

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**



**“EFECTO DEL RIEGO PARCIAL DE LA ZONA DE RAÍCES EN EL  
CULTIVO DE PAPA CANCHAN MEDIANTE RIEGO POR GOTEOS  
SUBTERRANEO”**

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

**JORDAN HECTOR ARGOTE MELENDRES**

**LIMA - PERÚ**

**2020**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**

**“EFECTO DEL RIEGO PARCIAL DE LA ZONA DE RAÍCES EN EL  
CULTIVO DE PAPA CANCHAN MEDIANTE RIEGO POR GOTEOS  
SUBTERRANEO”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE:

**INGENIERO AGRÍCOLA**

Presentado por:

**JORDAN HECTOR ARGOTE MELENDRES**

Sustentado y aprobado por el siguiente jurado:

Dr. ABSALON VÁSQUEZ VILLANUEVA  
Presidente

Mg. Sc. MIGUEL ANGEL SANCHEZ DELGADO  
Asesor

Mg. Sc. ROLANDO PERCY EGUSQUIZA BAYONA  
Miembro

Ing. ANTONIO CELESTINO ENCISO GUTIÉRREZ  
Miembro

LIMA – PERÚ

2020

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo se lo dedico principalmente a mis padres y hermanos, que significan lo más importante en mi vida lo cual me motiva a ser perseverante y luchar por cumplir mis objetivos.

También va dedicado a la memoria de mi primo Elvis Melendres que por más que ya no se encuentre físicamente acompañándome su presencia espiritual me ha enseñado a valorar y respetar cada día a las personas que quieres.

## **AGRADECIMIENTO**

Infinitamente a mis padres Jovina Melendres y Héctor Argote, por el apoyo incondicional que recibo de ellos en cada etapa de mi vida por lo cual nunca podré terminar de agradecer. A la Universidad Nacional Agraria La Molina y en especial a la Facultad de Ingeniería Agrícola por toda su plana de docentes gracias a los cuales he obtenido los conocimientos necesarios para llevar a cabo el presente trabajo de investigación.

A mi asesor el ingeniero Miguel Sánchez por la oportunidad de desarrollar la investigación además de contar con su constante apoyo en todo este tiempo de trabajo de la cual se aprendió nuevas cosas que servirán para mejorar nuevos trabajos y que suman conocimientos a mi carrera profesional.

A los Sres. Alan Santibáñez y Augusto Loayza por acompañarnos durante las labores realizadas en campo.

## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN

ABSTRACT

<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1. Objetivos de la investigación .....	2
1.1.1. Objetivo general .....	2
1.1.2. Objetivos específicos.....	2
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>	<b>3</b>
2.1. Características de la variedad en estudio.....	3
2.1.1. La papa variedad canchan .....	3
2.1.2. Crecimiento, desarrollo y tuberización .....	3
2.1.3. Requerimientos climáticos .....	4
2.1.4. Características agronómicas .....	4
2.1.5. Rendimiento .....	5
2.1.6. Calidad del tubérculo .....	5
2.1.7. Demanda de agua .....	6
2.2. Requerimientos nutricionales .....	7
2.2.1. Demanda de nutrientes .....	7
2.2.2. Suelo.....	10
2.3. Riego por goteo .....	11
2.3.1. Clima .....	12
2.3.2. Lamina de riego.....	13
2.3.3. Volumen de agua disponible .....	13
2.3.4. Tiempo de riego .....	14
2.3.5. Frecuencia de riego .....	14
2.3.6. Coeficiente de uniformidad.....	14
2.4. Riego subterráneo.....	16
2.4.1. Componentes requeridos del sistema.....	17
2.5. Riego deficitario .....	21
2.5.1. Riego deficitario de secado parcial de la zona de raíces (SPR) .....	21
2.5.2. Factor hídrico en la papa .....	22
2.6. Fertirriego.....	24

2.6.1. Ventajas .....	24
2.6.2. Desventajas.....	25
2.6.3. Método de inyección Venturi en un sistema de riego por goteo .....	25
2.6.4. Dosificación de fertilizantes en la fertirrigación .....	25
2.6.5. Características de los fertilizantes para el fertirriego .....	26
2.7. Disponibilidad de agua en el suelo.....	26
2.7.1. Capacidad de campo.....	27
2.7.2. Punto de marchitez permanente .....	27
2.8. Medición de humedad en el suelo .....	27
2.8.1. Método gravimétrico .....	27
2.8.2. Método dieléctrico.....	28
<b>III. METODOLOGÍA .....</b>	<b>29</b>
3.1. Lugar de estudio .....	29
3.1.1. Características del suelo .....	30
3.1.2. Características del agua.....	30
3.2. Materiales del experimento .....	31
3.3. Metodología de la investigación.....	33
3.3.1. Fases de campo.....	33
3.3.2. Diseño y disposición experimental .....	35
3.3.3. Tipos de riego.....	37
3.3.4. Diseño e instalación del sistema de riego.....	38
3.3.5. Diseño del programa de fertilización y definición de las fuentes de fertilizantes .....	39
3.3.6. Toma de datos meteorológicos.....	42
3.3.7. Cálculo y aplicación de riego .....	43
3.4. Evaluación de las variables en el cultivo.....	46
3.4.1. Durante el crecimiento y desarrollo .....	46
3.4.2. Durante la cosecha .....	46
3.4.3. Durante Post cosecha .....	47
3.5. Tratamiento estadístico.....	49
3.5.1. Diseño estadístico.....	49
3.5.2. Análisis estadístico .....	49
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>50</b>
4.1. Crecimiento y desarrollo .....	50

4.1.2. Porcentaje de emergencia.....	50
4.1.3. Altura de plantas.....	50
4.2. Cosecha .....	51
4.2.1. Rendimiento total .....	51
4.2.2. Rendimiento comercial .....	53
4.2.3. Número de tubérculos totales por tratamiento .....	57
4.2.4. Número de tubérculos comerciales y no comerciales .....	59
4.3. Post cosecha .....	62
4.3.2. Porcentaje de materia seca de tubérculos .....	62
4.3.3. Porcentaje de proteínas de tubérculos .....	65
4.4. Otros resultados .....	67
4.4.1. Cantidad de agua aplicada.....	67
4.4.2. Eficiencia de uso de agua .....	69
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>71</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>73</b>
<b>VII. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>74</b>
<b>VIII. ANEXOS.....</b>	<b>81</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Características físicas – organolépticas de la papa variedad canchan.....	5
Tabla 2: Extracción relativa de nutrientes en el cultivo de papa para diferentes rendimientos, según diferentes autores.....	8
Tabla 3: Remoción de potasio en 7,6 kg/t de tubérculo .....	10
Tabla 4: Valores de Cu según merriam y keller .....	15
Tabla 5 : Datos climáticos de la estación Davis 2019 UNALM .....	30
Tabla 6: Análisis de suelo inicial.....	30
Tabla 7: Capacidad del suelo para retener agua .....	30
Tabla 8: Análisis de agua perteneciente al reservorio de la FIA .....	31
Tabla 9: Especificaciones de la siembra.....	34
Tabla 10: Descripción y código de los tratamientos. ....	35
Tabla 11: Absorción de algunos nutrientes por el cultivo de papa, según diferentes autores y diferente nivel de rendimiento. ....	40
Tabla 12: Fuentes de fertilizantes.....	41
Tabla 13: Coeficientes Kp del tanque clase A (caso A, suelo con vegetación) .....	43
Tabla 14: Coeficiente de cultivo (Kc) .....	44
Tabla 15: Descripción de calibres de tubérculos de papa.....	47
Tabla 16: Escalas de contenido de materia seca de tubérculos .....	48
Tabla 17: Aporte nutricional de papa por cada 100 gr .....	48
Tabla 18: Efecto del riego parcial de la zona de raíces en la altura de plantas registrado durante su desarrollo.....	50
Tabla 19: Análisis de varianza (ANOVA) del rendimiento total expresado en kg/ha. ....	52
Tabla 20: Efecto del riego parcial de la zona de raíces en el rendimiento total de las plantas con diferentes tratamientos a los 120 días después de la siembra.....	53
Tabla 21: Análisis de varianza (ANOVA) del rendimiento comercial expresado en kg/ha .....	55
Tabla 22: análisis de varianza (ANOVA) del rendimiento comercial expresado en porcentaje.....	55
Tabla 23: Efecto del riego parcial de la zona de raíces en el rendimiento comercial expresado en kg/ha .....	56

Tabla 24: Efecto del riego parcial de la zona de raíces en el rendimiento comercial expresado en porcentaje.....	56
Tabla 25: Análisis de varianza (ANOVA) del número de tubérculos totales por tratamiento .....	58
Tabla 26: Efecto del riego parcial de la zona de raíces en el número de tubérculos totales expresado en miles ha <sup>-1</sup> .....	58
Tabla 27: Análisis de varianza (ANOVA) del número de tubérculos comerciales.....	61
Tabla 28: Análisis de varianza (ANOVA) del número de tubérculos no comerciales.....	61
Tabla 29: Efecto del riego parcial de la zona de raíces en el número de tubérculos comerciales expresado en miles ha <sup>-1</sup> .....	61
Tabla 30: Efecto del riego parcial de la zona de raíces en el número de tubérculos no comerciales expresado en miles ha <sup>-1</sup> .....	62
Tabla 31: Análisis de varianza (ANOVA) del porcentaje de materia seca .....	64
Tabla 32: Efecto del riego parcial de la zona de raíces en la cantidad de materia seca de los tubérculos expresado en porcentaje .....	64
Tabla 33: Análisis de varianza (ANOVA) del porcentaje de proteínas .....	66
Tabla 34 : Efecto del riego parcial de la zona de raíces en la cantidad de proteínas de los tubérculos expresado en porcentaje .....	66
Tabla 35: Número de riegos por tratamiento.....	67
Tabla 36: Volumen y láminas de agua aplicadas en cada tratamiento durante las semanas de campaña.....	68
Tabla 37: Análisis de varianza (ANOVA) de la eficiencia de uso de agua.....	70
Tabla 38: Efecto del riego parcial de la zona de raíces en la eficiencia de uso de agua para cada tratamiento expresado en kg.m <sup>-3</sup> .....	70

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Fases fenológicas de la papa .....	4
Figura 2: Remoción de nutrientes principales en papa.....	8
Figura 3: Disposición para el cálculo del coeficiente de uniformidad. ....	15
Figura 4: Organización de un sistema sdi con los componentes mínimos requeridos. ....	21
Figura 5: Vista en perfil de la alternancia de aplicación de agua a la planta.....	22
Figura 6: Ubicación de la parcela experimental en la UNALM.....	29
Figura 7: Laboreo mecanizado del terreno .....	33
Figura 8: Siembra de semillas .....	34
Figura 9: Prueba de coeficiente de uniformidad en campo .....	35
Figura 10: Disposición de las unidades experimentales.....	36
Figura 11: Disposición de los tipos de laterales de riego .....	37
Figura 12: Disposición del sistema de riego.....	38
Figura 13: Sistema de inyección tipo Venturi .....	39
Figura 14: Tanque evaporímetro clase a .....	42
Figura 15: Dos casos de localización del tanque de evaporación y sus alrededores .....	42
Figura 16: Tratamiento de riego .....	44
Figura 17: Vista en planta de la disposición en paralelo y la aplicación del riego deficitario con secado parcial de raíces .....	45
Figura 18: Variación de la altura de planta para los tres tratamientos en diez fechas de evaluación.....	51
Figura 19: Rendimiento total para cada tratamiento en kg/ha.....	52
Figura 20: Rendimiento comercial y no comercial para cada tratamiento en kg/ha. ....	54
Figura 21: Rendimiento comercial y no comercial para cada tratamiento en porcentaje....	54
Figura 22: Número de tubérculos totales para cada tratamiento en miles ha <sup>-1</sup> .....	57
Figura 23: Número de tubérculos comerciales y no comerciales para cada tratamiento en miles ha <sup>-1</sup> .....	59
Figura 24: Número de tubérculos comerciales clasificados por su calibre para cada tratamiento expresado en porcentaje .....	60
Figura 25: Número de tubérculos no comerciales clasificados por su calibre para cada tratamiento expresado en porcentaje .....	60
Figura 26: Porcentaje de materia seca en los tubérculos de cada tratamiento.....	63

Figura 27: Porcentaje de proteínas en los tubérculos de cada tratamiento.....	65
Figura 28: Eficiencia de uso de agua expresado en $\text{kg/m}^3$ .....	69

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Datos meteorológicos mensuales (2019) .....	81
Anexo 2: Actividades realizadas antes de la siembra.....	81
Anexo 3: Actividades realizadas durante la siembra.....	87
Anexo 4: Labores realizadas durante el desarrollo de la investigación.....	90
Anexo 5: Actividades realizadas durante la cosecha.....	94
Anexo 6: Actividades realizadas en post cosecha .....	96
Anexo 7: Análisis físico químico del suelo (inicial) .....	99
Anexo 8: Análisis físico químico de agua .....	100
Anexo 9: Análisis físico químico del suelo (final) .....	101

## LISTA DE ABREVIATURAS

ANA	Autoridad Nacional del Agua
ANOVA	Análisis de varianza
ABA	Acido abscísico
CC	Capacidad de campo
CIP	Centro Internacional de la Papa
CU	Coefficiente de uniformidad
D.C.A.	Diseño completamente al azar
ETc	Evapotranspiración de cultivo
ETo	Evapotranspiración de cultivo referencial
EUA	Eficiencia de uso de agua
FAO	Food and Agriculture Organization
FIA	Facultad de Ingeniería Agrícola
INIA	Instituto Nacional de Innovación Agraria
Kc	Coefficiente de cultivo
LASMAF	Laboratorio de Agua, Suelo, Medio Ambiente y Fertirriego
PMP	Punto de marchitez permanente
Ph	Potencial de hidrogeno
RAS	Sodium adsorption ratio
SPR	Secado parcial de raíces
SDI	Riego por goteo subsuperficial
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 principal de la investigación fue evaluar el efecto del riego por goteo subterráneo deficitario por secado parcial de raíces (SPR) en el cultivo de papa variedad canchan determinando rendimiento, tamaño, calidad y cantidad de tubérculos obtenidos en condiciones de estrés hídrico trabajando al 50 % ETc y 100 % ETc, comparándolo con un tipo de riego normal testigo al 100% ETc ambos con un tipo de disposición de lateral de riego (paralelo). El plan nutricional fue estimado a partir de un rendimiento proyectado (40 t / ha) en función a la absorción de nutrientes por el cultivo, siendo la dosis aplicada por fertirriego: 160 kg/ha N, 80 kg/ha P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 200 kg/ha K<sub>2</sub>O. El ensayo se basó en un diseño completamente al azar; obteniendo como resultado tres tratamientos (T-1, RP1 Y RP2) y realizando 4 repeticiones por tratamiento. El SPR es una técnica de riego por la cual una zona del sistema radicular permanece húmeda mientras la otra zona es sometida a déficit hídrico. En la investigación, la fase experimental se realizó en dos periodos vegetativos del cultivo: el primero, entre los días 45-80 después de la siembra (durante la floración) y el segundo, entre los días 80-120 después de la siembra (durante la madurez). Las características evaluadas inicialmente fueron la emergencia y la altura de las plantas. Con los tubérculos cosechados se evaluó el rendimiento total y comercial, así como el número y tamaño de tubérculos. En post cosecha se determinó el porcentaje de materia seca, el porcentaje de proteínas presente en los tubérculos, el consumo de agua por el cultivo para cada tratamiento y también se evaluó la eficiencia de uso de agua. El análisis estadístico mostró que los resultados influenciados por el tipo de riego son significativos, y los efectos influyen sobre el rendimiento total, calidad y consumo de agua. Los rendimientos totales alcanzados fueron de 33.6 t/ha ,27.1 t/ha y 24.5 t/ha para T-1, RP1 y RP2 respectivamente. El método SPR también influye significativamente en el consumo de agua consiguiendo ahorros del recurso hídrico de 45% y 67% para los tratamientos RP1 y RP2 con respecto al tratamiento T-1. En la calidad de tubérculos se obtuvieron resultados con rangos de calidad considerados buenos.

**Palabras clave:** riego SPR, variedad canchan, fertirriego, rendimiento comercial, calidad química.

## ABSTRACT

The trial was conducted in the experimental plot of the Faculty of Agricultural Engineering of UNALM. The main objective of the research was to evaluate the effect of deficit underground irrigation due to partial drying of roots (SPR) in the cultivation of canchan variety, determining the yield, size, quality and quantity of tubers affected in water stress conditions. at 50% ET<sub>c</sub> and 100% ET<sub>c</sub>, comparing it with a 100% ET<sub>c</sub> control both with a type of irrigation side arrangement. The nutritional plan was estimated from a projected yield (60 t / ha) based on the absorption of nutrients by the crop, the dose being applied by fertigation: 160 kg / ha N, 80 kg / ha P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 200 kg / has K<sub>2</sub>O. The trial was based on a completely random design; obtaining as a result three treatments (T-1, RP1 and RP2). The RPD is an irrigation technique by which one zone of the root system remains wet while the other area is once a water deficit. In the research, the experimental phase was carried out in two periods: the first, between days 40-80 after sowing (during flowering) and the second, between days 80-120 after sowing (during maturity). The characteristics evaluated were the emergency and the height of the plants. With the harvested tubers the total and commercial performance was evaluated, as well as the number and size of tubers. In post-harvest, the percentage of dry matter and the percentage of proteins present in the tubercles were determined. Statistical analysis showed that the results influenced by the type of irrigation are significant, and the effects influence the total yield, quality and water consumption. being the type of irrigation the one that had the greatest impact on the total yield. The total yields reached were 33.6 t / ha, 27.1t / ha and 24.5 t / ha for T-1, RP1 and RP2 respectively. It also significantly influences water consumption, achieving water resource savings of 45% and 67% for RP1 and RP2 treatments respectively when the SPR method is applied. In the quality of tubercles results are obtained with quality ranges considered good.

**Keywords:** SPR irrigation, canchan variety, fertigation, commercial performance, physical and chemical quality

## I. INTRODUCCIÓN

La papa es uno de los cuatro cultivos alimenticios más importantes del mundo junto al trigo, arroz y maíz, y el segundo más importante de la agricultura del Perú, llegando a representar el 10,7 % del Valor Bruto de la Producción (VBP) del subsector agrícola, siendo el sustento de más de 710 mil familias. En el Perú, el consumo per cápita se incrementó hasta 89 kilos anuales en el 2018, esperando tener un consumo de 100 kilos per cápita anual para el 2021. En la actualidad Perú es el primer productor de papa de América del Sur y el segundo de América Latina. Sin embargo, el rendimiento de producción es inferior en 26% al promedio mundial, siendo la media nacional de 14.7 t/ha, superado por países vecinos, que oscilan entre 18.4 t/ha (Ecuador), 20 t/ha (Colombia), 27.9 t/ha (Brasil) y 21.6 t/ha (Chile). (MINAGRI, 2017).

Debido al bajo rendimiento de la producción, respecto a otros países, y a su importancia económica y social para el Perú, existe la necesidad imperante de utilizar alternativas para incrementar la producción, teniendo entre otras, una aplicación adecuada y eficiente del recurso hídrico durante la producción. Para ello es necesario introducir nuevas tecnologías de irrigación como lo es el riego por goteo deficitario por secado parcial de raíces.

En ese contexto, en el presente trabajo de investigación se aplicó la tecnología de estrés hídrico mediante el riego por goteo de secado parcial de raíces (SPR) esto con el objetivo de optimizar el consumo de agua. Además, se buscó mejorar la producción, mediante una dosis de fertilización basada en la extracción y absorción de nutrientes, estimadas para un rendimiento esperado de 40 t/ha. Con los conocimientos generados, se espera contribuir con un paquete de tecnología probada, que el agricultor tome como referencia para mejorar su productividad, ya que producirá más en menos área, usando racionalmente el agua y los fertilizantes.

## **1.1. Objetivos de la investigación**

### **1.1.1. Objetivo general**

Evaluar los efectos del riego parcial de la zona de raíces en el cultivo de papa canchan (*Solanum Tuberosum*) mediante el sistema de riego por goteo subterráneo determinando los consumos de agua, calidad y rendimiento del cultivo.

### **1.1.2. Objetivos específicos**

- a. Evaluar el efecto del riego por goteo subterráneo parcial de la zona de raíces (50 y 100 % ETc), en el rendimiento, tamaño, cantidad y calidad de los tubérculos por tratamiento en comparación con el riego por goteo subterráneo testigo (100% ETc).
- b. Comparar el consumo de agua en el cultivo de papa canchan usando el riego parcial de la zona de raíces (50 y 100 % ETc) con el riego por goteo subterráneo testigo (100% ETc).

