

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**“EFECTO DE LA FERTIRRIGACIÓN EN EL RENDIMIENTO DE
DOS VARIEDADES DE CAMOTE “*Ipomoea batatas L.*” EN
CONDICIONES DE DÉFICIT HÍDRICO”**

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

ROSSMERY LUCIA MELGAR FUENTES

LIMA – PERÚ

2018

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

**“EFECTO DE LA FERTIRRIGACIÓN EN EL RENDIMIENTO DE
DOS VARIEDADES DE CAMOTE (*Ipomoea batatas L.*) EN
CONDICIONES DE DÉFICIT HÍDRICO”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÍCOLA

Presentado por:

BACH. ROSSMERY LUCIA MELGAR FUENTES

Sustentado y aprobado por el siguiente jurado:

Mg. Sc. DAVID RICARDO ASCENCIOS TEMPLO
Presidente

Mg. Sc. MIGUEL ÁNGEL SÁNCHEZ DELGADO
Asesor

Ing. ANTONIO CELESTINO ENCISO GUTIÉRREZ
Miembro

Mg. Sc. GILBERTO RODRÍGUEZ SOTO
Miembro

Dr. JESÚS ABEL MEJÍA MARCACUZCO
Co-asesor

LIMA - PERÚ
2018

DEDICATORIA

El presente trabajo se lo dedico a mis padres, Martha y Enrique, por el apoyo desde el primer momento, por su comprensión y empujarme cuando lo necesitaba; a mi hermana Karim por ser mi ejemplo, y a mi abuelita Doris, por su amor incondicional.

Mis logros son para ustedes.

AGRADECIMIENTO

Mis agradecimientos a mi asesor el Ing. Miguel Ángel Sánchez Delgado por su supervisión constante, entera cooperación desde el inicio del proyecto y facilitarnos las condiciones para la experimentación.

A mis amigos incondicionales: Daniel, Carolina, Cinthia, Belén, Bruno y Renzo por ayudarme en las diferentes etapas de la experimentación sin interés de por medio.

A mis compañeros de proyecto: Kelyn y Duaner por el trabajo en equipo para sacar adelante esta investigación.

A mis compañeras de trabajo, Magaly y Almendra, gracias por el soporte en todo este camino, sobre todo, en la semana previa a la sustentación

Al técnico de laboratorio Alan Santivañez, por su cooperación durante todas las etapas del proyecto.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN

ABSTRACT

I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Justificación de la investigación.....	2
1.2. Objetivos de la investigación.....	3
II. REVISIÓN DE LA LITERATURA.....	4
2.1. Cultivo de camote.....	4
2.1.1. Descripción de cultivo.....	4
2.1.2. Características generales.....	4
2.1.3. Fenología del camote.....	5
2.1.4. Factores que intervienen en el desarrollo del cultivo de camote.....	10
2.1.5. Fases de desarrollo y crecimiento del camote.....	11
2.1.6. Manejo del cultivo	13
2.1.7. Necesidades químicas del camote.....	16
2.1.8. Necesidades hídricas del camote	17
2.2. Riego por goteo.....	17
2.3. Riego deficitario.....	18
2.3.1. Riego deficitario controlado (RDC).....	19
2.3.2. Riego deficitario parcial en la zona de raíces (SPRZ)	20
2.4. Factores y condiciones para la aplicación de riego PRD	23
2.5. Camote y estrés hídrico.....	24

2.6. Fertirriego	24
2.6.1. Ventajas y Desventajas	25
2.6.2. Solución madre	26
2.6.3. Equipo de inyección.....	26
2.7. pH.....	27
2.8. Conductividad eléctrica (índice salino)	28
2.9. Bulbo de humedecimiento	28
2.10. Programación de riego	29
2.10.1. Necesidades hídricas de los cultivos.....	29
2.10.2. Método del tanque evaporímetro	29
2.11. Programación del fertirriego	31
III. MATERIALES Y MÉTODOS	33
3.1. Parcela experimental	33
3.1.1. Localización.....	33
3.1.2. Suelo	33
3.1.3. Agua.....	34
3.2. Diseño experimental	35
3.3. Programación de riego	37
3.3.1. Prueba de capacidad de campo y punto de marchitez permanente.....	37
3.3.2. Velocidad de Infiltración	38
3.4. Conducción del experimento	39
3.4.1. Instalación del Sistema	39
3.4.2. Manejos.....	40
3.4.3. Aplicación de PRD	41
3.4.4. Aplicación de la Fertirrigación	41
3.4.5. Distribución de Sales y nutrientes.....	44
3.5. Mediciones	44

3.5.1 Evaluación de la aplicación del fertirriego	44
3.5.2 Rendimiento Total	45
3.5.3 Clasificación de raíces reservantes	45
3.5.4 Contenido de N, P y K en la raíz reservante.....	45
3.6. Análisis estadístico.....	46
IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES	47
4.1. Monitoreo de los valores de humedad, conductividad eléctrica y pH del extracto de suelo extraído luego del fertirriego	47
4.1.1. Contenido de humedad en el suelo	47
4.1.2. Conductividad Eléctrica.....	50
4.1.3. pH.....	54
4.1.4. Rendimiento de dos variedades de camote por el efecto de la fertirrigación en condiciones de déficit hídrico	58
4.2. Homogeneidad de producción en cada tratamiento aplicado en las variedades Huambachero y Paramonguino	61
4.3. Porcentaje de N, P Y K encontrado en las muestras de camote luego de la cosecha.....	63
V. CONCLUSIONES	67
VI. RECOMENDACIONES	68
VII.REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69
VI. ANEXOS	73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Periodo vegetativo según fases del cultivo de camote.	12
Tabla 2: Análisis físico-químico de la muestra de suelo.	34
Tabla 3: Análisis químico de la muestra de agua	35
Tabla 4: Características físicas del suelo.	38
Tabla 6: Cantidad en kilos por hectáreas (Kg.ha^{-1}) requerida de acuerdo a la concentración de cada fertilizante.	43
Tabla 7: Cantidad total (gramos) necesaria para la aplicación del fertirriego en la parcela demostrativa.	43
Tabla 8: Resultados del Test de comparación múltiple de Duncan de los valores de la conductividad eléctrica del suelo (dS.m^{-1}) en las diferentes etapas fenológicas de la Variedad Paramonguino.	51
Tabla 9: Resultados del Test de comparación múltiple de Tukey de los valores de la conductividad eléctrica del suelo (dS.m^{-1}) en las diferentes etapas fenológicas de la Variedad Paramonguino.	51
Tabla 10: Prueba de Duncans de la medición de la conductividad eléctrica del suelo (dS.m^{-1}) en diferentes etapas fenológicas de la variedad Huambachero.	52
Tabla 11: Prueba de Tukeys de la medición de la conductividad eléctrica del suelo (dS.m^{-1}) en las diferentes etapas fenológicas de la variedad Huambachero.	52
Tabla 12: Análisis estadístico Tukey del pH del suelo en diferentes etapas fenológicas de la variedad Huambachero.	55
Tabla 13: Análisis estadístico Duncan del pH del suelo en diferentes etapas fenológicas de la variedad Huambachero.	55
Tabla 14: Test de comparación múltiple de Duncan del pH del suelo en diferentes etapas fenológicas de la variedad Paramonguino.	56
Tabla 15: Test de comparación múltiple de Tukey del pH del suelo en diferentes etapas fenológicas de la variedad Paramonguino.	56
Tabla 16: Análisis estadístico de la variable rendimiento en la variedad de camote Paramonguino.	59

Tabla 17: Análisis estadístico de la variable rendimiento en la variedad de camote Huambachero.....	59
Tabla 18: Análisis comparativo de medias, utilizando la prueba de Tukeys y Duncan para la variable categorización del camote en la variedad Paramonguino.....	61
Tabla 19: Análisis comparativo de medias, utilizando la prueba de Tukeys y Duncan para la variable categorización del camote en la variedad Huambachero.....	62
Tabla 20: Prueba de Chi cuadrado para el porcentaje de Nitrógeno extraído por el camote cosechado en la variedad Huambachero.....	64
Tabla 21: Prueba de Chi cuadrado para el porcentaje de Fósforo extraído por cosechado en la variedad Huambachero.....	64
Tabla 22: Prueba de Chi cuadrado para el porcentaje de potasio (P) extraído por cosechado en la variedad Huambachero.....	64
Tabla 23: Prueba de Chi cuadrado para el porcentaje de Nitrógeno extraído por cosechado en la variedad Paramonguino.....	65
Tabla 24: Prueba de Chi cuadrado para el porcentaje de Fósforo extraído por cosechado en la variedad Paramonguino.....	66
Tabla 25: Prueba de Chi cuadrado para el porcentaje de potasio (P) extraído por cosechado en la variedad Paramonguino.....	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Tipos de raíces en la planta de camote.....	6
Figura 2: Parte aérea de la planta de batata o camote.....	7
Figura 3: Hoja típica de la variedad INIA-100.....	8
Figura 4: Partes de la flor de la planta de camote.....	9
Figura 5: Partes de la planta de camote.	10
Figura 6: Etapas del crecimiento del camote.....	13
Figura 7: Diagrama esquemático de FI (Riego tradicional), DI (Riego deficitario controlado) y PRD (riego parcial de raíces)	21
Figura 8: Caracterización de un inyector Venturi.	27
Figura 9: Coeficientes del tanque tipo A	30
Figura 10: Ubicación de la parcela demostrativa DRH -FIA.	33
Figura 11: Área demostrativa y distribución de parcelas por tratamiento.....	36
Figura 12: Distribución de los goteros de las mangueras dispuestos para la aplicación del PRD (T1).	37
Figura 13: Curva de lámina infiltrada	38
Figura 14: Distribución de sales en un volumen de suelo húmedo debajo del emisor.....	44
Figura 15: Humedad del suelo (%) registrada a lo largo de las diferentes etapas fenológicas en cada uno de los cuatro tratamientos aplicados para la variedad Huambachero.....	49
Figura 16: Humedad del suelo (%) registrada a lo largo de las diferentes etapas fenológicas en cada uno de los cuatro tratamientos aplicados para la variedad Paramonguino.....	49
Figura 17: Conductividad Eléctrica del suelo ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$) en diferentes etapas fenológicas de la variedad Paramonguino.	53
Figura 18: Conductividad Eléctrica del suelo ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$) en diferentes etapas fenológicas de la variedad Huambachero.	53
Figura 21: Comportamiento del pH en el suelo en diferentes etapas fenológicas de la variedad Huambachero.	57
Figura 22: Comportamiento del pH en el suelo en diferentes etapas fenológicas de la variedad Paramonguino.	57

Figura 23: Diagrama de Caja-Bigotes del rendimiento en cada tratamiento aplicado a la variedad Paramonguino (panel superior) y a la variedad Huambachero (panel inferior). ..	60
Figura 24: Rendimiento $Tn \cdot ha^{-1}$ según categoría en la variedad Paramonguino para cada tratamiento.....	62
Figura 25: Rendimiento $Tn \cdot ha^{-1}$ según categoría en la variedad de camote Huambachero para cada tratamiento.....	63
Figura 26: Porcentaje de N, P y K presente en el camote de variedad Huambachero luego de la cosecha.....	65
Figura 27: Porcentaje de N, P y K presente en el camote de variedad Paramonguino luego de la cosecha.....	66

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO N° 1: Replanteo e instalación del sistema de riego	73
ANEXO N° 2: Calendario del experimento	79
ANEXO N° 3: Plan de fertirriego	80
ANEXO N° 4: Monitoreo de la conductividad eléctrica (CE) y pH en la muestra madre y agua de riego a lo largo de los estados fenológicos.....	82
ANEXO N° 5: Láminas de riego aplicadas a los diferentes tratamientos	83

ABREVIATURAS

Acrónimo

ANA	Autoridad Nacional del Agua
CE	Conductividad eléctrica
ET _o	Evapotranspiración de referencia
K _c	Coefficiente de cultivo
pH	Potencial de hidrógeno
PRD	Riego parcial deficitario
SAR	Relación de absorción de sodio
UNALM	Universidad Nacional Agraria La Molina

RESUMEN

En esta investigación se determinó el rendimiento, absorción de NPK y monitoreo de las características del suelo y agua de riego luego de aplicar el fertirriego en plantas de dos cultivares de camote: Huambachero y Paramonguino, las más usadas comercialmente, bajo un régimen de riego parcial deficitario aplicado en tres diferentes momentos de su etapa fenológica (23, 33 y 45 días), en condiciones primavera-verano del 2017.

El rendimiento, la humedad, salinidad y pH del suelo y muestra madre, y características de la raíz reservante, se controlaron a lo largo del periodo mientras duró el fertirriego el cual se realizó con una frecuencia de dos veces de manera intersemanal.

En cuanto a los rendimientos en la variedad Huambachero como en la variedad Paramonguino, se demuestra que; retrasando la aplicación de PRD y por ende aplicando por más días después de la siembra de manera homogénea el fertirriego, se logra obtener mayor rendimiento. La reducción del rendimiento se explica al que las raíces no tenían el 100% de área para absorber las soluciones nutritivas. Los valores de conductividad eléctrica y pH en general, se encontraron dentro del rango óptimo para las formas asimilables de los nutrientes minerales y estas condiciones no mermaron la calidad de las raíces reservantes, la mayoría de las raíces reservantes fueron aptas para la comercialización (C2).

Palabras clave: Fertirriego, camote, goteo, riego parcial deficitario, rendimiento.

ABSTRACT

In this investigation the yield, the NPK absorption and the monitoring of soil characteristics and irrigation water were determined after applying the fertigation in sweetpotato plants: Huambachero and Paramonguino, the most used commercially, under a regime of partial irrigation Deficiency applied in the different moments of its phenological stage (23, 33 and 45 days), in spring-summer 2017. The yield, humidity, salinity and pH of the soil and the mother sample, and the characteristics of the reserve root, control the long term during the period, which is carried out with a frequency of two times in an intersemanial manner. The yields in the Huambachero variety such as the Paramonguino variety show that; delaying the application of PRD and therefore applying for more days after planting homogeneously the fertigation, it is possible to obtain higher yield. The reduction in yield is explained at the same time that the roots do not have 100% of the absorption area of the nutritive solutions. The values of electrical conductivity and pH in general, are within the optimum range for the assimilable forms of mineral nutrients and these conditions not limited the quality of the storage roots, most of the storage roots were suitable for commercialization (C2).

Key words: Fertigation, sweet potato, drip, partial irrigation deficit, yield.

I. INTRODUCCIÓN

Cerca de una quinta parte de la población mundial habita en áreas que enfrentan escasez de agua y otro cuarto de ella enfrenta recortes en el suministro de agua. Esto se debe principalmente a la insuficiente infraestructura para abastecerse de agua de los ríos y acuíferos por lo que el agua en la agricultura es escasa o nula generando falta de producción de productos pan llevar, (PNUD, 2006).

El riego en el Perú ha sido un factor determinante en el incremento de la seguridad alimentaria, el crecimiento agrícola y productivo, y el desarrollo humano en las zonas rurales del país. La agricultura de regadío es cada vez más importante en el desarrollo y crecimiento del Perú, en especial después del período de estancamiento y desarrollo limitado en las décadas de los 1970 y 1980. (ANA, 2012).

En los últimos años se ha venido implementando un riego tecnificado que no afecte el rendimiento del cultivo pero que si disminuya la cantidad de agua que se debe utilizar, es así que aparecen como solución los sistemas de riego localizado, los cuales son cada vez más populares por su máxima eficacia, ya que aplica el agua solamente donde es necesaria los cual genera pérdidas pequeñas.

Esta raíz, que pertenece a la familia de las *Convolvulaceae*, es quizá la solución al problema de desnutrición en varios lugares del mundo, sobre todo en los que no cuentan con el recurso hídrico abundante, ya que se puede sembrar hasta los 2500 metros de altura y no necesita mano de obra especializada ni tantos insumos para su cuidado pues tolera condiciones marginales de crecimiento (períodos de sequía, suelos pobres, etc.). Generalmente es cultivado por pequeños agricultores que poseen pequeñas extensiones de tierra, poca mano de obra y capital limitado, a veces es sembrado en suelos de baja calidad y con un limitado abastecimiento de agua, (CIP, 2015).

El fertirriego tiene como objetivo aplicar los nutrientes diluidos en el agua de riego al ritmo y en la relación adecuada teniendo en cuenta las etapas de desarrollo de cada cultivo, la demanda de nutrientes y la eficiencia de estos, así como el nivel de

nutrientes disponibles en el suelo y en el agua de riego. (Gil et al. Recuperado en el 2011). Esto junto al riego por goteo aproximará a la zona radicular el fertilizante y aumentará la absorción de los nutrientes evitando la lixiviación de éstos.

El presente estudio desarrollado en la parcela experimental del Departamento de los Recursos Hídricos de la Facultad de Ingeniería Agrícola – UNALM busca evaluar el efecto del fertirriego aplicado por medio de un Riego Parcial Deficitario con el sistema de riego por goteo en dos variedades de camote Huambachero y Paramonguino.

1.1. Justificación de la investigación

A nivel mundial, el camote es el octavo cultivo más importante del mundo después del trigo, arroz, papa, tomate, maíz, yuca y bananas. Se calcula que anualmente se producen más de 105 millones de toneladas métricas en el mundo, de las cuales más de 95% de estas toneladas se cosechan en los países en vías de desarrollo, (CIP, 2015).

En Perú, el camote está considerado como uno de sus cultivos principales. El consumo per cápita es de 7 kg. La producción agrícola anual del año 2014 fueron 278 259 toneladas, más de 93 000 toneladas más que las producidas en el año 2014. El rendimiento promedio anual de este cultivo en el 2012 fue de 17 459 kilogramos por hectárea, casi mil toneladas más comparadas con los 16 133 kilogramos por hectárea que se registró en el país, (INEI, 2015).

Cerca de una quinta parte de la población mundial (1200 millones) habita en áreas que enfrentan escasez de agua y otro cuarto de la población mundial (1600 millones) enfrenta recortes en el suministro de agua por insuficiencia de infraestructura para abastecerse de agua de los ríos y acuíferos por lo que el agua en la agricultura es escasa o nula generando falta de producción de productos pan llevar, (PNUD, 2006).

Según una investigación ejecutada por INIA Rayentué en Chile, el sistema de riego por goteo tiene una eficiencia de riego del 90% ante un 45% de eficiencia en el riego por surcos (Antúnez et al., 2009). Desde la década del noventa se probó en vid el riego parcial deficitario con el cual es posible que la planta se desarrolle con total normalidad utilizando el 45% del recurso hídrico, (Turchetti, 2013).

A nivel mundial, el camote es el octavo cultivo más importante del mundo después del trigo, arroz, papa, tomate, maíz, yuca y bananas. Se calcula que anualmente se producen más de 105 millones de toneladas métricas en el mundo, de las cuales más de 95% de estas toneladas se cosechan en los países en vías de desarrollo, (CIP, 2015).

Toda planta necesita principalmente nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K) y elementos adicionales tales como el Ca, Mg, S, anhídrido carbónico y los microelementos: Fe, Mn, Zn, Cu, Mo, B, Cl que, junto con el agua (H_2O), brindan a la planta todos los nutrientes que ésta necesita. Éstos pueden ser introducidos a la planta de una manera más eficiente por medio del fertirriego. Por medio de éste los nutrientes son aplicados uniformemente y directo a las raíces activas y así se reduce el potencial de contaminación del agua subterránea causado por la lixiviación de los fertilizantes. (Imas P., 1999).

1.2. Objetivos de la investigación

1.2.1. Objetivo General

Comparar el efecto de la fertirrigación en el rendimiento del cultivo de dos variedades de camote en condiciones normales (100% ETo) y de déficit hídrico (50% ETo).

1.2.2. Objetivos Específicos

- Determinar el rendimiento de dos variedades de camote Huambachero y Paramonguino por el efecto de la fertirrigación en condiciones de déficit hídrico.
- Monitorear los valores de humedad, conductividad eléctrica y pH del extracto del suelo extraído luego del fertirriego para que no exceda los valores admitidos.
- Comparar la homogeneidad de producción en cada tratamiento aplicado en las variedades Huambachero y Paramonguino mostrando el efecto de la fertirrigación en condiciones de déficit hídrico.

II. REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1. Cultivo de camote

2.1.1. Descripción de cultivo

Probablemente, el camote se originó en el noroeste de Suramérica, sin embargo, miles de cultivares han sido seleccionados y cultivados en Latinoamérica desde tiempos ancestrales. Es conocido por diferentes nombres en toda Latinoamérica; camote, boniato, batata, douce, apichu y kumara son algunos de ellos.

La distribución geográfica de las especies silvestres del camote está dentro de América, con excepción de *L. littorais* que se encuentra en Australia y Asia. Actualmente se cultiva a lo largo de la zona tórrida. Sin embargo, las más grandes extensiones cultivadas se encuentran en China y en otros países de Asia, (Huamán, 1992).

2.1.2. Características generales

El camote fue descrito por Linneo en 1753 como *Convolvulus batatas*. Sin embargo, en 1791 Lamarck, clasificó esta especie dentro del género *Ipomoea* en base a la forma del estigma ya la superficie de los granos de polen. Por lo tanto, el nombre fue cambiado a *Ipomoea batatas* (L.) Lam.

Huamán (1992), describe la clasificación sistemática del camote de la siguiente manera:

- Familia : *Convolvulaceae*
- Tribu : *Ipomoeae*
- Género : *Ipomoea*
- Sub género : *Quamoclit*
- Sección : *Batatas*
- Especie : *Ipomoea batatas* (L.) Lam.

a. Características de la variedad de camote Huambachero

Es una variedad de camote generado por el INIA en la estación experimental de Huacho, de ahí su sinonimia: Camote INIA 306-Huambachero. Su época de producción es todo el año y su rendimiento es de 16 t.ha⁻¹. Se adapta fácilmente a la costa central y norte del país. Presenta un color de piel morado oscuro y la pulpa es de color anaranjado claro. Aunque en la cosecha se encuentran de distintos tamaños y formas, generalmente es de tamaño mediano y de forma elíptica llegando a pesar 200 g, cualidades por las cuales se considera de buena calidad comercial y culinaria. Su contenido de materia seca varía entre 30 y 32 por ciento y el número de raíces reservantes es de cinco a siete por planta (INIA, 2001).

b. Características de la variedad de camote Paramonguino

A pesar de tener la piel amarilla, esta variedad es considerada como una solución a los altos precios de las variedades comerciales, los camotes de piel morada, que se presentan en época de escasez de la raíz (INIAA, 1988). Se caracteriza por tener un ciclo vegetativo semi-precoz, 4.5 a 5 meses, sus hojas son de color verde y de forma corazonada y es resistente a los nematodos. Tiene un contenido de materia seca del 28 por ciento y almidón del 19 por ciento con crecimiento semi-postrado. Llega a dar 26 t.ha⁻¹ de producción. Su raíz reservante tiene una piel de color amarilla y su pulpa es de color anaranjado. Su tamaño es considerado mediano y su forma es elíptica.

2.1.3. Fenología del camote

a. Sistema Radicular

El sistema radicular del camote consiste de raíces fibrosas que absorben nutrientes y sostienen a la planta, y raíces reservantes que son las raíces laterales en las que se almacenan los productos fotosintéticos.

El sistema radicular de las plantas que se obtiene por propagación vegetativa (a partir de esquejes) se inicia con las raíces adventicias. Estas se desarrollan como raíces fibrosas primarias que se ramifican lateralmente. Conforme la planta madura, se producen raíces de tipo lápiz que tiene lignificación. Otras raíces que no tiene lignificación, son carnosas, engruesan bastantes y se les llama raíces reservantes.

