

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**



**“RESPUESTA DEL RIEGO PARCIAL DE RAICES EN EL  
CULTIVO DE PAPA VARIEDAD CANCHAN MEDIANTE RIEGO  
POR GOTEOS SUPERFICIAL SUBTERRANEO”**

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

**ANTHONY NELSON JAMANCA SANCHEZ**

**LIMA - PERÚ**

**2023**

# Tesis Anthony Nelson Jamanca Sanchez

---

## INFORME DE ORIGINALIDAD

---

13%

INDICE DE SIMILITUD

13%

FUENTES DE INTERNET

0%

PUBLICACIONES

0%

TRABAJOS DEL  
ESTUDIANTE

---

## FUENTES PRIMARIAS

---

1

core.ac.uk

Fuente de Internet

13%

---

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 10%

Excluir bibliografía

Activo

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**

**“RESPUESTA DEL RIEGO PARCIAL DE RAICES EN EL CULTIVO  
DE PAPA VARIEDAD CANCHAN MEDIANTE RIEGO  
POR GOTEO SUPERFICIAL SUBTERRANEO”**

TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE:

**INGENIERO AGRÍCOLA**

Presentado por:

**BACH. ANTHONY NELSON JAMANCA SANCHEZ**

Sustentado y aprobado por el siguiente jurado:

Dr. ABSALÓN VÁSQUEZ VILLANUEVA  
Presidente

Ph.D. MIGUEL ÁNGEL SÁNCHEZ DELGADO  
Asesor

Mg. Sc. GILBERTO RODRÍGUEZ SOTO  
Miembro

Ing. JOSÉ BERNARDINO ARAPA QUISPE  
Miembro

LIMA – PERÚ

2023

## **DEDICATORIA**

*La presente investigación es dedicada a mis padres – hermana Emitterio, Melagia y Valeria por el apoyo incondicional en todo el proceso, a mi enamorada Friselly por ser la fuerza constante de inicio a fin. A mis abuelos, por inculcarme la responsabilidad y no dejar las cosas a medias.*

## **AGRADECIMIENTO**

A mi asesor, el Ing. Miguel Sánchez por la oportunidad de incursionar en el mundo del riego, gracias al proyecto de investigación se me abrieron muchas puertas del mundo laboral.

A todos mis familiares, paternos y maternos por el constante impulso de seguir y cerrar esta hermosa etapa de pregrado.

Al sr. Alan Santibáñez por el constante apoyo en las labores realizadas en campo.

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	viii
ABSTRACT .....	ix
I. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. Justificación.....	1
1.2. Objetivos .....	2
1.2.1. Objetivo principal .....	2
1.2.2. Objetivos específicos .....	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Características de la variedad en estudio.....	3
2.1.1. Papa variedad canchan.....	3
2.1.2. Estadios de crecimiento .....	3
2.1.3. Cosecha.....	4
2.1.4. Rendimiento.....	4
2.1.5. Requerimientos climáticos .....	5
2.1.6. Requerimiento de suelo y agua.....	5
2.1.7. Demanda de agua.....	6
2.2. Fundamento Nutricional de la papa.....	6
2.2.1. Demanda de Nutrientes .....	6
2.2.2. Suelo .....	8
2.3. Riego por goteo .....	8
2.3.1. Lamina de riego .....	9
2.3.2. Volumen de agua disponible .....	9
2.3.3. Tiempo de riego.....	10
2.3.4. Frecuencia de riego.....	10
2.3.5. Coeficiente de uniformidad .....	10
2.4. Riego por goteo subterráneo.....	11
2.4.1. Componentes del sistema de riego por goteo .....	12
2.5. Riego deficitario .....	14
2.5.1. Riego por secado parcial de la zona de Raíces (SPR) .....	14
2.5.2. Medición y Aplicación del secado parcial de raíces.....	15
2.6. Bulbo de Humedecimiento .....	16

2.7. Fertirriego.....	16
2.7.1. Ventajas .....	17
2.7.2. Sistema de riego presurizado .....	17
2.7.3. Dosificación de fertilizantes en la fertirrigación .....	18
2.8. Disponibilidad de agua en el suelo.....	18
2.8.1. Capacidad de campo .....	18
2.8.2. Punto de marchitez permanente.....	19
2.9. Métodos para determinar el contenido de humedad del suelo .....	19
2.9.1. Método directo o gravimétrico .....	19
2.9.2. Método indirecto.....	20
III. METODOLOGÍA .....	21
3.1. Lugar de estudio .....	21
3.1.1. Información meteorológica.....	21
3.1.2. Características del suelo .....	22
3.1.3. Características del agua de riego .....	23
3.2. Materiales y equipos de medición .....	24
3.3. Metodología de la investigación.....	25
3.3.1. Preparación del campo.....	25
3.3.2. Siembra .....	25
3.3.3. Evaluación de coeficiente de uniformidad .....	26
3.3.4. Diseño y disposición experimental.....	27
3.3.5. Tratamientos .....	29
3.3.6. Instalación del sistema de riego .....	29
3.3.7. Conducción del experimento .....	30
3.3.8. Fertirriego .....	31
3.3.9. Criterio de riego: Método del tanque evaporímetro .....	35
3.3.10. Cálculo y aplicación de riego .....	37
3.3.11. Variables a analizar .....	39
3.4. Tratamiento estadístico.....	41
3.4.1. Diseño estadístico .....	41
3.4.2. Análisis estadístico .....	41
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	42
4.1. Cuantificación del agua de riego (volumen) .....	42
4.2. Rendimiento .....	44

4.1.1. Rendimiento total .....	44
4.1.2. Rendimiento Comercial .....	46
4.2. Productividad del cultivo en referencia al volumen de agua aplicado .....	49
V. CONCLUSIONES .....	52
VI. RECOMENDACIONES .....	53
VII. BIBLIOGRAFÍA .....	54
VIII. ANEXOS .....	59

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Extracción relativa de nutrientes en el cultivo de papa .....	6
Tabla 2: Clasificación de riego localizado de alta frecuencia .....	9
Tabla 3: Valores de coeficiente de uniformidad, según Merriam y Keller .....	11
Tabla 4: Datos climáticos de la estación Davis 2019 UNALM .....	22
Tabla 5: Características físicas del suelo .....	22
Tabla 6: Características químicas del suelo .....	22
Tabla 7: Características físico-químicas del agua .....	23
Tabla 8: Valores referenciales del CU .....	27
Tabla 9: Nomenclatura de cada tratamiento .....	27
Tabla 10: Proporción por fuente de nutrientes .....	31
Tabla 11: Calendario de aplicaciones .....	32
Tabla 12: Coeficiente Kp del tanque evaporímetro clase A .....	36
Tabla 13: Ecuación de regresión para el cálculo de Kp .....	37
Tabla 14: Coeficiente de cultivo Kc .....	37
Tabla 15: Programa de riego .....	38
Tabla 16: Consumo semanal de agua .....	43
Tabla 17: Rendimiento total expresado en kg/ha .....	44
Tabla 18: Análisis de varianza, rendimiento total en kg/ha .....	45
Tabla 19: Prueba Tukey, rendimiento total en kg/ha .....	46
Tabla 20: Rendimiento comercial y no comercial expresado en kg/ha .....	46
Tabla 21: Análisis de varianza ANOVA, rendimiento comercial .....	48
Tabla 22: Prueba Tukey, rendimiento comercial en kg/ha .....	49
Tabla 23: Productividad del cultivo en referencia al volumen de agua aplicado .....	49
Tabla 24: Análisis de varianza, productividad en kg/m <sup>3</sup> .....	50
Tabla 25: Prueba tukey, productividad expresado en kg/m <sup>3</sup> .....	51

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Fases fenológicas de la papa .....	4
Figura 2: Componentes del sistema de riego por goteo .....	14
Figura 3: Alternancia de aplicación de agua en la zona radicular .....	15
Figura 4: Aplicación de agua por secado parcial de raíces.....	16
Figura 5: Ubicación del área experimental en la UNALM .....	21
Figura 6: Nivelación y preparación del terreno .....	25
Figura 7: Siembra y distribución de semilla de papa .....	26
Figura 8: Cálculo del coeficiente de uniformidad .....	27
Figura 9: Distribución de tratamientos .....	28
Figura 10: Disposición de laterales de riego .....	28
Figura 11: Disposición del sistema de riego.....	30
Figura 12: Tanque evaporímetro clase A .....	36
Figura 13: Disposición de riego deficitario SPR .....	39
Figura 14: Volumen de agua por tratamiento en m <sup>3</sup> /ha .....	42
Figura 15: Rendimiento total de papa por tratamiento .....	45
Figura 16: Rendimiento comercial por tratamiento en kg/ha .....	47
Figura 17: Rendimiento no comercial por tratamiento en kg/ha .....	48
Figura 18: Productividad por tratamiento en kg/m <sup>3</sup> .....	50

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Instalación de válvula reguladora de presiones .....	59
Anexo 2: Prueba de funcionamiento del sistema de riego .....	59
Anexo 3: Prueba de coeficiente de uniformidad .....	60
Anexo 4: Toma de dato de caudalímetro .....	60
Anexo 5: Siembra de semillas cada 30 cm .....	61
Anexo 6: Lectura del tanque evaporímetro .....	61
Anexo 7: Aporque a los 30 días de la siembra .....	62
Anexo 8: Cosecha manual .....	62
Anexo 9: Análisis físico químico del agua .....	63
Anexo 10: Diagrama de cajas, rendimiento total en kg/ha .....	64
Anexo 11: Diagrama de cajas, rendimiento comercial en kg/ha .....	64
Anexo 12: Diagrama de cajas, rendimiento no comercial en kg/ha .....	65
Anexo 13: Diagrama de cajas, productividad en kg/m <sup>3</sup> .....	65

## LISTA DE ABREVIARUTAS

ANA	Autoridad Nacional del Agua
ANOVA	Análisis de Varianza
CC	Capacidad de Campo
CU	Coeficiente de uniformidad
DCA	Diseño completamente al azar
ETC	Evapotranspiración del cultivo
ETO	Evapotranspiración del cultivo referencial
EA	Eficiencia de aplicación
FAO	Food and Agriculture Organización
FIA	Facultad de Ingeniería Agrícola
KC	Coeficiente del cultivo
KP	Coeficiente de Tanque Evaporímetro
SPR	Secado parcial de raíces
TDR	Reflectometría en el dominio temporal
UNALM	Universidad Nacional Agraria la Molina

## RESUMEN

El ensayo fue realizado en la parcela experimental de la Facultad de Ingeniería Agrícola de la UNALM. El objetivo de la investigación fue evaluar el efecto del riego parcial de raíces en el cultivo de papa variedad canchan mediante el riego por goteo superficial y subterráneo, cuantificando el agua de riego aplicado, el rendimiento total, comercial y la productividad del cultivo en referencia al volumen de agua aplicado, obtenidos en condiciones de estrés hídrico al 50 % ETC y 100 % Etc (Cada tratamiento contempló una disposición paralela de laterales de riego). Se estimó un plan nutricional acorde a un rendimiento proyectado de 40 ton/ ha, siendo la dosis aplicada por fertirriego de: 160 kg/ha N, 80 kg/ha P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 200 kg/ha K<sub>2</sub>O. Se evaluó tres tratamientos en un diseño completamente al azar: “T1: Riego superficial con una lámina de riego al 100% de Etc”, “T2: Riego superficial con una lámina de riego (SPR) al 50% de Etc”, “T3: Riego subterráneo con una lámina de riego (SPR) al 50 % de Etc”. Con los tubérculos cosechados se evaluó rendimiento total y comercial, obteniendo valores de 32.78 ton/ha, 24.31 ton/ha, 24.52 ton/ha en los tratamientos T1, T2 y T3 respectivamente. El método de secado parcial de raíces generó altos valores de productividad como 26.78 y 27 kg/m<sup>3</sup> en los tratamientos T2 y T3, comparados con el tratamiento T1 que obtuvo 11.93 kg/m<sup>3</sup>. La aplicación de SPR generó un gran impacto en el ahorro de agua, importante en zonas con limitaciones del recurso hídrico.

**Palabras clave:** efecto del riego parcial, radicular, papa variedad Canchán, ETC (evapotranspiración de cultivo).

## ABSTRACT

The test was carried out in the experimental plot of the Faculty of Agricultural Engineering of the UNALM. The objective of the research was to evaluate the effect of partial root irrigation on the Canchan variety potato crop through surface and underground drip irrigation, quantifying the irrigation water applied, the total and commercial yield and the productivity of the crop in reference to the volume of water applied, obtained under water stress conditions at 50% Etc and 100% Etc (Each treatment included a parallel arrangement of irrigation laterals). A nutritional plan was estimated according to a projected yield of 40 tons/ha, with the dose applied by fertigation being: 160 kg/ha N, 80 kg/ha P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 200 kg/ha K<sub>2</sub>O. Three treatments were evaluated in a completely randomized design: “T1: Surface irrigation with an irrigation sheet at 100% Etc”, “T2: Surface irrigation with an irrigation sheet (SPR) at 50% Etc”, “T3 : Underground irrigation with an irrigation sheet (SPR) at 50% of Etc”. With the harvested tubers, total and commercial yield was evaluated, obtaining values of 32.78 ton/ha, 24.31 ton/ha, and 24.52 ton/ha in treatments T1, T2 and T3 respectively. The partial root drying method generated high productivity values such as 26.78 and 27 kg/m<sup>3</sup> in treatments T2 and T3, compared to treatment T1, which obtained 11.93 kg/m<sup>3</sup>. The application of SPR generated a great impact on water savings, important in areas with water resource limitations.

**Keywords:** effect of partial, root irrigation, Canchan variety potato, ETC (cultive evapotranspiration).

# I. INTRODUCCIÓN

## 1.1. Justificación

En la actualidad, la papa es el segundo cultivo alimenticio más importante de la agricultura peruana, representando un 10,8% del Valor Bruto de la Producción (VBP) del sector agrícola. Una de las metas centrales del sector Agricultura es incrementar el consumo del tubérculo andino, que en los últimos años ha aumentado progresivamente de 76 kilos por persona en el 2005 a 89 kilos en el 2017, y la meta proyectada por el ministerio es alcanzar los 92kilos en el 2021 (MINAGRI, 2019).

La papa es esencialmente un cultivo de clima templado, donde alcanza su mayor producción cuando las temperaturas diarias se mantienen en promedio de 18° a 20°C. El cultivo de papa puede crecer en casi todos los tipos de suelo, salvo donde son salinos o alcalinos, para ello se requiere de una gran preparación del suelo hasta eliminar todas las raíces de maleza. Por lo general es necesario arar tres veces, rastrillar con frecuencia y aplicar el rodillo, para que el suelo adquiera la condición adecuada: suave, bien drenado y bien ventilado (FAO, 2008). Teniendo conocimiento de los parámetros mencionados en el párrafo anterior, al hablar de producción es necesario también la aplicación de riego al cultivo para obtener buenos rendimientos.

Grassi C.J Manifiesta que la forma tradicional de aplicar agua al suelo, lo constituye el riego por superficie (gravedad). A pesar de que el Ministerio de Agricultura y Riego a través del Programa Sub Sectorial de Irrigaciones instaló en la Sierra Peruana 366 hectáreas de riego tecnificado por aspersión en cultivo de papa, la mayoría de agricultores sigue realizando el riego por gravedad aprovechando la pendiente de la Sierra Peruana. Es por ello que el Perú tiene bajos rendimientos en producción de papa debido al excesivo riego realizado al cultivo ocasionando ingentes pérdidas de agua (PSI, 2018).

En ese sentido, la presente investigación busca comparar el riego por goteo superficial y subterráneo en la zona de raíces en el cultivo de papa Canchan (*Solanum Tuberosum*) mediante el riego deficitario, obteniendo así una buena producción evitando grandes pérdidas de agua.

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo principal**

Evaluar los efectos del riego parcial en la zona de raíces en el cultivo de papa variedad Canchan, utilizando el sistema de riego por goteo superficial y subterráneo.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- Comparar la aplicación del riego parcial en la zona de raíces, a través del riego por goteo superficial y subterráneo, en el rendimiento del cultivo de papa variedad Canchan
- Cuantificar el volumen de agua utilizado en el riego subterráneo (de un tratamiento a 50% de la Evapotranspiración del cultivo) con el riego por goteo superficial control (de un tratamiento a 100% de la Evapotranspiración del cultivo).
- Comparar la aplicación del riego parcial en la zona de raíces, a través del riego por goteo superficial y subterráneo respecto a la productividad del agua, en el cultivo de papa variedad Canchan.

## **II. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1. Características de la variedad en estudio**

#### **2.1.1. Papa variedad canchan**

La papa Canchan proviene del cruzamiento (BI-1) como progenitor femenino, cuya resistencia deriva de Black (*Solanum tuberosum* x *Solanum demisum*) y la variedad Libertas (*Solanum tuberosum*) y el progenitor masculino Murillo III-80 que proviene del cruzamiento de dos cultivares nativos (*Solanum ajanhuiri* y *Solanum andígena*) que aportan tolerancia a heladas y resistencia de campo a la ranca (INIA, 2012).

