CaS, frente al SaS. Y en los tratamientos CaD se obtiene mayor profundidad frente a los tratamientos SaD, de acuerdo con las condiciones experimentales realizadas.
- En la condición de aporque con una línea lateral de riego; ubicada en la parte media de la corona: Tratamientos T7, T8 y T9.
- Solo en la primera hora de aplicación de riego, la forma geométrica del bulbo húmedo es de un elipsoide truncado. Transcurrido el tiempo de dos y tres horas de aplicación, la forma del bulbo húmedo se adapta a la forma de la estructura del aporque debajo de la corona.
- La mayor dimensión horizontal del radio del bulbo húmedo generalmente está ubicados a 10 centímetros, bajo la superficie de la corona. Y para los fines de orientación, en el diseño agronómico, se reportan las siguientes dimensiones obtenidas. Radio (cm): T7=16,87; T8=20,50; T9=23,00. La profundidad del bulbo (cm): T7=24,00; T8=28,25; T9=32,25
- En la condición de aporque con dos laterales de riego, donde los emisores están ubicados en el borde de la corona de aporque: Tratamientos T10, T11 y T12.
- La forma geométrica del bulbo húmedo es más compleja, y está condicionada por el escurrimiento del agua sobre el talud de aporque que influye en el desarrollo y avance horizontal (potencial mátrico) de la humedad.
- La dimensión horizontal mayor del radio del bulbo húmedo están ubicadas en diferentes profundidades por debajo de la superficie de la corona; a 15 cm., en T10; a nivel de 20 cm., en T11; a 25 cm., en T12. La humedad tiene tendencia a depositarse en la parte baja y lateral del aporque. Para los fines de orientación, en el diseño agronómico se tienen las siguientes dimensiones: Radio (cm): T10=12,78; T11=15,56; T12=17,43. La profundidad del bulbo (cm): T10=24,25; T11=29,37; T12=34,50
- Con respecto al estudio del solape. En la condición de aporque con dos laterales de riego; no se encontró solape. Las dimensiones húmedas

horizontales mayores no se recubren por el nivel de su ubicación. Sin embargo, hay presencia de cierta humedad que relaciona a los dos bulbos en los primeros centímetros por debajo de la corona. Es posible que se deba al encuentro de las zonas de interfaz al contacto entre los frentes de humedad de los bulbos o por el movimiento de agua de mayor potencial hacia al de menor potencial energético.

4.4. EXPERIMENTO 4. EFECTO DE LA DISPOSICIÓN DE LATERALES DE RIEGO POR GOTEO Y SECADO PARCIAL DEL SUELO EN EL RENDIMIENTO DE PAPA

4.4.1. Introducción

La investigación se desarrolló en la parcela experimental de la Facultad de Ingeniería Agrícola (FIA), en la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM) cuya ubicación geográfica es: Latitud sur 12° 4'54", longitud oeste 76° 56'50"y altitud de 240 msnm, durante los meses de junio a octubre del 2017. El suelo presentó una textura franca arenosa con una capacidad de campo de 20,7 por ciento, punto de marchitez permanente de 8,7 por ciento y densidad aparente de 1,45 g cm⁻³. El objetivo del experimento fue evaluar el efecto de la disposición de los componentes laterales de un sistema de riego por goteo en el rendimiento de la papa, utilizando el método de secado parcial de la zona de raíces PRD, reponiendo láminas de agua equivalentes al 100 y 50 por ciento de la ETc del cultivo.

4.4.2. Materiales y métodos

4.4.2.1. Material vegetal y aplicación del diseño

Como material vegetal, se utilizó la papa de la variedad UNICA, semillas evaluadas y seleccionadas por sus buenas características agronómicas y bromatológicas. La siembra se realizó el 14 de junio del 2017. La investigación está basada en un Diseño Factorial Completamente al Azar (D.F.C.A). Se consideraron dos factores: (a) dos tipos de disposición de lateral: Disposición 1 y Disposición 2) y (b) dos tipos de riego: al 100 por ciento de ETc –“T” y al 50 por ciento de ETc – “RP”), obteniendo como resultado cuatro tratamientos denominados disposición paralela, con lámina de riego al 50 por ciento de

ETc en PRD (RP1), disposición paralela, con lamina de riego al 100 por ciento de ETc (T-1), disposición lineal, con lámina de riego al 50% de ETc en PRD (RP2) y disposición lineal, con lamina de riego al 100 por ciento del ETc (T-2). El área neta del campo experimental fue de 270 m² la cual se dividió en 20 parcelas experimentales de 3,00 m x 4,50 m (13,5 m²) cada una con 5 repeticiones. Se utilizó un total de 45 plantas. La aplicación de los fertilizantes fue a través del sistema de riego con la siguiente dosis: 115 kg N ha⁻¹, 234 kg P₂O₅ ha⁻¹, 196 kg K₂O ha⁻¹, 59,6 kg CaO ha⁻¹, 32,4 kg MgO ha⁻¹ y 26,3 kg S ha⁻¹.

4.4.2.2. Consumo de agua del cultivo

Las variables climáticas registradas en la estación meteorológica de la Estación del departamento de recursos hídricos de la UNALM fueron la temperatura máxima Tmax (°C), temperatura mínima Tmin (°C), humedad relativa HR (%), velocidad del viento Vv (m/s), precipitación Pp (mm) y la evaporación del tanque clase A Ev (mm).

En la Tabla 47, se presentan los valores de dichas variables climáticas registrados durante el periodo de investigación, el mismo que se extendió desde el 14 de junio de 2017 hasta el 30 de septiembre del mismo año.

Tabla 47: Datos meteorológicos mensuales

MES	T _{max} (°C)	T _{min} (°C)	HR (%)	Vv (m s ⁻¹)	Pp (mm)	Ev Tanque clase A (mm)	Eto (Tanque) (mm día ⁻¹)
Junio	22,2	14,9	89,63	1,12	0,75	1,85	1,48
Julio	21,6	13,5	88,12	1,15	0,00	1,93	1,54
Agosto	20,1	13,3	90,85	1,18	0,50	1,58	1,26
Septiembre	22,1	13,3	91,95	1,10	0,75	1,69	1,35

FUENTE: Estación meteorológica del departamento de recursos hídricos. UNALM

El cálculo de la lámina de riego se efectuó a partir de la medida de la evaporación en el tanque clase "A", siendo el coeficiente del tanque Kp = 0,80 obteniéndose primeramente la evapotranspiración del cultivo de referencia a través de la relación: **ETo = E x Kp**

La evapotranspiración real se determinó multiplicando la evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o) por el coeficiente del cultivo (K_c): $ET_c = ET_o \times K_c$.

K_c .: Este coeficiente se tomó como referencia de estudios desarrollados, de la costa arequipeña (Tabla 48).

Tabla 48: Coeficiente de cultivo

PERIODO VEGETATIVO (Semanas)	K_c
1 -4	0,30
5 - 7	0,60
8 - 10	1,10
11 - 13	1,35
14 - 15	1,20
105 días	

Fuente. AUTODEMA (2015)

4.4.2.3. Disposición de los laterales de riego

La disposición de lateral tipo 1 (paralela) en cada surco se instaló dos mangueras de riego separadas por 20 cm de distancia y los emisores fueron colocados a 30 cm entre planta y planta. En la disposición de lateral tipo 2 (lineal), en cada surco se instaló una manguera con emisores cada 30 cm en el tratamiento control. En el caso de las unidades con riego mediante el secado parcial de raíces, se utilizaron dos mangueras juntas con emisores alternados y distanciados cada 60 cm en cada una de ellas. Detalles de la disposición se muestran en la Figura 29.

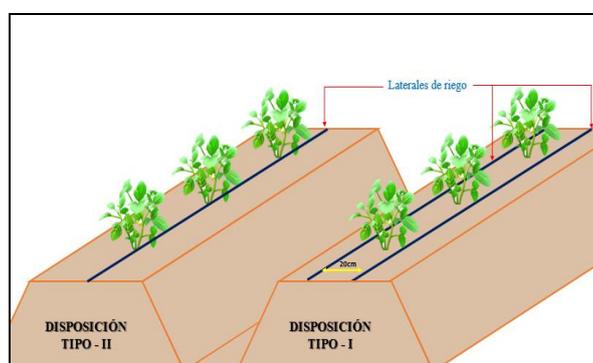


Figura 29: Disposición de laterales de riego

El secado parcial de raíces (PRD) al 50 por ciento del ET_c (RP1 y RP2) consistió en

humedecer la mitad de la zona radicular de la planta, con una lámina reducida al 50% del ETc. Esta aplicación se realizó de manera temporal en dos etapas del desarrollo fenológico de la planta (crecimiento y madurez), considerando que son etapas donde la restricción de agua no es influyente en la determinación del rendimiento. Los riegos control al 100 por ciento del ETc (T-1 y T-2) se realizaron de manera uniforme en todas las unidades experimentales durante todo el proceso productivo del cultivo. En ambas formas, la aplicación del agua de riego fue la frecuencia de un día.

4.4.2.4. Aplicación del riego

El riego parcial se aplicó en dos de los cuatro estados fenológicos de la papa, el primero en la etapa de crecimiento (II) y el segundo en la etapa de madurez (IV). En la Figura 30, se muestran las semanas después de la siembra en las que se aplicó el riego deficitario con secado parcial de raíces.

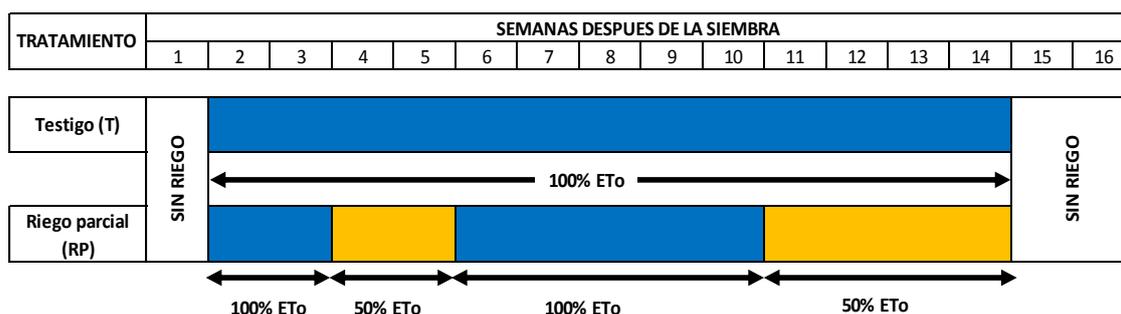


Figura 30: Tratamiento de riego

Según las disposiciones, en los tratamientos control (T-1 y T-2), la aplicación de las láminas de riego al 100 por ciento del Etc., durante todas las aplicaciones de riego, el coeficiente de uniformidad CU fue superiores a 89 por ciento, por lo que las parcelas experimentales se regaron de forma uniforme. En los tratamientos que se aplicó PRD, se realizaron restricciones de agua durante dos etapas fenológicas del cultivo. En las figuras 31 y 32, se muestran cómo se alternaron el humedecimiento de la zona de raíces en cada planta, cada línea lateral contó con una válvula de paso. El inicio de la aplicación de PRD se da al pasar agua por uno de los laterales, ejemplo la línea “A” queda abierto mientras que la línea “B” permanece cerrada en el riego siguiente se hizo la operación inversa, la línea “A” cerrada y la línea “B” abierta, de esta forma se humedece la zona de raíces en forma alternada.

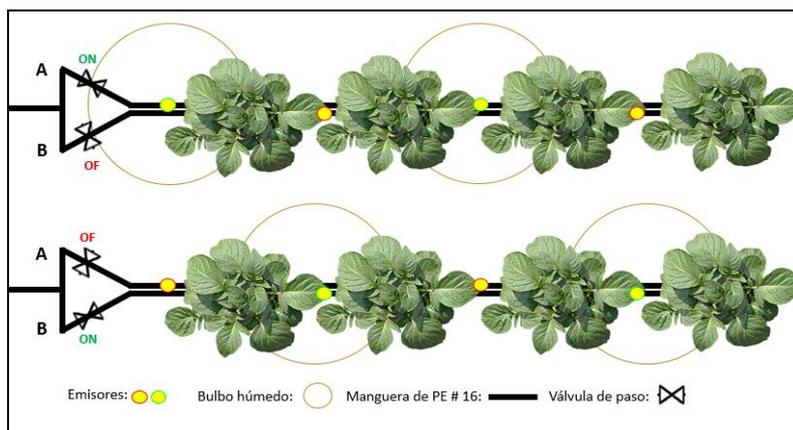


Figura 31: Vista en planta de la disposición lineal y la aplicación del riego deficitario con secado parcial de raíces

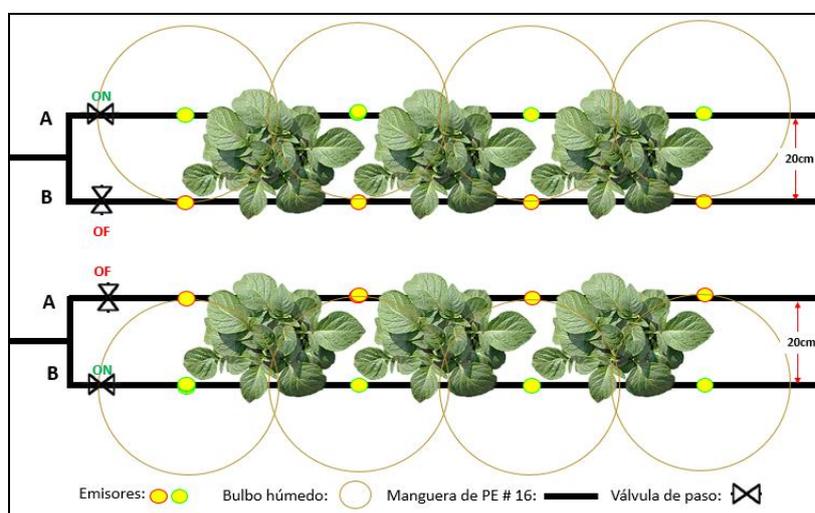


Figura 32: Vista en planta de la disposición en paralelo y la aplicación del riego deficitario con secado parcial de raíces

4.4.2.5. Evaluación de las variables en el cultivo

Durante el crecimiento y desarrollo, se evaluó el porcentaje de emergencia a los 12 y 25 días después de la siembra. La altura de plantas se midió en 8 oportunidades (dos veces por etapa fenológica), así como el número de tallos principales por planta cuyas evaluaciones se realizaron antes y después del aporque, iniciándose a los 21 después de la siembra. La cosecha se realizó de forma manual, se recogieron los tubérculos por cada planta, posteriormente fueron clasificados y pesados. El rendimiento total se considera como la relación entre la producción total y superficie cosechada, expresada en kg ha^{-1} .

$$\text{Rendimiento} = \text{Cantidad producida (t.)} / \text{superficie cosechada (ha)} * 1000.$$

El rendimiento comercial se considera como la relación entre la producción clasificada de acuerdo con los calibres pertenecientes al nivel comercial (extra, primera y segunda) y la superficie cosechada, expresada en kg ha⁻¹.

$$\text{Rendimiento} = \text{Cantidad producida (t.)} / \text{superficie cosechada (ha)} * 1000$$

Asimismo, se contabilizó el número de tubérculos por calibre. Para ello, se tomó como referencia la clasificación planteada por Sifuentes (2012), agrupadas en cinco categorías de acuerdo a su longitud o diámetro radial (Tabla 49).

Tabla 49: Descripción de calibres o diámetros de tubérculos de papa

Categoría	Diámetro longitudinal (cm)
Extra	> 9,0
Primera	7,5-9,0
Segunda	6,0 – 7,5
Tercera	4,5 – 6,0
Descarte	< 4,5

Fuente. Sifuentes (2012)

4.4.3. Resultados y discusión

4.4.3.1. Respuesta del riego parcial de secado en la zona de la raíz sobre el consumo de agua

En los tratamientos control (T-1 y T-2), se aplicó una lámina de riego total igual a 161.5 mm y se aseguró el 100 por ciento de los requerimientos hídricos del cultivo. Al tratamiento de secado parcial de raíces PRD (RP1 y RP2), se aplicó una lámina igual a 129,1 mm, aplicando el 50 por ciento de los requerimientos hídricos del cultivo en las etapas de emergencia y madurez alcanzándose un ahorro de agua en el tratamiento PRD de 20 por ciento

4.4.3.2. Cronograma de riegos y lámina aplicada para los diferentes tratamientos

En la Tabla 50, se presentan los resultados de las aplicaciones de agua para los diferentes tratamientos considerados en la investigación. En los tratamientos control (T-1 y T-2), se aseguró el 100 por ciento de los requerimientos hídricos del cultivo aplicando una lámina total de riego de 161,5 mm (1 615 m³ ha⁻¹). Para el caso del tratamiento de secado parcial de la zona de raíces (RP1 y RP2), la lámina total de riego fue de 129,1 mm, aplicando el

50% de los requerimientos hídricos del cultivo en las etapas de emergencia y madurez. El procedimiento PRD se realizó en dos etapas. La primera coincide con el estado fenológico de crecimiento de la planta, a partir del día 20 (03/07/2017) hasta el día 29 después de la siembra (12/07/2017). La segunda aplicación se realizó entre los días 67 y 94 después de la siembra (desde el 28 de agosto hasta el 15 de octubre del 2017), coincidiendo con la etapa fenológica de maduración del producto. Los tratamientos RP1 y RP2, en ambas etapas, se realizaron con aplicaciones de agua al 50 por ciento de la demanda hídrica del cultivo, con una lámina total de 129,1 mm ($1\ 291\ m^3\ ha^{-1}$).