Las plantas producidas de semillas desarrollan una raíz típica con un eje central y ramificaciones laterales. Más tarde, eje central funciona como una raíz central. (CIP, 1992).

Iniciación de las raíces de almacenamiento se informó de que se produzca entre el período de 35 a 60 días después de la siembra (Behelu, 2003).

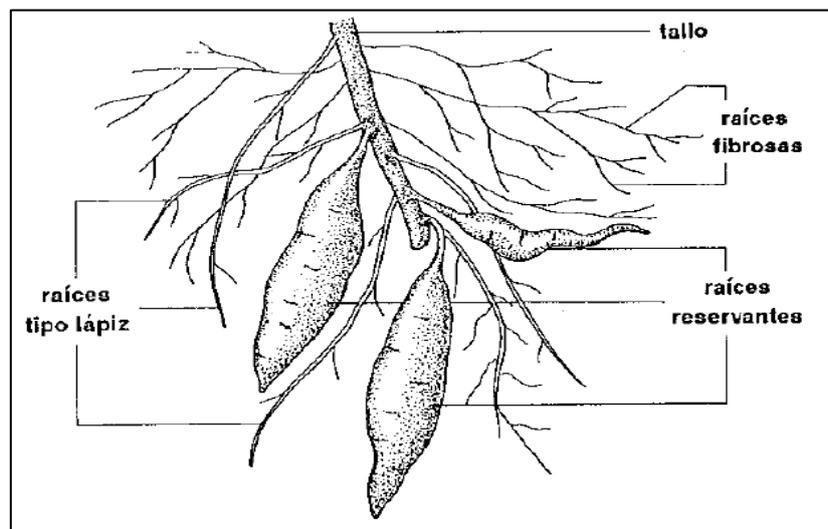


Figura 1: Tipos de raíces en la planta de camote.

FUENTE: Behelu, 2003

b. Tallo

Los tallos (bejuco o guías) son cilíndricos y su longitud; así como la de los entrenudos, depende del hábito de crecimiento del cultivar y de la disponibilidad de agua en el suelo. Los cultivares de crecimiento erecto son de aproximadamente 1m de largo mientras que los rastreros pueden alcanzar más de cinco metros de longitud. Algunos cultivares tiene tallos con tendencia al enroscamiento. La longitud de los entrenudos puede variar de corta a muy larga y, según el diámetro del tallo, pueden ser delgados o muy gruesos.

Dependiendo de los cultivares, el color de los tallos varia de totalmente verde a totalmente pigmentado con atocianinas (color rojo – morado). Los brotes apicales tiernos y, en algunos cultivares también los tallos, varían desde glabros (sin pelos) a muy pubescentes. (CIP, 1992)

La ramificación es cultivar dependientes y ramas varían en número y longitud. Normalmente, las plantas de patata dulce producen tres tipos de ramas, primaria, secundaria y terciaria, en diferentes períodos de crecimiento. (Behelu, 2003)

El espacio entre plantas, fotoperíodo, humedad del suelo y el suministro de nutrientes influyen en la ramificación la intensidad en la planta de la patata dulce. (Behelu, 2003)

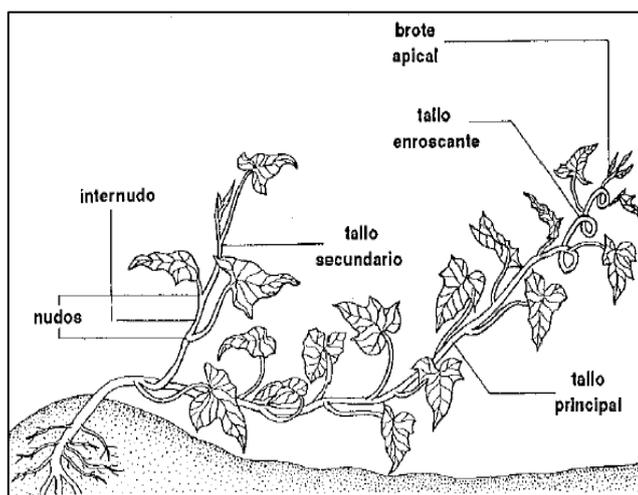


Figura 2: Parte aérea de la planta de batata o camote.

Fuente: Behelu, 2003

c. Hoja y pecíolo

El número de hojas aumenta con: la disminución de la densidad de plantas y al aumento de riego y la aplicación de N. (Behelu, 2003)

Las hojas son simples y están arregladas alternadamente en espiral sobre los tallos, en un patrón conocido como filotaxia (hay hojas arregladas en espiral en 2 círculos alrededor del tallo por cada 2 hojas que están en el mismo plano vertical sobre el tallo).

Dependiendo del cultivar, el borde de la lámina de las hojas puede ser entero (Figura 3), dentado o lobulado. La base de la lámina generalmente tiene dos lóbulos, que pueden ser casi rectos o redondeados. La forma del perfil general de las hojas de batata puede ser redondeada, reniforme (en forma de riñón) cordada (en forma de corazón), triangulada, hastada (trilobular y en forma de lanza con los lóbulos basales más o menos divergentes), lobuladas y casi divididas. Algunos cultivares muestran variaciones en la forma y tamaño de la hoja en la misma planta. Las hojas pueden tener colores desde verde, verde

amarillento a coloración purpura en parte o toda la lámina. Algunos cultivares tienen hojas jóvenes de color morado y hojas maduras de color verde (Behelu, 2003).

Longitud del pecíolo varía ampliamente con los genotipos y puede oscilar entre aproximadamente 9 a 33 cm (Yen, 1974). El pecíolo conserva la capacidad de crecer en una curva o forma sinuosa con el fin de exponer a la lámina a la luz máxima. En las primeras etapas de desarrollo de la longitud del pecíolo en su dosel es mínima, pero hacia la parte media y última de la temporada de crecimiento aumenta considerablemente la longitud del pecíolo, con un aumento en el tamaño del dosel (Behelu, 2003).

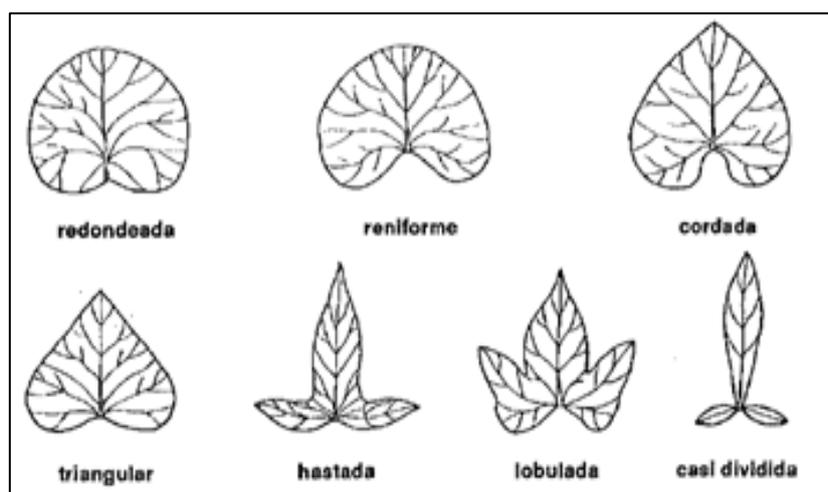


Figura 3: Hoja típica de la variedad INIA-100.

FUENTE: Behelu, 2003

d. Flores

Los cultivares de camote difieren en su hábito de floración. Bajo condiciones normales en el campo, algunos cultivares no florecen, otros producen muy pocas flores y otros florecen muy profusamente.

Las flores de la patata dulce nacen en solitario o en inflorescencias cimosa que crecen verticalmente hacia arriba desde el eje de la hoja (Figura 4).

Cada flor se abre antes del amanecer en un día determinado, permanece abierto durante unas horas, a continuación, se cierra y se marchita antes del mediodía del mismo día. La cantidad de tiempo que la flor permanece abierta es ligeramente más larga si el clima es fresco y nublado.

La polinización es por insectos, particularmente abejas. La fisiología de la flor de la batata es compleja. En primer lugar, la formación de la flor está sujeta al control ambiental, especialmente el control de fotoperíodo. En segundo lugar, la flor se abre y receptivo para un período muy corto de tiempo. En tercer lugar, los complejos de incompatibilidad existen. En cuarto lugar, la existencia de variación en la longitud de estambre con respecto al estilo introduce una mayor complicación morfológica en el mecanismo de la polinización. Todas estas características hacen difíciles de producción de semillas. (Behelu, 2003)

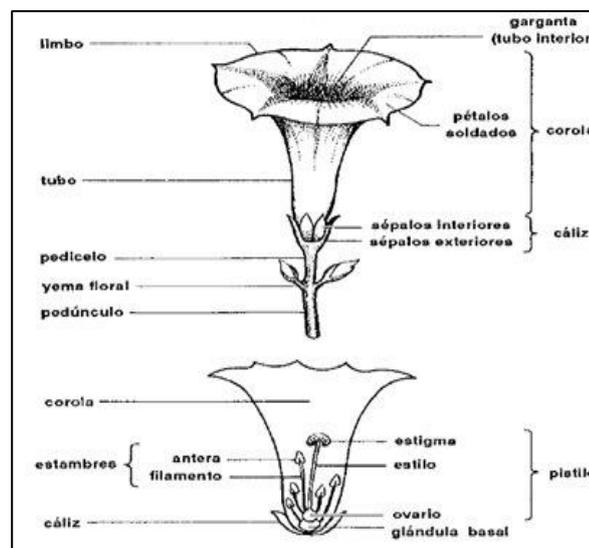


Figura 4: Partes de la flor de la planta de camote
FUENTE: Behelu, 2003

e. Frutos y semillas

El fruto del cultivo de camote (Figura 5), es una cápsula de 5 a 8 mm de diámetro. Un tabique falso, formado durante la fase de desarrollo, podrá dividir cada uno de los dos lóculos en dos, creando así cuatro cámaras en el fruto maduro. Cada cámara puede contener una semilla, pero normalmente sólo una o dos cámaras en cada uno fruta contienen las semillas. La semilla es de color negro y unos 3 mm de largo. Es plana por un lado y convexo por el otro.

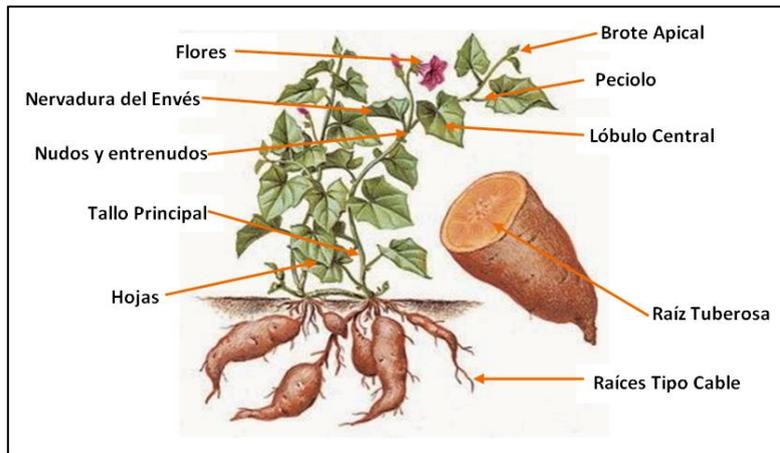


Figura 5: Partes de la planta de camote

FUENTE: Elaboración propia

2.1.4. Factores que intervienen en el desarrollo del cultivo de camote

El manejo agronómico que se le aplicará al cultivo del camote depende del producto que se quiera obtener: sólo raíces reservantes, para uso forrajero o camotes de doble propósito (Villagómez, V., 2015).

a. Temperatura:

La temperatura óptima para el desarrollo y producción se encuentra entre 22 a 24 °C, característico de climas tropicales y subtropicales. En su etapa de desarrollo, el camote soporta temperaturas desde 12-28°C. La formación de raíces se ve favorecida por una temperatura nocturna entre 15 y 20°C. El desarrollo vegetativo requiere un mínimo de 25 a 30 °C (Villagómez, V., 2015).

b. Radiación:

Según experimentos realizados, el camote, muestra una indiferencia al fotoperiodo. Esto le permite tener alta capacidad para adaptarse a diferentes condiciones, sin embargo, el camote crece mejor donde la intensidad de luz es relativamente alta, los días largos de amplia luminosidad incide directamente en la mayor floración (Villagómez, V., 2015).

c. Humedad:

Según Villagómez (2015), el camote es muy tolerante a las condiciones de falta de agua o sequía. en África aprovechan esta condición y el follaje se transforma en fuente de alimentación animal.

d. Vientos:

La especie se adapta bien a regiones con fuertes vientos ya que su forma de crecimiento es rastrera, es por esto que su manejo se ha difundido en las zonas costeras donde las velocidades del viento son intensas. (Villagómez, V., 2015)

e. Suelos:

El camote tiene un amplio rango de adaptación a los diversos tipos de suelos, sin embargo, se obtienen mejores cosechas en suelos sueltos como los del tipo franco arenoso, franco limoso y franco arcilloso; suelos con alto contenido de materia orgánica y permeables; que facilitan una buena aireación, facilitando una mejor asimilación de nutrientes del suelo.

Si bien el camote puede desarrollarse y producir aceptablemente en diferentes tipos de suelo, el mejor suelo para el cultivo sería friable, arenoso y bien drenado, y el pH óptimo para el cultivo estaría entre 5.2 y 8.0 y llegando a soportar hasta $8.0 \text{ mmhos} \cdot \text{cm}^{-2}$ (Montaldo, 1991; López y col. 1990; Molina, 2004).

Los suelos deben poseer un pH de 5.6 a 8, y una concentración de sales de hasta ocho $\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$, (INIA, 2001). Prefiere un pH entre 5.2 y 7.7, sin embargo, puede desarrollar también en suelos más ácidos (Benacchio, 1982). Este cultivo es moderadamente sensible a la salinidad, una C.E. de $2 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ reduce cinco por ciento el rendimiento; mientras que $3 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ lo reducen 14 por ciento (Castellanos et al., 2000). La floración es promovida por altos niveles de fósforo y potasio, bajos niveles de nitrógeno y humedad del suelo (Hammett, citado por Chang y Rodríguez, 2002). Demanda en orden de importancia: K-N-P (Olajumoke, 2010).

f. Planta esquejes-semilla:

Uno de los factores que contribuye al incremento de la productividad, es la semilla de calidad (libre de patógenos). El uso de esta semilla generalmente expresa toda su potencialidad en la obtención de altos rendimientos. (Villagómez, V., 2015)

2.1.5. Fases de desarrollo y crecimiento del camote

El camote es una planta de ciclo relativamente corto. El tiempo dependerá de la variedad y condiciones ecológicas, durando éste entre tres a siete meses (López y col. 1990). Entre estos meses se establecen etapas de desarrollo fisiológico en la fenología de este cultivo, el

criterio dependerá de la persona que esté realizando el estudio, considerando cuánto demora el cultivo en desarrollar el follaje y cuánto demora en desarrollar las raíces reservantes (La Rosa, 2008).

López y col. (1990) establece tres períodos: el primer periodo, desde la brotación hasta la aparición de las raíces reservantes (entre 40 y 60 ddp), el segundo periodo, desde la aparición de las raíces reservantes hasta el máximo desarrollo foliar (entre 80 y 120 ddp), y el tercer periodo, desde el máximo desarrollo foliar hasta el desarrollo total de las raíces reservantes (entre 100 y 120 ddp) que es la cosecha, coincidiendo con Villagómez, V. (2015) quien señala que el desarrollo del camote comprende tres fases. La fase inicial se caracteriza por un crecimiento lento del follaje y rápido de las raíces adventicias, esto le da al camote la característica de resistir a las sequías. En la fase intermedia el follaje empieza a crecer rápidamente y empiezan a desarrollarse las raíces reservantes. Por último, en la fase final el crecimiento del follaje se detiene y aumenta aceleradamente el desarrollo de raíces reservantes.

Baigorria (1994) establece cuatro periodos, teniendo en cuenta el crecimiento de la cobertura del follaje: la fase inicial implica la brotación y crecimiento inicial, cuando la superficie del suelo está cubierta apenas o nada por el cultivo (10% de cobertura), la fase de desarrollo del cultivo, desde el final de la fase inicial hasta que se llega a una cubierta sombreada efectiva completa equivalente a un 70 u 80% de la cobertura, no significando esto que se ha llegado a la maduración, y la fase de mediados de periodo, desde que se obtiene la cubierta sombreada efectiva completa hasta el momento de iniciarse la maduración, se pone de manifiesto por la decoloración de las hojas o su caída. Es equivalente al 100% de cobertura.

Tabla 1: Periodo vegetativo según fases del cultivo de camote.

	Fase del cultivo	Periodo Vegetativo (días)
I	Siembra-Crecimiento de raíces	1-20
II	Crecimiento de raíces-Inicio de la tuberización	20-45
III	Tuberización-Llenado de raíces tuberosas	45-90
IV	Maduración y Cosecha	120-150

FUENTE: Elaboración propia.

Por otro lado, Molina (2010), puede reconocer cinco fases en el crecimiento del camote (Figura 6), las cuales se caracterizan por la aparición de nuevas estructuras en la planta, así como el engrosamiento de las raíces.

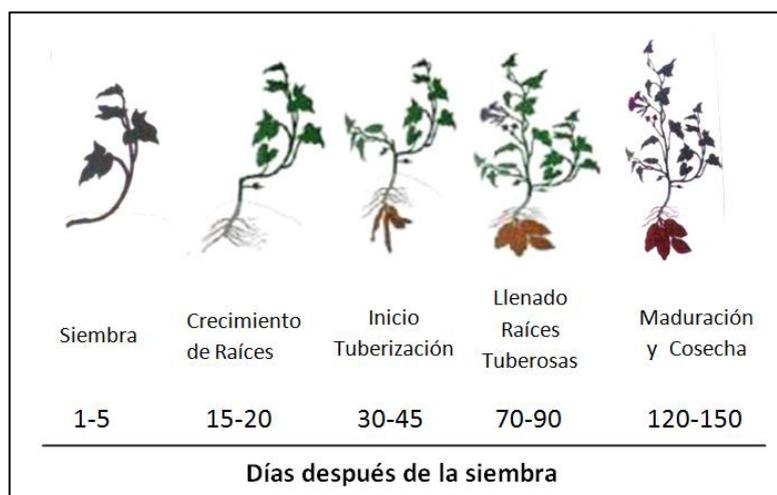


Figura 6: Etapas del crecimiento del camote

FUENTE: Molina, 2010

2.1.6. Manejo del cultivo

a. Preparación del terreno

Aunque depende del clima, el camote puede ser cultivado en cualquier tipo de suelo. En la costa los suelos deben recibir abonamiento orgánico a la preparación del suelo con 10 - 20 t.ha; en los suelos de la sierra se recomienda incorporar en al terreno guano de corral. Requiere de un machaco previo, arar en forma profunda, si es necesario pasar aradas con subsoladores para romper la capa endurecida por compactación. (Villagómez, V., 2015).

Son las actividades que tiene como propósito poner en condiciones adecuadas para la siembra; y que el suelo sea capaz de reducir las deficiencias en agua (sequía) y evitar los excesos (anegamiento). Además, permite eliminar barreras físicas (terrones, piedras, restos de cosecha) y asegurar buena aireación para el buen crecimiento y desarrollo de las raíces.

b. Selección de la Semilla

En el camote, utilizar semillas (esquejes) de buena calidad, fisiológicamente maduras obtenidos de campos que han sido previamente agostados y libres de plagas asegura la mayor productividad del cultivo. La mejor semilla se logra a partir de los 3.5 meses de periodo vegetativo. El tamaño requerido es aquel que tiene más de 10 nudos y la longitud

del esqueje de 30 a 40cm. Se debe evitar el uso de esquejes “sobremaduras” de cultivos mayores de 6 meses.

c. Siembra y densidad de plantación

Plantar en el lomo o costilla de los surcos, adaptando la forma acodada, colocar en forma sucesiva a manera de cadena, con la mayor cantidad de nudos posibles por debajo del nivel natural del suelo. La distancia entre esquejes es de 0.15 a 0.30m y la distancia entre surcos de 0.80 a 0.90m.

d. Época de siembra

En algunos lugares como la costa norte la producción del camote se hace todo el año obteniéndose los mejores rendimientos entre los meses de mayo y agosto pues son épocas de friaje. En otros sectores, la época fría afecta notablemente a la productividad siendo susceptible a las enfermedades, por lo que se recomienda hacer un manejo continuo, sin embargo, en las épocas de primavera y verano nos ofrece las características adecuadas para que el camote tenga altos rendimientos (Rivera, 2012). Los mejores rendimientos se obtienen si la siembra se realiza en la época de primavera o verano. (INIA, 2001)

e. Aporque

El aporque se debe realizar a los entre los 15 y 20 días después del trasplante (INIA, 2001). Es importante mantener el cultivo sin malezas durante los primeros 30-45 días para lo cual se sugiere realizar aporque.

f. Control de plagas y enfermedades

La mejor manera para controlar las plagas y enfermedades del camote es muestreando el cultivo, al menos dos veces por semana, para evitar tener problemas serios.

Las plagas del camote son plagas de suelo (gusano chacarero y gusano minador), mosca blanca, gusano ejército (*Spodopteraeridiana*) y gorgojo (*Euscepespostfasciatus*). Las enfermedades comunes en camote Complejo Viral (SPVD) y enfermedades fungosas.

g. Deshierbo

Las malas hierbas son un problema en el camote sólo durante los dos primeros meses del crecimiento. El crecimiento completo de la copa es aproximadamente a las 6 semanas, con

una cobertura rápida y eficaz de la superficie del suelo causa la asfixia de las malas hierbas.

h. Cosecha

La cosecha del camote se puede realizar de diferentes formas, manual o mecanizada. El momento de la cosecha se determina cuando las raíces tuberosas (camote), ha completado su crecimiento, y el 80 por ciento ha completado el tamaño que oscila de 120 a 600 gramos.

La variedad Huambachero llega a madurar a los 4 a 4.5 meses - en siembras de verano; en cambio en siembras de época fría la cosecha se realiza de 5 a 6 meses. De igual manera la variedad Paramanguino, sin embargo, a este último le afecta más el calor, acelerando su desarrollo. Para evitar daños en las raíces tuberosas en el proceso de la cosecha, realizar el retiro del follaje con segadora o machete a 15 cm de altura del suelo.

Cuando el camote se deja en campo sin cosechar se incrementa el riesgo de ataque de plagas de la raíz como: chacarero o sacho, polillas y nematodos, afectando la calidad del camote.

Prácticas adecuadas de cosecha para evitar daño del camote:

- 15 días antes de la cosecha realizar un riego muy ligero a fin de aflojar el terreno para la cosecha manual.
- El corte de los tallos debe ser realizado a cinco centímetros de altura del suelo, para evitar el daño del camote, utilizando una hoz o machete.
- Cosechar en forma manual con lampa, con el debido cuidado a fin de evitar el daño del camote.
- El camote cosechado y seleccionado, debe recibir poco manipuleo, así evitara el daño mecánico.
- El corte del pecíolo del camote será realizado por un personal entrenado.
- Cuando se realiza de manera inadecuada puede dañar hasta el 40 por ciento de la producción.

2.1.7. Necesidades químicas del camote

Aunque sobre el nivel de fertilización en el cultivo de camote no se tiene nada definido, se sabe que el camote es un cultivo rústico, poco exigente en nutrientes; se conoce que cantidades bajas o excesivas de nitrógeno pueden ser perjudiciales, afectando negativamente su potencial de rendimiento (Smith y Villordon, 2009).