## **II. REVISIÓN DE LITERATURA**

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

#### **2.1.1. La papa variedad canchan**

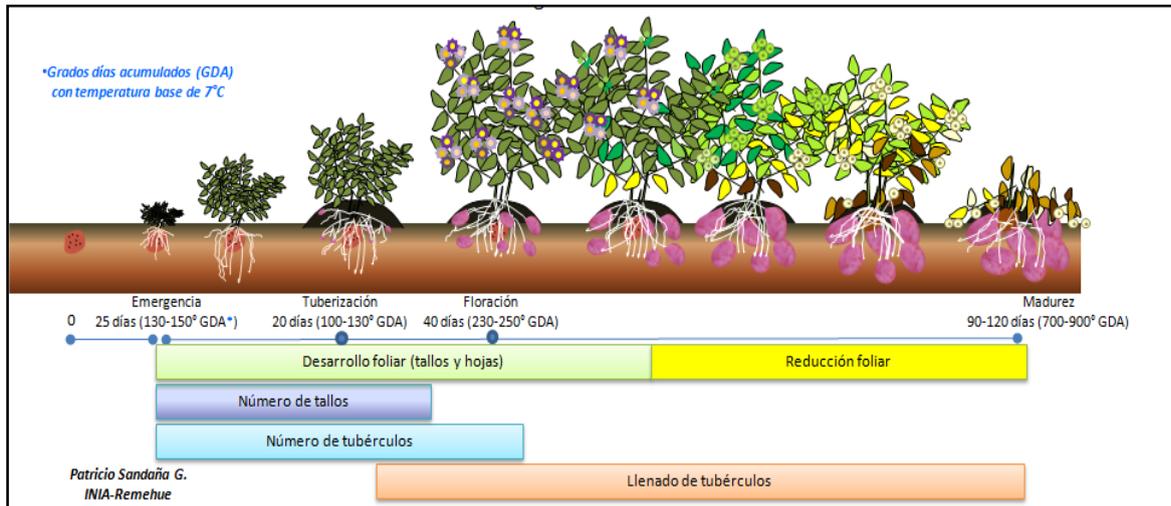
INIA (2012), mencionan que la variedad Canchan es el resultado del trabajo conjunto realizado por el Centro Internacional de la Papa (CIP) y el Instituto Nacional de Innovación Agraria - INIA. El CIP genera clones avanzados en su programa de mejoramiento genético que luego son enviados a los programas nacionales de los países en vías de desarrollo que lo solicitan para evaluarlos en ensayos locales y seleccionar nuevas variedades que tengan resistencias o tolerancias a los factores adversos que atacan al cultivo en sus zonas, así el INIA, después de realizar múltiples trabajos experimentales con esos clones, bajo condiciones de campo en diferentes zonas del país, identificó a la variedad Canchan como un cultivar que fue oficialmente entregado a los agricultores en 1990 como una variedad comercial por sus atributos de precocidad, alto potencial de rendimiento, tubérculos de color y sobre todo su tolerancia al tizón tardío o rancho (*Phytophthora infestans*), enfermedad que ocasiona la mayor cantidad de pérdidas en el cultivo de la papa.

#### **2.1.2. Crecimiento, desarrollo y tuberización**

Núñez (2016), indica que el conocimiento de la fenología de las plantas de papa y de la asimilación de nutrientes durante el crecimiento y desarrollo, es de importancia clave para determinar los sistemas de fertilización. La papa es un cultivo que requiere asimilar grandes cantidades de nutrientes en un breve período de tiempo, ya que su sistema radicular es fibroso, ramificado, poco desarrollado y superficial, lo que limita la intercepción radical de los nutrientes. Presenta un crecimiento acelerado de su follaje que se expande libremente y un período relativamente corto de engrosamiento de los tubérculos, como órgano de reserva.

Añade también que la papa requiere suelos bien aireados, drenados, profundos, con buen nivel de materia orgánica, pH entre 5 y 7. Es un cultivo moderadamente sensible a la salinidad y relativamente sensible al déficit de agua, especialmente durante el período de

formación de estolones y el inicio de tuberización. Entre los factores que limitan la producción de papa, están la temperatura, duración del día, intensidad de luz y condiciones físicas del suelo, niveles de fertilización, los cuales son responsables, en gran proporción, de las variaciones en los rendimientos.



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

FUENTE: INIA-Remehue, 2014.

### 2.1.3. Requerimientos climáticos

ANA (2000), hace referencia a que este cultivo se adapta a condiciones de sierra media, 2000 a 3500 metros de altitud y en costa central. El tubérculo en latencia inicia su brotación y emergencia en forma lenta a 5 °C y se maximiza a los 14- 16 °C. Esto es importante al considerar la época de plantación ya que esta se debe iniciar cuando la temperatura del suelo haya alcanzado por lo menos 7-8 °C. La respuesta fotoquímica a la temperatura tiene estrecha relación con la intensidad lumínica. Así, cuando esta última es alta (sobre 50.000 lux) la fotosíntesis neta se optimiza en altas temperaturas.

### 2.1.4. Características agronómicas

- Vigor de la planta: Bueno
- Altura media: 90 cm
- Número de tallos/planta: 4 - 6
- Color del tallo: Verde claro
- Tamaño de hoja: Mediano

- Color de hoja: Verde claro
- Color de la flor: Lila; escasa floración
- Bayas: Escasas
- Raíz: Buen desarrollo, con estolones cortos
- Período vegetativo: 120 días
- Aporque: a los 45 días después de la siembra

### 2.1.5. Rendimiento

INIA (2012), menciona que en condiciones óptimas es posible llegar a rendimientos de Hasta 1,5kg por planta y de 30 a 50t/ha en condiciones experimentales y de incidencia de rancho. En campos de agricultores, se han obtenido rendimientos de hasta 30 t/ha.

### 2.1.6. Calidad del tubérculo

Yara (2017), sostienen que la calidad del tubérculo, su contenido de materia seca, contenido de almidón, desórdenes internos o cualidades de cocción, es muy importante para el consumidor final. El nitrógeno estimula el crecimiento de los tubérculos y maximiza la producción de almidón. Fósforo mantiene el crecimiento de hojas y tubérculos e influye en el contenido y la calidad de almidón. Potasio maximiza la absorción de agua y la producción de materia seca, y puede reducir los moretones. El calcio reduce la incidencia de manchas internas marrones y negras, magnesio asegura una capacidad fotosintética fuerte y crecimiento sano, el boro reduce manchas marrones y ennegrecimiento enzimático.

**Tabla 1: Características físicas – organolépticas de la papa variedad canchan**

Variedad	Forma	Piel	Pulpa	Características físicas y uso sugerido
Canchan	Redondeada	Piel de color rojo, ojos superficiales.	Blanca	22% de materia seca , gravedad específica de 1,115. Uso sugerido para frituras

FUENTE: INDECOPI, 2010

#### a. Materia seca

Barreto (1976), explica que este concepto hace referencia a la cantidad de materia que queda como residuo después de una evaporación entre los 103 °C a 105 °C. La

materia seca que permanece en el alimento posterior a la remoción del agua se conoce como sólidos totales.

El contenido de sólidos en la papa es una de las características más importantes para el procesamiento industrial ya que en la mayoría de los procesos, altos contenidos son sinónimo de alto rendimiento. El contenido de sólidos totales de la papa se suele correlacionar con la gravedad específica. Los sólidos totales están relacionados principalmente con un porcentaje de almidón alto.

Indica también que una papa con alto contenido de materia seca resulta con una apariencia más harinosa después de cocida. El rendimiento de las papas que se industrializan para convertirlas en: harina, puré en polvo, chips u hojuelas o papas fritas francesas es tanto más elevado cuanto mayor sea el porcentaje de contenido de materia seca.

$$\text{Materia seca (\%)} = \frac{P_1}{P} \times 100$$

P1: Peso de la muestra después de la desecación.

P: Peso de la muestra antes de la desecación.

#### **b. Cantidad de proteínas**

Barreto (1976), menciona que las proteínas constituyen el segundo componente de la papa, con 3 a 15% de la materia seca (estos se incrementan con la madurez del tubérculo). El valor de la proteína no se afecta significativamente al cocinar la papa. La mayoría de las proteínas se ubican en el córtex (zona inmediata debajo de la piel) y la médula (zona central). Como fracciones proteicas más abundantes se destacan las albúminas (49%) y globulinas (26%) seguidas de prolaminas (4.3%) y glutelinas (8.3%).

#### **2.1.7. Demanda de agua**

Cortez (1992), explica que en el país el cultivo de la papa prospera satisfactoriamente en lugares donde hay abundancia de lluvia o disponibilidad de agua para riego, ya que el sistema radical efectivo de la papa se encuentra entre los 0.20 a 0.60 m de profundidad necesitando de 500 a 700 mm de agua durante su período vegetativo. En época seca el cultivo demanda

la aplicación de riegos frecuentes y ligeros, para tratar de mantener el suelo a capacidad de campo, debido a que los niveles bajos de humedad afectan negativamente el rendimiento, tamaño y calidad de la papa. Los cambios bruscos en el contenido de humedad en el suelo causan deformaciones en los tubérculos y mayor ataque de larvas de polillas de la papa. Los excesos de humedad favorecen la diseminación de bacterias (*Ralstonia solanacearum*), hongos (*Phytophthora infestans*), recomendándose mantener el agotamiento permisible entre el 30 al 35% del agua útil en el suelo. Menciona también que la papa es relativamente sensible a los déficits de agua, por lo que está no debe agotarse más de un 30 a 35% del total disponible, especialmente durante la formación y crecimiento de los tubérculos. Se recomienda el uso de tensiómetros para determinar el momento que debe regarse; calibrando estos según el tipo de suelo y la localidad.

## **2.2. Requerimientos nutricionales**

### **2.2.1. Demanda de nutrientes**

Pumisacho (2002), explica que el grado de fertilidad de un suelo se mide normalmente en función de la disponibilidad de nutrientes para las plantas. Sin embargo, un suelo con alta cantidad de nutrientes no es necesariamente fértil, ya que diversos factores, como la compactación, mal drenaje, sequía, enfermedades o insectos pueden limitar la disponibilidad de nutrientes. Por ello, el concepto de fertilidad debería incluir criterios químicos, físicos y biológicos.

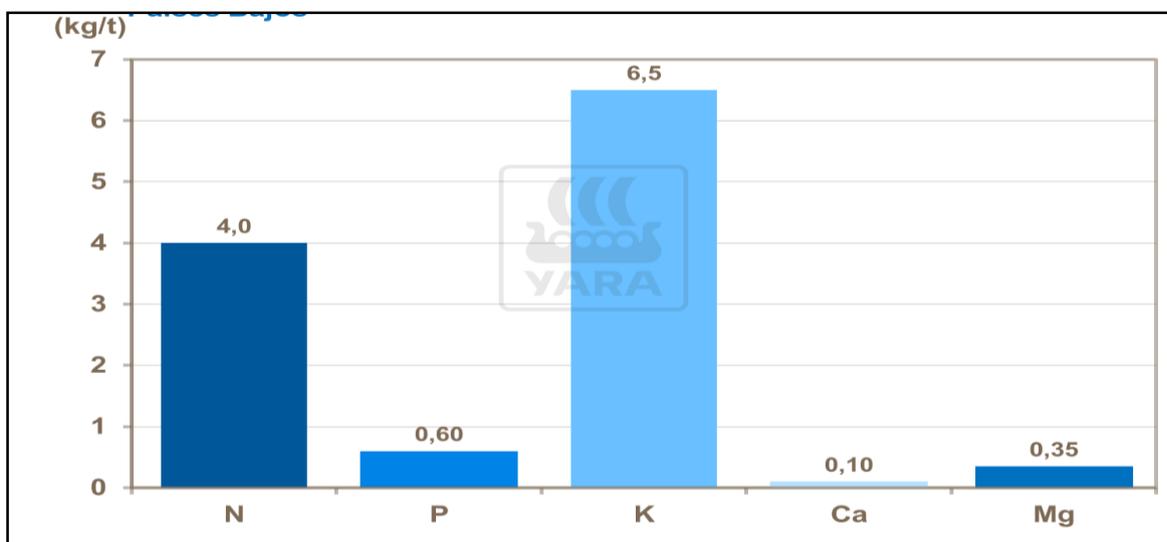
Agrega también que la papa es una especie de alta respuesta a la aplicación de fertilizantes debido a sus características de baja densidad radicular, lo que implica una baja capacidad de exploración del suelo. Esta característica del cultivo determina que éste responda de manera importante a dosis altas de elementos minerales aplicados al suelo. La mayor demanda nutricional del cultivo de papa se presenta a partir del inicio de la tuberización y crecimiento del follaje. La cantidad de nutrientes necesaria a aplicar depende en gran parte del rendimiento al que esperado del cultivo. Las cantidades de nutrientes extraídas por el cultivo de papa según diferentes autores con rendimientos moderados a altos se muestran en la Tabla 2.

**Tabla 2: Extracción relativa de nutrientes en el cultivo de papa para diferentes rendimientos, según diferentes autores**

Rendimiento	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	S	Referencia
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, 2005
63	288	128	396	-	35	26	Sierra <i>et al</i> , 2002
94	300	80	480	-	52	-	Sierra <i>et al</i> , 2002

FUENTE: Campos, 2014.

De la Tabla 2 se nota que existe una tendencia general, que a mayor rendimiento existe un moderado incremento de la extracción de nutrientes.



**Figura 2: Remoción de nutrientes principales en papa**

FUENTE: Beukema y van der zaag, 1990

- **Nitrógeno**

Campos (2014), afirma que Existen tres formas básicas de fertilizantes nitrogenados.

- N-Urea: una molécula eléctricamente neutra– CO (NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>

- ii. N- Amoniacal: que lleva una carga eléctrica positiva– catión  $\text{NH}_4^+$
- iii. 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.

Kafkafi y Tarchitzky (2012), señalan que 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 y que 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.

- **Fósforo**

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

El Instituto nacional de alimentos vegetales (1995), señala que el fósforo actúa en la fotosíntesis, respiración, almacenamiento y transferencia de energía, división celular, alargamiento celular y muchos otros procesos de la planta. Promueve la formación temprana y el crecimiento de las raíces, mejora la calidad de numerosas frutas, verduras y cereales; además el fósforo ayuda a que las plántulas y las raíces se desarrollen más rápidamente, permite a la planta soportar inviernos rigurosos, aumenta la eficiencia de uso de agua, acelera la madurez la cual es importante para la cosecha y para la calidad del cultivo; también contribuye a aumentar la resistencia a las enfermedades en algunas plantas; por otro lado señala que la deficiencia de este elemento se manifiesta con hojas, ramas y tallos purpúreas; madurez y desarrollo

lento; pequeños tallos delgados y bajo rendimientos.

Campos (2014), afirma que el fósforo es un elemento crítico durante el periodo inicial de desarrollo de la planta y de tuberización. Una deficiencia de fósforo retarda el crecimiento apical, dando lugar a plantas pequeñas y rígidas. Se reduce la formación de almidón en los tubérculos, contribuyendo a la formación de manchas necróticas de color castaño-herrumbre, distribuidas en forma dispersa en toda la pulpa.

- **Potasio**

Ramos (1991), afirma que el contenido aproximado de potasio en la corteza terrestre es del orden 2.3 %. La mayor parte del contenido medio de potasio en la corteza terrestre está unido a minerales primarios o está presente en las arcillas que conforman la fracción mineral del suelo con tamaños de partículas inferiores a 2  $\mu\text{m}$ . Por esta razón los suelos ricos en arcilla son también generalmente ricos en potasio.

Núñez (2016), indica que a pesar de que la mayoría de los suelos contenían miles de kg de potasio (a menudo más de 20 t ha<sup>-1</sup>), solo una pequeña cantidad (menos del 2 %) está disponible para las plantas durante el ciclo de crecimiento.

**Tabla 3: Remoción de potasio en 7,6 kg/t de tubérculo**

<b>Rendimientos potenciales (t/ha)</b>	<b>Rendimiento de potasio (Kg/ha)</b>
50	380
60	460
70	530
80	600
90	680

FUENTE: Buys, 1987.

### **2.2.2. Suelo**

INTAGRI (2017), resalta que la papa puede crecer en la mayoría de los suelos, aunque los mejores suelos son los francos, franco-arenosos, franco-limosos y franco-arcillosos, con buen drenaje y ventilación, que además facilitan la cosecha. Sin embargo, se pueden alcanzar altas producciones en suelos con textura arcillosa al aplicar materia orgánica y regulando las

frecuencias de riego. Suelos con una profundidad efectiva mayor 50 cm, son necesarios para permitir el libre crecimiento de estolones y tubérculos de la planta. El cultivo tiene un adecuado desarrollo en un rango de pH de 5.0 a 7.0. Los suelos salinos, alcalinos o compactados provocan trastornos en el desarrollo y producción de la papa. Es recomendable tener suelos con una densidad aparente de 1.20 gr/cm<sup>3</sup>, contenido de materia orgánica mayor a 3.5 % y una conductividad eléctrica menos a 4 dS/m.

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

Medina (2000), indica que el riego por goteo es un medio artificial para poder aplicar el agua directamente a la zona radicular de los cultivos, para que de esta forma pueda ser utilizada al máximo.

Razuri (1988), menciona que el riego por goteo es la aplicación lenta de agua, en forma de gotas con pequeños caudales a través de dispositivos localizados (emisores) a lo largo de tuberías.

Shock y Welch (2013), sostienen que 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. Añaden que El riego por goteo también permite maximizar el uso de fertilizantes debido a que el agua está direccionada solamente a la zona radicular, ya que 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.

García y Briones (2007), Agregan que también el riego por goteo es un sistema que permite dotar de agua a la planta en forma individual con estas condiciones se puede obtener una baja tensión y una alta frecuencia los cuales proporcionan una óptima humedad en el suelo.

### 2.3.1. Clima

Conocer esta información es de suma importancia para determinar los requerimientos hídricos del cultivo, para ello es necesario contar con datos meteorológicos de alguna estación cercana y poder calcular la evapotranspiración potencial (ET<sub>o</sub>). Otra forma de determinar esa variable es utilizando el tanque evaporímetro clase A.

- **Evapotranspiración del cultivo de referencia (ET<sub>o</sub>)**

Es la evapotranspiración de una superficie de referencia sin restricciones de agua, se conoce como evapotranspiración del cultivo de referencia y se denomina ET<sub>o</sub>. La superficie de referencia corresponde a una pequeña área con cubierta de pasto con características específicas.

Huachos (2009), señala que los factores que afectan a la ET<sub>o</sub> son los variables climatológicas, por ello que la ET<sub>o</sub> es considerada también un parámetro climático. Considerando lo anteriormente mencionado la ET<sub>o</sub> se puede representar como la capacidad de evaporación que caracteriza a la atmosfera de una localidad para un tiempo específico.

- **Método del tanque evaporímetro para determinar la ET<sub>o</sub>.**

Huachos (2009), indica que el tanque evaporímetro Clase A proporciona una medida del efecto integrado de la radiación, viento, temperatura y humedad mediante el proceso de evaporación de una superficie abierta de agua. Teniendo en consideración que el tanque evaporímetro se adecua de manera similar a los mismos factores que afectan la transpiración del cultivo, existen varios factores que producen diferencias significativas en la pérdida de agua de una superficie libre y de una superficie cultivada.

El uso correcto de las medidas de evaporación del tanque para estimar la ET<sub>o</sub> puede ser confiable a pesar de la diferencia de la superficie del tanque evaporímetro y de la evapotranspiración de una superficie cultivada.

Considerando lo mencionado anteriormente se presenta una ecuación para hallar la

evapotranspiración de referencia a partir de la evaporación del tanque y el coeficiente del tanque definido por una serie de variables climatológicas.

$$E_{To} = K_p * E_{tan}$$

Donde:

$E_{To}$ : Evapotranspiración de referencia (mm/día)

$K_p$ : Coeficiente del tanque evaporímetro

$E_{tan}$ : Evaporación del tanque evaporímetro (mm/día)

### 2.3.2. Lamina de riego

Losada (2009), definen este concepto como la cantidad de agua que se aplica a una extensión unitaria de cultivo en el momento del riego, donde el valor del aporte se expresa comúnmente en 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. Está representada por la cantidad de agua contenida en una profundidad de suelo. La expresión para el cálculo de la lámina neta de agua es la siguiente:

$$L_n = \frac{W_{gcc} - W_g}{100} \times d_a \times z$$

Donde:

$L_n$  : lámina neta de riego (mm)

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

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

$d_a$  : densidad aparente (gr/cm<sup>3</sup>)

$z$  : profundidad de suelo (cm)

### 2.3.3. Volumen de agua disponible

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

$$V = A \times L_r$$

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)

#### **2.3.4. Tiempo de riego**

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

$$Tr = \frac{V}{Q}$$

Donde:

Tr: tiempo de riego (h)

V: volumen de riego (L)

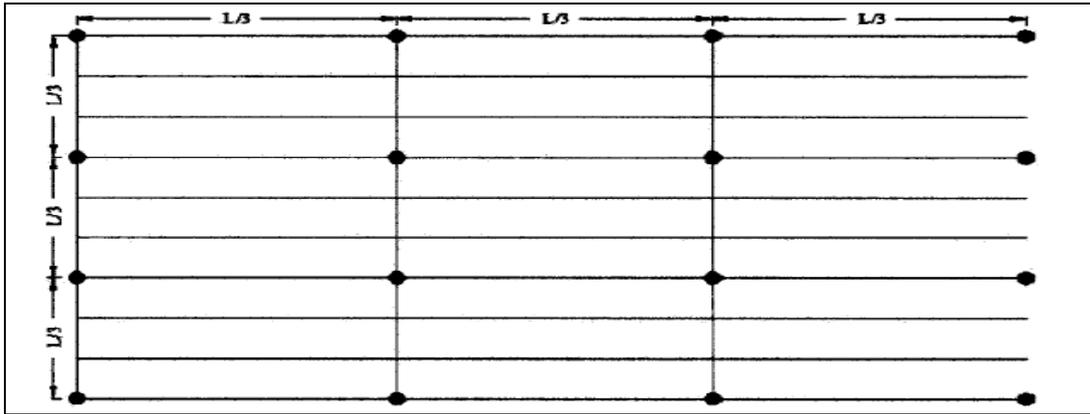
Q: caudal de riego (L/h)

#### **2.3.5. Frecuencia de riego**

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

#### **2.3.6. Coeficiente de uniformidad**

Mori (2015), explican que la uniformidad de riego se refiere al reparto más o menos uniforme del agua infiltrada y se expresa mediante un valor porcentual. Cuando este valor es 100 significa que en toda la superficie de riego se infiltra la misma cantidad de agua, cosa que nunca ocurre en la práctica. La falta de uniformidad en la distribución del agua origina un aumento de la cantidad de agua aplicada, con el fin que las plantas que reciban menos cantidad tengan lo suficiente para cubrir sus necesidades, con lo cual habrá otras plantas que reciban con exceso. Cuando la instalación está en funcionamiento hay que efectuar la comprobación del CU previsto en el diseño, para lo cual en cada sub-unidad se puede adoptar el siguiente criterio (Figura 3).



