

# Effect of the arrangement of drip irrigation laterals and partial soil drying on potato yield

Miguel Sánchez-Delgado <sup>\*a</sup> , Jesús A. Mejía-Marcacuzco <sup>a</sup> , Edilberto Guevara-Pérez <sup>a</sup> ,  
Piero Natividad-Toribio <sup>b</sup> , Luis Razuri-Ramírez <sup>c</sup> 

<sup>a</sup>Programa de Doctorado en Recursos Hídricos, Facultad de Ingeniería Agrícola, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.

<sup>b</sup>Facultad de Ingeniería Agrícola, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.

<sup>c</sup>Programa de Maestría en Riego y Drenaje, Facultad de Ingeniería Agrícola, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.

**Abstract.-** In the present investigation, the effect of the disposition of the drip irrigation laterals on the potato yield was evaluated, using the partial drying of roots SPR, replacing a sheet of water of 100 and 50 % of the evapotranspiration of the crop ETc. The experimental design was made based on the Completely Random Factorial Design considering two factors: (a) types of lateral arrangement (T-1 parallel arrangement and T-2 linear arrangement) and (b) irrigation types (100 % ETc SPR1 and 50 % ETc SPR2), obtaining four treatments as a result. The application of the SPR was carried out in two periods: the first, between days 20-29 after planting (during growth) and the second, between days 76-94 after planting (during maturity). Total and commercial yield as well as water productivity were evaluated. The results show that the type of irrigation had a greater incidence in the total yield of the crop with yields between 61 and 64 t/ha, while the disposition factor had a greater incidence in the commercial yield with yields between 51 and 60 t/ha. Water use efficiency varied between 38 and 47 kg/m<sup>3</sup>.

**Keywords:** drip irrigation; partial wetting; partial irrigation; potato yield.

## Efecto de la disposición de laterales de riego por goteo y secado parcial del suelo en el rendimiento de papa

**Resumen.-** En la presente investigación se evaluó el efecto de la disposición de los laterales de riego por goteo en el rendimiento de la papa, utilizando el secado parcial de raíces SPR, reponiendo una lámina de agua de 100 y 50 % de la evapotranspiración del cultivo ETc. El diseño experimental se efectuó en base al Diseño Factorial Completamente al Azar considerando dos factores: (a) tipos de disposición de lateral (Disposición paralela T-1 y Disposición lineal T-2) y (b) tipos de riego (100 % ETc SPR1 y 50 % ETc SPR2), obteniendo como resultado cuatro tratamientos. La aplicación del SPR se realizó en dos periodos: el primero, entre los días 20-29 después de la siembra (durante el crecimiento) y el segundo, entre los días 76-94 después de la siembra (durante la madurez). Se evaluó el rendimiento total y comercial, así como la eficiencia en el uso del agua. Los resultados muestran que el tipo de riego tuvo mayor incidencia en el rendimiento total del cultivo con rendimientos entre 61 y 64 t/ha, mientras que el factor disposición tuvo mayor incidencia en el rendimiento comercial con rendimientos entre 51 y 60 t/ha. La eficiencia de uso del agua varió entre 38 y 47 kg/m<sup>3</sup>.

**Palabras clave:** riego por goteo; humedecimiento parcial; riego parcial; rendimiento de papa.

Recibido: 13 de mayo, 2020.

Aceptado: 20 de julio, 2020.

### 1. Introducción

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, después del maíz. Representa el 10,6 % 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 anual

\* Autor para correspondencia:

Correo-e: msanchez@lamolina.edu.pe (M. Sánchez-Delgado)

en el año 2016 se incrementó de 67 a 87 kilos y se estima que suba hasta los 100 kilos por persona hasta el 2021. En la actualidad el país es el primer productor de papa de América del Sur y el segundo de toda América Latina; sin embargo, el rendimiento de la producción con apenas 14,7 t/ha, es superado por el de los países vecinos como Ecuador con 18,4 t/ha, Colombia con 20 t/ha, Brasil con 27,9 t/ha y Chile con 21,6 t/ha; y es inferior en un 26 % al promedio mundial [1]. Las cifras mencionadas indican que en las zonas áridas y semiáridas se requieren soluciones basadas en nuevas estrategias de riego y de gestión del agua en la agricultura [2]. Una de las estrategias que se puede aplicar es el método del secado parcial de la zona de raíces (SPR) en cada riego, mientras la otra parte de dicha zona se deja secar a un cierto contenido de humedad del suelo antes de volver a humedecer el lado seco cambiando el riego a ese lado; de ese modo, el SPR se constituye en una técnica de riego que permite optimizar el uso del recurso hídrico. El concepto de SPR fue aplicado por primera vez por Grimes *et al.* [3] en EE.UU.; luego, se ha probado en varios cultivos hortícolas y árboles frutales, tal como en frijol [4], [5], la remolacha azucarera [6], uvas [7], [8], maíz [9]; frijol verde [10], manzana [11] y tomate [12], [13]. En países como China, donde se ha experimentado una disminución de los recursos hídricos, se fomenta una gran atención pública a la agricultura, y se desarrollan estrategias de riego innovadoras en comparación con los métodos de riego convencionales, para ahorrar agua y aumentar la eficiencia del uso del agua (EUA) [14], [15], [16]. El procedimiento SPR se ha aplicado con éxito en el cultivo de papa, reduciendo el consumo de agua entre un 30 a 50 % con un aumento de la EUA, sin reducción significativa del rendimiento del tubérculo [17], [18], [19], [20], [21], [22], [23], [24], [25], [26], [27], [28], [29], [30].

Sin embargo, los desafíos del método SPR incluyen aspectos como encontrar el momento adecuado para su aplicación, la duración y la intensidad del manejo de la restricción de agua en la papa que estimule algún mecanismo de tolerancia para evitar la reducción del rendimiento [31]. Los hallazgos recientes, trabajando en papa bajo invernadero [24] y en las condiciones de

campo [19], [20], [32], destacan que un momento temprano de la restricción de agua (a partir de 6 semanas después de la siembra) con SPR utilizando el 50 % de la cantidad de agua aplicada con riego completo, permite una alta EUA sin reducciones significativas de rendimiento mediante la activación de rasgos de tolerancia a la sequía, como el ajuste osmótico. En ese contexto, en la presente investigación se evaluó 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 del secado parcial de la zona de raíces SPR, reponiendo láminas de agua equivalentes al 100 y 50 % de la ETc del cultivo.