La papa Canchan es considerada de variedad moderna (mejorada) que se caracterizan por tener mayor capacidad productiva que la mayoría de las variedades nativas y resalta las siguientes características: se adapta en costa y sierra, es una planta de porte mediano con flores rojo violáceas, tubérculos redondeados de piel roja clara y ojos superficiales a semi profundos, tolerante a la “ranca” y finalmente de buena calidad (Egúsquiza, 2014).

#### **2.1.2. Estadios de crecimiento**

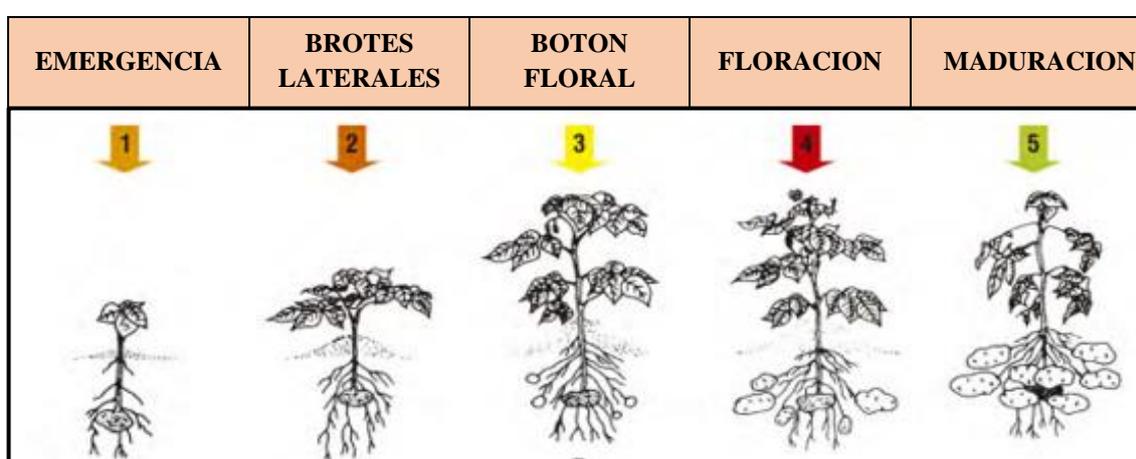
**Emergencia:** Las hojas del tallo principal comienzan a alargarse y desplazarse sobre a superficie del suelo. Aparecen las primeras hojas sobre la superficie del suelo.

**Brotos Laterales:** El talo principal empieza a ramificarse. Las nuevas ramas empiezan a crecer longitudinalmente hasta cubrir todo el campo de cultivo. Los brotes que surgen desde el tallo principal son aéreos y subterráneos. Los primeros dan lugar a la formación del follaje de la planta y los segundos a rizomas, donde posteriormente engrosarán en la porción distal para la formación de tubérculos.

Botón Floral: Aparecen los botones florales de la primera inflorescencia visible del tallo principal

Floración: Se abre las primeras flores.

Maduración: Debe observarse el cambio de color de la hoja porque hay una relación directa con la maduración del tubérculo. Descubriendo la base de las plantas ver si la piel está bien adherida y no se desprende; por otro lado, la papa está madura cuando al ser presionada con los dedos no pierde su cascara. (MINAGRI, 2017).



**Figura 1: Fases fenológicas de la papa**

FUENTE: [www.senamhi.gob.pe](http://www.senamhi.gob.pe)

### 2.1.3. Cosecha

La papa necesita ser cosechada a la madurez fisiológica del cultivo. El método de cosecha depende de la topografía del suelo, pudiendo ser manual, a tracción mecánica o animal. Es recomendable realizar una buena selección y clasificación del producto para su comercialización de acuerdo con el mercado (INIA, 2012).

### 2.1.4. Rendimiento

El rendimiento común del cultivo de papa es de 1 kg por planta, pero en condiciones óptimas es posible obtener hasta 1,5 kg por planta y de 40 a 50 toneladas por hectárea en condiciones experimentales. En campos de agricultores, se han obtenido rendimientos de hasta 30 toneladas por hectárea (INIA, 2012).

### **2.1.5. Requerimientos climáticos**

Los valores térmicos óptimos en la etapa de emergencia están entre los 17°C a 25°C, crecimiento vegetativo entre los 15°C a 25°C y la tuberización está directamente relacionada con la translocación y llenado de fotosintatos en los tubérculos, siendo los valores óptimos 14°C a 20°C.

Temperaturas menores a 15°C afectan la velocidad de crecimiento de los brotes y la emergencia de los tallos.

Temperaturas mayores a 28°C inhiben la tuberización y si se mantiene constante durante todo el tiempo de tuberización es posible que no haya formación de tubérculos y los estolones crezcan en forma engrosada.

La papa es una planta de día corto. Por consiguiente, el brillo solar requerido por las plantas se encuentra alrededor de 10 a 12 horas de sol por día.

La humedad relativa superior al 80% genera condiciones óptimas para la aparición de enfermedades foliares como la racha, alternaría, entre otros (MINAGRI, 2017).

### **2.1.6. Requerimiento de suelo y agua**

Las plantas se desarrollan adecuadamente en los suelos de condición moderadamente gruesa (franco arenoso) y media (franco, franco limoso); profundos, bien drenados y de buena estructura que permitan asegurar un buen crecimiento de las raíces y estolones. La pendiente no debe exceder el 8%. Rango óptimo de pH es de 5,5 a 6,5. Contenido de materia orgánica en el suelo debe ser alto (>4%).

La precipitación pluvial óptima requerida por la planta es alrededor de 400mm a 1200mm. La cantidad y repartición de las lluvias, durante y después de la floración determinan el número, peso y cantidad de materia seca en los tubérculos desarrollados. (MINAGRI, 2017).

### 2.1.7. Demanda de agua

El cultivo de papa en el país, es exigente en agua y muy sensible al déficit hídrico (5000-7000 m<sup>3</sup>/ha/campaña en Costa) (FAO, 2008). La papa requiere entre 400 a 600 litros de agua para producir 1 kilogramo de materia seca de tubérculos. En condiciones de déficit hídrico, son afectados principalmente el rendimiento y la calidad de los tubérculos, mencionando también otros parámetros como: el grado comercial, densidad, necrosis del centro, manchas, centro hueco, etc. El grado comercial es muy sensible a las deficiencias de manejo del riego (Kafkafi y Tarchitzky, 2012).

## 2.2. Fundamento Nutricional de la papa

### 2.2.1. Demanda de Nutrientes

Para programar correctamente el fertirriego se deben conocer la demanda de nutrientes en las diferentes etapas fenológicas del ciclo del cultivo, la calidad de agua, el consumo de agua por los cultivos, la eficiencia de riego y la solubilidad de los fertilizantes empleados. Las curvas de consumo de agua y de nutrientes definen la tasa de aplicación de agua y los nutrientes, evitando así posibles deficiencias o lixiviaciones que contaminen el medio ambiente. Esta práctica incrementa notablemente la eficiencia de la aplicación de los nutrientes, obteniéndose mayores rendimientos y mejor calidad (Calvache, 2008). Las cantidades de nutrientes extraídas del cultivo de papa según diferentes autores se muestran en la Tabla 1.

**Tabla 1: Extracción relativa de nutrientes en el cultivo de papa**

<b>Rendimiento</b>	<b>N</b>	<b>P2O5</b>	<b>K2O</b>	<b>CaO</b>	<b>MgO</b>	<b>S</b>	<b>Referencia</b>
t/ha	-----kg/ha-----						
20	140	39	190	2	4	6	FAO/IFA (2002)
38	224	67	336	-	-	-	Sierra <i>et al.</i> (2002)
40	175	80	310	-	23	16	FAO/IFA (2002)
40	120	55	221	-	-	-	Sierra <i>et al.</i> (2002)
56	235	71	400	91	63	22	Westermann,

FUENTE: Campos (2014)

El instituto nacional de innovación agrario indica utilizar la fórmula de abonamiento de 120 -120 -100 de N, P, K.

### **a. Nitrógeno**

Existen tres formas básicas de fertilizantes nitrogenados. N-Urea: una molécula eléctricamente neutra–  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$  N- Amoniacal: que lleva una carga eléctrica positiva– catión  $\text{NH}_4^+$  N-Nitrato: que lleva una carga eléctrica negativa– anión  $\text{NO}_3^-$ . El nitrógeno es considerado como uno de los elementos más importantes en la nutrición de las plantas. Es constituyente de la clorofila y está involucrado en el proceso de fotosíntesis (Campos, 2014). Las necesidades de nitrógeno de un cultivo de papas requieren un cuidadoso manejo. Un elevado suministro de N durante el período inicial de crecimiento demora la formación de los tubérculos y deriva el crecimiento a las partes aéreas vegetativas (Kafkafi y Tarchitzky, 2012).

La mejor decisión sobre la conveniencia de aplicar N durante la estación de crecimiento se realiza sobre la base de un análisis de tejido. Los valores de N-NO del pecíolo en papa deberían mantenerse en las 25.000 ppm hasta la iniciación de los tubérculos, y en el rango de 13.000 a 15.000 ppm durante el período de su engrosado (Kafkafi y Tarchitzky, 2012).

### **b. Fósforo**

Una elevada concentración de P en el suelo durante los estadios iniciales estimula el número de tubérculos iniciales (Kafkafi y Tarchitzky, 2012). La planta absorbe P durante todo el periodo de crecimiento de los tubérculos, desde los días 35 a 95, a una tasa constante diaria de 51 mg de P por planta.

El Fósforo (P), que suple de 0,1 a 0,4 por ciento del extracto seco de la planta, juega un papel importante en la transferencia de energía. Por eso es esencial para la fotosíntesis y para otros procesos químico-fisiológicos. Es indispensable para la diferenciación de las células y para el desarrollo de los tejidos, que forman los puntos de crecimiento de la planta. El fósforo es deficiente en la mayoría de los suelos naturales o agrícolas o donde la fijación limita su disponibilidad (FAO, 2006).

### **c. Potasio**

El Potasio (K), que suple del uno al cuatro por ciento del extracto seco de la planta, tiene muchas funciones. Activa más de 60 enzimas (substancias químicas que regulan la vida).

Por ello juega un papel vital en la síntesis de carbohidratos y de proteínas. El K mejora el régimen hídrico de la planta y aumenta su tolerancia a la sequía, heladas y salinidad. Las plantas bien provistas con K sufren menos de enfermedades (FAO, 2006).

### **2.2.2. Suelo**

Los cultivos de papa Canchan requiere de suelos de textura pesada, es decir con altos contenidos de arcillas, dificultan la expansión total del tubérculo además de adsorber algunos elementos del suelo, particularmente el potasio. Lo cual impide la absorción por parte de la planta.

### **2.3. Riego por goteo**

El riego por goteo es una clase de Riego Localizado de Alta Frecuencia (RLAF), caracterizado por tener un caudal relativamente bajo (Pizarro, 1996).

El principal motivo para el uso del sistema de riego por goteo es el ahorro de agua, debido a que se puede obtener muy poco escurrimiento, evaporación o percolación, no permitiendo que el agua tenga contacto con el follaje o los tallos, evitando enfermedades, así también aumentar el rendimiento, cubriendo las necesidades hídricas de la planta (Shock y Welch, 2013).

El riego por goteo también permite maximizar el uso de fertilizantes debido a que el agua está direccionada solamente a la zona radicular, porque el nitrógeno a menudo se pierde por la acción de la percolación profunda llamada “lixiviación” con el riego por goteo es posible tener una percolación menos profunda y así conservar el nitrógeno que la planta necesita (Shock y Welch, 2013).

El riego por goteo se diferencia de otras clases de RLAF por su bajo caudal, el cual suele ser menor a los 16 l/h. Por ello, el riego por goteo es una clase de RLAF de bajo caudal. Otras clases de riego, como son la micro aspersion o la difusion, son RLAF de alto caudal, como se observa en la Tabla 2 (Pizarro, 1996).

**Tabla 2: Clasificación de riego localizado de alta frecuencia**

Clasificación de los RLAF	
Alto caudal (16 l/h – 150 l/h)	Microaspersión Difusión
Bajo caudal (< 16 l/h)	Riego por goteo

FUENTE: Pizarro (1996)

### 2.3.1. Lámina de riego

Se define este concepto como la cantidad de agua aplicada a una extensión unitaria de cultivo en el momento del riego, donde el valor del aporte se expresa comúnmente en m<sup>3</sup>/ha o como lámina de riego, pues este término expresa el espesor de la capa de agua con que un área de suelo resultaría abarcada por el aporte del riego (Losada, 2009).

Está representada por la cantidad de agua contenida en una profundidad de suelo. La lámina neta de agua es expresada de la siguiente manera:

$$Ln = \frac{Wg_{cc} - Wg}{100} \times da \times z$$

Donde:

- Lr: Lámina neta de riego (mm)
- Wg<sub>cc</sub>: Humedad gravimétrica a capacidad de campo (%)
- Wg: Humedad gravimétrica en contenido de humedad del suelo (%)
- Da: Densidad aparente (g. cm<sup>-3</sup>)
- Z: Profundidad de suelo (cm)

### 2.3.2. Volumen de agua disponible

Luego de calcular la lámina de riego y conociendo el área de terreno, se procede a calcular el volumen de agua disponible en la capa de raíces, es expresada de la siguiente manera:

$$V=A \times Lr$$

Donde:

- V: volumen de agua disponible total en la zona de raíces (m<sup>3</sup>/ha)
- A: Área de terreno (m<sup>2</sup>)
- Lr: lámina de riego (mm)

### 2.3.3. Tiempo de riego

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

$$Tr = V/Q$$

Donde:

- Tr: Tiempo de riego (h)
- V: Volumen de riego (V)
- Q: Caudal de Riego (L / h)

### 2.3.4. Frecuencia de riego

La frecuencia de riego indica el momento oportuno de realizar la reposición de la lámina de agua perdida por la evapotranspiración; existen instrumentos que facilitan esta labor, como lo son los tensiómetros, pero también se puede obtener con la ecuación siguiente:

$$Fr = Ln / Etc$$

Donde:

- Fr: Frecuencia de riego
- Lr: lámina de riego (mm)
- Etc: Evapotranspiración del cultivo

### 2.3.5. Coeficiente de uniformidad

La uniformidad de aplicación, significa que el agua distribuida llegue por igual a todos los puntos del campo regado. Una buena uniformidad garantiza que todas las plantas estén bien regadas, sin que unas reciban agua en exceso y a otras les falte, asegurándose así el desarrollo homogéneo del cultivo y su máximo rendimiento (Ascencio, 2012).

Cuanto mayor es el valor de CU, la instalación resultará más cara, debido a que se necesita un régimen de presión más uniforme para disminuir la dispersión en los caudales de los emisores, y para ello, se necesitan requerimientos como aumentar los diámetros en las tuberías, disminuir la longitud de los laterales, invertir más en los reguladores de presión, etc. Los factores que intervienen en el valor del CU, (Pizarro, 1996) son:

- Factores Constructivos: Los materiales de trabajo y la fabricación de los emisores causan diferencias entre los emisores de un mismo modelo, incluso trabajando en una misma presión.
- Factores Hidráulicos: Se refiere a los cambios de presiones a los caudales se someten los emisores, debido a las pérdidas de carga y a los desniveles.
- Envejecimiento y obturaciones.
- Diferencias de temperatura.

El Coeficiente de Uniformidad evalúa con que un sistema de goteo distribuye el agua, midiendo las presiones al inicio y al final de las cintas de riego y los caudales que emiten los goteros. Para realizar el cálculo del Coeficiente de Uniformidad, se emplea la siguiente relación:

$$CU = Q_{25} / Q_n$$

Donde:

- CU: Coeficiente de Uniformidad
- Q<sub>25</sub>: Caudal medio de los goteros que constituyen el 25% del caudal más bajo
- Q<sub>n</sub>: Caudal medio de todos los goteros

**Tabla 3: Valores de coeficiente de uniformidad, según Merriam y Keller**

Funcionamiento	Valores de Cu
Excelente	91 – 100%
Bueno	81 – 90%
Aceptable	71 – 80%
Inaceptable	< 70%

FUENTE: Merriam y Keller (1978)

#### 2.4. Riego por goteo subterráneo

El riego por goteo subterráneo (RGS) es un método de riego localizado consistente en la aplicación de agua a la zona radicular del cultivo por debajo de la superficie del suelo, utilizando para ello tuberías de micro irrigación enterradas a profundidades entre 10 y 50 cm y emisores de bajo caudal desde 0,5 hasta 8 l/h a intervalos de distancia fijos, o bien tuberías gateadoras y tuberías exudantes, de manera que solo se moja una parte del suelo sin llegar a aflorar humedad a la superficie (Universidad Internacional de Riego, 2018). Esta técnica contribuye al ahorro de agua, al disminuir la evaporación, facilita el paso de maquinaria y

aperos, evita las roturas accidentales de las gomas de los goteros y aumenta la vida útil de las instalaciones, al no verse afectadas por las radiaciones ultravioletas. El riego por goteo subterráneo puede generar altos valores de eficiencia de riego, superiores al 95% debido a que la planta aprovecha más del 95% de agua suministrada en la zona de raíces, lo cual, junto a un adecuado aporte de fertilizantes se puede llegar a valores óptimos de producción (Bourziza *et al.*, 2014).