Tabla 50: Lámina de agua aplicada durante el experimento

Día después de la siembra	N° de riego	Fecha de riego	Lámina de agua aplicada por tratamiento (mm)			
			PRD1	T-1	PRD2	T-2
10	1	23/06/2017	2,7	2,7	2,7	2,7
13	2	26/06/2017	2,0	2,0	2,0	2,0
15	3	28/06/2017	2,0	2,0	2,0	2,0
18	4	01/07/2017	2,0	2,0	2,0	2,0
20	5	03/07/2017	0,7	1,4	0,7	1,4
22	6	05/07/2017	0,7	1,4	0,7	1,4
24	7	07/07/2017	0,7	1,4	0,7	1,4
27	8	10/07/2017	1,0	2,0	1,0	2,0
29	9	12/07/2017	1,4	2,7	1,4	2,7
32	10	15/07/2017	3,0	3,0	3,0	3,0
34	11	17/07/2017	6,8	6,8	6,8	6,8
37	12	20/07/2017	3,0	3,0	3,0	3,0
39	13	22/07/2017	3,1	3,1	3,1	3,1
41	14	24/07/2017	3,4	3,4	3,4	3,4
43	15	26/07/2017	2,7	2,7	2,7	2,7
45	16	28/07/2017	4,5	4,5	4,5	4,5
49	17	01/08/2017	7,5	7,5	7,5	7,5
51	18	03/08/2017	6,0	6,0	6,0	6,0
53	19	05/08/2017	1,4	1,4	1,4	1,4
55	20	07/08/2017	1,4	1,4	1,4	1,4
57	21	09/08/2017	6,4	6,4	6,4	6,4
59	22	11/08/2017	1,4	1,4	1,4	1,4
62	23	14/08/2017	7,9	7,9	7,9	7,9
64	24	16/08/2017	6,7	6,7	6,7	6,7
66	25	18/08/2017	1,4	1,4	1,4	1,4
69	26	21/08/2017	7,6	7,6	7,6	7,6
71	27	23/08/2017	7,2	7,2	7,2	7,2
74	28	26/08/2017	6,4	6,4	6,4	6,4
76	29	28/08/2017	4,1	8,2	4,1	8,2
79	30	31/08/2017	3,1	6,3	3,1	6,3

81	31	02/09/2017	2,2	4,5	2,2	4,5
83	32	04/09/2017	2,7	5,5	2,7	5,5
85	33	06/09/2017	5,8	11,6	5,8	11,6
87	34	08/09/2017	1,5	3,0	1,5	3,0
90	35	11/09/2017	2,8	5,6	2,8	5,6
92	36	13/09/2017	2,5	4,9	2,5	4,9
94	37	15/09/2017	3,3	6,5	3,3	6,5
TOTAL			129,1	161,5	129,1	161,5

4.4.3.3. Porcentaje de emergencia

A los 12 días después de la siembra, el porcentaje promedio de emergencia fue de 95 por ciento. La segunda verificación se realizó a los 25 días posteriores a la siembra, notándose que se alcanzó el 100 por ciento de emergencia. No se presentaron diferencias en la emergencia respecto a los tratamientos, ya que está más influenciada por las condiciones del tubérculo-semilla y las condiciones del suelo que con los factores en estudio.

4.4.3.4. Altura de plantas

En la Tabla 51, se muestran los promedios de alturas de planta tomadas en diferentes periodos vegetativos. Durante los primeros días después de la siembra, el promedio de alturas no varió, posteriormente se presentó diferencia mínima entre los tratamientos que recibieron el PRD y los tratamientos que fueron regados en condiciones normales (100 por ciento ETc). La planta alcanzó su porte máximo a los 106 días presentando alturas máximas de 103, 91, 92 y 102 cm para T-1, RP1, RP2 y T-2 respectivamente.

Tabla 51: Altura de planta en centímetros de los cuatro tratamientos registrados durante el desarrollo de la planta

TRATAMIENTO	Días después de la siembra									
	12	19	26	40	49	60	71	81	97	106
T-1	13	17	23	35	44	65	82	100	102	103
RP1	13	17	22	33	42	62	79	85	91	91
RP2	13	16	23	34	45	65	80	89	90	92
T-2	13	18	24	36	45	65	83	91	100	102

Gutiérrez (2007) indica que las plantas de la variedad única alcanzan una altura máxima de 120 cm. Sin embargo, en el presente experimento alcanzaron un porte máximo de 103 cm en T-1.

4.4.3.5. Número de tallos principales por planta

A los 30 días después de la siembra, se realizó el conteo del número de tallos principales por planta (antes del aporque). Finalmente, se hizo el último conteo a los 106 días después de la siembra (Tabla 52). Se observa que el promedio de tallos fue disminuyendo respecto al conteo inicial, debido a que la planta alcanza la madurez y por consiguiente las hojas inferiores se amarillan y el follaje se cae (Egúsquiza 2014).

Tabla 52: Tallos por planta para cada tratamiento registrados a los 30 y 106 días después de la siembra

Tratamiento	Aporque (30 dds)	Cosecha (106 dds)
T-1	5,3	4,9
RP1	5,1	4,3
RP2	4,7	4,6
T-2	4,6	4,4

4.4.3.6. Área foliar

En la Tabla 53, se presentan los porcentajes promedio de cobertura del dosel obtenidos de 10 fechas de muestreo con 10 repeticiones por fecha, observándose que el tratamiento testigo alcanzó mayores valores de cobertura del dosel. Esto debido a que el suministro de agua fue adecuado y no generó estrés hídrico en la planta.

Tabla 53: Cobertura promedio de dosel según la lámina de riego aplicada

Medición Días después de la siembra	Cobertura del dosel (Porcentaje)	
	Tratamiento control	Tratamiento de riego parcial de la zona de raíces
13	0,7	0,6
18	3,9	3,6
29	21,8	18,3
34	31,7	26,8
43	60,6	56,1
46	69,4	66,0
52	81,6	79,2
59	91,0	83,3
74	83,6	81,4
95	72,1	76,4

4.4.3.7. Respuesta del riego de secado parcial de la zona radicular sobre el rendimiento

En la Tabla 54, se muestra el rendimiento total de los diferentes tratamientos expresados en $t\ ha^{-1}$. El análisis de variancia indica los factores disposición y riego son significativos, y los efectos influyen sobre el rendimiento total.

Tabla 54: Rendimiento total de las plantas con diferentes tratamientos a los 110 días después de la siembra

Tratamiento	Rendimiento total $tn\ ha^{-1}$
T-1	64
RP1	60
RP2	61
T-2	66

En la Figura 33, se muestra los rendimientos totales estimados en $t\ ha^{-1}$. El mayor rendimiento se obtuvo con el tratamiento T-2 que produjo 3% más que el tratamiento T-1, mientras que los rendimientos más bajos se presentaron en los tratamientos RP1 y RP2, siendo este último superior en 1%.

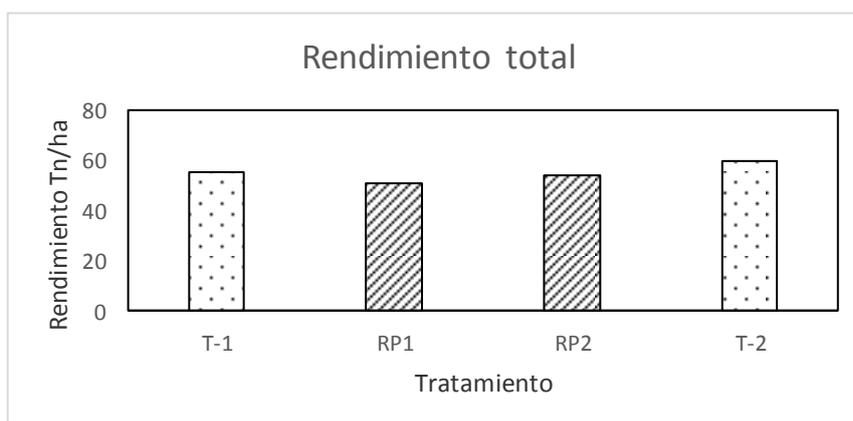


Figura 333: Vista en planta de la disposición en paralelo y la aplicación del riego deficitario con secado parcial de raíces

4.4.3.8. Análisis de Varianza (ANOVA)

En la Tabla 55, se presenta el análisis de variancia del rendimiento total. Los resultados indican que los factores tipo de disposición de laterales y la interacción disposición: del

riego son significativos, y los efectos influyen sobre el rendimiento total, como se observa en la Tabla 55 que el tipo de riego es el que mayor incidencia tiene en el rendimiento total.

Tabla 55: Análisis de varianza del rendimiento total por planta

Factor	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	Valor de F	Probabilidad p
Disposición de laterales	0,282	0,28209	3,1521	0,07617000
Tipos de riego	1,939	1,93887	21,6652	0,00000374
Interacción Disposición de laterales: Tipo de riego	0,044	0,043552	0,4863	0,48575000
Error	801,85	0,08949		

De la Tabla 55, se observa que existe efecto de interacción estadísticamente significativa entre los niveles de los factores tipo de disposición de lateral (Disposición) y el tipo de riego (Riego), ya que el Valor p (0,486) es mayor al nivel de significación (0,05). Esto quiere decir que al combinar los niveles de los factores resultarían dando rendimientos totales iguales o similares que al utilizar los niveles de los factores por separado.

4.4.3.9. Comparación de medias “Prueba de Duncan”

Del análisis estadístico (Tabla 56), se obtiene que no existe diferencia significativa entre los factores Disposición (1 y 2) y Tipo de riego (T y RP), pero si existe diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos de diferentes disposiciones y sus respectivos tratamientos (T-1 y RP1, T-2 y RP2); si bien es cierto existe una similitud en los rendimientos totales pero la diferencia se verá en los rendimientos comerciales, ya que de una u otra manera el tipo de disposición y la aplicación del RP influyeron en el calibre de los tubérculos provocando una reducción del rendimiento comercial.

Tabla 56: Comparación de medias, según Prueba de Duncan, rendimiento total

Pares	Transformación	Ranking
Disposición 2:T	0,7723362	a
Disposición 1:T	0,7230201	a
Disposición 2:RP	0,6655991	b
Disposición 1:RP	0,6440993	b

4.4.3.10. Rendimiento comercial

En la Tabla 57, se presentan los resultados obtenidos para el rendimiento comercial de la papa para los diferentes tratamientos obtenida a los 110 días después de la siembra. La aplicación del riego deficitario es una técnica que permite el ahorro de agua, pero ocasiona una ligera reducción en el rendimiento comercial. En la disposición tipo 1 (T-1 y RP1), la reducción del rendimiento comercial es del 7 por ciento; en el de tipo 2 (T-2 y RP2) se incrementa a 9 por ciento.

Tabla 57: Rendimiento comercial de las plantas con diferentes tratamientos a los 110 días después de la siembra

Tratamiento	Rendimiento comercial tn ha ⁻¹
T-1	55
RP1	51
RP2	54
T-2	60

Tanto el tipo de disposición de laterales de riego y la aplicación del riego deficitario, influyeron directamente en el rendimiento. Como se muestra en la Figura 34, de los tratamientos que no recibieron riego deficitario, el que alcanza el mejor rendimiento, con fines comerciales, es el tratamiento de disposición de lateral tipo 2 (T-2), siendo superior en 8% al tratamiento de disposición de lateral tipo 1 (T-1).

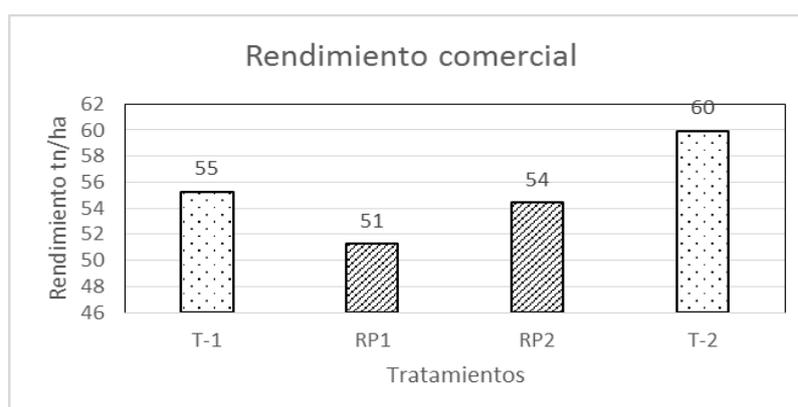


Figura 34: Rendimiento comercial para cada tratamiento en tn ha⁻¹

4.4.3.11. Número de tubérculos comerciales y no comerciales

Con la finalidad de saber la influencia del riego deficitario en la cantidad de tubérculos comerciales y no comerciales por planta, se consideraron grupos de clasificación para identificar el efecto, siendo estas las siguientes:

- Tamaños comerciales: extra, primera, segunda.
- Tamaños pequeños: tercera y otros (<4,5cm)

En la Figura 35, se observa que el tipo de disposición tiene una repercusión en el porcentaje de tubérculos de menor tamaño, RP1 y T-1 dieron como resultado mayor porcentaje de tubérculos pequeños, mientras que T-2 y RP2 presentan mayor porcentaje de tubérculos grandes.

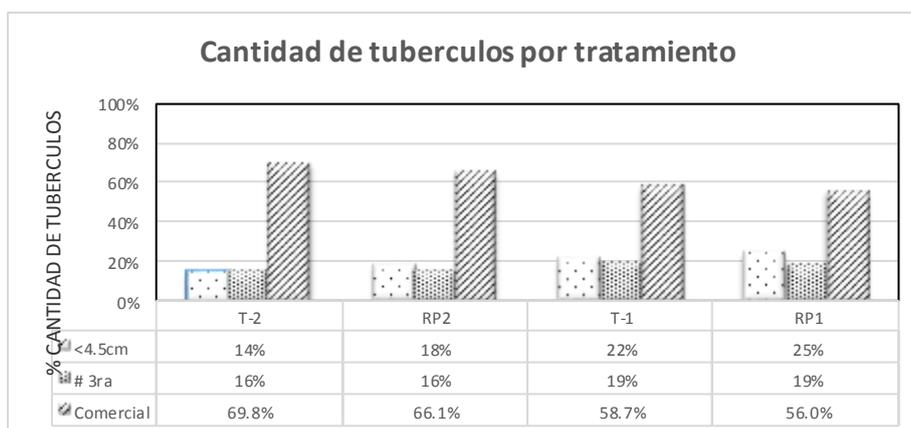


Figura 35: Distribución porcentual del número de tubérculos según su clasificación

4.4.3.12. Número de tubérculos comerciales análisis de Varianza (ANOVA)

En la Tabla 58, se presenta el análisis de varianza para el número de tubérculos comerciales. El factor disposición del riego es significativo; por lo tanto, estos factores contribuyen a explicar el número tubérculos comerciales (Tabla 54)

Tabla 58: Análisis de varianza del número de tubérculos comerciales por planta prueba Duncan

Factor	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	Valor de F	Probabilidad p
Disposición de laterales	0,182	0,1807	0,2021	0,065300
Tipos de riego	10,5	10,501	11,7459	0,000638
Interacción Disposición de laterales: Tipo de riego	0,44	0,0406	0,0459	0,831363
Error	801,07	0,08941		

En la Tabla 59, se presenta el análisis estadístico de comparación de medias del número de tubérculos comerciales, según la prueba de Duncan. La prueba muestra que no existe diferencia significativa entre los tratamientos y sus respectivos testigos (PRD1y T-1, SPR2 y T-2); en cambio, las diferencia son estadísticamente significativa entre las disposiciones ¿de? laterales de riego utilizadas (T-1 y T-2, RP1 y RP2). El mayor número de tubérculos comerciales provienen de los tratamientos RP1 y T-1, con un promedio de 10,06 y 10,68 tubérculos por planta. El menor número de tubérculos por planta corresponden a los tratamientos RP2 y T-2, con valores de 10,07 y 10,77 respectivamente.

Tabla 59: Comparación de medias, según prueba de Duncan, número de tubérculos comerciales

Pares	Transformación	Ranking
Disposición 2:T	4,507008	a
Disposición 1:T	4,465243	a
Disposición 2:RP	4,27754	b
Disposición 1:RP	4,262631	b

4.4.3.13. Número de Tubérculos no comerciales análisis de Varianza (ANOVA)

Del mismo modo que para el caso de los tubérculos comerciales, se llevó a cabo el análisis de varianza del número de tubérculos no comerciales. Los resultados se presentan en la Tabla 60, la cual muestra que solamente el factor tipo de disposición es significativo. Es decir, que solo ese factor contribuye a explicar el número tubérculos no comerciales

Tabla 60: Análisis de varianza del número de tubérculos no comerciales por planta

Factor	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	Valor de F	Probabilidad p
Disposición de laterales	187,01	187,013	62,8254	0,000000
Tipos de riego	0,61	0,613	0,2058	0,650
Interacción Disposición de laterales: Tipo de riego	0,44	0,0406	0,0459	0,82513
Error	801,07	0,08941		

En la Tabla 61, se presenta el análisis estadístico de Duncan de comparación de medias del número de tubérculos no comerciales. Los resultados muestran que no existe diferencia significativa entre los tratamientos y sus respectivos testigos (PRD1 y T-1, RP2 y T-2); en cambio, las diferencias son estadísticamente significativas entre las diferentes disposiciones de laterales de riego (T-1 y T-2, RP1 y RP2). El mayor número de tubérculos no comerciales se presentó en los tratamientos RP1 y T-1, con valores medios de 7,52 y 7,90 tubérculos por planta, respectivamente. El menor número de tubérculos por planta ocurre en los tratamientos RP2 y T-2, con valores de 5,17 y 4,66 respectivamente.

Tabla 61: Comparación de medias, según prueba de Duncan, número de tubérculos no comerciales

Pares	Transformación	Ranking
Disposición 1:RP	2,740371	a
Disposición 1:T	2,713613	a
Disposición 2:RP	1,854105	b
Disposición 2:T	1,776508	b

4.4.3.14. Tamaño de tubérculos

Con la finalidad de saber la influencia del riego deficitario en el calibre de los tubérculos, se realizó la clasificación manual representadas en la Figura 36. De la clasificación antes mencionada, se puede notar que existen efectos en el calibre de los tubérculos. Por, un lado, existe disminución a causa de la disposición de laterales (T-1 y T-2) y también por la aplicación del riego deficitario con secado parcial de raíces (RP1 y RP2), provocando una disminución sustancial en los rendimientos. La disposición de tipo 1 (RP1 y T-1) presentó mayor cantidad de tubérculos del calibre “extra”. En el calibre “primera, se observó

coincidencia en los cuatro tratamientos. Se presentó superioridad de la disposición de tipo 1 respecto a la disposición de tipo 2 en los calibres “segunda”, “tercera” y los menores de 4.5cm; se nota claramente que tanto la disposición y la aplicación de RPD han tenido repercusión en el calibre de los tubérculos.

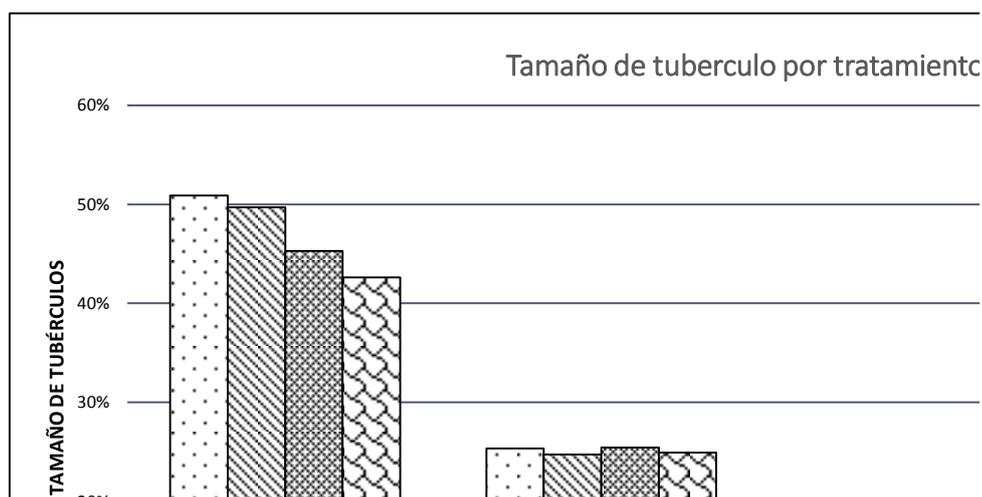


Figura 36: Tamaño de tubérculos según su clasificación

Del análisis estadístico (Tabla 62), se obtiene que; en la clasificación tipo extra existe diferencia significativa. Se logró mejores resultados en el tratamiento T-2 y resultados más bajos en RP1. Para la clasificación primera (1era), no se encontró significancia estadística entre los cuatro tratamientos obteniéndose resultados muy parecidos. Para la clasificación segunda (2da), se observó que hay diferencia significativa, siendo los tratamientos de mejor resultado T-1 y RP1, y los más bajos T-2 y RP2. Para la clasificación tercera (3era), se identificó diferencia estadística entre los tratamientos, los que presentaron valores más altos y con similitud fueron T-1 y RP1, mientras que los más bajos y similares fueron T-2 y RP2. Para la clasificación de tubérculos menores a la longitud de 4,5 cm, se identificó diferencia estadística siendo la de menor valor el tratamiento T-2 y el resto presentó similitud entre sus medias.