En el Manual técnico de la siembra del camote, publicado por el Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá., se menciona que para determinar las necesidades de fertilización se requiere un análisis del suelo del terreno. Estas necesidades varían según las características físico-químicas del suelo y la variedad del camote utilizado. Así mismo, cita a Folquer (1978) quien presenta los síntomas más característicos de las deficiencias químicas. En caso del nitrógeno (N), la deficiencia retrasa el crecimiento del cultivo. La falta de fósforo afecta el desarrollo radicular, evidenciándose cuando las hojas presentan zonas amarillentas y/o negras provocando la caída de las hojas. El potasio es el elemento de mayor importancia para el desarrollo del camote ya que aparte de afectar al follaje provocando su caída prematura, los camotes resultan largos y delgados. La falta de calcio, magnesio, hierro, manganeso y boro, afectan el desarrollo del follaje.

Se sabe que no se requieren altos niveles de nitrógeno para iniciar la formación de raíces tuberosas, proceso que inicia a partir de los 13 días después del trasplante. La mayor absorción de nitrógeno para la formación de raíces tuberosas en camote ocurre entre los 23 y 40 días después del trasplante (Smith y Villordon, 2009).

El cultivo de camote desde el punto de vista de la nutrición mineral y de asimilación de nutrientes, los niveles de fertilización generalmente recomendadas para la costa peruana son relativamente bajas de N-P-K 80-60-120 (Villagómez, 2007) e intermedios 110-120-180 (Molina, 2004).

Para ajustar una solución nutritiva a una concentración deseada se debe hacer primero un diagnóstico nutricional y, luego establecer un adecuado balance de todos los nutrientes necesarios para sostener o aumentar el rendimiento. El fósforo y el potasio son importantes para la formación, crecimiento y desarrollo de raíces tuberosas; la deficiencia de estos dos nutrientes provoca un pobre crecimiento y desarrollo de raíces tuberosas en camote (Rodríguez-Delfín et al., 1991)

2.1.8. Necesidades hídricas del camote

Los riegos en este cultivo es importante manejarlos en todos los estadios fenológicos, en la siembra garantiza el prendimiento de los esquejes (semillas) y que forme la mayor cantidad posible de raíces reservantes. En el desarrollo de la planta permite a las raíces reservantes crecer en longitud mas no en volumen. Previo a la cosecha permite el llenado de las raíces reservantes para lograr el peso y tamaño para su comercialización. (Ruiz, 2016)

Los riegos son realizados dependiendo de la pérdida de la humedad del suelo, en el camote generalmente deben ser ligeros. Las fases críticas del camote al déficit hídrico se presentan después del trasplante al establecer el cultivo y en el llenado de las raíces reservantes. Debe disminuirse el riego cuando el follaje cubra completamente el suelo. En el caso de regar con un riego convencional o por gravedad, se recomienda que sea cada 7 o 10 días, variando el consumo de agua de 5000 a 8000 m³·ha⁻¹ por campaña. Si se riega con un riego tecnificado(goteo), se recomienda regar durante cuatro horas cada cuatro días llegando a utilizar entre 1300 y 2900 m³·ha⁻¹ por campaña (INIA, 2001).

El camote forma sus raíces hasta los dos metros de profundidad del suelo por esta razón puede tolerar estrés hídrico o falta de agua.

En la etapa de maduración evitar el riego excesivo para evitar la pudrición de las raíces tuberosas; solo de 15 a 20 días de la cosecha puede requerir del riego ligero para ablandar el suelo.

2.2. Riego por goteo

Vermeiren y Joblin (1986) definieron el riego por goteo como un sistema localizado de alta frecuencia cuya característica principal es el aporte de pequeños caudales y pequeñas dosis de agua y de fertilizantes muy localmente en la zona de raíces de los cultivos por medio de dispositivos de distribución tales como goteros, boquillas, tubos porosos, etc.

García y Briones (2007) señalan que un sistema de riego por goteo es aquel dónde se aplica agua filtrada (y fertilizante) dentro o sobre el suelo directamente a cada planta en forma individual. Así mismo, expresan que el agua puede ser suministrada al cultivo con base en una baja tensión y una alta frecuencia, con lo cual se crea un medio óptimo de humedad necesaria en el suelo.

Carvalho citado por Berg (1972), indica que entre las ventajas del riego por goteo se tiene:

- Excelente control del agua, condicionando su eficiencia en base a la textura del suelo y a la clase de cultivo.
- No es afectada por las corrientes de aire y solo en mínima parte por la evaporación.
- No es necesario la nivelación, ya que al no presentarse pérdidas de agua por escurrimiento no se tiene problemas de erosión.
- Produce ahorro de mano de obra y reducción de las labores de cultivo a un mínimo de horas de trabajo.
- No se necesitan canales de riego y drenaje.
- Incrementos considerables en la producción y calidad de fruta.
- Control fitosanitario reducido.

Por otro lado, Liotta (2015) en el Manual de capacitación de riego presurizado desarrollado por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, INTA- Argentina, menciona las siguientes desventajas:

- Costo elevado de adquisición e instalación
- Necesidad de mano de obra especializada.
- Necesidad de un buen diseño agronómico, hidráulico y una correcta operación de la fertirrigación.
- Consumo de energía y dependencia de la electricidad.
- Necesidad de mantenimiento y limpieza del sistema, tanto en la zona del cabezal como los goteros en el campo.
- Acumulación de sales, lo cual dificulta su instalación en suelos donde la textura no favorezca el lavado de sales a profundidad.

2.3. Riego deficitario

El riego deficitario se basa en adoptar estrategias capaces de reducir el agua aplicada con el mínimo impacto posible sobre la producción. Los riegos deficitarios pueden proporcionar unos retornos económicos por una unidad de superficie, mayores que los obtenidos con riegos para máximas producciones. (M. Sánchez y A. Torrecillas, 1995).

Esta estrategia se basa en el riego por debajo de la demanda del cultivo durante todo el ciclo del cultivo, pero utilizando una frecuencia de aportes lo suficientemente alta como para evitar a aparición de situaciones de estrés trascendentes. Ya los primeros trabajos

realizados en distintos cultivos herbáceos consiguieron apreciables reducciones de agua sin mermas en la producción.

Aunque el riego deficitario es una buena alternativa de ahorro de agua, suele no considerarse el déficit hídrico ya que resulta más o menos trascendente en función del momento fenológico. Es por eso que en los últimos años han adquirido una especial relevancia enfoques más fisiológicos del problema, prestando una especial atención tanto a la fenología del cultivo como a su capacidad para resistir situaciones de déficit hídrico, así surge un método llamado Riego Deficitario Controlado (RDC), (M. Sánchez y A. Torrecillas, 1995).

2.3.1. Riego deficitario controlado (RDC)

El riego deficitario de control o controlado (RDC) consiste en reducir los aportes hídricos de forma controlada en aquellos períodos fenológicos en los que un déficit hídrico moderado no afecta sensiblemente a la producción y calidad de la cosecha, pero que puede producir algún beneficio agronómico, como puede ser una reducción o un mejor control en el vigor y desarrollo vegetativo, una mayor calidad de uva y vino, un menor tamaño de baya o una mejora en la eficiencia en el uso del agua, cubriendo plenamente las necesidades de la planta durante el resto del ciclo del cultivo, (Romero *et al.* 2010).

Esta técnica de riego fue desarrollada para mejorar el control del vigor vegetativo en huertos de alta densidad para optimizar el tamaño del fruto, la fertilidad y la calidad del fruto. Además, el RDC puede generar considerables ahorros de agua. La mayoría de los estudios han demostrado que el estrés hídrico moderado aplicado durante el período de lento crecimiento de la fruta controlaba el crecimiento vegetativo excesivo manteniendo o incluso aumentando los rendimientos.

Tanto el momento en el que se aplica la técnica, como el nivel de estrés hídrico son fundamentales para el éxito del RDC. Estos factores deben considerarse en relación con lo que se entiende del crecimiento y desarrollo de la especie en cuestión. Además, es necesario adoptar técnicas modernas para programar el riego que permitan una evaluación adecuada del estrés hídrico en cualquier entorno, (M. Sánchez y A. Torrecillas, 1995).

2.3.2. Riego deficitario parcial en la zona de raíces (SPRZ)

Una técnica planteada y desarrollada en Australia que ha permitido considerables ahorros de agua sin pérdida en el rendimiento y calidad de cosecha es el denominado riego deficitario en la zona de raíces o también reconocido por las siglas en inglés PRD (*Partial Rootzone Drying*). La finalidad de esta forma de riego consiste en no reducir el rendimiento de la producción de los cultivos, al aplicar el déficit hídrico con el fin del ahorro del agua de riego, (Loveys *et al.*, 1997 y 1998).

El SPZR se trata de una técnica de riego deficitario en donde una parte del sistema radical permanece húmedo, con lo que se asegura un aporte hídrico suficiente para mantener el vigor de la parte aérea, mientras que la otra zona de la zona del sistema radical permanece seca, con lo que se liberan señales bioquímicas que son transportadas vía xilema de las hojas, que una vez en la parte aérea regulan la apertura de estomas y limitan las pérdidas de agua vía transpiración (Davies *et al.*, 1994). Para mantener la reducción en la apertura de las estomas se necesita una señal continua desde el sistema radical que se obtiene por medio de la alternancia en las zonas "seca" y "húmeda" de las raíces (Stoll *et al.*, 2000), por lo que es preciso poner una doble lateral de goteros para regar en estas condiciones. La frecuencia de cambio de riego de un lado de la raíz al otro depende del cultivo, de la etapa de crecimiento y del balance hídrico del suelo (Jovanovic *et al.*, 2010).

Según Loveys *et al.* (2000), al someter a la planta a un estrés hídrico se pudo observar un aumento del ácido abscísico (ABA) producido en las raíces y transportado por la corriente de savia hasta las hojas. Esta es la primera señal que emite la planta para defenderse de la pérdida de agua cuando su nivel en el suelo se sitúa por debajo de un determinado umbral.

El riego deficitario controlado (DI) y el riego parcial de raíces (PRD) son los métodos de riego que ahorran agua, usan menos agua que el riego tradicional de los cultivos. Las cantidades de reducción de agua, generalmente no afecta el rendimiento aumentando la eficiencia de uso de agua (Ahmadi *et al.*, 2010). En la Figura 7 se muestra un diagrama esquemático de los métodos de riego deficitario.

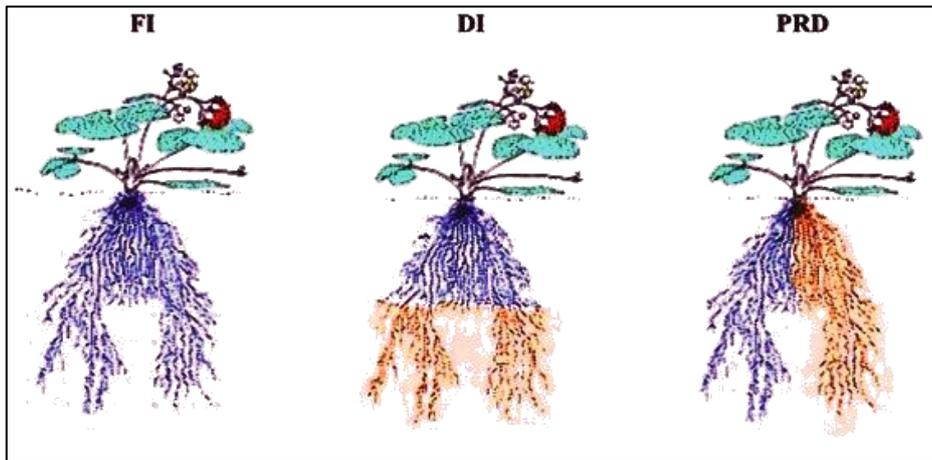


Figura 7: Diagrama esquemático de FI (Riego tradicional), DI (Riego deficitario controlado) y PRD (riego parcial de raíces)

FUENTE: Rivera, 2012.

El riego parcial de raíces (PRD) es una técnica de riego que consiste en someter una parte del sistema radicular a déficit hídrico mientras que la otra se mantiene regada alternándose en cada riego de tal modo que no llegue al punto de marchitez y la planta internamente se regule. (Guliver et al., 2007)

Aplicando esta estrategia de riego se induce a la planta a la producción de ácido abscísico (ABA) en las raíces parcialmente secas reduciendo la apertura estomatal, mientras las raíces regadas mantienen el follaje en buen estado. (Guliver et al., 2007)

El ABA es una hormona vegetal responsable del control de la transpiración por el efecto que tiene sobre la apertura y cierre de las estomas. Cuando todo el sistema radicular de una planta experimenta un déficit de agua, se inicia una síntesis de ABA en las raíces y, a medida que el potencial hídrico disminuye, también se produce en las hojas. El resultado es una alta concentración de ABA debido a una combinación de transporte desde las raíces y síntesis en las hojas. Sin embargo, cuando una parte de las raíces permanecen secas, como en el caso del PRD, la acumulación de ABA se observa en las hojas solo es influenciada por el transporte que llega desde las raíces (Ferreira, 2001).

La sequía ocasiona inhibición por cierre de estomas y reducción a su movimiento lo cual reduce el 40 por ciento la producción y un 43 por ciento el área foliar (Haimeirong y Kubota, 2003).

PRD se basa en dos fundamentos fisiológicos:

1) Normalmente las plantas con un buen régimen de riego mantienen sus estomas extensamente abiertos, en los que una pequeña reducción de su apertura puede reducir sustancialmente la pérdida de agua con un efecto mínimo en la fotosíntesis (Jones, 1992)

2) Cuando una parte del sistema radicular es expuesto al suelo seco, la planta responde enviando señales desde la raíz hacia las hojas para cerrar las estomas y reducir la pérdida de agua (Davies & Zhang, 1991), por consiguiente, se espera que las señales de la raíz por la aplicación del riego PRD causen una reducción leve en la apertura estomatal y disminuye la pérdida de agua con único efecto en la tasa de fotosíntesis, siempre que la planta sea mantenida por la parte regada del sistema de la raíz. (Kang & Zhang, 2004)

En vid y otros frutales se ha estado demostrado que el PRD no tiene efecto en el rendimiento, pero puede mejorar calidad, con una reducción de más del 50 por ciento del consumo de agua (Loveys et al., 2001). Además del producir señales químico continuas el PRD estimula e induce el crecimiento de raíces secundarias, lo cual reduce la vulnerabilidad para la sequía (Zhang y Tardieu, 1996).

La implementación de riego PRD consiste en aplicar agua a la zona de raíces en una parte de la planta por un periodo determinado y luego aplicar el agua en el otro lado, de forma alternada y cíclica. La frecuencia alternante es determinada según el cultivo, tipo del suelo y factores ambientales. El PRD debe ser empleado en las fases no críticas del periodo fenológico de la planta, en caso del camote la primera fase es crítica ya que el esqueje está fijándose. Ha sido usado en sistemas de riego por gravedad y por sistema de riego por goteo en cultivos como frijoles (Kang et al., 2001), chile (Leib et al., 2006), manzana (Liu et al., 2006a (Sepaskhah y Amin-Sichani, 1976), papa; Shahnazari et al., 2007; Shahnazari et al., 2008; Ahmadi et al., 2010b), tomate (Kirda et al., 2004; Kaman et al., 2006), algodón (de la Hera et al., 2007 (Du et al., 2008a), y uva; Du et al., 2008b).

Los resultados experimentales en diferentes cultivos con el PRD se obtuvieron una disminución de agua aproximadamente entre del 50 por ciento sin reducción significativa en rendimiento. En algunos casos se ha presentado mejor calidad de fruta con el PRD la mayoría de investigaciones en PRD han iniciado en condiciones controladas, y actualmente esta técnica de riego está realizando en cultivos hortícolas. (Morison et al., 2008; Guang-Cheng et al., 2008; Ahmadi, 2009).

2.4. Factores y condiciones para la aplicación de riego PRD

Para la aplicación del PRD se debe considerar los siguientes factores:

- Suelo: La capacidad de retención del agua es fundamental para el tiempo de riego ya que interviene en el tratamiento para la restricción y recuperación de agua para las raíces y evitar dañar las funciones de la planta. Por tanto, suelos con baja retención de agua tendrán un ciclo de riego menor a suelos de alta retención insude en la respuesta de la aplicación de PRD (Girona,1996). El suelo es el factor más importante porque la textura y la estructura influyen en la tasa de infiltración de agua y los niveles de las sales aumentan (Kriedemann y Goodwin,2004). En contra de las técnicas convencionales de déficit de riego, en el cual el riego diario que depende principalmente de la evapotranspiración potencial, en PRD el énfasis es aplicar la medida del agua del suelo para mantener el área de la raíz.
- Clima: las precipitaciones altas impedirían la aplicación de restricción hídrica afectando al ciclo del PRD.
- Manejo: la aplicación de agua por goteros o *microjet*, humedecen un área pequeña favoreciendo que se concentren en esta parte las raíces adventicias permitiendo que la absorción de agua sea más rápida y restablece el balance hídrico dentro de la planta. (Mitchell, Jerie y Chalmers, 1984)
- Fases del cultivo: aplicar el PRD cuando la planta no se encuentra en periodos críticos de requerimiento de agua, se aplica el riego en una dosis de agua menor a la óptima, cuando la planta se encuentra en periodos críticos, la aplicación de PRD afectará a la planta siendo perjudicial el déficit de agua en periodos críticos de la planta. El camote se siembra por esquejes siendo crítico la siembra para la aplicación del PRD ya que necesita enraizar bien al suelo. En otros cultivos como frutales el déficit de agua en el periodo de desarrollo de fruto afectará el rendimiento o tamaño del fruto. Por tanto, es esencial conocer el momento en el cual aplicar el PRD. La cantidad de agua debe ser proporcionada con la suficiente frecuencia y prevenir el excesivo secado y cumpliendo con la necesidad hídrica de la planta. Conocer las fases del cultivo es fundamental para aplicar el PRD. Conocer el estado fenológico permite reconocer cuando no se puede suministrar agua en cantidades suficientes por lo tanto esto nos permitirá aplicar correctamente el PRD y de esta forma no afecta considerablemente el rendimiento de los cultivos.

2.5. Camote y estrés hídrico

Los resultados de experiencias, indican que la sensibilidad de los cultivares de camote al estrés es sólo durante los primeros estados de crecimiento del cultivo, cuando la cobertura no ha sido alcanzada (Demagante et al, 1989); pero puede ser también crítico en el período de maduración de la raíz reservante afectando en su rendimiento final (Sun et al, 1993). Se sabe también que, bajo limitada humedad del suelo, obtener una alta producción de raíces reservantes depende de: el crecimiento del cultivo, la prontitud para formar raíces reservantes, el número de las mismas y la distribución de asimilatos a las raíces; por el contrario, no dependería de caracteres morfológicos como área foliar, crecimiento de la raíz, etc. (Demagante et al, 1989; Kuo et al, 1992). Sun et al (1993) reporta que cuando el camote es sometido a estrés hídrico en sus primeras etapas de desarrollo, se incrementa el rendimiento a pesar que el área foliar disminuye; lo mismo concluye Villafañe (1998), agregando que presumiblemente esto se deba a que los cultivares bajo estudio se recuperan después de los déficits hídricos provocados durante esta fase, aunque si los déficits hídricos son provocados en el lapso de iniciación del llenado de las raíces reservantes, entonces sí hay influencia de manera significativa (Delfinet *al.*, 2016)

2.6. Fertirriego

El fertirriego es una técnica agrícola que se caracteriza por la entrega dosificada de nutrientes y otros insumos a la planta a través del riego tecnificado. Es la aplicación de los alimentos nutritivos que precisan las plantas junto con el agua de riego. Se trata, por tanto, de aprovechar los sistemas de riego como medio para la distribución de estos alimentos nutritivos utilizando el agua como vehículo en el que se disuelven éstos (Domínguez, 1996).

La fertirrigación permite mayor flexibilidad en la aplicación de los fertilizantes comparado con los métodos tradicionales, debido a que permite que el fertilizante sea aplicado en cualquier momento durante el riego. Además, la fertirrigación se adapta a todos los sistemas presurizados conocidos, aspersión, goteo, micro-aspersión, pivote central, etc. El método se adapta a los requerimientos del productor, tanto desde el punto de vista económico, como desde el de ingeniería, con muchas ventajas comparado con los métodos tradicionales. (Nathan R., 2005)

2.6.1. Ventajas y Desventajas

Según Nathan (2005), los beneficios de aplicar los fertilizantes y otras sustancias químicas a través del sistema de riego son ampliamente reconocidos y son los siguientes:

- El agua y los nutrientes quedan perfectamente localizados en la zona de absorción de las raíces.
- Se pueden establecer diferentes planes de fertilización en consonancia con el estado fenológico del cultivo o en función de las curvas de absorción de los nutrientes.
- Posibilidad de corregir rápidamente cualquier deficiencia nutritiva del cultivo.
- Utilización de aguas de baja calidad agronómica. Este es un aspecto muy importante a considerar, ya que, con un buen manejo y los conocimientos necesarios, podemos utilizar aguas de baja calidad (Conductividad eléctrica superiores a $3 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$).
- Alta dependencia del cultivo al sistema de riego y por tanto mayor control sobre el cultivo. Se puede aumentar o disminuir la velocidad de crecimiento según interese. También, se puede utilizar técnicas de RDC (riego deficitario controlado).
- Uso más racional del agua y los fertilizantes. Una incidencia directa sobre la capacidad productiva del cultivo. Respeto del medio ambiente y un mínimo impacto ambiental.
- Las frecuentes aplicaciones en pequeñas dosis evitan la pérdida de fertilizantes.
- No se necesita maquinaria especial para la aplicación de los fertilizantes. Ahorra mano de obra y energía.

Sin embargo, Nathan (2005) reconoce a la vez las limitaciones y precauciones, las cuales se enlistan a continuación:

- La fertirrigación exige el uso de fertilizantes líquidos o sólidos solubles. Los fertilizantes que no sean fácilmente solubles, no se adaptan a esta tecnología.
- Los fertilizantes fosfatados, tales como super-fosfato pueden reaccionar con el calcio presente en el agua de riego y precipitar.
- Muchos fertilizantes causan un incremento en el pH del agua de riego, lo que aumenta el riesgo de las precipitaciones.
- Peligro de corrosión de los componentes del sistema puede ser un problema serio. El fertilizante junto con el agua de riego debe pasar por un sistema hecho de materiales resistentes a la corrosión, con el fin de reducir al mínimo la misma.
- Inversión inicial elevada por sus muchos accesorios y un sistema para el fertirriego.

2.6.2. Solución madre

Se conoce como solución madre a las soluciones concentradas que serán inyectadas en el agua de riego en proporciones adecuadas. Éstas, generalmente son preparadas en tanques y se tiene que tener en cuenta la compatibilidad de los fertilizantes y la solubilidad de éstos ya que de esto dependerá la capacidad y número de tanques fertilizantes. Por otro lado, también es importante saber el tiempo de inyección ya que se recomienda aplicar primero el agua de riego, luego el fertilizante y dejar un tiempo más de riego solo con agua para un mejor aprovechamiento, (Sela, 2016).

2.6.3. Equipo de inyección

La aplicación de fertilizantes a través del sistema de riego presurizado requiere la inyección de una solución fertilizante al sistema siendo necesario superar la presión de la red. Esto se puede lograr de tres maneras:

- Sistema de tanque: también llamado gradiente de presión. Una parte de flujo de la tubería principal es desviado hacia el tanque. Este puede contener un envase con el químico a disolver.
- Inyección por medio de un motor hidráulico: producido por la energía del agua de riego.
- Succión producida por el principio Venturi: como se muestra en la Figura 8, contiene una entrada específica y una salida hacia la tubería, crean un vacío producido por un incremento en la velocidad del flujo del agua a través de la constricción.