## 2. Materiales y métodos

### 2.1. Diseño experimental

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 %, punto de marchitez permanente de 8,7 % y densidad aparente de 1,45 g/cm<sup>3</sup>.

### 2.2. 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 % de ETc – “T” y al 50 % de ETc – “RP”), obteniendo como resultado cuatro tratamientos SPR denominados disposición paralela, con lámina de riego al 50 % de ETc en SPR (SPR1), disposición paralela, con lámina de riego al 100 % de ETc (T-1), disposición lineal, con lámina de riego al 50 % de ETc en SPR (SPR2) y disposición lineal, con lámina de riego al 100 % del ETc (T-2). El área

neta del campo experimental fue de 270 m<sup>2</sup> la cual se dividió en 20 parcelas experimentales de 3,00 m x 4,50 m (13,5 m<sup>2</sup>) 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, 234 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha, 196 kg K<sub>2</sub>O/ha, 59,6 kg CaO/ha, 32,4 kg MgO/ha y 26,3 kg S/ha.

### 2.3. 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  $T_{max}$  (°C), temperatura mínima  $T_{min}$  (°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 1, 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 1: Datos meteorológicos mensuales

Mes	Vv (m/s)	T(°C)		HR (%)	Ev (mm)	ET <sub>o</sub> (mm/d)
		Max	Min			
Jun	1,12	22,2	14,9	89,63	1,85	1,48
Jul	1,15	21,6	13,5	88,12	1,93	1,54
Ago.	1,18	20,1	13,3	90,85	1,58	1,26
Set	1,1	22,1	13,3	91,95	1,69	1,35

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  $K_p = 0,80$  obteniéndose primeramente la evapotranspiración del cultivo de referencia a través de la ecuación (1):

$$ET_o = E \cdot K_p. \tag{1}$$

La evapotranspiración real ( $ET_c$ ), se determinó multiplicando la evapotranspiración del cultivo de referencia ( $ET_o$ ) por el coeficiente del cultivo ( $K_c$ ) según la ecuación (2):

$$ET_c = ET_o \cdot K_c. \tag{2}$$

El coeficiente  $K_c$  se tomó de referencias sobre estudios desarrollados en la región de la costa de Arequipa, cuyos valores se dan en la Tabla 2.

Tabla 2: Coeficiente de cultivo [33]

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	

### 2.4. Disposición de los laterales de riego

En la Figura 1 se muestran los dos tipos de disposición de los laterales de riego. En el tipo 1 (paralela), en cada surco se instalaron dos mangueras de riego a una distancia de 20 cm unas de la otra; los emisores fueron colocados a un espaciamiento de 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 la zona de raíces, se utilizaron dos mangueras juntas con emisores alternados y distanciados cada 60 cm en cada una de ellas.

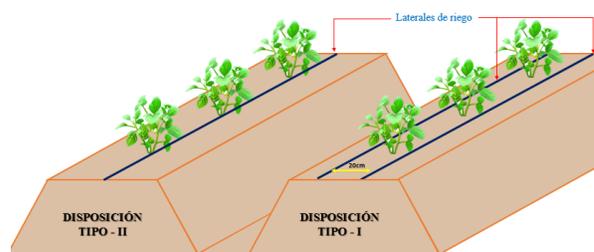


Figura 1: Disposición de laterales de riego

El secado parcial del suelo en la zona de raíces (SPR) al 50 % del  $ET_c$  (SPR1 y SPR2) consistió en humedecer la mitad de la zona radicular de la planta, con una lámina de riego reducida al 50 % de  $ET_c$ ; esta aplicación se hizo 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% de 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 alternativas la frecuencia de aplicación del agua de riego fue de un día.

### 2.5. Aplicación de la lámina de 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 2 se presenta el cronograma de aplicación del agua en semanas después de la siembra; en la figura se muestran los períodos de aplicación del riego deficitario con secado parcial de la zona de raíces.

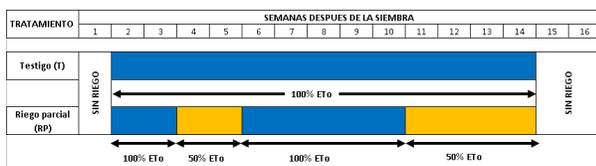


Figura 2: Cronograma de aplicación del agua en los tratamientos de riego

Según la disposición del experimento, el coeficiente de uniformidad CU fue superior a 89%, en los tratamientos control (T-1 y T-2) con aplicación de las láminas de riego al 100% de ETc, durante todas las aplicaciones de riego, debido a que las parcelas experimentales se regaron de forma uniforme. La aplicación restringida de agua para el caso de los tratamientos SPR, se llevó a cabo durante dos etapas fenológicas del cultivo. En las Figuras 3 y 4 se presenta una vista en planta de la disposición lineal y en paralelo, respectivamente y la aplicación del riego deficitario con secado parcial del suelo en la zona de raíces; las figuras muestran el modo cómo se alterna el humedecimiento de la zona de raíces en cada planta; a cada línea lateral se acopló una válvula de paso para el control del flujo. El inicio de la aplicación SPR ocurre al pasar agua por uno de los laterales; por ejemplo, la línea “A” queda abierta

mientras que la línea “B” permanece cerrada; en el riego siguiente se invierte la operación, la línea “A” cerrada y la línea “B” abierta; de esta forma se humedece la zona de raíces en forma alternada.

