

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN RIEGO Y DRENAJE**



**"RESPUESTA DEL RIEGO PARCIAL EN EL CULTIVO DE
CAMOTE (*Ipomoea batatas*) MEDIANTE EL SISTEMA DE
RIEGO POR GOTEO SUBTERRÁNEO"**

Presentada por:

PAULA VALENTINA MACEDO JIMENÉZ

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO
MAGISTER SCIENTIAE EN RIEGO Y DRENAJE**

Lima – Perú

2021

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN RIEGO Y DRENAJE**

**"RESPUESTA DEL RIEGO PARCIAL EN EL CULTIVO DE
CAMOTE (*Ipomoea batatas*) MEDIANTE EL SISTEMA DE
RIEGO POR GOTEO SUBTERRÁNEO"**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE
MAGISTER SCIENTIAE**

Presentada por:

PAULA VALENTINA MACEDO JIMENÉZ

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Mg.Sc. Gonzalo Fano Miranda
PRESIDENTE

Mg.Sc. Miguel Sánchez Delgado
ASESOR

Mg.Sc. Edgardo Alaluna Gutiérrez
MIEMBRO

Dr. Abel Mejía Marcacuzco
MIEMBRO

ÍDICE GENERAL

I. INTRODUCCION.....	1
1.1 objetivos de la investigación	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 RIEGO.....	3
2.1.1 Riego por goteo	3
2.1.2 Ventajas.....	4
3.1 RIEGO POR GOTEO SUBTERRANEO	5
2.2.1 Ventajas.....	7
2.2.2 Desventajas de RGS.....	8
2.3 RIEGO DEFICITARIO.....	11
2.3.1 Riego parcial de la zona de raíces (PRD).....	12
2.4 EVAPOTRANSPIRACIÓN	13
2.4.1 Evapotraspiracion de referencia (ETo).....	13
2.4.2 Coeficiente del cultivo (Kc).....	14
2.5 MEDICIÓN DE EVAPOTRANSPIRACIÓN	16
2.5.1 Datos meteorológicos	16
2.5.2 Tanque evaporímetro.....	17
2.5.3 Coeficiente del tanque evaporímetro	19
2.6 HUMEDAD DEL SUELO	19
2.7 Medición de la humedad del suelo	20
2.7.1 Método gravimétrico.....	21
2.8 COMPONENTES DE LOS SISTEMAS DE RIEGO POR GOTEO SUBTERRÁNEO	22
2.8.1 Bomba	23
2.8.2 Sistema de filtrado	23
2.8.3 Manómetros.....	24
2.8.4 Válvula de regulación	25
2.8.5 Medidor de caudal	25
2.8.6 Válvulas de zona	25
2.8.7 Válvulas de aire y de liberación de vacío.....	25

2.8.8	Líneas de purga.....	26
2.8.9	Arco de riego	26
2.8.10	Líneas de goteros.....	26
2.9	CULTIVO DE CAMOTE JONATHAN EN EL PERU.....	26
2.9.1	Características de la planta	28
2.9.2	Características de la raíz reservante.....	28
2.9.3	Fenología del Camote Variedad (Jonathan)	29
2.9.4	Etapas fenológicas del camote (Ipomoea batata), variedad “Jonathan”.....	30
2.9.5	Fases de crecimiento y desarrollo del camote	31
2.9.6	Manejo del cultivo.....	32
2.10	BULBO DE HUMEDDECIMIENTO	33
III.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	36
3.1	MATERIALES	36
3.1.1	Materiales y equipos	36
3.1.2	Ubicación del área de estudio	37
3.1.3	Material vegetal	41
3.1.4	Características físicas y químicas del suelo	41
3.1.5	Agua.....	42
3.2	METODOLOGÍA	44
3.2.1	Tratamientos	44
3.2.2	Diseño experimental	45
3.2.2.1	Especificaciones de la siembra	47
3.2.3	Conducción del experimento	47
3.2.4	Riegos	52
3.2.5	Pruebas de coeficiente de uniformidad (CU)	56
3.2.6	Determinación del contenido de humedad del suelo.....	57
3.2.7	Evaluación del sistema de riego	58
3.2.8	Evaluación de crecimiento y desarrollo de la planta.....	58
3.2.9	Evaluación de la cosecha	59
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	61
4.1	TIEMPO DE RIEGO	61
4.2	VOLUMEN DE AGUA APLICADO.....	62
4.3	CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO	64
4.4	ANÁLISIS DEL CRECIMIENTO Y DESARROLLO DE LA PLANTA	65