#### **2.4.1. Componentes del sistema de riego por goteo**

##### **a. Unidad de presión**

Es el elemento que genera presión del agua, que requiere el sistema. Esta presión se puede conseguir por bombeo (motor o bomba) o por acción de la gravedad, siempre y cuando la fuente de agua se ubique en una altura suficiente como para operar el sistema. Las fuentes de agua pueden incluir reservorios, ríos, canales, pozos, etc. (Moreno, 2009).

El riego se presuriza a través de una electrobomba sumergible de turbina vertical, el cual es una unidad de bombeo diseñada para operar los pozos profundos, cisternas o reservorios.

##### **b. Sistema de Filtrado**

Son los encargados de retener las partículas contenidas en el agua a fin de evitar la obstrucción de los emisores (goteros, tuberías perforadas, etc.), debido a que estos poseen pequeños orificios. (Moreno, 2009).

- **Filtro de Malla**

La filtración se lleva a cabo por la retención de los sólidos en suspensión del agua entre los huecos de la misma. La malla actúa como un colador, que permite el paso de los sólidos de menor tamaño que su hueco y la retención de los de mayor tamaño en el mismo.

- **Filtro Automático**

La filtración ocurre de la siguiente manera: El agua sucia ingresa al filtro y a la cámara de pre filtrado y luego al tamiz del filtrado. Aquí el agua limpia pasa a la salida. En su paso por el tamiz, las impurezas crean un diferencial de presión, que genera la autolimpieza (con una presión determinada).

### **c. Equipo de control**

Dependiendo de su grado de sofisticación, el control del sistema puede ser por medios manuales, hidráulicos o basados en sensores remotos a través de una computadora, como son: las válvulas check, válvulas de aire, válvula de apertura y cierre, etc. (Moreno, 2009).

- **Válvula Check**

Las válvulas de retención se utilizan para evitar la inversión del flujo en una tubería. Cuando está abierto y bajo la presión del flujo, el mecanismo de retención se mueve libremente por los medios, y ofrece muy poca resistencia y una caída mínima de presión.

- **Válvula de aire**

La válvula de aire se utiliza para liberar a la atmósfera las pequeñas bolsas de aire que se van acumulando en los puntos elevados o a lo largo de la tubería, cuando el sistema está con fluido de agua.

- **Válvula sostenedora**

La válvula sostenedora de presión es activada por la presión de línea y regulada por medio de la válvula piloto. Esta incluye un diafragma que controla la apertura o cierre de la válvula principal mediante la presión aguas arriba, evitando la variación de presión a la válvula principal.

### **d. Tuberías de Conducción**

Son las tuberías que transportan el agua hacia los laterales. El material empleado puede ser PVC, asbesto de cemento, polietileno, etc. Cuyo diámetro depende del tamaño de la parcela a la que se aplicara este tipo de riego y permite conducir las aguas desde los pozos existentes o desde la bomba hacia los cabezales (Moreno, 2009).

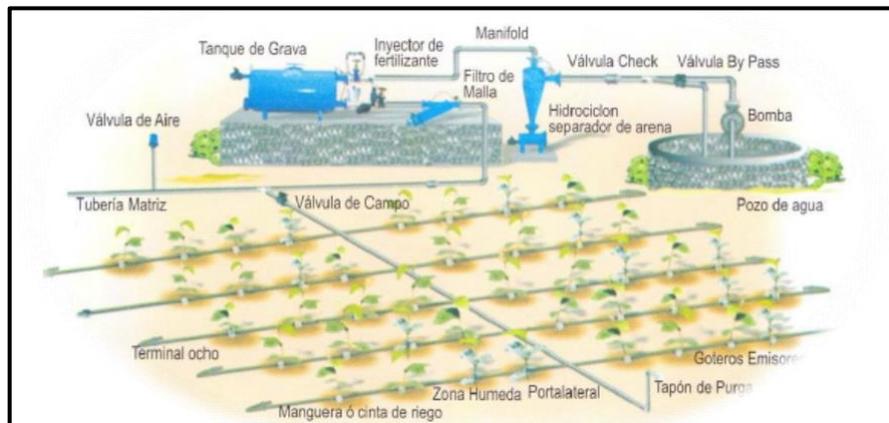
### **e. Porta regantes**

Son las tuberías de menor diámetro que permiten conducir el agua hacia cada uno de los laterales, donde se instalan las cintas o mangueras de goteo (Moreno, 2009).

### **f. Laterales de riego o Emisores**

Son las tuberías donde se insertan los goteros, las tuberías perforadas o de exudación. Las

cintas de riego permiten emitir caudales que varía de 1 a 4 litros por hora, espaciados en promedio cada 30 cm, dichas cintas trabajan con presiones nominales de 8 metros de columna de agua (Moreno, 2009).



**Figura 2: Componentes del sistema de riego por goteo**

FUENTE: Manual de operación y mantenimiento del riego por goteo

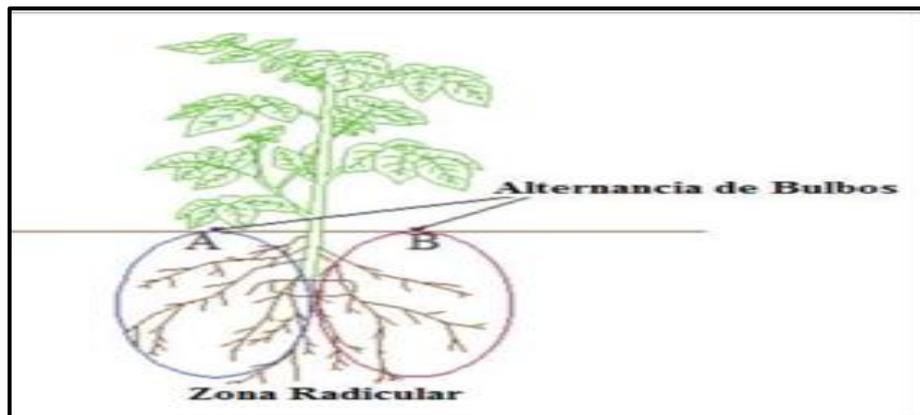
## 2.5. Riego deficitario

La técnica del riego deficitario consiste en regar todo el ciclo por debajo de la demanda del cultivo, pero utilizando una frecuencia de aportes lo suficientemente alta como para evitar la aparición de situaciones de estrés trascendentes. El riego deficitario de alta frecuencia también presenta lagunas importantes, como no considerar que el déficit hídrico puede resultar más o menos trascendente en función del momento fenológico. En tal sentido, enfocándonos a la parte fenológica del cultivo y a su capacidad para resistir situaciones de déficit hídrico, surge el Riego Deficitario Controlado (RDC) (Mitchell *et al.*, 1984).

### 2.5.1. Riego por secado parcial de la zona de Raíces (SPR)

El Secado Parcial de Raíces (SPR) es una técnica de déficit de riego que consiste en someter una parte del sistema radicular a déficit hídrico mientras la otra se mantiene irrigada. La finalidad es inducir la producción de ácido absísico (ABA) en las raíces parcialmente secas que sirva como señal para que las hojas reduzcan la apertura estomatal y de esta manera disminuya la pérdida de agua. Al mismo tiempo, las raíces bien irrigadas mantienen el follaje con buen estado hídrico (Rojas *et al.*, 2007).

El riego deficitario controlado (RDC) y el secado parcial de raíces (PRD) son dos técnicas de riego que están siendo aplicadas en numerosos cultivos de todo el mundo, incluida la vid, con el propósito de alterar la fisiología de la planta y explotar eficientemente las señales hidráulicas y químicas para obtener beneficios agronómicos de interés comercial como pueden ser: controlar un excesivo vigor, incrementar la calidad del fruto, ahorrar agua y mejorar la eficiencia en el uso del agua (Santos *et al.*, 2007).

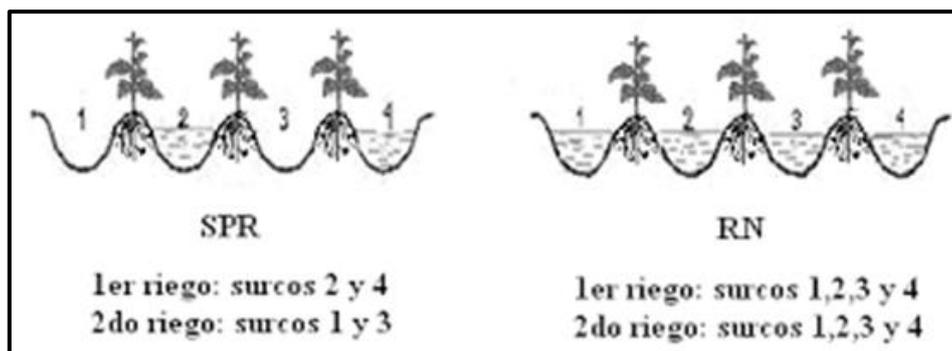


**Figura 3: Alternancia de aplicación de agua en la zona radicular**

FUENTE: Sánchez y Meza (2014)

### 2.5.2. Medición y Aplicación del secado parcial de raíces

Esta técnica, en la práctica, apunta a regar sólo una parte de la raíz del cultivo, dejando el resto sin acceso al agua por un tiempo determinado y produciendo una contradicción entre las señales químicas e hídricas que emite la planta. Así, al regar una mitad de las raíces, se emiten hormonas, principalmente ácido abscísico (participa en procesos del desarrollo y crecimiento, así como en la respuesta adaptativa a estrés), que le indican a la parte aérea de la planta que existe un problema de estrés hídrico. La planta, por su parte, responde a través de la reducción de la apertura de las estomas y, por ende, de su transpiración, reduciendo su crecimiento aéreo y favoreciendo su desarrollo subterráneo. La otra mitad de las raíces, en tanto, genera una señal que indica que se encuentra en condiciones óptimas (El Mercurio).



**Figura 4: Aplicación de agua por secado parcial de raíces**

- **SPR: Secado Parcial de Raíces**

Para los tratamientos 2 y 3 (RSP1 y RSP2 respectivamente) del campo experimental, se alternaron los riegos día 1, en los surcos 2 y 4, mientras que, en el riego siguiente, día 2; se realizó en los surcos 1 y 3 efectuándose así el riego alternado.

- **RC: Riego Normal**

Para el tratamiento 1 (RSC1) del campo experimental, se realizó un riego total de los surcos tanto en el primer riego como en el segundo riego, debido a que es el tratamiento control.

## 2.6. Bulbo de Humedecimiento

Pizarro (1996), afirma que el bulbo húmedo es la parte del suelo humedecida por un emisor de riego localizado. El agua fluye sobre una superficie muy reducida del suelo, provocando un pequeño charco cuyo radio se va extendiendo a medida que el riego continúa. Cuanto más húmedo va estando el suelo, la velocidad de infiltración del agua disminuye favoreciendo más el incremento del radio del charco. También denominado volumen húmedo del suelo el cual puede ser definido como la disposición tridimensional el cual puede ser ocupada por el agua de riego en un determinado momento, que parte de un punto de emisión que puede ser goteros, manguera, cinta, etc. (Gispert y García, 1999).

## 2.7. Fertirriego

El fertirriego es la aplicación de fertilizantes sólidos o líquidos por los sistemas de riego presurizados, creando un agua enriquecida con nutrientes (Sánchez, 2000).

La fertiirrigación consiste en proporcionar a la planta el fertilizante disuelto en el agua de riego, distribuyéndolo uniformemente, para que, prácticamente, cada gota de agua contenga la misma cantidad de fertilizante (Bello, 2000).

Existen diferentes tipos de inyección de fertilizantes, el más común es el inyector de tipo Venturi. Esta es una unidad que hace uso del principio de succión de Venturi al emplear la presión inducida por el flujo de agua para chupar la solución fertilizante del tanque hacia la línea de riego (Kafkafi y Tarchitzky, 2012).

### **2.7.1. Ventajas**

Según la guía preparada por la FAO, que tiene por nombre: “Los fertilizantes y su uso”, indica las siguientes ventajas

- Facilidad de manipulación y transporte
- Fácil aplicación a través del Venturi
- Alto contenido de nutrientes
- Distribución de nutrientes en el campo

### **2.7.2. Sistema de riego presurizado**

La inyección de fertilizante consume energía para superar la presión interna de la red de riego. A continuación, se dará a conocer el sistema de Inyección tipo Venturi:

Inyección por un aparato Venturi: Es una unidad que hace uso del principio de succión de Venturi al emplear la presión inducida por el flujo de agua para absorber la solución fertilizante del tanque hacia la línea de riego. Una contracción cónica del tubo induce un aumento de la velocidad del flujo de agua y una disminución de la presión a un valor extremadamente bajo, causando la succión de la solución fertilizante (a través del filtro de malla) desde un tubo en el tanque alimentador hacia el sistema de riego. Por medio del ajuste de una válvula se puede controlar la diferencia de velocidades en los dos extremos. (Kafkafi y Tarchitzky, 2012).

### **2.7.3. Dosificación de fertilizantes en la fertirrigación**

Para aplicar la misma dosis de fertilizante durante un estadio específico fenológico de una planta, pueden realizarse dos patrones diferentes de aplicación según el cultivo, el tipo de suelo y el sistema de manejo del establecimiento (Kafkafi y Tarchitzky, 2012).

Dosificación cuantitativa: Está basada en aplicación de cantidades específicas de fertilizantes a una determinada área a través del agua de riego. Los requerimientos de nutrientes se expresan generalmente en unidades de la cantidad / superficie, tales como Kg/ha lbs/acre, etc. La inyección de los fertilizantes no es proporcional al flujo de agua. Puesto que la relación de dilución y el caudal de inyección no son constantes, la concentración de los fertilizantes es alta al principio y se disminuye a medida que avanza el riego.

Dosificación proporcional: En esta, la dosis de fertilizantes que se aplica al campo es proporcional al agua requerida por el cultivo, por lo tanto, la concentración del fertilizante en el agua de riego permanece constante (Cañamero y Laguna, 2012).

## **2.8. Disponibilidad de agua en el suelo**

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

### **2.8.1. Capacidad de campo**

Se define como capacidad de campo a la máxima capacidad de retención de agua en un suelo sin problemas de drenaje, y que se alcanza según la textura del suelo entre las 6 y 72 horas después de un riego pesado o una lluvia que permitió saturar momentáneamente el suelo. Es decir, cuando la percolación o drenaje del agua gravitacional haya, prácticamente, cesado.

Para condiciones de evapotranspiración nula, también se puede definir a la capacidad de campo como el contenido de humedad del suelo cuando  $(\Delta\theta / \Delta t) \rightarrow 0$  (variación del contenido de humedad con respecto al tiempo tiende a cero). También se puede decir que el contenido de humedad a capacidad de campo es aquel que corresponde a un estado energético del agua en el suelo aproximadamente de 0.33 bares para un suelo pesado (Arcilloso) y de 0.1 bares para un suelo de textura gruesa (arenoso) (Vásquez, 2017).

### **2.8.2. Punto de marchitez permanente**

Es el contenido de agua de un suelo donde la planta no puede extraerla, en el cual la planta se marchita y ya no recobra su turgencia al colocarla en una atmósfera saturada durante 12 horas.

Para que se produzca un flujo de agua, es necesaria la presencia de una gradiente de potencial. La magnitud del flujo está determinada tanto por la propia gradiente, así como por la conductividad hidráulica del suelo. Durante el proceso de transpiración, la gradiente se establece a través de cuatro medios distintos: suelo, raíz, hoja y atmósfera (Vásquez, 2017).

## **2.9. Métodos para determinar el contenido de humedad del suelo**

La determinación del contenido de humedad de un suelo puede hacerse mediante los métodos: directo e indirectos (Vásquez, 2017).

### **2.9.1. Método directo o gravimétrico**

Representa el método standard para determinar el contenido de humedad del suelo, y sirve de base para el empleo de los métodos indirectos. El método y equipos usados son simples y se pueden aplicar en todos los suelos. Su práctica tiene los siguientes pasos:

- Toma de la muestra de suelo del terreno o campo que se quiere conocer su contenido de humedad. El peso de la muestra varía entre los 20 a 200 gramos.
- La muestra se puede colocar en tarritos de aluminio con tapa hermética codificada o en todo caso, aunque no es lo mejor, en pequeñas bolsas de plástico que deben llevar una etiqueta de identificación, con el nombre del usuario y del campo, fecha de muestreo, profundidad de suelo y el número del punto de muestreo correspondiente.
- En el laboratorio en caso se use tarritos, el vapor que se condense en el interior del

recipiente deberá incluirse cuando se pese y en la determinación de humedad. Las muestras húmedas que proceden de bolsitas plásticas se colocan en tarritos de peso conocido, y luego se pesan.