**Figura 3: Disposición para el cálculo del coeficiente de uniformidad.**

FUENTE: Elaboración propia

Dentro de la sub unidad se eligen cuatro laterales: el primero, el último y los dos intermedios, situados, respectivamente, a 1/3 del primero y a 1/3 del último. Dentro del lateral se eligen 4 plantas: la primera, la última y las dos intermedias, escogidas con el mismo criterio anterior. Se mide el caudal que reciben las 16 plantas (suministrado por todos los emisores que abastecen a esa planta) y se aplica el CU, que incluye solo factores hidráulicos:

$$Cu: Q_{25}/Q_n$$

Donde:

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

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

Los valores recomendados de CU, según Merrian y Keller (1978), lo, podemos apreciar en la Tabla 4.

**Tabla 4: Valores de Cu según Merrian y Keller**

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

FUENTE: Merrian y Keller, 1978.

#### **2.4. Riego subterráneo**

Ayars *et al.* (2015), mencionan que los sistemas de riego subterráneos se originaron como una alternativa para mitigar los problemas de drenaje y pérdidas por altas tasas de evaporación del agua de riego, cuya investigación formal inició en California, EUA, hace más de 30 años.

Montemayor *et al.* (2012), indican que ahora hay varios tipos de riego subterráneo, tecnología desarrollada para disminuir la evaporación directa del suelo y lograr el máximo control sobre el contenido de humedad en la zona más activa de la raíz. De esta forma se obtiene un ahorro considerable del agua para riego, aspecto importante porque la mayor limitante para la producción agrícola en zonas áridas es la disponibilidad de agua.

FAO (2007), señala que en el mundo el 72 % del agua disponible se destina a la agricultura mediante diversos sistemas de riego y el riego por goteo subterráneo (RGS) enfrenta varios problemas técnicos, entre los que destacan la obstrucción o taponamiento por partículas finas o materia orgánica y el daño por roedores.

Clark *et al.* (2003), argumentan que el riego por goteo subsuperficial (SDI) es un sistema de riego a baja presión que usa goteras de polietileno que están enterrados permanentemente debajo de la superficie del suelo. El agua gotea al suelo circundante a través de emisores incorporados (pequeñas aberturas especializadas). El SDI coloca el agua directamente en la zona de la raíz del cultivo. Eso puede mejorar el rendimiento debido a la alta uniformidad de aplicación y puede tener otros beneficios de producción, como reducción de malezas e incidencia de enfermedades. Los sistemas de riego por goteo subsuperficial (SDI) proporcionan agua y nutrientes directamente a la zona de la raíz de la planta a través de emisores incorporados dentro de tubos de polietileno que están enterrados debajo de la superficie del suelo. La experiencia en las grandes llanuras ha demostrado que los sistemas adecuadamente diseñados y administrados pueden mantener o potencialmente mejorar los rendimientos, al tiempo que ahorran agua, fertilizantes y energía, y son económicamente competitivos con otras alternativas de sistemas de riego. Sin embargo, para poder funcionar de manera efectiva, los sistemas SDI deben estar diseñados e instalados adecuadamente y tener una administración consistente para funcionar correctamente.

Rogers (2018), afirma que el diseño y la gestión adecuados también son esenciales. Para garantizar una larga vida útil del sistema, que es un factor importante para determinar si SDI es competitivo en costos con otros sistemas de riego. Un buen primer paso para mantener un sistema SDI rentable es la selección adecuada de los componentes del sistema.

#### **2.4.1. Componentes requeridos del sistema**

Un sistema SDI debe funcionar con los componentes que se muestran en la Figura 1, esto con el fin de ser fácil de administrar y mantener un alto rendimiento de funcionamiento.

##### **a. Bomba**

Los sistemas SDI generalmente tienen requisitos de baja presión (<35 psi). Por lo general, solo se requiere una bomba, como es el caso de la mayoría de los sistemas de riego en las Grandes Llanuras.

El tamaño de la bomba depende del caudal y de los requisitos de altura total. Los requisitos de altura total incluyen elevación de bombeo, fricción / pérdidas, cambios de elevación, presión del sistema y para este tipo de sistema se considera también la pérdida de presión a través de los filtros y otros componentes estructurales, como válvulas de control, medidor de flujo, válvulas de retención, suministro principal y secundario, línea matriz y secundarias.

##### **b. Preventor de reflujo**

Estos dispositivos evitan la contaminación del suministro de agua por el reflujo de fertilizantes, productos químicos o partículas. Se instalan entre el suministro de agua o la bomba y la inyección química.

##### **c. Medidor de flujo**

El medidor de flujo mide el volumen de agua que se mueve a través del sistema, ya sea como caudal o como volumen total acumulado. El medidor de flujo proporciona al operador información sobre el rendimiento del sistema, cómo y cuándo programar la aplicación de agua y, en algunos casos, cuánta agua hay disponible para administrar.

**d. Sistema de inyección química**

Un inyector químico inyecta con precisión desinfectantes, limpiadores de línea, fertilizantes, pesticidas, u otros productos químicos líquidos en el sistema SDI. A pesar de que se describe la ubicación del sistema de inyección química antes del sistema de filtración en la Figura 1, la ubicación real del puerto o puertos de inyección puede variar de acuerdo con el producto químico que se inyecta o el propósito de la inyección.

**e. Sistema de filtrado**

El sistema de filtrado a veces se considera la parte más importante del sistema SDI y definitivamente es un componente importante que normalmente no se necesita en otros métodos de riego en las Grandes Llanuras. El sistema de filtración elimina las partículas suspendidas del agua de riego para evitar o reducir la obstrucción del emisor. En ocasiones, se debe instalar un banco o grupo de filtros en paralelo para manejar mayores caudales totales. Además, a veces se usa una combinación de tipos de filtro para mejorar la filtración.

**f. Válvula sostenedora de presión**

Dependiendo del tipo de sistema de filtración, el sistema SDI puede necesitar estar equipado con una válvula de retención de presión aguas abajo del filtro para facilitar mayores presiones de lavado (automático o manual). Se abren o cierran automáticamente, según sea necesario, para mantener la presión establecida en su puerto de entrada.

**g. Línea principal, sub principal y colector de encabezado**

La línea principal y las tuberías secundarias son las tuberías de entrega que entregan agua desde la planta de bombeo a los colectores de cabecera que conectan los laterales de la línea de goteo. El colector de cabecera suministra agua desde el sub principal hacia los laterales y une varias tuberías en una sola unidad o zona controlable. En muchos casos, el sub principal sirve como colector de encabezado.

#### **h. Válvula de zona**

Estas válvulas se abren o cierran para controlar el flujo a las zonas apropiadas. Se pueden controlar automáticamente mediante un sistema electrónico o sistema de control neumático. Algunas veces las válvulas de zona también sirven como válvula de regulación de presión. En algunos sistemas SDI, estas válvulas de zona se operan manualmente cuando el tamaño de la zona es apreciablemente grande y los tiempos de riego establecidos se ajustan al horario de trabajo diario.

#### **i. Válvulas reguladoras de presión**

Estos componentes se usan típicamente para regular la presión aguas abajo del sistema de filtración para mantener la presión adecuada en las zonas del sistema SDI. Por lo general, la regulación se logra mediante el uso de un diafragma controlado por un resorte o un sistema neumático que reacciona a la presión entrante. Esta reacción a la presión entrante provoca un cambio en el grado de cierre en el área de salida de la válvula. Una presión de entrada más alta da como resultado más cierre, por lo tanto, más pérdida de presión en el área de salida más pequeña. El resultado es que la presión de salida permanecerá constante en el rango de presión operativa de la válvula. Por lo general, la presión de entrada debe ser 5 o más psi mayor que la presión de salida nominal para que la válvula pueda funcionar.

#### **j. Manómetros**

El sistema de filtro debe tener manómetros en los puntos de entrada y salida para indicar

El diferencial de presión de entrada / salida, particularmente para iniciar el enjuague de la unidad de filtración, ya sea que esto ocurra manual o automáticamente. Siga siempre las recomendaciones del fabricante sobre el valor diferencial de presión en el que se debe iniciar el lavado. También se recomienda tener manómetros en la entrada de la zona y en el extremo distal del sistema.

El sistema se instaló inmediatamente antes de la salida de la línea de descarga. El caudal del medidor y las lecturas de presión.

del sistema proporcionan señales al operador sobre el rendimiento del emisor y la obstrucción. Consulte la Consideración de administración de MF2590 para operar un

sistema de riego por goteo subterráneo para el uso de lecturas de manómetros para ayudar a la administración de SDI.

**k. Válvula de descarga de aire y vacío**

Estas válvulas permiten el ingreso de aire para salir de la tubería al inicio del sistema y permitir la entrada de aire para liberar el vacío al apagar el sistema. Estas válvulas reducen la posibilidad de daños por el golpe de ariete y ayudan a evitar que el suelo o el material particulado vuelva a ser absorbido por los emisores cuando se apaga el sistema SDI o cuando se drenan las tuberías. No reducen la contrapresión, solo el sifonamiento de la espalda. Todos los puntos de alta elevación del sistema SDI deben tener alivio de aire o vacío, lo que puede presentar algunos desafíos de diseño en campos con topografía ondulada.

**l. Línea de goteo**

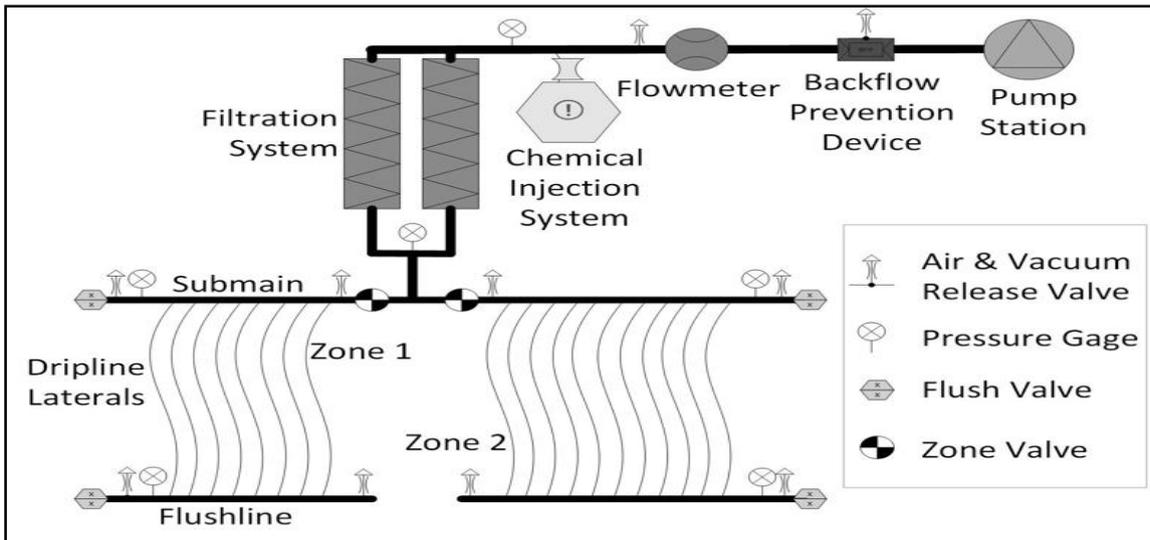
La línea de goteo es un tubo de polietileno que incluye los puntos de emisión incorporados (emisores). Las disciplinas a menudo se denominan cintas de goteo.

La selección del espacio del emisor a lo largo de la línea de goteo debe tener en cuenta las características de enraizamiento del cultivo y la capacidad del suelo para redistribuir el agua de riego aplicada.

**m. Líneas de lavado**

Las líneas de lavado son similares a los colectores de cabecera, pero están ubicadas en el extremo distal de las líneas de conducción. Tienen tres propósitos:

- Permitir que los sedimentos y contaminantes se eliminen de los laterales de la línea de goteo en un lugar centralizado.
- Asistir en la igualación de presión en los laterales de la línea de goteo
- Permita una presión positiva en ambos lados de la rotura de una línea de goteo para evitar la ingestión de tierra en la línea de goteo.



**Figura 4: Organización de un sistema sdi con los componentes mínimos requeridos.**

FUENTE: Rogers y Lamm (2018)

## 2.5. Riego deficitario

Sánchez y Torrecillas (1995), afirman que, aprovechando la tecnología existente en el riego, principalmente en riego localizado, se está trabajando en busca de la posibilidad de ajustar los aportes de agua de riego a sus estrictas necesidades, ahorrando así el exceso y evitando un consumo consuntivo. Ante ello surge la necesidad de utilizar técnicas de riego como es el riego deficitario, siendo capaces de reducir el agua aplicada con el mínimo impacto posible sobre la producción, toman una especial relevancia en su estudio.

### 2.5.1. Riego deficitario de secado parcial de la zona de raíces (SPR)

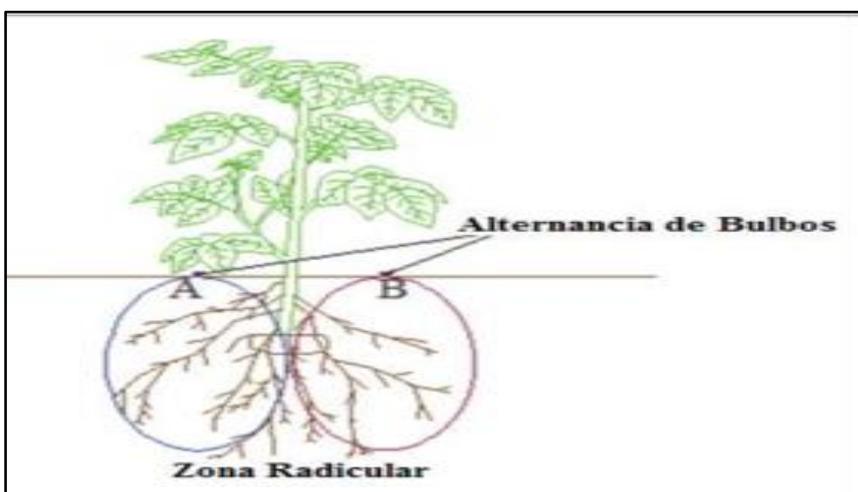
Rojas *et al.* (2007), definen El Secado Parcial de Raíces (SPR) como una técnica de déficit de riego que consiste en someter una parte del sistema radicular a déficit hídrico mientras la otra se mantiene irrigada. La finalidad es inducir la producción de ácido abscísico (ABA) en las raíces parcialmente 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.

Stoll *et al.* (2000), mencionan que aparentemente se podría pensar que el SPR no tiene nada nuevo puesto que en condiciones naturales todas las raíces de una planta no se secan al mismo tiempo. Sin embargo, además del proceso fisiológico más importante que ocurre en el SPR que es la producción de señales químicas.

Zhang y Tardieu (1996), indican que este tipo de riego induce la emisión de raíces secundarias y por consiguiente disminuye la sensibilidad de la raíz a la sequía.

Kang *et al.* (1998), sostienen que un sistema radicular más uniformemente distribuido en el suelo como resultado de la alternancia seco y húmedo puede conllevar a un mejor uso de nutrientes y agua del suelo en toda la zona radicular.

Loveys *et al.* (1998), afirman que en vid y otros frutales se ha demostrado que el SPR tiene un efecto neutro en el rendimiento, pero puede mejorar la calidad, con una reducción de más del 50% del consumo de agua.



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

FUENTE: Sánchez y Meza, 2014.

### **2.5.2. Factor hídrico en la papa**

Kumar *et al.* (2003), mencionan que, aunque normalmente ocurren períodos cortos de estrés hídrico por inadecuadas prácticas de riego, la papa es una especie muy sensible al déficit hídrico; por eso, incluso a pesar de que se riega, ocurre estrés hídrico durante el mediodía debido a las altas tasas de transpiración.

Beukema y Van der Zaag (1979), afirman que la sensibilidad al estrés hídrico hace que la papa sea exigente en agua, necesitando de 400 a 600 litros para producir 1 kilogramo de materia seca (MS) en los tubérculos.

Sood y Singh (2003), sostienen que a nivel de campo los requerimientos de agua varían entre 350 y 500 mm, dependiendo del período de duración del cultivo, condiciones ambientales, tipo de suelo y variedad.

Harris (1978), afirma que las plantas de papa pueden responder con incrementos de hasta 2 t/ha por cada 2 cm de lámina de agua aplicada ya sea por riego o proveniente de la precipitación.

Harris (1992), sostiene que la limitada tolerancia a la sequía se debe a los efectos del ineficaz sistema radicular y la tendencia de los estomas a cerrarse, mermando de esta manera el desarrollo vegetativo en respuesta a reducir el déficit de agua. Comparado a otros cultivos como tomate, cebada y trigo, las raíces de la papa son superficiales (50 – 60 cm).

Beukema y Van der Zaag (1979), explican que cuando el estrés hídrico es de corta duración la mayoría de las células se recuperan; pero si es prolongada, la planta se marchita.

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

Martínez y Huamán (1993), consideran que en cuanto más tiempo dure la reducción de la apertura estomatal, mayor será la reducción de los rendimientos.

Salter y Goode (1967), afirman que la mayor parte de investigadores coinciden en que el período crítico al déficit hídrico en la papa es durante la tuberización, requiriéndose de un adecuado suministro de agua desde su inicio hasta la madurez completa de los tubérculos para obtener altos rendimientos, pocos sostienen que es la fase de inicio del estolonamiento y la formación del tubérculo.

Miller y Martin (1987), afirman que el principal efecto del estrés hídrico en la papa es la reducción del rendimiento. Además, puede causar desordenes en el crecimiento del tubérculo, brotación secundaria, tubérculos huecos y de tamaño más pequeño. En muchos cultivares de la papa, incluso períodos cortos de estrés hídrico pueden causar reducciones significativas en el rendimiento del tubérculo y calidad.

## **2.6. Fertirriego**

Sánchez (2000), menciona que el fertirriego es la aplicación de fertilizantes sólidos o líquidos por los sistemas de riego presurizados, creando un agua enriquecida con nutrientes. Melgar (2002), afirma que esta es una moderna técnica agrícola que provee la excelente oportunidad de maximizar los rendimientos y a la vez reducir la polución, además de incrementar la eficiencia de uso de los fertilizantes, minimizar la aplicación de éstos y aumentar los beneficios económicos de la inversión en fertilizantes. En la fertirrigación, el momento, las cantidades y la concentración de los fertilizantes aplicados son fácilmente controlados.

Bello (2000), indica que la fertirrigación 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.

Kafkafi y Tarchitzky (2012), sostienen que existen diferentes tipos de inyección de fertilizantes, el más común es el inyector de tipo Venturi. Ésta 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.

### **2.6.1. Ventajas**

La página web del programa para fertilización de cultivos (SMART) indica las siguientes ventajas:

- Mediante este método el fertilizante es aplicado directamente en las zonas de absorción de las raíces, lo que lo convierte en uno de los más eficaces.
- También se puede corregir de manera rápida cualquier requerimiento de nutrientes en el cultivo. Otra de las ventajas de la fertirrigación es que le permite al productor

controlar el ritmo de crecimiento de la planta, administrando a su conveniencia el nivel de los sistemas de riego y la cantidad de fertilizante.

- Por otro lado, la fertirrigación permite al productor el ahorro de tiempo y mano de obra, además de que la aplicación del fertilizante es más precisa y de manera más uniforme, así como una mejor absorción de la planta.
- Reduce las pérdidas de fertilizantes por percolación, si y solo si se tienen buen manejo en la aplicación de cantidades adecuadas de agua.