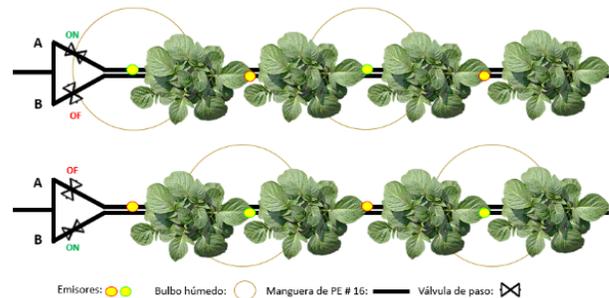


Figura 3: Vista de planta de la disposición lineal y la aplicación del riego deficitario con secado parcial de raíces

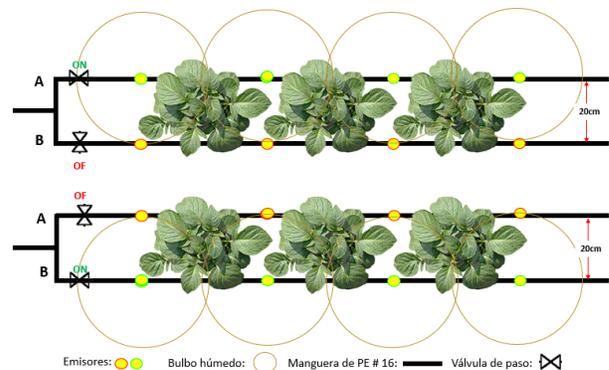


Figura 4: Vista de planta de la disposición en paralelo y la aplicación del riego deficitario con secado parcial de raíces

### 2.6. Evaluación de las variables del cultivo

Durante el crecimiento y desarrollo del cultivo se evaluó el porcentaje de emergencia de las plantas 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 días después de la siembra. La cosecha se realizó de forma manual; se recogieron los tubérculos de cada planta, se clasificaron y pesaron. El rendimiento total se

considera como la relación entre la producción total y la superficie cosechada, expresada en kg/ha. 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.

Asimismo, se contabilizó el número de tubérculos por calibre comercial, tomando como referencia la clasificación planteada por Sifuentes [34], agrupados en las cinco categorías que se muestran en la Tabla 3, de acuerdo con la longitud o diámetro del tubérculo.

Tabla 3: Descripción de calibres o diámetros de tubérculos de papa [33]

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

### 3. Resultados y discusión

#### 3.1. Cronograma de riegos y lámina aplicada para los diferentes tratamientos

En la Tabla 4 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 % de los requerimientos hídricos del cultivo aplicando una lámina total de riego de 161,5 mm (1615 m<sup>3</sup>/ha). Para el caso del tratamiento de secado parcial de la zona de raíces (SPR1 y SPR2), 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 SPR se realizó en dos etapas, la primera, coincidente 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

Tabla 4: Lámina de agua aplicada durante el experimento

Día después de la siembra	No. de riego	Fecha de riego	Lámina de agua aplicada por tratamiento (mm)			
			SPR1	T-1	SPR2	T-2
10	1	23/06/2017	2,7	2,7	2,7	2,7
13	2	26/06/2017	2	2	2	2
15	3	28/06/2017	2	2	2	2
18	4	01/07/2017	2	2	2	2
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	2	1	2
29	9	12/07/2017	1,4	2,7	1,4	2,7
32	10	15/07/2017	3	3	3	3
34	11	17/07/2017	6,8	6,8	6,8	6,8
37	12	20/07/2017	3	3	3	3
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	6	6	6
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	1,5	3
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

del 2017), coincidiendo con la etapa fenológica de maduración del producto. Los tratamientos SPR1 y SPR2 en ambas etapas, se realizaron con aplicaciones de agua al 50 % de la demanda hídrica del cultivo, con una lámina total de 129,1 mm (1291 m<sup>3</sup>/ha), lo cual representa un ahorro del 20 %.

#### 3.2. Porcentaje de emergencia y desarrollo de las plantas

En cuanto al nacimiento de plantas, la emergencia promedio después de 12 días de la siembra fue de 95 %; alcanzándose el 100 % a los 25

días posteriores a la siembra. No se observaron diferencias en la emergencia de planta entre los tratamientos; más bien pareciera que esta variable está más influenciada por las condiciones de calidad del tubérculo-semilla y del suelo que por los factores de humedecimiento consideradas en la investigación.

En la Tabla 5, se presentan los resultados obtenidos para alturas medias de planta tomadas en diferentes periodos del ciclo vegetativo. Durante los primeros 12 días después de la siembra el promedio de alturas no varió; posteriormente, la diferencia del crecimiento entre tratamientos fue mínima, indicando que no hay influencias significativas de los tratamientos de humedad sobre el desarrollo vegetativo del cultivo.

Tabla 5: Altura de planta registrada durante el desarrollo vegetativo para los tratamientos usados en la investigación

Días después de la siembra	Altura de la planta (cm)			
	Tratamiento			
	T-1	SPR1	SPR2	T-2
12	13	13	13	13
19	17	17	16	18
26	23	22	23	24
40	35	33	34	36
49	44	42	45	45
60	65	62	65	65
71	82	79	80	83
81	100	85	89	91
97	102	91	90	100
106	103	91	92	102

La planta alcanzó su altura máxima a los 106 días después de la siembra, con un valor de 103, 91, 92 y 102 cm para los tratamientos T-1, SPR1, SPR2 y T-2 respectivamente. Las diferencias en altura de planta no son significativas entre los diferentes tratamientos, indicando que la modalidad de humedecimiento no afecta al crecimiento; en cambio, se logra un ahorro de agua en cada riego.

### 3.3. Número de tallos principales por planta y área foliar

En la Tabla 6 se presenta el número de tallos por planta para cada tratamiento registrados a los 30

días (antes del aporque) y 106 días después de la siembra. Los valores dados en la tabla indican que el número medio de tallos disminuye con respecto al conteo inicial, debido a que, cuando la planta alcanza la madurez, las hojas inferiores se tornan amarillas y el follaje se cae [35]; sin embargo, las diferencias son insignificantes.