Las muestras húmedas pesadas se secan en la estufa durante 24 horas y a una temperatura de 105°C para luego volver a ser pesadas. La diferencia de peso que se registre se debe a la pérdida de agua. Esta diferencia se divide por el peso del suelo seco para obtener así el contenido de humedad basado en el peso seco. Es necesario mantener la identificación de los tarritos en todo momento del proceso para determinar el contenido de humedad. Estos deben estar destapados durante el proceso de secado. También puede secarse la muestra de suelo en un microondas, con lo cual el tiempo de secado se reduce a 5 o 10 minutos aproximadamente. (Vásquez, 2017).

El contenido de humedad se calcula mediante la siguiente relación:

$$\theta_{masa} (\%) = \frac{\textit{masa de agua}}{\textit{masa de suelo seco}} \times 100$$

### 2.9.2. Método indirecto

Dentro de los métodos, se tienen principalmente: método dieléctrico, del tensiómetro y de la sonda de neutrones. Al utilizar cualquiera de estos, requiere la obtención previa de su curva de calibración respectiva. Para ello, se utiliza el método gravimétrico como base. El principal método dieléctrico es:

- **Reflectometría en el Dominio Temporal (TDR)**

El medidor de humedad de tierra TDR es un aparato preciso y de manejo fácil para detectar la humedad de tierra. El medidor de humedad de tierra le muestra la humedad actual en porcentaje absoluto, así como el punto de marchitamiento o el grado de saturación del suelo o tierra. ¿Por qué debería usar este medidor? Porque además de los componentes sólidos, también se encuentra aire en el suelo; el porcentaje varía según el tipo de suelo. Los suelos de textura gruesa contienen menos aire (aprox. 40 % vol.) que los suelos de textura fina (hasta un 60 % vol.). Si el porcentaje de aire es superior en el suelo, entonces la densidad del suelo es inferior y el aire puede ser sustituido por agua. (PCE, Ibérica).

### III. METODOLOGÍA

#### 3.1. Lugar de estudio

El estudio se desarrolló en la parcela experimental del Departamento de Recursos Hídricos de la Facultad de Ingeniería Agrícola (UNALM), distrito de La Molina, provincia de Lima, Región Lima.

La parcela experimental donde se desarrolló el trabajo de investigación se localiza en: latitud 287578.59 E y 8663799.50 N con una altitud aproximada de 240 msnm (Figura 5).



**Figura 5: Ubicación del área experimental en la UNALM**

FUENTE: Google Earth

#### 3.1.1. Información meteorológica

Los datos climatológicos de la parcela experimental, fueron obtenidos de la Estación Meteorológica Davis del año 2019.

**Tabla 4: Datos climáticos de la estación Davis 2019 UNALM**

Mes	HR media (%)	T° media (°C)	Precipitación (mm)	Tanque de evaporación (mm)
Julio	92.71	14.18	0.7	31.28
Agosto	93.59	14.79	0.75	35.7
Septiembre	92.62	15.77	0.6	53.5
Octubre	89.9	16.62	0.5	71.1
Noviembre	84.33	19.05	0.25	74.8

FUENTE: Estación Davis – UNALM

### 3.1.2. Características del suelo

Se determinó las características físico químicas del suelo, a través de muestreos, a 30 cm de profundidad. Los resultados de dicha caracterización fueron proporcionados por el Laboratorio de agua, suelo y medio ambiente y fertirriego.

**Tabla 5: Características físicas del suelo**

Características	Unidad	Valor
Tipo de suelo	Franco	-
Densidad aparente	gr/cm <sup>3</sup>	1.4
Capacidad de Campo	%	19.8
Punto de Marchitez	%	9.6
Agua Retenida	%	14.28
Agua retenida	mm	42.84

**Tabla 6: Características químicas del suelo**

Determinación a 30 cm	Unidad	Valor
C.E. Relación 1:1	(ds/m)	1.34
Arena	%	51.48
Limo	%	30.12
Arcilla	%	18.4
Textura	Franco	-
pH Relación 1:1	-	7.39
M.O.	%	1.17
Carbonato de calcio (CaCo <sub>3</sub> )	%	1.84
Fosforo (P)	ppm	35.97
Potasio (K)	ppm	202

Los resultados del análisis de suelo se afirmó que es un suelo no salino, es decir, no existe ningún riesgo de pérdida en la producción (conductividad eléctrica de 1.34 ds/m).

En relación a los porcentajes de arena, limo y arcilla cuyos valores fueron 51.48%, 30.12%, 18.4% respectivamente, se determinó que la textura del suelo es franca.

El pH tuvo un valor de 7.39, el cual es ligeramente alcalino.

El porcentaje de materia orgánica fue de 1.17%, es decir, el suelo requiere una cantidad proporcional a ese valor de M.O., por tal motivo se añadió compost al momento de realizar la preparación del terreno.

### 3.1.3. Características del agua de riego

La caracterización físico química del agua se basó en dos condiciones específicas:

- La primera, referencia a los riesgos de obstrucción de goteros, en dicho análisis, el valor de PH es 7.94 y perteneció al rango moderado.
- La segunda, referencia a la calidad de agua según el grado de restricción, el cual también se encontró en un rango moderado.

Los valores obtenidos en los parámetros son óptimos para sembrar el cultivo de papa variedad Canchan, no se espera efectos dañinos sobre el suelo y la planta. A continuación, se muestra a detalle de las características obtenidas:

**Tabla 7: Características físico-químicas del agua**

<b>Parámetro</b>	<b>Unidades</b>	<b>Valor</b>
CE	ds/m	0.72
PH	-	7.94
Calcio	meq/l	4.68
Magnesio	meq/l	0.68
Sodio	meq/l	1.39
Potasio	meq/l	0.22
Suma de cationes	meq/l	6.97
Cloruros	meq/l	1.63
Sulfatos	meq/l	3.16

«Continuación»

Bicarbonatos	meq/l	2.18
Nitratos	meq/l	0.09
Carbonatos	meq/l	0
Suma de Aniones	meq/l	7.05
SAR	-	0.85
Clasificación	-	C2-S1
Boro	ppm	0.2

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

### 3.2. Materiales y equipos de medición

- Semillas de papa, variedad canchan.
- Tractor para la preparación del terreno.
- Cintas de riego de polietileno (16mm).
- Mini válvulas y conexiones cinta mangueras.
- Un sistema de inyección tipo Venturi de 1 pulgada para el fertirriego.
- Vasos y una probeta, para calcular el coeficiente de uniformidad.
- Fertilizantes, como Fosfato Mono Amónico (16% N – 61% P), Nitrato de Potasio (13.5 % N – 45% K), Nitrato de amonio (33.5 % N).
- Tornillo muestreador.
- Bolsas de papel, para analizar las muestras y calcular el contenido de humedad del suelo.
- Horno, para secar las muestras de suelo.
- TDR, para calcular la humedad del suelo.
- Manómetros, para monitorear la presión.
- PH-metro, para determinar el PH del agua.
- Conductímetro, para determinar la conductividad eléctrica del agua.
- Caudalímetros, marca Ayron Iso 4074.
- Tanque evaporímetro clase “A”, perteneciente a la Facultad de Ingeniería Agrícola.
- Mochila fumigadora.
- Palas, picos.
- Balanza de mano

### **3.3. Metodología de la investigación**

#### **3.3.1. Preparación del campo**

Debido al alto nivel de compactación del terreno y presencia de maleza en la zona de siembra, se realizó un riego pesado para ablandar el terreno. Luego se labró el terreno mediante un tractor con arado de discos. Finalmente se eliminó los terrones existentes y se surcó el campo.



**Figura 6: Nivelación y preparación del terreno**

#### **3.3.2. Siembra**

Se realizó la siembra el 22 de julio del año 2019, el procedimiento fue el siguiente:

- Con apoyo de la maquinaria agrícola, se realizó 3 surcos cada 90 cm por unidad experimental. Se obtuvo un total de 36 surcos en total.
- Luego, se sembró las semillas de papa variedad canchan cada 30 cm de distancia, con un total de 45 semillas por cada unidad experimental. Se empleó un total de 540 semillas en total.
- Finalmente se procedió a enterrar las semillas.

Aspectos adicionales:

- Longitud del surco: 3m
- Ancho de cada unidad experimental: 4.5 m

- Área total de cada unidad experimental: 13.5 m



**Figura 7: Siembra y distribución de semilla de papa**

### **3.3.3. Evaluación de coeficiente de uniformidad**

El coeficiente de uniformidad es un parámetro fundamental, ya que refleja la eficiencia del sistema de riego. Por tal motivo se realizó esta evaluación antes de iniciar con el programa de riego, donde se corroboró la distribución homogénea del agua en el suelo.

La metodología para calcular el CU es el siguiente:

Se determinó la uniformidad de riego por operación, una unidad o subunidad de riego. En general, se escogió aquellas que trabajen en las condiciones más difíciles (más alejadas de los cabezales de campo) o donde se detectaron problemas por simple inspección (obstrucción de emisores, des uniformidad, bajo vigor del cultivo, etc.).

En esos sectores, se tomaron cuatro líneas porta emisores (laterales de riego), dos de ellos representaron a los más alejados y dos intermedios equidistantes de estos. En el sentido del riego cuatro plantas: la primera, la segunda ubicada a  $1/3$  del origen, la tercera ubicada a  $2/3$  del origen y la última. De esta forma evaluamos 16 puntos de medición (Merriam y Keller – 1978).

**Tabla 8: Valores referenciales del CU**

<b>Funcionamiento</b>	<b>Coficiente Uniformidad</b>
Excelente	90 -100%
Buena	80-90%
Aceptable	70-80%
Inaceptable	<70%



**Figura 8: Cálculo del coeficiente de uniformidad**

### **3.3.4. Diseño y disposición experimental**

#### **a. Diseño experimental**

La investigación se basó en un diseño completamente al Azar (D.C.A.). Se consideró como factor de estudio el tipo de riego, los cuales fueron: el riego superficial y subterráneo. Se dispuso 12 parcelas en el campo experimental, de las cuales se destinó 4 parcelas por tratamiento, con 4 repeticiones cada una. Cada parcela disponía de 6 cintas, tanto para el riego superficial como para el riego subterráneo.

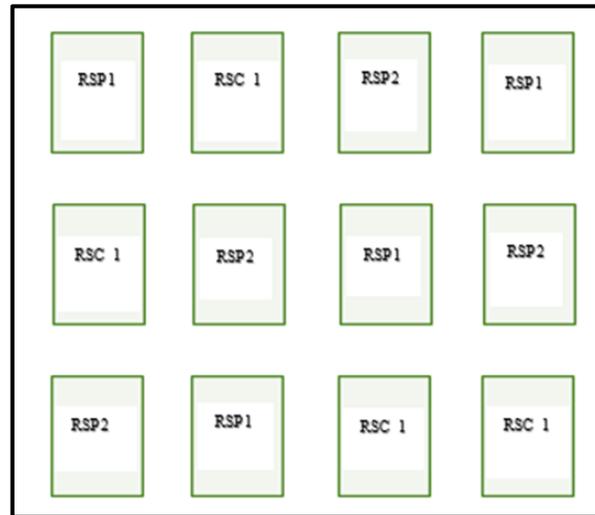
#### **b. Distribución experimental**

Cada unidad experimental recibió la misma dosificación de fertilizantes y tratamientos fitosanitarios.

**Tabla 9: Nomenclatura de cada tratamiento**

<b>Nomenclatura</b>	<b>N° Tratamiento</b>	<b>Descripción</b>
RSC1	Tratamiento 1	Riego superficial con una lámina de riego a 100% Etc
RSP1	Tratamiento 2	Riego superficial con una lámina de riego SPR a 50 % Etc
RSP2	Tratamiento 3	Riego subterráneo con una lámina de riego SPR a 50% Etc

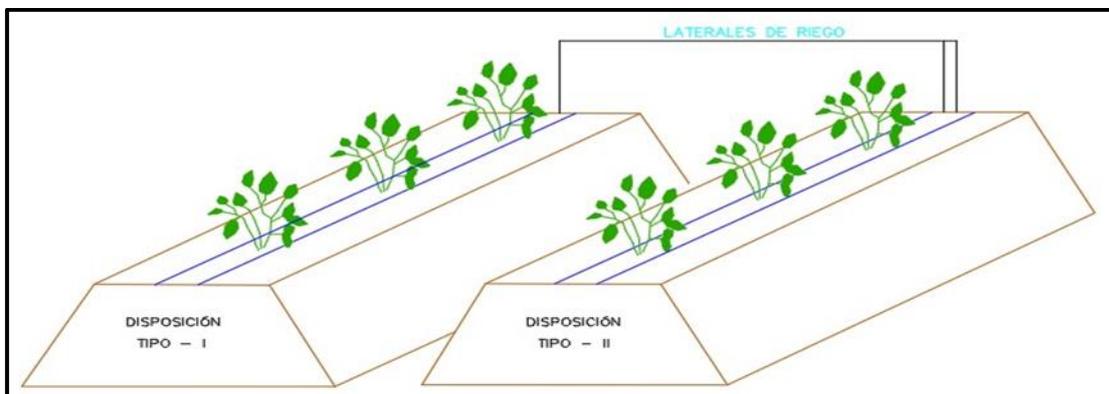
Cada unidad experimental tuvo 45 plantas de papa variedad Canchan, distribuidas en 3 filas de 15 plantas cada una. Se dispuso 6 cintas de marca VARDIT por unidad experimental, distribuidas en 3 filas de 2 mangueras en paralelo cada una.



**Figura 9: Distribución de tratamientos**

### c. Disposición de laterales

Cada unidad experimental dispuso de 6 cintas (2 por hilera). Cada hilera tenía instalado dos laterales en paralelo y mediante el conector cinta manguera se acopló a una válvula, que era manipulada manualmente para intercalar el riego. Las laterales instaladas tenían una longitud de 4.5 m con emisores auto compensados distribuidos a 30 cm, que proporcionaba un caudal de 1.2 l/h.



**Figura 10: Disposición de laterales de riego**

### **3.3.5. Tratamientos**

#### **a. Riego por goteo superficial control 100 % ETc. (RSC1)**

Para este tratamiento, se destinaron 4 parcelas experimentales de 3.5 m de largo por 4 m de ancho. Cada parcela contó con 3 surcos y dos laterales de riego en paralelo por surco, unidos con una válvula, mediante conectores cinta manguera. En este tratamiento, se aplicó al cultivo una lámina de 100% ETc mediante emisores, localizados cada 30 cm entre planta y planta. La finalidad del tratamiento fue humedecer toda la zona de raíces.

#### **b. Riego por goteo superficial parcial de la zona de raíces 50 % ETc (RSP1)**

Este tratamiento contó con 4 parcelas experimentales de 3.5 m de largo por 4 m de ancho. Cada parcela presentó 3 surcos y dos laterales de riego (superficial) en paralelo por surco, unidos con una válvula, mediante conectores cinta manguera. En este tratamiento, por tratarse de una aplicación de riego deficitario parcial en la zona de raíces (superficial), se aplicó al cultivo una lámina de 50% ETc alternando el riego. La finalidad del tratamiento fue humedecer la mitad de la zona de raíces de forma alternada.

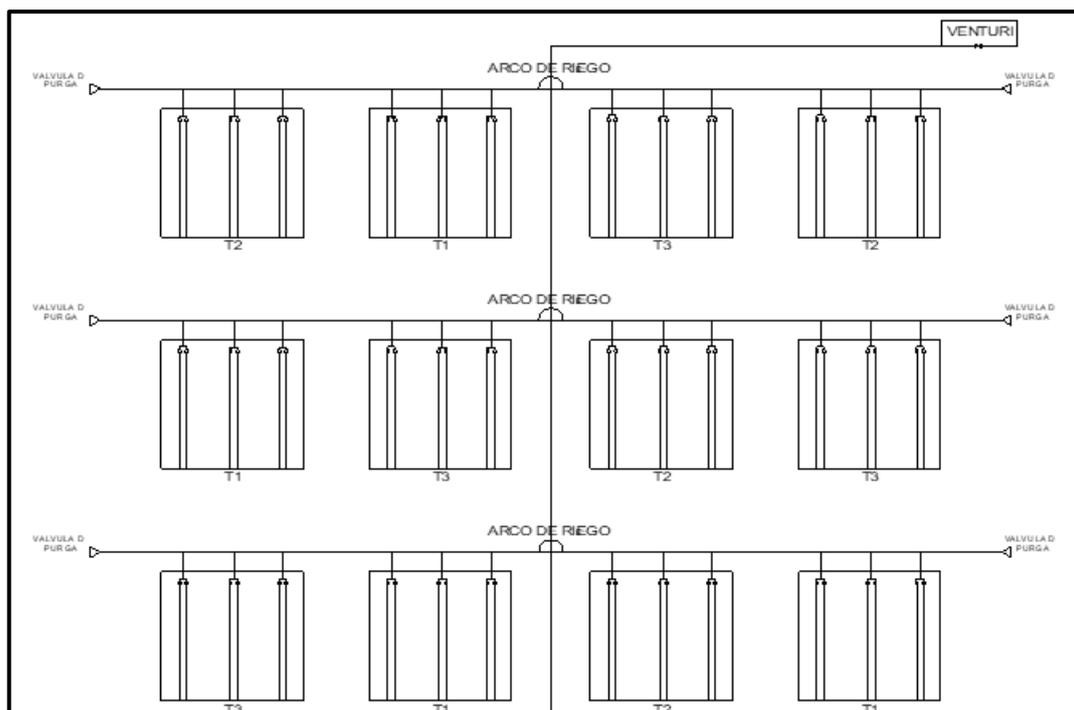
#### **c. Riego goteo subterráneo parcial de la zona de raíces 50 % ETc (RSP2)**

Este tratamiento contó con 4 parcelas experimentales de 3.5 m de largo por 4 m de ancho. Cada parcela presentó 3 surcos y dos laterales de riego (subterráneo) en paralelo por surco, unidos con una válvula, mediante conectores cinta manguera. En este tratamiento, por tratarse de una aplicación de riego deficitario parcial en la zona de raíces (subterráneo), se aplicó al cultivo una lámina de 50% ETc alternando el riego. La finalidad del tratamiento fue humedecer la mitad de la zona de raíces de forma alterada.