El inyector Venturi funciona con el principio Venturi en la que una constricción en el flujo con una entrada específica y un diseño de salida, instalado en la tubería, crea un vacío producto del incremento en la velocidad a través de la constricción. La tasa de inyección, que puede ser alcanzada por un Venturi, depende del gradiente de presión que lo atraviesa. Este gradiente oscila entre 5 y 75 por ciento, según el Venturi, (Nathan, 2005).

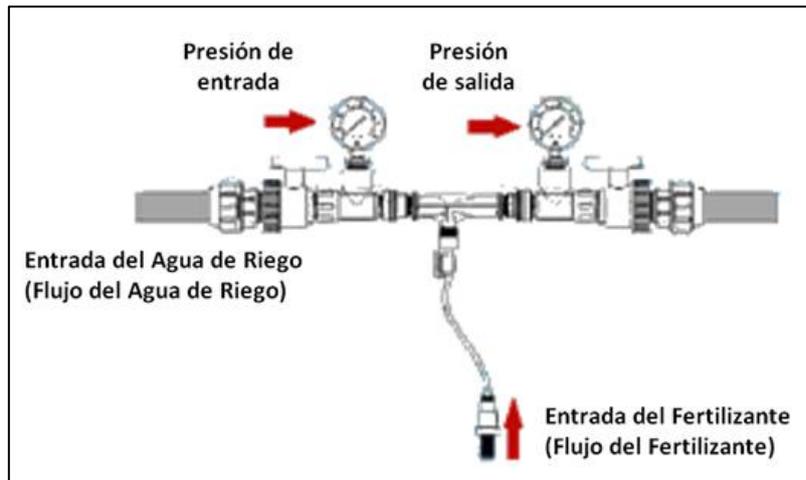


Figura 8: Caracterización de un inyector Venturi.

FUENTE: Nathan, 2005.

2.7. pH

El pH es un parámetro que indica la acidez o basicidad de una solución. Se considera el pH 7 como neutro. El valor de pH óptimo de la solución nutritiva para cualquier tipo de cultivo varía entre 5,5 y 7,5, ya que a estos valores existe una mayor asimilación de nutrientes por las raíces, se consigue una óptima dilución y estabilidad de la solución nutritiva y se evitan obturaciones por precipitados. Valores demasiado altos de pH (>7,5) disminuyen la disponibilidad del fósforo, hierro y zinc para las plantas, además se pueden formar precipitados de carbonatos y orto-fosfatos de calcio y magnesio en las tuberías y emisores. Valores demasiado bajos de pH (<5,5) pueden aumentar las concentraciones de aluminio y manganeso hasta niveles tóxicos, (SIAR, 2005).

Normalmente el agua de riego tiene un pH superior a 6.5. Este pH se puede bajar incorporando algún ácido. Los ácidos más utilizados en soluciones nutritivas son el ácido nítrico y el ácido fosfórico. El ácido nítrico se emplea a 56-59 por ciento de riqueza (aporta 12.4- 13.1 por ciento de nitrógeno) y el ácido fosfórico se utiliza a 55-75 por ciento de riqueza (aporta 40-54 por ciento de P₂O₅). Una cantidad de medio litro de soluto por 1000 litros de agua suelen ser suficiente para mantener un pH ligeramente ácido. En caso que el agua tenga un pH mayor de 7.5 se incrementaría la dosis hasta uno o dos litros de ácido por 1000 litros de agua, (SIAR, 2005).

2.8. Conductividad eléctrica (índice salino)

La conductividad eléctrica es una medida de la resistencia que ofrece un conductor al paso de la corriente eléctrica. En una disolución la conductividad es mayor cuanto mayor sea su concentración en sales. Así, la CE en fertirrigación se utiliza para dosificar la cantidad de sales fertilizantes que se aportan con el riego. La unidad más frecuente en la que se puede encontrar la CE es el deciSiemens por metro ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$).

Es conveniente que los abonos no aumenten en más de uno $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ la CE del agua, por lo que en caso de poder superar esa cantidad se recomienda fraccionar el abonado. Así, la CE del agua una vez incorporado el abono no debería ser mayor de 2-3 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ (SIAR, 2005).

2.9. Bulbo de humedecimiento

La forma y dimensiones del bulbo de humedecimiento dependen de las propiedades y características del suelo en cuanto a perfil y topografía. Sus dimensiones, tanto en sentido horizontal como vertical son determinados con la variación de volumen aplicado, haciendo que el volumen de suelo mojado aumente. (Razuri, 1988)

Pizarro (1996), afirma que el bulbo húmedo es la parte del suelo humedecida por un emisor de riego localizado. El agua fluye sobre una superficie muy reducida del suelo, provocando un pequeño charco cuyo radio se va extendiendo a medida que el riego continúa. Cuanto más húmedo va estando el suelo, la velocidad de infiltración del agua disminuye favoreciendo más el incremento del radio del charco.

También denominado volumen húmedo del suelo el cual puede ser definido como la disposición tridimensional el cual puede ser ocupada por el agua de riego en un determinado momento, que parte de un punto de emisión que puede ser goteros, manguera, cinta, etc. (Gispert y García, 1999)

2.10. Programación de riego

2.10.1. Necesidades hídricas de los cultivos.

Para tener un riego eficiente se debe aportar agua en el cultivo en el momento y en la cantidad que esta requiere. Se deben evitar tanto, aportes excesivos que provoquen su despilfarro sin producir ningún beneficio o insuficientes, con la consiguiente merma de producción. Por ello conocer las necesidades de agua de los cultivos es vital.

Dichas necesidades, que generalmente se denominan evapotranspiración del cultivo, dependen de los parámetros climáticos, de la disponibilidad de agua, del tipo y variedad de cultivo, de la densidad de siembra y del estado de su desarrollo. Castañón, 2000.

La evapotranspiración es uno de los factores más importantes que intervienen en el balance hidrológico, ya sea que este se analice a nivel de cuenca, región o proyecto; siendo este último el que realmente interesa para efectos de cálculo de la demanda de agua de los cultivos.

La evapotranspiración es un proceso que resulta del efecto combinado de la evaporación del agua de un suelo húmedo y la transpiración del correspondiente cultivo en activo estado de crecimiento.

La transpiración es la pérdida de agua por la planta, fundamentalmente a través de sistema foliar. El agua es captada del suelo a través del sistema radicular y circula por la estructura de la planta hasta salir al exterior. No se debe confundir con el agua que cae al follaje por intercepción y vuelve a la atmósfera por evaporación. Vásquez. 1992.

2.10.2. Método del tanque evaporímetro

La tasa evaporativa de los tanques de evaporación llenos de agua puede ser fácilmente obtenida. En ausencia de lluvia, la cantidad de agua evaporada durante un periodo (mmdia-1) corresponde a la disminución de la altura de agua en el tanque en ese periodo. Los tanques proporcionan una medida del efecto integrado de la radiación, viento, temperatura y humedad sobre el proceso evaporativo de una superficie abierta de agua. Aunque el tanque evaporímetro responde de una manera similar a los mismos factores climáticos que afectan la transpiración del cultivo, varios factores producen diferencias significativas en la pérdida de agua de una superficie libre evaporante y de una superficie cultivada. La

reflexión de la radiación solar del agua en el tanque puede ser diferente del 23% asumido para el cultivo de referencia. El almacenaje de calor dentro del tanque puede ser apreciable y puede causar una significativa evaporación durante la noche mientras que la mayoría de los cultivos transpiran solamente durante el día. También se distinguen diferencias en la turbulencia, temperatura y humedad del aire que se encuentran inmediatamente sobre estas dos superficies. La transferencia de calor a través de las paredes del tanque también afecta el balance energético. (Manual 56 de la FAO)

A pesar de la diferencia en los procesos ligados a la evaporación del tanque y la evapotranspiración de superficies cultivadas, el uso de la evaporación del tanque y la evapotranspiración de superficies cultivadas, el uso de la evaporación del tanque para predecir la ETo para periodos de 10 días puede ser considerado confiable si se usa correctamente. La evaporación del tanque está relacionada con la evapotranspiración por un coeficiente empírico derivado del mismo tanque:

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

ETo: evapotranspiración de referencia (mm.día⁻¹)

Kp: coeficiente del tanque evaporímetro

Ep: evaporación del tanque evaporímetro (mm.día⁻¹)

En la siguiente figura se observa los valores del coeficiente del tanque evaporímetro:

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

Figura 9: Coeficientes del tanque tipo A

FUENTE: Manual 56 de la FAO

2.11. Programación del fertirriego

Apropiada selección de compuestos fertilizantes para usar en la fertirrigación de varios cultivos de campo y frutihortícolas de determinadas regiones, basados en el tipo de suelo y las condiciones climáticas (Kafkafi, et al, 2011).

La distribución de los nutrientes en el suelo puede variar dependiendo de los tipos de riego. sistemas tradicionales de inundación o de aspersion aérea resulta en un perfil de suelo mojado. Los nutrientes vegetales se distribuyen en este volumen de suelo húmedo, dependiendo de su movilidad y de las reacciones de adsorción y precipitación que ocurren en la superficie de las partículas de suelo. El movimiento de agua en el suelo desde un gotero como punto de emisión progresa tanto en dirección circular horizontal en la superficie del suelo como en dirección vertical hacia abajo del perfil de suelo. Esto crea un volumen mojado del suelo donde el contenido de agua varía en profundidad (Kafkafi, et al, 2011).

La fertirrigación permite al agricultor seleccionar y utilizar fertilizantes de la calidad más conveniente para el suelo, la fuente de agua de riego, el cultivo y las condiciones climáticas, y así producir cosechas de alta calidad y, al mismo tiempo, prevenir la contaminación ambiental.

Para la aplicación del plan de fertirriego, la dosificación se puede realizar de dos maneras: dosificación cuantitativa o dosificación cualitativa (Kafkafi, 2012). Ya que el tiempo de riego en la experimentación dependía de la Evapotranspiración de referencia, se utilizó la dosificación cuantitativa donde la cantidad de fertilizante es determinada y la inyección puede controlarse de manera manual.

Deben considerarse cuatro factores principales al elegir fertilizantes para fertirrigación: tipo de cultivo y estadio de crecimiento, condiciones del suelo, calidad de agua, disponibilidad y precio del fertilizante (Kafkafi, 2005).

El conocimiento básico del suministro de nutrientes a cultivos bajo fertirrigación surge de los estudios iniciales de fisiología en nutrición de cultivos en medios hidropónicos. Según lo mencionado por Kafkafi et al. (2011), una estrategia cercana a este método fue desarrollada por Assouline et al. (2006) quienes utilizaron riegos diarios múltiples en pimiento cultivado en un suelo franco arenoso. El empleo de tal protocolo de cultivo de suministro continuo de nutrientes en suelos arenosos en condiciones de campo, sin

embargo, podría resultar en un sobre suministro de nutrientes que podría lixiviarse debajo de la zona radicular y consecuentemente en contaminación con nitrato en las fuentes de agua subterráneas.

Kafkafi et al. (2011) menciona otra estrategia en la fertirrigación para cultivos de campo descrita por Scaife y Bar-Yosef (1995). En ella las cantidades actuales diarias suministradas de agua y nutrientes acompañan la demanda por transpiración a medida que el cultivo crece y se desarrolla con el tiempo. Este procedimiento de cultivo es más ambientalmente amigable, pero necesita de un monitoreo diario del agricultor para seguir la demanda de agua y nutrientes.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Parcela experimental

3.1.1. Localización

El experimento se realizó durante los meses de octubre a marzo del 2016-2017, en la Parcela Demostrativa del Departamento de Recursos Hídricos de la Facultad de Ingeniería Agrícola, en la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM). En la Figura 9 se muestra la ubicación de la parcela demostrativa. Se encuentra en la latitud de 12.08° N y 76.95° O con altitud de 238 msnm.



Figura 10: Ubicación de la parcela demostrativa DRH -FIA.

FUENTE: Google Earth, 2017.

3.1.2. Suelo

Según el análisis realizado en el Laboratorio de Análisis de Agua, Suelo, Medio Ambiente y Fertirriego del departamento de Recursos Hídricos de la Facultad de Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional Agraria la Molina (UNALM) sobre la caracterización del suelo, se tiene los siguientes resultados (Tabla 2), la textura del suelo es de franco arenoso, en cuanto a los niveles de salinidad es de 0.77 dS.m⁻¹, lo cual indica que el suelo es muy

ligeramente salino o es muy bajo en sales, el pH del suelo es de 7.59 el cual indica que el suelo es ligeramente alcalino, no hay riesgos de precipitación de los nutrientes en el agua de riego.

Tabla 2: Análisis físico-químico de la muestra de suelo.

Análisis Físico	
Arena (%)	57.9
Limo (%)	27.3
Arcilla (%)	14.8
Clase Textural	Franco arenoso
Análisis Químico	
C.E (dS·m⁻¹)	0.7
pH (1:1)	7.6
M.O (%)	1.75
CaCO₃ (%)	1.23
P (ppm)	45.7
K (ppm)	71.9
CIC Cmol(+).Kg⁻¹	13.8

FUENTE: Laboratorio de agua, suelos y medio ambiente y fertirriego, 2016.

3.1.3. Agua

Según el análisis realizado en el Laboratorio de Análisis de Agua, Suelo, Medio Ambiente y fertirriego del departamento de Recursos Hídricos de la Facultad de Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional Agraria la Molina (UNALM), se basa en dos condiciones de mucha importancia, la primera se refiere a los riesgos de obstrucción de los goteros con pH de 7.52 está en un rango moderado y el segundo se refiere a la calidad de agua según el grado de restricción se encuentra en un rango también moderado. En cuanto al peligro el agua es apta para fines de riego: salinidad media y con poco sodio, lo cual es aceptable para el cultivo de camote, no se espera efectos dañinos sobre las plantas y suelos. La Tabla 3 muestra el detalle de las características observadas en la muestra de agua.

Tabla 3: Análisis químico de la muestra de agua

Análisis Químico	
C.E (dS·m⁻¹)	0.66
pH (1:1)	7.52
Calcio (meq·l⁻¹)	4.90
Magnesio (meq·l⁻¹)	0.83
Sodio (meq·l⁻¹)	0.89
Potasio (meq·l⁻¹)	0.05
Suma de Cationes	6.67
Cloruro (meq·l⁻¹)	1.13
Sulfato (meq·l⁻¹)	2.67
Bicarbonato (meq·l⁻¹)	2.83
Nitratos (meq·l⁻¹)	0.00
Carbonatos (meq·l⁻¹)	0.00
Suma de Aniones	6.62
SAR	0.52
Clasificación	C2-S1
Boro (ppm)	0.57

FUENTE: Laboratorio de agua, suelos y medio ambiente y fertirriego, 2016.

3.2. Diseño experimental

El diseño experimental consistió en el establecimiento de 20 parcelas elementales, 10 parcelas para la variedad Huambachero y 10 parcelas para la variedad Paramonguino.

Para el experimento se adoptó el diseño completamente al azar con 4 tratamientos y 5 repeticiones para cada variedad (Figura 10). Se tomó en cuenta un tratamiento testigo o de referencia (T0), al cual se le aplicó el 100 por ciento de la demanda hídrica del cultivo esperando obtener un rendimiento mayor. Por otro lado, se tuvo tres tratamientos (T1) sometidos a un sistema de riego deficitario parcial en la zona de raíces (SPRZ) donde se aplicó solo el 50 por ciento de la necesidad hídrica del cultivo.

El T1 es aplicado en tres fechas: el primero, el T1-23, inicio su tratamiento a los 23 días, fecha en la cual aproximadamente empieza el crecimiento de las raíces (Molina, 2010). Así mismo, el T1-33 empezó su tratamiento a los 33 días después de la siembra, fecha en la que se inicia la formación de la raíz reservante. Por último, el T1-45 comienza su tratamiento a los 45 días después de la siembra, fecha en la cual se da el inicio de la tuberización.

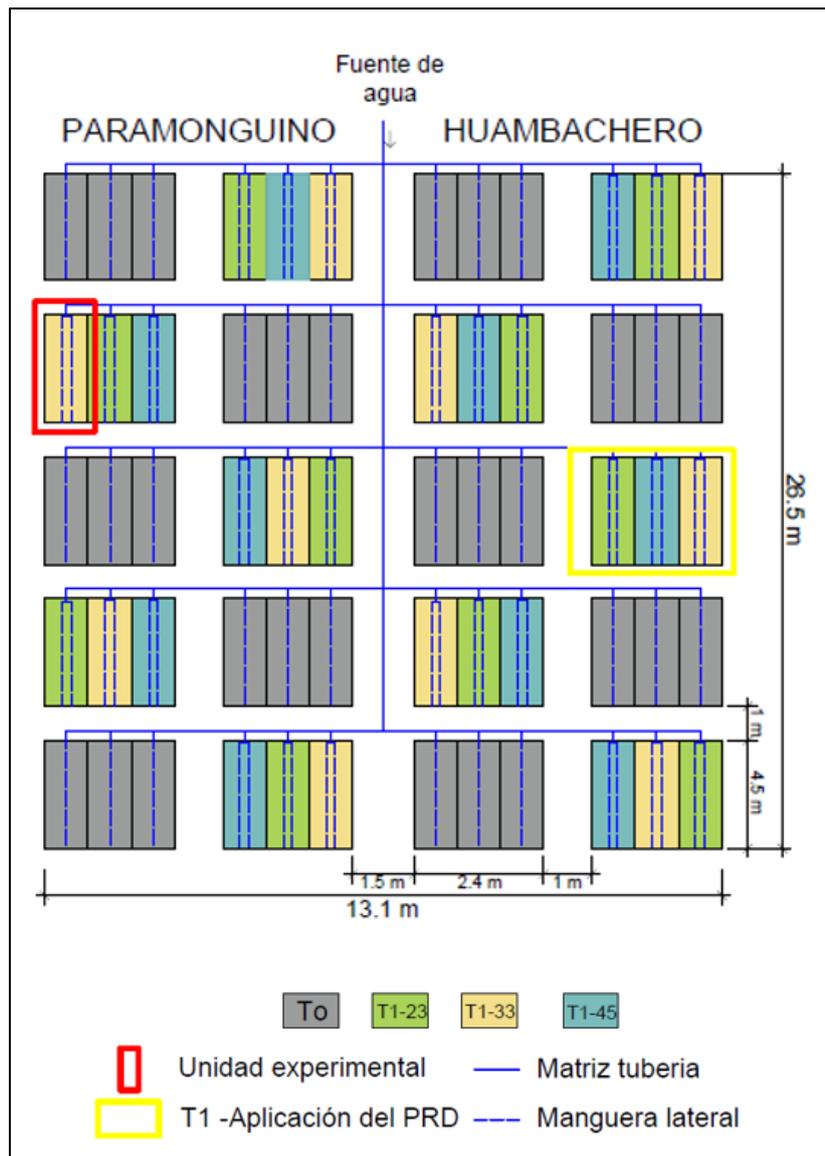


Figura 11: Área demostrativa y distribución de parcelas por tratamiento.

FUENTE: Elaboración propia.

Los goteros de $3.75 \text{ L} \cdot \text{hora}^{-1}$ tendrán una separación de 0.3 m en la parcela regada con riego normal y la parcela experimental con los tres tratamientos deficitarios tendrá mangueras con separación de 0.6 m cada gotero. En diez parcelas la aplicación del riego será por goteo convencional y las otras diez serán regadas por el método en estudio, el riego parcial deficitario en la zona de raíces. (Figura 11).

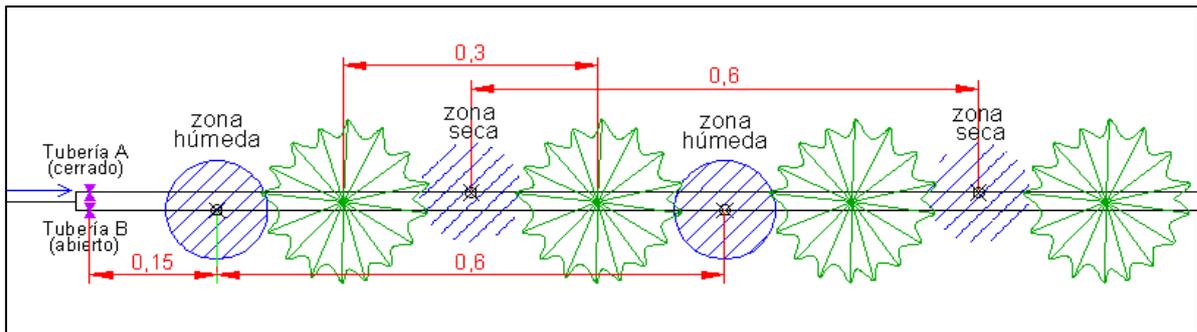


Figura 12: Distribución de los goteros de las mangueras dispuestos para la aplicación del PRD (T1).

FUENTE: Rivera, 2012

La aplicación del PRD consistió en regar un lado del sistema radical (ejemplo lado derecho) mientras que el riego es suspendido en el resto del sistema radical (ejemplo lado izquierdo) de esta forma se regó en las etapas que el cultivo no es sensible al estrés hídrico.

La lateral de riego del PRD será dividida en dos líneas juntas cerca al cultivo. En la línea de riego se colocó los goteros separadas cada 60 cm. Mientras que en las laterales de riego de RN fue de una línea con goteros separados cada 30cm.

En la Figura 12, observamos un lateral de riego del sistema PRD, se puede diferenciar la alternancia en el riego: en un riego estará abierta la tubería A y en el siguiente riego será abierto la tubería B, consecutivamente, así cambiará la zona húmeda y seca en cada riego.

3.3. Programación de riego

3.3.1. Prueba de capacidad de campo y punto de marchitez permanente

Para poder obtener las características del suelo, se tuvo que sacar una muestra para poder enviarla al laboratorio, de la que se obtuvo la capacidad que tiene el suelo para poder retener el agua, el porcentaje de capacidad de campo y el punto de marchitez, valores que nos servirá para mantener la humedad del suelo. En la Tabla 4 se muestra las características del suelo.

Tabla 4: Características físicas del suelo.

Característica	Valor
Tipo de Suelo (Según Análisis de suelos)	Franco
Densidad aparente	1.51 gr/cm ³
Capacidad de Campo (CC)	21.00%
Punto de Marchitez (PMP)	11.00%
Profundidad de raíz	30 cm

FUENTE: Elaboración propia.

3.3.2. Velocidad de Infiltración

Se refiere a la velocidad con que el agua penetra al suelo y se expresa en términos de mm·hora⁻¹ o cm·hora⁻¹. La velocidad de infiltración de un suelo depende de los siguientes factores: textura del suelo, estructura del suelo, calidad del agua de riego, compactación del suelo, contenido de agua del suelo, sólidos en suspensión, etc.

Es un parámetro crítico para diseño de riego, pues ella define cuánto tiempo debe permanecer el agua sobre la superficie del suelo para que haya un adecuado humedecimiento.

El método utilizado fue Método del Cilindro, el cual consiste en seleccionar una pequeña área de la parcela, removerla y nivelarla luego introducir dos cilindros de forma concéntrica. El espacio comprendido entre el cilindro interior y exterior será llenado con agua así será humedecido y no afectara al área interior y en el cilindro interior se coloca una bolsa plástica y se llena con agua la bolsa se retirará cuando empiece el conteo y, luego se hará el registro de altura del agua a intervalos periódicos. El resultado se muestra en la Figura 13.