Tabla 6: Tallos por planta para cada tratamiento registrados a los 30 y 106 días después de la siembra

Tratamiento	Aporque (30 días)	Cosecha (106 días)
T-1	5,3	4,9
SPR1	5,1	4,3
SPR2	4,7	4,6
T-2	4,6	4,4

En lo que respecta al área foliar, en la Tabla 7 se presentan los porcentajes medios de cobertura del dosel medidos en 10 fechas de monitoreo con 10 repeticiones por fecha. Se observa que para el testigo se alcanzan valores de cobertura del dosel mayores que para los tratamientos; esto se debe a que el suministro de agua para el testigo fue hecho al 100 % del requerimiento evitando estrés hídrico en la planta.

Tabla 7: Cobertura promedio de dosel según la lámina de riego aplicada

Medición	Cobertura del dosel (%)	
	Días después de la siembra	Tratamiento de riego parcial de la zona de raíces
	Tratamiento control	
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
52	81,6	79,2
59	91	83,3
74	83,6	81,4
95	72,1	76,4

### 3.4. Resultados del rendimiento obtenido para los diferentes tratamientos

En la Tabla 8, y en la Figura 5 se muestran los resultados obtenidos para el rendimiento total de

los diferentes tratamientos expresados en t/ha. El mayor rendimiento se obtuvo para el tratamiento T-2, con 66 t/ha, valor que se ubica en un 3 % más alto que para el tratamiento T-1, con 64 t/ha. Los rendimientos más bajos se obtuvieron en los tratamientos SPR1 y SPR2, con valores de 60 y 61 t/ha y una diferencia mínima entre ellos de 1,6 %.

Tabla 8: Rendimiento total para diferentes tratamientos a los 110 días después de la siembra

Tratamiento	Rendimiento total (t/ha)
T-1	64
SPR1	60
SPR2	61
T-2	66

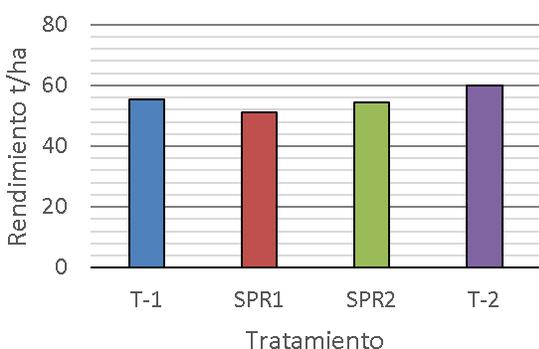


Figura 5: Rendimiento total para cada tratamiento en t/ha

### 3.5. Análisis de varianza (ANOVA) para los resultados del rendimiento

En la Tabla 9 se presentan los resultados obtenidos del análisis de varianza realizado para los valores del rendimiento total. Los valores dados en la tabla 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. El tipo de riego es el que mayor incidencia tiene sobre el rendimiento total.

Los valores dados en la Tabla 9 muestran que existe un efecto de interacción estadísticamente significativa entre los niveles de los factores tipo de disposición de lateral (Disposición) y el tipo de

Tabla 9: 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	0,07617
Tipos de riego	1,939	1,93887	21,665	0,00000374
Interacción Disposición de laterales: Tipo de riego	0,044	0,043552	0,4863	0,48575
Error	801,85	0,08949		

riego (Riego), ya que el valor-*p* (0,486) es mayor que el correspondiente al nivel de significación de 95 % (0,05). Esto significa que combinando los niveles de los factores resultarían rendimientos totales iguales o similares que utilizando los niveles de los factores por separado.

En la Tabla 10 se presentan los resultados de la comparación de medias del rendimiento total obtenido en la investigación, según la “Prueba de Duncan”.

Tabla 10: Comparación de medias para el rendimiento total según la Prueba de Duncan

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

Sobre la base del análisis estadístico dado en la Tabla 10, se deduce que no existe diferencia significativa entre los factores Disposición (1 y 2) y Tipo de riego (T y SPR); en cambio, la diferencia es estadísticamente significativa entre los casos de diferentes disposiciones y sus respectivos tratamientos (T-1 y SPR1, T-2 y SPR2). Si bien, los rendimientos totales son similares, existe diferencia en los rendimientos comerciales, indicando que,

de algún modo, el tipo de disposición y la aplicación del SPR influyen en el calibre de los tubérculos ocasionando una reducción del rendimiento comercial. En este estudio se han obtenido valores para el rendimiento total y el rendimiento comercial superiores a los 60 y 50 t/ha para los tratamientos T-1, T-2, SPR1 y SPR2 respectivamente; estas cifras son más altas que las encontradas en estudios realizados en otras partes del mundo [17], [18], [19], [20], [36]. Los altos rendimientos 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 disueltos en el agua aumenta la eficiencia de asimilación de los mismos por el cultivo [37]. Los cultivos como la papa, sensibles a la sequía generalmente cierran sus estomas cuando están sometidos a estrés hídrico [25]; la transpiración puede ser inhibida por un secado alternativo, pero esto no necesariamente afecta la absorción de nutrientes de manera similar. Han y Kang [38] reportan que la eficiencia total de uso de N y P aumenta con la técnica de secado parcial de la raíz en comparación con la irrigación tradicional.

### 3.6. Rendimiento comercial

En la Tabla 11 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 SPR1) la reducción del rendimiento comercial es del 7%; en el de tipo 2 (T-2 y SPR2) se incrementa a 9%.

Tanto el tipo de disposición de laterales de riego, como la aplicación del riego deficitario, influyeron directamente en el rendimiento. En la Figura 6 se muestra que entre los tratamientos que no recibieron riego deficitario, el que alcanza el mejor rendimiento comercial es el tratamiento de disposición de lateral tipo 2 (T-2), con un 8%

mayor que el tratamiento de disposición de lateral tipo 1 (T-1).