### **3.3.6. Instalación del sistema de riego**

#### **a. Sistema de riego**

El sistema de riego estuvo constituido por un cabezal de riego, un reservorio de 500 m<sup>3</sup>, una bomba de 5 HP. La tubería que condujo el agua desde el cabezal hasta la parcela mide 300 metros con un diámetro de 2 ½” la tubería principal de 2”, las secundarias de 1 ½” y los goteros VARDIT de 1.2 lph.



**Figura 11: Disposición del sistema de riego**

### **b. Sistema de fertirriego**

El sistema de fertirriego fue implementado directamente al sistema de riego, con la finalidad de aplicar fertilizante directamente al cultivo. Se instaló un sistema de inyección tipo Venturi en el mismo campo experimental, con la finalidad de evitar el efecto longitudinal. El efecto longitudinal se produce cuando la dosis de fertilizante no se entrega de una manera homogénea a los emisores, esto sucede debido a las grandes distancias entre el sistema de fertirriego y la parcela, o debido a los bajos caudales empleados en el sistema.

### **3.3.7. Conducción del experimento**

#### **a. Siembra**

Se sembraron las semillas de papa variedad canchan un 01 de agosto del 2019. Se obtuvo un total de 540 plantas.

#### **b. Aporque**

- A los 30 días: Se realizó un semi aporque, para brindar firmeza a las raíces.
- A los 45 días: Se realizó el segundo aporque.

### **c. Control de malezas y enfermedades**

Durante la etapa experimental de campo, la parcela sufrió brotes de malezas que fueron removidas cada semana para evitar la competencia por agua. Con respecto a las enfermedades, se notó la presencia de moscas minadoras en la última etapa de floración y maduración, las cuales fueron combatidas con insecticidas.

### **d. Cosecha**

Se realizó la cosecha un 06 de diciembre del 2019, de manera manual desde la papa más pequeña hasta la más grande, para luego ser contabilizada y determinar rendimientos y productividad.

## **3.3.8. Fertirriego**

### **a. Aplicación del fertirriego**

El cultivo de papa variedad canchan por lo general obtiene buenos rendimientos incluso en suelos pobres, sin embargo, se aplicó fertilizante a lo largo del periodo vegetativo del cultivo, para obtener un producto de mejor calidad.

Cada semana, se aplicó fertilizante mediante el sistema de inyección tipo Venturi, con las siguientes proporciones de NPK:

**Tabla 10: Proporción por fuente de nutrientes**

<b>Nutrientes</b>	<b>Proporción</b>	<b>Unidades</b>
N	160	kg/ha
P	80	kg/ha
K	200	kg/ha

Según Kupers 1972, para la dosificación de fertilizantes mencionada en la tabla anterior, se debería obtener una producción de papa variedad canchan de 40 tn/ha aproximadamente.

Las fuentes seleccionadas para cada nutriente aplicada en el fertirriego fueron las siguientes:

- **Nitrato de Amonio**

Compuesto químico de fórmula  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ , aprovechado rápidamente por la planta debido al alto contenido de nitrógeno (35,5%) y también por la oxidación del amonio a nitrato.

- **Fosfato Mono Amónico**

Compuesto químico de fórmula es  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ , cuya acidez es baja y beneficia al equipo de riego por no tener un nivel corrosivo elevado.

- **Nitrato de Potasio**

Compuesto químico de fórmula  $\text{KNO}_3$ , soluble en agua, pero su solubilidad aumenta con la temperatura. El potasio presenta propiedades como: mejorar rendimientos y calidad de la cosecha, en tamaño, sabor, etc.

## b. Calendario de aplicaciones

**Tabla 11: Calendario de aplicaciones**

Fuente de Fosforo	Fuente de Nitrógeno	Fuente de Potasio	Etapa	Días después del brote	Mes	Fecha
-	-	-	Siembra	-	Agosto	1
-	-	-	Brote	-	Agosto	23
1/3 P	-	-	-	14 DDB	Setiembre	6
2/3 P	-	-	-	-	Setiembre	13
3/3 P	-	-	-	-	Setiembre	20
-	1/8 N	-	-	35 DDB	Setiembre	27
-	2/8 N	-	-	-	Octubre	4
-	3/8 N	1/10 K	-	-	Octubre	11
-	4/8 N	2/10 K	-	-	Octubre	18
-	5/8 N	3/10 K	-	-	Octubre	25
-	6/8 N	4/10 K	-	70 DDB	Noviembre	1
-	7/8 N	5/10 K	-	-	Noviembre	8
-	8/8 N	6/10 K	-	84 DDB	Noviembre	15
-	-	7/10 K	-	-	Noviembre	22
-	-	8/10 K	-	-	Noviembre	29
-	-	9/10 K	-	-	Diciembre	6
-	-	10/10 K	-	-	Diciembre	13
-	-	-	Cosecha	130 DDB	Diciembre	30

### c. Estrategia de aplicación

Considerando un área efectiva de 170 m<sup>2</sup> para 12 parcelas experimentales, la fuente de fertilizantes son los siguientes:

- N: Nitrato de Amonio NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> (35 % N).
- P: Fosfato mono Amónico NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> (12 % N – 61 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>).
- K: Nitrato de Potasio KNO<sub>3</sub> (13.5 % N – 44 % K<sub>2</sub>O).

Niveles:

- N: 160 kg/ha.
- P: 80 kg/ha.
- K: 200 kg/ha.

Cálculos:

#### - FÓSFORO:

Se aplicó una regla de 3 simple para determinar los kilogramos de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> en 170m<sup>2</sup>

<u>m<sup>2</sup></u>		<u>kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></u>		
10 000	-	80		
170	-	X	→	X = 1.53 kg

Una vez conocida la cantidad de kilogramos de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> para 170 m<sup>2</sup>, se calculó los gramos de Fosfato mono amónico mediante una regla de 3 simple

<u>gr de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></u>		<u>gr de FMA</u>		
61	-	100		
1530	-	Y	→	Y = 2508 gr/campaña

Se obtuvo 2508 gr de Fosfato Mono Amónico por campaña.

#### - POTASIO

Se aplicó una regla de 3 simple para determinar los kilogramos de K<sub>2</sub>O en 170m<sup>2</sup>

<u>m<sup>2</sup></u>		<u>kg de K<sub>2</sub>O</u>		
10 000	-	200		
170	-	X	→	X = 3.4 kg

Una vez conocida la cantidad de kilogramos de K<sub>2</sub>O para 170 m<sup>2</sup>, se calculó los gramos de Nitrato de Potasio mediante una regla de 3 simple

<u>gr de K<sub>2</sub>O</u>		<u>gr de NO<sub>3</sub>K</u>		
44	-	100		
3400	-	Y		Y = 7727 gr/campaña

Se obtuvo 7727 gr de Nitrato de Potasio por campaña.

### - NITRÓGENO

Se aplicó una regla de 3 simple para determinar los gramos de Nitrógeno en el Fosfato Mono Amónico

<u>gr de FMA</u>		<u>gr de N</u>		
100	-	12		
2508	-	X1		X1 = 300.96 gr de Nitrógeno

Se aplicó una regla de 3 simple para determinar los gramos de Nitrógeno en el Nitrato de Potasio

<u>gr de NO<sub>3</sub>K</u>		<u>gr de N</u>		
100	-	13.5		
7727	-	X2		X2 = 1043.15 gr de Nitrógeno

Se aplicó una regla de 3 simple para determinar los gramos de Nitrógeno en 170 m<sup>2</sup>

<u>m<sup>2</sup></u>		<u>kg de N</u>		
10 000	-	160		
170	-	X3		X3 = 2720 gr de Nitrógeno

Una vez obtenida estos 3 valores de Nitrógeno, se realizó la siguiente operación matemática:

$$X3 - (X2 + X1) = 2720 - (1043.15 + 300.96) = 1375.89 \text{ gr de Nitrógeno}$$

Finalmente, una vez conocido la cantidad de Nitrógeno, se calcularon los gramos de Nitrato de Amonio mediante una regla de 3 simple:

<u>gr de N</u>		<u>gr de NO<sub>3</sub>NH<sub>4</sub></u>
----------------	--	---

33.5            -            100  
1375.89       -            Y                                Y = 4107.13 gr/campaña

Se obtuvo 4107.13 gr de Nitrato de Amonio por campaña.

Resumen:

- Fosfato Mono Amónico: Se aplicó 2,508 gr por campaña, es decir 836 gr de Fosfato Mono Amónico por aplicación.
- Nitrato de Potasio: Se aplicó 7727 gr por campaña, es decir 772.7 gr de Nitrato de Potasio por aplicación.
- Nitrato de Amonio: Se aplicó 4107.13 gr por campaña, es decir 513.4 gr de Nitrato de Amonio por aplicación

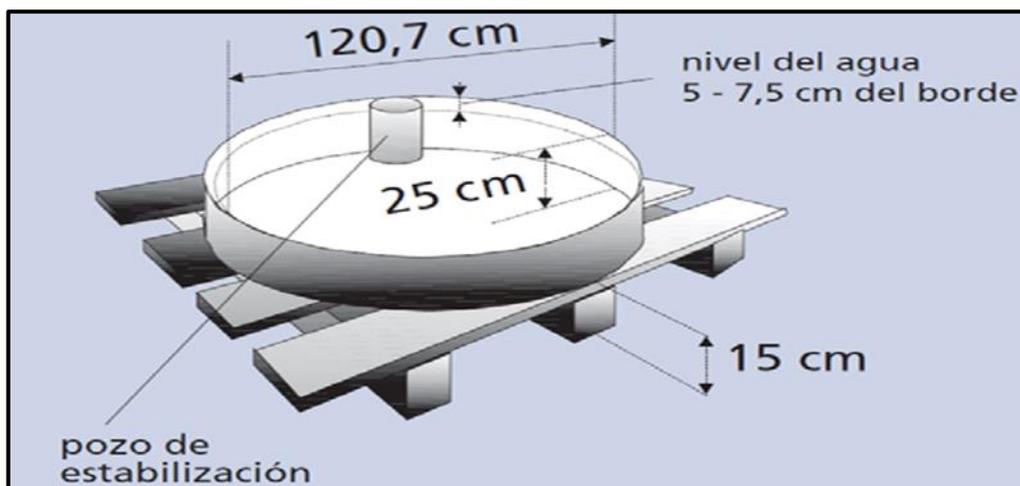
### **3.3.9. Criterio de riego: Método del tanque evaporímetro**

El tanque integró los factores climáticos en un solo parámetro que es la evaporación directa desde una superficie libre de agua, la cual se midió dejando un día, correlacionándola con la evapotranspiración del cultivo (Etc).

En la presente investigación, se empleó un Tanque Evaporímetro Clase “A”, el cual tiene las siguientes descripciones:

- Forma circular, de hierro galvanizado de 121 cm de diámetro.
- Altura de 25.5 cm y un espesor de 8 mm.
- Se colocó sobre una plataforma de madera con base a 15 cm de altura sobre el nivel del suelo y debe estar estabilizada.
- Presentó accesorios para medir el nivel de agua.

Se realizaron mediciones del Tanque dejando un día antes de cada riego, con la finalidad de calcular el volumen de agua que necesitaba reponer al cultivo.



**Figura 12: Tanque evaporímetro clase A**

FUENTE: FAO (2006)

**Tabla 12: Coeficiente Kp del tanque evaporímetro clase A**

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

FUENTE: Boletín FAO 56

**Tabla 13: Ecuación de regresión para el cálculo de Kp**

**Coefficientes del Tanque evaporímetro (K<sub>p</sub>): Ecuaciones de regresión derivadas de los Cuadros 5 y 6**

Tanque Clase A situado en cultivo verde circundante	$K_p = 0,108 - 0,0286 u_2 + 0,0422 \ln(\text{BORDE}) + 0,1434 \ln(\text{HR}_{\text{media}}) - 0,000631[\ln(\text{BORDURA})]^2 \ln(\text{HR}_{\text{media}})$
---	--

FUENTE: Boletín FAO 56

### 3.3.10. Cálculo y aplicación de riego

#### a. Tiempo de riego

- Evapotranspiración de referencia (Eto): Para un tanque Tipo A, se realizó el cálculo de la siguiente manera:

$$Eto = \text{Lectura del tanque} \times Kp \text{ (valor obtenido de la tabla 10 y 11)}$$

- Evapotranspiración del cultivo (Etc): Para un tanque Tipo A, se realizó el cálculo de con la relación:

$$Etc = Eto \times kc$$

Donde:

Kc: Coeficiente del cultivo

- Volumen: Para un tanque Tipo A, se realizó el cálculo de la siguiente manera:

$$\text{Volumen} = \frac{Etc \times \text{Marco de plantación}}{0.9}$$

- Tiempo de Riego: Se realizó con la ecuación:

$$\text{Tiempo de riego} = \frac{\text{Volumen}}{\text{Caudal}}$$

**Tabla 14: Coeficiente de cultivo Kc**

Días después de la siembra	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Kc	0.18	0.23	0.3	0.4	0.53	0.7	0.84	0.94	1.01	1.07	1.04	0.95

FUENTE: Garay (2009)

#### b. Riego parcial

- Tratamiento 1 (Riego superficial): En el primer tratamiento, se aplicó láminas de riego al 100 % de evapotranspiración del cultivo, es decir, los días que tocaba regar se abrieron todas las válvulas por parcela en un tiempo determinado. El cálculo

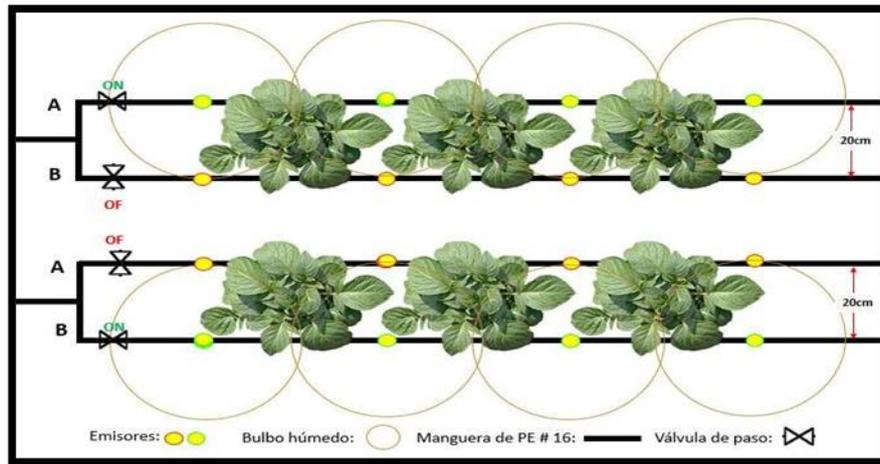
del Coeficiente de Uniformidad una vez instalado el sistema de riego fue mayor a 90%, lo cual garantizó un bulbo de humedecimiento uniforme a lo largo de las aplicaciones de riego.

- Tratamiento 2 (Riego superficial): En el segundo tratamiento, el primer mes se aplicó un riego de 100% de Etc, pasado el mes se aplicaron láminas de riego al 50 % de evapotranspiración del cultivo, los días que tocaba regar se alternó la apertura de válvulas por lateral de riego; es decir, un día “x” se abrieron todas las válvulas del lateral izquierdo y en el día “x+2” se abrieron las válvulas del lateral derecho, y así sucesivamente con la finalidad de humedecer la zona de raíces de manera alternada.
- Tratamiento 3 (Riego subterráneo): En el tercer tratamiento, el primer mes se aplicó un riego de 100% de Etc, pasado el mes se aplicaron láminas de riego al 50 % de evapotranspiración del cultivo, los días que tocaba regar se alternó la apertura de válvulas por lateral de riego, es decir, un día “x” se abrieron todas las válvulas del lateral izquierdo y en el día “x+2” se abrieron las válvulas del lateral derecho, y así sucesivamente con la finalidad de humedecer la zona de raíces de manera alternada.