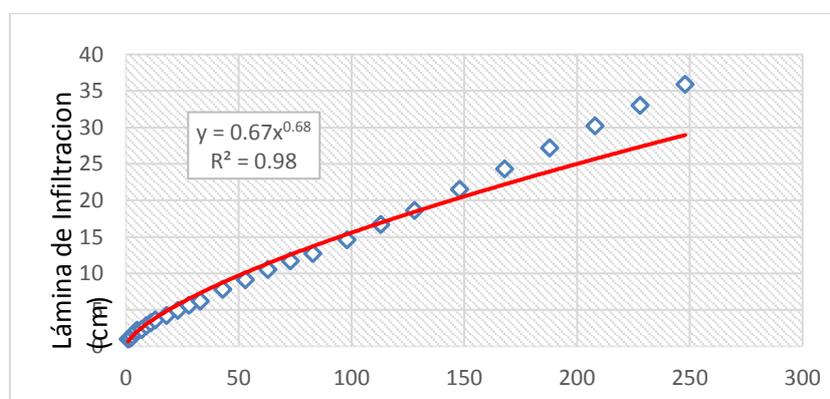


Figura 13: Curva de lámina infiltrada

FUENTE: Elaboración propia

3.4. Conducción del experimento

3.4.1. Instalación del Sistema

a. Sistema de riego

El sistema de riego consta de un cabezal de riego: Se cuenta un reservorio de 500 m³ el cual se llena con el agua proveniente de un canal externo. Al accionar la bomba de 5 HP el agua es impulsada y tiene la presión suficiente para que sea emitida por el emisor, la presión es regulada con las llaves de paso de tal modo que el manómetro de la bomba marque 38 bar. La tubería que conduce el agua desde el cabezal hasta la parcela mide 300 metros con un diámetro de 2 ½” la tubería principal de 2”, las secundarias de 1 ½” y los goteros Katif de 3.75 lph.

En la investigación se estableció con 20 parcelas: 10 parcelas de Testigo (T0), 5 por cada una de las variedades y, 10 parcelas de PRD (T1).

Cada parcela tuvo tres surcos y cada uno con sus respectivos laterales de riego. En el sistema de riego normal (T0), en el lateral de riego, los goteros están ubicados al pie de la planta con 10 cm de alejamiento para evitar la pudrición y con espacio de 30 cm.

Para la aplicación del sistema PRD se conectó a la tubería dos líneas de riego cada uno con su respectiva válvula y los goteros espaciados cada 60 cm, quedando así dos goteros por plantas separados cada 30 cm, en el riego solo estará abierto uno, así alternadamente se realizará el riego en la mitad de la raíz.

b. Sistema de fertirriego

Este sistema está implementado al sistema automatizado de riego. Se utilizó el sistema Venturi instalado en el cabezal de riego pues con la frecuencia con la que se aplicaron los fertilizantes, la cantidad no era significativa por dosis. Al estar conectado con el sistema de riego se sabe dónde se encuentran las raíces, concentradas en los bulbos húmedos, y se dispone el agua como vehículo que transporta la solución del fertilizante directamente hacia ellas.

El sistema estará compuesto, por un inyector Venturi en Bypass con válvula de bola de Ø1/2” para crear un diferencial de presión a través del inyector, y aunque cuenta con un tanque de 100L, se optó por utilizar un balde de 10 L para una medida más precisa cada vez que se aplicaba el fertilizante.

3.4.2. Manejos

Se llevaron a cabo los mismos manejos para ambos tratamientos diferenciándose solo en el riego. Las actividades realizadas fueron labores convencionales recomendado en el manejo del cultivo de camote INIA 360-Huambachero y recomendados por la INIA como el control de malezas, abonamiento y aporque.

a. Siembra:

La fecha de siembra fue el 8 de octubre del 2016, los esquejes fueron seleccionados de las parcelas cultivadas por el Fundo de la UNALM. con los cuales se tuvo un número de plantas de 364.

La preparación el terreno fue dos semanas antes con la limpieza y la aradura y replanteo además de la aplicación de un riego ligero.

b. Aporque:

El aporque se realizó en dos fechas:

- A los 20dds. : Para dar firmeza a las raíces y la propagación de las mismas.
- A las 45dds. : Para la formación de raíces reservantes.

c. Control de Malezas y Enfermedades:

Durante el proceso el cultivo fue afectado por:

- Malezas: Se realizó el deshierbo cada semana.
- Pulgón Verde: se aplicó insecticida

d. Programación de Riegos:

La frecuencia de riego fue cada 2 días, los 23 primeros días fueron determinantes para permitir un normal crecimiento a partir de los esquejes, por ello, se devolvió el 100% del agua evaporada con un riego normal para todas las parcelas, a partir del día 23 ya se empezó a aplicar el PRD a las parcelas designadas para este riego en los cuales solo fue elegida una de las hileras al azar siendo las otras 2 para los siguientes tratamientos (33 y 45 días).

e. Cosecha

La cosecha se llevó a cabo el 15 de marzo del 2017, previo manejo de forraje, cortándolo dos semanas previas a la cosecha. Se realizó de manera manual, extrayendo con cuidado los camotes, separándolos por cada planta para poder determinar la cantidad y calidad del camote.

3.4.3. Aplicación de PRD

En la investigación se estableció 20 parcelas: 10 parcelas de Testigo (T0), 5 por cada una de las variedades y, 10 parcelas de PRD (T1).

Cada parcela tuvo 03 surcos y cada una con sus respectivos laterales de riego. En el sistema de riego normal RN la lateral de riego los goteros están ubicados al pie de la planta con 10 cm de alejamiento para evitar la pudrición y con espacio de 30cm.

Para la aplicación del sistema PRD se conectó a la tubería dos líneas de riego (Figura 11) cada uno con su respectiva válvula y los goteros espaciados cada 60 cm, quedando así dos goteros por plantas separados cada 30 cm, en el riego solo estará abierto uno, así alternadamente se realizará el riego en la mitad de la raíz.

3.4.4. Aplicación de la Fertirrigación

El cultivo del camote, en general, es poco exigente en suelo y se logra obtener buenos rendimientos en suelos pobres, sin embargo, responde de mejor manera a la fertilización nitrogenada y fosfórica principalmente.

Se aplicó fertilizante cada vez que se regó la parcela durante el periodo vegetativo de la planta en la proporción de NPK 140-120-220 como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4: Proporción de NPK aplicada al camote

N	P₂O₅	K₂O
140	120	220

FUENTE: Elaboración propia

Las fuentes seleccionadas para el fertirriego fueron nitrato de amonio, fosfato monoamónico, cloruro de potasio, sulfato de magnesio. En la Tabla 5 se especifican la cantidad en kilos por hectáreas requerida de acuerdo a la concentración de cada fertilizante escogido y en el Tabla 5 se muestra la cantidad total necesaria para la parcela demostrativa sacando una proporción del área de parcela demostrativa en función a una hectárea. En el Anexo 2 se presenta el plan de fertirriego a aplicar.

a. Nitrato de amonio

El nitrato de amonio (NH_4NO_3) es considerado como una fuente importante de nitrógeno ya que contiene un alto contenido de ello (35,5%) y éste puede ser aprovechado directamente por la planta no sólo por el nitrato, si no, el amonio se oxida por los microorganismos presentes en el suelo a nitrito o nitrato.

b. Fosfato monoamónico (MAP)

El Fosfato monoamónico ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$) tiene características únicas como que no es corrosivo para las bombas y equipo de riego, es moderadamente ácido y es apto para ser aplicado en la proximidad de las raíces en crecimiento. Estas características hacen que sea un producto idóneo para ser aplicado por medio del fertirriego y el riego parcial deficitario.

c. Cloruro de potasio

El potasio (K) es absorbido en su forma iónica, K^+ y ayuda en la regulación del agua en las plantas a través de raíces de las plantas y su pérdida a través de las estomas.

La importancia de la aplicación de potasio en suelos agrícolas radica en obtener mejores rendimientos y obtener una mejor calidad de la cosecha al afectar el tamaño, color y sabor de la planta. En el caso de la aplicación por medio del fertirriego enfatiza más la cercanía a la planta, por ende, a su absorción y eso ayudará a minimizar los efectos del riego parcial localizado al fortalecer la tolerancia de la planta al estrés hídrico.

El potasio es imprescindible en la planta para el desarrollo de importantes procesos vitales. El camote absorbe cantidades relativamente grandes del elemento, y es muy importante para el engrosamiento de las raíces tuberosas (INTA, 2013).

d. Sulfato de manganeso

El manganeso (Mn) es un importante micronutriente para las plantas y, después del hierro, es el que las plantas requieren en mayor cantidad. Al igual que sucede con cualquier otro elemento, su deficiencia o su toxicidad pueden representar una limitante para el desarrollo de las plantas.

Contribuye al funcionamiento de la fotosíntesis, la respiración y la asimilación de nitrógeno. También interviene en el alargamiento celular en la raíz y mejora la resistencia a patógenos.

Se debe controlar por medio de la extracción del pH del sustrato de cultivo es superior a 6.5 para que puede ser fijado y estar disponible para su absorción.

Tabla 5: Cantidad en kilos por hectáreas (Kg.ha⁻¹) requerida de acuerdo a la concentración de cada fertilizante.

Fuente	Kg.ha ⁻¹	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	S
Nitrato de amonio	352	116.16			0	
Fosfato monoamónico	200	24	122			
Cloruro de potasio	400			240		
Sulfato de magnesio	125				20	15
TOTAL	1077	140.16	122	240	20	15

FUENTE: Elaboración propia

Tabla 6: Cantidad total (gramos) necesaria para la aplicación del fertirriego en la parcela demostrativa.

	Kg.ha ⁻¹	kg.m ⁻²	kg total	gr
Nitrato de amonio	352	0.0352	8.11	8110.08
Fosfato monoamónico	200	0.02	4.61	4608
Cloruro de potasio	400	0.04	9.22	9216
Sulfato de magnesio	125	0.0125	2.88	2880
TOTAL	1077	0.1077	24.81	24814.08

FUENTE: Elaboración propia

La preparación de la solución madre se realizó en un envase de capacidad de 10 litros considerando que el volumen de solución madre a aplicar variaría de acuerdo al estado fenológico y a la cantidad de fertilizantes a disolver, esta cantidad se muestra en la Tabla 6 y 7. La aplicación se realizó utilizando un Venturi automatizado.

3.4.5. Distribución de Sales y nutrientes

En un riego por gravedad, las sales se acumulan en la línea de siembra. En riegos por inundación y aspersión aumenta la salinidad al aumentar la profundidad del suelo. En un riego por goteo las sales se acumulan gradualmente en la superficie del suelo, sin embargo, los ciclos repetidos de riego y la evaporación. En la Figura 14, Kremmer y Kenig (1996) muestra la distribución de las sales en el bulbo húmedo.

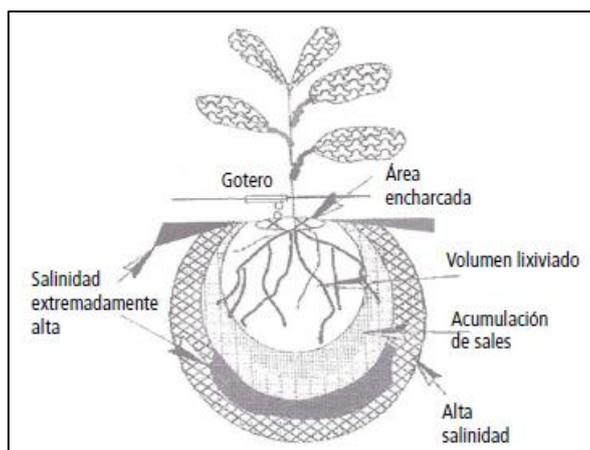


Figura 14: Distribución de sales en un volumen de suelo húmedo debajo del emisor

FUENTE: Adaptación de Kremmer y Kenig, 1996.

3.5. Mediciones

3.5.1 Evaluación de la aplicación del fertirriego

Para poder evaluar la eficacia de la aplicación del fertirriego por medio del riego parcial deficitario, se decidió monitorear el pH y CE de una muestra de suelo recogida inmediatamente aplicado el riego, así mismo se midió la humedad gravimétrica en cada fecha de riego.

a. Contenido de humedad

Con el objetivo de estimar la eficiencia en el uso del agua y observar el movimiento del agua en el perfil por parte de las plantas en tratamiento, se realizaron mediciones del contenido de humedad del suelo utilizando un sensor de humedad y verificándolo con la humedad gravimétrica.

Para dicho fin se instalaron en todos los tratamientos en la parte central el sensor y el tensiómetro por los cuales se midió el contenido volumétrico de humedad (%) a

profundidades de 30 cm. Las mediciones de este parámetro se realizaron a partir del mes de octubre, con una frecuencia diaria.

b. Conductividad eléctrica y pH

Como complemento del manejo de la programación del fertirriego, se procedió a analizar la evolución de la salinidad y pH en el ciclo del cultivo, mediante la utilización de dispositivos de medición (conductímetro y peachímetro), esto sirvió para determinar si los fertilizantes que se emplearon y la restricción de agua en los tratamientos no elevaban la salinidad del extracto saturado del suelo, se tomaron muestras después de cada fertirriego.

3.5.2 Rendimiento Total

La producción total de los tubérculos fue cuantificada en peso fresco expresado en toneladas por hectárea ($Tn.ha^{-1}$) para ambas variedades, y el área respectiva de siembra. Cada una de las plantas muestreadas, es decir plantas de la parcela neta se tomó cada uno de los tubérculos, luego se procedió al peso de cada planta con una balanza analítica para así tener datos exactos del peso y obtener el rendimiento.

3.5.3 Clasificación de raíces reservantes

Al momento de cosechar se pesó la totalidad de lo producido y se procedió a clasificar la raíz reservante por calibre, de acuerdo al siguiente criterio utilizado por TELLO (1991):

- Calibre primera Más de 200 gr. C-1.
- Calibre segunda 200 al 80 gr. C-2.
- Calibre tercera Menor a 80 gr. C-3.

3.5.4 Contenido de N, P y K en la raíz reservante

Luego de la cosecha se tomaron muestras de camote y fueron enviadas al Laboratorio de análisis de agua, suelos, plantas y fertilizantes perteneciente a la Facultad de Agronomía de la UNALM para que se analice el porcentaje de NPK que posee cada muestra de camote. Se tomaron tres muestras de cada uno de los tratamientos, tanto de la variedad Huambachero como de la variedad Paramonguino. Este procedimiento proporcionó

información de la extracción de nitrógeno, fósforo y potasio en las raíces tuberosas luego de haber sido fertirrigadas por medio de un riego parcial deficitario.

3.6. Análisis estadístico

Se realizó el análisis de varianza con la ayuda del paquete estadístico SAS versión 9.1. Así mismo, se obtuvieron los coeficientes de variabilidad para cada una de las características.

Debido a que el análisis de varianza solo indica si el efecto del tratamiento es diferente al testigo se realizó la prueba de comparación múltiple de medias (Tukey $\alpha = 0.05$), esto con la finalidad de conocer cuál de los tratamientos tuvo mejor respuesta.

En el caso del estudio del porcentaje de N, P y K de la raíz reservante luego de la cosecha se realizó la prueba de Chi-cuadrado debido a la poca cantidad de datos y se basó en una hipótesis.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

De acuerdo a la experimentación realizada, en esta sección se presenta el desarrollo y discusión de los resultados. La primera parte, muestra los resultados del monitoreo de las características del suelo tales como la humedad, conductividad eléctrica y pH luego de la aplicación del fertirriego por medio del PRD en las diferentes etapas fenológicas del cultivo para verificar la homogeneidad de las características del sustrato y descartar influencia sobre el rendimiento. La segunda, presenta el rendimiento y la clasificación del cultivo por cada variedad y cada uno de los cuatro tratamientos que evidencia el efecto de la aplicación del fertirriego a través del riego parcial deficitario. Finalmente, en la tercera parte se presenta el porcentaje de N, P y K absorbido por las raíces reservantes extraídas en la cosecha. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

4.1. Monitoreo de los valores de humedad, conductividad eléctrica y pH del extracto de suelo extraído luego del fertirriego

El análisis de muestras de suelo extraídas a lo largo de toda la etapa fenológica del cultivo de camote permitió que se conocieran las características del suelo tales como humedad, conductividad eléctrica y pH, características importantes para monitorear el fertirriego. Al ser extraídas las muestras en el intermedio de la semana de la aplicación de fertirriego, permite conocer sus características luego de acentuarse los nutrimentos en el suelo, del primer fertirriego intersemanal, y tener los valores directamente luego del fertirriego (segundo día de aplicación de fertirriego intersemanal).

4.1.1. Contenido de humedad en el suelo

La humedad en la profundidad de 0-30 cm, tanto en la variedad Huambachero como en la variedad Paramonguino, que presentó el suelo a lo largo de los estados fenológicos en el tratamiento TO se ubicó siempre sobre el punto de marchitez. Los valores más bajos se tuvieron días después de mediados de la etapa de maduración y en los días previos a la cosecha.

En el entorno de estrés hídrico, tras la aplicación del PRD, la humedad que se registró para el tratamiento T1-23 en la variedad Huambachero oscila entre el 18 y 20 por ciento de humedad (Figura 15) teniendo los puntos más bajos finalizando la etapa de maduración, sin embargo, se podría decir que tiene un comportamiento estable. Lo mismo ocurre para los tratamientos T1-33 y T1-45, en la Figura 15 se puede observar que las líneas de comportamiento de humedad a lo largo de los estados fenológicos, se mantienen alejadas (aunque varían en un máximo de 4%), pero luego de la caída de la humedad debido al corte de riego por factores externos al proyecto, se vuelven más homogéneos.

La última merma de humedad la cual se restringe en los cuatro tratamientos (TO, T1-23, T1-33, T1-45) fue la idónea en la etapa de cosecha ya que estas condiciones permiten el llenado de las raíces reservantes para lograr el peso y tamaño comercial adecuado. Esta humedad no alcanzó el punto de marchitez.

Por lo tanto, el PRD aplicado mediante los tratamientos en un máximo de 45 dds, no mostró una diferencia significativa entre los cuatro tratamientos y para las dos variedades de camote. En el ambiente de riego de cada uno de los cuatro tratamientos la humedad se mantuvo cercana a la capacidad de campo (CC), a una profundidad de 0-30 cm (Figura 14 y 15) lo cual demuestra que las condiciones de humedad son óptimas para una buena absorción de nutrientes insertados al suelo por medio del fertirriego, por lo tanto, fue favorable para el crecimiento, desarrollo y rendimiento de la raíz reservante.

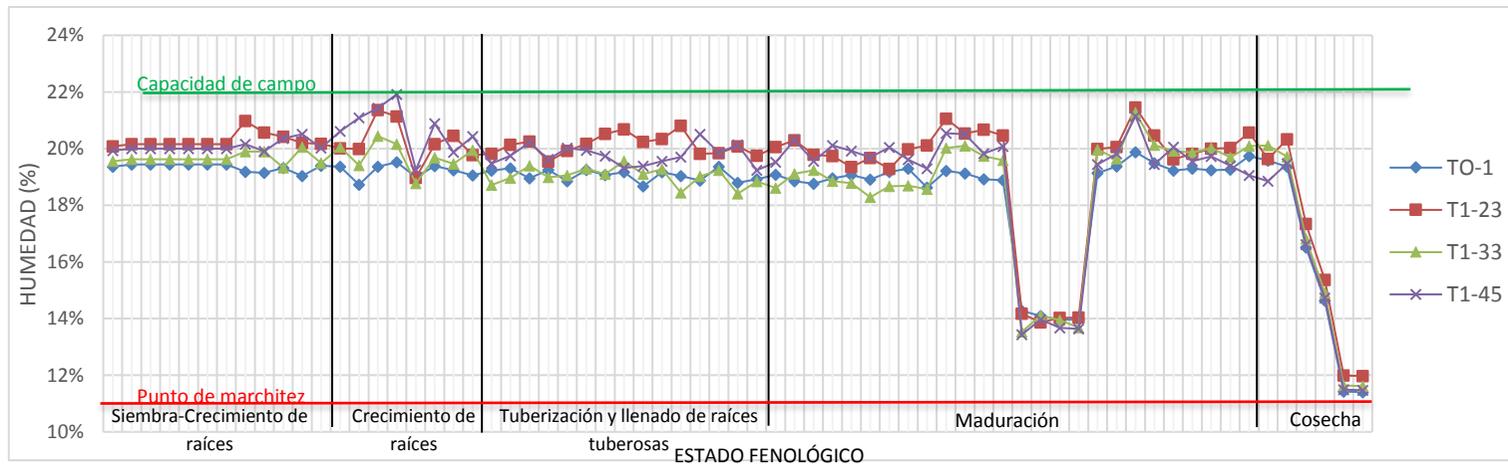


Figura 15: Humedad del suelo (%) registrada a lo largo de las diferentes etapas fenológicas en cada uno de los cuatro tratamientos aplicados para la variedad Huambachero.

FUENTE: Elaboración propia

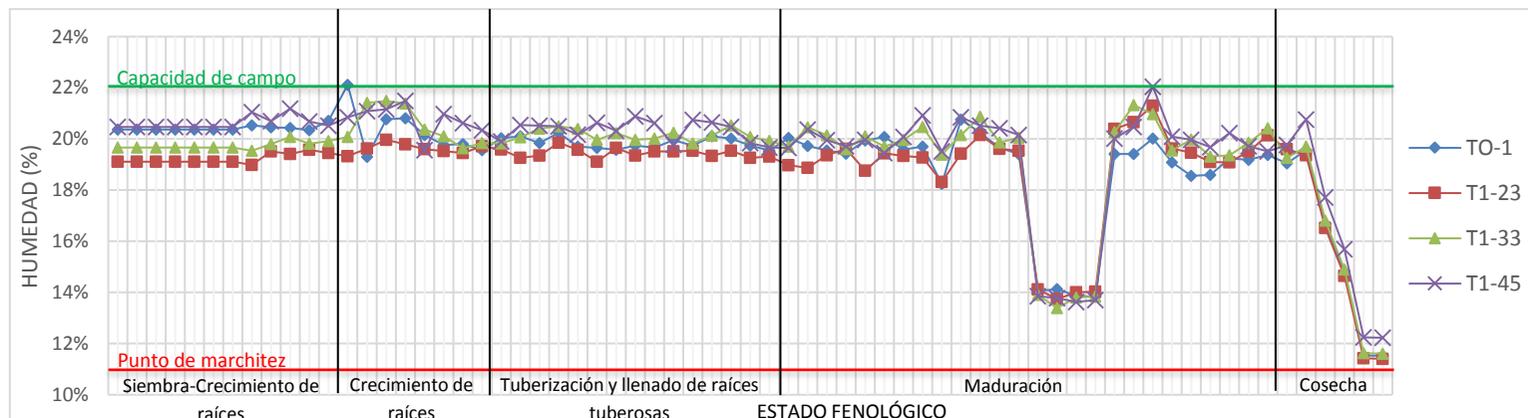


Figura 16: Humedad del suelo (%) registrada a lo largo de las diferentes etapas fenológicas en cada uno de los cuatro tratamientos aplicados para la variedad Paramunguino.

FUENTE: Elaboración propia

4.1.2. Conductividad Eléctrica

La aplicación del fertirriego por medio de PRD puede generar que las sales se acumulen en la zona radicular. Esta concentración de sales puede variar las propiedades del suelo físico-químicas y esto influenciar en el crecimiento y desarrollo del cultivo y; por ende, el rendimiento (Corwin et al., 2005).

En el análisis de varianza de los datos recopilados de la conductividad eléctrica (CE) del extracto del suelo en la variedad Paramanguino mostró que no hay diferencias entre tratamientos a lo largo de todos los estados fenológicos. Sin embargo, como se muestra en la Tabla 8, a los 46 días DDS, según el Test de comparación múltiple Duncan, los datos promedio entre tratamientos son comparativamente diferentes, pero con una diferencia significativa un poco mayor a 0.05. Esto se pudo ocasionar por una toma errónea de datos en la muestra del T1-33, por lo cual lo reconoce como no significativa lo cual fue corroborado con el test de Tukey.