Tabla 11: Rendimiento comercial de las plantas con diferentes tratamientos a los 110 días después de la siembra

Tratamiento	Rendimiento comercial (t/ha)
T-1	55
SPR1	51
SPR2	54
T-2	60

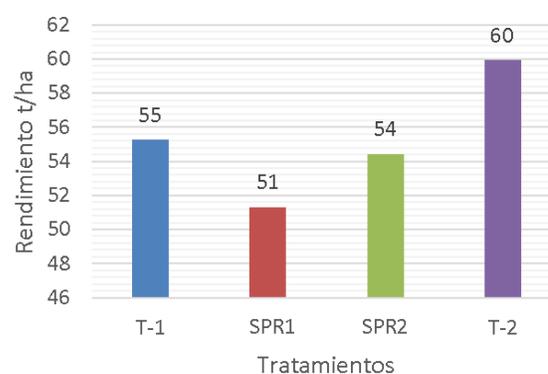


Figura 6: Rendimiento comercial para cada tratamiento en t/ha

### 3.7. Número de tubérculos comerciales y no comerciales

Para determinar la influencia del riego deficitario en la cantidad de tubérculos comerciales y no comerciales por planta se establecieron los siguientes grupos de clases:

- Tres tamaños comerciales: extra, primera y segunda.
- Dos tamaños pequeños: tercera y otros (<4.5cm).

En la Figura 7 se muestra en forma gráfica la distribución porcentual del número de tubérculos según el sistema de clasificación indicado. En la figura se observa que el tipo de disposición influye en el porcentaje de tubérculos de menor tamaño. Para los tratamientos SPR1 y T-1 el porcentaje

de tubérculos pequeños es mayor; mientras que para T-2 y SPR2 es mayor porcentaje de tubérculos grandes.



Figura 7: Distribución porcentual del número de tubérculos según su clasificación

### 3.8. Análisis de varianza (ANOVA) del número de tubérculos comerciales

En la Tabla 12 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 12)

Tabla 12: Análisis de varianza del número de tubérculos comerciales por planta

Factor	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	Valor de F	Probabilidad p
Disposición de laterales	0,182	0,1807	0,2021	0,0653
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 13 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 (SPR1 y T-1, SPR2 y T-2); en cambio, las diferencias son estadísticamente significativas entre las disposiciones de laterales de riego utilizadas (T-1 y T-2, SPR1 y SPR2). El mayor número de tubérculos comerciales provienen de los tratamientos SPR1 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 SPR2 y T-2, con valores de 10,07 y 10,77 respectivamente.

Tabla 13: 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:SPR	4,27754	b
Disposición 1:SPR	4,262631	b

### 3.9. Análisis de varianza (ANOVA) del número de tubérculos no comerciales

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 14, 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.

En la Tabla 15 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 (SPR1 y T-1, SPR2 y T-2); en cambio, las diferencia son estadísticamente significativas entre las diferentes disposiciones de laterales de riego (T-1 y T-2, SPR1 y SPR2). El mayor número de tubérculos no comerciales se presentaron en los tratamientos SPR1 y T-1, con valores medios de 7,52 y 7,90 tubérculos por planta, respectivamente. El menor

Tabla 14: 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
Tipos de riego	0,61	0,613	0,2058	0,65
Interacción Disposición de laterales: Tipo de riego	0,44	0,0406	0,0459	0,82513
Error	801,07	0,08941		

número de tubérculos por planta, ocurre en los tratamientos SPR2 y T-2, con valores de 5,17 y 4,66 respectivamente.

Tabla 15: Comparación de medias del número de tubérculos no comerciales según la prueba de Duncan

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

### 3.10. Tamaño de tubérculos

Con la finalidad de determinar la influencia del riego deficitario en el calibre de los tubérculos, se agruparon los tubérculos según el sistema de clasificación establecido. Los resultados se presentan en la Figura 8. De acuerdo con las tendencias que muestra la figura, pareciera que existen efectos de los tratamientos usados en la investigación sobre el calibre de los tubérculos. De un lado, se observa una disminución en el tamaño de los tubérculos ocasionada por la disposición de laterales (T-1 y T-2), lo mismo que por la aplicación del riego deficitario con secado parcial de raíces (SPR1 y SPR2), conduciendo a una disminución

sustancial en los rendimientos. La mayor cantidad de tubérculos del calibre tipo “extra” corresponde a la disposición tipo 1 (SPR1 y T-1); el calibre tipo “primera” se encuentra coincidentemente en los cuatro tratamientos; la ocurrencia de los calibres tipo “segunda”, “tercera” y “menores” de 4,5 cm, corresponden preponderantemente a la disposición de tipo 1 en comparación con la disposición de tipo 2. Se puede concluir que tanto la disposición y la aplicación de SPR ejercen influencia sobre el calibre de los tubérculos.

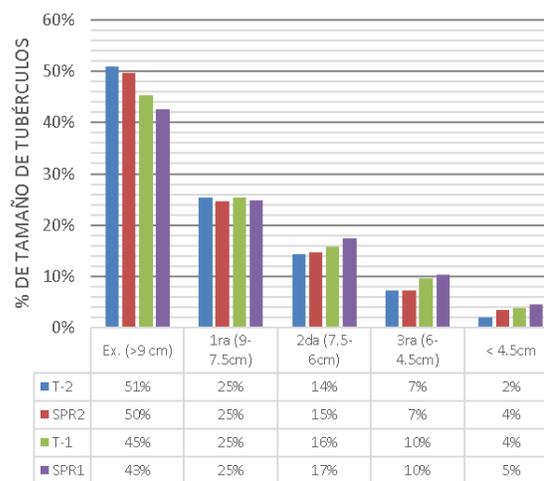


Figura 8: Efecto de los tratamientos sobre el tamaño de tubérculos según el sistema de clasificación establecido

En la Tabla 16 se presentan los resultados de la prueba de comparación de medias del rendimiento por calibres de tubérculos por planta del cultivo de papa, sometidos a cuatro tratamientos, según la prueba de Tukey.