4.4.1	Área foliar.....	65
4.4.2	Altura de planta.....	66
4.5	RENDIMIENTO DE RAÍCES RECERVANTES DEL CULTIVO DE CAMOTE	
	VARIEDAD JONATHAN.....	67
4.5.1	Rendimiento total de raíces reservantes (t ha ⁻¹).....	67
4.5.2	Rendimiento (t ha ⁻¹) de raíces reservantes por categoría.....	70
4.6	EFICIENCIA DE USO DE AGUA EN EL CULTIVO DE CAMOTE VARIEDAD	
	JONATHAN.....	72
4.7	COSTOS.....	73
4.7.1	Costos de producción.....	74
4.7.2	Costo de instalación de sistema de riego tecnificado enterrado.....	74
V.	CONCLUSIONES.....	76
VI.	RECOMENDACIONES.....	77
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	78
VIII.	ANEXOS.....	84

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Kc del cultivo de camote.....	15
Tabla 2:Periodo vegetativo del cultivo de camote	15
Tabla 3: Descriptores de variedad Jonathan.....	29
Tabla 4: Condiciones climáticas en la UNALM (2000-2010)	38
Tabla 5:Características Físicas del suelo.....	42
Tabla 6:Características químicas del suelo	42
Tabla 7: Características del agua de riego.....	43
Tabla 8:Tratamiento	44
Tabla 9:Dimenciones de la unidad experimental	47
Tabla 10: Plan de fertirrigación.....	50
Tabla 11: Plan de aplicación foliar.....	51
Tabla 12: Evapotranspiración de referencia de febrero a junio del 2018 (mm dia1).....	53
Tabla 13:Caracteristicas agronomicas.....	54
Tabla 14: Capacidad del suelo para retener agua.....	58
Tabla 15:Volumen de agua aplicada ($m^3 ha^{-1}$) por tratamiento	63
Tabla 16: Lámina aplicada por cada estado fenológico (mm)	63
Tabla 17:Análisis estadístico para rendimiento total	70
Tabla 18: Clasificación del rendimiento según tratamiento.....	70
Tabla 19:Anàlisis estadístico para rendimiento de primera y segunda calidad.....	72
Tabla 20:Comparacion de la eficiencia del uso del agua.....	73
Tabla 21: Resumen de costo de producción.....	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Estación meteorológica Alexander Von Humbolt	17
Figura 2: Dimensión del tanque evaporímetro Clase A.	18
Figura 3: Dos casos de localización del tanque de evaporación y sus alrededores.....	19
Figura 4: Contenido de humedad para suelos de diferentes texturas	20
Figura 5: Proceso de determinación de la Humedad Gravimetrica.....	22
Figura 6: Componentes de riego por goteo	23
Figura 7: Cultivo de Camote (Ipomoema batatas) variedad Jonathan	27
Figura 8: Fases fenológicas del camote Ipomoea batatas	32
Figura 9: Ubicación de la zona de estudio	38
Figura 10: Esquema del área experimental	40
Figura 11: Vista interior del campo en el INIA Huaral a cargo del Ing. Cantoral	41
Figura 12: Distribución de unidades experimentales con 10 repeticiones cada uno.....	44
Figura 13: Diseño de campo.....	46
Figura 14: BIOLAC microorganismos benéficos.	49
Figura 15: Delimitación del área foliar de camote	59
Figura 16: Lectura del tanque Tipo A	61
Figura 17: Tiempo de riego en horas	62
Figura 18: Diagrama de contenido de humedad.....	64
Figura 19: Variación del área foliar según tratamiento.....	66
Figura 20: Variación de la altura de la planta según tratamiento.....	67
Figura 21: Rendimiento total de raíces reservantes	67
Figura 22: Diagrama de cajas para el rendimiento total por tratamiento	68
Figura 23: Normalidad de error de residuos estandarizados de rendimiento total.....	69
Figura 24: Clasificación de raíces reservantes según tratamiento.....	71
Figura 25: Comparación de eficiencias de uso de agua	73