Por otro lado, en la variedad Huambachero (Tabla 10 y 11), muestra que durante todo el ciclo del cultivo no existe una diferencia significativa entre los valores, salvo el 02 de marzo (144 DDS). El test de Tukey (Tabla 10), para 148 DDS muestra diferencias entre los tratamientos T0 y T1-23 contra el T1-45. Sin embargo, al realizar el Test de Duncans (Tabla 11), se observa que también a los 60 DDS, los datos promedios entre tratamientos son comparativamente diferentes.

En cuanto a los valores de la CE a lo largo de las etapas fenológicas en la variedad Paramanguino, los valores fluctúan entre 0.8 y 1.8 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$. El camote no tolera salinidades mayores a 4 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ y los niveles óptimos se encuentran entre 0.5 y 2.0 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$, la mayoría de valores se encuentran en este rango como se muestra en la Figura 17.

En el caso de la variedad Huambachero (Figura 18), los valores fluctúan entre 0.5 y 1.5 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ y si se encuentra dentro de los valores óptimos de conductividad eléctrica para que se pueda desarrollar la raíz reservante.

Los valores más altos de conductividad eléctrica se presentaron a finales de la etapa fenológica de siembra-crecimiento de raíces y el inicio de la tuberización.

Tabla 7: Resultados del Test de comparación múltiple de Duncan de los valores de la conductividad eléctrica del suelo ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$) en las diferentes etapas fenológicas de la Variedad Paramonguino.

Estado fenológico	Siembra-Crecimiento de raíces		Crecimiento de raíces	Tuberización y llenado de raíces tuberosas			Maduración				Cosecha	
FECHA	12-oct	26-oct	09-nov	23-nov	07-dic	21-dic	04-ene	18-ene	02-feb	16-feb	02-mar	09-mar
DDS	4	18	32	46	60	74	88	102	116	130	144	151
TO	1.02	1.61	1.06	1.66 A	1.37	1.37	1.33	0.87	1.28	1.09	1.32	1.14
T1-23	1.22	1.16	1.26	1.35 AB	1.16	1.16	1.12	1.06	1.14	0.72	1.29	1.46
T1-33	1.39	1.09	1.48	0.95 B	1.02	1.02	1.04	1.21	0.81	1.5	0.82	0.97
T1-45	0.96	0.92	1.09	1.27 AB	1.01	1.01	1.33	1.17	1.15	1.13	1.03	1.04
p valor	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

DDS: días después de la siembra, ns: no significativo.

FUENTE: Elaboración propia

Tabla 8: Resultados del Test de comparación múltiple de Tukey de los valores de la conductividad eléctrica del suelo ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$) en las diferentes etapas fenológicas de la Variedad Paramonguino.

Estado fenológico	Siembra-Crecimiento de raíces		Crecimiento de raíces	Tuberización y llenado de raíces tuberosas			Maduración				Cosecha	
FECHA	12-oct	26-oct	09-nov	23-nov	07-dic	21-dic	04-ene	18-ene	02-feb	16-feb	02-mar	09-mar
DDS	4	18	32	46	60	74	88	102	116	130	144	151
TO	1.02	1.61	1.06	1.65	1.37	1.3	1.28	1.28	1.09	1.32	1.14	1.42
T1-23	1.22	1.16	1.26	1.35	1.16	1.12	1.14	1.14	0.72	1.29	1.46	1.33
T1-33	1.39	1.09	1.48	0.95	1.01	1.05	0.81	0.81	1.5	0.82	0.97	1.34
T1-45	0.96	0.92	1.08	1.27	1.01	1.34	1.15	1.15	1.13	1.03	1.04	1.12
p valor	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

DDS: días después de la siembra, ns: no significativo.

FUENTE: Elaboración propia

Tabla 9: Prueba de Duncans de la medición de la conductividad eléctrica del suelo (dS.m⁻¹) en diferentes etapas fenológicas de la variedad Huambachero.

Estado fenológico	Siembra-Crecimiento de raíces		Crecimiento de raíces	Tuberización y llenado de raíces tuberosas				Maduración			Cosecha	
	12-oct	26-oct		23-nov	07-dic	21-dic	04-ene	18-ene	02-feb	16-feb		
FECHA	12-oct	26-oct	09-nov	23-nov	07-dic	21-dic	04-ene	18-ene	02-feb	16-feb	02-mar	09-mar
DDS	4	18	32	46	60	74	88	102	116	130	144	151
TO	0.75	1.16	0.99	1.1	1.16 AB	1.13	0.97	0.94	1.33	1.16	1.63 A	0.89
T1-23	1.12	0.84	1.18	1.04	0.78 B	1.36	1.33	0.99	1.25	1.16	1.3 A	0.97
T1-33	1.03	0.90	0.94	1.14	0.76 B	1.35	1.03	1.09	1.04	1.08	1.4 AB	1.27
T1-45	0.59	0.85	0.93	1.13	1.32 A	1.21	1.05	1.38	0.98	1.17	0.67 B	1.16
p valor	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns

DDS: días después de la siembra, ns: no significativo, *:0.01<p valor<0.05

FUENTE: Elaboración propia

Tabla 10: Prueba de Tukeys de la medición de la conductividad eléctrica del suelo (dS.m⁻¹) en las diferentes etapas fenológicas de la variedad Huambachero.

Estado fenológico	Siembra-Crecimiento de raíces		Crecimiento de raíces	Tuberización y llenado de raíces tuberosas				Maduración			Cosecha	
	12-oct	26-oct		23-nov	07-dic	21-dic	04-ene	18-ene	02-feb	16-feb		
FECHA	12-oct	26-oct	09-nov	23-nov	07-dic	21-dic	04-ene	18-ene	02-feb	16-feb	02-mar	09-mar
DDS	4	18	32	46	60	74	88	102	116	130	144	151
TO	0.75	1.16	0.98	1.1	1.16	1.13	0.97	0.94	1.33	1.16	1.63 A	0.89
T1-23	1.12	0.84	1.18	1.04	0.78	1.36	1.33	0.99	1.25	1.16	1.3 AB	0.97
T1-33	1.03	0.90	0.97	1.14	0.76	1.35	1.03	1.08	1.04	1.08	1.4 AB	1.27
T1-45	0.59	0.83	0.93	1.13	1.32	1.21	1.05	1.38	0.98	1.17	0.67 B	1.16
p valor	ns	Ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns

ns: no significativo, *:0.01<p valor<0.05

FUENTE: Elaboración propia

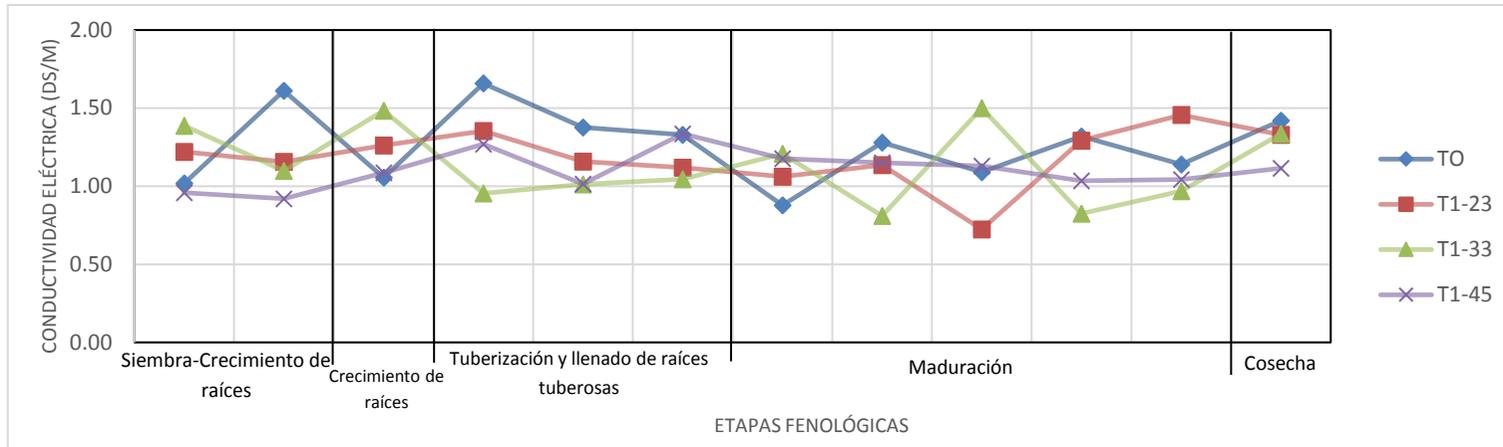


Figura 17: Conductividad Eléctrica del suelo (dS.m⁻¹) en diferentes etapas fenológicas de la variedad Paramunguino.

Fuente: Elaboración propia

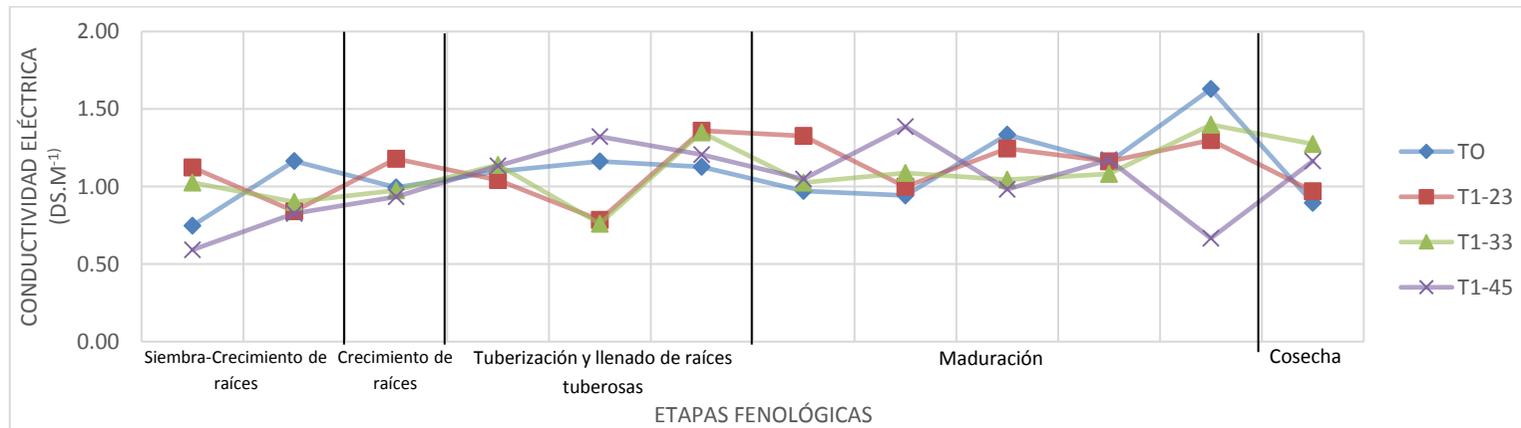


Figura 18: Conductividad Eléctrica del suelo (dS.m⁻¹) en diferentes etapas fenológicas de la variedad Huambachero.

Fuente: Elaboración propia

4.1.3. pH

La concentración de iones de hidrógeno es fundamental en los procesos físicos, químicos y biológicos que ocurren en el suelo. El pH, en este medio, influye en la asimilabilidad de los nutrientes. Las condiciones óptimas para que son ligeramente ácidos, es decir, un pH entre 6 y 7.

Los resultados de la extracción del pH de la muestra del suelo en la variedad Huambachero sugirieron que los valores no tiene una diferencia significativa lo cual es corroborado con el Test de comparación múltiple Tukey (Tabla 12), sin embargo, al realizar el Test de comparación de Duncan (Tabla 13) arroja que, a los 102 DDS, durante la etapa de maduración, los datos promedio entre los tratamientos son comparativamente diferentes entre los tratamiento T1-23 y T1-45 pero con una diferencia de 0.8, esto probablemente se debió a una mala toma de datos.

En el caso de la variedad Paramonguino, la Tabla 14 muestra que, muestra que durante todo el ciclo del cultivo no existe una diferencia significativa entre los valores, sin embargo al realizar el Test de Duncan, arroja que al iniciar la etapa de maduración, luego de 88 días DDS existe una diferencia significativa entre los tratamientos T1-23 y T1-33 con una variación de 2.53 en el valor del pH, esto se pudo ocasionar a una variación del pH en la muestra madre o en el agua de riego lo cual hizo que no sólo éstos tratamiento tuvieran valor atípicos, sino en generales el testigo y los demás tratamientos. El Test de Tukey afirma que no existe diferencia significativa entre los datos muestreados (Tabla 15).

Como se observa en la Figura 21, en la var. Huambachero los valores de pH se encuentran dentro de los valores óptimos 5.5 y 6.6, existe una reducción del pH progresivamente y esto se puede dar porque la solución madre aplicada por medio del fertirriego ya no contenía a todas las soluciones nutritivas. Así mismo, se puede ver una reducción del valor del pH en las últimas mediciones por el corte de riego para mejorar la calidad del camote, esto no varía los valores óptimos. La var. Paramonguino tiene la misma tendencia (Figura 22).

Tabla 11: Análisis estadístico Tukey del pH del suelo en diferentes etapas fenológicas de la variedad Huambachero.

Estado fenológico	Siembra-Crecimiento de raíces		Crecimiento de raíces	Tuberización y llenado de raíces tuberosas			Maduración				Cosecha	
	12-oct	26-oct		23-nov	07-dic	21-dic	04-ene	18-ene	02-feb	16-feb		
FECHA	12-oct	26-oct	09-nov	23-nov	07-dic	21-dic	04-ene	18-ene	02-feb	16-feb	02-mar	09-mar
DDS	4	18	32	46	60	74	88	102	116	130	144	151
TO	6.86	6.94	6.64	6.95	6.83	6.59	6.14	6.37	6.45	6.74	6.79	6.09
T1-23	6.70	6.72	6.71	6.69	7.02	6.71	6.32	6.12	6.47	6.96	7.09	5.63
T1-33	6.71	6.70	6.67	7.12	6.63	6.80	6.95	6.65	7.03	7.06	6.53	5.47
T1-45	7.04	6.72	7.10	6.85	6.82	6.53	6.97	6.95	6.95	6.91	6.73	5.88
p valor	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

DDS:días después de la siembra, ns: no significativo.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12: Análisis estadístico Duncan del pH del suelo en diferentes etapas fenológicas de la variedad Huambachero.

Estado fenológico	Siembra-Crecimiento de raíces		Crecimiento de raíces	Tuberización y llenado de raíces tuberosas			Maduración				Cosecha	
	12-oct	26-oct		23-nov	07-dic	21-dic	04-ene	18-ene	02-feb	16-feb		
FECHA	12-oct	26-oct	09-nov	23-nov	07-dic	21-dic	04-ene	18-ene	02-feb	16-feb	02-mar	09-mar
DDS	4	18	32	46	60	74	88	102	116	130	144	151
TO	6.86	6.94	6.64	6.95	6.83	6.59	6.14	6.37 AB	6.45	6.74	6.79	6.09
T1-23	6.70	6.72	6.71	6.69	7.02	6.71	6.32	6.12 B	6.47	6.96	7.09	5.63
T1-33	6.71	6.70	6.67	7.12	6.63	6.80	6.95	6.65 AB	7.03	7.06	6.53	5.47
T1-45	7.04	6.72	7.10	6.85	6.82	6.53	6.97	6.95 A	6.95	6.91	6.73	5.88
p valor	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

DDS:días después de la siembra, ns: no significativo.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13: Test de comparación múltiple de Duncan del pH del suelo en diferentes etapas fenológicas de la variedad Paramonguino.

Estado fenológico	Siembra-Crecimiento de raíces		Crecimiento de raíces	Tuberización y llenado de raíces tuberosas			Maduración				Cosecha	
	12-oct	26-oct		23-nov	07-dic	21-dic	04-ene	18-ene	02-feb	16-feb		
FECHA	12-oct	26-oct	09-nov	23-nov	07-dic	21-dic	04-ene	18-ene	02-feb	16-feb	02-mar	09-mar
DDS	4	18	32	46	60	74	88	102	116	130	144	151
TO	6.57	6.81	6.56	6.57	6.24	6.51	6.91 AB	6.50	7.04	6.47	5.93	5.74
T1-23	6.56	7.06	6.39	6.92	6.92	6.48	5.67 B	5.99	7.08	6.37	6.87	6.24
T1-33	7.13	6.45	6.88	6.29	6.57	6.69	7.14 A	5.95	6.44	6.59	6.67	5.89
T1-45	6.75	6.65	7.17	6.02	6.22	6.21	6.71 AB	6.45	6.09	6.49	6.11	5.99
p valor	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

DDS:días después de la siembra, ns: no significativo.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 14: Test de comparación múltiple de Tukey del pH del suelo en diferentes etapas fenológicas de la variedad Paramonguino.

Estado fenológico	Siembra-Crecimiento de raíces		Crecimiento de raíces	Tuberización y llenado de raíces tuberosas			Maduración				Cosecha	
	12-oct	26-oct		23-nov	07-dic	21-dic	04-ene	18-ene	02-feb	16-feb		
FECHA	12-oct	26-oct	09-nov	23-nov	07-dic	21-dic	04-ene	18-ene	02-feb	16-feb	02-mar	09-mar
DDS	4	18	32	46	60	74	88	102	116	130	144	151
TO	6.57	6.81	6.56	6.57	6.24	6.51	6.91	6.50	7.04	6.47	5.93	5.74
T1-23	6.56	7.06	6.39	6.92	6.92	6.48	5.67	5.99	7.08	6.37	6.87	6.24
T1-33	7.13	6.45	6.88	6.29	6.57	6.69	7.14	5.95	6.44	6.59	6.67	5.89
T1-45	6.75	6.65	7.17	6.02	6.22	6.21	6.71	6.45	6.09	6.49	6.11	5.99
p valor	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

DDS: días después de la siembra, ns: no significativo.

Fuente: Elaboración propia

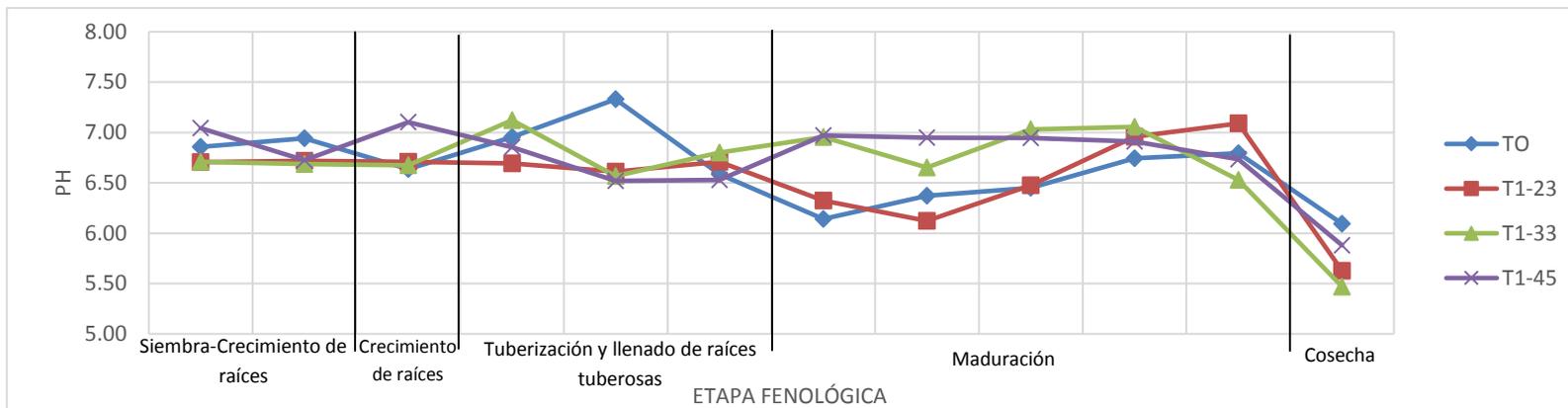


Figura 19: Comportamiento del pH en el suelo en diferentes etapas fenológicas de la variedad Huambachero.

Fuente: Elaboración propia

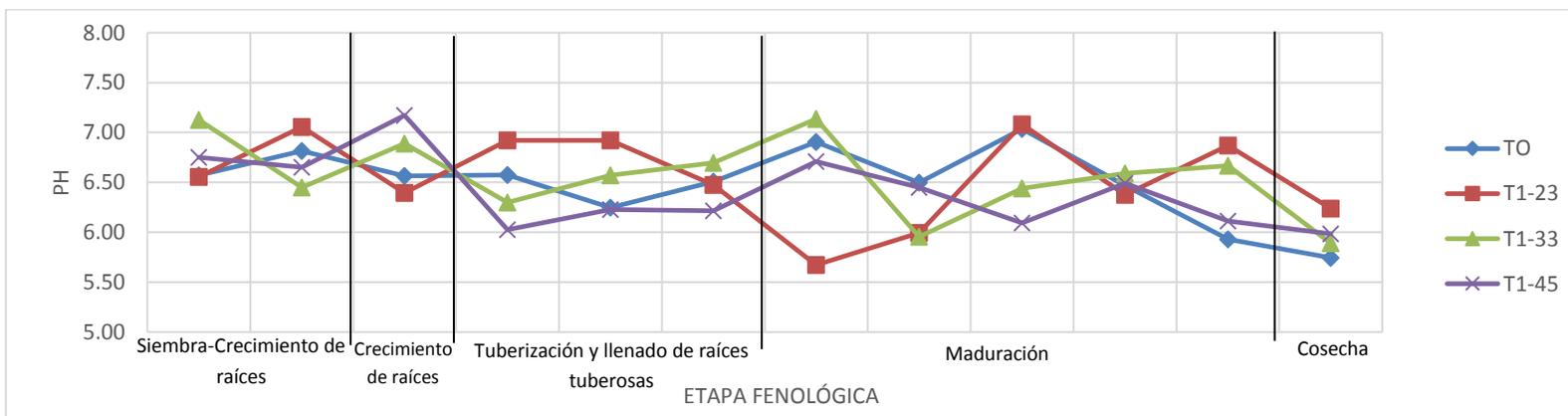


Figura 20: Comportamiento del pH en el suelo en diferentes etapas fenológicas de la variedad Paramunguino.

Fuente: Elaboración propia

4.2. Rendimiento de dos variedades de camote por el efecto de la fertirrigación en condiciones de déficit hídrico

Esta variable es una de las principales en la presente investigación, debido que determina el potencial productivo de las variedades evaluadas en base a la aplicación del fertirriego por medio de un riego parcial deficitario.

La producción total de los tubérculos fue cuantificada en peso fresco expresado en $Tn \cdot ha^{-1}$; se tomaron las plantas de cada hilera con diferente tratamiento a lo largo de los cinco bloques experimentales, se pesaron con una balanza analítica y los datos fueron registrados en una hoja de Excel para facilitar su procesamiento.

En la Tabla 16, se presentan los resultados de las medias del rendimiento en la variedad Paramonguino. El análisis de varianza (ANVA) arroja que existe una diferencia altamente significativa entre el tratamiento testigo T0 y los tratamientos con PRD. El tratamiento T0 obtuvo $39.18 Tn \cdot ha^{-1}$ de rendimiento, en el caso del rendimiento obtenido con el T1-23, T1-33 y T1-45 fue de $30.00 Tn \cdot ha^{-1}$, $31.37 Tn \cdot ha^{-1}$ y $32.62 Tn \cdot ha^{-1}$ respectivamente.