**Tabla 15: Programa de riego**

Número de tratamientos	Semana después de la siembra															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Tratamiento 1	Blue	Blue	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Blue	Blue
Tratamiento 2	Blue	Blue	Green	Green	Green	Green	Yellow	Blue	Blue							
Tratamiento 3	Blue	Blue	Green	Green	Green	Green	Yellow	Blue	Blue							

Blue	Sin riego
Green	Riego al 100% Etc
Yellow	Riego al 50% Etc



**Figura 13: Disposición de riego deficitario SPR**

### 3.3.11. Variables a analizar

#### a. Volumen de Agua

A lo largo de la campaña se aplicó una lámina de riego en base a la Evapotranspiración del cultivo. Es decir, se repuso la lámina evaporada, contabilizado desde el último riego.

Durante los 4 meses de campaña, se aplicó una cantidad de volumen de agua por tratamiento, el cual fue calculado mediante las siguientes fórmulas:

$$Evap. del cultivo \left( \frac{mm}{dia} \right) = Lectura de tanque (mm) \times Kp \times Kc$$

Donde:

- Kp: Coeficiente del tanque
- Kc: Coeficiente del cultivo
- Evap. del cultivo, expresado en milímetros / día.

$$Necesidades totales = Ea \times CU \times Evap. del cultivo$$

Donde:

- Ea: Eficiencia de aplicación
- CU: Coeficiente de uniformidad
- Necesidades totales, expresado en milímetro / día

$$PP Horaria = \frac{Caudal de gotero}{0.3}$$

Donde:

- Caudal de gotero, expresado en Litros / hora
- PP horaria, expresado en mm / hora.

$$\text{Tiempo de riego} = \frac{\text{Necesidades totales} \times 60}{\text{PP horaria}}$$

Donde:

- Las unidades del tiempo de riego deben estar en minutos

$$\text{Volumen} = \text{Caudal de gotero} \times \text{Tiempo de riego} \times \text{Num. got.} \times \text{Cant. got.}$$

Donde:

- Núm. got: Número de goteros
- Cant got: Cantidad de goteros
- Caudal de gotero, expresado en litros por hora
- Tiempo de riego, expresado en hora

## **b. Rendimiento**

La cosecha se realizó manualmente, se recogió cada tubérculo por planta en bolsas, posteriormente fueron pesadas y clasificadas por calibres.

- Rendimiento total: Es la relación de dividir la producción total entre la superficie cosechada, expresada en Kg/ha. Se pesó la cantidad total de cada tratamiento.

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

- Rendimiento comercial: Es la relación de dividir la producción clasificada entre la superficie cosechada, expresada en Kg/ ha. Se pesó la cantidad clasificada correspondiente a los calibres del nivel comercial (extra, primera y segunda).

## **c. Productividad**

La productividad, buen indicador de las condiciones de la tierra, que refleja los cambios en la calidad y las limitaciones del terreno. El objetivo principal de la gestión del suelo en la agricultura, es crear unas condiciones favorables para el crecimiento del cultivo, germinación de las semillas, emergencia, crecimiento radicular, desarrollo de la planta, crecimiento del grano y cosecha. Una producción sostenible va de la mano de unas buenas

prácticas de manejo (FAO, 2008). El cálculo de la productividad se realizó a través de la división del Rendimiento Total entre el volumen de agua aplicado.

### **3.4. Tratamiento estadístico**

#### **3.4.1. Diseño estadístico**

El diseño estadístico empleado en el experimento fue de Diseño Completamente al Azar (D.C.A) con tres tratamientos y cuatro repeticiones. El modelo aditivo general es el siguiente:

$$P_{ir} = \mu + P_i + \epsilon_{ir} \quad \text{Para } i = 1, 2, 3, \dots, i$$

Donde:

$P_{ir}$  = es la variable respuesta al  $i$ -ésimo tratamiento

$\mu$  = es la media general de la variable respuesta

$P_i$  = efecto del  $i$ -ésimo tratamiento

$\epsilon_{ir}$  = error experimental

#### **3.4.2. Análisis estadístico**

Se utilizó el software “R”, en todas las variables evaluadas se realizó un análisis de varianzas (ANVA). En aquellos casos donde el ANVA indique diferencia a nivel de tratamientos, se realizaron pruebas de Tukey con un nivel de significancia de 95 %.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Cuantificación del agua de riego (volumen)

La cuantificación del agua de riego empleada en la campaña de papa variedad canchan fue:

- Tratamiento 1 – Riego superficial.

A lo largo de la campaña del cultivo de papa variedad canchan, se aplicó una lámina de riego al 100% Etc, el cual originó un consumo de agua por 2,746.76 m<sup>3</sup>/ha.

- Tratamiento 2 – Riego superficial

A lo largo de la campaña del cultivo de papa variedad canchan, se aplicó una lámina de riego SPR al 50% Etc, el cual originó un consumo de agua por 907.85 m<sup>3</sup>/ha.

- Tratamiento 3 – Riego subterráneo

A lo largo de la campaña del cultivo de papa variedad canchan, se aplicó una lámina de riego SPR al 50% Etc, el cual originó un consumo de agua por 907.85 m<sup>3</sup>/ha.

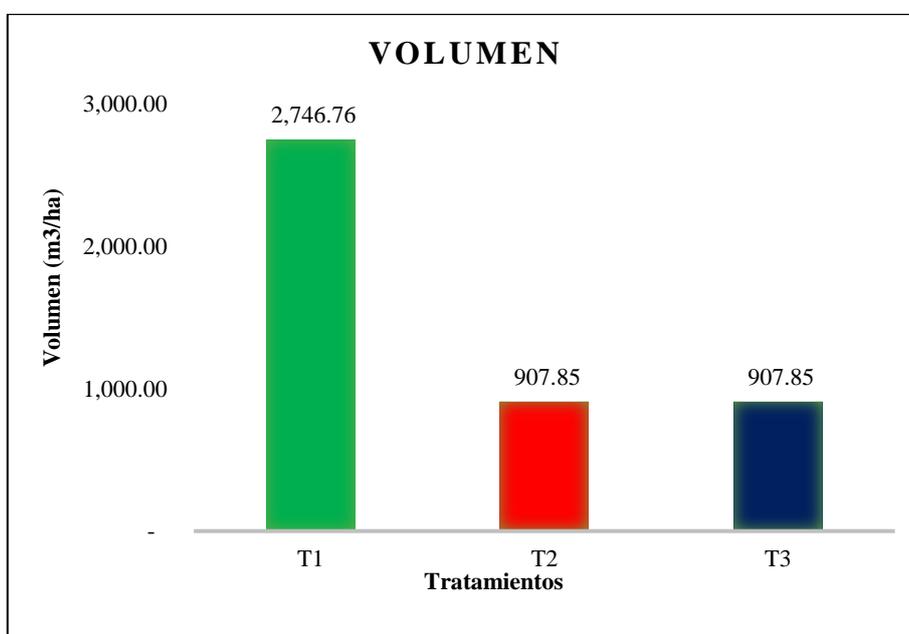


Figura 14: Volumen de agua por tratamiento en m<sup>3</sup>/ha

**Tabla 16: Consumo semanal de agua**

N° de Semanas	Consumo de agua (lt/ha)			
	T1	T2	T3	
1	23,496.50	23,496.50	23,496.50	Consumo de agua antes del tratamiento
2	34,698.53	34,698.53	34,698.53	
3	45,333.30	45,333.30	45,333.30	
4	46,157.50	46,157.50	46,157.50	
5	60,057.69	60,057.69	60,057.69	
6	85,142.65	85,142.65	85,142.65	
7	115,854.62	28,963.66	28,963.66	Consumo de agua después del tratamiento
8	150,520.37	37,630.09	37,630.09	
9	220,407.41	55,101.85	55,101.85	
10	285,377.78	71,344.44	71,344.44	
11	320,666.67	80,166.67	80,166.67	
12	399,468.52	99,867.13	99,867.13	
13	400,453.70	100,113.43	100,113.43	
14	386,451.85	96,612.96	96,612.96	
15	172,674.07	43,168.52	43,168.52	
Consumo L/ha	2,746,761.16	907,854.92	907,854.92	
Consumo m3/ha	2,746.76	907.85	907.85	

Según la Tabla 16, se aplicó la misma cantidad de metros cúbicos de agua a los 3 tratamientos durante las 6 primeras semanas, con la finalidad de que el cultivo se adapte a las condiciones de la parcela experimental.

El consumo de cada tratamiento durante las 6 primeras semanas fue 294.886 m<sup>3</sup>/ha. A partir de la semana 7 hasta la 15, se dio inicio con los tratamientos SPR contemplados:

- T1: Riego superficial 100% Etc.
- T2: Riego superficial (SPR) 50% Etc.
- T3: Riego subterráneo (SPR) 50% Etc.

El consumo de cada tratamiento desde la semana 7 hasta la 15 fue: 2,451.874, 612.968, 612.968 m<sup>3</sup>/ha para los tratamientos T1, T2 y T3 respectivamente.

Rojas, (2007) menciona que el consumo de volumen de agua considerado en un riego por gravedad es de 4000 a 5000 m<sup>3</sup>/ha. A lo largo de la campaña hemos estado dentro del rango, es decir, se obtuvo valores aceptables.

## 4.2. Rendimiento

El rendimiento de un cultivo es la relación de la producción total cosechada por hectárea de terreno utilizado, generalmente el rendimiento se mide en kilogramos por hectárea.

### 4.1.1. Rendimiento total

En la tabla 17 se muestra los resultados del rendimiento total obtenido por tratamiento, expresados en kilogramo por hectárea.

**Tabla 17: Rendimiento total expresado en kg/ha**

Tratamiento	Descripción	Repetición	Rend Total
T1	R. superficial	1	32,753.26
T1	R. superficial	2	33,102.41
T1	R. superficial	3	32,899.56
T1	R. superficial	4	32,355.89
T2	R. superficial	1	23,915.26
T2	R. superficial	2	24,156.44
T2	R. superficial	3	24,651.42
T2	R. superficial	4	24,536.12
T3	R. subterráneo	1	24,599.32
T3	R. subterráneo	2	24,507.42
T3	R. subterráneo	3	24,761.35
T3	R. subterráneo	4	24,205.99

En la Figura 15, se muestra el resultado del rendimiento total obtenido en toda la campaña del cultivo de papa, variedad canchan:

- Tratamiento 1 – Riego superficial.

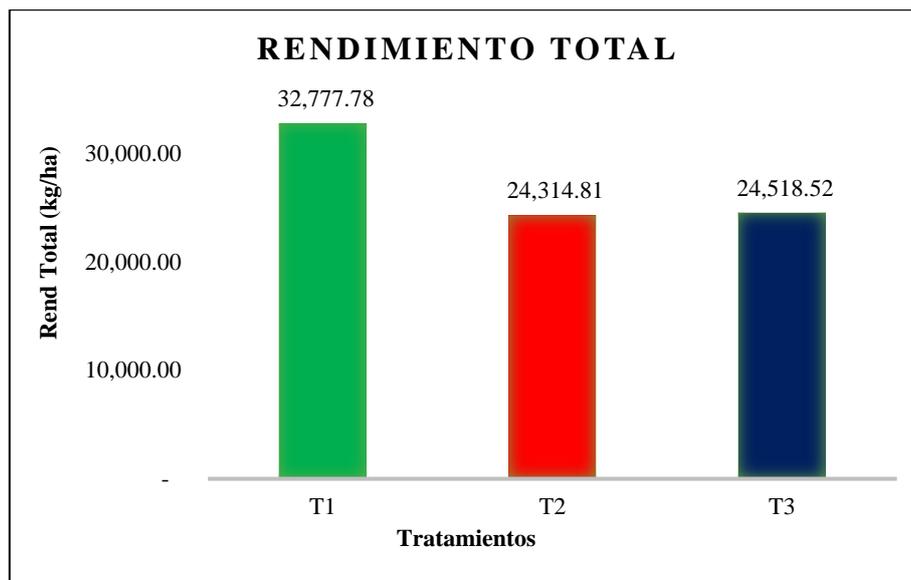
A lo largo de la campaña del cultivo de papa variedad canchan, se aplicó una lámina de riego al 100% Etc, el cual originó un rendimiento total de 32,777.78 kg/ha

- Tratamiento 2 – Riego superficial

A lo largo de la campaña del cultivo de papa variedad canchan, se aplicó una lámina de riego SPR al 50% Etc, el cual originó un rendimiento total de 24,314.81 kg/ha

- Tratamiento 3 – Riego subterráneo

A lo largo de la campaña del cultivo de papa variedad canchan, se aplicó una lámina de riego SPR al 50% Etc, el cual originó un rendimiento total de 24,518.52 kg/ha



**Figura 15: Rendimiento total de papa por tratamiento**

#### **Análisis estadístico:**

El análisis estadístico se realizó mediante las siguientes pruebas:

- Análisis de varianza (ANOVA):

**Tabla 18: Análisis de varianza, rendimiento total en kg/ha**

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	2	186504980	93252490	1037.3	2.288E-08
Residuales	9	809106	89901		
Total	11	187314086			

Según la Tabla 18, el Análisis de Varianza (ANOVA) presentó 11 grados de libertad, resultado de multiplicar:

$$\text{Grados de Libertad: Número de tratamientos} \times \text{Número de repeticiones} - 1$$

Las variables se procesaron en el software “R”, el cual calculó la suma de los cuadrados (Sum SQ) y cuadrados medios (Mean SQ) obtenidos en la tabla 18. El valor de Fisher (F value) se obtuvo de la relación entre los cuadrados medios (Mean SQ) con los cuadrados medios del error (Residuals). Mientras el valor esté más alejado del cero, son más probables las diferencias significativas. El valor de la probabilidad ( $Pr > F$ ) fue menor al grado de significancia establecido 0.05, con ello aseguramos que: al menos exista una diferencia significativa en los tratamientos.

- Prueba Tukey:

**Tabla 19: Prueba Tukey, rendimiento total en kg/ha**

Tratamiento	N	Media	Agrupación
100% R.superficial	4	32,777.78	a
50 % R.superficial	4	24,314.81	b
50 % R. subterráneo	4	24,518.52	b

Según la Tabla 19, se comprobó que existen diferencias significativas entre los tratamientos, es por ello que le correspondió una letra diferente a cada tratamiento. El resultado indicó que el T2 y T3 tiene un efecto negativo en el Rendimiento Total comparado con el T1.

#### 4.1.2. Rendimiento Comercial

En la tabla 20 se muestra los resultados del rendimiento total obtenido por tratamiento, expresados en kilogramo por hectárea.

**Tabla 20: Rendimiento comercial y no comercial expresado en kg/ha**

Tratamiento	Descripción	Repetición	Rend Comer	Rend no Comer
T1	R. superficial	1	18,900.45	13,852.81
T1	R. superficial	2	19,103.62	13,998.79
T1	R. superficial	3	18,796.68	14,102.88
T1	R. superficial	4	18,937.41	13,418.48
T2	R. superficial	1	10,999.11	12,916.15
T2	R. superficial	2	10,845.31	13,311.13
T2	R. superficial	3	11,124.12	13,527.3
T2	R. superficial	4	11,004.9	13,531.22
T3	R. subterráneo	1	11,412.12	13,187.2
T3	R. subterráneo	2	11,372.15	13,135.27
T3	R. subterráneo	3	11,242.49	13,518.86
T3	R. subterráneo	4	11,366.48	12,839.51

En la Figura 16 se muestra resultado del rendimiento comercial obtenido en toda la producción de la campaña del cultivo de papa, variedad canchan:

- Tratamiento 1 – Riego superficial

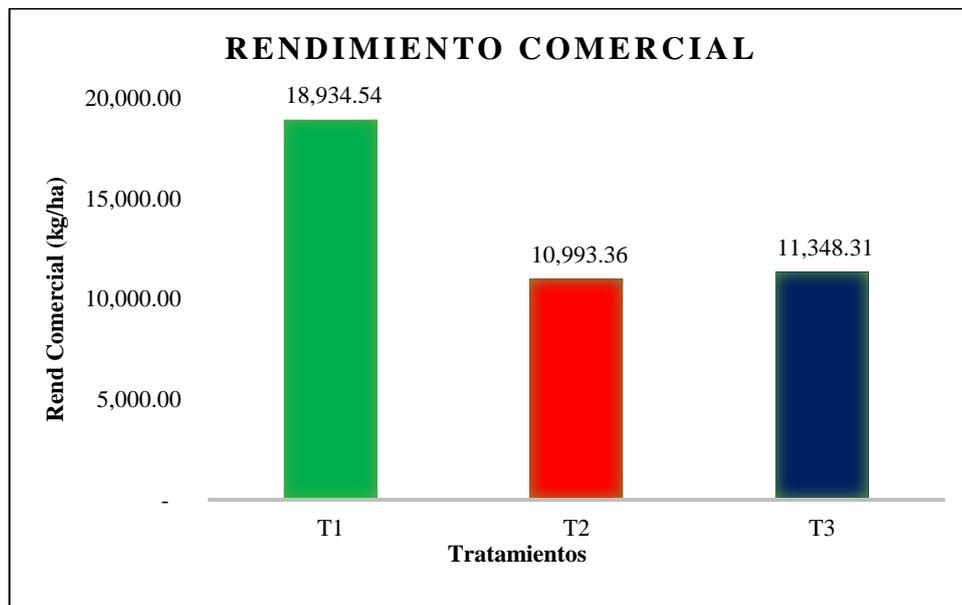
A lo largo de la campaña del cultivo de papa variedad canchan, se aplicó una lámina de riego al 100% Etc, el cual originó un rendimiento comercial de 18,934.54 kg/ha y rendimiento no comercial de 13,843.24 kg/ha.