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO N° 1: Registro meteorológico promedio mensual (2017)	84
ANEXO N° 2: Análisis físico químico del suelo – inicial	85
ANEXO N° 3: Análisis de agua	86
ANEXO N° 4: Lecturas del tanque tipo A	87
ANEXO N° 5: Cálculo del tiempo de riego	89
ANEXO N° 6: Resultado promedio del área foliar por semana	93
ANEXO N° 7: Resultado promedio de la altura de planta por semana	94
ANEXO N° 8: Registro de la preparación del terreno y siembra	95
ANEXO N° 9: Seguimiento del cultivo de camote	99
ANEXO N° 10: Análisis estadístico para el rendimiento total	101
ANEXO N° 11: Análisis estadístico para el calibre primera	103
ANEXO N° 12: Análisis estadístico para el calibre segunda	106
ANEXO N° 13: Análisis estadístico para el calibre descarte	109
ANEXO N° 14: Diagrama de cajas por categoría	112

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

Acrónimo

ANA	Autoridad Nacional del Agua
CE	Conductividad eléctrica
ET _o	Evapotranspiración de referencia
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
K _c	Coefficiente de cultivo
MINAGRI	Ministerio de Agricultura y Riego
pH	Potencial de hidrógeno
RGS	Riego por goteo subterráneo
RPGS	Riego parcial por goteo subterráneo
RDC.....	Riego deficitario controlado
PRD.....	Riego parcial en la zona de raíces
RLS.....	Riego localizado subterráneo
SAR	Relación de absorción de sodio
SENAMHI	Servicio Nacional de Meteorología
UNALM	Universidad Nacional Agraria La Molina

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar la respuesta del riego parcial de raíces en el cultivo de camote (*Ipomoea batatas*) variedad Jonathan, utilizando el riego por goteo subterráneo (RGS). El trabajo de campo se realizó en la parcela demostrativa del Departamento de Recursos Hídricos (DRH) de la Facultad de Ingeniería Agrícola, en la Universidad Nacional Agraria La Molina, durante los meses de febrero a junio del 2018. La parcela experimental tuvo un área efectiva de 360 m². Se trabajó dos tratamientos y en ambos se utilizó el sistema de riego por goteo subterráneo, aplicando una lámina de riego al 100% y 50% de la necesidad hídrica del cultivo. Ambos tratamientos tuvieron la misma cantidad de área y plantas, se trabajó con un diseño completamente al azar con dos tratamientos y cada uno con diez repeticiones. De acuerdo a los resultados obtenidos, se concluye que las cantidades de agua aplicadas fue de 3624 m³ ha⁻¹ y 2015 m³ ha⁻¹ para los tratamientos con láminas de 100% y 50% respectivamente. Valor que representa un 70% (RGS) y 40% (RGSP) de la cantidad empleada por los productores que trabajan con riego por gravedad. El rendimiento de la cosecha fue de 27.70 t ha⁻¹ para RGS y 21.80 t ha⁻¹ para RGSP, ambos resultados fueron favorables para el experimento ya que el rendimiento promedio nacional para el camote Jonathan, se encuentra alrededor de las 17.8 t ha⁻¹, teniendo en cuenta que los productores trabajan con riego por gravedad. Además se logró una eficiencia de uso de agua de 7.64kg/m³ en RGS y 10.81Kg/m³ en kg/m³.

Palabra clave: riego por goteo subterráneo, riego parcial de raíces, camote.