La prueba de comparación múltiple de medias de Duncan, y reafirmada por la prueba de Tukeys, indica que hay dos grupos estadísticamente diferentes (Tabla 16) donde la aplicación del fertirriego por medio de un PRD merma el rendimiento en 23.43%, 19.93% y 16.74% en los tratamientos T1-23, T1-33, T1-45 respectivamente, frente al tratamiento testigo (T0). Sin embargo, entre los tratamientos donde se aplicó el PRD indica que no hay diferencias significativas

Al analizar la variedad Huambachero, la prueba de comparación múltiple de medias de Duncan indica que hay tres grupos estadísticamente diferentes (Tabla 17), donde la aplicación del fertirriego por medio de un PRD merma el rendimiento en 18.24%, 23.13% y 17.35% para los tratamientos T1-23, T1-33 y T1-45 respectivamente, frente al tratamiento testigo (T0). Los tratamientos similares son los aplicados 23 dds. y 33 dds. esto se puede justificar por la cercanía entre los tratamientos y el traslape de estados fenológicos. Sin embargo, según Tukeys no existe diferencia significativa entre el testigo (T0) y los otros tres tratamientos.

Tabla 15: Análisis estadístico de la variable rendimiento en la variedad de camote Paramonguino.

Tratamiento	Rendimiento Tn.ha ⁻¹	Duncan	Tukeys
TO	39.18	A	A
T1-23	30.00	B	B
T1-33	31.37	B	B
T1-45	32.62	B	B
p valor	**		

p valor: ns: diferencia no significativa, **:diferencia altamente significativa

Fuente: Elaboración propia

Tabla 16: Análisis estadístico de la variable rendimiento en la variedad de camote Huambachero.

Tratamiento	Rendimiento Tn.ha ⁻¹	Duncan	Tukeys
TO	42.49	A	A
T1-23	34.74	AB	A
T1-33	32.66	AB	A
T1-45	35.12	B	A
p valor	ns		

p valor: ns: diferencia no significativa

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 23 (panel superior) se muestra el diagrama de Caja-Bigotes para la variedad Paramonguino donde se muestran que las medias van en ascenso para los tratamientos con PRD aplicados y no presentan alta variabilidad entre las muestras PRD. En la variedad Huambachero, Figura 23 (panel inferior), las medias son irregulares para los tratamientos con PRD pero aun así, inferiores al tratamiento testigo (T0).

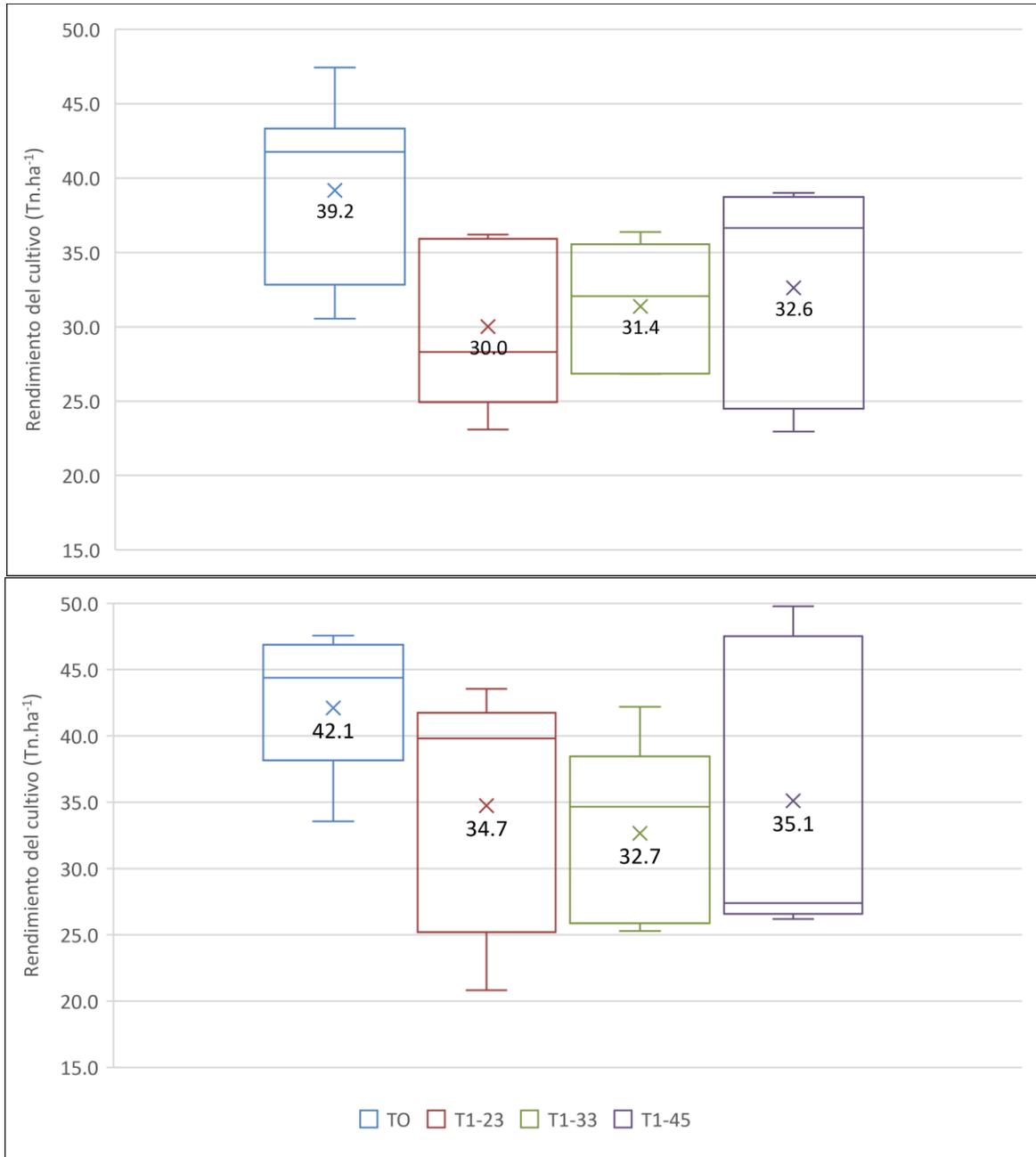


Figura 21: Diagrama de Caja-Bigotes del rendimiento en cada tratamiento aplicado a la variedad Paramungu (panel superior) y a la variedad Huambachero (panel inferior).

Fuente: Elaboración propia

4.3. Homogeneidad de producción en cada tratamiento aplicado en las variedades Huambachero y Paramonguino

Según el análisis de varianza aplicado a la variable categoría de la raíz reservante obtenidos en la cosecha se denota que no hay diferencias significativas entre los tratamientos. Así mismo se aplicó la prueba múltiple de medias, utilizando la prueba de Duncan y Tukey (para mayor confiabilidad). Los resultados para la variedad Paramonguino se muestran en la Tabla 18.

Así mismo, como se muestra en la Figura 24, tanto en el tratamiento testigo (T0) y los tratamientos con PRD predomina la categoría comercial (C2) con un peso por raíz reservante entre los 80 y 200 gr. Sin embargo, también la categoría C3 muestra un alto rendimiento, esta condición se le puede atribuir a que la raíz reservante tuvo una aplicación homogénea del fertirriego al inicio de los estados fenológicos y es en esta etapa en la que brotan la mayoría de las raíces. (Molina, 2010)

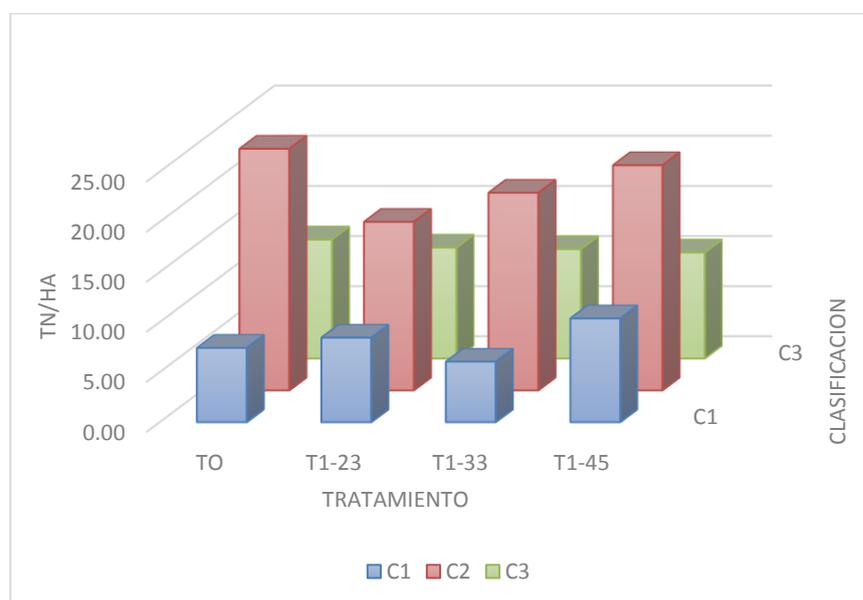
Tabla 17: Análisis comparativo de medias, utilizando la prueba de Tukeys y Duncan para la variable categorización del camote en la variedad Paramonguino.

Tratamiento	C1	Duncan	Tukey	C2	Duncan	Tukey	C3	Duncan	Tukey
	>200gr			80-200gr			<80gr		
TO	7.43	A	A	24.11	A	A	11.89	A	A
T1-23	8.45	A	A	16.83	A	A	11.08	A	A
T1-33	6.05	A	A	19.73	A	A	19.73	A	A
T1-45	10.38	A	A	22.47	A	A	10.6	A	A
p valor	ns			ns			ns		

p valor: ns: diferencia no significativa

Fuente: Elaboración propia

Figura 22: Rendimiento Tn·ha⁻¹según categoría en la variedad Paramanguino para cada tratamiento.



Fuente: Elaboración propia

Para la variedad Huambachero (Tabla 19), el análisis de varianza arroja que para la clasificación C2 si existe una diferencia significativa entre tratamientos. Al comparar el T0 y T1-23, estos son significativamente diferentes al T1-45, tal como se muestra en la Figura 25, la cual evidencia predominancia de la clasificación comercial.

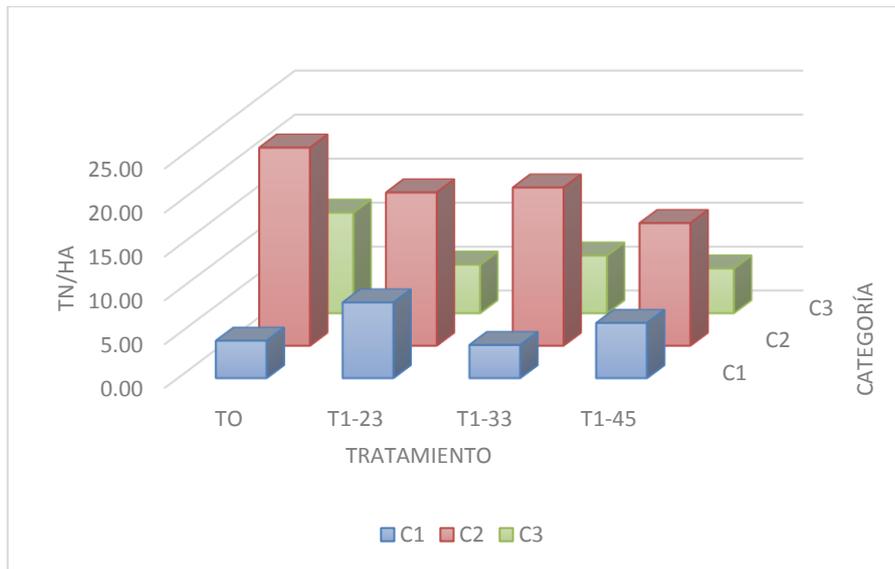
Tabla 18: Análisis comparativo de medias, utilizando la prueba de Tukeys y Duncan para la variable categorización del camote en la variedad Huambachero.

Tratamiento	>200gr			80-200gr			<80gr		
	C1	Duncan	Tukeys	C2	Duncan	Tukeys	C3	Duncan	Tukeys
TO	4.27	A	A	22.55	A	A	11.47	A	A
T1-23	8.64	A	A	17.46	A	A	5.54	A	A
T1-33	3.78	A	A	18.02	AB	AB	6.58	A	A
T1-45	6.30	A	A	13.98	B	B	5.11	A	A
p valor		ns	ns		*	*		ns	ns

p valor: ns: diferencia no significativa

Fuente: Elaboración propia

Figura 23: Rendimiento $Tn \cdot ha^{-1}$ según categoría en la variedad de camote Huambachero para cada tratamiento.



Fuente: Elaboración propia

Los valores altos obtenidos en la clasificación C2 (80-200 gramos), la cual es la clasificación comercial, se pueden deber a dos motivos, el primero, debido a los cortes de agua en la universidad producidos a fines del mes de febrero e inicios de marzo del 2017, y segundo, debido a las condiciones de altas temperaturas. Estas condiciones en la última etapa fenológica del camote son adecuadas para que las raíces reservantes se engrosen.

4.4. Porcentaje de N, P Y K encontrado en las muestras de camote luego de la cosecha

Para la validación de los resultados obtenidos en cuanto al porcentaje de N, P, K encontrado en las muestras de camote se realizó una prueba de Chi cuadrado, donde a un nivel de significación del 5% se puede afirmar que los 4 tratamientos para la variedad Huambachero contienen % de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) en igual proporción (Tabla 20, 21, 22).

Tabla 19: Prueba de Chi cuadrado para el porcentaje de Nitrógeno extraído por el camote cosechado en la variedad Huambachero

Tratamiento	Valor	Proporción	Valor Proporcional	S-P-EST x^2
T0	1.5	.1/4	1.675	0.0183
T1-23	1.7	.1/4	1.675	0.0004
T1-33	1.8	.1/4	1.675	0.0093
T1-45	1.7	.1/4	1.675	0.0004
Suma Total	6.7	1		0.0284
CRITERIO DE DECISIÓN				
		x^2		Val-tabl
SE RECHAZA Ho		0.028	>	7.8147
NO SE RECHAZA Ho		0.028	<	7.8147

Fuente: Elaboración propia

Tabla 20: Prueba de Chi cuadrado para el porcentaje de Fósforo extraído por cosechado en la variedad Huambachero.

Tratamiento	Valor	Proporción	Valor Proporcional	S-P-EST x^2
T0	0.21	.1/4	0.4475	0.13
T1-23	0.19	.1/4	0.4475	0.15
T1-33	1.22	.1/4	0.4475	1.33
T1-45	0.17	.1/4	0.4475	0.17
Suma Total	1.79	1		1.78
CRITERIO DE DECISIÓN				
		x^2		Val-tabl
SE RECHAZA Ho		1.7798	>	7.8147
NO SE RECHAZA Ho		1.7798	<	7.8147

Fuente: Elaboración propia

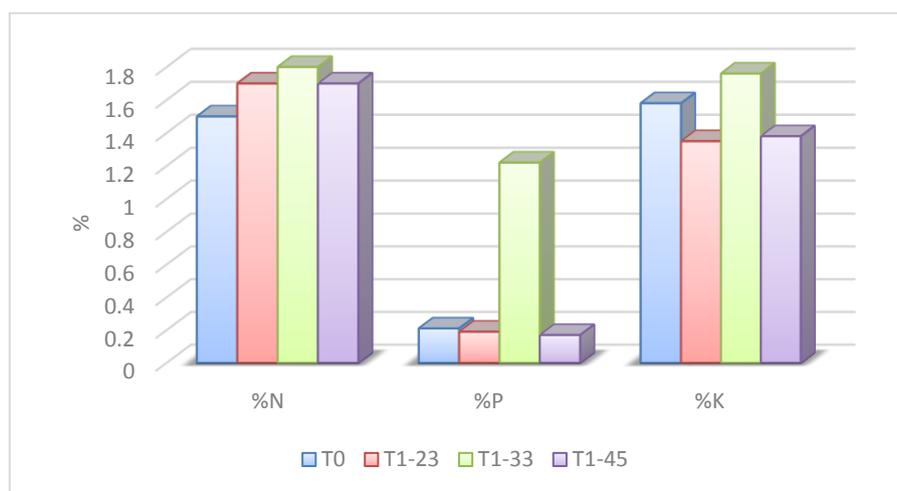
Tabla 21: Prueba de Chi cuadrado para el porcentaje de potasio (P) extraído por cosechado en la variedad Huambachero.

Tratamiento	Valor	Proporción	Valor Proporcional	S-P-EST x^2
T0	1.58	.1/4	1.5157	0.0027
T1-23	1.35	.1/4	1.5157	0.0181
T1-33	1.76	.1/4	1.5157	0.0393
T1-45	1.38	.1/4	1.5157	0.0121
Suma Total	6.07	1		0.0723
CRITERIO DE DECISIÓN				
		x^2		Val-tabl
SE RECHAZA Ho		0.072	>	7.8147
NO SE RECHAZA Ho		0.072	<	7.8147

Fuente: Elaboración propia

Los resultados dados por el laboratorio, y mostrados en la Figura 26, muestran que la tendencia del porcentaje de nitrógeno encontrado en las plantas de camote al ser fertirrigadas con un riego parcial deficitario va en aumento, eso se debe principalmente que la mayor cantidad de nitrógeno se aplicó en las primeras semanas del cultivo pues el nitrógeno favorece el aumento del forraje, lo cual es primordial para que un mayor porcentaje de raíces reservantes cosechadas sean comerciales.

Figura 24: Porcentaje de N, P y K presente en el camote de variedad Huambachero luego de la cosecha.



Fuente: Elaboración propia

En el caso de la variedad Paramanguino los tratamientos se comportan de manera homogénea en cuanto a la las proporciones de N, P Y K (Tabla 23, 24 y 25).

Tabla 22: Prueba de Chi cuadrado para el porcentaje de Nitrógeno extraído por cosechado en la variedad Paramanguino

Tratamiento	Valor	Proporción	Valor Proporcional	S-P-EST x^2
T0	1	.1/4	1.125	0.014
T1-23	1.1	.1/4	1.125	0.001
T1-33	1.1	.1/4	1.125	0.001
T1-45	1.3	.1/4	1.125	0.027
Suma Total	4.5	1		0.042
CRITERIO DE DECISIÓN				
		x^2		Val-tabl
SE RECHAZA Ho		0.042	>	7.8147
NO SE RECHAZA Ho		0.042	<	7.8147

Fuente: Elaboración propia

Tabla 23: Prueba de Chi cuadrado para el porcentaje de Fósforo extraído por cosechado en la variedad Paramunguino.

Tratamiento	Valor	Proporción	Valor Proporcional	S-P-EST x2
T0	1.85	.1/4	0.5875	2.71
T1-23	0.16	.1/4	0.5875	0.31
T1-33	0.2	.1/4	0.5875	0.26
T1-45	0.14	.1/4	0.5875	0.34
Suma Total	2.35	1		3.62
CRITERIO DE DECISIÓN				
		x^2		Val-tabl
SE RECHAZA Ho		3.621	>	7.8147
NO SE RECHAZA Ho		3.621	<	7.8147

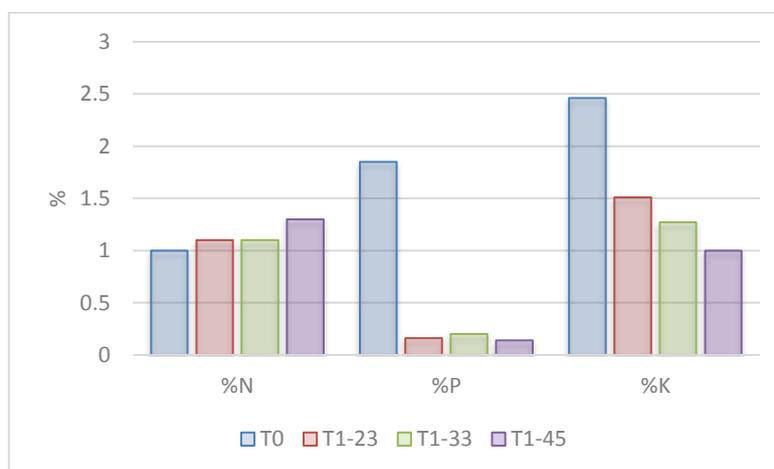
Fuente: Elaboración propia

Tabla 24: Prueba de Chi cuadrado para el porcentaje de potasio (P) extraído por cosechado en la variedad Paramunguino.

Tratamiento	Valor	Proporción	Valor Proporcional	S-P-EST x2
T0	2.46	.1/4	1.56	0.519
T1-23	1.51	.1/4	1.56	0.002
T1-33	1.27	.1/4	1.56	0.054
T1-45	1	.1/4	1.56	0.201
Suma Total	6.24	1		0.776
CRITERIO DE DECISIÓN				
		x^2		Val-tabl
SE RECHAZA Ho		0.776	>	7.8147
NO SE RECHAZA Ho		0.776	<	7.8147

Fuente: Elaboración propia

Figura 25: Porcentaje de N, P y K presente en el camote de variedad Paramunguino luego de la cosecha.



Fuente: Elaboración propia

V. CONCLUSIONES

Los rendimientos obtenidos en la variedad Huambachero fueron: testigo $42.1 \text{ Tn} \cdot \text{ha}^{-1}$, a los 23 días $34.7 \text{ Tn} \cdot \text{ha}^{-1}$, a los 33 días $32.7 \text{ Tn} \cdot \text{ha}^{-1}$ y a los 45 días $35. \text{ Tn} \cdot \text{ha}^{-1}$, y en la variedad Paramonguino fueron: testigo $39.2 \text{ Tn} \cdot \text{ha}^{-1}$, a los 23 días $30 \text{ Tn} \cdot \text{ha}^{-1}$, a los 33 días $31.4 \text{ Tn} \cdot \text{ha}^{-1}$, y a los 45 días $32.6 \text{ Tn} \cdot \text{ha}^{-1}$ por lo tanto, en la variedad Huambachero como la variedad Paramonguino se demuestra que; retrasando la aplicación de PRD y por ende aplicando por más días después de la siembra de manera homogénea el fertirriego, se logra obtener mayor rendimiento.

Los valores de Conductividad Eléctrica y pH en general, se encontraron dentro del rango óptimo para las formas asimilables de los nutrientes minerales para la mayoría de los cultivos y la raíz reservante pueda absorber los nutrientes aplicado por medio del fertirriego.

La aplicación del fertirriego por medio del PRD, incrementó la cantidad de camotes aptos para a comercialización tanto para la variedad Huambachero como en la variedad Paramonguino.

La aplicación del fertirriego por medio de un PRD no mermó la calidad de las raíces reservantes, la mayoría de las raíces reservantes fueron aptas para la comercialización (C2).

VI. RECOMENDACIONES

Plantear el mismo experimento con otros cultivos utilizando arcos de riego en cada parcela experimental para que la aplicación del fertirriego sea más directa.

Evaluar el rendimiento aplicando el estrés hídrico entre los 75 y 95 días después de la siembra, ya que en estos días se podría inducir a la disminución en el rendimiento de raíces tuberosas.

Evaluar el efecto del fertirriego enfocado en el desarrollo del follaje del camote ya que tiene un alto valor nutricional.