Tabla 62: Comparación de medias del rendimiento por calibres de tubérculos por planta del cultivo de papa, sometidos a cuatro tratamientos, según la prueba de Tukey

Tratamiento	Extra	1 era	2 da	3era	< 4,5cm
T-2	1,0100889 a	0,5030667 a	0,2871556 ab	0,1445778 b	0,04244444 b
RP2	0,9115556 ab	0,4541333 a	0,2688000 b	0,1355556 b	0,06595556 a
T-1	0,8694667 bc	0,4879556 a	0,3023556 ab	0,1866667 a	0,07395556 a
RP1	0,7723111 c	0,4519556 a	0,3157778 a	0,1881333 a	0,08511111 a
Significancia	significativo	NS	significativo	significativo	significativo

4.4.3.15. Eficiencia de uso del agua

La eficiencia de uso del agua se expresa como la producción de papa en kg m^{-3} de agua aplicado al cultivo. Los valores de la eficiencia de uso del agua se muestran en la Tabla 63.

Tabla 63: Eficiencia de uso del agua

Tratamiento	Rendimiento kg ha^{-1}	Consumo de agua $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$	Eficiencia de uso del agua kg m^{-3}
T-1	64000	1 651	38,76
RP1	60000	1 291	46,48
RP2	61000	1 291	47,25
T-2	66000	1 651	39,98

Los valores más altos de la productividad del agua corresponden a los tratamientos del secado parcial de raíces con valores de $46,48 \text{ kg m}^{-3}$ y $47,25 \text{ kg m}^{-3}$, esto debido al menor consumo de agua en comparación con los otros tratamientos. Los valores más bajos le corresponden al tratamiento control y las disposiciones de los laterales de riego 1 y 2 con $38,76 \text{ kg m}^{-3}$ y $39,98 \text{ kg m}^{-3}$ respectivamente.

En este estudio, los resultados del rendimiento total y rendimiento comercial fueron superiores a los 60 y 50 tn ha^{-1} para los tratamientos T-1, T-2, RP1 y RP2 respectivamente. Estos valores son mayores a otros estudios realizados en diferentes partes del mundo por Sarker *et al.* (2019), Qin *et al.* (2018), Yactayo *et al.* (2017, 2013), Erdem *et al.* (2005), Foti *et al.* (1995). Estos altos rendimientos obtenidos se pueden atribuir a la aplicación del riego deficitario con secado parcial de raíces en dos etapas fenológicas (crecimiento y madurez) y a la aplicación de los fertilizantes vía sistema de riego, los nutrientes y el agua

tienen una estrecha relación, por lo que la aplicación de fertilizantes subterráneos aumenta la eficiencia de nutrientes del cultivo al utilizar el agua disponible (Farooq *et al.* 2009). Los cultivos sensibles a la sequía como la papa generalmente cierran sus estomas cuando están sometidos a estrés hídrico (Ahmadi *et al.* 2010), la transpiración puede ser inhibida por un secado alternativo, pero esto no necesariamente afecta la absorción de nutrientes de manera similar. Han y Kang (2002) informaron que la eficiencia total de uso de N y P aumentó con la técnica de secado parcial de la raíz en comparación con la irrigación completa tradicional.

Respecto al tamaño de los tubérculos, este se redujo notándose significancia estadística en el número de tubérculos comerciales, mientras que el efecto significativo en tubérculos no comerciales se dio por el tipo de disposición de laterales de riego. Los resultados de los tratamientos de RP no produjeron diferencias significativas en el rendimiento de tubérculos en comparación con los tratamientos de T-1 y T-2. El riego parcial de la zona de raíces puede afectar positivamente la temperatura del suelo y la absorción de agua, evitando una reducción significativa del rendimiento del cultivo (Karandish y Shahnazari 2016). Los resultados estuvieron de acuerdo con los estudios que probaron el riego secado parcial de raíces PRD (Wang *et al.* 2009; Xie *et al.* 2012; Yactayo *et al.* 2013, 2017; Abdelraouf 2016) y el riego deficitario (Erdem *et al.* 2005; Wang *et al.* 2009) en el que el rendimiento de la papa no se redujo significativamente utilizando el 50 por ciento del agua suministrada en RP1 y RP2 en comparación a T-1 y T-2. El PRD, se realizó en dos etapas. La primera fue a partir del día 20 después de la siembra (03/07/2017) hasta el día 29 después de la siembra (12/07/2017), este primer periodo de aplicación coincidió con el estado fenológico de crecimiento. La segunda aplicación se realizó entre los 67 y 94 días después de la siembra (de 28 de agosto al 15 de octubre del 2017), coincidiendo con la etapa fenológica de maduración. En estas etapas, los tratamientos RP1 y RP2 recibieron el 50 por ciento de la demanda evapotranspiratoria. La cantidad de agua que se aplicó a los tratamientos testigos T-1 y T-2 ($1\ 615\ \text{m}^3\text{ha}^{-1}$), en comparación a los tratamientos RP1 y RP2 ($1\ 291\ \text{m}^3\ \text{ha}^{-1}$) existiendo un ahorro de agua del 20 por ciento. Estudios anteriores indican que la productividad del agua en el cultivo de papa varió de 9 a $25\ \text{kg}\ \text{m}^{-3}$ en diferentes climas (Ierna y Mauromicale 2018; Sarker *et al.* 2016, Badr *et al.* 2012, Jovanovic *et al.* 2010; Ahmadi *et al.* 2010; Li *et al.* 2007, Darwish *et al.* 2006; yuan *et al.* 2003). Sánchez y Rivera (2015), en un experimento de evaluación del rendimiento del cultivo de papa bajo

la aplicación del riego deficitario (PRD) utilizando cintas de riego, reportaron valores de productividad de agua en la misma zona de estudio de 26,6450 kg m⁻³ y 21,5450 kg m⁻³, para los tratamientos PRD y bajo riego por goteo al 100 por ciento Etc. respectivamente. Con ello, se demuestra que la productividad del agua fue significativamente mejorada, en 23,7 por ciento, en aquellas plantas expuestas bajo el sistema de PRD, en relación con aquellas bajo riego por goteo al 100 por ciento Etc.

4.4.4. Conclusiones

La aplicación del riego por goteo con dos disposiciones de los laterales de riego para la aplicación del PRD complementado con fertirrigación permitió incrementar significativamente el rendimiento, tanto en condiciones de riego con 100 por ciento de ETC como en el secado parcial de raíces PRD. Con esta tecnología, se logró un incremento de aproximadamente 33 por ciento en el rendimiento comercial, lográndose obtener una producción total superior a 60 t ha⁻¹ y más de 50 t ha⁻¹ de rendimiento comercial, en comparación a las 40 t ha⁻¹ el rendimiento promedio obtenido por Sánchez (2012) y Nuñez (2016) con la variedad UNICA en la misma zona de estudio. El riego deficitario con secado parcial de raíces, aplicado en dos etapas fenológicas (crecimiento y madurez), redujo de forma notable el tamaño de los tubérculos, notándose significancia estadística en el número de tubérculos comerciales, mientras que el efecto significativo en tubérculos no comerciales se dio por el tipo de disposición de laterales de riego.

4.5. EXPERIMENTO 5. DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE CULTIVO (KC) DE LA PAPA (SOLANUM TUBEROSUM) VARIEDAD UNICA UTILIZANDO LISÍMETRO DE DRENAJE

4.5.1. Introducción

El ensayo se realizó en el área demostrativa del Departamento de Recursos Hídricos (DRH) de la facultad de Ingeniería Agrícola, de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM) durante los meses de junio, julio, agosto y setiembre del año 2017. Para la ejecución del experimento, se diseñó y construyó un lisímetro de drenaje de 1.2 m² de área. En la Figura 37 y 38, se muestra un esquema en planta y elevación del lisímetro de drenaje propuesto para el experimento.

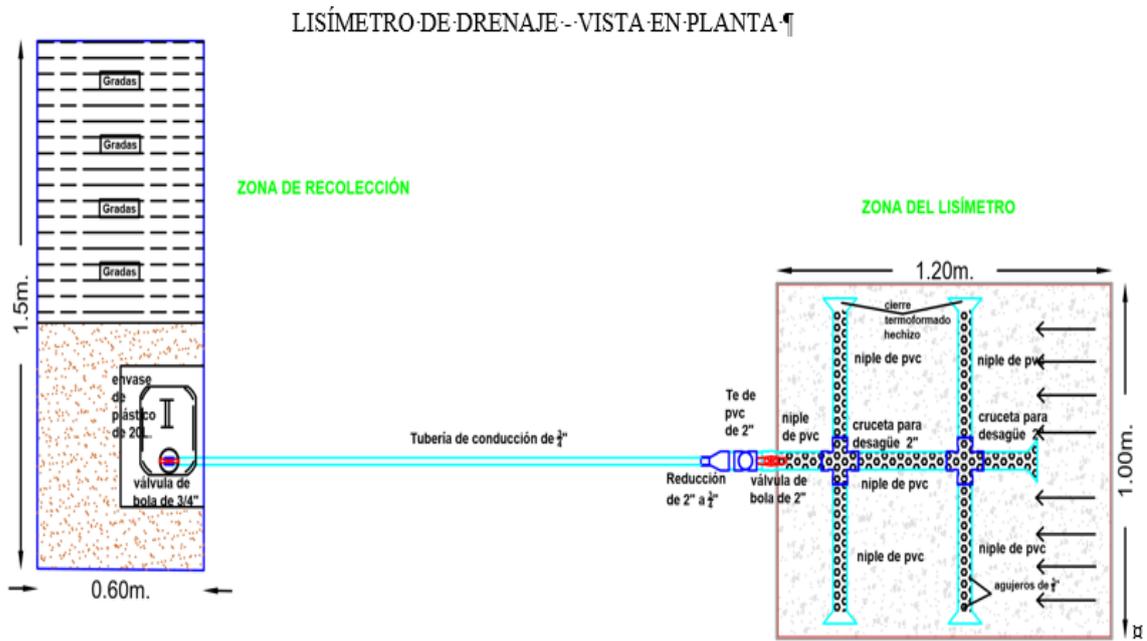


Figura 37: Esquema en planta del lisímetro de drenaje

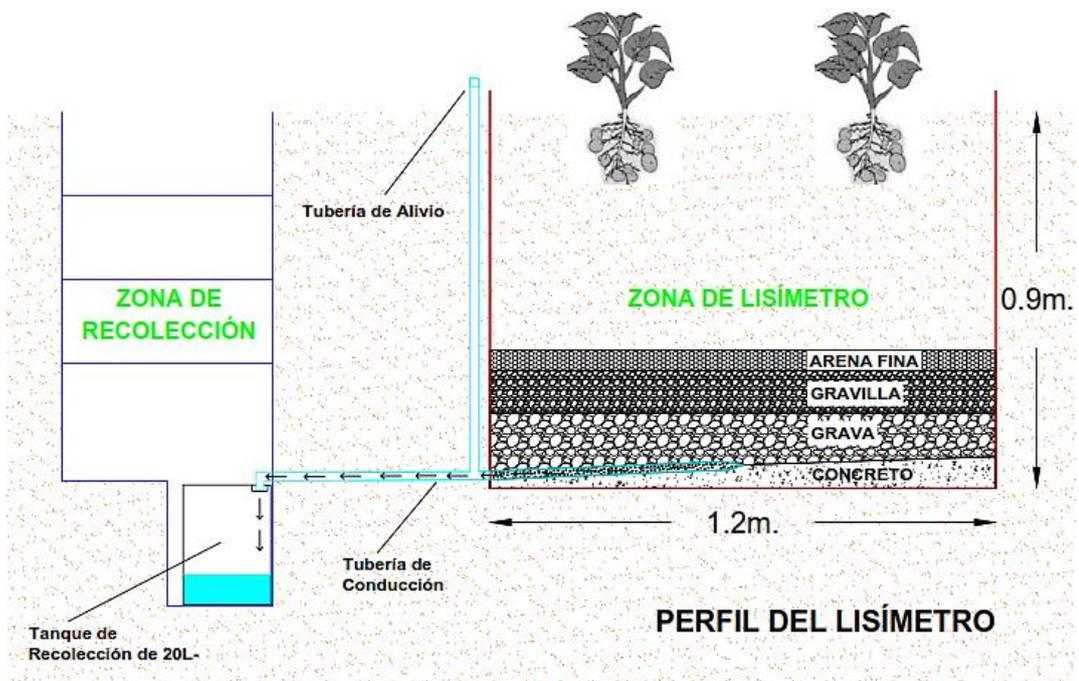


Figura 38: Esquema en elevación del lisímetro de drenaje

4.5.2. Materiales y métodos

La construcción de la zona del lisímetro se empezó con la excavación del terreno de 1.2m de largo por 1.5 de ancho por 1.2 metros de profundidad. Donde, el volumen de la excavación es superior a la del tanque, esto con la finalidad de tener una mejor maniobrabilidad al momento de la instalación del tanque rectangular de 1.2m² de área por 1 m de profundidad. La base del tanque fue de concreto, sobre el cual se colocó los niples de PVC clase 10 de 2” de diámetro, con agujeros alrededor del niple y con disposición en H. Además, contó con 4 tapones finales, dos crucetas, una válvula de bola, una reducción de 2” a ¾” y una tubería de evacuación de ¾” que termina en la zanja de drenaje. Sobre el sistema de drenaje del lisímetro, se colocó capas de grava, gravilla y arena fina tal como se observa en el perfil de lisímetro. Para la construcción de la zona de recolección, se hizo una excavación de 2.5 metros de largo por 0.6 metros de ancho y 1,2 metros de profundidad que se realizó en forma de gradas tal como se observa en el esquema del perfil del lisímetro zona de recolección. El material vegetal utilizado en el experimento fue el cultivo la papa variedad única, los equipos utilizados para el monitoreo de la evapotranspiración fueron un tanque de evaporación clase A y una estación meteorológica automática Modelo Ventage. Para la evaluación de la humedad en el suelo, se usó un tensiómetro SR-212 de 30 cm, irrometer y 1 Sensor de humedad del suelo Watermark. Para la calibración de los medidores de humedad, se hizo a través del método gravimétrico. Para ello, se usó un horno de secado de muestra en el laboratorio, balanza electrónica y para la toma de muestras se utilizó un barreno en espiral. El monitoreo de la humedad en el suelo sirvió para corroborar que el suelo esté a capacidad de campo (CC) y así poder saber el momento de inicio del riego.

La instalación y desarrollo del cultivo se realizaron dentro y en paralelo a un cultivo mayor de papa variedad única, siendo el área total bruta sembrada de 270m², el cual contiene al lisímetro donde se realizó la aplicación y toma de datos. Previo a realizar la siembra, se realizó un riego pesado para proceder a la siembra de la papa variedad única, el cual se realizó mediante la siembra directa a una separación entre hileras de 0,8m y de 0,3m entre plantas y a una profundidad de 0,1m. El número de plantas sembradas en el lisímetro fue de 4 unidades (Figura 39).



Figura 39: Siembra en el lisímetro

Para la medición de la evapotranspiración de referencia, se utilizó un tanque de evaporación clase A. La toma de lectura se realizó de forma diaria a las 5pm, el cual consiste en el diferencial de la lectura anterior y la actual. El resultado, se multiplicó por el coeficiente de tanque (Kt). El tanque estuvo ubicado en una superficie cultivada situado a 400 metros del área del experimento. Durante esta campaña, se registró una velocidad del viento promedio de 1,54 m/s, una humedad relativa promedio de 90,12 por ciento, por lo que consideramos un Kt de 0,85.

4.5.2.1. Balance hídrico en el suelo (cálculo de la ETc)

El balance hídrico en el lisímetro nos permite estimar la evapotranspiración del cultivo (ETc). Este permite establecer la relación entre la cantidad de agua ingresada por riego (R), por precipitación (P), además la cantidad de agua excedente por percolación (D), y la variación de la humedad (ΔSW), integrándose en la siguiente ecuación:

$$ETc = R + P - D \pm \Delta SW$$

La humedad del suelo en los lisímetros se mantiene a un nivel óptimo alrededor de la humedad a capacidad de campo, los mismos que fueron controlados mediante el tensiómetro y el sensor Watermark).

4.5.2.2. Riego

Antes de realizar la siembra, se procedió a efectuar un riego pesado e inmediatamente se instalaron los sensores de humedad. Una vez alcanzada la humedad a capacidad de campo se realizó la siembra, siendo la lámina de riego inicial, el que se calcula en función de la evapotranspiración de referencia del tanque clase A, el cual se efectuó desde el riego pesado hasta el día de la siembra. Para los siguientes riegos, de igual forma se consideraron los datos de evaporación medidos en el tanque evaporímetro, obteniéndose la evapotranspiración de referencia expresado en lámina (mm), considerando un K_t de 0,85.

4.5.2.3. Precipitación

La precipitación expresada en mm/día se obtuvo de la estación meteorológica. En el periodo del experimento (agosto a setiembre), se obtuvieron precipitaciones de 0,25mm y 0,5mm respectivamente, despreciando la precipitación en la ecuación de balance.

4.5.2.4. Drenaje

Antes de cada riego, se realizaron las medidas del agua drenada en volumen que luego fue transformada en lámina dividiendo el volumen total entre el área del lisímetro.

4.5.2.5. Coeficiente de cultivo

El cálculo del Coeficiente de Cultivo K_c fue obtenido de la ecuación de balance en el lisímetro:

$$ET_c = R + P - D \pm \Delta SW$$

$$ET_o K_c = R - D \pm \Delta SW$$

$$K_c = (R - D \pm \Delta SW) / ET_o$$

La Evapotranspiración Potencial del Cultivo de Referencia ET_o se obtuvo con método del tanque de evaporación clase A y por el método Penman Monteith.