ABSTRACT

The objective of the present investigation was to evaluate the response of partial root irrigation in the cultivation of sweet potato (*Ipomoea batatas*) variety Jonathan, using underground drip irrigation (RGS). The field work was carried out in the demonstration plot of the Department of Hydric Resources (DRH) of the Faculty of Agricultural Engineering, at the Universidad Nacional Agraria La Molina, during the months of February to June 2018. The experimental plot had an effective area 360 m². Two treatments were used and the underground drip irrigation system was used in both, applying an irrigation sheet at 100% and 50% of the water need of the crop. Both treatments had the same amount of area and plants, a completely randomized design was worked with two treatments and each one with ten repetitions. According to the results obtained, it is concluded that the amounts of water applied were 3624 m³ ha⁻¹ and 2015 m³ ha⁻¹ for the treatments with sheets of 100% and 50% respectively. Value that represents 70% (RGS) and 40% (RGSP) of the amount used by producers who work with gravity irrigation. The harvest yield was 27.70 t ha⁻¹ for RGS and 21.80 t ha⁻¹ for RGSP, both results were favorable for the experiment since the national average yield for Jonathan sweet potato is around 17.8 t ha⁻¹, taking into account that producers work with gravity irrigation. In addition, a water use efficiency of 7.64kg / m³ was achieved in RGS and 10.81Kg / m³ in kg / m³.

Keyword: Underground Drip Irrigation, Partial Root Irrigation, Sweet Potato.

I. INTRODUCCION

En la actualidad es de gran importancia el manejo y gestión adecuada del recurso hídrico, debido al incremento de las diversas demandas mas aún en áreas agrícolas. Se realizan balances entre la disponibilidad y la demanda, para lo cual la evapotranspiración es un dato de entrada a los diversos modelos hidrológicos y un parámetro que se obtiene de mediciones en campo, ya sea con estaciones meteorológicas o del tanque clase A, sin embargo, estos datos son puntuales.

Siendo la escasez del agua uno de problemas más significativos que se viene dando para la agricultura en los próximos años, para la prevención de situaciones de estrés hídrico y baja productividad se tiene la necesidad de incrementar la eficiencia y racionalización del recurso hídrico, mejorando así la productividad del agua, la cual se mide mediante la cantidad de producción que se obtiene por unidad de agua.

En ese contexto, en el presente trabajo se aplicó una técnica de riego para disminuir los aportes hídricos con respecto a las necesidades de riego del cultivo de camote variedad Jonathan y comparar la producción de la cosecha y cantidad de agua utilizada entre el tratamiento de riego por goteo subterráneo parcial (50% ETo) (RGPS) y el tratamiento control riego por goteo subterráneo (100% ETo) (RPS).

La finalidad de la investigación fue obtener información de esta nueva estrategia de riego y verificar si resulta o no provechoso implementarla en futuros proyectos agrícolas. Se utilizó el cultivo de camote por su gran adaptabilidad y por ser un cultivo rústico. Según Goyas *et al.* (1990), su bajo costo de producción y su alto contenido de carbohidratos, proteínas y fibras, el cual al ser comparado con otros cultivos, provee una mayor cantidad de nutrientes por unidad monetaria, lo que lo hace una alternativa viable para la alimentación de personas de bajos recursos económicos y por la posibilidad de aprovechar su doble propósito de producción de follaje (para alimentación animal) y raíces reservantes para consumo humano y otros.

1.1 objetivos de la investigación

Evaluar la respuesta del riego parcial de raíces en el cultivo de camote (*Ipomoea batatas*) variedad Jonathan, utilizando el riego por goteo subterráneo (RGS).

Objetivos específicos.

- a) Evaluar el efecto del riego parcial de la zona de raíces (RGSP) en el rendimiento del cultivo de camote variedad Jonathan, (*Ipomoea batatas*) utilizando el sistema de riego por goteo subterráneo.
- b) Determinar la eficiencia del uso del agua en el cultivo de camote variedad Jonathan al aplicar el riego parcial de la raíces utilizando el sistema de riego subterráneo.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 RIEGO

El método más usado en la programación del riego es el que sugiere la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), basado en la determinación de la demanda evaporativa o evapotranspiración de referencia, E_{To} y del denominado coeficiente de cultivo, K_c , que engloba las características del cultivo. (Allen *et al.* 2006). Una de las principales dificultades de aplicación de esta metodología es el desconocimiento de los coeficientes de cultivo, su variación espacial y su gran dependencia en el estado fenológico. Por otro lado, es de gran importancia evitar dosis excesivas que puedan provocar un innecesario crecimiento vegetativo o una mayor incidencia de enfermedades. Con el propósito de conocer la dosificación adecuada del riego, es imprescindible saber cómo evoluciona el contenido de agua en el suelo y las pérdidas de agua por transpiración del cultivo. Para ello, existen diferentes métodos de medida de la humedad del suelo y cada uno plantea una serie de ventajas e inconvenientes (Buesa 2013).