### **2.6.2. Desventajas**

Según Cañamero y Laguna, (2012) las desventajas son las siguientes:

- Si no hay un buen reparto del agua no hay, lógicamente, una buena distribución de los fertilizantes. En los riegos presurizados se precisa un adecuado coeficiente de uniformidad de la instalación, al ser la nutrición de cada planta proporcional a la cantidad de agua que recibe.
- Es necesario el uso de fertilizantes solubles.
- Es necesario la preparación técnica del personal, pues la fertirrigación puede conducir a fracasos si no es bien realizada y controlada.
- Es necesario tener una inversión inicial, para la compra de equipos de fertirriego, fertilizantes solubles.

### **2.6.3. Método de inyección Venturi en un sistema de riego por goteo**

CREA (2005), menciona que el funcionamiento se basa en el efecto Venturi, que consiste en producir un estrechamiento en el flujo principal del agua para causar una depresión. Ésta resulta suficiente para succionar la solución química desde un depósito abierto hasta dicho flujo. El Venturi se instala en un by-pass del circuito principal para poder regular el caudal succionado.

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

Kafkafi y Tarchitzky (2012), consideran que, 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.

Cañamero y Laguna (2012), definen a la Dosificación cuantitativa la cual 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 y la dosificación proporcional en la cual 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.

### **2.6.5. Características de los fertilizantes para el fertirriego**

Kafkafi y Tarchitzky (2012), indican que un amplio rango de fertilizantes, tanto sólidos como líquidos, es adecuado para la fertirrigación, dependiendo de las propiedades fisicoquímicas de la solución fertilizante.

Deben considerarse cuatro factores principales al elegir fertilizantes para fertirrigación:

- Condiciones del suelo.
- Calidad de agua.
- Disponibilidad y precio del fertilizante
- Tipo de cultivo y estadio de crecimiento.

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

Vásquez *et al.* (2017) señalan que 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.

### **2.7.1. Capacidad de campo**

Vásquez *et al.* (2017), definen a este concepto como la máxima capacidad de retención de agua de un suelo sin problemas de drenaje, y que se alcanza, según la textura del suelo, entre las 6 y 72 horas después de un riego pesado o una lluvia que permitió saturar momentáneamente al suelo. Es decir, cuando la percolación o drenaje del agua gravitacional haya, prácticamente, cesado.

Mendoza (2013), menciona que el tiempo de drenado puede ser de un día para los suelos arenosos y tres días para los suelos arcillosos.

### **2.7.2. Punto de marchitez permanente**

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

## **2.8. Medición de humedad en el suelo**

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

### **2.8.1. Método gravimétrico**

Dorigo *et al.* (2011), señalan que el método gravimétrico, el cual es un método directo, es el único método que mide la humedad del suelo directamente.

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

### **2.8.2. Método dieléctrico**

IDEAM (2018), señalan que la constante dieléctrica aparente (permisividad) de un volumen de suelo varía con la cantidad de humedad contenida en el suelo. el suelo es una mezcla compleja de partículas de diferentes composiciones químicas en una matriz de aire y agua. La constante dieléctrica de las partículas del suelo varía entre dos y siete, mientras que las del aire y agua son uno y ochenta, respectivamente. De esta manera, si la densidad aparente de un suelo seco permanece constante, su constante dieléctrica aparente será una función de la cantidad de humedad en la matriz. Esta característica permite la conversión de las mediciones de la constante dieléctrica aparente en mediciones del contenido volumétrico de la humedad del suelo.

Los dos principales métodos dieléctricos son:

- Reflectometría en el dominio temporal (TDR)
- Método de capacitancia

#### **Reflectometría en el dominio temporal**

La velocidad de la pulsación de una microonda entre un par de guías ondas que han sido colocadas en el suelo, es una función de la permisividad dieléctrica aparente de la mezcla aire/agua/suelo entre las guías ondas. A medida que la velocidad de la pulsación aumenta, la permisividad disminuye lo cual indica un descenso en el contenido de humedad del suelo.

### III. METODOLOGÍA

#### 3.1. Lugar de estudio

La investigación se desarrolló en la parcela experimental de la facultad de Ingeniería Agrícola (FIA), en la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), colindante con el centro de ventas de la UNALM y a la derecha de la puerta principal. La ubicación geográfica es: Latitud sur  $12^{\circ} 4' 49''$ , longitud oeste  $76^{\circ} 57' 5''$  y altitud de 240msnm. Los datos climatológicos (Tabla 5) fueron obtenidos de la estación Davis, perteneciente al departamento de Recursos Hídricos de la FIA, son correspondientes a la fase experimental.



**Figura 6: Ubicación de la parcela experimental en la UNALM.**

FUENTE: Google Maps

**Tabla 5 : Datos climáticos de la estación Davis 2019 UNALM**

Mes	T° media (°C)	HR media (%)	Precipitación (mm)	Tanque de evaporación (mm)
Julio	14.18	92.71	0.70	31.28
Agosto	14.79	93.59	0.75	35.7
Septiembre	15.77	92.62	0.60	53.5
Octubre	16.62	89.90	0.50	71.1
Noviembre	19.05	84.33	0.25	74.8

FUENTE: Estación Davis, FIA – UNALM

### 3.1.1. Características del suelo

El análisis de suelos fue desarrollado por el Laboratorio de agua, suelo, medio ambiente y fertirriego, de la facultad de Ingeniería Agrícola, los resultados indicaron que la conductividad eléctrica (CE) es de 1.34 dS/m, valor que muestra que el suelo es ligeramente salino, de textura franco arenoso, de reacción moderadamente alcalino (pH 7.39), presentó un nivel medio de fosforo (35.19ppm) y alto nivel de potasio disponible (202 ppm), además presentó baja Capacidad de Intercambio Catiónico (12.67), notándose la necesidad de incorporar materia orgánica, siendo este (1.17%).

**Tabla 6: Análisis de suelo inicial**

Ph	CE (1:1)	CaCO <sub>3</sub>	M.O	P	K	CIC
(1:1)	dS/m	%	%	ppm	ppm	Cmol (+) /kg
7.39	1.34	1.84	1.17	35.97	202	12.67

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

**Tabla 7: Capacidad del suelo para retener agua**

Profundidad (cm)	CC %	Da (gr/cm <sup>3</sup> )	Agua retenida %	Agua retenida (mm)
30	19.8	9.6	14.28	42.84

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

### 3.1.2. Características del agua

El agua utilizada tanto para el riego como para la preparación de la solución madre de fertilizantes, fue el agua almacenado en el reservorio perteneciente a la FIA. La caracterización físico-química se muestra en la Tabla 8.

La conductividad eléctrica del agua fue ligeramente salina, con una CE de 0.72 ds.m<sup>-1</sup>, el RAS calculado fue de 0.85, corroborando que el agua es baja en sodio y presenta condiciones favorables para su uso en riego.

**Tabla 8: Análisis de agua perteneciente al reservorio de la FIA**

<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
Bicarbonatos	meq/l	2.18
Nitratos	meq/l	0.09
Carbonatos	meq/l	0.00
Suma de Aniones	meq/l	7.05
SAR	-	0.85
Clasificación	-	C2-S1
Boro	ppm	0.20

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

### 3.2. Materiales del experimento

- **Material vegetal**

Se utilizó la papa de variedad Canchan, semillas evaluadas y seleccionadas por sus buenas características agronómicas y bromatológicas. Se optó por esta variedad, ya que cuenta con alta demanda en el mercado nacional además de adaptarse óptimamente al clima de costa y por ello resulta importante sumar investigación que ayude al mejoramiento en la producción de esta variedad.

- **Sistema de riego presurizado**

Se aprovechó que en campo ya se contaba con la instalación de un sistema de riego presurizado financiado por la FIA gracias a lo cual las actividades a realizar en campo fueron menos complicadas, considerando solo las unidades experimentales

trabajadas para este nuevo proyecto de investigación.

- **Sistema de fertirrigación**

Aprovechando el agua como una vía de transporte, para los nutrientes, se optó por la inyección de fertilizantes mediante un sistema de inyección tipo Venturi de 1 pulgada, ubicada en la parcela demostrativa con la finalidad de disminuir las pérdidas que podrían ocurrir en la conducción por el bajo caudal a utilizar. El Venturi genera una pérdida de carga equivalente a 10mca, a la parcela llega 20 mca, por consiguiente, se contó con suficiente presión para el correcto funcionamiento del sistema.

- **Equipo de medición de humedad**

Al inicio y final de la parte experimental se realizaron mediciones por el método gravimétrico utilizando el tornillo muestreador, sobres de papel y horno. Además, durante todo el experimento se usó el TDR obteniendo muestras de humedad antes de cada riego.

- **Equipo de medición de pH y CE**

Se utilizaron para hacer el control de las soluciones madres y de cada fertilizante utilizado en el programa de fertirriego. El equipo utilizado fue HQd Portable Meter (HACH).

- **Equipos caudalímetros**

Se utilizaron contadores de caudal de la marca AYRON ISO 4074, estos fueron instalados en años anteriores previamente por tesisistas y se aprovechó para la presente investigación. se hizo una toma de datos el primer y el último día de aplicación de riego en la campana del cultivo para así contar con datos de volumen de agua utilizados por tratamiento.

- **Fertilizantes**

Se contó con tres fuentes principales de fertilizantes: Fosfato mono amónico (16% N- 61%P), nitrato de potasio (13.5%N-45%K), Nitrato de amonio (33.5% N)

- **Materiales complementarios**
  - Mochila de fumigar Jacto
  - Herramientas para labores agronómicas (palas, picos, azadón, etc.)
  - Balanza de mano
- **Herramientas computacionales**
  - AutoCAD
  - Microsoft office 2015 (Word, Excel, power point)

### 3.3. Metodología de la investigación

#### 3.3.1. Fases de campo

##### a. Preparación del terreno

Se aplicó riego pesado mediante el uso de mangueras, una vez identificado el suelo apto para el laboreo se realizó la labranza del terreno utilizando tractor con el implemento arado de disco, finalmente se niveló el terreno de manera manual con el uso de rastrillos, palas y carretilla.



**Figura 7: Laboreo mecanizado del terreno**

FUENTE: Elaboración propia

## b. Siembra

La siembra se realizó el lunes 22 de julio del 2019, para lo cual se tuvo en consideración la información presente en la Tabla 9.

**Tabla 9: Especificaciones de la siembra**

Distancia entre plantas	0.3m
Distancia entre surcos	0.9m
Número de plantas por surco	15
Numero de surcos por unidad experimental	3
Largo total del surco	4.5 m
Ancho de unidad experimental	3 m
Área de unidad experimental	13.5 m
Número de unidades experimentales	12
Área libre (caminos)	67 m
Área experimental total	320 m <sup>2</sup>

FUENTE: Elaboración propia



**Figura 8: Siembra de semillas**

FUENTE: Elaboración propia

## c. Prueba de coeficiente de uniformidad

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

emisores, y por último, se obtiene el coeficiente de uniformidad.



**Figura 9: Prueba de coeficiente de uniformidad en campo**

FUENTE: Elaboración propia

### 3.3.2. Diseño y disposición experimental

#### a. Diseño experimental

La presente investigación se basó en un Diseño Completamente al Azar (D.C.A). Se consideró los tipos de riego (100% ETc (T-1), 100% ETc (RP1) y 50% ETc (RP2), obteniendo como resultado tres tratamientos, y viendo por conveniente hacer 4 repeticiones para cada uno.

**Tabla 10: Descripción y código de los tratamientos**

DESCRIPCION	CODIGO
Disposición 1, con lamina de riego 100% ETc	T-1
Disposición 2, con lamina de riego (SPR) 100% ETc	RP1
Disposición 2, con lamina de riego (SPR) 50% ETc en RPD	RP2

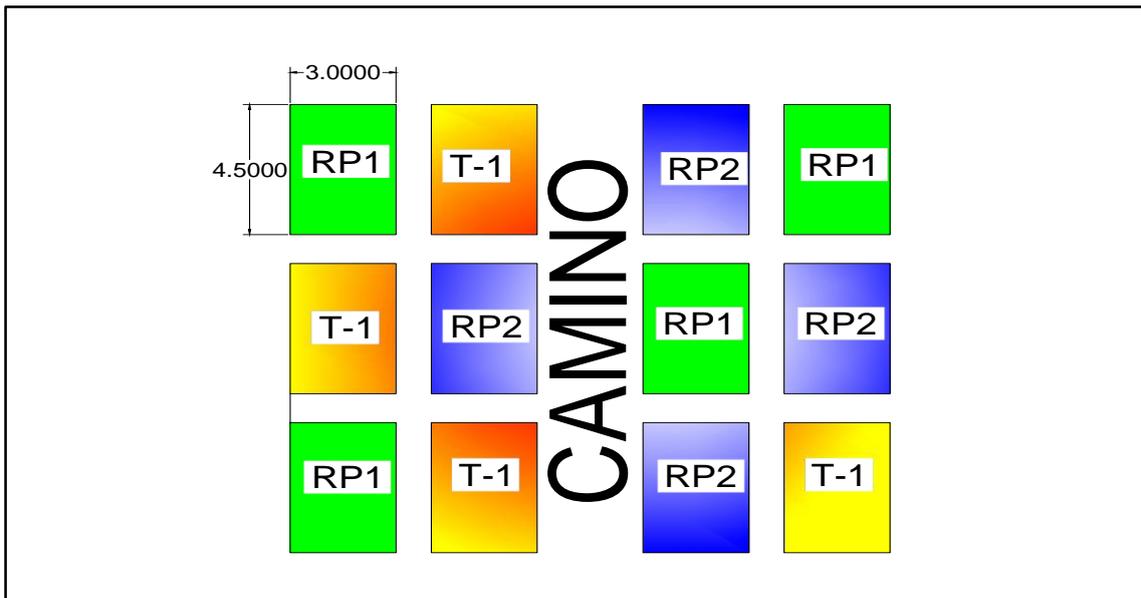
FUENTE: Elaboración propia

#### b. Distribución experimental

En la parcela se instaló 12 unidades experimentales con una distribución completamente al azar como se muestra en la Figura 4; las dimensiones de cada

unidad experimental fueron de 3.0m x 4.5m. Todas las parcelas recibieron la misma dosificación en cuanto a fertilización y control fitosanitario.

- El experimento se realizó con tres tratamientos. (T-1, RP1, RP2)
- Cada unidad experimental está formada por 45 plantas.
- Cada tratamiento tiene 4 repeticiones.
- De la distribución se obtienen 12 unidades experimentales.

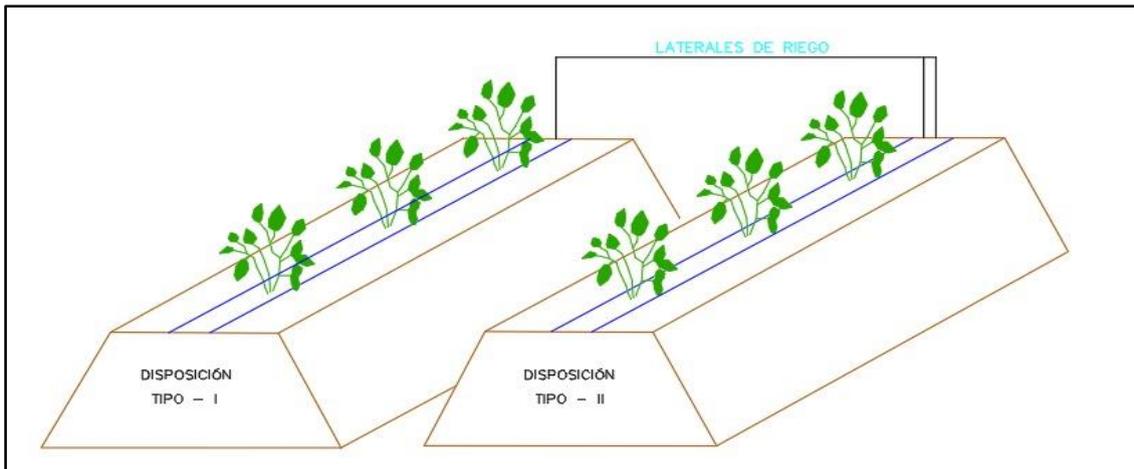


**Figura 10: Disposición de las unidades experimentales**

FUENTE: Elaboración propia

### c. Disposición de laterales de riego

Para la investigación se realizó la prueba de un tipo de disposición de lateral de riego, para los tres tratamientos se utilizaron dos laterales de riego en paralelo cada una con su respectiva válvula la cual fue manejada manualmente para intercalar el riego. Estos laterales tienen incluidos emisores auto compensados cada 30 cm con un caudal de 1.2 l/h.



**Figura 11: Disposición de los tipos de laterales de riego**

FUENTE: Elaboración propia

### 3.3.3. Tipos de riego

**a. Riego goteo subterráneo control 100 % ETc. (T-1)**

Se instaló dos laterales de riego en paralelo, con el cual se mantuvo un control aplicando una lámina de 100 % ETc. con emisores auto compensados colocados cada 30 cm y ubicados entre planta y planta. Al aplicar el T-1, se busca humedecer toda la zona de raíces con un riego normal.

**b. Riego goteo subterráneo parcial de la zona de raíces 100 % ETc (RP1)**

Este tratamiento al ser una aplicación de riego deficitario con secado parcial de raíces utilizó dos laterales juntas alternando la apertura de válvulas en cada riego de esta manera se aplicó una lámina de 100 % Etc. Al aplicar el RP1, se busca humedecer la mitad de la zona radicular de la planta con un riego alternado y la otra mitad con el siguiente riego.

**c. Riego goteo subterráneo parcial de la zona de raíces 50 % ETc (RP2)**

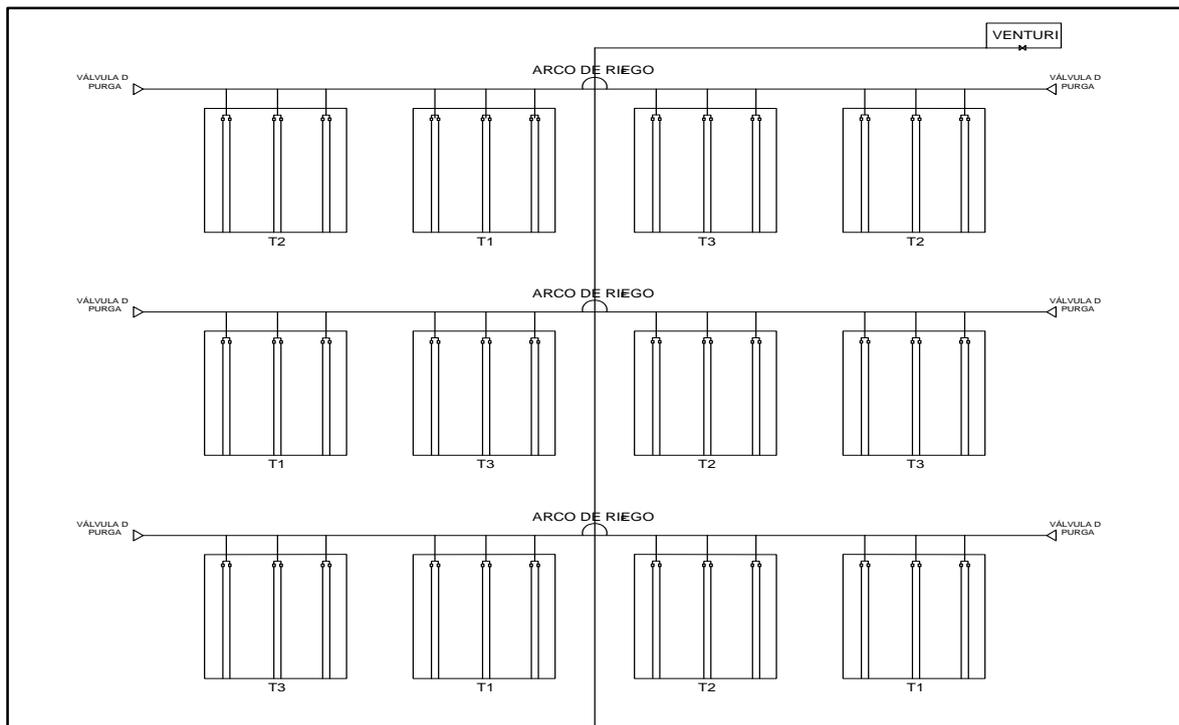
Este tratamiento es similar al tratamiento anterior solo que aquí se aplica una lámina de 50% Etc. lo que se buscó fue humedecer la mitad de la zona radicular de la planta con un riego alternado y la otra mitad de igual manera con el siguiente riego.

### 3.3.4. Diseño e instalación del sistema de riego

La instalación del sistema de riego estuvo conformada por los siguientes elementos: Sistema de filtrado, equipo de fertilización, válvulas medidoras, unidad de control, reguladores de presión y sus indicadores, cintas de goteo auto compensado para los laterales de la marca VARDIT con un caudal de trabajo de 1.2 l/h.