4.5.3. Resultados

4.5.3.1. Evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o)

Los resultados de la ET_o obtenidos durante el experimento se muestran en la tabla 64.

Tabla 64: Datos de la evapotranspiración promedio

MES	TANQUE ETo_Promedio (mm/día)	PENMAN - MOTEITH ETo_Promedio (mm/día)
Junio	1,38	1,33
Julio	1,50	1,32
Agosto	1,23	1,34
Setiembre	1,36	1,29

4.5.3.2. Balance hídrico

a. Riego

En cuanto al riego aplicado al lisímetro, este se realizó en función a la ETo, previamente se realizó un ensayo para determinar el coeficiente de uniformidad (CU), teniendo como resultado final un CU de 93 por ciento.

b. Precipitación

Durante la investigación, la precipitación fue nula.

c. Agua drenada

El drenaje durante la investigación guarda relación con la ETc y la ETo y obviamente con las características hídricas del suelo. El drenaje total acumulado, expresado en milímetros, fue de 132.18.

d. Variación de humedad en el suelo

La variación de la humedad forma parte del balance hídrico. Es muy importante hacer esta mención, puesto que condiciona al riego, ya que la frecuencia se realizó en función a las características hídricas del suelo. En este caso, cuando este se encontraba lo más cercano a capacidad de campo (CC) y por lo general la capacidad de campo se dio a los 2 días después de realizado la saturación (riego). Sin embargo, no siempre se logra a los 2 días encontrar el porcentaje de humedad a capacidad de campo, puesto que hay variaciones de humedad en el suelo. Por ello, fue necesario medir la humedad del suelo antes de realizar el riego con el tensiómetro y sensor Watermark, a una profundidad de 30cm, las lecturas fueron obtenidas en Cb (centibares); luego mediante la curva de calibración previamente

realizada fue convertido el contenido de humedad en porcentaje teniendo valores cercanos a 19,04 por ciento que se estableció como la humedad a capacidad de campo a 30cm de profundidad.

e. Evapotranspiración del cultivo real (ETc)

Una vez determinadas las variables de riego, precipitación, agua drenada y variación de humedad se pudo realizar el cálculo de la evapotranspiración real de cultivo (ETc) mediante el balance hídrico. La ETc que representa el requerimiento hídrico del cultivo para las condiciones climáticas y de suelos en donde se aplicó la investigación, varía de forma ascendente durante su periodo vegetativo de 105 días. Las primeras 4 semanas son las de menor requerimiento hídrico con un valor de la ETc de 19.16mm y 20.55mm ~~en~~ donde la variación de la humedad (ΔSW) se obtuvo con el tensiómetro y sensor Watermark, respectivamente. El mayor requerimiento hídrico durante el experimento se produjo en las semanas 10, 11, 12 y 13 con un valor de ETc de 43,81mm. y 45,07mm, respectivamente. La ETc total requerida fue de 110,68mm y 113,40, respectivamente, los cuales representan un requerimiento hídrico de cultivo por debajo del promedio; esto debido a la variedad precoz, suelo, condiciones climáticas y al tipo de riego.

4.5.3.3. Determinación del coeficiente de cultivo (Kc)

El coeficiente de cultivo es la relación entre la evapotranspiración real (ETc) y la evapotranspiración de referencia (ETo). Los valores de Kc obtenidos para las diferentes etapas fenológicas durante todo el período vegetativo varían de acuerdo con el desarrollo del cultivo. En cuanto al Kc determinado, teniendo como instrumento de humedad del suelo al tensiómetro, se alcanzó un valor máximo en la fase III con un Kc de 1,12, lo cual ocurrió en la semana 12. Por otra parte, el Kc obtenido, teniendo como instrumento de humedad del suelo al sensor Watermark, fue de 1,18; también alcanzado en la semana 12 (Tabla 65).

Tabla 65: Coeficiente del cultivo (Kc) de la papa por fases fenológicas

FASES	Semana	Coeficiente de Cultivo	
		Medición de la humedad del suelo con Tensiómetro	Medición de la humedad del suelo con el sensor Watermark
FASE I	1	0,40	0,45
	2	0,35	0,43
	3	0,54	0,52
	4	0,60	0,63
FASE II	5	0,54	0,56
	6	0,63	0,65
	7	0,63	0,64
	8	0,75	0,72
FASE III	9	1,15	0,99
	10	1,01	1,16
	11	1,10	1,30
	12	1,15	1,19
FASE IV	13	0,90	0,87
	14	0,77	0,75
	15	0,76	0,78

4.5.3.4. Curva de coeficiente de cultivo Kc

En la Figura 40, se muestran los valores promedios obtenidos del coeficiente de cultivo según la metodología propuesta por la FAO, la cual propone la variación del coeficiente de cultivo en función a las fases del cultivo: fase inicial, fase de desarrollo, fase media y la fase final. El manual 24 de la FAO indica la duración aproximada en días de las fases del periodo vegetativo de una variedad precoz del cultivo de papa, siendo la fase inicial de 25 días, la fase de desarrollo 30 días, la fase media de 30 y la fase final de 20 días haciendo un total de 105 días, periodo vegetativo de nuestro cultivo en estudio.

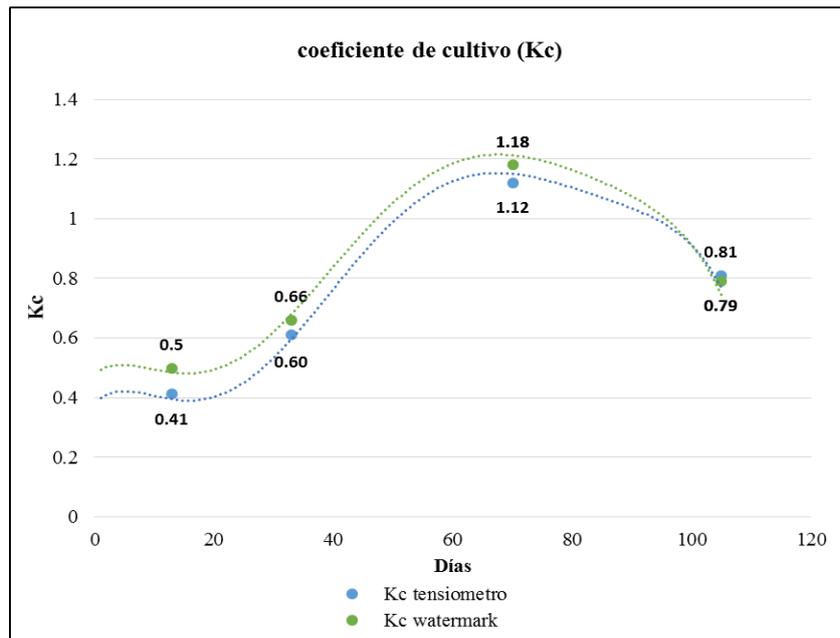


Figura 40: Curva de coeficiente de cultivo Kc del cultivo de papa variedad única

4.5.3.5. Comparación del kc determinado en experimento y el propuesto por la FAO

En la Figura 41, se muestra el resultado final del coeficiente de cultivo promedio estimados por cada fase fenológica, a su vez también se muestran los valores de Kc estimados por la FAO, donde se puede observar una variación significativa en sus valores en la etapa inicial, disminuyendo esta variación en la etapa de desarrollo. En la etapa media y final, los valores de kc determinados se asemejan al valor de kc dado por la FAO.

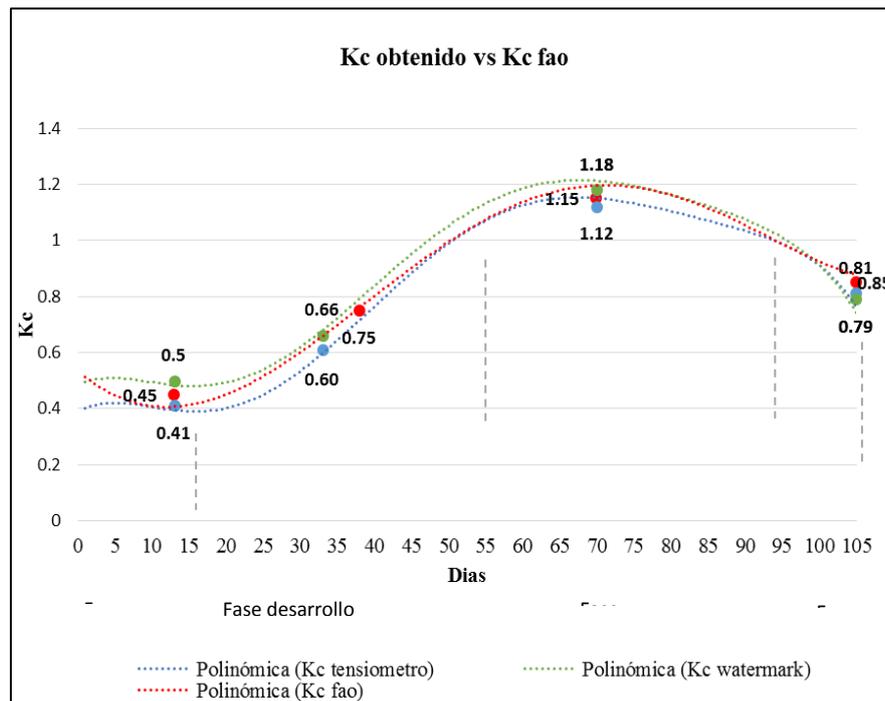


Figura 41: Curva de coeficiente de cultivo promedio

4.5.4. Conclusiones

Los valores de coeficientes de cultivo (K_c) de la papa (*Solanum tuberosum*) variedad única para la fase inicial de bajo consumo fue de 0,5; para la fase de desarrollo con incremento dinámico en el consumo de agua de 0,66; para la fase estable de mediados de temporada de 1,18 y para la fase final de senescencia con descenso en el consumo de agua de 0,80. La evapotranspiración de cultivo “ ET_c ” se estimó mediante el balance hídrico en los cuales se consideraron las variables de riego, precipitación y drenaje. El requerimiento hídrico total es de $1\,111,18\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}$ para el periodo vegetativo de 105 días el cual se desarrolló durante los meses de junio hasta setiembre con el sistema de riego por goteo.

4.6. EXPERIMENTO 6. EFECTO DE LA MATERIA ORGANICA Y EL RIEGO DE SECADO PARCIAL DE RAICES EN EL CULTIVO DE PAPA VARIEDAD UNICA

4.6.1. Introducción

El experimento se desarrolló entre julio y octubre del 2022 en el Centro de Investigación y Extensión en Riego del Departamento Académico Recursos Hídricos de la Facultad de Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional Agraria La Molina, en el distrito de la

Molina, provincia de Lima, región Lima, ubicado en una latitud sur 12° 05' y longitud oeste 77°00' y una altitud de 238 msnm.

4.6.2. Materiales y métodos

El experimento se realizó en un área caracterizado por un suelo franco arenoso con 64,9 por ciento, 21,6 por ciento y 13,5 por ciento de arena, limo y arcilla, con un contenido de materia orgánica de 1,38 por ciento, densidad aparente de 1,62g cm⁻³, pH igual a 7,97 y conductividad eléctrica de 1,3 (dS m⁻¹). Estos resultados fueron obtenidos del análisis de suelo en el Laboratorio de Análisis de Agua, Suelo y Medio Ambiente – Departamento de Recursos Hídricos, Universidad Nacional Agraria La Molina. El ensayo se desarrolló en un área de 990 m² donde se establecieron 3 tratamientos de riego distribuidos al azar con 5 repeticiones con el sistema de riego por goteo. El espaciamiento entre goteros fue de 0,3m y el emisor tuvo un caudal de 1,0 l/h (Figura 42).

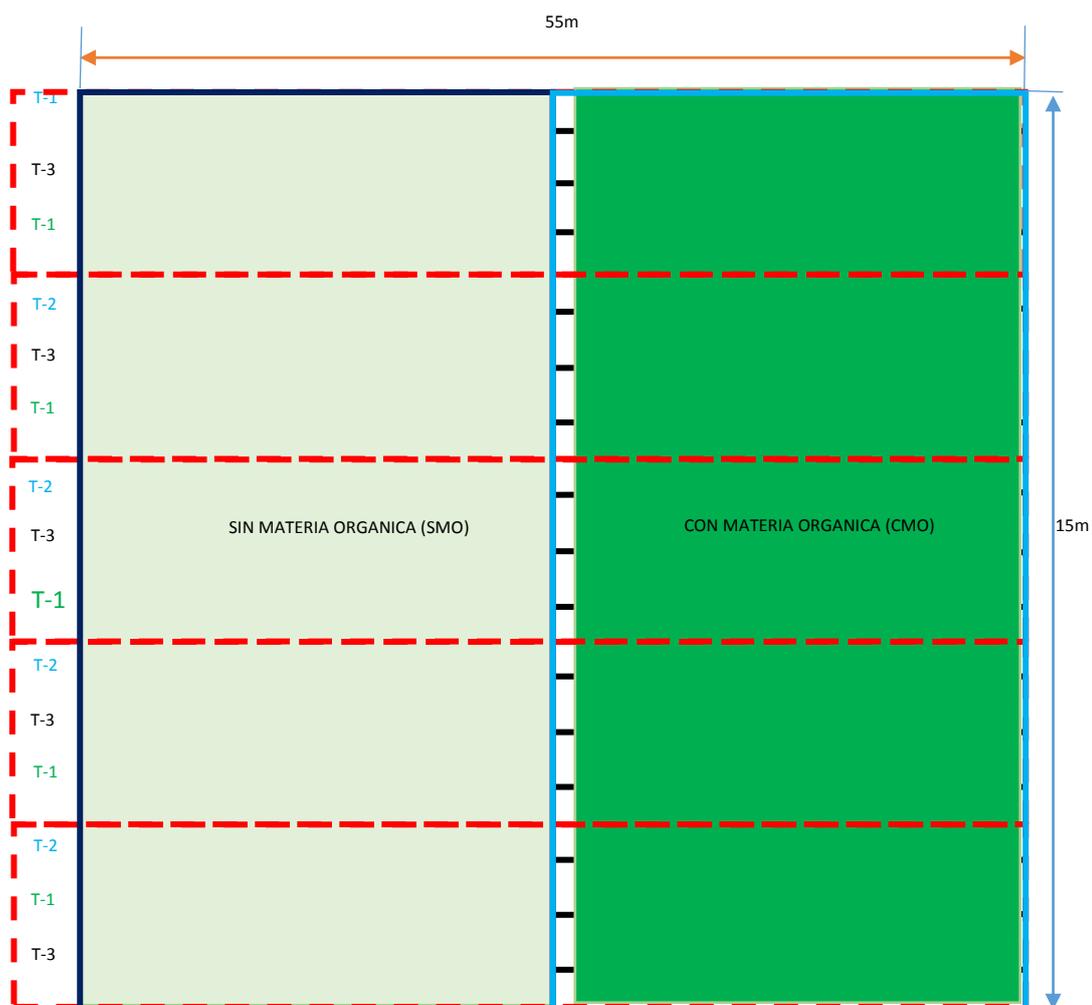


Figura 42: Esquema del área experimental y distribución

4.6.2.1. Los tratamientos en estudio

Para este ensayo, se consideraron tres tratamientos TR-1: Riego del secado parcial de raíces con lamina 75 por ciento de la ETc, TR-2: Riego de secado parcial de raíces con lamina 100 por ciento de la ETc, TR-3: testigo de riego por goteo convencional con lamina 100 por ciento de la ETc. Se tendrán 3 tratamientos con 5 repeticiones haciendo un total de 15 unidades experimentales. Detalles de las unidades experimentales se presenta en la Tabla 66.

Tabla 66: Dimensiones de la unidad experimental

Distancia entre plantas	0,30m
Distancia entre surcos	0,80m
Número de plantas por surco	166
Numero de surcos por unidad experimental	1
Longitud del surco	55m
Ancho de surco	0,80m
Número de unidades experimentales	15
Área neta del experimento	990m ²

4.6.2.2. Material vegetal

El diseño experimental se desarrolló en un área total de 990m², donde se establecieron tres tratamientos de riego distribuidos al azar y bajo sistema de riego por goteo. El material vegetal para esta investigación es la variedad Única, la cual es caracterizada por su precocidad y por ser tolerante a los virus y a las altas temperaturas (Gutiérrez-Rosales *et al.* 2007). Bajo condiciones de restricción hídrica, esta variedad ha presentado un alto rendimiento (Ramírez *et al.* 2015; Sánchez *et al.* 2021), debido a que muestra un alto uso eficiente de agua (Yactayo *et al.* 2013).

4.6.2.3. Materia orgánica

El uso de materia orgánica en la investigación fue para mejorar la fertilidad de los suelos y la condición tanto física, química como biológica, activándose el proceso de enraizamiento incrementando la masa radicular y la absorción de agua y nutrientes. En el experimento, se usó una enmienda orgánica formulada a base de ácidos húmicos de leonardita enriquecida con silicio y zinc (ultra zinc). Yang *et al.* (2016) mostró que la aplicación de abono orgánico aumentó significativamente la tasa de acumulación de N más que con fertilizante

mineral. Chaney y Swift (1986) afirmaron que las sustancias húmicas eran capaces de estabilizar los agregados a largo plazo en el que están principalmente involucrados en la formación de micro agregados. Amer *et al.* (2019) encontraron que la aplicación de compost mejoró las propiedades físicas del suelo, así como su porosidad total. Ladislav *et al.* (2018) concluyeron que la enmienda del suelo con fertilizantes orgánicos ayuda a lograr rendimientos estables a largo plazo y a mantener las propiedades óptimas del suelo. Awwad *et al.* (2015) concluyeron que la aplicación de 15 kg de humato de potasio feed-1 y el riego al 100 por ciento de la capacidad de campo dio como resultado el mayor rendimiento, eficiencia en el uso del agua y mejora de las propiedades del suelo. La aplicación de los fertilizantes en este experimento fue a través del sistema de riego con la siguiente dosis: 120 kg N ha⁻¹, 180 kg P₂O₅ ha⁻¹, 160 kg K₂O ha⁻¹, 40 kg CaO ha⁻¹ y 30 kg MgO ha⁻¹. Además, se tuvo una fertilización edáfica con materia orgánica de 500 Kg ha⁻¹ de ácido húmico.

4.6.2.4. Equipos para el monitoreo del experimento

Para el monitoreo de la data meteorológica, se utilizó la estación (DAVIS INSTRUMENTS, WEATHERLINK NETWORK). Para la aplicación del riego, se utilizó el tanque de evaporación clase A; Para el monitoreo de la humedad del suelo, se realizó por el método gravímetro y el sensor de humedad Watermark. Para la aplicación del agua de riego, se utilizó un tanque clase A donde se midió la evaporación diaria y con los datos de humedad relativa y velocidad del viento se determinó el coeficiente del tanque K_t y con ello la evapotranspiración de referencia E_{to}. Finalmente, se obtuvo la reposición de la lámina de riego multiplicando el coeficiente K_c del cultivo por la evapotranspiración de referencia.