2.1.1 Riego por goteo

Venneiren 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 donde 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.

Shalhevet *et al.* (1970) manifiestan que en Israel el 80% de los cultivos se han desarrollado con una humedad constante, proporcionadas por el método de goteo, sistema que ha demostrado algunas ventajas tales como: realizar riegos con agua salina y conservar una humedad constante en el suelo por las altas frecuencia de aplicación de agua.

El riego por goteo es eficiente por tener una casi nula evaporación directa y el mínimo escurrimiento y la alta uniformidad en la aplicación del agua. Según Evans *et al.* (2007) los sistemas de riego bien diseñados, instalados y operados pueden alcanzar alta uniformidad y eficiencia de aplicación del agua.

2.1.2 Ventajas

Cruz (2009), indica que entre las ventajas del riego por goteo se tiene:

- La eficiencia del riego por goteo es muy alta (90 a 95%), y la distribución del agua es muy uniforme.
- 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.

- Permite cultivar en suelos salinos y también el uso de agua con considerables contenidos de sales, sin perjuicio en los rendimientos, cosa que no se puede realizar con los otros sistemas comunes de riego.

3.1 RIEGO POR GOTEO SUBTERRANEO

Los sistemas de riego subterráneos se originaron como una alternativa para mitigar los problemas de drenaje y pérdidas por altas tasas de evaporación del agua de riego, cuya investigación formal inició en California, EUA, hace más de 30 años (Ayars *et al.* 2015). De esta forma se obtiene un ahorro considerable del agua para riego, aspecto importante porque la mayor limitante para la producción agrícola en zonas áridas es la disponibilidad de agua (Montemayor *et al.* 2012). En el mundo, 72 % del agua disponible se destina a la agricultura mediante diversos sistemas de riego (FAO 2007), y el riego por goteo subterráneo (RGS) enfrenta varios problemas técnicos, entre los que destacan la obstrucción o taponamiento por partículas finas o materia orgánica y el daño por roedores (Payero *et al.* 2005). Según Molden *et al.* (2010), existe un margen amplio para mejorar la productividad del agua en los cultivos, con sistemas de riego que puedan implementarse, como el riego suplementario, riego deficitario, riego de precisión, cultivos hidropónicos, acuaponía, riego con coberturas, invernaderos, prácticas de conservación de suelo-agua y riego subterráneo. La instalación de mangueras para micro-irrigación debajo de la zona de labranza y con amplio espaciamiento hace más rentable el riego suplementario de hortalizas. En Brasil, Dos Santos *et al.* (2016) realizaron un experimento en cultivos de caña de azúcar con sistemas de riego subterráneo donde la línea regante estuvo a 0.20 y 0.40 m de profundidad; este sistema RGS instalado a 0.20 m proporcionó las mejores condiciones de contenido de humedad en las capas del suelo, lo cual favorece un adecuado equilibrio de agua y oxígeno en las raíces. En México, un sistema de riego subterráneo ahorró 27.4 % de agua de riego, comparado con uno superficial (Montemayor *et al.*, 2006).

La profundidad de enterrado de las mangueras de riego pueden ser a diferentes profundidades:

- Tendido superficial. Hasta 10 cm de profundidad. Se usa principalmente para superficies tapizantes como puede ser el césped.
- Profundidad media. Hasta 20 cm de profundidad. Este método facilita el acceso a la instalación para posibles reparaciones pero no permite aún el laboreo en profundidad.
- Tendido profundo. A partir de 30 cm de profundidad.

En este caso se supone que la superficie del suelo se mantiene seca, y se manifiestan todas las ventajas del riego subterráneo. La profundidad de enterrado dependerá de:

- Las características del cultivo, anual o perenne.
- Zona de desarrollo del sistema radicular, superficial o profundo.
- Si el lateral será retirado o no cada ciclo.
- Maquinarias usadas en la cosecha, maquinarias de corte y cosecha por encima del suelo, maquinarias con penetración en el suelo.
- Profundidad de laboreo de maquinarias agrícolas.
- Tipos de suelo: suelos livianos y suelos pesados; suelos livianos requieren de laterales a menos profundidad que suelos pesados.