#### a. Instalación del riego localizado

La parcela donde se realizó el experimento ya contaba con una instalación primaria de riego presurizado incluyendo: arcos de riego, contadores caudalímetros, válvulas de aire; esta fue complementada y mejorada. Se hizo la instalación del sistema de inyección de fertilizantes (tipo Venturi) para la fertirrigación; para el control preciso en la aplicación del riego, se instaló una válvula reductora de presión hidráulica para tener una presión de trabajo controlada, se instaló también cintas de riego que llevaron consigo una válvula de paso para el control manual del flujo de agua.



**Figura 12: Disposición del sistema de riego**

FUENTE: Elaboración propia

### **b. Instalación del sistema de fertirriego**

En el desarrollo del experimento se utilizó una dosificación de tipo cuantitativa, para ello se hizo uso de un sistema de inyección tipo Venturi. Este fue instalado en el mismo campo experimental con la finalidad de disminuir el efecto longitudinal de la tubería en fertirriego. Si la tubería es demasiado larga los fertilizantes que se inyectan en el principio de la línea no podrán llegar a los emisores. Esto debido a los bajos caudales aplicados por unidad de planta y también por la caída de presión que se presenta al utilizar este tipo de fertilización.



**Figura 13: Sistema de inyección tipo Venturi**

FUENTE: Elaboración propia

### **3.3.5. Diseño del programa de fertilización y definición de las fuentes de fertilizantes**

#### **a. Estimación de la producción**

Considerando datos proporcionados por el INIA para la variedad canchan y considerando también que la cantidad de nutrientes extraídos influye en el rendimiento total, en la presente investigación se proyectó alcanzar aproximadamente un rendimiento de 40 t/ha.

#### **b. Muestreo y análisis de suelo**

Se tomaron muestras de suelo teniendo presente la variabilidad espacial y temporal

de la parcela, procurando tomar muestras representativas y homogéneas al inicio y al final de la investigación. Las muestras fueron trasladadas al Laboratorio de agua, suelo, medio ambiente y fertirriego de la FIA, con la finalidad de conocer las características físicas del suelo y la cantidad de nutrientes que se disponía en el suelo.

**c. Datos de estudios sobre extracción y absorción de nutrientes en papa**

La extracción de nutrientes por el cultivo dependerá principalmente del rendimiento esperado, a mayor rendimiento, mayor demanda de nutrientes por el cultivo (Sierra *et al.*, 2002).

**Tabla 11: Absorción de algunos nutrientes por el cultivo de papa, según diferentes autores y diferente nivel de rendimiento**

<b>Tubérculos T/ha</b>	<b>N</b>	<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	<b>K<sub>2</sub>O</b>	<b>Mg</b>	<b>S</b>	<b>Referencia</b>
	<b>Kg/ha</b>					
38	224	76	336	-	-	Dahnke y Nelson, 1976
40	120	55	221	-	-	Kupers, 1972
63	288	128	396	35	26	Tisdale y Nelson, 1975
94	300	80	480	52	-	Sierra y Rojas, 1989

FUENTE: Sierra *et al.*, 2002.

Los valores de las tablas fueron considerados de manera orientativa, teniendo en cuenta que pueden variar dependiendo de distintos factores, como mejoras genéticas de cultivares, condiciones de cultivo, niveles de rendimiento extremos, entre otros. Para lo cual se buscó la asesoría de un ingeniero agrónomo.

**d. Diagnóstico de la fertilización**

El diagnóstico de la fertilización se realizó con la colaboración del especialista en suelos y fertirrigación Mg. Hurtado Leo Lorenzo, quien en base a los requerimientos nutricionales de la planta y al rendimiento proyectado (40 t/ha), planteó la dosis de fertilizantes a utilizar y el plan de fertilización a aplicar.

**Tabla 12: Fuentes de fertilizantes**

<b>FUENTES</b>	<b>FORMULA (N P K)</b>
Fosfato mono amónico	16 – 61 - 0
Nitrato de potasio	13.5 – 0 - 45
Nitrato de amonio	33.5 – 0 – 0

FUENTE: Elaboración propia

**e. Estrategia de aplicación**

En cuanto al aporte de fósforo (P), se aplicó durante la emergencia un 9% con la finalidad de ayudar en la formación temprana de raíces y tallos aéreos, se fue incrementando progresivamente hasta el día 50 después de la siembra, luego se fue disminuyendo hasta hacerse nula la aplicación en el día 90 después de la siembra.

Kafkafi y Tarchitzky (2012), mencionan que la planta absorbe P durante todo el período de crecimiento de los tubérculos, desde los días 35 a 95, a una tasa constante diaria de 51 mg de P por planta.

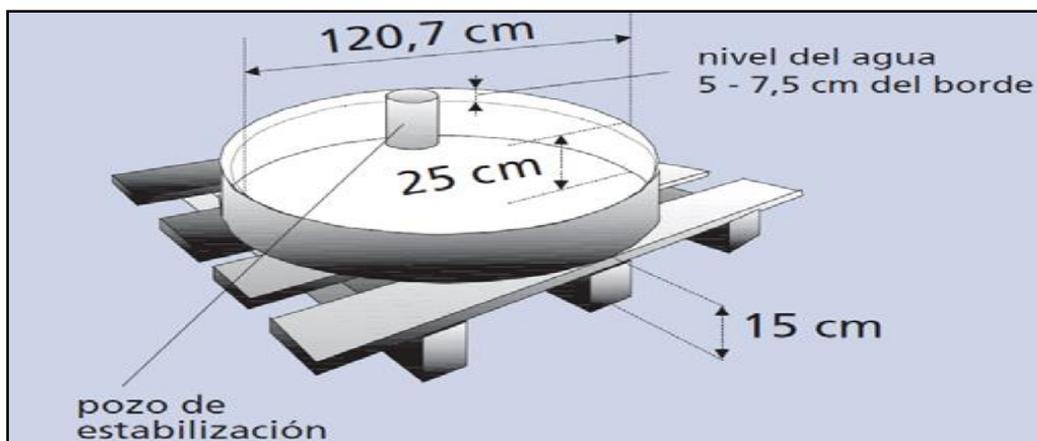
Egúsquiza (2014), indica que el buen desarrollo radicular garantiza la función de absorber el agua y los nutrientes contenidos en el suelo. La fertilidad del suelo es una de las condiciones que determinan el número y longitud de los estolones.

La aplicación de potasio fue a partir de la tercera semana después de la siembra, la proporción de este nutriente se fue incrementando progresivamente hasta el día 100 después de la siembra, la finalidad de su aplicación en estas proporciones es la de mejorar las condiciones de la planta para tolerar déficit hídrico, además de intervenir en diferentes procesos de síntesis y transporte de los azúcares desde las hojas y su conversión en almidón en el tubérculo, su aplicación durante la temporada de crecimiento permite lograr más kilos por hectárea de producción.

Egúsquiza (2014), señala que el Nitrógeno es muy importante para el desarrollo foliar de la planta, porque ayuda a lograr una mayor tasa fotosintética y también estimula el crecimiento del tubérculo. Se reduce el abastecimiento de nitrógeno proveniente del suelo, para lograr condiciones óptimas de tuberización.

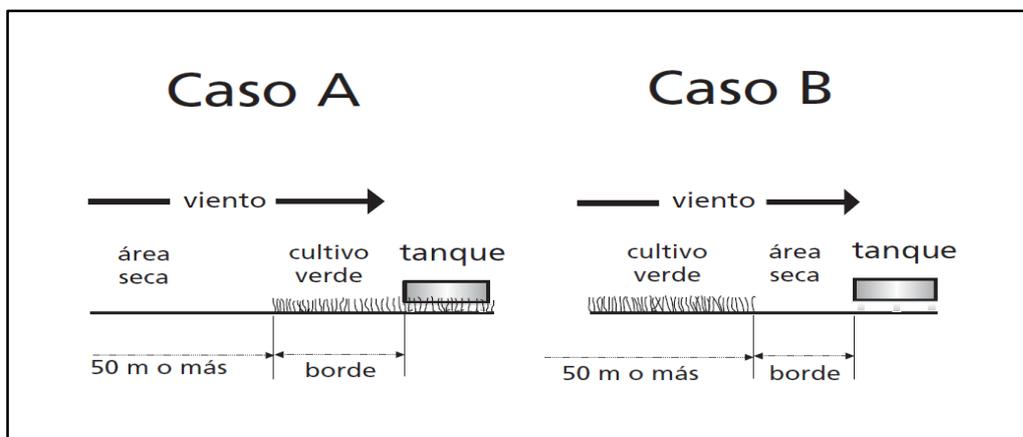
### 3.3.6. Toma de datos meteorológicos

Se trabajó con un tanque evaporímetro clase "A", ubicado en el campo experimental de la FIA, detrás de la facultad. Las mediciones se realizaron dejando un día antes de cada riego a las 9:00 am.



**Figura 14: Tanque evaporímetro clase a**

FUENTE: FAO, 2006.



**Figura 15: Dos casos de localización del tanque de evaporación y sus alrededores**

FUENTE: FAO, 2006.

**Tabla 13: Coeficientes Kp del tanque clase A (caso A, suelo con vegetación)**

Velocidad del viento (m/s)	Distancia a barlovento D (m)	Humedad relativa media		
		<40	40-70	>70
Baja < 2	1	0.55	0.65	0.75
	10	0.65	0.75	0.85
	100	0.7	0.8	0.85
Moderada 2 - 5	1000	0.75	0.85	0.85
	1	0.5	0.6	0.65
	10	0.6	0.7	0.75
Alta 5 - 8	100	0.65	0.75	0.8
	1000	0.7	0.8	0.8
	1	0.45	0.5	0.6
Muy Alta >8	10	0.55	0.6	0.65
	100	0.6	0.65	0.7
	1000	0.65	0.7	0.75
	1	0.4	0.45	0.5
	10	0.45	0.55	0.6
	100	0.5	0.6	0.65
	1000	0.55	0.6	0.65

FUENTE: Boletín FAO 56, Riego y drenaje, 2006

### 3.3.7. Cálculo y aplicación de riego

#### a. El tiempo de riego fue calculado en base a:

- La evapotranspiración de cultivo (ETc), obtenido a partir del producto de la evapotranspiración de referencia (ETo) y el coeficiente de cultivo (Kc).

$$ETc = ETo \times Kc.$$

- ETo: se obtiene al multiplicar la lectura del tanque de tipo A y su coeficiente del tanque Kp (0.8) valor obtenido de la tabla 13.

$$ETo = \text{Lectura Tanque} \times 0.80$$

- Kc.: Este coeficiente se tomó como referencia de estudios desarrollados en la variedad de papa canchan.

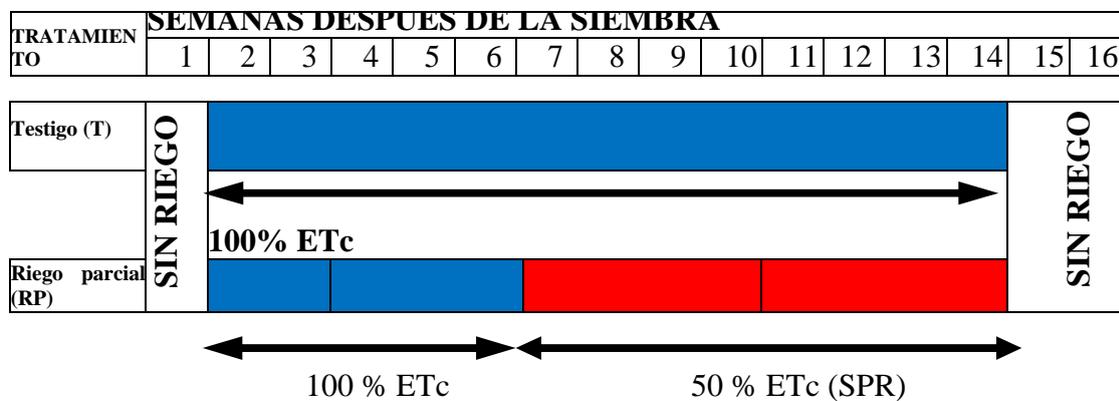
**Tabla 14: Coeficiente de cultivo (Kc)**

Días después de la siembra	Kc
10	0.18
20	0.23
30	0.30
40	0.4
50	0.53
60	0.7
70	0.84
80	0.94
90	1.01
100	1.07
110	1.04
120	0.95

FUENTE: Garay, 2009.

Bello y Pino (2000), señalan que, utilizando la tasa de riego predeterminada para el cultivo, se puede calcular directamente las dosis de agua a aplicar, pero dicho procedimiento no considera correcciones de volúmenes de agua para lavado de sales, por lo que fertirrigar, las dosis de agua deberán ser corregidas incrementándose genéricamente en un 10% por lavado de sales en aquellos riegos en los que se incluya la aplicación de fertilizantes.

**b. Aplicación del riego parcial.**

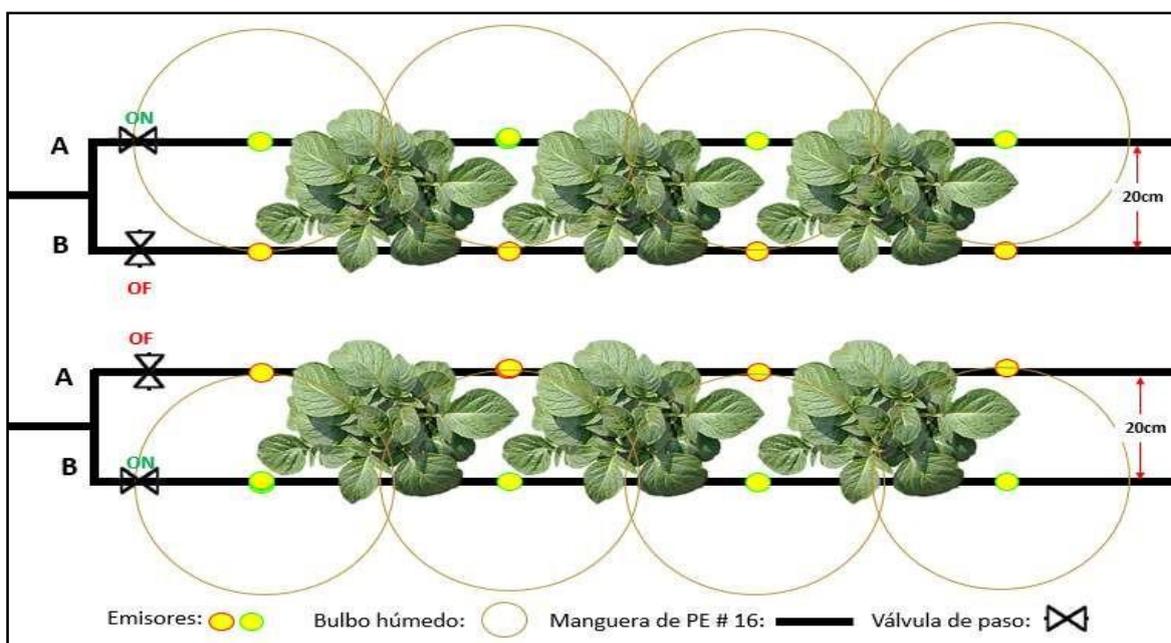


**Figura 16: Tratamiento de riego**

FUENTE: Elaboración propia

Según las disposiciones, en el tratamiento testigo (T-1) las aplicaciones de las láminas de riego son al 100%, además el humedecimiento de la franja fue uniforme durante todas las aplicaciones de riego, se trabajó con un coeficiente de uniformidad CU superiores a 89%, por lo que se ve que el sistema riega o moja las parcelas experimentales de forma uniforme.

En los tratamientos que se aplicó SPR, se realizó restricción de agua durante dos etapas fenológicas del cultivo de papa. En la Figura 17, se muestran cómo se alterna el humedecimiento de la zona de raíces en cada planta, además cada línea de lateral cuenta con una válvula de paso. El inicio de la aplicación de SPR se da cuando se deja pasar agua solo por uno de los laterales, la línea “A” queda abierto mientras que la “B” permanece cerrado, en el riego siguiente se hizo la operación inversa, “A” queda cerrada y “B” abierta, de esta forma se humedece la zona de raíces de forma alternada.



**Figura 17: Vista en planta de la disposición en paralelo y la aplicación del riego deficitario con secado parcial de raíces**

FUENTE: Elaboración propia

### 3.4. Evaluación de las variables en el cultivo

#### 3.4.1. Durante el crecimiento y desarrollo

- **Porcentaje de emergencia de plantas:** Se determinó mediante el conteo del número de plantas emergidas a los 10, 15 y 25 días después de la siembra.
- **Altura de plantas:** para evaluar el crecimiento en altura de las plantas se midieron en 10 oportunidades, estas fueron elegidas al azar en cada parcela. La medida se tomó desde el cuello de la planta hasta la altura de la yema terminal del tallo principal.

#### 3.4.2. Durante la cosecha

La cosecha se realizó de forma manual, se recogieron los tubérculos por cada planta en respectivas bolsas, posteriormente fueron pesados y luego clasificados por calibres.

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

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

- **Rendimiento comercial:** se considera como la relación de dividir la producción clasificada entre la superficie cosechada, expresada en Kg/ ha Se pesará la cantidad clasificada correspondiente a los calibres pertenecientes al nivel comercial (extra, primera y segunda).
- **Número de tubérculos:** se aprovechó la clasificación por cada planta para contabilizar el número de tubérculos por calibre establecido (Tabla 15) y así tener la cantidad total de tubérculos. Para facilitar la clasificación se utilizó una estructura diseñada por el tesista.
- **Tamaño de tubérculos:** para la clasificación, se tomó como referencia la clasificación planteada por Sifuentes (2012), agrupadas en cinco categorías de acuerdo a su longitud o diámetro radial.
- **Forma de los tubérculos:** la forma del tubérculo es una característica varietal, que influenciado por las condiciones medio ambientales y labores culturales, puede variar considerablemente, sin embargo, en los cultivares son comúnmente clasificados en redondos y largos. En condiciones poco propicias de crecimiento se forman tubérculos deformes, exhibiendo defectos tales como: grietas, rajaduras,

protuberancias, alargamientos y engrosamientos. Estas deformaciones tienen lugar cuando, después de un periodo de suspensión de crecimiento (falta de agua), la planta y el tubérculo comienzan de repente a crecer vigorosamente.

- **Profundidad de los ojos:** Es una característica variable, pero es importante en el procesamiento agroindustrial y puede influir en las pérdidas de pulpa por pelado. Comúnmente la profundidad de ojos es descrita como "superficial" a "profundos".

**Tabla 15: Descripción de calibres de tubérculos de papa**

Categoría	Díámetro longitudinal (cm)
Extra	> 9.0
Primera	7.5-9.0
Segunda	6.0 - 7.5
Tercera	4.5 - 6.0
Descarte	< 4.5

FUENTE: Sifuentes, 2012.

### 3.4.3. Durante Post cosecha

#### a. Porcentaje de materia seca:

Se separó tres papas de cada tratamiento primeramente pesados en fresco, luego se cortaron en pequeñas partes de tamaño similar (diametralmente) y colocadas en sobres de papel aluminio, posteriormente fueron llevadas a la estufa a 105 °C por tres horas. Luego de eso se obtuvo un peso seco y por diferencia se obtuvo el contenido de materia seca. La calificación del porcentaje de materia seca se hizo según lo plantea Mendoza y Mosquera (2011).

$$\text{Humedad (\%)} = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100$$

$$\text{Materia seca (\%)} = 100\% - \text{Humedad (\%)}$$

Dónde:

$P_i$  = masa inicial de la muestra en g

Pf = masa final después del secado de la muestra en gr

**Tabla 16: Escalas de contenido de materia seca de tubérculos**

Nivel	Materia seca (%)
Bajo	14-18
promedio	19-23
alto	24-27
Muy alto	>27

FUENTE: Mendoza y Mosquera (2011).

**b. Porcentaje de proteínas:**

Para obtener el porcentaje de proteínas, primero se determinó la cantidad de nitrógeno por el método micro Kjeldahl y luego se hizo la conversión con un factor ya definido. El método consiste de 3 partes: digestión, destilación y valoración. Para esto se trabajó con 3 muestras de papa por tratamiento con las cuales primero se pesó en fresco, luego se cortó en rodajas y se llevó al horno a la estufa a 105 °C por 3 horas finalmente se utilizó un mortero para moler la muestra y obtener de ella un polvo la cual se pesó cuidadosamente y se llevó al digestor.

**Tabla 17: Aporte nutricional de papa por cada 100 gr**

COMPONENTE	FAO
Calorías (kcal)	87
Agua (ml)	77
Proteína (g)	1.9
Carbohidratos (g)	20.1
Lípidos (g)	0.1
Vitamina C (mg)	13
Hierro (mg)	0.31
Calcio (mg)	5
Fosforo (mg)	44

FUENTE: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2008.