4.6.3. Resultados y discusión

4.6.3.1. Riegos

En la Tabla 67 y Figura 43, se presenta el consumo del agua por el cultivo de papa variedad única durante el periodo vegetativo desde la siembra hasta la cosecha. Todos los tratamientos recibieron la misma cantidad de agua hasta la aplicación de los tratamientos que fue el 27 de julio, el volumen aplicado a cada tratamiento fue de 234m³ ha⁻¹.

Tabla 67: Volumen de agua utilizado en el experimento

	TRATAMIENTOS									
	Fecha de riego	TR-3 100 % (testigo)			TR-2 100 % (RDP)			TR-1 75 % (RDP)		
		Tiempo de riego (min)	volumen m ³	volumen m ³ /ha	Tiempo de riego (min)	volumen m ³	volumen m ³ /ha	Tiempo de riego (min)	Volumen m ³	Volumen m ³ /ha
Junio Fase inicial	24/06/2022	120,00	5,52	66,91	120,00	5,52	66,91	120,00	5,52	66,91
	26/06/2022	120,00	5,52	66,91	120,00	5,52	66,91	120,00	5,52	66,91
	29/06/2022	60,00	2,76	33,45	60,00	2,76	33,45	60,00	2,76	33,45
Julio Fase inícia	05/07/2022	60,00	2,76	33,45	60,00	2,76	33,45	60,00	2,76	33,45
	12/07/2022	20,00	0,92	11,15	20,00	0,92	11,15	20,00	0,92	11,15
	14/07/2022	10,00	0,46	5,58	10,00	0,46	5,58	10,00	0,46	5,58
	18/07/2022	6,67	0,31	3,72	6,67	0,31	3,72	6,67	0,31	3,72
	22/07/2022	6,67	0,31	3,72	6,67	0,31	3,72	6,67	0,31	3,72
	27/07/2022	6,67	0,31	3,72	6,67	0,31	3,72	6,67	0,31	3,72
Agosto Fase media	02/08/2022	10,00	0,46	5,58	10,00	0,46	5,58	10,00	0,46	5,58
	13/08/2022	36,00	0,55	20,07	36,00	0,28	10,04	27,00	0,21	7,53
	16/08/2022	153,00	2,35	85,31	153,00	1,17	42,65	115,00	0,88	32,06
	19/08/2022	46,00	0,71	25,65	46,00	0,35	12,82	34,00	0,26	9,48
	21/08/2022	124,00	1,90	69,14	124,00	0,95	34,57	109,00	0,84	30,39
	23/08/2022	147,00	2,25	81,96	147,00	1,13	40,98	110,00	0,84	30,67
	26/08/2022	97,00	1,49	54,08	130,00	1,00	36,24	130,00	1,00	36,24
	31/08/2022	273,00	4,19	152,22	273,00	2,09	76,11	205,00	1,57	57,15
Setiembre fase media		230,00	3,53	128,24	230,00	1,76	64,12	172,00	1,32	47,95
	07/09/2022	153,00	2,35	85,31	153,00	1,17	42,65	115,00	0,88	32,06
	11/09/2022	229,00	3,51	127,68	229,00	1,76	63,84	172,00	1,32	47,95
	14/09/2022	86,00	1,32	47,95	86,00	0,66	23,98	64,00	0,49	17,84
	18/09/2022	317,00	4,86	176,75	317,00	2,43	88,38	237,00	1,82	66,07
Setiembre fase final	21/09/2022	144,00	2,21	80,29	144,00	1,10	40,15	108,00	0,83	30,11
	23/09/2022	88,00	1,35	49,07	88,00	0,67	24,53	66,00	0,51	18,40
	26/09/2022	171,00	2,62	95,35	171,00	1,31	47,67	128,00	0,98	35,68
	29/09/2022	186,00	2,85	103,71	186,00	1,43	51,85	140,00	1,07	39,03
octubre	03/10/2022	264,00	4,05	147,20	264,00	2,02	73,60	198,00	1,52	55,20
Total				1 764,17			1 008,38			828,00

A partir del 02 de agosto, el agua de riego aplicado fue diferenciado de acuerdo con los tratamientos. En total, se aplicó 1 764,17 m³ ha⁻¹ para el tratamiento TR-3, 1 006,38 m³ ha⁻¹; para el tratamiento, TR-2 y 828 m³ ha⁻¹; para el tratamiento, TR-1. El ahorro de agua fue de 42,9 por ciento en el tratamiento TR-2 y de 53,06 por ciento en el tratamiento TR-1.



Figura 43: Consumo de agua por tratamiento

4.6.3.2. Rendimiento por tratamiento y por repetición

En la Tabla 68, se presentan los rendimientos del cultivo de papa variedad única con y sin adición de materia orgánica por tratamiento. De los resultados, podemos afirmar que los rendimientos obtenidos en la clase comercial primera con adición de materia orgánica presentan mayor peso en el tratamiento testigo TR-3 que en los ensayos que no tuvo adición de materia orgánica. En los tratamientos TR-2 y TR-1, no tuvo el mismo efecto. Entre los factores agro-técnicos que determinan el rendimiento de la papa, es el tipo de fertilización. El uso de fertilizantes, tanto orgánicos como inorgánicos, puede afectar el rendimiento de la papa, los fertilizantes orgánicos mejoran la fertilidad del suelo, su estructura ayudan a las plantas a combatir plagas y enfermedades (Khadem *et al.* 2010). El uso de fertilizantes orgánicos por sí solo no satisface completamente los requisitos de nutrientes de las plantas, debido al bajo contenido de nutrientes biodisponibles; y es necesario integrarse con fertilizantes inorgánicos (Adekiya *et al.* 2020; Sleutel *et al.* 2066).

Tabla 68: Rendimientos del cultivo de papa variedad única con adición de materia orgánica

RENDIMIENTO PROMEDIO DEL CULTIVO DE PAPA Tn/ha						
RIEGO	CON MATERIA ORGANICA			SIN MATERIA ORGANICA		
	PRIMERA	SEGUNDA	TERCERA	PRIMERA	SEGUNDA	TERCERA
TR2 (RDP 100% Etc)	16,423	6,780	3,240	16,943	5,900	2,835
TR2 (RDP 100% Etc)	19,317	8,640	2,500	13,573	7,640	2,760
TR2 (RDP 100% Etc)	21,370	6,520	2,300	17,687	5,900	3,100
TR2 (RDP 100% Etc)	20,900	5,920	3,510	21,483	6,304	3,440
TR2 (RDP 100% Etc)	26,100	5,620	3,500	17,440	9,640	2,967
TR3 (TESTIGO 100% Etc)	41,287	8,780	1,920	32,123	8,550	2,220
TR3 (TESTIGO 100% Etc)	40,930	8,440	2,020	28,427	9,763	1,480
TR3 (TESTIGO 100% Etc)	38,750	8,540	1,933	36,320	9,793	2,690
TR3 (TESTIGO 100% Etc)	39,397	12,355	3,097	35,040	9,940	3,000
TR3 (TESTIGO 100% Etc)	36,597	11,230	3,330	37,017	9,515	2,980
TR1 (RDP 75% Etc)	16,477	5,417	1,460	12,863	4,449	1,814
TR1 (RDP 75% Etc)	16,163	6,490	1,717	9,833	5,900	3,420
TR1 (RDP 75% Etc)	16,437	5,597	2,137	13,518	5,239	1,863
TR1 (RDP 75% Etc)	15,767	6,907	2,097	14,260	5,650	2,120
TR1 (RDP 75% Etc)	18,063	4,807	2,740	16,093	7,300	2,160

En las figuras 43 al 45, se presentan los rendimientos del experimento por clase comercial primera, segunda y tercera. En el caso de la clase comercial primera, se observan mayores rendimientos con adición de materia orgánica en los tres tratamientos.

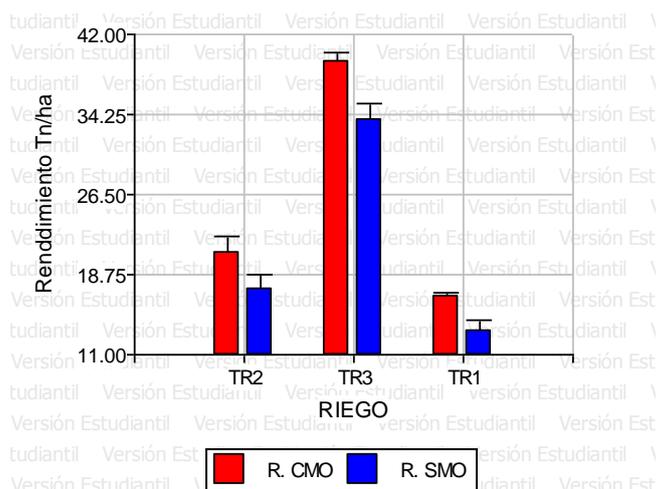


Figura 43: Rendimiento del cultivo de papa por clase comercial Primera

En el caso de la clase comercial segunda, se muestra que los rendimientos en el tratamiento TR-3 y TR-1 son mayores con materia orgánica y no, en el tratamiento TR-2

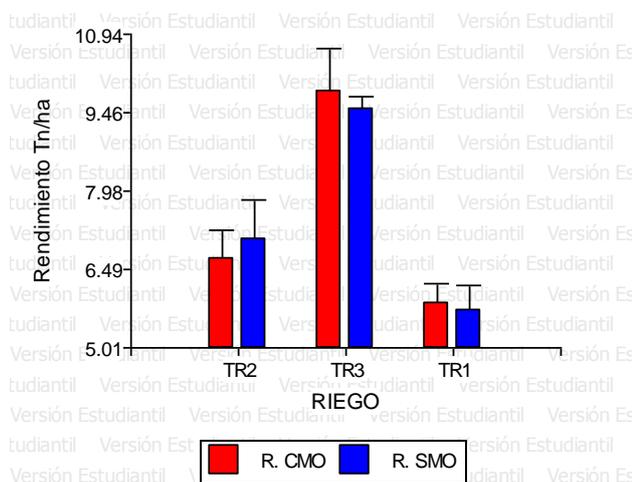


Figura 44: Rendimiento del cultivo de papa por clase comercial segunda

En el caso de la clase comercial tercera, presenta menor peso y el efecto de materia orgánica no fue significativo.

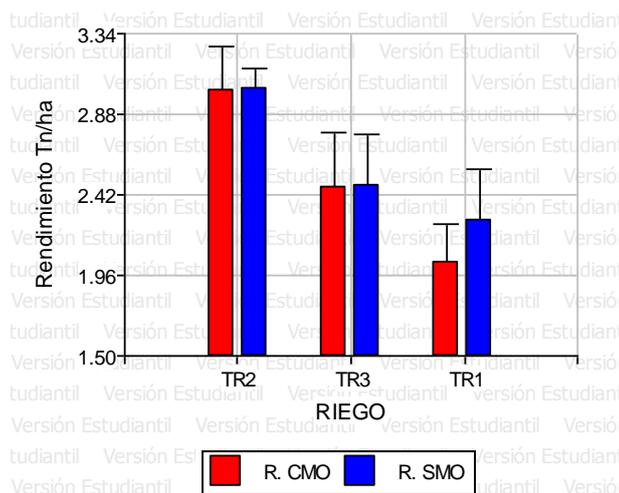


Figura 45: Rendimiento del cultivo de papa por clase comercial tercera

4.6.3.3. Análisis de varianza del cultivo de papa clase comercial primera

El análisis estadístico se realizó con el software Infostat tal como se puede observar en las Tablas 69 al 72. Se realizó el análisis de varianza de rendimiento promedio por clase comercial primera, segunda, tercera y el total. De los resultados, podemos apreciar el efecto de la aplicación del riego y la adición de materia orgánica sobre el rendimiento en la clase comercial primera, este presenta diferencias significativas entre los tratamientos TR-3 (39,39 Tn ha⁻¹), con el TR-2 (20,90 Tn ha⁻¹) y el TR-1 (16,63 Tn ha⁻¹).

Tabla 69: Análisis de Varianza (SC tipo III) clase comercial primera con adición de materia orgánica

F.V.	SC	Gl	CM	F	p-valor
Modelo	1471,95	2	735,97	131,77	0
RIEGO	1471,95	2	735,97	131,77	0
Error	67,03	12	5,59		
Total	1538,97	14			

Tabla 70: Prueba de Tukey alfa 0.05

RIEGO	Medias	n	E.E.	Columna5
TR1	16,58	5	1,06	A
TR2	20,82	5	1,06	B
TR3	39,39	5	1,06	C

En cuanto a la clase comercial primera sin adición de materia orgánica se obtuvieron diferencias significativas entre los tratamientos TR-3 (33,79 Tn ha⁻¹) y TR-2 (17,43 Tn ha⁻¹), TR-1 (13,31 Tn ha⁻¹), y siendo no significativo entre los tratamientos TR-2 y TR-1.

Tabla 71: Análisis de Varianza (SC tipo III) clase comercial primera sin adición de materia orgánica

F.V.	SC	Gl	CM	F	p-valor
Modelo	1172,78	2	586,39	68,65	0
RIEGO	1172,78	2	586,39	68,65	0
Error	102,5	12	8,54		
Total	1275,28	14			

Tabla 72: Prueba de Tukey alfa 0.05

RIEGO	Medias	n	E.E.	Significación.
TR1	13,31	5	1,31	A
TR2	17,43	5	1,31	A
TR3	33,79	5	1,31	B

4.6.3.4. Análisis de varianza del cultivo de papa clase comercial segunda

El análisis de varianza se puede observar en las tablas 73 y 74. El efecto de la aplicación del riego sobre el rendimiento de la clase comercial segunda con adición de materia orgánica presenta diferencias significativas entre los tratamientos TR3 (9,87 Tn ha⁻¹) con el TR2 (6,70 Tn ha⁻¹) y con el TR1 (6,84 Tn ha⁻¹). En cuanto a los tratamientos TR1 y TR2, no existen diferencias significativas.

Tabla 73: Análisis de Varianza (SC tipo III) clase comercial segunda con adición de materia orgánica

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	45	2	22,5	12,58	0
RIEGO	45	2	22,5	12,58	0
Error	21,47	12	1,79		
Total	66,47	14			

Tabla 74: Prueba de Tukey alfa 0.05

RIEGO	Medias	n	E.E.	Signif.
TR1	5,84	5	0,6	A
TR2	6,7	5	0,6	A
TR3	9,87	5	0,6	B

En cuanto a los rendimientos sin adición de materia orgánica, los tratamientos TR1 (5,71 Tn ha⁻¹), TR2 (7,08 Tn ha⁻¹) y TR (9,51 Tn ha⁻¹) tienen similar comportamiento estadístico que los rendimientos de la clase comercial segunda con adición de materia orgánica (tabla 75 y 76).

Tabla 75: Análisis de Varianza (SC tipo III) clase comercial segunda sin adición de materia orgánica

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	37,13	2	18,57	14,03	0
RIEGO	37,13	2	18,57	14,03	0
Error	15,88	12	1,32		
Total	53,02	14			

Tabla 76: Prueba de Tukey alfa 0.05

RIEGO	Medias	n	E.E.	Signif.
TR1	5,71	5	0,51	A
TR2	7,08	5	0,51	A
TR3	9,51	5	0,51	B

4.6.3.5. Análisis de varianza del cultivo de papa clase comercial tercera

El análisis de varianza se puede observar en las tablas 77 y 78. El efecto de la aplicación del riego sobre el rendimiento de la clase comercial tercera con adición de materia orgánica no presenta significativas diferencias entre los tratamientos TR-3 (2.46 Tn ha⁻¹), TR-2 (3.01 Tn ha⁻¹) y TR-1 (2.01 Tn ha⁻¹).

Tabla 77: Análisis de Varianza (SC tipo III) clase comercial tercera con adición de materia orgánica

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2,41	2	1,21	3,47	0,06
RIEGO	2,41	2	1,21	3,47	0,06
Error	4,18	12	0,35		
Total	6,59	14			

Tabla 78: Prueba de Tukey alfa 0.05

RIEGO	Medias	n	E.E.	Signif.
TR1	2,03	5	0,26	A
TR3	2,46	5	0,26	A
TR2	3,01	5	0,26	A

En cuanto a los rendimientos sin adición de materia orgánica, los tratamientos TR-1 (2.28 Tn ha⁻¹), TR-2 (3.02 Tn/ha) y TR-3 (2.28 Tn ha⁻¹) tampoco presentan diferencias significativas (Tablas 79 y 80).

Tabla 79: Análisis de Varianza (SC tipo III) clase comercial tercera sin adición de materia orgánica

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1,49	2	0,74	2,45	0,13
RIEGO	1,49	2	0,74	2,45	0,13
Error	3,65	12	0,30		
Total	5,14	14			

Tabla 80: Prueba de Tukey alfa 0.05

RIEGO	Medias	n	E.E.	Signif.
TR1	2,28	5	0,25	A
TR3	2,47	5	0,25	A
TR2	3,02	5	0,25	A

4.6.3.6. Rendimiento total por tratamiento

En la Tabla 81, se presentan los rendimientos totales del cultivo de papa variedad única con y sin adición de materia orgánica. Los rendimientos obtenidos en el ensayo con adición de materia orgánica son del orden de 51,72 Tn ha⁻¹ para el tratamiento TR-3, 30,53 Tn ha⁻¹; para el tratamiento TR-2 y 24,45 Tn ha⁻¹; para el tratamiento TR-1. En el ensayo sin adición de materia orgánica, son del orden de 45,77 Tn ha⁻¹; para el tratamiento TR-3, 27,52 Tn ha⁻¹; para el tratamiento TR-2 y 21,30 Tn ha⁻¹; para el tratamiento TR-1. Comparando los rendimientos totales de ambos ensayos (Figura 46), observamos que los rendimientos totales son mayores con adición de materia orgánica en un porcentaje de 11,50 por ciento para el tratamiento TR-3, 9,85 por ciento para el tratamiento TR-2 y 12,88 por ciento para el tratamiento TR-1.

Tabla 81.