Ejemplos:

- Caña de azúcar: entre 25 y 30 cm. de profundidad.
- Rotación de cultivos : algodón -maíz-tomate industrial, entre 40 y 50 cm.
- Forrajeras: entre 30 y 40 cm.
- Especies y hortalizas de raíces profundas: entre 25 y 30 cm.
- Patatas, batatas y hortalizas de raíces superficiales: entre 5 y 10 cm. con retirado de los laterales al final del ciclo.
- Cultivos hortícolas: lechuga

Algunas aplicaciones del riego subterráneo son:

- Cultivos hortícolas: lechuga, apio, espárragos, ajos.
- Cultivos leñosos: olivo, vid, cítricos.
- Jardinería y campos de Golf, con posibilidad de empleo de agua residual depurada.

El sistema de riego por goteo subterráneo (RGS) permite aplicar el agua y los fertilizantes de forma más directa al sistema radicular de las plantas, proporcionando un gran ahorro de agua y fertilizantes, junto con otras muchas ventajas económicas, ecológicas y agronómicas.

Miles de hectáreas en todo el mundo se irrigan con sistemas de riego subterráneo; no obstante, no siempre se utiliza el tipo de emisor mas adecuado para este sistema. Es importante que el emisor reúna una serie de características imprescindibles para que su funcionamiento sea correcto (Barberá 2003).

2.2.1 Ventajas.

Siempre que la instalación esté bien diseñada y si el manejo de la misma es el correcto, este sistema proporciona ciertas ventajas sobre los sistemas clásicos de riego por goteo en superficie, siendo especialmente ventajosos cuando se emplean dotaciones deficitarias de agua de riego:

- Reducción de las pérdidas de agua por evaporación. Al localizarse el emisor en profundidad, el bulbo húmedo toma una forma esférica frente a la tradicional semi-esférica del riego superficial. Esta ventaja permite disponer de entre un 30% y un 40% más de agua.
- Mejor distribución de agua. La distribución de los goteros se realiza en los puntos más desfavorables para la absorción de agua y nutrientes.

- Localización de fertilizantes. El riego subterráneo resulta muy interesante a la hora de aplicar nutrientes. La aplicación exacta en la zona de absorción radicular de la planta favorece la incorporación de elementos de poca movilidad como el fósforo, y sobre todo el potasio.
- Sustancial ahorro de mano de obra y costes de mantenimiento. Los ramales no deben tenderse ni recogerse. La implantación en el terreno de la tubería se realiza con un topo, abaratando considerablemente la mano de obra.
- Mayor vida útil del sistema. Se evita el desgaste que producen el tendido y enrollado de los ramales. Además al instalarlo bajo superficie, el sistema se protege del deterioro causado por agentes atmosféricos (radiación ultravioleta, cambios de temperatura y humedad, etc.).
- Menor incidencia de las malas hierbas. Al evitar que el agua llegue a la superficie, se reduce la germinación de malas hierbas. También se reducen considerablemente los problemas causados por hongos (en hortalizas de hoja como lechuga, apio, etc. evitamos mojar las hojas de la base).
- Posibilidad de laboreo. Los equipos mecánicos pueden moverse libremente por la superficie sin dañar el sistema de riego e incluso es posible arar. Además se evitan los daños causados por los roedores y el vandalismo (UNE 1989 , DE Liñan 2004 y Pastor 1999).

Hoy en día el riego localizado subterráneo está ampliamente establecido en cultivos y superficies ajardinadas de todo el mundo. En España hay alrededor de 5.500ha bajo este sistema de riego, cifra en continuo crecimiento por las ventajas que ofrece.

2.2.2 Desventajas de RGS

Lucas y Alarcón (2005), señalan que el sistema de riego por goteo subterráneo presenta algunas limitaciones que han de ser identificadas y en la medida de lo posible resueltas. A pesar de todas las oportunidades de este sistema de riego y de la aceptación que genera su utilización, aún cabe plantear o resolver ciertas limitaciones del sistema

concernientes al diseño, manejo y control de la instalación y sobre todo, a la obstrucción de emisores.