- Tratamiento 2 – Riego superficial

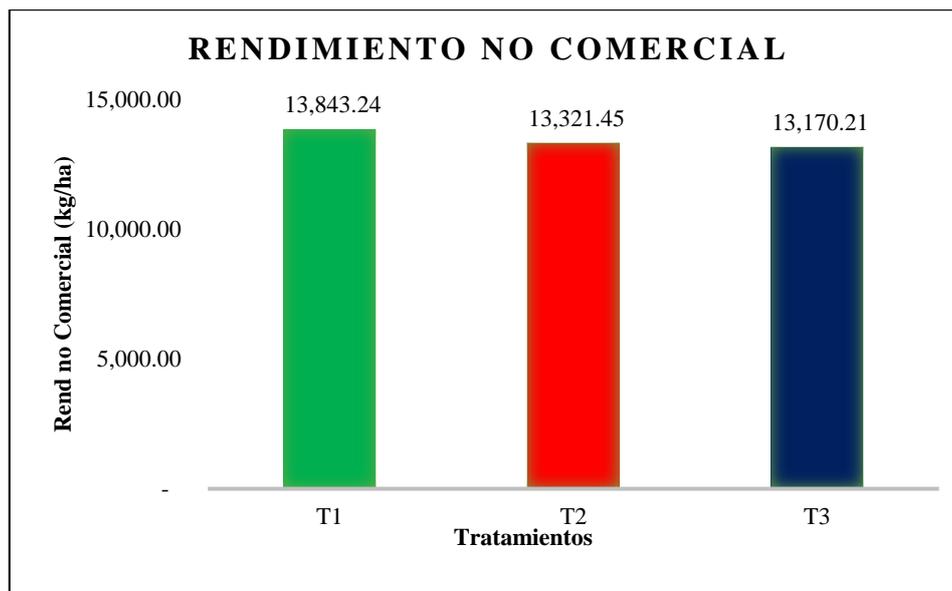
A lo largo de la campaña de cultivo de papa variedad canchan, se aplicó una lámina de riego SPR al 100% Etc, el cual originó un rendimiento comercial de 10,993.36 kg/ha y no rendimiento no comercial de 13,321.45 kg/ha.

- Tratamiento 3 – Riego superficial

A lo largo de la campaña de cultivo de papa variedad canchan, se aplicó una lámina de riego SPR al 50% Etc, el cual originó un rendimiento comercial de 11,348.31 kg/ha y rendimiento no comercial de 13,170.21 kg/ha.



**Figura 16: Rendimiento comercial por tratamiento en kg/ha**



**Figura 17: Rendimiento no comercial por tratamiento en kg/ha**

**Análisis estadístico:**

- Análisis de Varianza (ANOVA)

**Tabla 21: Análisis de varianza ANOVA, rendimiento comercial**

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	2	160985620	80492810	6958	4.436E-12
Residuales	9	104115	11568		
Total	11	161089735			

Según la Tabla 21, el Análisis de Varianza (ANOVA) presentó 11 grados de libertad, resultado de multiplicar:

$$\text{Grados de Libertad: Número de tratamientos} \times \text{Número de repeticiones} - 1$$

Las variables se procesaron en el software “R”, el cual calculó la suma de los cuadrados (Sum SQ) y cuadrados medios (Mean SQ) obtenidos en la tabla 21. El valor de Fisher (F value) se obtuvo de la relación entre los cuadrados medios (Mean SQ) con los cuadrados medios del error (Residuals), mientras el valor esté más alejado del cero, son más probables las diferencias significativas. El valor de la probabilidad ( $Pr > F$ ) fue menor al grado de significancia establecido 0.05, con esto aseguramos que al menos exista una diferencia significativa en los tratamientos.

- Prueba Tukey:

**Tabla 22: Prueba Tukey, rendimiento comercial en kg/ha**

<b>Tratamiento</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>
100% R. superficial	4	18,934.54	a
50 % R. superficial	4	10,993.36	c
50 % R. subterráneo	4	11,348.31	b

Según la tabla 22, se comprobó que existen diferencias significativas entre los tratamientos, por ello le correspondió una letra diferente a cada tratamiento. El resultado indicó que el T2 y T3 tiene un efecto negativo en el Rendimiento Total comparado con el T1.

#### **4.2. Productividad del cultivo en referencia al volumen de agua aplicado**

En la Tabla 23 se muestra los resultados de la productividad del cultivo en referencia al volumen de agua aplicado por tratamiento:

**Tabla 23: Productividad del cultivo en referencia al volumen de agua aplicado**

<b>Tratamiento</b>	<b>Descripción</b>	<b>Repetición</b>	<b>Productividad</b>
T1	R. superficial	1	11.92
T1	R. superficial	2	12.05
T1	R. superficial	3	11.97
T1	R. superficial	4	11.78
T2	R. superficial	1	26.34
T2	R. superficial	2	26.60
T2	R. superficial	3	27.15
T2	R. superficial	4	27.02
T3	R. subterráneo	1	27.09
T3	R. subterráneo	2	26.99
T3	R. subterráneo	3	27.27
T3	R. subterráneo	4	26.66

En la Figura 18 se muestra resultado de la productividad obtenida por tratamiento:

- Tratamiento 1 – Riego superficial.

A lo largo de la campaña del cultivo de papa variedad canchan, se aplicó una lámina de riego al 100% Etc, lo cual originó una productividad de 11.93 kg/m<sup>3</sup>.

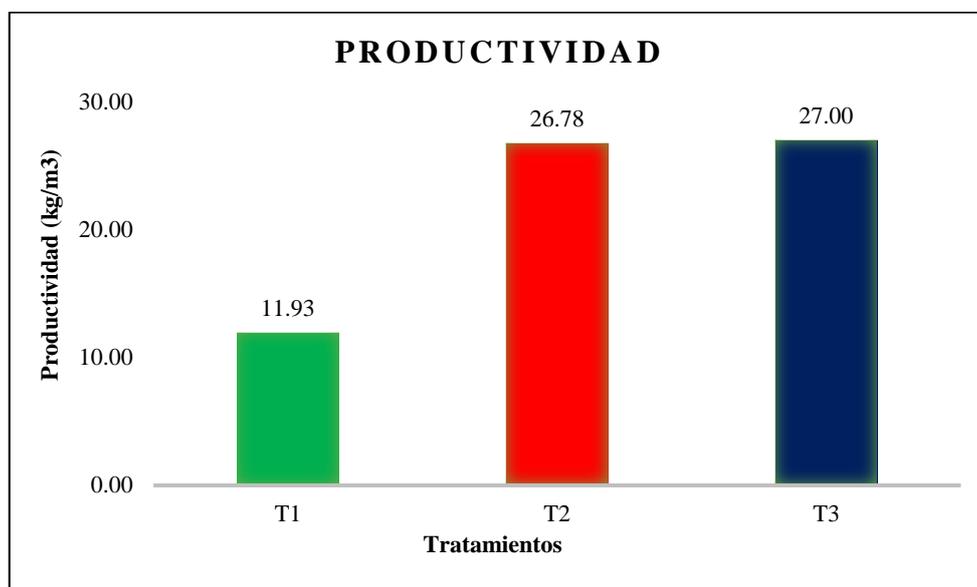
- Tratamiento 2 – Riego superficial

A lo largo de la campaña del cultivo de papa variedad canchan, se aplicó una lámina de riego

SPR al 50% Etc, lo cual originó un rendimiento de 26.78 kg/m<sup>3</sup>.

- Tratamiento 3 – Riego subterráneo

A lo largo de la campaña del cultivo de papa variedad canchan, se aplicó una lámina de riego SPR al 50% Etc, lo cual originó un rendimiento de 27.00 kg/m<sup>3</sup>.



**Figura 18: Productividad por tratamiento en kg/m<sup>3</sup>**

#### **Análisis estadístico:**

- Análisis de Varianza (ANOVA)

**Tabla 24: Análisis de varianza, productividad en kg/m<sup>3</sup>**

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	2	597.05	298.524	4078.5	4.899E-11
Residuales	9	0.66	0.073		
Total	11	597.71			

Según la Tabla 24, el Análisis de Varianza (ANOVA) presentó 11 grados de libertad, resultado de multiplicar:

Grados de Libertad: Número de tratamientos x Número de repeticiones – 1

Las variables se procesaron en el software “R”, el cual calculó la suma de los cuadrados (Sum SQ) y cuadrados medios (Mean SQ) obtenidos en la tabla 24. El valor de Fisher (F

value) se obtuvo de la relación entre los cuadrados medios (Mean SQ) con los cuadrados medios del error (Residuals), mientras el valor esté más alejado del cero, son más probables las diferencias significativas. El valor de la probabilidad ( $Pr > F$ ) fue menor al grado de significancia establecido 0.05, con ello aseguramos que al menos exista una diferencia significativa en los tratamientos.

- Prueba Tukey

**Tabla 25: Prueba tukey, productividad expresado en kg/m<sup>3</sup>**

<b>Tratamiento</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>
100% R. superficial	4	11.93325	b
50 % R. superficial	4	26.78285	a
50 % R. subterráneo	4	27.00724	a

Según la Tabla 25, se comprobó que existen diferencias significativas entre los tratamientos, es por ello que le correspondió una letra diferente a cada tratamiento. El resultado indicó que el T1 tiene un efecto negativo en la productividad comparado con el T2 y T3.

## V. CONCLUSIONES

- La aplicación del secado parcial de raíces influye reduciendo el rendimiento total y comercial del cultivo de papa variedad canchan.
- La aplicación del secado parcial de raíces influye aumentando la productividad del cultivo y un gran ahorro de agua, importante en zonas con limitaciones del recurso hídrico.
- El riego subterráneo genera un mayor rendimiento total comparado con el riego superficial, debido a las ventajas del riego subterráneo como: la aplicación del agua en zona de raíces y la poca pérdida de agua por evaporación; a diferencia del riego superficial pese a tener un menor consumo de agua.
- El riego subterráneo produce una mayor cantidad de kilogramos de papa en comparación con el riego superficial por metro cúbico aplicado.
- La elección entre el riego por goteo superficial y subterráneo para el cultivo de papa variedad Canchán dependerá de factores específicos del sitio, tales como las condiciones climáticas, la disponibilidad del recurso hídrico, ambas formas de aplicar el agua de riego ofrecen beneficios significativos en términos de eficiencia en el uso del agua y mejora en la producción, y su aplicación debe basarse en un análisis detallado de las condiciones locales y los objetivos de manejo del cultivo.

## **VI. RECOMENDACIONES**

- Realizar más investigaciones en variedad de papa canchan considerando un riego deficitario al 75% de lámina, ya que en ese parámetro podría encontrarse el rendimiento comercial por encima del 50% consumiendo poco volumen de agua.
- Realizar investigaciones en otras variedades de papa, considerando las mismas condiciones, para analizar el efecto del riego deficitario y ver si tiene el mismo impacto.

## VII. BIBLIOGRAFÍA

- Autoridad Nacional del Agua (ANA). (2000). *Condiciones agroclimáticas del cultivo de la papa*. Cartilla N° 10. Lima, Perú. p. 1-2. Recuperado de [http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/condiciones\\_agroclimaticas\\_papa\\_0\\_2.pdf](http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/condiciones_agroclimaticas_papa_0_2.pdf).
- Ascencio, T. (2012). *Guía técnica: Riego tecnificado en el cultivo de maíz amarillo duro*. Recuperado de <https://www.agrobanco.com.pe/data/uploads/ctecnica/023-c-mad.pdf>
- Autoridad Autónoma de Majes (AUTODEMA). (2015). *Aplicación de un riego eficiente en un sistema de riego por goteo*. Gobierno Regional de Arequipa. Perú. 16 p.
- Ayars, J.E., Fulton, A. & Taylor, B. (2015). *Diseño de un sistema de riego subterráneo para abatir la evaporación en el suelo desnudo comparado con dos métodos convencionales*. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/302/30252307002.pdf>
- Barreto, H. (1976). *Informe preliminar técnico sobre la producción de hojuelas o escamas de papa*. México: Banco de Fomento Agropecuario.
- Beukema, H. & Van der Zaag, D. (1979). *Potato Improvement. Some factors and facts*. International Agricultural Center. IAC. Wageningen. The Netherlands. 224 p.
- Buesa, I. (2013). *Determinación del estado hídrico del suelo mediante sensores FDR en vid cv. Moscatel de Alejandría regada por goteo* (Trabajo de Maestría). Valencia, España. 85 p.
- Bello, M. y Pino, M. (2000). *Cálculo básico para fertirrigar*. Boletín INIA N° 26. Centro Regional de Investigación Kampenaike. Punta Arena, Chile. 30 p. Recuperado de <http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR25633.pdf>.
- Calvache, M. (2008). *Evaluación del riego en suelos de ladera*. XI Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del suelo. CD. 18 p.
- Campos, C. (2014). *Efecto de la fertilización en el rendimiento y características biométricas del cultivo de papa variedad huayro en la comunidad de Aramachay (valle del Mantaro)* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú. p. 12.

- Cañamero, M, y Laguna, T. (2012). *Innovación tecnológica en riego por goteo*. CONCYTEC. Lima, Perú. p. 138-139.
- Cortez, M.R. (1992). *El Cultivo de la papa en El Salvador*. El Salvador, San Andrés, La Libertad, CENTA División de Investigación Agrícola Bol divulgativo N° 72, 19 p. 1999.
- Clark, G., Lamm, F., Rogers, D. & Alam, M. (2003). *Design consideration for Subsurface Drip Irrigation (SDI) Systems*. Kansas State University Cooperative Ext. Irrigation Mgmt. Series, MF - 2578. 8 p. Recuperado de <https://fyi.extension.wisc.edu/cropirrigation/files/2015/12/Design-considerations-for-SDI-KS-mf2578.pdf>.
- Centro Regional de Estudios del Agua (CREA). (2005). *Fertirriego. Hoja Informativa N° 12*. La Mancha, España: Universidad Castilla. 8 p. Recuperado de <http://crea.uclm.es/siar/publicaciones/files/HOJA11.pdf>.
- Doorenbos, J. y Kassan, H. (1979). *Efecto del Agua sobre el rendimiento de los cultivos*. FAO: Riego y Drenaje Publicación N o33 Roma, Italia. p. 163-166.
- Dorigo, W., Wagner, W., Hohensinn, R., Hahn, S., Paulik, C., Xaver, A., Gruber, A., Drusch, M., Mecklenburg, S., Van Oevelen, P., Robock, A. & Jackson, T. (2011). The International Soil Moisture Network: a data hosting facility for global in situ soil moisture measurements. *Hydrology and Earth system sciences*, 15(5). 1675-1698.
- Egúsqiza Bayona, R.P. (2014). *La papa en el Perú* (2a ed). Lima, Perú: Cimagraf. 200 p.
- Egúsqiza, B.R. (2000). *La Papa. Producción, transformación y comercialización*. Lima, Perú: A.B prisma S.A.
- Ekayanake, I. J. (1994). *El Estrés por Sequía y las Necesidades de Riego de la Papa*. Centro Internacional de la Papa, Lima, Perú. 38 p.
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2006). *Boletín 56, Estudio Riego y Drenaje, Respuesta de los Rendimientos del Cultivo al Agua*.
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2008). *Año internacional de la papa*. Recuperado de <http://www.fao.org/potato-2008/es/lapapa/utilizacion.html>.
- Garay, C.O. (2009). *Manual de Uso Consuntivo del Agua para los Principales Cultivos de los Andes Centrales Peruanos*. Huancayo, Perú.
- Harris, P.M. (1978). *The potato crop production*. Chapman and Hall, London: The Scientific Basic for Improvement Ed.
- Harris, P.M. (1992). The influence of genotype and water stress on the nitrogen requirement of the potato crop. *Conference: Meeting of the Section Physiology of the EAPR. Le*

*conquet* (France). 24-28 jun 1991. Potato research (Netherlands) ISSN 0014-3065.1992.35 V.1:72v.

Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual (INDECOPI). (2010). *Normas técnicas peruanas, Papas y derivados – papa definiciones y derivado* (2a ed.). Lima, Perú: INDECOPI.

Instituto Nacional de innovación Agraria (INIA). (2012). *Papa INIA 303 – Canchan*. Plegable N° 2. Recuperado de [https://www.inia.gob.pe/wpcontent/uploads/investigacion/programa/sistProductivo/variedad/papa/INIA\\_303.pdf](https://www.inia.gob.pe/wpcontent/uploads/investigacion/programa/sistProductivo/variedad/papa/INIA_303.pdf)

Jensen, C.R., Jacobsen, S.E., Andersen, M.N., Nunez, N., Andersen, S.D., Rasmussen, L. & Mogensen, V.O. (2000). Leaf gas exchange and water relation characteristics of field quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) during soil drying. *European Journal of Agronomy* (Netherlands). ISSN 1161-0301. V.1. (13): 11-25.

Kafkafi, U. & Tarchitzky, J. (2012). *Fertirrigación: una herramienta para una eficiente fertilización y manejo del agua*. Melgar, R (trad). Asociación Internacional de la Industria de Fertilizantes (IFA) Instituto Internacional de la Potasa (IIP), París, Francia. 80 p. Recuperado de [https://www.ipipotash.org/udocs/391-2012\\_ifa\\_ipi\\_fertirrigacion.pdf](https://www.ipipotash.org/udocs/391-2012_ifa_ipi_fertirrigacion.pdf).

Kang, S., Liang, Z., Hu, W. & Zhang, J. (1998). Water use efficiency of controlled alternate irrigation on root-divided maize plant. *Agricult Water Manag*, 38: 69-76.

Kumar, D.J., Minhas, S. & Singh, B. (2003). *Abiotic Stress and potato production*. In: Khurana, S.M.P; Minhas; J.S, Pandey, S.K. (Eds). *The potato: production and utilization in sub-tropics*. Mehta Publishers, New Delhi (India).

Lesczynski, D.B. & Tanner, C.B. (1976). Seasonal variation of root specific factors controlling the potato crop's root growth distribution of irrigated, field-grown Russet Burbank potato. *Am. Pot. J.* 53:69-78.

Losada, V.A. (2009). *Fundamentos hidráulicos* (4a ed.). Madrid, España: Mundi-prensa.

Loveys, B., Stoll, M., Dry, P.R. & McCarthy, M. (1998). Partial rootzone drying stimulates stress responses in grapevine to improve water use efficiency while maintaining crop yield and quality. *The Australian Grapegrower and Winemaker* 108-113.

Mamani, W. (2015). *Riego Deficitario en el Cultivo de Papa (Solanum tuberosum L.) en el Municipio de Achacachi – La Paz* (Tesis de pregrado). Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia. 81 p.

- Martínez, C.A. (1993). *Expresiones Metabólicas de Resistencia a la Sequía en dos Clones de Papa sometidos a Estrés Hídrico* (Tesis de Maestría). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú. 100 p.
- Mendoza, H. y Mosquera, V. (2011). *Selección de Variedades de Papa. Metodología para Evaluación de Material Genético Avanzado*. Proyecto UNALM-INCAGRO-CIP. p. 72.
- Mendoza, A. (2013). *Riego por goteo*. El salvador. Centa. Recuperado de [www.centa.gob.sv/docs/guias/riego/Riego%20por%20goteo.pdf](http://www.centa.gob.sv/docs/guias/riego/Riego%20por%20goteo.pdf).
- Merriam, J.L. & Keller, J. (1978). *Farm irrigation system evaluation: a guide for management*. Utah State University, Logan, Utah, USA.
- Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI). (2017). *Papa: características de la producción nacional y de la comercialización en Lima Metropolitana*. Lima, Perú. Recuperado de <http://www.minagri.gob.pe/portal/analisis-economico/analisis-2017>.
- Miller, D.E. & Martin, M.W. (1987). The effect of irrigation regime and subsoiling on yield and quality of three potato cultivars. *American potato journal* (USA). ISSA 003-0589. V.64 (3). 109-117.
- Mitchell, P.D., Chalmers, D.J. & Jerie, P.H. (1984). The physiology of growth control of peach and pear trees using reduced irrigation. *Acta Horticulturae*, 146: 143-149.
- Moreno, P. (2009). *Manual de supervisión PSI: Componente B: Riego Tecnificado*. Recuperado de [http://www.psi.gob.pe/docs/%5Cbiblioteca%5Cmanuales%5Cmanual\\_de\\_supervision\\_sistemas\\_de\\_riego\\_tecnificado.pdf](http://www.psi.gob.pe/docs/%5Cbiblioteca%5Cmanuales%5Cmanual_de_supervision_sistemas_de_riego_tecnificado.pdf)
- Morí Rabanal, A.M. (2015). *Efecto de cinco láminas de riego en el cultivo de quinua (chenopodium quinoa Willd), mediante el riego por goteo* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima, Perú. p. 10-11.
- 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 de pregrado). Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima, Perú. 95 p.
- Patty, S. (2009). *Determinación del nivel crítico del agua del suelo para el desarrollo del cultivo de papa (Solanum Tuberosum L.) mediante el uso de técnicas nucleares* (Tesis de pregrado). Universidad Mayor de San Andrés, la Paz, Bolivia. 111 p.
- Pumisacho, M. y Sherwood, S. (2002). *El cultivo de la papa en el Ecuador, INIAP y CIP*. Quito, Ecuador. p. 21-161.

- Ramos, C. (1991). Características y selección de papas cultivables en el Perú para elaboración de hojuelas y tiras (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima, Perú. p. 10-12.
- Razuri, R. (1988). *Diseño de riego por goteo*. Centro Interamericano de desarrollo integral de aguas tierras. 167 p.
- Robock, A., Vinnikov, K., Srinivasan, G., Entin, J., Hollinger, S., Speranskaya, N., Liu, S. & Namkhai, A. (2000). *Bulletin of the American Meteorological Society*. V. 81.(6). 1281-1299.
- Rojas, G., Posadas, A., Quiroz, R., Holle, M. y Málaga, M. (2007). *Secado parcial de raíces: Una promisoriosa técnica de riego en papa (Solanum Tuberosum L.)*. Departamento de recursos naturales del Centro Internacional de la Papa. Recuperado de <http://www.lamolina.edu.pe/zonasaridas/za11/pdfs/ZA11%2000%20art15.pdf>
- Rogers, H. (2018). Subsurface Drip Irrigation (SDI) Components: Minimum requirements. Disponible en: <https://www.ksre.k-state.edu/sdi/reports/2018/MF2576.pdf>.
- Miguel A. Sánchez D. & Ruth E. Meza A. (2014). Evaluación del rendimiento del cultivo de papa bajo la aplicación del riego deficitario (prd) utilizando cintas de riego. *Anales Científicos*, 76(1), 21-28
- Santos, T.P., Lopes, C.M., Rodrigues, M.L., de Souza, C.R., Ricardo-da-Silva, J.M., Maroco, J.P., Pereira, J.S. & Chaves, M.M. (2007). Effects of deficit irrigation strategies on cluster microclimate for improving fruit composition field-grown grapevines. *Scientia Horticulturae*, 112, 321-330.
- Shock, C.C. & Welch (2013). *Deficit irrigation of potato*. in P. Moutonnet (ed) Deficit irrigation Practices. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. Water Reports 22:47-55.
- Vásquez, A., Vásquez, I., Vásquez, C. y Cañamero. (2017). Fundamentos de la ingeniería de riego. Recuperado de <http://innovacionydesarrolloagricola.blogspot.com/2017/10/libro-fundamentos-de-laIngeniería-de.html>.

## VIII. ANEXOS

### Anexo 1: Instalación de válvula reguladora de presiones



### Anexo 2: Prueba de funcionamiento del sistema de riego



### Anexo 3: Prueba de coeficiente de uniformidad



### Anexo 4: Toma de dato de caudalímetro



**Anexo 5: Siembra de semillas cada 30 cm**



**Anexo 6: Lectura del tanque evaporímetro**



### Anexo 7: Aporque a los 30 días de la siembra



### Anexo 8: Cosecha manual



## Anexo 9: Análisis físico químico del agua



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**  
 DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH  
 LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO  
 Av. La Molina s/n Teléfono: 514 7800 Anexo 226 Lima Email: las-fla@lamolina.edu.pe



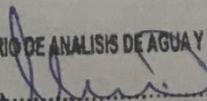
**Nº 009554**

### ANÁLISIS DE AGUA - RUTINA

**SOLICITANTE** : JORDAN ARGOTE MELENDRES  
**PROYECTO** : TESIS  
**PROCEDENCIA** : Parcela Ingeniería Agrícola - UNALM  
**RESPONSABLE ANÁLISIS** : Ing. Nore Arévalo Flores  
**FECHA DE ANÁLISIS** : La Molina, 23 de octubre de 2019

<b>Nº LABORATORIO</b>		9554
<b>Nº DE CAMPO</b>		agua
<b>CE</b> mmhos/cm		0.72
<b>pH</b>		7.94
<b>Calcio</b> meq/l		4.68
<b>Magnesio</b> meq/l		0.68
<b>Sodio</b> meq/l		1.39
<b>Potasio</b> meq/l		0.22
<b>SUMA DE CATIONES</b>		<b>6.97</b>
<b>Cloruro</b> meq/l		1.63
<b>Sulfato</b> meq/l		3.16
<b>Bicarbonato</b> meq/l		2.18
<b>Nitratos</b> meq/l		0.09
<b>Carbonatos</b> meq/l		0.00
<b>SUMA DE ANIONES</b>		<b>7.05</b>
<b>SAR</b>		0.85
<b>CLASIFICACION</b>		<b>C2-S1</b>
<b>Boro</b> mg/L		0.20

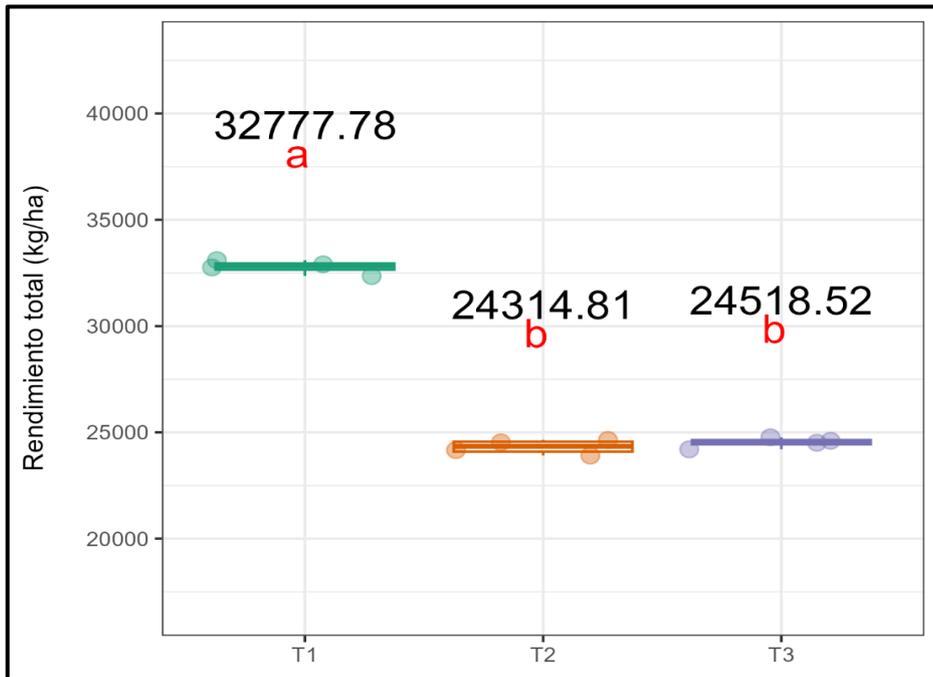
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUA Y SUELO



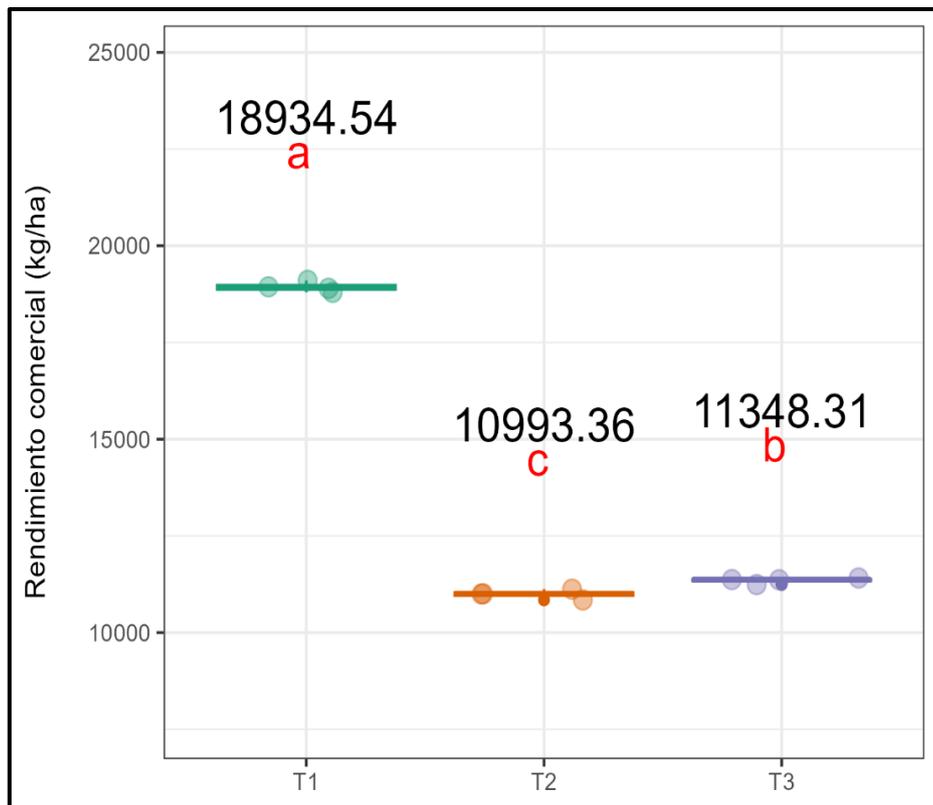
Ing. Msc. Miguel A. Sanchez Delgado  
JEFE DE LABORATORIO



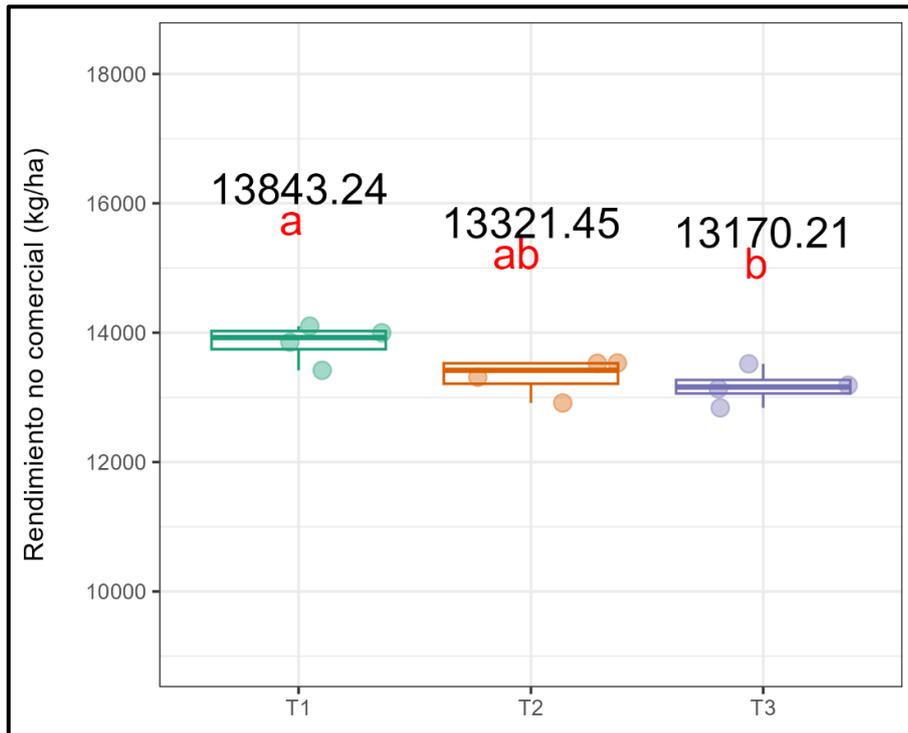
**Anexo 10: Diagrama de cajas, rendimiento total en kg/ha**



**Anexo 11: Diagrama de cajas, rendimiento comercial en kg/ha**



**Anexo 12: Diagrama de cajas, rendimiento no comercial en kg/ha**



**Anexo 13: Diagrama de cajas, productividad en kg/m3**