### c. Eficiencia de uso de agua (EUA)

Se entiende en el presente trabajo por eficiencia de uso de agua EUA, al rendimiento de tubérculos obtenidos por cada metro cúbico de agua aplicado.

$$EUA(kg.m^{-3}) = \frac{\text{rendimiento de tubérculos comerciales}(kg.ha^{-1})}{\text{volumen de agua aplicado}(m^3.ha^{-1})}$$

## 3.5. Tratamiento estadístico

### 3.5.1. Diseño estadístico

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

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

Donde:

$Y_{ir}$  = es la variable respuesta al i-esimo tratamiento

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

$T_i$  = efecto del i-esimo tratamiento

$\epsilon_{ir}$  = error experimental

### 3.5.2. Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se utilizó el paquete “agricolae” del software libre “R”, en todas las variables evaluadas se realizó un análisis de varianzas (ANOVA). En los casos donde el ANOVA indique diferencia a nivel de tratamientos, se realizó una prueba de comparación de medias de Tukey con un nivel de significancia de 95%.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Crecimiento y desarrollo

#### 4.1.2. Porcentaje de emergencia

A los 10 días después de la siembra el porcentaje promedio de emergencia fue de 50 %, la segunda verificación en campo se realizó a los 15 días después de siembra, notándose que el porcentaje de emergencia promedio aumento hasta un 80% finalmente se evaluó el porcentaje de emergencia a los 20 días consiguiendo una emergencia al 100%. No hubo diferencias en la emergencia considerando los tratamientos, ya que está más influenciada por las condiciones de la semilla y las condiciones del suelo.

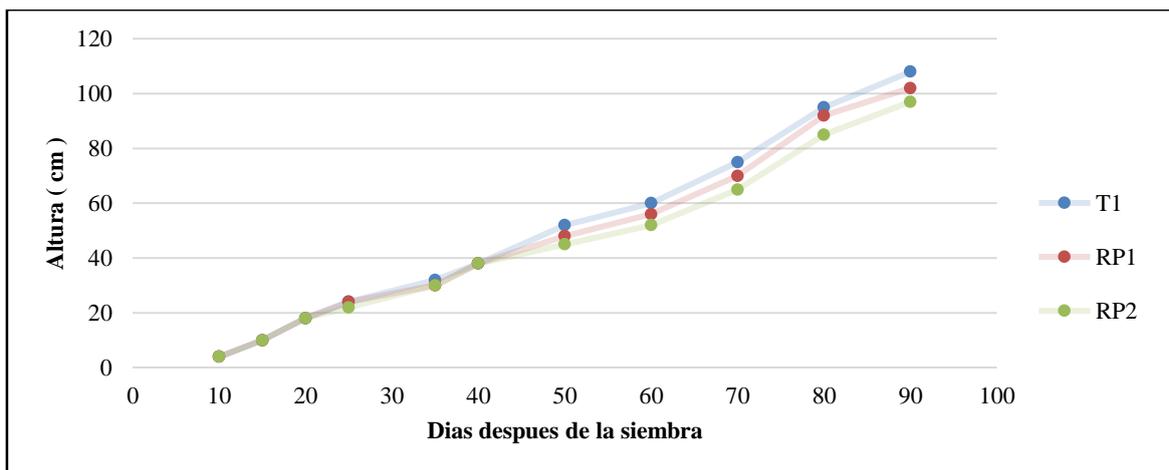
#### 4.1.3. Altura de plantas

En la Tabla 18 se muestra los promedios de alturas de planta tomadas en diferentes periodos vegetativos. Los primeros días de emergencia no se notó diferencia significativa en la altura de plantas esto hasta el día 25 donde se obtuvo el 100 % de emergencia y también un promedio de alturas iguales. Posteriormente se visualizó una pequeña diferencia entre los tratamientos que recibieron riego parcial deficitario (SPR) Y el tratamiento testigo (Figura 17). La planta alcanzó su porte máximo a los 90 días después de siembra presentando en promedio alturas máximas de 108, 102, 97 cm para T-1, RP1, RP2 respectivamente.

**Tabla 18: Efecto del riego parcial de la zona de raíces en la altura de plantas registrado durante su desarrollo**

Tratamiento	Días después de la siembra										
	10	15	20	25	35	40	50	60	70	80	90
	Promedio (cm)										
<b>T-1</b>	4	10	18	24	32	38	52	60	75	95	108
<b>RP1</b>	4	10	18	24	30	38	48	56	70	92	102
<b>RP2</b>	4	10	18	22	30	38	45	52	65	85	97

FUENTE: Elaboración propia



**Figura 18: Variación de la altura de planta para los tres tratamientos en diez fechas de evaluación.**

FUENTE: Elaboración propia

Sierra (2002), indica que la papa es una especie de crecimiento rápido, aun cuando existen variedades de más lento desarrollo, determinando así el suministro de nutrientes en los primeros meses.

El instituto nacional de innovación agraria (INIA) indica que las plantas de variedad canchan alcanzan una altura promedio de 90 cm. sin embargo en la investigación se obtuvo valores máximos de 108 cm en el tratamiento testigo (T-1).

Ekanayake (1994), menciona los efectos de un déficit hídrico en la papa que son: reducción del follaje productivo (escasa emergencia, escasa expansión foliar); reducción de la tasa de fotosíntesis por unidad de área foliar; y reducción del período vegetativo o senectud precoz (bajo índice de área foliar). Por lo tanto, se puede afirmar que los tratamientos RP1 y RP2 presentaron un menor crecimiento de altura de planta ocasionado por un efecto negativo en sus procesos fisiológicos usando el método de riego parcial de la zona de raíces.

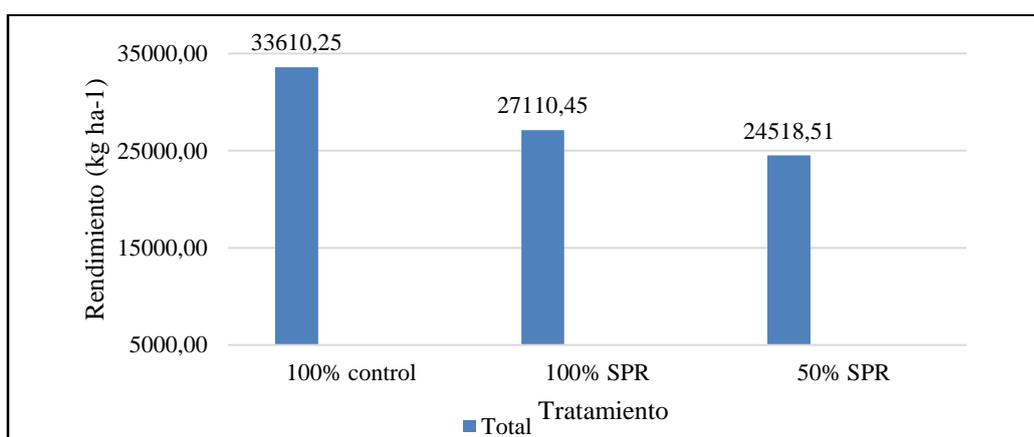
## 4.2. Cosecha

### 4.2.1. Rendimiento total

En la Figura 19, se muestra el rendimiento total obtenido en los diferentes tratamientos expresado en kg/ha, estos son el resultado del total de la producción durante el desarrollo de la investigación, según los cuales el tratamiento T-1 obtuvo 33610.3 kg/ha representado un

19.34% más en comparación al tratamiento RP1 con el cual se obtuvo 27110.5 kg/ha y un 27.05 % más frente al tratamiento RP2 obteniéndose con este un rendimiento total de 24518.5 kg/ha respectivamente.

En relación al rendimiento total de los diferentes tratamientos, los resultados se asemejan a los que describe el instituto nacional de innovación agraria (INIA) en su boletín Papa INIA 303- canchan donde señala que el rendimiento promedio de esta variedad es de 30 t/ha.



**Figura 19: Rendimiento total para cada tratamiento en kg/ha**

FUENTE: Elaboración propia

**Análisis estadístico:**

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

- Análisis de varianza (ANOVA)

Los resultados del análisis en referencia se presentan en la Tabla 19

**Tabla 19: Análisis de varianza (ANOVA) del rendimiento total expresado en kg/ha**

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	2	175500360	87750180	98.72	0
Error	9	7999755	888862		
Total	11	183500115			

FUENTE: Elaboración propia

Como se muestra en el ANOVA de la Tabla 19 los grados de libertad (GL) total obtenidos son 11, valor que resulta de la multiplicación del número de tratamientos (3) por el número de repeticiones (4), menos 1. La Suma de cuadrados (SC) y los cuadrados medios (MC) resulta del procesamiento de los datos en el software utilizado “R”. El valor de FISHER (F) se obtiene de la relación de los cuadrados medios de los tratamientos con los cuadrados medios del error, este valor mientras es más lejano a 0 nos indica que es muy probable que existan diferencias significativas. El valor de probabilidad obtenido (P) fue menor al grado de significancia establecido (0.05), esto permite anticipar que existen diferencias significativas en al menos uno de los tres tratamientos en el rendimiento total.

- Prueba de tukey

En la Tabla 20 según la prueba de tukey con un 95% de confianza, se comprobó que efectivamente existen diferencias significativas entre cada uno de los tres tratamientos, es por ello que en la agrupación para cada tratamiento le corresponde una letra diferente. Este resultado nos indica que la aplicación del SPR tiene un efecto negativo en el rendimiento total comparado con el tratamiento testigo.

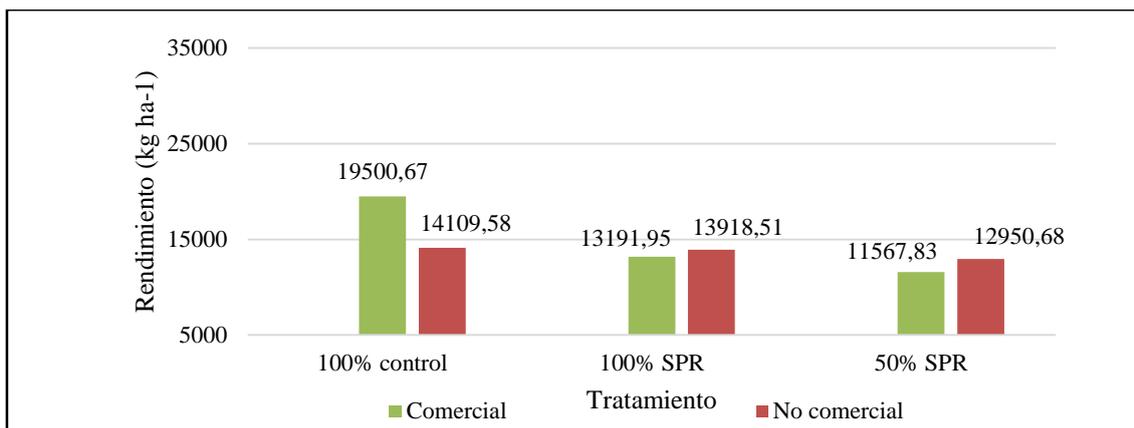
**Tabla 20: Efecto del riego parcial de la zona de raíces en el rendimiento total de las plantas con diferentes tratamientos a los 120 días después de la siembra**

Tratamiento	N	Media	Agrupación
100% control	4	33610.3	A
100% SPR	4	27110.5	B
50% SPR	4	24518.5	C

Medias seguidas de la misma letra en la columna, no difieren estadísticamente según la prueba de tukey al 5%

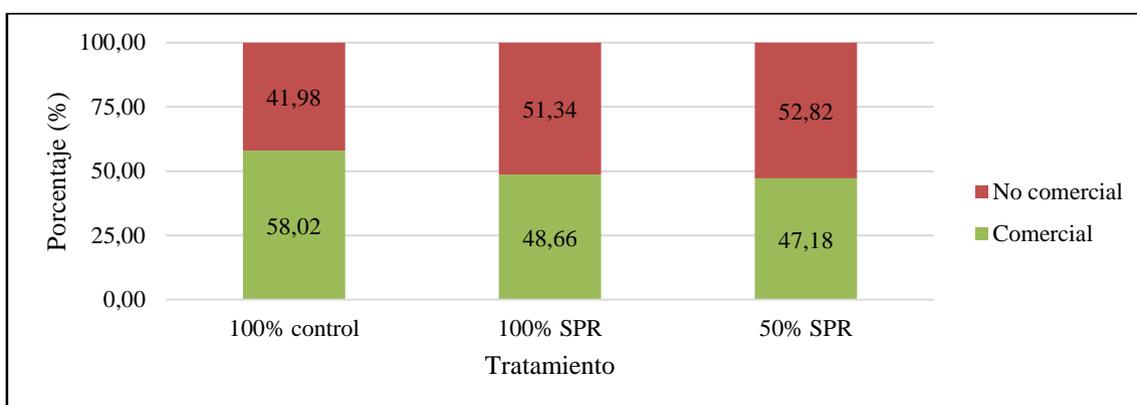
#### 4.2.2. Rendimiento comercial

La aplicación del riego deficitario es una técnica que tiene un efecto positivo en el ahorro de agua, pero trae consigo una ligera reducción en el rendimiento comercial, en la Figura 20 se observan los rendimientos comerciales y no comerciales obtenidos expresados en kg/ha, mientras que en la Figura 21 se muestran los mismos resultados expresado en porcentajes.



**Figura 20: Rendimiento comercial y no comercial para cada tratamiento en kg/ha.**

FUENTE: Elaboración propia



**Figura 21: Rendimiento comercial y no comercial para cada tratamiento en porcentaje.**

FUENTE: Elaboración propia

De las figuras anteriores se observa que el tratamiento que tiene menor impacto en la disminución del rendimiento comercial es la que no se sometió a un déficit hídrico T-1. En la Figura 20, se muestra el promedio de rendimiento comercial obtenidos en los diferentes tratamientos expresados en kg/ha, estos son el resultado de una agrupación por calibres que se indica en la tabla 15 mediante el cual se obtuvo un mayor rendimiento comercial en el tratamiento T-1.

Según los resultados obtenidos en la Figura 21 expresados en porcentaje de rendimiento comercial para los diferentes tratamientos se observa que el tratamiento T-1 refleja el mayor porcentaje (58.02%) de rendimiento comercial.

Con estos resultados se corrobora lo mencionado por (Egúsquiza, 2000) quien afirma que existe una relación positiva y directa entre la cantidad de agua que dispone la planta y el rendimiento comercial.

### **Análisis estadístico:**

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

- Análisis de varianza (ANOVA)

Los resultados del análisis en referencia se presentan en las siguientes tablas 21 y 22.

**Tabla 21: Análisis de varianza (ANOVA) del rendimiento comercial expresado en kg/ha**

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	2	112.49	56.244	20.82	0
Error	9	24.31	2.701		
Total	11	136.8			

FUENTE: Elaboración propia

**Tabla 22: Análisis de varianza (ANOVA) del rendimiento comercial expresado en porcentaje**

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	2	112.49	56.244	20.82	0
Error	9	24.31	2.701		

FUENTE: Elaboración propia

Como se muestra en los ANOVAS de las tablas 21 y 22 el valor de probabilidad obtenido (P) fue menor al grado de significancia establecido (0.05), lo cual permite decir que existen diferencias significativas en al menos uno de los tres tratamientos para el rendimiento comercial expresado en kg/ha y porcentaje.

- Prueba de Tukey

**Tabla 23: Efecto del riego parcial de la zona de raíces en el rendimiento comercial expresado en kg/ha**

Tratamiento	N	Media	Agrupación
100% control	4	19500.67	A
100% SPR	4	13191.95	B
50% SPR	4	11567.83	C

Medias seguidas de la misma letra en la columna, no difieren estadísticamente según la prueba de tukey al 5%

**Tabla 24: Efecto del riego parcial de la zona de raíces en el rendimiento comercial expresado en porcentaje**

Tratamiento	N	Media	Agrupación
100% control	4	58.02	A
100% SPR	4	48.66	B
50% SPR	4	47.18	B

Medias seguidas de la misma letra en la columna, no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey al 5%

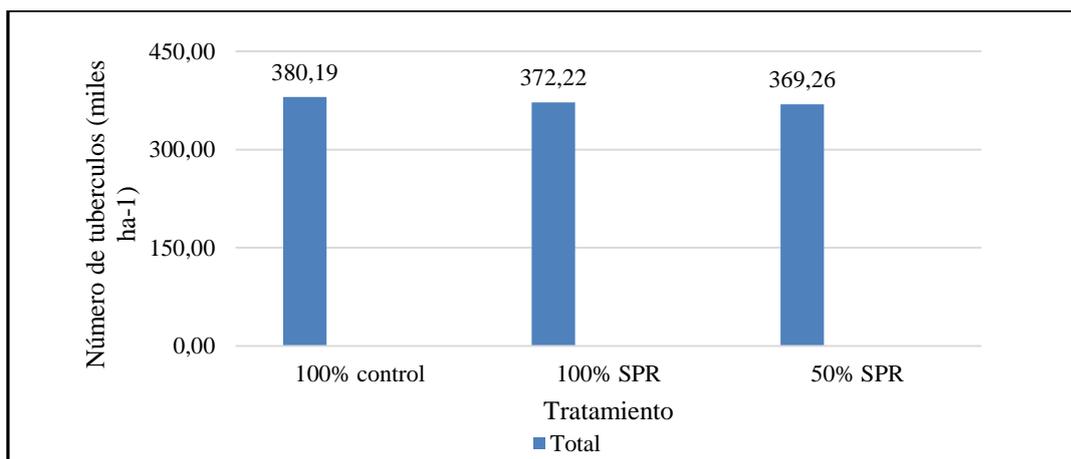
En la Tabla 23 gracias al análisis de los resultados obtenidos en kg/ha, mediante la prueba de tukey con un 95% de confiabilidad se demostró que existen diferencias significativas entre cada uno de los tres tratamientos, esto se observa por la agrupación con diferentes letras para los tres tratamientos.

Mientras que en la Tabla 24 al analizar los resultados obtenidos en porcentajes se observa que existe diferencia significativa entre el T-1 con los otros dos tratamientos (RP1 Y RP2), pero no existe diferencia significativa entre los tratamientos RP1 y RP2.

Los resultados anteriormente demostrados manifiestan un efecto negativo de la aplicación del SPR en el rendimiento comercial.

### 4.2.3. Número de tubérculos totales por tratamiento

En la Figura 22, se muestra el número de tubérculos totales obtenidos en los diferentes tratamientos expresado en miles  $ha^{-1}$ , estos son el resultado del total de la producción durante el desarrollo de la investigación, según los cuales el tratamiento T-1 obtuvo el mayor promedio de número de tubérculos totales (380.185 miles  $ha^{-1}$ ) en comparación de los otros 2 tratamientos RP1 y RP2 (372.222 y 369.259 miles  $ha^{-1}$ ) respectivamente.



**Figura 22: Número de tubérculos totales para cada tratamiento en miles  $ha^{-1}$**

FUENTE: Elaboración propia

Montalvo (1984), citado por Patty (2009), señala que el número de tubérculos por planta depende de los factores de crecimiento como: agua, luz, nutrimentos, suelo y temperatura. Por otra parte, Wiersema (1987) mencionado por Patty (2009), señala que el número de tubérculos por planta está afectado por la densidad de tallos, dependiendo a su vez de la competencia entre los tallos por los factores de crecimiento como ser los nutrientes, el agua, la luz, indicando también que el número de tubérculos depende entre otros factores de la variedad de la papa.

Yuan *et al.* (2003) citado por Mamani (2015), manifiestan que el incremento de riego aumenta el número y peso medio de los tubérculos. Esta afirmación se comprobó con el tratamiento T-1 donde se obtuvo el mayor promedio de número de tubérculos y donde también no se sometió a estrés hídrico.

### **Análisis estadístico:**

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

- Análisis de varianza (ANOVA)

Los resultados del análisis en referencia se presentan en la Tabla 25.

**Tabla 25: Análisis de varianza (ANOVA) del número de tubérculos totales por tratamiento**

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	2	255.4	127.7	1.2	0.345
Error	9	957.3	106.4		
Total	11	1212.8			

FUENTE: Elaboración propia

Como se muestra en el ANOVA de la Tabla 25 el valor de probabilidad obtenido (P) fue mayor al grado de significancia establecido (0.05), esto permite afirmar que no existen diferencias significativas entre ninguno de los tratamientos en el promedio de número de tubérculos totales.