Realizar el monitoreo de otras variables en las raíces reservantes como el porcentaje de extracción de NPK a lo largo del desarrollo del cultivo.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1.- Achata, A; Fano, H; Goyas, H; Chiang, O; Andrade, M; 1990. El Camote (Batata) en el Sistema Alimentario del Perú. El Caso del Valle de Cañete. Lima, Perú, Centro Internacional de la Papa. 63 p.
- 2.- Autoridad Nacional del Agua, (ANA). 2012. Recursos hídricos en el Perú (2012). VI Foro Mundial del Agua. Marsella, Francia, 2012. Tiempo de soluciones. Lima: ANA.
- 3.- Antúnez B., A.; Ferlmer E., S. 2009. Boletín del Nodo Tecnológico de Riego en el Secano: Eficiencia de Riego en Sistemas Localizados. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín INIA No. 190. Chile. Disponible en <https://www.intagri.com/articulos/agua-riego/importancia-de-la-evaluacion-de-la-eficiencia-de-los-sistemas-de-riego#sthash.kjvK3HZO.dpuf>
- 4.- Berg, J. 1972. El riego por goteo bajo condiciones de invernadero y su efecto sobre algunos procesos físicos de cuatro suelos y características de crecimiento en girasol. Tesis Ms. Chapingo-México. Escuela Nacional de Agricultura, 60 p.
- 5.- Centro de Investigación de la Papa, (CIP). 2015. Programas de Investigación: Datos y cifras del camote. Revisado el 3 de nov. Disponible en <https://cipotato.org/es/category/programas-de-investigacion/>
- 6.- Corrales, A. 2002. Manual ilustrado para la producción de cítricos en Colombia. Fondo Nacional de Fomento Hortofrutícola. Colombia. s.p.
- 7.- Davies, W.J. y J. Zhang. 1991. Roots signals and the regulation of growth than development of plant in drying soil. Annual Review of Plant and Physiology Plant Molecular Biology, 42:55-76
- 8.- Domínguez Vivanco, Alonso. 1996. Fertirrigación. Madrid: Mundi-Prensa. Madrid, España.
- 9.- Dry, P.; Stoll, M. y Loveys B. 2000. Hormonal Changes induced by partial root zone drying of irrigated grapevine. J. Exp. Bot, 51: 1627-1634.

- 10.- FAO. 2000. Efectos de los fenómenos climatológicos adversos en la producción y el comercio de los alimentos. 26° Conferencia regional de la FAO para América Latina y El Caribe. Mérida, México, 10-14 de abril del 2000. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/meeting/x4583s.htm#a>
- 11.- FAO. 2002. Cumbre mundial sobre la alimentación. 10-13 junio 2002. Revisado en 12 oct. 2016. Disponible en <http://www.fao.org/WorldFoodSummit/sideevents/papers/Y6899S>
- 12.- García I. y Briones G. 2007. Sistema de Riego por Aspersión y Goteo. Ediciones Trillas. 2° Edición, México, 182 p.
- 13.- Gil, P.; Selles G. y Ferreyra R. Conceptos básicos de fertirrigación. Capítulo 6. Instituto de investigaciones agropecuarias. Consultado 6 nov. 2016. Disponible en http://www.inia.cl/codesser/docs/manual/Manual_de_riego_para_paltos_y_citricos_Cap6_Fertirrigacion_Corregida.pdf
- 14.- Huamán, Z. 1992. Botánica sistemática y morfológica de la planta de batata o camote. Boletín de Información Técnica 25, Centro Internacional de la Papa. Lima, Perú. 22 pp.
- 15.- Haimeirong, F.Kubota. 2003. The effects of drought stress and leaf ageing on leaf photosynthesis and electron transport in photosystem in Sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam) cultivares. *Photosynthetica*, 4 (2):253-258.
- 16.- Imas, P. 1999. Manejo de nutrientes por fertirriego en sistemas frutihortícolas. Consultado 8 dic. 2016. Disponible en <http://www.ipipotash.org/presentn/mdnpfesf.html>.
- 17.- Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá, (IDIAP). 2009. Manual Técnico para el cultivo del camote (*Ipomoea batata* L.). Departamento de Ediciones y Publicaciones. Panamá. 24 pp.
- 18.- Instituto Nacional de Estadística e Informática, (INEI). 2015. Anuario de Estadísticas Ambientales. Lima. Disponible en https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1342/libro.pdf
- 19.- Instituto Nacional de Investigación Agraria, (INIA). 2001. Camote INIA 306 - Huambachero. Nueva variedad de camote morado. MINAGRI. Dirección General de Investigación Agraria. Estación experimental Donoso - Huaral.
- 20.- Instituto Nacional de Investigación Agraria y Agroindustrial, (INIAA). 1988. Producción y área del camote en el Perú. Oficina de Agroeconomía Lima. 1998

- 21.- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, (INTA). Fertilizantes y soluciones concentradas. Equipo del Proyecto Fertilizar INTA Pergamino. Revisado 12 de mayo. Disponible en <http://www.fertilizando.com/articulos>
- 22.- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, (INTA). Manual técnico para el cultivo de batata (camote o boniato) en la provincia de Tucumán, Argentina. Cusumano, Cosme / Cosme Cusumano y Néstor Zamudio. - 1a. ed. - Famaillá: Ediciones INTA, 2013.
- 23.- Jovanovic, Z; Stikic, R; Vucelic, B; Paukovic, M; Brocic, Z; Matovic, G; Rovcanin, S; Mojevic, M. 2010. Partial root-zone drying increases and antioxidant content in field potatoes. *European Journal of Agronomy*, 33: 124-131
- 24.- Kang S. y Zhang J. 2004. Controlled alternate partial root-zone irrigation: its physiological consequences and impact on water use efficiency *Journal of Experimental Botany*, 55: 2437-2446.
- 25.- Loveys, B.R.; Stoll, M.; Dry, P.R.; McCarthy, M.G. 2000. Using plant physiology to improve the water use efficiency of horticultural crops. 537:187-197
- 26.- LOPEZ, M.; VASQUEZ, E. & LOPEZ, R. 1990. Raíces y tubérculos. Editorial Pueblo y Educación. Cuba.
- 27.- MOLINA, J. 2004. Manejo del cultivo de camote para mercado interno y exportación. Folleto Instituto Nacional de Investigación y Extensión Agraria. Estación Experimental Donoso. Centro de Investigación y Capacitación Hortícola Kiyotada Miyagawa. Huaral. 16 pp.
- 28.- Molina, J. Estación experimental agraria Donoso Huaral, 2010. El cultivo de camote en el Perú. Serie manual N° 1-10. INIA-CIP. Lima, Perú. 50 p.
- 29.- Nathan Roberto. 2005. La fertilización combinada con el riego. Departamento de riego y suelos. Servicio de extensión. Estado de Israel. 90 pp.
- 30.- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, (PNUD). 2006. Informe sobre Desarrollo Humano 2006: Más allá de la escasez: Poder, pobreza y crisis mundial del agua. Disponible en <http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/scarcity.shtml>
- 31.- Sánchez Blanco M.J. y Torrecillas A. 1995. Riego Deficitario Controlado, Fundamentos y Aplicaciones. España. 66 p.
- 32.- SMITH, T; VILLORDON, A. 2009. Nitrogen management in Louisiana Sweet potatoes. Louisiana State University Agricultural Center. EEUU. 4 p.
- 33.- Stoll, M.; Loveys B. y Dry, P. 2000. Hormonal changes induced by partial root zone drying of irrigated grape vine. *J. Exp. Bot*, 51: 1627-1634.

- 34.- Sela, Guy. 2016. Preparación de soluciones madres de fertilizantes para fertirrigación. (En línea, sitio web). Consultado 15 dic. 2016. Disponible en <http://www.smart-fertilizer.com/es/articles/fertilizer-stock-solutions>.
- 35.- Servicio Integral de Asesoramiento al Regante, (SIAR). 2005. Hoja Informativa Fertirrigación. Centro Regional de Estudios del Agua. Universidad Catalana La Mancha. (En línea, sitio web). Consultado 26 nov. 2016. Disponible en <http://crea.uclm.es/siar/publicaciones/files/HOJA11.pdf>
- 36.- Turchetti Iturrieta, Juan Pablo. 2013. Respuesta del olivo a estrategias de riego que varían el volumen de suelo humedecido. Tesis de Máster. Córdoba, Argentina. Universidad de Córdoba. 94 p.
- 37.- Vermeiren L. y Joblin G. 1986. Riego localizado. FAO: Riego y Drenaje N° 36. Madrid, España.
- 38.- Villagarcía, S. 1990. Resultados de Ensayos de campo sobre Fertilización y Nutrición Mineral en el cultivo de Papa. UNALM- CIP. Lima, Perú.
- 39.- Villagómez Castillo, Vidal. 2015. Camote. La Molina. Lima. 49 p.
- 40.- Yara, Knowledge grows. Krista MgS. Revisado el Revisado 12 de mayo. Disponible en <http://www.yara.es/crop-nutrition/products/other/0559-krista-mgs/>

VI. ANEXOS

ANEXO N° 1: REPLANTEO E INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO



FUENTE: Elaboración propia



FUENTE: Elaboración propia

ANEXO N° 2: SIEMBRA DEL CULTIVO DE CAMOTE (8 DE AGOSTO 2016)



FUENTE: Elaboración propia

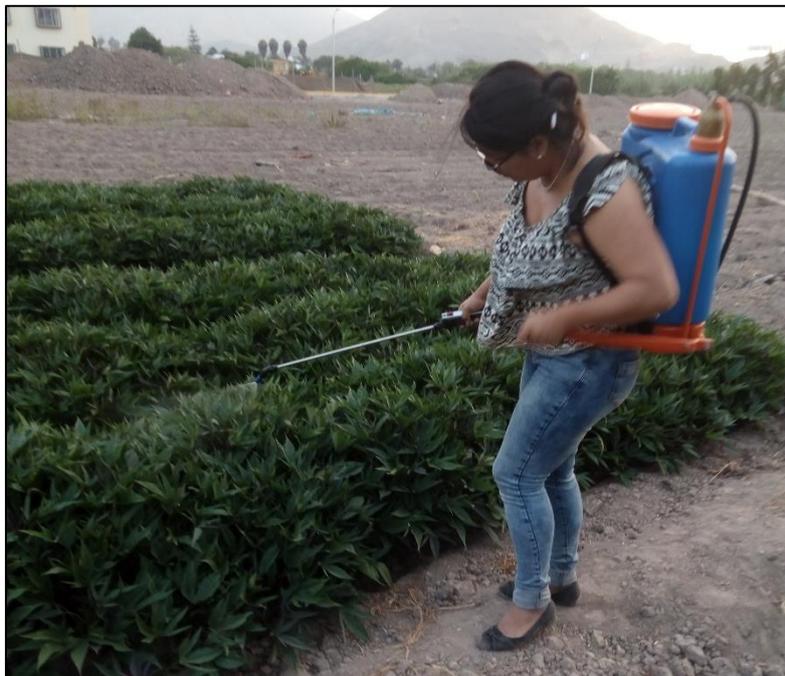


FUENTE: Elaboración propia

ANEXO N° 3: CRECIMIENTO DEL CULTIVO A LOS 15 DÍAS DESPUÉS DE LA SIEMBRA



FUENTE: Elaboración propia



FUENTE: Elaboración propia



FUENTE: Elaboración propia

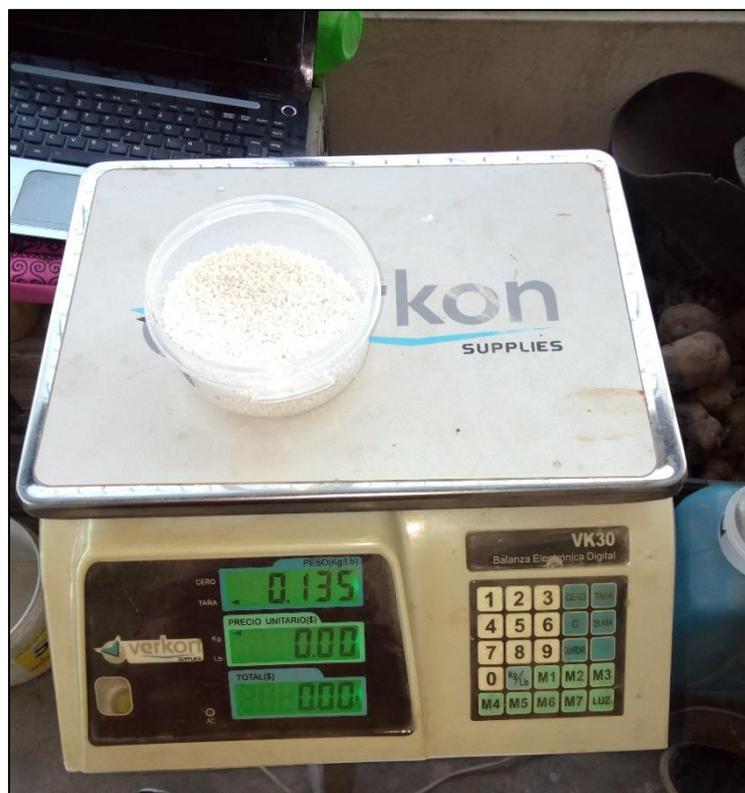


FUENTE: Elaboración propia

ANEXO N° 4: RECOPIACIÓN DE LA DATA EN L CAMPO Y ANÁLISIS EN EL LABORATORIO



FUENTE: Elaboración propia



FUENTE: Elaboración propia



FUENTE: Elaboración propia



FUENTE: Elaboración propia

ANEXO N° 2: CALENDARIO DEL EXPERIMENTO

APLICACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS																									
Mes	Octubre			Noviembre				Diciembre					Enero				Febrero				Marzo				
Etapa fenológica	Siembra- Crecimiento de raíces																								
				Crecimiento de raíces																					
								Tuberización y llenado de raíces tuberosas																	
																								Cosecha	
Lunes	3	10	17	24	31	7	14	21	28	5	12	19	26	2	9	16	23	30	7	14	21	28	7	14	
Martes	4	11	18	25	1	8	15	22	29	6	13	20	27	3	10	17	24	1	8	15	22	1	8	15	
Miércoles	5	12	19	26	2	9	16	23	30	7	14	21	28	4	11	18	25	2	9	16	23	2	9	16	
Jueves	6	13	20	27	3	10	17	24	1	8	15	22	29	5	12	19	26	3	10	17	24	3	10	17	
Viernes	7	14	21	28	4	11	18	25	2	9	16	23	30	6	13	20	27	4	11	18	25	4	11	18	
Sábado	8	15	22	29	5	12	19	26	3	10	17	24	31	7	14	21	28	5	12	19	26	5	12	19	
Domingo	9	16	23	30	6	13	20	27	4	11	18	25	1	8	15	22	29	6	13	20	27	6	13	20	

	Fecha de siembra
	Fecha de cosecha
	Aplicación del T1-23
	Aplicación del T1-33
	Aplicación del T1-45

FUENTE: Elaboración propia

ANEXO N° 3: PLAN DE FERTIRRIEGO

PLAN DE FERTIRRIEGO										
Fase del cultivo	SEM ANA	FECHA	Nitrato de Amonio		Fosfato Monoamónico		Cloruro de Potasio		Sulfato de Manganeso	
			gr	ml	gr	ml	gr	ml	gr	ml
Siembra-Crecimiento de raíces	1	10/10/2016	-	-	-	-	-	-	-	-
		12/10/2016	-	-	-	-	-	-	-	-
		14/10/2016	-	-	-	-	-	-	-	-
	3	24/10/2016	679.29	1942.77	193.10	965.50	354.46	1417.84	110.77	1107.70
		26/10/2016	679.29	1942.77	452.86	2264.30	354.46	1417.84	110.77	1107.70
		28/10/2016	679.29	1942.77	452.86	2264.30	354.46	1417.84	110.77	1107.70
Crecimiento de raíces- Inicio de la tuberización	5	07/11/2016	679.29	1942.77	452.86	2264.30	354.46	1417.84	110.77	1107.70
		09/11/2016	523.90	1498.35	349.27	1746.35	354.46	1417.84	110.77	1107.70
		11/11/2016	523.90	1498.35	349.27	1746.35	354.46	1417.84	110.77	1107.70
Tuberización-Llenado de raíces tuberosas	7	21/11/2016	523.90	1498.35	349.27	1746.35	354.46	1417.84	110.77	1107.70
		23/11/2016	523.90	1498.35	349.27	1746.35	354.46	1417.84	110.77	1107.70
		25/11/2016	523.90	1498.35	349.27	1746.35	354.46	1417.84	110.77	1107.70
	9	05/12/2016	523.90	1498.35	349.27	1746.35	354.46	1417.84	110.77	1107.70
		07/12/2016	523.90	1498.35	261.95	1309.75	354.46	1417.84	110.77	1107.70
		09/12/2016	380.85	1089.23	190.43	952.15	354.46	1417.84	110.77	1107.70
	11	19/12/2016	386.19	1104.51	193.10	965.50	354.46	1417.84	110.77	1107.70
		21/12/2016	386.19	1104.51	193.10	965.50	354.46	1417.84	110.77	1107.70
		23/12/2016	386.19	1104.51	193.10	965.50	354.46	1417.84	110.77	1107.70

Maduración y Cosecha	13	02/01/2017	386.19	1104.50	193.10	965.50	354.46	1417.84	110.77	1107.70
		04/01/2017	386.19	1104.50	188.80	944.00	354.46	1417.84	110.77	1107.70
		06/01/2017	-	-	-	-	354.46	1417.84	110.77	1107.70
	15	16/01/2017	-	-	-	-	354.46	1417.84	110.77	1107.70
		18/01/2017	-	-	-	-	354.46	1417.84	110.77	1107.70
		20/01/2017	-	-	-	-	354.46	1417.84	110.77	1107.70
	17	30/01/2017	-	-	-	-	354.46	1417.84	110.77	1107.70
		02/02/2017	-	-	-	-	354.46	1417.84	110.77	1107.70
		04/02/2017	-	-	-	-	354.46	1417.84	110.77	1107.70
	19	14/02/2017	-	-	-	-	354.46	1417.84	110.77	1107.70
		16/02/2017	-	-	-	-	354.46	1417.84	110.77	1107.70
		18/02/2017	-	-	-	-	-	-	-	-
	21	28/02/2017	-	-	-	-	-	-	-	-
		02/03/2017	-	-	-	-	-	-	-	-
		04/03/2017	-	-	-	-	-	-	-	-
	Total aplicado		8403.18	22068.25	4607.99	23039.894	9162	36648	2769.48	27694.8
	Total esperado		8110.08	23171.66	4608	23040	9216	36864	2880	28800

FUENTE: Elaboración propia

ANEXO N° 4: MONITOREO DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (CE) Y pH EN LA MUESTRA MADRE Y AGUA DE RIEGO A LO LARGO DE LOS ESTADOS FENOLÓGICOS.

Estado Fenológico	FECHA	Muestra madre		Agua de riego	
		C. E.	pH	C. E.	pH
		(dS/cm)		(dS/cm)	
Siembra- Crecimiento de raíces	10/10/2016	1.09	4.26	0.54	6.29
	12/10/2016	1.18	3.20	0.73	7.25
	14/10/2016	0.94	3.88	0.69	7.86
	24/10/2016	1.34	4.13	0.71	8.60
	26/10/2016	0.73	5.69	0.78	6.71
	28/10/2016	1.09	4.21	0.90	6.90
Crecimiento de raíces-Inicio de la tuberización	07/11/2016	1.96	2.09	1.23	8.11
	09/11/2016	1.63	4.30	1.00	6.88
	11/11/2016	1.83	4.63	1.39	6.03
Tuberización-Llenado de raíces tuberosas	21/11/2016	0.73	4.21	0.68	7.42
	23/11/2016	0.91	5.27	0.89	6.59
	25/11/2016	1.11	2.06	0.75	7.70
	05/12/2016	1.53	2.81	0.99	6.38
	07/12/2016	0.87	2.96	0.82	8.06
	09/12/2016	0.99	2.84	0.86	7.35
	11/12/2016	0.72	2.91	0.71	7.39
	21/12/2016	1.41	3.69	1.00	7.27
	23/12/2016	1.30	4.75	0.93	6.99
Maduración y Cosecha	02/01/2017	1.46	1.46	1.17	8.42
	04/01/2017	1.25	2.59	0.72	8.41
	06/01/2017	0.93	3.10	0.69	7.02
	16/01/2017	0.73	5.08	0.62	7.77
	18/01/2017	1.04	4.76	0.72	6.60
	20/01/2017	0.78	2.75	0.71	7.22
	30/01/2017	0.94	2.66	0.83	8.36
	02/02/2017	0.90	4.06	0.75	7.62
	04/02/2017	1.33	3.37	1.05	7.01

FUENTE: Elaboración propia

ANEXO N° 5: LÁMINAS DE RIEGO APLICADAS A LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS

Fecha de Riego	Lr	Lr (T1-23)	Lr (T1-33)	Lr (T1-45)
	(mm)			
07/10/2016	-	-	-	-
08/10/2016	1.8	1.8	1.8	1.8
10/10/2016	3.6	3.6	3.6	3.6
12/10/2016	3.3	3.3	3.3	3.3
14/10/2016	3.4	3.4	3.4	3.4
17/10/2016	4.3	4.3	4.3	4.3
19/10/2016	3.3	3.3	3.3	3.3
21/10/2016	2.5	2.5	2.5	2.5
24/10/2016	3.3	3.3	3.3	3.3
26/10/2016	2.4	2.4	2.4	2.4
28/10/2016	3.4	3.4	3.4	3.4
30/10/2016	3.9	1.9	3.9	3.9
02/11/2016	3.7	1.9	3.7	3.7
04/11/2016	5.5	2.7	5.5	5.5
07/11/2016	7.8	3.9	7.8	7.8
09/11/2016	7.4	3.7	3.7	7.4
11/11/2016	6.9	3.5	3.5	6.9
14/11/2016	11.1	5.6	5.6	11.1
16/11/2016	4.3	2.1	2.1	4.3
18/11/2016	2.9	1.4	1.4	2.9
21/11/2016	20.8	10.4	10.4	10.4
23/11/2016	4.1	2.1	2.1	2.1
24/11/2016	2.2	1.1	1.1	1.1
25/11/2016	2.5	1.2	1.2	1.2
28/11/2016	11.5	5.7	5.7	5.7
30/11/2016	5.0	2.5	2.5	2.5
02/12/2016	7.9	3.9	3.9	3.9
05/12/2016	10.9	5.4	5.4	5.4
07/12/2016	6.6	3.3	3.3	3.3
09/12/2016	8.4	4.2	4.2	4.2
12/12/2016	11.4	5.7	5.7	5.7
14/12/2016	11.6	5.8	5.8	5.8
16/12/2016	11.9	6.0	6.0	6.0
19/12/2016	8.5	4.2	4.2	4.2

21/12/2016	3.6	1.8	1.8	1.8
23/12/2016	16.3	8.2	8.2	8.2
26/12/2016	8.7	4.4	4.4	4.4
28/12/2016	10.1	5.1	5.1	5.1
02/01/2017	15.7	7.8	7.8	7.8
04/01/2017	11.1	5.6	5.6	5.6
06/01/2017	15.9	8.0	8.0	8.0
13/01/2017	32.6	16.3	16.3	16.3
16/01/2017	9.5	4.7	4.7	4.7
18/01/2017	6.5	3.2	3.2	3.2
20/01/2017	16.1	8.1	8.1	8.1
23/01/2017	10.6	5.3	5.3	5.3
30/01/2017	-	-	-	-
02/02/2017	46.4	23.2	23.2	23.2
04/01/2017	-	-	-	-
10/02/2017	28.0	14.0	14.0	14.0
14/02/2017	10.1	5.1	5.1	5.1
16/02/2017	-	-	-	-
27/02/2017	61.9	30.9	30.9	30.9

 : Aplicación del riego parcial deficitario T-23

 : Aplicación del riego parcial deficitario T-33

 : Aplicación del riego parcial deficitario T-45

FUENTE: Elaboración propia