Rendimiento total del cultivo de papa variedad única

RIEGO	RENDIMIENTO TOTAL (Tn/ha)	
	Con adición de materia orgánica	Sin adición de materia orgánica
TR2 (RDP 100% Etc)	26,443	25,678
TR2 (RDP 100% Etc)	30,457	23,973
TR2 (RDP 100% Etc)	30,190	26,687
TR2 (RDP 100% Etc)	30,330	31,227
TR2 (RDP 100% Etc)	35,220	30,047
TR3 (TESTIGO 100% Etc)	51,987	42,893
TR3 (TESTIGO 100% Etc)	51,390	39,670
TR3 (TESTIGO 100% Etc)	49,223	48,803
TR3 (TESTIGO 100% Etc)	54,848	47,980
TR3 (TESTIGO 100% Etc)	51,157	49,512
TR1 (RDP 75% Etc)	23,353	19,126
TR1 (RDP 75% Etc)	24,370	19,153
TR1 (RDP 75% Etc)	24,170	20,620
TR1 (RDP 75% Etc)	24,770	22,030
TR1 (RDP 75% Etc)	25,610	25,553

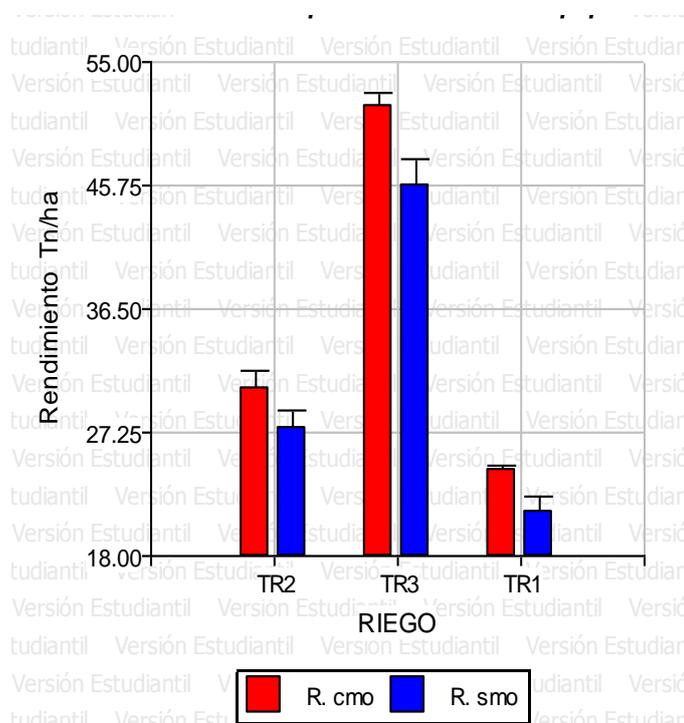


Figura 46: Rendimiento total del cultivo de papa variedad única

4.6.3.7. Análisis de varianza para el rendimiento total

De acuerdo a los resultados del análisis de varianza del rendimiento total, podemos apreciar que hay diferencias significativas entre los tratamientos TR-3 y TR-2, TR-1 con y sin adición de materia orgánica tal como se puede apreciar en las Tablas del 82 al 85.

Tabla 82: Análisis de varianza (SC tipo III) del rendimiento total del cultivo de papa en Tn ha⁻¹ con adición de materia orgánica

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2049,14	2	1024,57	211,57	0
RIEGO	2049,14	2	1024,57	211,57	0
Error	58,11	12	4,84		
Total	2107,26	14			

Tabla 83: Prueba de Tukey alfa 0.05

RIEGO	Medias	n	E.E.	Significación
TR1	24,45	5	0,98	A
TR2	30,53	5	0,98	B
TR3	51,72	5	0,98	C

Tabla 84: Análisis de varianza (SC tipo III) del rendimiento total del cultivo de papa en Tn ha⁻¹ sin adición de materia orgánica

F.V.	SC	Gl	CM	F	p-valor
Modelo	1618,05	2	809,03	69,95	0
RIEGO	1618,05	2	809,03	69,95	0
Error	138,79	12	11,57		
Total	1756,84	14			

Tabla 85: Prueba de Tukey alfa 0.05

RIEGO	Medias	n	E.E.	Significación
TR1	21,3	5	1,52	A
TR2	27,52	5	1,52	B
TR3	45,77	5	1,52	C

4.6.3.8. Efecto del riego de desecación parcial y la aplicación de materia orgánica en el rendimiento de la papa

Este análisis se realizó a través de la interacción de la aplicación del riego y el uso de materia orgánica teniendo como respuesta el rendimiento del cultivo de papa. La cantidad de riego tuvo efecto significativo en el rendimiento de los tubérculos y el rendimiento de

los tubérculos estuvo sujeto a la cantidad de riego y la aplicación de materia orgánica. En las Tablas 86 al 89, se presentan los resultados del análisis de varianza realizado con el software Infostat. Asimismo, se presentan las pruebas de LSD (Least significant difference) de Fisher que es una prueba de comparaciones múltiples. Esta prueba permite comparar las medias de los t niveles de un factor después de haber rechazado la hipótesis nula de igualdad de medias mediante la técnica ANOVA. Los resultados de esta prueba muestran que hay diferencias significativas entre las medias de los rendimientos por el uso de materia orgánica con respecto al no uso de materia orgánica. En lo referente a la aplicación del riego, observamos que hay diferencias significativas entre los tres tratamientos TR-3, TR-2 y TR-1. Análisis de varianza (SC tipo III) de la interacción del uso de materia orgánica y el riego parcial en el rendimiento del cultivo de papa en $Tn\ ha^{-1}$.

Tabla 86: Análisis de varianza

F.V.	SC	Gl	CM	F	p-valor
Modelo	3896,24	9	432,92	96,06	0
REP	106,76	4	26,69	5,92	0
MO	122,27	1	122,27	27,13	0
Riego	3653,46	2	1826,73	405,33	0
MO*Riego	13,73	2	6,87	1,52	0,24
Error	90,14	20	4,51		

Finalmente, se realizó el análisis LSD para interacción de la aplicación del riego y el uso de materia orgánica teniendo como respuesta el rendimiento total del cultivo de papa. Los resultados muestran que hay diferencias significativas entre las medias con la aplicación del agua de riego y el uso de materia orgánica, corroborándose con la Figura 48 donde se observa que hay diferencias significativas entre los tratamientos.

Tabla 87: Prueba de LSD Fisher alfa 0.05

MO	Medias	n	E.E.	Significación
SMO	31,53	15	0,55	A
CMO	35,57	15	0,55	B

Tabla 88: Prueba de LSD Fisher alfa 0.05

Riego	Medias	n	E.E.	Significación
TR1	22,88	10	0,67	A
TR2	29,03	10	0,67	B
TR3	48,75	10	0,67	C

Tabla 89: Prueba de LSD Fisher alfa 0.05

MO	Riego	Medias	n	E.E.	Significación
SMO	TR1	21.3	5	0,95	A
CMO	TR1	24,45	5	0,95	B
SMO	TR2	27,52	5	0,95	C
CMO	TR2	30,53	5	0,95	D
SMO	TR3	45,77	5	0,95	E
CMO	TR3	51,72	5	0,95	F

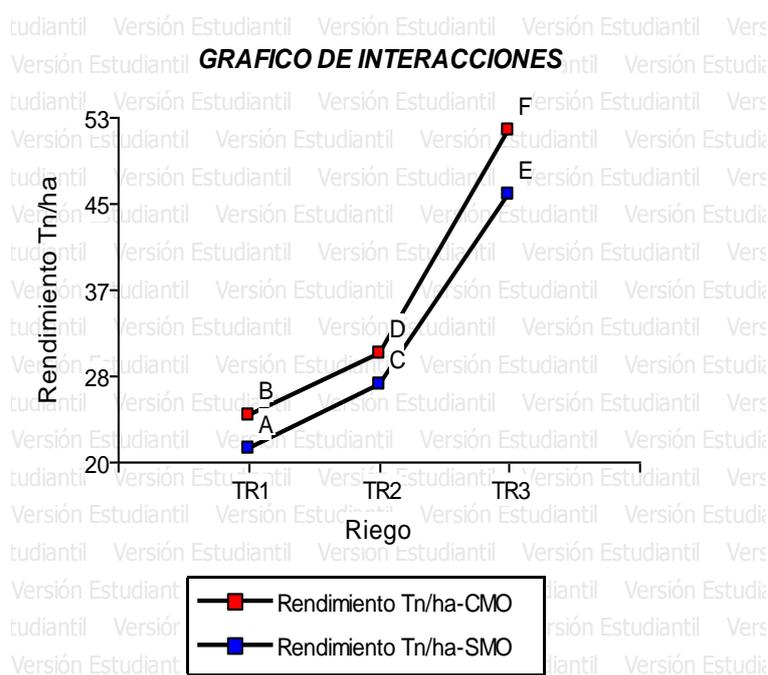


Figura 47: Interacción del uso de materia orgánica y el riego

4.6.3.9. Eficiencia de uso del agua

La eficiencia de uso del agua se expresa como la producción de papa en kg m^{-3} de agua aplicado al cultivo. Los valores de la eficiencia de uso del agua (EUA) se muestran en la Tabla 90. Los valores obtenidos fueron de 29,32; 30,27 y 29,53 Kg m^{-3} para los tratamientos TR-3, TR-2, y TR-1 con adición de materia orgánica y 25,95; 27,29 y 25,72 Kg m^{-3} para los tratamientos TR-3, TR-2 y TR-1 respectivamente. Estos están dentro del rango reportado por otros investigadores en el mundo.

Tabla 86: Productividad de agua

Tratamiento	Rendimiento con materia orgánica Kg ha ⁻¹	Consumo de agua m ³ ha ⁻¹	Eficiencia de uso de agua Kg m ⁻³	Rendimiento sin materia orgánica Kg ha ⁻¹	Eficiencia de uso de agua Kg m ⁻³
TR3	51721,00	1764,17	29,32	45771,67	25,95
TR2	30528,00	1008,38	30,27	27522,47	27,29
TR1	24454,67	828,00	29,53	21296,53	25,72

On der *et al.* (2005) reportaron eficiencia en el uso del agua de riego (EUA) de papa varió de 9.33 a 36.44 kg m⁻³ bajo riego por goteo superficial. La eficiencia económica del uso del agua de la papa es el reflejo del rendimiento comercial y varía con los cultivares, los regímenes de riego y la fertilización (Fandika *et al.* 2016). El-Abedin *et al.* (2017), encontraron una reducción en la eficiencia del uso del agua de riego (EUA) de la papa de 33,8 y 36,1 por ciento con secado parcial de la zona radicular en comparación con el riego total. Kriedmann y Goodwin (2003) indicaron que la mejora del EUA es el uso de aplicación del agua de riego a través del secado parcial de la zona radicular sobre la estrategia regular de riego deficitario. El secado parcial de la zona de la raíz ha mejorado el EUA de la papa en el Reino Unido y en el mundo (Saeed, y Grove 2005). Bajo climas áridos y semiáridos, la duración del ciclo húmedo/seco en el secado parcial de la zona radicular favorece a mantener la humedad en la zona radicular, y el cultivo no está expuesto a un estrés hídrico extremo y severo en comparación con el riego deficitario clásico (El-Abedin *et al.* 2017, Sepaskhah y Parand, 2006).

4.6.3.10. Rendimiento y consumo de agua en cultivo de papa variedad única bajo condiciones de déficit hídrico y el sistema de riego por goteo

Una función de producción de agua de cultivo es la relación matemática entre el rendimiento del cultivo y las entradas de agua o el consumo de agua del cultivo durante el crecimiento y desarrollo del cultivo (Varzi, 2016). Se puede utilizar para determinar el efecto de diferentes niveles de estrés hídrico en los cultivos en diferentes momentos (Fereres y Soriano, 2007). También es necesario para estudiar el riego inadecuado (Zhang *et al.* 1999). Las funciones de producción de agua de los cultivos serán diferentes según el cultivo, la ubicación, el año, el riego y las técnicas de gestión agrícola; y, en general, deben determinarse mediante experimentos de riego basados en las condiciones locales (Cui *et al.* 2019)

En la Tabla 91, se presenta una recopilación de datos producto de los experimentos realizados con el cultivo de papa variedad única en condiciones de riego deficitario y con el sistema de riego por goteo. Las láminas utilizadas varían entre 868 m³ ha⁻¹ cuyo rendimiento fue de 24,45 Tn ha⁻¹ hasta 1932 m³ ha⁻¹ con un rendimiento de 52,83 Tn ha⁻¹. El volumen de agua utilizado para un rendimiento mayor, del orden de 64,00 Tn ha⁻¹ fue de 1651 m³ ha⁻¹.

Tabla 91: Volumen de agua utilizado y rendimientos del cultivo de papa variedad única con el sistema de riego por goteo

Volumen de agua m ³ ha ⁻¹	Rendimiento Kg ha ⁻¹
1 857	40 010
1 181	31 480
1 932	52 838
1 186	40 463
1 651	64 000
1 291	60 000
1 291	61 000
1 651	66 000
1 764	51 721
1 008	30 528
868	24 455

Estos valores permiten obtener la Figura 49 donde se plotea el rendimiento en eje de las ordenadas y el volumen de agua en el eje de las abscisas. En esta figura, se observa la curva característica del rendimiento con el volumen de agua utilizado para el cultivo de papa. Es una función polinómica de orden 3 [$Y = -0,0001X^3 + 0,3575X^2 - 332,7X + 112255$; $R^2 = 0,707$] donde X representa al volumen de agua aplicado, Y el rendimiento. Fabeiro *et al.* (2001) reportaron una relación cuadrática entre el rendimiento del tubérculo y el agua estacional aplicada (w) [rendimiento = $38,067 - 0,0087 w + 0,000001639 w^2$; $R^2 = 0,742$]. Ross, 2006 encontró una relación polinomial cúbica entre el rendimiento de papa y la cantidad de agua de riego estacional aplicada. Yuan et al. (2003) reportaron una relación cuadrática entre el rendimiento de papa por planta y el suministro de agua de riego (w) con R^2 de 0,98 [rendimiento = $-0.0092 w^2 + 7.52 w - 409.47$]. Existe una fuerte relación cuadrática entre el rendimiento de tubérculo de papa fresca (Cultivar Agría) (kg/ha) y la cantidad de riego estacional aplicada w (mm) con un valor de R^2 de 0,82 [rendimiento =

$-0,9277 w^2 + 1184,3 w - 314 999,9$; $R^2 = 0,82$] (Karam *et al.*, 2014). En general, el rendimiento de la papa tiene una fuerte relación lineal con la evapotranspiración estacional del cultivo, mientras que tiene una relación polinomial con las cantidades de riego estacional aplicadas. Sin embargo, estas relaciones pueden variar mucho en términos de las pendientes de la regresión lineal, las intersecciones, las constantes dentro del polinomio y el coeficiente de determinación influenciado por las prácticas de manejo del cultivo, métodos y programación de riego, genotipos de papa, tipos de suelo, condiciones climáticas, y otros factores.

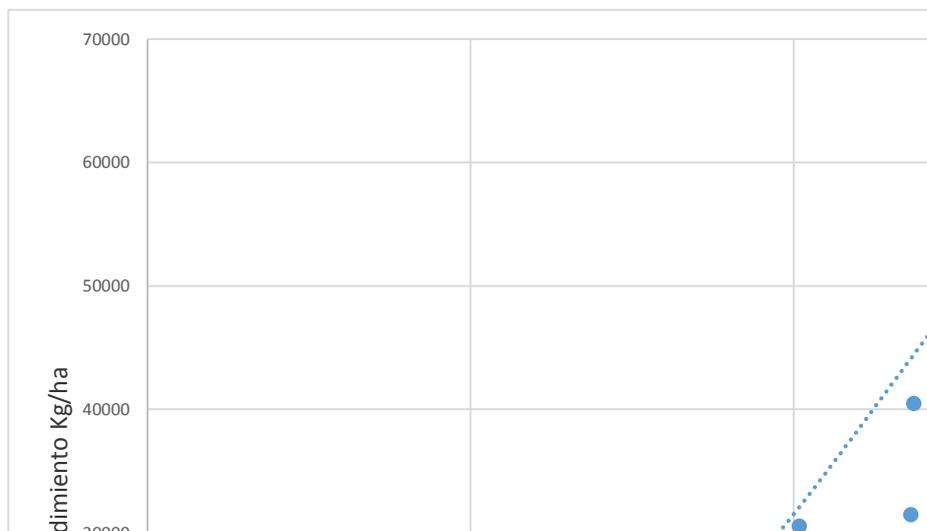


Figura 48: Relación rendimiento y consumo de agua en el cultivo de papa variedad única con riego por goteo

De la Figura 49, podemos afirmar que el rendimiento aumenta con el volumen de agua utilizado llegando hasta un máximo. Luego, el rendimiento cae pese a que se utiliza un mayor volumen de agua. En este caso, el rendimiento máximo de 64 Tn ha^{-1} es con un volumen de agua utilizado de $1651 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ con volúmenes de agua mayor a este valor el rendimiento disminuye.

4.6.4. Conclusiones

- Los rendimientos obtenidos en el ensayo, con adición de materia orgánica, son del orden de $51,72 \text{ Tn ha}^{-1}$ para el tratamiento TR-3 (100 por ciento Etc testigo), $30,53 \text{ Tn ha}^{-1}$ para el tratamiento TR-2 (100 por ciento ETc, DPR) y $24,45 \text{ Tn ha}^{-1}$ para el tratamiento TR-1 (75 por ciento ETc, DPR).

- Los rendimientos totales son mayores con adición de materia orgánica en un porcentaje de 11,50 por ciento para el tratamiento TR-3, 9,85 por ciento para el tratamiento TR-2 y 12,88 por ciento para el tratamiento TR-1.
- En el ensayo, sin adición de materia orgánica, son de 45,77 Tn ha⁻¹ para el tratamiento TR-3 (100 por ciento Etc testigo), 27,52 Tn ha⁻¹ para el tratamiento TR-2 (100 por ciento ETC, DPR) y 21,30 Tn/ha para el tratamiento TR-1 (75 por ciento ETC, DPR).
- El efecto de la aplicación del riego y la adición de materia orgánica sobre el rendimiento en la clase comercial primera presenta diferencias significativas entre los tratamientos TR-3 (39,39 Tn ha⁻¹), con el TR-2 (20,90 Tn ha⁻¹) y el TR-1 (16,63 Tn ha⁻¹).
- El efecto de la aplicación del riego sobre el rendimiento de la clase comercial segunda con adición de materia orgánica presenta diferencias significativas entre los tratamientos TR3 (9,87 Tn ha⁻¹) con el TR2 (6,70 Tn ha⁻¹) y con el TR1 (6,84 Tn ha⁻¹). En cuanto a los tratamientos TR1 y TR2, no existe diferencias significativas.
- En cuanto a los rendimientos sin adición de materia orgánica, los tratamientos TR1 (5,71 Tn ha⁻¹), TR2 (7,08 Tn ha⁻¹) y TR (9,51 Tn ha⁻¹) tienen similar comportamiento estadístico que los rendimientos de la clase comercial segunda con adición de materia orgánica.
- El agua de riego aplicado fue diferenciado de acuerdo con los tratamientos. En total, se aplicó 1764.17 m³ ha⁻¹ para el tratamiento TR-3, 1006.38 m³ ha⁻¹ para el tratamiento TR-2 y 828 m³ ha⁻¹ para el tratamiento TR-1.
- Los valores obtenidos de la productividad del agua fueron de 29,32, 30,27 y 29,53 Kg m⁻³ para los tratamientos TR-3, TR-2, y TR-1 con adición de materia orgánica y 25,95, 27,29 y 2,72 Kg m⁻³ para los tratamientos TR-3, TR-2 y TR-1 respectivamente.
- La curva característica del rendimiento con el volumen de agua utilizado para el cultivo de papa es una función polinómica de orden 3: $Y=0,0001X^3+0,3563X^2-331,16X+11162,1$ donde X representa el volumen de agua utilizado e Y el rendimiento.