En la Tabla 16 se observa que, para la clasificación tipo extra existe diferencia significativa; los mejores resultados corresponden al tratamiento T-2 y los más bajos, a SPR1. Para la clasificación primera (1era), no hay significancia estadística entre los cuatro tratamientos, siendo los resultados muy parecidos; para los otros rangos de clasificación la diferencia es significativa. En el caso de la segunda (2da), los tratamientos T-1 y SPR1 arrojan mejores resultados, y los más bajos, corresponden a los tratamientos T-2 y SPR2. Para el caso de la clasificación tercera (3era), los tratamientos T-1 y SPR1 arrojan valores similares

Tabla 16: Comparación de medias del rendimiento por calibres de tubérculos por planta del cultivo de papa, según la prueba de Tukey

Tratamiento	Extra	1 <sup>era</sup>	2 <sup>da</sup>	3 <sup>era</sup>	<4,5 cm
T-2	1,01008 <sup>a</sup>	0,50306 <sup>a</sup>	0,28715 <sup>ab</sup>	0,14457 <sup>b</sup>	0,042444 <sup>b</sup>
SPR2	0,91155 <sup>ab</sup>	0,45413 <sup>a</sup>	0,26880 <sup>b</sup>	0,1355556 <sup>b</sup>	0,065955 <sup>a</sup>
T-1	0,86946 <sup>bc</sup>	0,48795 <sup>a</sup>	0,30235 <sup>ab</sup>	0,18666 <sup>a</sup>	0,073955 <sup>a</sup>
SPR1	0,77231 <sup>c</sup>	0,45195 <sup>a</sup>	0,31577 <sup>a</sup>	0,18813 <sup>a</sup>	0,085111 <sup>a</sup>
	S	NS	S	S	S

S: significativo; NS: No significativo.

y más altos; mientras que los resultados más bajos y también similares fueron T-2 y SPR2. Para la clasificación de tubérculos menores que 4,5 cm de longitud, existe diferencia estadística significativa; la de menor valor corresponde al tratamiento T-2; para el resto de calibre, hay similitud entre las medias. En los tratamientos de SPR no se detectaron 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 favorecer la temperatura del suelo y la absorción de agua, evitando una reducción significativa del rendimiento del cultivo [22]. Los resultados de esta investigación concuerdan con aquellos de estudios que probaron el riego SPR [39], [23], [20], [19], [24] y el riego deficitario [40], [39] en los que el rendimiento de la papa no se redujo significativamente cuando se utilizó solo el 50 % del agua requerida en SPR1 y SPR2 en comparación a T-1 y T-2.

### 3.11. Eficiencia de uso del agua

La eficiencia de uso o productividad del agua, se expresa como la producción de papa obtenida por cada metro cúbico de agua utilizada en el cultivo y se expresa en  $\text{kg/m}^3$ . En la Tabla 17 se presentan los resultados del rendimiento obtenido en el cultivo, los consumos de agua y la eficiencia o productividad del uso del agua, diferenciados por el tipo de tratamiento.

En la cuarta columna de la Tabla 17 se observa que los valores más altos de la eficiencia de uso del agua corresponden a los tratamientos del secado parcial de raíces con magnitudes de  $46,48 \text{ kg/m}^3$  y  $47,25 \text{ kg/m}^3$ . Esta mayor eficiencia de uso del

Tabla 17: Rendimiento del cultivo, consumo y eficiencia de uso del agua

Tratamiento	Rendimiento (kg/ha)	Consumo de agua ( $\text{m}^3/\text{ha}$ )	Eficiencia de uso del agua ( $\text{kg/m}^3$ )
T-1	64000	1651	38,76
SPR1	60000	1291	46,48
SPR2	61000	1291	47,25
T-2	66000	1651	39,98

agua se debe a la menor lámina de aplicación; en contraposición, los valores más bajos 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. Resultados referenciales extraídos de varios estudios indican que la eficiencia de uso del agua en el cultivo de papa varía entre 9 y  $25 \text{ kg/m}^3$  en diferentes climas [41], [42], [43], [24], [25], [44], [45]. Sánchez y Meza [46], en un estudio experimental desarrollado en la misma área de la presente investigación sobre evaluación del rendimiento del cultivo de papa bajo la aplicación del riego deficitario (SPR) utilizando cintas de riego, encontraron valores de eficiencia de uso de agua de  $26,65 \text{ kg/m}^3$  y  $21,55 \text{ kg/m}^3$ , para los tratamientos SPR y bajo riego por goteo al 100 % de Etc. respectivamente. Estos resultados indican que la eficiencia de uso del agua con la alternativa de diseño propuesta en la presente investigación ha mejorado significativamente, incrementándose en un 23,7 %, bajo el marco del sistema de SPR (50 % de Etc), en comparación con los casos de riego por goteo al 100 % Etc.

#### 4. Conclusiones

El uso del método de riego por goteo con dos disposiciones de los laterales de riego para la aplicación de la técnica SPR, complementado con fertirrigación, permitió incrementar significativamente el rendimiento, tanto en condiciones de riego al 100 % de ETc como en el secado parcial de la zona de raíces SPR. Con esta tecnología se logró un incremento de aproximadamente 33 % en el rendimiento comercial, y la obtención de una producción total superior a 60 t/ha y un rendimiento comercial de más de 50 t/ha, en comparación con las 40 t/ha del rendimiento promedio obtenido por Sánchez [46] y Nuñez [47] con la variedad UNICA en la misma zona de estudio. El riego deficitario con secado parcial de la zona de raíces, aplicado en las dos etapas fenológicas, crecimiento y madurez, redujo de forma notable el tamaño de los tubérculos; se encontró significancia estadística en el número de tubérculos comerciales por planta; el efecto significativo en tubérculos no comerciales se dio por el tipo de disposición de laterales de riego.

El rendimiento obtenido en la investigación cuadruplica al rendimiento nacional de unas 15 t/ha de papa y permite un ahorro de agua de más del 30 %. Esta consideración hace viable el uso del método a gran escala en áreas con escasez de agua porque el alto rendimiento compensaría el costo que requiere el sistema tecnificado de riego. Es probable que éste sea el mayor aporte a la gestión del agua en el Perú.