- Prueba de Tukey

**Tabla 26: Efecto del riego parcial de la zona de raíces en el número de tubérculos totales expresado en miles ha<sup>-1</sup>**

Tratamiento	N	Media	Agrupación
100% control	4	380.185	A
1000% SPR	4	372.222	A
50% SPR	4	369.259	A

Medias seguidas de la misma letra en la columna, no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey al 5 %

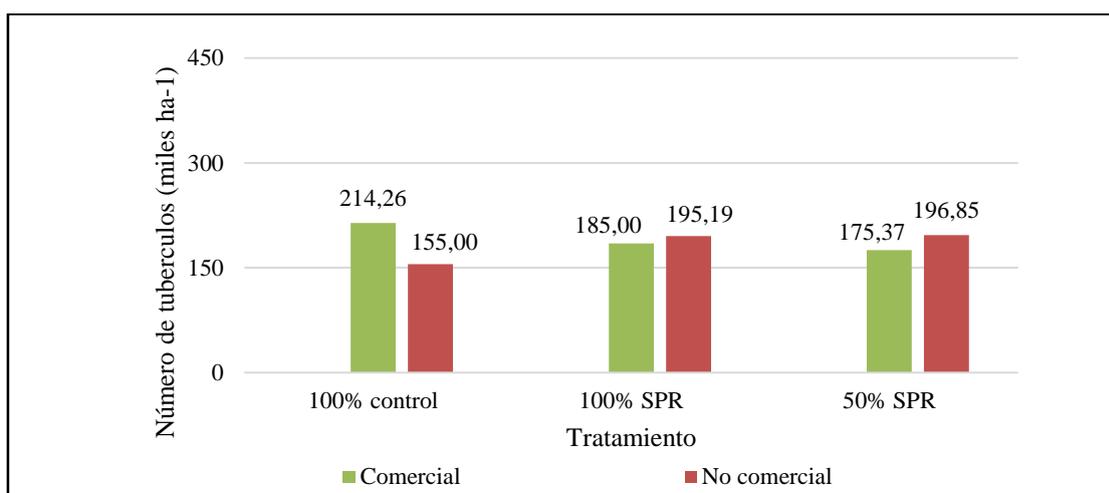
En la Tabla 26 según la prueba de tukey con un 95% de confianza, se muestra el promedio de número de tubérculos totales obtenidos en los diferentes tratamientos expresados en miles  $\text{ha}^{-1}$ .

Donde se observa la agrupación con una misma letra para cada tratamiento, lo cual comprueba que no existen diferencias estadísticas entre ninguno de los tres tratamientos. Este resultado nos indica que la aplicación del SPR tiene un efecto positivo en el número de tubérculos totales obtenidos.

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

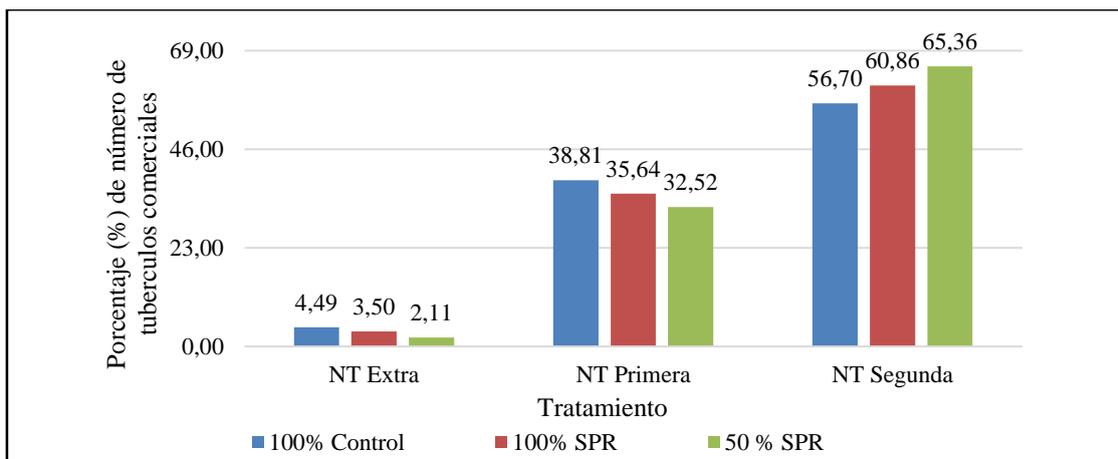
Con la finalidad de saber la influencia del riego deficitario en la cantidad de tubérculos comerciales y no comerciales por tratamiento. Se consideró grupos de clasificación para identificar el efecto, siendo estas las siguientes:

- Tamaños comerciales: extra, primera, segunda.
- Tamaños no comerciales: tercera y descarte (<4.5cm)



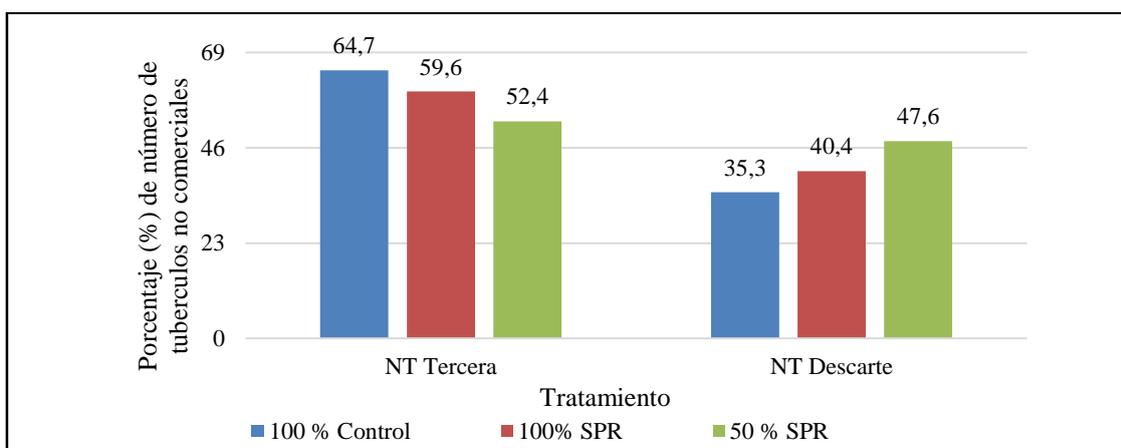
**Figura 23: Número de tubérculos comerciales y no comerciales para cada tratamiento en miles  $\text{ha}^{-1}$**

FUENTE: Elaboración propia



**Figura 24: Número de tubérculos comerciales clasificados por su calibre para cada tratamiento expresado en porcentaje**

FUENTE: Elaboración propia



**Figura 25: Número de tubérculos no comerciales clasificados por su calibre para cada tratamiento expresado en porcentaje**

FUENTE: Elaboración propia

En la Figura 23, se muestra el número de tubérculos comerciales y no comerciales obtenidos en los diferentes tratamientos expresado en miles  $ha^{-1}$ , estos son el resultado del total de la producción durante el desarrollo de la investigación, según los cuales el tratamiento T-1 obtuvo el mayor promedio de número de tubérculos comerciales ( $214.26$  miles  $ha^{-1}$ ) en comparación de los otros 2 tratamientos RP1 y RP2 ( $185$  y  $175.37$  miles  $ha^{-1}$ ) respectivamente. En las figuras 24 y 25 se presenta la misma información, pero en porcentajes considerando los calibres de la Tabla 15.

### Análisis estadístico:

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

- Análisis de varianza (ANOVA)

Los resultados del análisis en referencia se presentan en las tablas 27 y 28.

**Tabla 27: Análisis de varianza (ANOVA) del número de tubérculos comerciales**

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	2	3281.6	1640.79	29.37	0
Error	9	502.7	55.86		
Total	11	3784.3			

FUENTE: elaboración propia

**Tabla 28: Análisis de varianza (ANOVA) del número de tubérculos no comerciales**

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	2	4492.3	2246.14	105.72	0
Error	9	191.2	21.25		
Total	11	4683.5			

FUENTE: elaboración propia

Como se muestra en los ANOVAS de las tablas 27 y 28 el valor de probabilidad obtenido (P) fue menor al grado de significancia establecido (0.05), dicho resultado indica que existen diferencias significativas en al menos uno de los tres tratamientos para el número de tubérculos comerciales y no comerciales respectivamente.

- Prueba de Tukey

**Tabla 29: Efecto del riego parcial de la zona de raíces en el número de tubérculos comerciales expresado en miles ha<sup>-1</sup>**

Tratamiento	N	Media	Agrupación
100% control	4	214.259	A
100% SPR	4	185	B
50% SPR	4	175.37	B

Medias seguidas de la misma letra en la columna, no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey al 5%

**Tabla 30: Efecto del riego parcial de la zona de raíces en el número de tubérculos no comerciales expresado en miles ha<sup>-1</sup>**

Tratamiento	N	Media	Agrupación
50% SPR	4	196.852	A
100% SPR	4	195.185	A
100% control	4	155	B

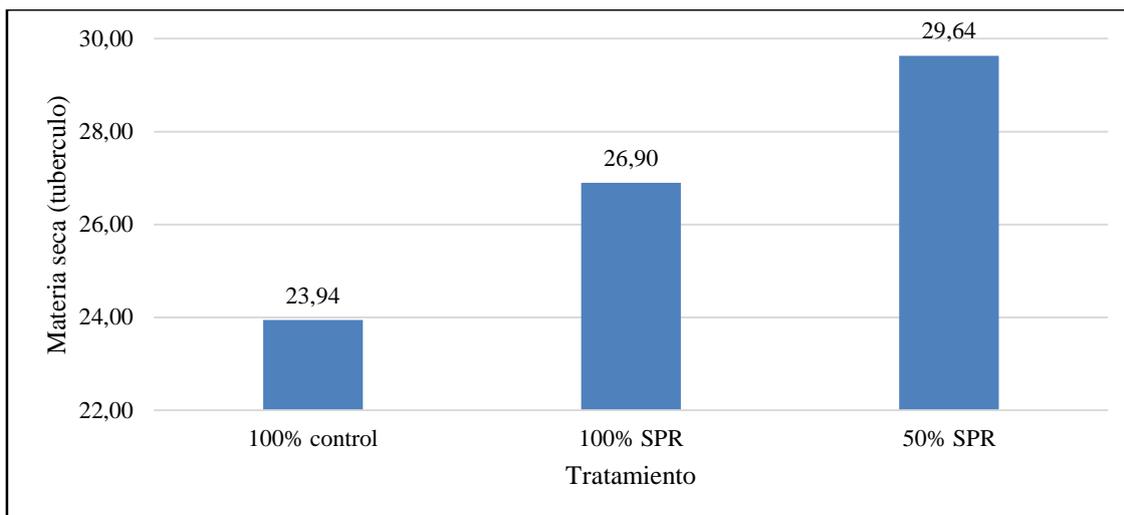
Medias seguidas de la misma letra en la columna, no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey al 5%

En la Tabla 29 según la prueba de Tukey con un 95% de confianza, se muestra el promedio de numero de tubérculos comerciales donde existe una diferencia significativa en el tratamiento T-1 con los otros 2 tratamientos (RP1 y RP2), pero no existe diferencia estadística entre los tratamientos RP1 Y RP2. Mientras que en la Tabla 30, se muestra el promedio de numero de tubérculos no comerciales donde existe diferencia estadística entre el tratamiento T-1 con los otros 2 tratamientos (RP1 y RP2), pero no existe diferencia estadística entre los tratamientos RP1 Y RP2. Los resultados anteriormente descritos indican que la aplicación del SPR tiene un efecto negativo en el número de tubérculos comerciales obtenidos.

### **4.3. Post cosecha**

#### **4.3.2. Porcentaje de materia seca de tubérculos**

De acuerdo con los resultados de materia seca obtenidos por el laboratorio de Análisis de suelos, plantas, agua y fertilizantes de la facultad de Ingeniería Agrícola, se muestra en la Figura 26 los porcentajes de materia seca obtenidos en los diferentes tratamientos los cuales son el resultado de una agrupación por rangos que se indica en la Tabla 16 mediante el cual se obtuvo el mayor porcentaje (29.64%) de materia seca en el tratamiento RP2.



**Figura 26: Porcentaje de materia seca en los tubérculos de cada tratamiento.**

FUENTE: Elaboración propia

Beukema & Van der Zaag (1979), señalan que la sensibilidad al estrés hídrico hace que la papa sea exigente en agua, necesitando de 400 a 600 litros para producir 1 kilogramo de materia seca (MS) en los tubérculos.

Kumar y Jensen (2003), sostienen que el estrés hídrico en papa tiende a mejorar calidad para chips debido al mayor porcentaje de MS en los tubérculos que hace que los chips sean de color más claro y uniforme, apropiado para la industria.

Harris (1992) menciona que la mayor parte de investigaciones sugieren que en la papa existe una relación lineal entre la cantidad de agua que se aplica y el rendimiento de MS producido en los tubérculos. Esto se comprueba en los tres tratamientos, ya que se observa un mayor porcentaje de materia seca en el tratamiento que recibió menor cantidad de agua siendo la diferencia agua.

#### **Análisis Estadístico:**

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

- Análisis de varianza (ANOVA)

Los resultados del análisis en referencia se presentan en la Tabla 30.

**Tabla 31: Análisis de varianza (ANOVA) del porcentaje de materia seca**

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	2	64.9	32.448	27.66	0
Error	9	10.56	1.173		
Total	11	75.46			

FUENTE: Elaboración propia

En el ANOVA de la Tabla 31 se observa que el valor de probabilidad obtenido (P) fue menor al grado de significancia establecido (0.05), dicho resultado indica que existen diferencias significativas en al menos uno de los tres tratamientos para el porcentaje de materia seca.

- Prueba de Tukey

**Tabla 32: Efecto del riego parcial de la zona de raíces en la cantidad de materia seca de los tubérculos expresado en porcentaje**

Tratamiento	N	Media	Agrupación
100% control	4	23.94	A
100% SPR	4	26.895	B
50% SPR	4	29.635	C

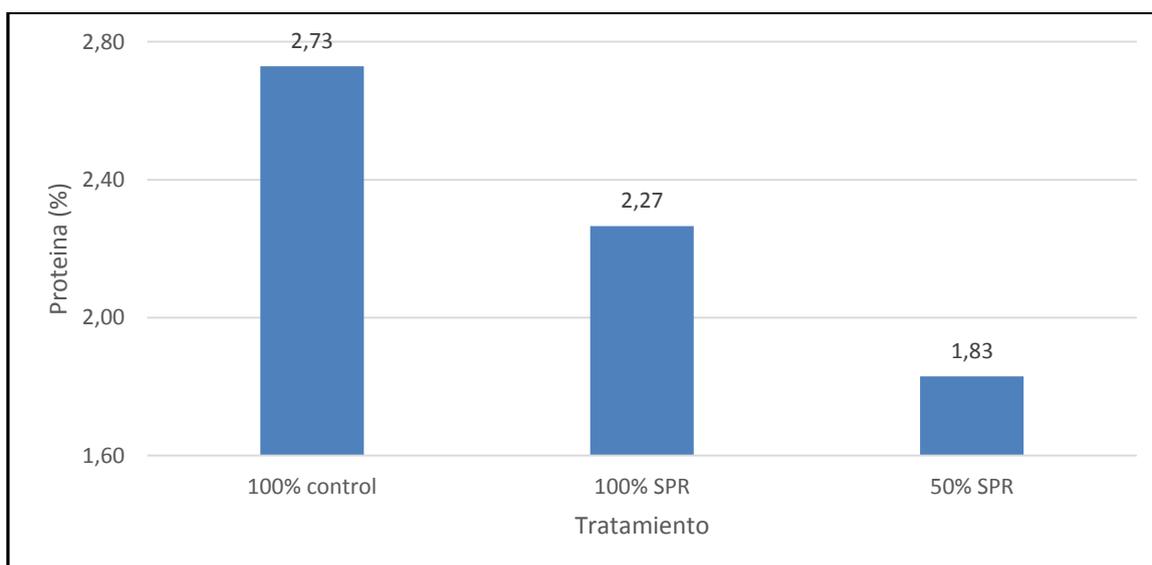
Medias seguidas de la misma letra en la columna, no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey al 5%

En la Tabla 32 según la prueba de Tukey con un 95% de confianza, se muestra el promedio de porcentajes de materia seca, donde existe diferencias significativas entre cada uno de los tratamientos, ya que a la agrupación de cada tratamiento le corresponde una letra diferente. Dicho resultado indica que la aplicación del SPR conlleva a un efecto significativamente positivo en el porcentaje de materia seca obtenido, ya que los valores de materia seca obtenidos se encuentran en el rango considerado como muy bueno (Tabla 16).

### 4.3.3. Porcentaje de proteínas de tubérculos

De acuerdo con los resultados de porcentajes de nitrógeno en los tubérculos obtenidos por el laboratorio de Análisis de suelos, plantas, agua y fertilizantes de la facultad de Ingeniería Agrícola, se realizó la conversión con un factor ya conocido para obtener el porcentaje de proteínas en los tubérculos analizados.

Gracias a lo anteriormente mencionado, en la Figura 27 se muestra el promedio de porcentajes de proteínas obtenidos en los diferentes tratamientos, estos resultados son comparados con lo que indica la Tabla 17, donde la FAO (2008) señala el aporte nutricional de la papa por cada 100 gr de tubérculos con lo cual se observa que el tratamiento T-1 obtuvo el mayor porcentaje (2.7293 %) de proteínas.



**Figura 27: Porcentaje de proteínas en los tubérculos de cada tratamiento.**

FUENTE: Elaboración propia

#### **Análisis Estadístico:**

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

- Análisis de varianza (ANOVA)

Los resultados del análisis en referencia se presentan en la Tabla 33.

**Tabla 33: Análisis de varianza (ANOVA) del porcentaje de proteínas**

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	2	1.62055	0.810276	202.73	0
Error	9	0.03597	0.003997		
Total	11	1.65652			

FUENTE: Elaboración propia

En el ANOVA de la Tabla 33 se observa que el valor de probabilidad obtenido (P) fue menor al grado de significancia establecido (0.05), por lo cual se dice que existen diferencias significativas entre al menos uno de los tratamientos para el porcentaje de proteínas de los tubérculos en los tres tratamientos.

- Prueba de Tukey

**Tabla 34 : Efecto del riego parcial de la zona de raíces en la cantidad de proteínas de los tubérculos expresado en porcentaje**

Tratamiento	N	Media	Agrupación
100% control	4	2.72938	A
100% SPR	4	2.265	B
50% SPR	4	1.82937	C

Medias seguidas de la misma letra en la columna, no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey al 5%

En la Tabla 34 según la prueba de tukey con un 95% de confianza, se observa que en la agrupación de cada tratamiento figura una letra diferente para cada tratamiento, lo cual significa que existen diferencias significativas entre cada uno de los tres tratamientos. Este resultado indica que la aplicación del SPR tiene un efecto positivo en el porcentaje de proteínas obtenido, ya que los valores conseguidos se encuentran dentro del rango considerado como bueno según la FAO (Tabla 17).

#### 4.4. Otros resultados

##### 4.4.1. Cantidad de agua aplicada

Los riegos aplicados fueron de manera simultánea para cada uno de los tratamientos. En la Tabla 35 se muestra que se realizaron 13 riegos uniformes para cada tratamiento durante la fase no experimental y 26 riegos diferenciados correspondientes a cada tratamiento en la fase experimental con láminas de 100% y 50%. En total se aplicaron 39 riegos por tratamiento durante la campaña, con una frecuencia de riego de 2 días.

**Tabla 35: Número de riegos por tratamiento**

Riego/Tratamiento	T-1	RP1	RP2
Nº Riegos al 100% lámina	39	39	13
Nº Riegos al 50% de lámina	0	0	26
Total	39	39	39

FUENTE: Elaboración propia

De la Tabla 36 se aprecia los volúmenes correspondientes semanalmente a cada tratamiento durante la campaña, además se muestra en rojo las semanas de aplicación del riego deficitario. El riego deficitario con secado parcial de raíces (RPD) se realizó a partir de la 7 semana hasta la semana 14 después de siembra.

La aplicación del SPR se desarrolló en dos etapas fenológicas del cultivo de papa, floración y madurez. en estas etapas los tratamientos RP1 y RP2 recibieron el 50% y 100 % del ETC respectivamente. Finalmente, la cantidad de agua aplicada al tratamiento T-1 fue 2824 m<sup>3</sup>/ha, en comparación a los tratamientos RP1 y RP2 (1548.7 y 911 m<sup>3</sup>/ha) respectivamente. Apreciando que existe un ahorro de agua del 45.2 % y 67.7% con relación al tratamiento T-1.