V. CONCLUSIONES

- En la condición de aporque, se ensayaron dos alternativas de aplicar el riego, con una línea lateral; ubicado en la parte media de la corona y otra con dos laterales paralelos, donde los emisores están ubicados en el borde de la corona de aporque. La primera alternativa forma bulbos húmedos que se adaptan a la estructura del aporque, mientras que en la segunda forma geométrica del bulbo húmedo es más compleja, y está condicionada por el escurrimiento del agua sobre el talud del aporque que influye en el desarrollo y avance horizontal de la humedad que tiende a depositarse en la parte baja y lateral del aporque. Por lo tanto, se recomienda utilizar en cultivos con aporque la primera alternativa.
- Los valores de coeficientes de cultivo (K_c) de la papa variedad única que se presentan para la fase inicial es de 0,5; para la fase de desarrollo, de 0,66; para la fase mediados de temporada de 1,18 y para la fase final de senescencia con descenso en el consumo de agua de 0,80
- Los rendimientos obtenidos para los riegos testigos en los diferentes experimentos oscilan entre 40 t ha^{-1} a 64 t ha^{-1} . Los tratamiento de PRD arrojan rendimientos que varían entre 24 t ha^{-1} a 61 t ha^{-1} . respectivamente.
- La lámina de riego aplicada durante el desarrollo del cultivo para los tratamientos testigos varía de $165,1 \text{ mm}$ ($1 651 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) a $193,234 \text{ mm}$ ($1 932,34 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$), y para los tratamientos PRD oscilan entre $82,8 \text{ mm}$ ($828 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) a $129,1 \text{ mm}$ ($1 291 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$).
- Al evaluar la Eficiencia de Uso de Agua, el PRD incrementó la eficiencia de uso de agua en 23,7 por ciento. Así, el PRD muestra potencial para el ahorro hídrico, importante para sistemas agroecológicos con limitaciones de agua.

- Los rendimientos totales son mayores con adición de materia orgánica en un porcentaje de 11,50 por ciento para el tratamiento TR-3, 9,85 por ciento para el tratamiento TR-2 y 12,88 por ciento para el tratamiento TR-1.
- La curva característica del rendimiento con el volumen de agua utilizado para el cultivo de papa es una función polinómica de orden 3: $Y=0,0001X^3+0,3563X^2-331,16X+11162,1$ donde X representa el volumen de agua utilizado e Y el rendimiento.

VI. RECOMENDACIONES

Se recomienda:

- Automatizar la disposición de lateral tipo 2 (lineal) para el riego parcial de raíces.
- Aplicar el riego parcial de raíces con otras variedades de papa con el sistema riego por goteo, incluyendo la automatización con válvulas hidráulicas y el criterio de reposición del agua de riego a través de la humedad del suelo.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arias, Hugo 2009. Evaluación del bulbo húmedo en un suelo franco bajo condiciones de aporque y con el sistema de riego por goteo: El aporque y su estructura. Tesis para obtener el grado Mg. Sc. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. 104 p.
- Abdelraouf, R.E. 2016. Effect of partial root zone drying and deficit irrigation techniques for saving water and improving productivity of potato. *Int J ChemTech Res* 9(8):170–177. [https://sphinxesai.com/2016/ch_vol9_no8/1/\(170-177\)V9N8CT.pdf](https://sphinxesai.com/2016/ch_vol9_no8/1/(170-177)V9N8CT.pdf)
- Abdo, A.I., Elrys, A.S., Abdel-Fattah, M.K., Desoky, E.-S.M., Huitong, L., Wang, L., 2020. Mitigating nitrate accumulation in potato tubers under optimum nitrogen fertilization with K-humate and calcium chloride. *J. Clean. Prod.* 259, 121108. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121108>
- Ali, M., Jensen, C.R., Mogensen, V.O., Andersen, M.N., Henson, I.E. 1999. Root signalling and osmotic adjustment during intermittent soil drying sustain grain yield of field grown wheat. *Field Crops Research*, 62: 35. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(99\)00003-9](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(99)00003-9)
- Aliche, E.B., Theeuwens, T.P.J.M., Oortwijn, M., Visser, R.G.F., van der Linden, C.G., 2020. Carbon partitioning mechanisms in potato under drought stress. *Plant Physiol. Biochem.* 146, 211–219. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.11.019>
- Ahmad, S., Raza, M.A.S, Saleem, M.F., Zaheer, M.S., Iqbal, R., Haider, I., Aslam, M.U., Ali, M, Khan, I.H. 2020. Significance of partial root zone drying and mulches for water saving and weed suppression in wheat. *J. Anim. Plant. Sci.* 30:154–162. <https://thejaps.org.pk/docs/Accepted/2020/30-01/09.pdf>
- Ahmadi, S.H., Andersen, M.N., Plauborg, F., Poulsen, R.T., Jensen, C.R., Sepaskhah, A. R., & Hansen, S. 2010. Effects of irrigation strategies and soils on field grown potatoes: Yield and water productivity. *Agricultural Water Management.* <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2010.07.007>
- Ahmadi, S.H., Agharezaee, M., Kamgar-Haghighi, A.A., Sepaskhah, A.R. 2014. Effects of dynamic and static deficit and partial root zone drying irrigation strategies on yield, tuber sizes distribution, and water productivity of two field grown potato cultivars. *Agric. Water Manag.* 134, 126–136. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2013.11.015>
- Amer, M., Aiad, M., Rashed, S. and El-Ramady, H. 2019. Sustainable Irrigation and Fertilization Management of Successive Cultivated Sugar Beet and Cotton under

- Salt-affected Soil Conditions. *Env. Biodiv. Soil Security*, 3, 227 – 239. https://jenvbs.journals.ekb.eg/article_67491_f64bdd2a3e5b713bfc6ddc2cc691cb24.pdf
- Ávila-Valdés, A., Quinet, M., Lutts, S., Martínez, J.P., Lizana, X.C. 2020. Tuber yield and quality responses of potato to moderate temperature increase during Tuber bulking under two water availability scenarios. *Field Crops Res.* 251, 107786. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107786>
- Ayyub, C.M., Wasim Haidar, M., Zulfiqar, F., Abideen, Z., Wright, S.R. 2019. Potato tuber yield and quality in response to different nitrogen fertilizer application rates under two split doses in an irrigated sandy loam soil. *J. Plant Nutr.* 42, 1850–1860. <https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1648669>
- Badr, M.A., El-Tohamy, W.A., Zaghloul, A.M. 2012. Yield and water use efficiency of potato grown under different irrigation and nitrogen levels in an arid region. *Agric. Water Manag.* 110, 9–15. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2012.03.008>
- Bauerle, W.L., Inman, W.W., Dudley, J.B. 2006. Leaf abscisic acid accumulation in response to substrate watercontent: Linking leaf gas exchange regulation with leaf abscisic acid concentration. *Journal of American Society of Horti. Sci.*, 131: 295-301. <https://doi.org/10.21273/JASHS.131.2.295>
- Büssis, D., Kauder, F., Heineke, D. 1998. Acclimation of potato plants to polyethylene glycol-induced water deficit I. Photosynthesis and metabolism. *J. Exp. Bot.* 49, 1349–1360. <https://doi.org/10.1093/jxb/49.325.1349>
- Carli, C., Yuldashev, F., Khalikov, D., Condori, B., Mares, V., Monneveux, P., 2014. Effect of different irrigation regimes on yield, water use efficiency and quality of potato (*Solanum tuberosum* L.) in the lowlands of Tashkent, Uzbekistan: A field and modeling perspective. *In: Field Crops Research*, 163, pp. 90–99. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2014.03.021>
- Chaney, K., Swift, R.S. 1986. Studies on aggregate stability. I. Re-formation of soil aggregates. *J. of Soil Sci.* 37: 329–335. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1986.tb00035.x>
- Comstock, J.P. 2002. Hydraulic and chemical signaling in the control of stomatal conductance and transpiration. *Journal of Experimental Botany*, 53: 195-200. <https://doi.org/10.1093/jexbot/53.367.195>
- Cui, Y., Jiang, S., Jin, J., Ning, S. Feng, P. 2019. Quantitative assessment of soybean drought loss sensitivity at different growth stages based on S-shaped damage curve.

- Agricultural Water Management*, Volume 213, P. 821-832, ISSN 0378-3774.
<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.11.020>
- Davies, W.J., Zhang, J.H., 1991. Root signals and the regulation of growth and development of plants in drying soil. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 42: 55-76.
<https://doi.org/10.1146/annurev.pp.42.060191.000415>
- Dahal, K., Li, X.-Q., Tai, H., Creelman, A., Bizimungu, B. 2019. Improving potato stress tolerance and tuber yield under a climate change scenario - a current overview. *Front. Plant Sci.* 10. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00563>
- Darwish, T.M., Atallah, T.W., Hajhasan, S., Haidar, A. 2006. Nitrogen and water use efficiency of fertigated processing potato. *Agric. Water Manag.* 85, 95–104.
<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2006.03.012>
- Demirel, U., Morris, W.L., Ducreux, L.J.M., Yavuz, C., Asim, A., Tindas, I., Campbell, R., Morris, J.A., Verrall, S.R., Hedley, P.E., Gokce, Z.N.O., Caliskan, S., Aksoy, E., Caliskan M.E., Taylor M.A., Hancock R.D. 2020. Physiological, biochemical, and transcriptional responses to single and combined abiotic stress in stress-tolerant and stress-sensitive potato genotypes. *Frontiers in Plant Science*, 11, 169.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00169>
- Du, T., Kang, S., Zhang, J., Li, F. 2008a. Water use and yield responses of cotton to alternate partial root-zone drip irrigation in the arid area of north-west China. *Irrig. Science*, 26: 147-159. Doi 10.1007/s00271-007-0081-0
- Du, T., Kang, S., Zhang, J., Li, F., Yan, B. 2008b. Water use efficiency and fruit quality of table grape under alternate partial root-zone drip irrigation. *Agri. Water Management*, 95: 659-668. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2008.01.017>
- Egúsqüiza Bayona, R.P. (2014). *La papa en el Perú*. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. 200 p.
- Erdem, T., Orta, A.H., Erdem, Y., Okursoy, H. 2005. Crop water stress index for potato under furrow and drip irrigation systems. *Potato Res* 48(1–2):49–58.
<https://link.springer.com/article/10.1007/BF02733681>
- Fabeiro, C., Martín de Santa Olalla, F. and de Juan, J.A. 2001. Yield and size of deficit irrigated potatoes. *Agricultural Water Management*, 48(3): 255-266.
[https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(00\)00129-3](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(00)00129-3)

- Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D., Basra, S.M.A. 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agron. Sustain. Dev.* 29 (1), 185–212. DOI: 10.1051/agro:2008021
- Fereres, E., Soriano, M.A. 2007. Deficit irrigation for reducing agricultural water use. *Journal of Experimental Botany*, 2007. 58(2): 147 – 159. <https://doi.org/10.1093/jxb/erl165>
- Foti, S., Mauromicale, G., Ierna, A. 1995. Influence of irrigation regimes on growth and yield of potato cv. *Spunta*. *Potato Res* 38:307–318. DOI: 10.1007/BF02357733
- Grados, D., García, S., Schrevens, E. (2020). Assessing the potato yield gap in the Peruvian Central Andes. *Agric. Syst.* 181, 102817. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2020.102817>
- Grimes, D.W., Walhood, V.T., Dickens, W.L. 1968. Alternate-furrow irrigation for San Joaquin valley cotton. *California Agri.*, 22: 4-6. <https://www.semanticscholar.org/paper/Alternate-furrow-irrigation-for-San-Joaquin-Valley-Grimes-Walhood/171237905addb82d22e637ec8577b7610efccda0>
- Gençoğlan, C., Altunbey, H., & Gençoğlan, S. 2006. Response of green bean (*P. vulgaris* L.) to subsurface drip irrigation and partial rootzone-drying irrigation. *Agricultural Water Management*, 84(3), 274–280. DOI: 10.1016/j.agwat.2006.02.008
- Giuliani, M.M., Gatta, G., Nardella, E., Tarantino, E. 2016. Water saving strategies assessment on processing tomato cultivated in Mediterranean region. *Ital J Agron* 11(1):69–76. <https://doi.org/10.4081/ija.2016.738>
- Gitari, H.I., Karanja, N.N., Gachene, C.K.K., Kamau, S., Sharma, K., Schultegeldermann, E. (2018). Nitrogen and phosphorous uptake by potato (*Solanum tuberosum* L.) and their use efficiency under potato-legume intercropping systems. *Field Crops Res.* 222, 78–84. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.03.019>
- Han, Y.L., Kang, S.Z. (2002). Effects of controlled partial root-zone irrigation on root nutrition uptake of maize (*Zea mays* L.). *Trans. Chin. Soc. Agric. Eng.* 18, 57–59. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2008.07.011>
- Ierna, A., Mauromicale, G. 2019. Sustainable and profitable nitrogen fertilization management of potato. *Agronomy* 9, 582. <https://doi.org/10.3390/agronomy9100582>
- Ierna, A., Mauromicale, G. 2018. Potato growth, yield and water productivity response to different irrigation and fertilization regimes. *Agric. Water Manag.* 201, 21–26. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.01.008>

- Iqbal, R., Andersen, M.N., Raza, M.A.S., Rashid, M.A., Ahmad, S. 2019a. Physiological manipulation and yield response of wheat grown with split root system under deficit irrigation. *Pak J Agric Res* 32:514–526. DOI: 10.17582/journal.pjar/2019/32.3.514.526
- Iqbal, R., Aown, M., Raza, S., Toleikienė, M., Ayaz, M., Hashemi, F., Rahman, M., Zaheer, M.S., Ahmad, S., Riaz, U., Ali, M., Aslam, M., Haider, I. 2020. Partial root-zone drying (PRD), its effects and agricultural significance: a review. *Bulletin of the National Research Centre* 44:159. DOI: 10.1186/s42269-020-00413-w
- Janat, M. 2007. Efficiency of nitrogen fertilizer for potato under fertigation utilizing a nitrogen tracer technique. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 38, 2401–2422. DOI: 10.1080/00103620701588775
- Jama-Rodzeńska, A., Walczak, A., Adamczewska-Sowińska, K., Janik, G., Kłosowicz, I., Głąb, L., Sowiński, J., Chen, X., Pęczkowski, G. 2020. Influence of variation in the volumetric moisture content of the substrate on irrigation efficiency in early potato varieties. *PLoS One* 15, e0231831. DOI: 10.1371/journal.pone.0231831
- Jacques, M.M., Gumiere, S.J., Gallichand, J., Celicourt, P., Gumiere, T. 2020. Impacts of Water Stress Severity and Duration on Potato Photosynthetic Activity and Yields. *Front. Agron.* 2 DOI: 10.3389/fagro.2020.590312.
- Jahanzad, E., Barker, A.V., Hashemi, M., Sadeghpour, A., Eaton, T. 2017. Forage radish and winter pea cover crops outperformed rye in a potato cropping system. *Agron. J.* 109, 646–653. DOI: 10.2134/agronj2016.06.0342
- Jefferies, R.A. 1993. Responses of potato genotypes to drought. I. Expansion of individual leaves and osmotic adjustment. *Annals of Applied Biology*, 122(1):93 – 104. DOI: 10.1111/j.1744-7348.1993.tb04017.x
- Jovanovic, Z., Stikic, R., Vucelic-Radovic, B., Paukovic, M., Brocic, Z., Matovic, G., Rovcanin, S., Mojevic, M. 2010. Partial root-zone drying increases WUE, N and antioxidant content in field potatoes. *Eur. J. Agron.* 33 (2), 124–131. DOI: 10.1016/j.eja.2010.04.003
- Jovovic, Z., Dolijanovic, Z., Spalevic, V., Dudic, B., Przulj, N., Velimirovic, A., Popovic, V. 2021. Effects of liming and nutrient management on yield and other parameters of potato productivity on acid soils in Montenegro. *Agronomy* 11, 980. <https://doi.org/10.3390/agronomy11050980>

- Kaman, H., Kirda, C., Cetin, M., Topcu, S. 2006. Salt accumulation in the root zones of tomato and cotton irrigated with partial root-drying technique. *Irrigation and Drainage*, 55: 533-544. DOI: 10.1002/ird.276
- Kang, S.Z., Zhang, J.H. 2004. Controlled alternate partial root-zone irrigation: its physiological consequences and impact on water use efficiency. *J. Exp. Bot.* 55, 2437–2446. DOI: 10.1093/jxb/erh249
- Karandish, F. & Shahnazari, A. 2016. Soil temperature and maize nitrogen uptake improvement under partial root-zone drying irrigation. *Pedosphere* 26(6):872–886. DOI: 10.1016/S1002-0160(15)60092-3
- Kirda, C., Cetin, M., Dasgan, Y., Topcu, S., Kaman, H., Ekici, B., Derici, M.R., Ozguven, A.I. 2004. Yield response of greenhouse grown tomato to partial root drying and conventional deficit irrigation. *Agri. Water Management*, 69: 191-201. DOI: 10.1016/j.agwat.2004.04.008
- Koch, M., Naumann, M., Pawelzik, E., Gransee, A., Thiel, H. 2020. The importance of nutrient management for potato production Part I: plant nutrition and yield. *Potato Res.* 63, 97–119. DOI: 10.1007/s11540-019-09431-2
- Kriedmann, P.E. & Goodwin, I. 2003. Regulated deficit irrigation and partial rootzone drying. *Irrigation insights no. 4, Land and Water Australia, Canberra, 102 p.* <https://www.wineaustralia.com/getmedia/50a58da5-ecc5-4aa1-ad06-8e3c87e38de9/NPI-01-01-RECV-27-10-03-PRD-irrigation-insights>
- Liu, F.L., Shahnazari, A., Andersen, M.N., Jacobsen, S.E., Jensen, C.R. 2006a. Physiological responses of potato (*Solanum tuberosum* L.) to partial root-zone drying: ABA signalling, leaf gas exchange, and water use efficiency. *J Exp Bot* 57(14):3727–3735. <https://doi.org/10.1093/jxb/erl131>
- Liu, F.L., Shahnazari, A., Andersen, M.N., Jacobsen, S.E., Jensen, C.R. 2006b. Effects of deficit irrigation (DI) and partial root drying (PRD) on gas exchange, biomass partitioning, and water use efficiency in potato. *Sci Hortic* 109(2):113–117. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.04.004>.
- Loveys, B.R., Stoll, M., Dry, P.R., McCarthy, M.G. 2000. Using plant physiology to improve the water use efficiency of horticultural crops. *Acta Horticulturae*, 537: 187-197. https://www.researchgate.net/publication/279651025_Using_plant_physiology_to_improve_the_water_efficiency_of_horticultural_crops