#### 5. Referencias

- [1] Ministerio de Agricultura y Riego, *Papa: Características de la Producción Nacional y de la Comercialización en Lima Metropolitana*, Dirección General de Políticas Agrarias. Dirección de Estudios Económicos e Información Agraria Std., 2017.
- [2] A. R. Sepaskhah and S. H. Ahmadi, "A Review on Partial Root-Zone Drying Irrigation," *International Journal of Plant Production*, vol. 4, no. 4, pp. 1735–6814, 2010.
- [3] D. W. Grimes, V. T. Walhood, and W. L. Dickens, "Alternate-furrow irrigation for San Joaquin valley cotton," *California Agriculture*, vol. 22, no. 5, pp. 4–6, 1968.
- [4] A. Samadi and A. R. Sepaskhah, "Effects of alternate furrow irrigation on yield and water use efficiency of dry beans," *Iran Agricultural Research*, vol. 3, pp. 95–115, 1984.
- [5] A. R. Sepaskhah and S. A. Sichani, "Evaluation of subsurface irrigation spacings for bean production," *Canadian Agricultural Engineering*, vol. 18, no. 2, pp. 23–26, 1996.
- [6] A. R. Sepaskhah and A. A. Kamgar-Haghighi, "Water use and yields of sugarbeet grown under every-otherfurrow irrigation with different irrigation intervals," *Agricultural Water Management*, vol. 34, no. 1, pp. 71–79, 1997.
- [7] P. E. Kriedmann and I. Goodwin, "Regulated deficit irrigation and partial rootzone drying," in *Irrigation insights no. 4*. Canberra: Land and Water Australia, 2003.
- [8] B. R. Loveys, M. Stoll, P. R. Dry, and M. G. McCarthy, "Using plant physiology to improve the water use efficiency of horticultural crops," *Acta Horticulturae*, vol. 537, pp. 187–197, 2000.
- [9] S. Z. Kang and J. H. Zhang, "Controlled alternate partial root-zone irrigation: its physiological consequences and impact on water use efficiency," *Journal of experimental botany*, vol. 55, no. 407, pp. 2437–2446, 2004.
- [10] C. Gençoğlan, H. Altunbey, and S. Gençoğlan, "Response of green bean (*P. vulgaris* L.) to subsurface drip irrigation and partial rootzone-drying irrigation," *Agricultural Water Management*, vol. 84, no. 3, pp. 274–280, 2006.
- [11] B. G. Leib, H. W. Caspari, C. A. Redulla, P. K. Andrews, and J. Jabro, "Partial rootzone drying and deficit irrigation of 'Fuji' apples in a semi-arid climate," *Irrigation Science*, 2006.
- [12] Y. Wang, F. Liu, L. S. Jensen, A. De Neergaard, and C. R. Jensen, "Alternate partial root-zone irrigation improves fertilizer-N use efficiency in tomatoes," *Irrigation Science*, vol. 31, pp. 589–598, 2013.
- [13] J. Zegbe, M. Behboudian, and B. Clothier, "Partial rootzone drying is a feasible option for irrigating processing tomatoes," *Agricultural Water Management*, vol. 68, no. 3, pp. 195–206, 2004.
- [14] D. Zhang and P. Guo, "Integrated agriculture water management optimization model for water saving potential analysis," *Agricultural Water Management*, vol. 170, no. 1, pp. 5–19, 2016.
- [15] M. M. Giuliani, G. Gatta, E. Nardella, and E. Tarantino, "Water saving strategies assessment on processing tomato cultivated in Mediterranean region," *Italian Journal of Agronomy*, vol. 11, no. 1, pp. 69–76, 2016.
- [16] J. H. Qin, Y. J. Chen, C. Y. Zhou, B. P. Pang, and M. L. Meng, "Effects of frequency of drip irrigation frequency under mulch on potato growth, yield and water use efficiency," *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, vol. 21, no. 7, pp. 824–830, 2013.