A continuación se enumeran los inconvenientes y limitaciones de los sistemas de RGS: Según:...Lucas y Alarcón (2005)

- **Dificultad en la germinación de semillas y el desarrollo de plántulas.**

La falta de humedad en la superficie del suelo, dificulta la germinación y posterior desarrollo de plántulas, a veces esto hace necesario emplear conjuntamente otros sistemas de riego hasta conseguir un desarrollo mínimo o asegurar una evolución normal.

- **Incremento de los costos de instalación y mantenimiento.**

En adición a los gastos de adquisición e instalación, se requerirá una mayor densidad de dispositivos antisucción y limpieza, además de asegurar un filtrado correcto y disponer, si es el caso, de una red auxiliar, que facilite el arrastre y limpieza de los sedimentos acumulados en los extremos de las líneas laterales, lo que también ayudará a homogeneizar las presiones en toda la red.

En cualquier caso esta limitación no está tan clara ya que estos sistemas de riego dan lugar a mayores rendimientos productivos, ahorro de insumos, mano de obra y energía, e incremento de la vida útil del sistema.

- **Falta de conocimientos científico-técnicos.**

No hay un método de diseño, instalación y mantenimiento definitivamente instaurado, sobre todo atendiendo a los distintos condicionantes que pueden alterar el comportamiento del sistema y sobre todo, a su manejo. Contar con un protocolo bien definido y programado sobre, diseño, instalación, manejo y mantenimiento, es fundamental para asegurar el buen funcionamiento de estos sistemas de riego.

- **Dificultad para inspeccionar y evaluar el sistema.**

Todo el sistema está enterrado, por lo que es difícil llevar a cabo la inspección y evaluación del sistema, para ello deben instalarse elementos de seguridad y control que nos ayuden a conocer el estado de funcionamiento del sistema, y en su caso, a identificar problemas.

Para tener un mejor monitoreo de la instalación, se debe hacer la instalación de sensores de humedad y como elemento de seguridad utilizar goteros que protegen al difusor de la entrada de raíces, creando un sistema de riego con goteros enterrado de larga duración y bajo mantenimiento

- **Dificultad para mantener y reparar el equipo.**

En cuanto a las reparaciones, éstas se ven dificultadas por la propia naturaleza de riego subterráneo. En cuanto al mantenimiento es fundamental contar con un protocolo de actuación que indique cuándo y cómo realizar las operaciones de mantenimiento y control.

- **Obstrucción de emisores, debida a:**

- Acumulación de sedimentos.
- Succión del suelo.
- Intrusión radicular.

En el caso de obstrucciones debidas a la succión del suelo, es recomendable proyectar en los puntos más altos de la red, la instalación de válvulas antivacío, que sean capaces de evacuar todo el volumen de aire que alberguen las tuberías, de forma que no den lugar a vacío y por tanto a la aparición de succiones. La instalación correcta de redes auxiliares que dificulten la acumulación de sedimentos y la limpieza del sistema, redundará también en mejorar y homogeneizar las características hidráulicas del sistema y prevenir frente a la aparición de succión del suelo.

Sin duda la principal limitación a la que se enfrenta este sistema de riego es la falta de conocimientos y experiencia suficiente, que deberá dar lugar a una intensa labor de investigación y puesta en práctica de alternativas de diseño, cálculo, instalación, manejo y mantenimiento, y sobre todo, en lo relativo a la obstrucción de emisores. De la mano deberían ir aquellos conocimientos prácticos de manejo en cultivos en distintas condiciones, que vendrán definitivamente a establecer procedimientos de manejo.

2.3 RIEGO DEFICITARIO

La escasa disponibilidad de recursos hídricos, unido a los altos costos de riego, obliga a adoptar cambios sustanciales en el manejo de este, al objeto de contribuir a la obtención de producciones económicamente rentables, con dotaciones hídricas inferiores a los que los cultivos requieren para su óptimo crecimiento y producción. Para ello resulta fundamental conocer los efectos del déficit hídrico sobre la producción y calidad de la cosecha, conocimiento que se viene buscando a través de la aplicación de prácticas de riego en las que solo una fracción del agua perdida a través del proceso de evapotranspiración (ETc) es remplazada mediante el riego y que han sido englobadas dentro del término riego deficitario subterráneo.