**Tabla 36: Volumen y láminas de agua aplicadas en cada tratamiento durante las semanas de campaña**

SEMANAS	Aporte de agua en (litros/hectárea)		
	T-1	RP1	RP2
1	0	0	0
2	62666.7	62666.7	62666.7
3	45333.3	45333.3	45333
4	48000.0	48000.0	48000
5	61333.3	61333	61333
6	88000.0	72000	64000
7	<b>118666.7</b>	<b>59333</b>	<b>29667</b>
8	<b>154666.7</b>	<b>77333</b>	<b>38667</b>
9	<b>238666.7</b>	<b>119333</b>	<b>59667</b>
10	<b>296000.0</b>	<b>148000</b>	<b>74000</b>
11	<b>341333.3</b>	<b>170667</b>	<b>85333</b>
12	<b>421333.3</b>	<b>210667</b>	<b>105333</b>
13	<b>438666.7</b>	<b>219333</b>	<b>109667</b>
14	<b>509333.3</b>	<b>254667</b>	<b>127333</b>
15	0	0	0
16	0	0	0
<b>L/ha</b>	<b>2824000.0</b>	<b>1548666.7</b>	<b>911000.0</b>
<b>m3/ha</b>	<b>2824.0</b>	<b>1548.7</b>	<b>911.0</b>
<b>lamina (mm)</b>	<b>282.4</b>	<b>154.866667</b>	<b>91.1</b>

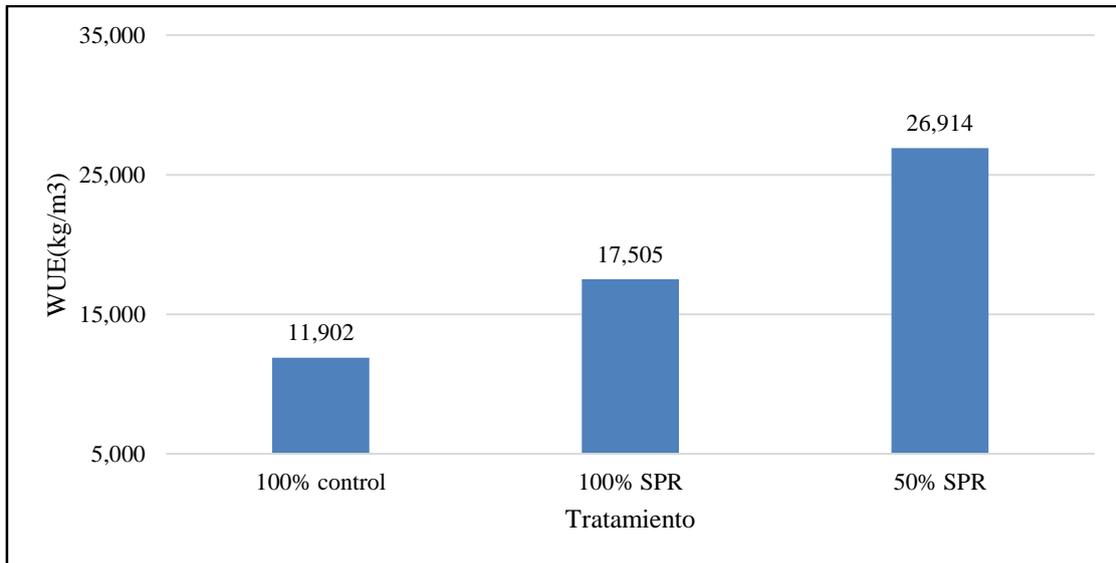
FUENTE: Elaboración propia

Villa (1998) menciona que, empleando el riego por goteo se obtiene un ahorro de agua del 50% con respecto al riego por gravedad.

Rojas, (2007), señala que la cantidad de agua utilizado por el cultivo de papa, empleando el sistema de riego por gravedad es de 3500 a 5000 metros cúbicos por hectárea de terreno cultivado. Tomando en referencia lo citado con los resultados obtenidos se observa que el consumo de agua por el cultivo durante la campaña son valores aceptables.

#### 4.4.2. Eficiencia de uso de agua

En la Figura 28 se observa los resultados de eficiencia de uso de agua expresado en  $\text{kg}/\text{m}^3$ , donde los valores obtenidos fueron de 11.902, 17.505 y 26.914  $\text{kg}/\text{m}^3$  para los tratamientos T-1, RP1 Y RP2 respectivamente. Con ello se demuestra que la EUA fue significativamente mejor en aquellas plantas expuestas bajo el sistema de riego parcial por secado de raíces frente a las plantas que recibieron el riego normal.



**Figura 28: Eficiencia de uso de agua expresado en  $\text{kg}/\text{m}^3$**

FUENTE: Elaboración propia

#### **Análisis Estadístico:**

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

- Análisis de varianza (ANOVA)

Los resultados del análisis en referencia se presentan en la Tabla 36.

**Tabla 37: Análisis de varianza (ANOVA) de la eficiencia de uso de agua**

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	2	677.437	338.719	665.11	0
Error	9	4.583	0.509		
Total	11	682.021			

FUENTE: Elaboración propia

Como se muestra en el ANOVA de la Tabla 37 se observa que el valor de probabilidad obtenido (P) fue menor al grado de significancia establecido (0.05), dicho valor indica que existen diferencias significativas entre al menos uno de los tres tratamientos para la eficiencia de uso de agua expresado en  $\text{kg/m}^3$  de agua aplicado en una hectárea de cultivo.

- Prueba de Tukey

**Tabla 38: Efecto del riego parcial de la zona de raíces en la eficiencia de uso de agua para cada tratamiento expresado en  $\text{kg.m}^{-3}$** 

Tratamiento	N	Media	Agrupación
100% control	4	11.902	A
100% SPR	4	17.505	B
50% SPR	4	26.914	C

Medias seguidas de la misma letra en la columna, no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey al 5%

En la Tabla 38 según la prueba de Tukey con un 95% de confianza, se muestra el promedio de eficiencias de uso de agua expresado en  $\text{kg/m}^3$ , donde existe una diferencia estadística entre cada uno de los tratamientos debido a las letras diferentes en las agrupaciones. También se observa que el tratamiento RP2 es el que posee el mayor promedio de eficiencia de uso de agua.

Estos resultados reflejan que la aplicación del SPR consigue altos niveles de ahorro de agua y en consecuencia utilizar esta técnica de riego tiene un efecto significativamente positivo en la EUA.

## V. CONCLUSIONES

- La aplicación del riego por goteo subterráneo mediante la técnica de secado parcial de raíces (SPR) permitió reducir la tasa de transpiración del sistema radicular y hojas, también la evaporación del agua presente en el suelo. De esta forma se obtuvieron diferencias significativas en cuanto a consumo de agua del tratamiento testigo con los tratamientos sometidos a déficit hídrico.
- Los rendimientos totales obtenidos para los tratamientos T-1, RP1, RP2 fueron de 33.61, 27.1 y 24.52 t/ha respectivamente, observándose el mayor rendimiento para el tratamiento testigo. Concluyendo que la aplicación del SPR influye reduciendo el rendimiento total.
- Los rendimientos comerciales obtenidos para los tratamientos T-1, RP1, RP2 fueron de 19.5, 13.2 y 11.6 t/ha respectivamente, teniendo como resultado nuevamente el mayor rendimiento comercial para el tratamiento testigo. Notándose significancia estadística a nivel de rendimiento comercial.
- El número de tubérculos totales obtenidos para los tratamientos T-1, RP1 y RP2 fueron de 380.2, 372.2 y 369.3 miles/ha respectivamente. Mientras que la cantidad de tubérculos de manera comercial los cuales fueron 214.3, 185 y 175.3 miles/ha. Se concluye que la aplicación de SPR influye significativamente en la cantidad de tubérculos comerciales mas no en la cantidad de tubérculos totales.

- La cantidad de materia seca obtenida en laboratorio para los tratamientos T-1, SPR1 Y SPR2 fueron de 23.94, 26.9 y 29.6 % respectivamente, observando que en los tratamientos sometidos a SPR se obtiene mayores porcentajes de materia seca. Esta característica influye directamente en la calidad para consumo en fresco y para la industria ya que mejora el color de los chips. Asimismo, se observó que la calidad mejora a medida que se aplica menos agua, pero el rendimiento disminuye.
- Otro indicador de calidad analizado fue el porcentaje de proteínas presente en los tubérculos obteniendo resultados de 2.73, 2.26, 1.83 % para los tratamientos T-1, SPR1 y SPR2 respectivamente, los porcentajes obtenidos se encuentran dentro del rango de buena calidad.
- El volumen total de agua de riego aplicada durante el cultivo para los tratamientos T-1, RP1, RP2 fue de 2824, 1548.7 y 911 m<sup>3</sup>/ha respectivamente. Con esta información y los rendimientos obtenidos se hizo la evaluación de la eficiencia de uso de agua para los tratamientos T-1, RP1 y RP2 los resultados obtenidos fueron de 11.902, 17.505, 26.914 kg/m<sup>3</sup> respectivamente, encontrando una diferencia significativa entre los tres tratamientos. Concluyendo que la aplicación del SPR alcanza altos rendimientos de eficiencia de uso de agua y esta técnica tiene un gran potencial para el ahorro hídrico, importante para zonas con limitaciones de este recurso

## **VI. RECOMENDACIONES**

- Realizar más investigaciones en esta variedad de papa enfocando el análisis económico y de esta manera determinar la rentabilidad del cultivo, considerando el ahorro de agua obtenido con esta técnica de riego (SPR).
- Realizar más investigaciones en esta variedad de papa utilizando esta técnica de riego SPR tomando como inicio de cultivo los meses de abril a junio, ya que en este periodo el invierno es más intenso.
- Se recomienda probar esta técnica de riego (SPR) en regiones de alta producción de papa considerando variedades comerciales de la zona.

## VII. BIBLIOGRAFÍA

- ANA (Autoridad Nacional del Agua). (2000). Condiciones agroclimáticas del cultivo de la papa. Cartilla N° 10. Lima, Perú. pp. 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)
- AUTODEMA (Autoridad Autónoma de Majes). (2015). Aplicación de un riego eficiente en un sistema de riego por goteo. Gobierno Regional de Arequipa. 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. (Tesis de Maestría). Valencia, España. 2013. 85 p.
- Bello, M. & 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>

- 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 Grado). Lima, Perú: UNALM. p. 12.
- Cañamero, M. & Laguna, T. (2012). Innovación tecnológica en riego por goteo. CONCYTEC. Lima, Perú. pp. 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>.
- CREA (Centro Regional de Estudios del Agua). (2005). Fertirriego. Hoja Informativa N° 12. Universidad Castilla- La Mancha. España. 8 p. Recuperado de <http://crea.uclm.es/siar/publicaciones/files/HOJA11.pdf>.
- Doorenbos, J. & Kassan, H. (1979). Efecto del Agua sobre el rendimiento de los cultivos. FAO: Riego y Drenaje Publicación N o33 Roma –Italia. pp. 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*. V 15. (5). 1675-1698.
- Egúsqüiza Bayona, R.P. (2014). *La papa en el Perú*. (2da ed.). Lima, Perú: CIMAGRAF. 200 p.
- Egúsqüiza, 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
- FAO. (2006). Food and Agricultura Organización Boletín 56, Estudio Riego y Drenaje, Respuesta de los Rendimientos del Cultivo al Agua.
- FAO. (2008). Food and Agriculture Organization of the United Nations. Año internacional de la papa. Recuperado el 20 diciembre del 2013. 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.
- INDECOPI (Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual.). (2010). *Normas técnicas peruanas, Papas y derivados – papa definiciones y derivado*. (2da ed.). Lima, Perú: INDECOPI.
- INIA (Instituto Nacional de Innovación Agraria) (2012). Boletín Papa INIA 303 canchan. Recuperado de [http://www.inia.gob.pe/wp-content/uploads/investigacion/programa/sistProductivo/variedad/papa/INIA\\_303.pdf](http://www.inia.gob.pe/wp-content/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*. (4ta 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 Grado). La Paz, Bolivia: Universidad Mayor de San Andrés. 81 p.
- Martínez, C. & Huamán, A. (1993). Expresiones Metabólicas de Resistencia a la Sequía en dos Clones de Papa sometidos a Estrés Hídrico. (Tesis de Maestría). Lima, Perú: UNALM. 1993. 100 p.
- Mendoza, H. & Mosquera, V. (2011). Selección de Variedades de Papa. Metodología para Evaluación de Material Genético Avanzado. Proyecto UNALM-INCAGRO-CIP. pp. 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.
- MINAGRI (Ministerio de Agricultura y Riego). (2017). Papa: características de la producción nacional y de la comercialización en Lima Metropolitana. Lima, Perú. 13. 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.
- 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 Grado). Lima, Perú: UNALM. 2015. 10-11 p.
- 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 Grado). Lima, Perú: UNALM. 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 Grado). La Paz, Bolivia: Universidad Mayor de San Andrés. 111 p.
- Pumisacho, M. & Sherwood, S. (2002). *El cultivo de la papa en el Ecuador*, INIAP y CIP, 2002. Quito, Ecuador, pp. 21-161.
- Ramos, C. (1991). Características y selección de papas cultivables en el Perú para elaboración de hojuelas y tiras. (Tesis de Grado). Lima, Perú: UNALM. pp. 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.
- Rogers, H. (2018). Subsurface Drip Irrigation (SDI) Components: Minimum requirements. Recuperado de <https://www.ksre.k-state.edu/sdi/reports/2018/MF2576.pdf>.
- Rojas, G.; Posadas, A.; Quiroz, R.; Holle, M. & Málaga, M. (2007). Secado parcial de raíces: una promisorio técnica de riego en papa (*Solanum Tuberosum* L.). Centro Internacional de la Papa. Lima, Perú. pp. 206
- Sánchez Blanco, M.J. & Torrecillas, A. (1995). *Riego deficitario controlado, fundamentos y aplicaciones*. Madrid, España: Mundi Prensa. 66 p.
- Sánchez, M. & Meza, R. (2014). Evaluación del rendimiento del cultivo de papa bajo la aplicación del riego deficitario (PRD) utilizando cintas de riego. *Anales Científicos*. 76 (1): 22-28
- Sánchez, J. (2000). Fertirrigación: Principios, factores, aplicaciones. Seminario de Fertirrigación: Apukai-Comex. Lima, Perú. 27 p. Recuperado de <http://www.fertilizando.com/articulos/FertirrigacionPrincipiosFactoresAplicaciones.pdf>
- Salter, P.J. & Goode, J.E. (1967). Crop responses to water at different stages of growth. Farnham Royal, the United Kingdom, commonwealth agricultural bureau, Farnham Royal, England.
- Sierra, C.; Santos, R. & Kalazih, J. (2002). Fertilización del cultivo de la papa en la zona sur de Chile. Instituto de Investigación Agropecuaria (INIA). Santiago, Chile. 41 p.
- Sifuentes, F. (2012). Crecimiento, producción y calidad de papa para fritura variedad Única. (Tesis de Grado). Lima, Perú: UNALM. pp. 9-12

- Sood, M.C. & Singh, N. (2003). Water management. Khurana, SMP, Minhas; JS, Pandey, SK (Eds.). The Potato: Production and utilization in sub-tropics. New Delhi, India. Mehta Publishers.
- Shock, C.C. & Feibert, E.B.G. (2002). 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. & Cañamero, M. (2017). *Fundamentos de la ingeniería de riego*. Recuperado de <http://innovacionydesarrolloagricola.blogspot.com/2017/10/libro-fundamentos-de-la-Ingeniería-de.html>.
- Vermeiren, L. & Jobling, G.A. (1980). Localized irrigation: design, installation, operation, evaluation. Irrigation and Drainage paper N°36. FAO Rome. 203 pp.
- Xu, X.A.; Van Lammeren, Vermeer E. & Vreugdenhil, D. (1998). The Role of Gibberellin, Abscisic Acid, and Sucrose in the Regulation of Potato Tuber Formation in Vitro. *Plant Physiol.* 117: 575-584.
- Zhang, J. & Tardieu, F. (1996). Relative contribution of apices and mature tissues to ABA synthesis in droughted maize root system. *Plant Cell Physiol.* 37:598-605.

## VIII. ANEXOS

### Anexo 1: Datos meteorológicos mensuales (2019)

Mes	T° media (°C)	HR media (%)	Precipitación (mm)	Tanque de evaporación (mm)
Julio	14.18	92.71	0.70	31.28
Agosto	14.79	93.59	0.75	35.7
Septiembre	15.77	92.62	0.60	53.5
Octubre	16.62	89.90	0.50	71.1
Noviembre	19.05	84.33	0.25	74.8

FUENTE: Estación Davis, FIA – UNALM

### Anexo 2: Actividades realizadas antes de la siembra



#### Limpieza del terreno

FUENTE: Elaboración propia



### **Nivelación del terreno manualmente**

FUENTE: Elaboración propia



### **Instalación de las cintas de riego**

FUENTE: Elaboración propia



**Instalación de válvula reguladora de presiones**

FUENTE: Elaboración propia



**Prueba de funcionamiento del sistema de riego**

FUENTE: Elaboración propia



### **Prueba de coeficiente de uniformidad**

FUENTE: Elaboración propia



### **Toma de muestra de suelo inicial**

FUENTE: Elaboración propia



**Recolección de la muestra de suelo**

FUENTE: Elaboración propia



**Muestra de suelo llevada a estufa**

FUENTE: Elaboración propia



**Toma de dato de caudalímetro inicial**

FUENTE: Elaboración propia

### **Anexo 3: Actividades realizadas durante la siembra**



**Semillas puestas en campo**

FUENTE: Elaboración propia



**Preparación de los surcos para la siembra**

FUENTE: Elaboración propia



**Incorporación de guano de oveja a los surcos**

FUENTE: Elaboración propia



**Puesta de semillas espaciados cada 30 cm**

FUENTE: Elaboración propia



### **Aplicación de fungicida**

FUENTE: Elaboración propia

#### **Anexo 4: Labores realizadas durante el desarrollo de la investigación**



**Lectura del tanque evaporímetro antes de cada riego**

FUENTE: Elaboración propia



**Control de emergencia de plantas**

FUENTE: Elaboración propia



**semi aporque realizado a los 30 días después de la siembra**

FUENTE: elaboración propia



**Aporque realizado a los 45 días después de la siembra**

FUENTE: Elaboración propia



### **Aplicación de plaguicidas**

FUENTE: Elaboración propia



### **Sistema de inyección de fertilizante**

FUENTE: Elaboración propia



**Corte de superficie foliar antes de la cosecha**

FUENTE: Elaboración propia

## Anexo 5: Actividades realizadas durante la cosecha



**Cosecha realizada manualmente**

FUENTE: Elaboración propia



**Pesado de tubérculos en bolsas por subparcela**

FUENTE: Elaboración propia



### **Selección de tubérculos por calibres**

FUENTE: Elaboración propia

## Anexo 6: Actividades realizadas en post cosecha



**Selección de tuberculos para análisis de calidad**

FUENTE: Elaboración propia



**Hojuelas de tubérculo en papel platino llevado al horno para obtención de M.S**

FUENTE: Elaboración propia



**Hojuelas de tubérculo salidas del horno**

FUENTE: Elaboración propia



**Trituración de hojuelas secas para obtención de cantidad de nitrógeno en tuberculos**

FUENTE: Elaboración propia



**Muestra de tubérculo triturado listo a ser sometido al método micro Kjeldahl**

FUENTE: Elaboración propia

Anexo 7: Análisis físico químico del suelo (inicial)



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

**ANÁLISIS DE SUELO - CARACTERIZACIÓN**

Nº 015625

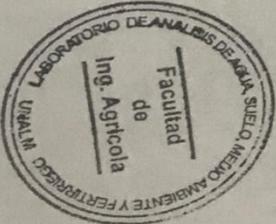


SOLICITANTE : JORDAN ARGOTE MELENDRÉS  
 PROYECTO : TESIS  
 PROCEDENCIA : Parcela Ingeniería Agrícola - UNALM  
 RESP. ANÁLISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras  
 FECHA DE ANÁLISIS : La Molina, 23 de octubre de 2019

Número de muestra Ldb. Campo	CE ds / m Relación 1:1	Análisis Mecánico				pH	M.O. %	P ppm	K ppm	CaCO <sub>3</sub> %	Cationes Cambiables					
		Arena %	Limo %	Arcilla %	Textura Relación 1:1						Ca <sup>++</sup> Cmol (+) / Kg	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K	pH <sup>3+H<sup>+</sup></sup>	
15625 suelo 35 cm	1.34	51.48	30.12	18.40	Franco	7.39	1.17	35.97	202.00	1.84	12.67	10.99	1.23	0.11	0.44	*

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUA Y SUELO

Ing. Msc. Miquela A. Sánchez Delgado  
JEFE DE LABORATORIO



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

## Anexo 8 : Análisis físico químico de agua



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



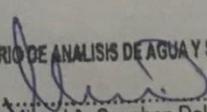
Nº 009554

### 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>	6.97
<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>	7.05
<b>SAR</b>	0.85
<b>CLASIFICACION</b>	C2-S1
<b>Boro</b> mg/L	0.20

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUA Y SUELO



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



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

**Anexo 9 : Análisis físico químico del suelo (final)**



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

**ANÁLISIS DE SUELO - CARACTERIZACIÓN**

**SOLICITANTE** : JORDAN ARGOTE MELENDRES  
**PROYECTO** : TESIS  
**PROCEDENCIA** : Parcela Experimental FIA  
**RESP. ANALISIS** : Ing. Elizabeth Monterrey Porras  
**FECHA DE ANÁLISIS** : La Molina, 23 de diciembre de 2019

Número de muestra	Lab.	Campo	CE ds / m Relación 1:1	Análisis Mecánico				pH	M.O. %	P ppm	K ppm	CaCO <sub>3</sub> %	Cationes Cambiables				
				Arena %	Limo %	Arcilla %	Textura Relación 1:1 Franco arcillo arenoso						Ca <sup>++</sup> Cmol (+) / Kg	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Al <sup>+++</sup> -H <sup>+</sup>
15893		Suelo	1.89	49.25	27.35	23.40	7.08	2.17	52.59	296.00	1.51	10.29	8.12	1.33	0.33	0.51	

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUA Y SUELO  
 Ing. Msc. Miguel A. Sánchez Delgado  
 JEFE DE LABORATORIO





Nº 015893

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