- [17] K. K. Sarker, A. Hossain, J. Timsina, S. J. Biswas, B. C. Kundu, A. Barman, K. F. Ibn Murad, and F. Akter, "Yield and quality of potato tuber and its water productivity are influenced by alternate furrow irrigation in a raised bed system," *Agricultural Water Management*, vol. 224, no. 2019, p. 105750, 2019.
- [18] J. Qin, D. A. Ramírez, and K. Xie, "Is Partial Root-Zone Drying More Appropriate than Drip Irrigation to Save Water in China? A Preliminary Comparative Analysis for Potato Cultivation," *Potato Research*, vol. 61, pp. 391–406, 2018.
- [19] W. Yactayo, D. A. Ramírez, T. German, A. Worku, A. Abeb, D. Harahagazwe, V. Mares, F. De Mendiburu, and R. Quiroz, "Improving potato cultivation using siphons for partial root-zone drying irrigation: a case study in the Blue Nile river basin, Ethiopia," *Open Agriculture*, vol. 2, no. 1, pp. 255–259, 2017.
- [20] W. Yactayo, D. A. Ramírez, R. Gutiérrez, V. Mares, A. Posadas, and R. Quiroz, "Effect of partial root-zone drying irrigation timing on potato tuber yield and water use efficiency," *Agricultural Water Management*, vol. 123, pp. 65–70, 2013.
- [21] R. E. Abdelraouf, "Effect of partial root zone drying and deficit irrigation techniques for saving water and improving productivity of potato," *International Journal of ChemTech Research*, vol. 9, no. 8, pp. 170–177, 2016.
- [22] F. Karandish and A. Shahnazari, "Soil temperature and maize nitrogen uptake improvement under partial root-zone drying irrigation," *Pedosphere*, vol. 26, no. 6, pp. 872–886, 2016.
- [23] K. Y. Xie, X. X. Wang, R. F. Zhang, X. F. Gong, S. B. Zhang, V. Mares, C. Gavilán, A. Posadas, and R. Quiroz, "Partial root-zone drying irrigation and water utilization efficiency by the potato crop in semi-arid regions in China," *Scientia Horticulturae*, vol. 134, pp. 20–25, 2012.
- [24] Z. Jovanovic, R. Stikic, B. Vucelic-Radovic, M. Paukovic, Z. Brocic, G. Matovic, S. Rovcanin, and M. Mojevic, "Partial root-zone drying increases WUE, N and antioxidant content in field potatoes," *European Journal of Agronomy*, vol. 33, no. 2, pp. 124–131, 2010.
- [25] S. H. Ahmadi, M. N. Andersen, F. Plauborg, R. T. Poulsen, C. R. Jensen, A. R. Sepaskhah, and S. Hansen, "Effects of irrigation strategies and soils on field grown potatoes: Yield and water productivity," *Agricultural Water Management*, vol. 97, no. 2010, pp. 1923–1930, 2010.
- [26] M. Shayannejad and A. Moharreri, "Effect of every—Other furrow irrigation on water use efficiency, starch and protein contents of potato," *Agriculture Science*, vol. 1, no. 2, pp. 107–112, 2009.
- [27] H. Saeed, I. G. Grove, P. S. Kettlewell, and N. W. Hall, "Potential of partial root zone drying as an alternative irrigation technique for potatoes (*Solanum tuberosum*)," *Annals of Applied Biology*, vol. 152, no. 1, pp. 71–80, 2008.
- [28] A. Shahnazari, F. Liu, M. N. Andersen, S. E. Jacobsen, and C. R. Jensen, "Effects of partial root-zone drying on yield, tuber size and water use efficiency in potato under field conditions," *Field Crops Research*, vol. 100, no. 1, pp. 117–124, 2007.
- [29] F. L. Liu, A. Shahnazari, M. N. Andersen, S. E. Jacobsen, and C. R. Jensen, "Physiological responses of potato (*Solanum tuberosum* L.) to partial root-zone drying: ABA signalling, leaf gas exchange, and water use efficiency," *Journal of Experimental Botany*, vol. 57, no. 14, pp. 3727–3735, 2006.
- [30] F. L. Liu, A. Shahnazari, M. N. Andersen, S. E. Jacobsen, and C. R. Jensen, "Effects of deficit irrigation (DI) and partial root drying (PRD) on gas exchange, biomass partitioning, and water use efficiency in potato," *Scientia Horticulturae*, vol. 109, no. 2, pp. 113–117, 2006.
- [31] P. Monneveux, D. A. Ramírez, and M. T. Pino, "Drought tolerance in potato (*S. tuberosum* L.). Can we learn from drought tolerance research in cereals?" *Plant Science*, vol. 205–206, pp. 76–86, 2013.
- [32] H. L. Xu, F. F. Qin, Q. C. Xu, J. Y. Tan, and G. M. Liu, "Applications of xerophytophysiology in plant production: potato cultivation improved by partially drying the root zone of the early season but not the entire season," *Scientia Horticulturae*, vol. 129, no. 4, pp. 528–534, 2011.
- [33] Autoridad Autónoma de Majes (AUTODEMA), *Aplicación de un riego eficiente en un sistema de riego por goteo. Gobierno Regional de Arequipa*, Autoridad Autónoma de Majes (AUTODEMA) Std., 2015.
- [34] F. Sifuentes, "Crecimiento, producción y calidad de papa para fritura var. UNICA," Tesis Ing. Agr., Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú, 2012.
- [35] R. P. Egúsqüiza-Bayona, *La papa en el Perú*. Lima, Perú: Universidad Nacional Agraria La Molina, 2014.
- [36] S. Foti, G. Mauromicale, and A. Ierna, "Influence of irrigation regimes on growth and yield of potato cv. Spunta," *Potato Research*, vol. 38, pp. 307–318, 1995.
- [37] M. Farooq, A. Wahid, N. Kobayashi, D. Fujita, and S. M. A. Basra, "Plant drought stress: effects, mechanisms and management," *Sustainable Agriculture*, vol. 29, no. 1, pp. 185–212, 2009.
- [38] Y. L. Han and S. Z. Kang, "Effects of controlled partial root-zone irrigation on root nutrition uptake of maize (*Zea mays* L.)," *Transactions of Chinese Society of Agricultural Engineer*, vol. 18, pp. 57–59, 2002.
- [39] H. Wang, F. L. Liu, M. N. Andersen, and C. R. Jensen, "Comparative effects of partial root-zone drying and deficit irrigation on nitrogen uptake in potatoes (*Solanum tuberosum* L.)," *Irrigation Science*, vol. 27, no. 6, pp. 443–448, 2009.
- [40] T. Erdem, A. H. Orta, Y. Erdem, and H. Okursoy, "Crop water stress index for potato under furrow and drip

- irrigation systems,” *Potato Research*, vol. 48, no. 1–2, pp. 49–58, 2005.
- [41] A. Ierna and G. Mauromicale, “Potato growth, yield and water productivity response to different irrigation and fertilization regimes,” *Agricultural Water Management*, vol. 201, pp. 21–26, 2018.
- [42] K. K. Sarker, M. A. R. Akanda, S. K. Biswas, D. K. Roy, A. Khatun, and M. A. Goffar, “Field performance of alternate wetting and drying furrow irrigation on tomato crop growth, yield, water use efficiency, quality and profitability,” *Journal of Integrative. Agriculture*, vol. 15, no. 10, pp. 2380–2392, 2016.
- [43] M. A. Badr, W. A. El-Tohamy, and A. M. Zaghoul, “Yield and water use efficiency of potato grown under different irrigation and nitrogen levels in an arid region,” *Agricultural Water Management*, vol. 110, pp. 9–15, 2012.
- [44] T. M. Darwish, T. W. Atallah, S. Hajhasan, and A. Haidar, “Nitrogen and water use efficiency of fertigated processing potato,” *Agricultural Water Management*, vol. 85, pp. 95–104, 2006.
- [45] B. Z. Yuan, S. Nishiyama, and Y. Kang, “Effects of different irrigation regimes on the growth and yield of drip irrigated potato,” *Agricultural. Water Management*, vol. 63, pp. 157–167, 2003.
- [46] M. Sánchez y R. Meza, “Evaluación del rendimiento del cultivo de papa bajo la aplicación del riego deficitario (PRD) utilizando cintas de riego,” *Anales Científicos*, vol. 76, no. 1, pp. 22–28, 2014.
- [47] P. Núñez-Vargas, “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., Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú, 2016.