- Leib, B.G., Caspari, H.W., Redulla, C.A., Andrews, P.K., & Jabro, J. 2006. Partial rootzone drying and deficit irrigation of ‘Fuji’ apples in a semi-arid climate. *Irrigation Science*, 24, 85-99. DOI: 10.1007/s00271-005-0013-9
- Mattar, M.A., Zin El-Abedin, T.K., Al-Ghobari, H.M., Alazba, A.A., Elansary, H.O. 2021. Effects of different surface and subsurface drip irrigation levels on growth traits, tuber yield, and irrigation water use efficiency of potato crop. *Irrigation Science*. 39(1). DOI: 10.1007/s00271-020-00715-x.
- MINAGRI 2017. Papa: características de la producción nacional y de la comercialización en Lima Metropolitana. (Ministerio de Agricultura y Riego). Lima, Perú. 13 p. <https://repositorio.midagri.gob.pe/bitstream/20.500.13036/369/1/boletin-prod-nacional-papa.pdf>.
- Miranda, M.T., Da Silva, S.F., Silveira, N.M., Pereira, L., Machado, E.C., Ribeiro, R.V., 2021. Root osmotic adjustment and stomatal control of leaf gas exchange are dependent on citrus rootstocks under water deficit. *J. Plant Growth Regul.* 40, 11–19. DOI: 10.1007/s00344-020-10069-5.
- Monneveux. P., Ramírez, D.A., Pino, M.T. 2013. Drought tolerance in potato (*S. tuberosum* L.). Can we learn from drought tolerance research in cereals? *Plant Sci* 205-206:76–86. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2013.01.011>
- Mugo, J.N., Karanja, N.N., Gachene, C.K., Dittert, K., Nyawade, S.O., Schultegeldermann, E. 2020. Assessment of soil fertility and potato crop nutrient status in central and eastern highlands of Kenya. *Sci. Rep.* 10, 7779. DOI: 10.1038/s41598-020-64036-x
- Núñez Vargas, P. 2016. *Fuentes y dosis de fertilización potásica en el crecimiento, tuberización y calidad de fritura de la papa (Solanum tuberosum L.) variedad UNICA*. Tesis Ing. Agr. Lima, Perú, UNALM. 95 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/1979>
- Porter, G.A., Opena, G.B., Bradbury, W.B., McBurnie, J.C., Sisson, J.A. 1999. Soil management and supplemental irrigation effects on potato: I. Soil properties, tuber yield, and quality. *Agron. J.* 91, 416–425. <https://doi.org/10.2134/agronj1999.00021962009100030010x>
- Qin, J.H., Chen, Y.J., Zhou, C.Y., Pang, B.P., Meng, M.L. 2013. Effects of frequency of drip irrigation frequency under mulch on potato growth, yield and water use efficiency. *Chinese J Eco-Agric* 21(7):824–830. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.702.314>

- Qin, J., Ramírez, D.A., Xie, K. 2018. Is Partial Root-Zone Drying More Appropriate than Drip Irrigation to Save Water in China? A Preliminary Comparative Analysis for Potato Cultivation. *Potato Research* 61, 391–406. DOI: 10.1007/s11540-018-9393-0
- Rashid, M.A., Zhang, X., Andersen, M.N., Olesen, J.E. 2019. Can mulching of maize straw complement deficit irrigation to improve water use efficiency and productivity of winter wheat in North China Plain? *Agric Water Manag* 213:1–11. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.10.008>
- Saeed, H., Grove, I.G., Kettlewell, P.S., Hall, N.W. 2008. Potential of partial root zone drying as an alternative irrigation technique for potatoes (*Solanum tuberosum*). *Ann Appl Biol.* 152(1):71–80. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2007.00196.x>
- Sánchez, M., Meza, R. 2014. Evaluación del rendimiento del cultivo de papa bajo la aplicación del riego deficitario (PRD) utilizando cintas de riego. *Anales Científicos.* 76 (1): 22-28. <https://doi.org/10.21704/ac.v76i1.760>.
- Samadi, A., Sepaskhah, A.R. 1984. Effects of alternate furrow irrigation on yield and water use efficiency of dry beans. *Iran Agricultural Research.* 3: 95-115. https://iar.shirazu.ac.ir/article_4534_0fa779a8e9c2697ed92e686ab83964cb.pdf?lang=fa
- Sarker, K.K., Akanda, M.A.R., Biswas, S.K., Roy, D.K., Khatun, A., Goffar, M.A. 2016. Field performance of alternate wetting and drying furrow irrigation on tomato crop growth, yield, water use efficiency, quality and profitability. *J. Integr. Agric.* 15 (10), 2380–2392. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(16\)61370-9](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(16)61370-9).
- Sarker, K.K., Hossain, A., Timsina, J., Biswas, S.J., Kundu, B.C., Barman, A., Ibn Murad, K.F., Akter, F. 2019. Yield and quality of potato tuber and its water productivity are influenced by alternate furrow irrigation in a raised bed system. *Agricultural Water Management* 224 (2019) 105750. <https://doi.org/10.1155/2020/8869098>
- Schapendonk, A., Spitters, C., Groot, P. 1989. Effects of water stress on photosynthesis and chlorophyll fluorescence of five potato cultivars. *Potato Res.* 32, 17–32. DOI: 10.1007/BF02365814
- Shahnazari, A., Liu, F., Andersen, M.N., Jacobsen, S.-E., & Jensen, C.R. 2007. Effects of partial root-zone drying on yield, tuber size and water use efficiency in potato under field conditions. *Field Crops Research*, 100(1), 117–124. DOI: 10.1007/BF02365814.

- Shayannejad, M. 2009. Effect of every—Other furrow irrigation on water use efficiency, starch and protein contents of potato. *Agriculture Science*. 1, 107-112. DOI: 10.5539/jas.v1n2p107.
- Sepaskhah, A.R., Sichani, S.A. 1996. Evaluation of subsurface irrigation spacings for bean production. *Canadian Agricultural Engineering*, 18: 23-26. https://library.csbe-scgab.ca/docs/journal/18/18_2_23_ocr.pdf
- Sepaskhah, A.R., Kamgar-Haghighi, A.A. 1997. Water use and yields of sugarbeet grown under every-otherfurrow irrigation with different irrigation intervals. *Agricultural Water Management*, 34: 71-79. [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(96\)01290-5](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(96)01290-5)
- Sepaskhah, A.R., Ahmadi, S.H.A. 2010. Review on Partial Root-Zone Drying Irrigation. *International Journal of Plant Production*. 4. 1735-6814. https://www.researchgate.net/publication/229486154_A_Review_on_Partial_Root-Zone_Drying_Irrigation
- Sifuentes, F. 2012. *Crecimiento, producción y calidad de papa para fritura variedad UNICA*. Tesis Ing. Agr. Lima, Perú, UNALM. pp. 9-12.
- Stoll, M., Loveys, B., Dry, P. 2000. Hormonal changes induced by partial rootzone drying of irrigated grapevine. *Journal of Experimental Botany*, 51: 1627-1634 <https://doi.org/10.1093/jexbot/51.350.1627>
- Taiz, L., Zeiger, E. 2006. Plant physiology. *Sinauer Associates, Inc., Publishers*, 764 p. <https://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/PlantPhysiologyTaiz2002.pdf>
- Tardieu, F., Davies, W.J. 1993. Integration of hydraulic and chemical signalling in the control of stomatal conductance and water status of droughted plants. *Plant, Cell and Environment*, 16: 341-349. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.1993.tb00880.x>
- Varzi, M.M. 2016. Crop Water Production Functions—A Review of Available Mathematical Method. *J. Agric. Sci.* 8, 76. DOI:10.5539/jas.v8n4p76
- Waqas, M.S., Cheema, M.J.M., Hussain, S., Ullah, M.K., Iqbal, M.M. 2021. Delayed irrigation: An approach to enhance crop water productivity and to investigate its effects on potato yield and growth parameters. *Agric. Water Manag.* 245, 106576. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106576>
- Wagg, C., Hann, S., Kupriyanovich, Y., Li, S. 2021. Timing of short period water stress determines potato plant growth, yield and tuber quality. *Agric. Water Manag.* 247, 106731. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106731>

- Wang, Y., Liu, F., Jensen, L.S., de Neergaard, A., & Jensen, C.R. 2013. Alternate partial root-zone irrigation improves fertilizer-N use efficiency in tomatoes. *Irrigation Science*, 31, 589-598. DOI: 10.1007/s00271-012-0335-3
- Wang, H., Liu, F.L., Andersen, M.N., Jensen, C.R. 2009. Comparative effects of partial root-zone drying and deficit irrigation on nitrogen uptake in potatoes (*Solanum tuberosum* L.). *Irrig Sci* 27(6):443–448. DOI: 10.1007/s00271-009-0159-y
- Wakrim, R., Wahbi, S., Tahi, H., Aganchich, B., Serraj, R. 2005. Comparative effects of partial root drying (PRD) and regulated deficit irrigation (RDI) on water relations and water use efficiency in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Agri., Ecosystems & Environment*, 106: 275-287. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2004.10.019>
- Wilkinson, S. 1999. pH as a stress signal. *Plant Growth regulation*, 29: 87-99. http://www.esalq.usp.br/lepse/imgs/conteudo_thumb/PH-as-a-stress-signal.pdf
- Wilkinson, S., Davies, W.J. (2002). ABA-based chemical signalling: the coordination of responses to stress in plants. *Plant, Cell Environ.* 25, 195–210. DOI: 10.1046/j.0016-8025.2001.00824.x
- Xie, K.Y., Wang, X.X., Zhang, R.F., Gong, X.F., Zhang, S.B., Mares, V., Gavilán, C., Posadas, A., Quiroz, R. 2012. Partial root-zone drying irrigation and water utilization efficiency by the potato crop in semi-arid regions in China. *Sci Horti* 134:20–25. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.11.034>
- Xu, H.L., Qin, F.F., Xu, Q.C., Tan, J.Y., Liu, G.M. 2011. Applications of xerophytophysiology in plant production: potato cultivation improved by partially drying the root zone of the early season but not the entire season. *Sci Horti* 129 (4): 528–534. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.04.016>
- Yactayo, W., Ramírez, D.A., German, T., Worku, A., Abeb, A., Harahagazwe, D., Mares, V., De Mendiburu, F., Quiroz, R. 2017. Improving potato cultivation using siphons for partial root-zone drying irrigation: a case study in the Blue Nile river basin, Ethiopia. *Open Agric* 2(1):255–259. DOI: 10.1515/opag-2017-0028
- Yactayo, W., Ramírez, D.A., Gutiérrez, R., Mares, V., Posadas, A., Quiroz, R. 2013. Effect of partial root-zone drying irrigation timing on potato tuber yield and water use efficiency. *Agric Water Manag* 123:65–70. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2013.03.009>

- Yang, R., Su, Y.Z., Wang, T., Yang, Q. 2016. Effect of chemical and organic fertilization on soil carbon and nitrogen accumulation in a newly cultivated farmland. *J. Integr. Agric.* 15 (3):658–666. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(15\)61107-8](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(15)61107-8)
- Yuan, B.Z., Nishiyama, S., Kang, Y. 2003. Effects of different irrigation regimes on the growth and yield of drip irrigated potato. *Agric. Water Manag.* 63, 157–167. [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(03\)00174-4](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(03)00174-4)
- Zegbe, J., Behboudian, M., & Clothier, B. 2004. Partial rootzone drying is a feasible option for irrigating processing tomatoes. *Agricultural Water Management*, 68(3), 195–206. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2004.04.002>
- Zhang, H., & Oweis, T. 1999. Water–yield relations and optimal irrigation scheduling of wheat in the Mediterranean region. *Agricultural Water Management*, 38, 195-211. [http://dx.doi.org/10.1016/S0378-3774\(98\)00069-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0378-3774(98)00069-9)
- Zhang, D., Guo, P. 2016. Integrated agriculture water management optimization model for water saving potential analysis. *Agric Water Manag* 170(1):5–19. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.11.004>
- Zin Elabadin, T., Mattar, M., Alazba, P. & Al-Ghobari, H. 2017. Comparative effects of two water-saving irrigation techniques on soil water status, yield, and water use efficiency in potato. *Scientia Horticulturae*. 225. 525-532. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.07.044>

VIII. ANEXOS

Anexo 1: Fotos experimento 2





Riego parcial con cintas



Cosecha del cultivo de papa

Anexo 2: Fotos experimento 3



El cultivo de papa a los 28 días después de la siembra



Parcela con sensores de humedad Irrrometer



El cultivo de papa aporcado





Tratamiento riego parcial



Manómetro en la cabecera de la parcela.



Caudalímetro utilizado en el experimento





Cosecha del cultivo de papa

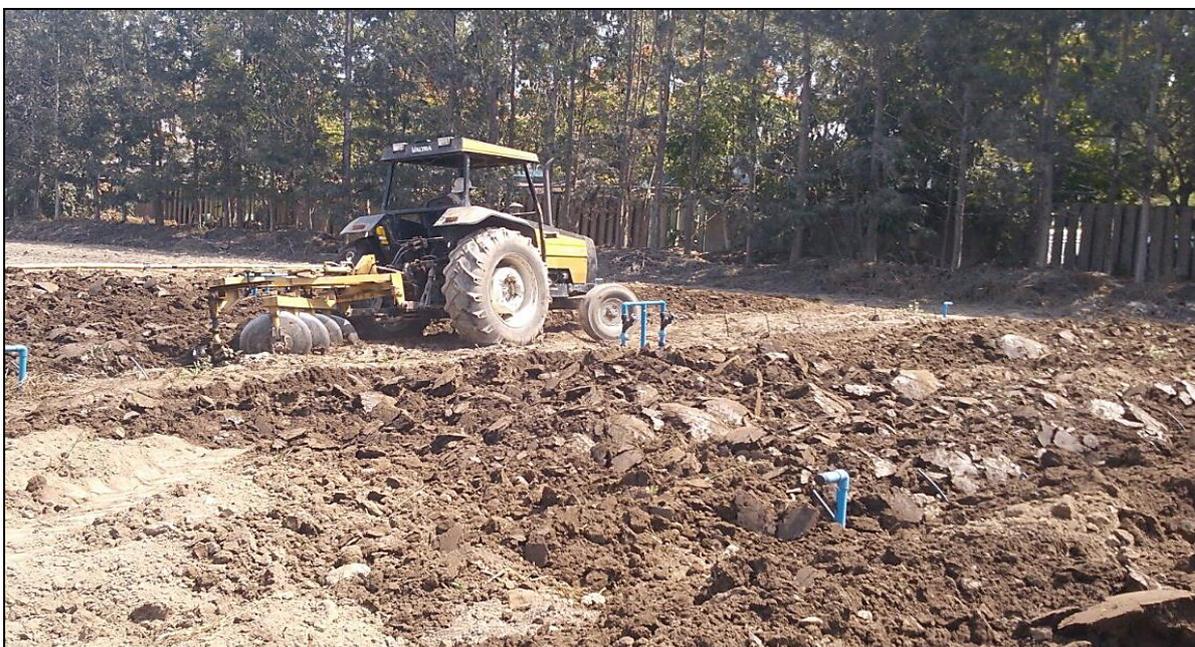


Cosecha indicando su clasificación

Anexo 3: Fotos experimento 4 y 5



Riego de machaco con aspersores móviles



Preparación de terreno para el experimento



Proceso laboreo manual



Parcelas listas para el tendido de los laterales de riego



Pruebas de humedad del suelo



Prueba de bulbo húmedo



Instalación de los laterales



Siembra del cultivo



Primer aporque inicial a los 18dds



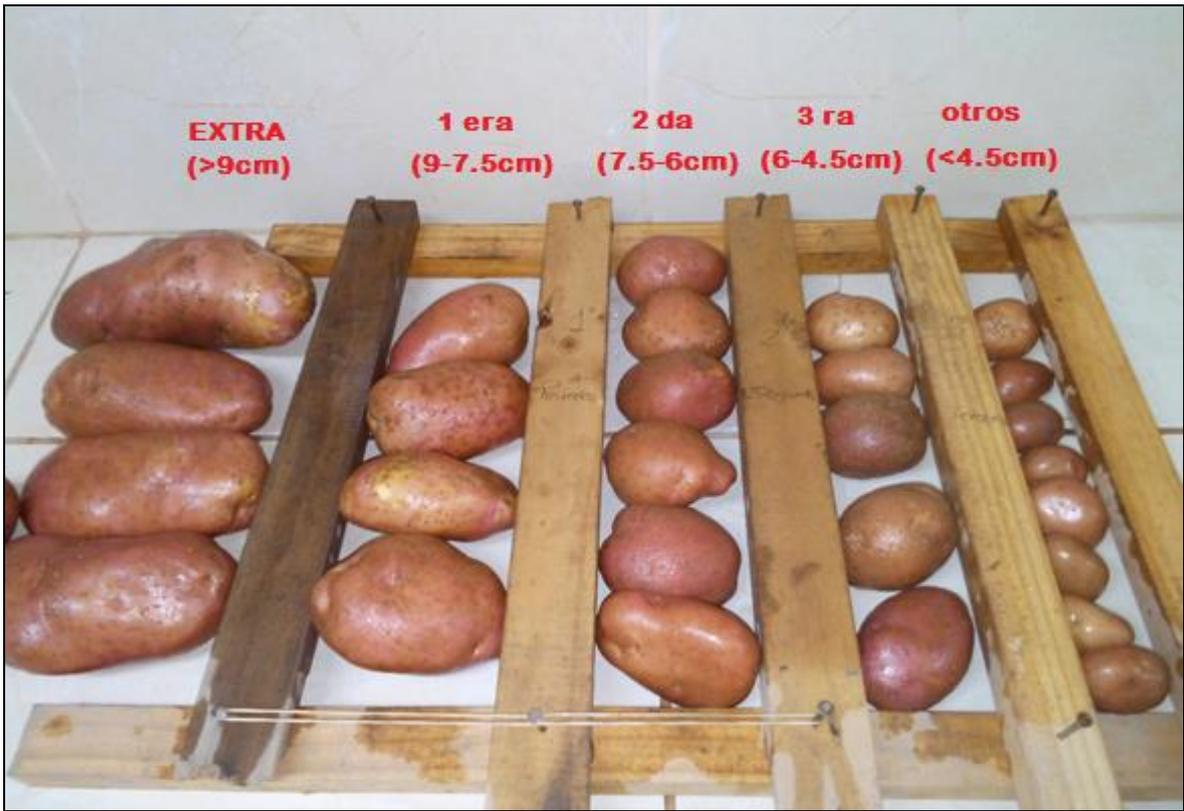
Segundo aporque a los 30 dds



Control de plagas cultivo a los 60dds



Cosecha a los 110 dds



Clasificación de la cosecha según calibre

Anexo 4: Fotos experimento 6



Vista panorámica del experimento



Tratamientos aplicados



Clase comercial Primera



Clase comercial Segunda



Clase comercial Tercera