Por esta razón, en los últimos años han adquirido enfoques más fisiológicos del problema, prestando atención tanto a la fenología del cultivo como a su capacidad de resistir situaciones de déficit hídrico, de esta manera surge un nuevo tipo de riego deficitario llamado: riego deficitario controlado (RDC) (Sanchez y Torrecillas 1995).

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

2.3.1 Riego parcial de la zona de raíces (PRD)

Una de las estrategias del riego deficitario es la denominada Desecación Parcial del sistema Radical (DPR). Esta metodología ha sido utilizada con éxito especialmente en uva de mesa, donde se han descrito mejoras en la eficiencia del uso del agua entre un 29 y un 86% dependiendo de la variedad seleccionada (Dry *et al.* 2000).

También se han obtenido importantes ahorros de agua en manzano con la utilización de DPR (Caspari *et al.* 2004). 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 otra zona del sistema radical permanece seca, con lo que se liberan señales bioquímicas que son transportadas vía xilema a las hojas, una vez en la parte aérea regulan la apertura de estomas y limitan las pérdidas de agua vía transpiración (Zhang y Davies 1991).

Para mantener la reducción en la apertura de los 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 disponer de un doble lateral de goteros. Recientemente algunos autores han explicado los efectos positivos del DPR en función del crecimiento radical que la alternancia de riego, incrementándose rápidamente el desarrollo radical y con ello la capacidad para absorber agua y nutrientes (Mingo *et al.* 2004).

Este tipo de riego induce la emisión de raíces secundarias y por consiguiente disminuye la sensibilidad de la raíz a la sequía (Zhang y Tardieu 1996). Un sistema radicular más uniformemente distribuido en el suelo como resultado de la alternancia seco y húmedo puede conllevar a un mejor uso de nutrientes y agua en toda la zona radicular (Kang *et al.* 1998).

2.4 EVAPOTRANSPIRACIÒN

Es un concepto que incluye la evaporaci3n y la transpiraci3n, los cuales se presentan de forma simult3nea e indistinta. El primer t3rmino se refiere al proceso en el que el agua l3quida se convierte en vapor de agua y se retira de la superficie evaporante, mientras que la transpiraci3n es la vaporizaci3n del agua l3quida contenida en los tejidos de la planta e incluye su posterior remoci3n a la atmosfera; cabe destacar que las plantas pierden gran proporci3n de agua mediante los estomas (Allen *et al.* 2006). Ello convierte a la evapotranspiraci3n en uno de los par3metros meteorol3gicos m3s destacados en el estudio de la vegetaci3n y del consumo el agua en el medio ambiente y, adem3s facilita el desarrollo de planes de gesti3n y optimizaci3n de los recursos h3dricos para la adecuada dotaci3n de agua en proyectos de 3ndole agr3cola, de arborizaci3n y de parques y jardines (Ramos 2007).

2.4.1 Evapotraspiracion de referencia (ET_o).

Debido a que el volumen de agua que emplean las plantas en la transpiraci3n es superior al volumen de agua empleado para sus procesos biol3gicos, es decir su desarrollo y fotos3ntesis, la transpiraci3n resulta el principal proceso de consumo de agua de la planta. Adicionalmente no se puede negar la existencia de p3rdidas de agua desde la superficie del suelo por la evaporaci3n. (Herrera 2014). La evapotranspiraci3n del cultivo de referencia es definida por la FAO como la tasa de evapotranspiraci3n de una superficie de referencia, correspondiente a un cultivo hipot3tico de pasto, que no presenta limitaciones de agua. Este concepto expresa el poder evaporante de la atm3sfera sin considerar las caracter3sticas del cultivo ni los factores del suelo, debido a que la copiosa reserva de agua en la superficie de evapotranspiraci3n de referencia no se ve afectada por los factores del suelo. Es por este motivo que la ET_o solo responde a par3metros clim3ticos, lo cual simplifica el manejo de datos puesto que puede ser determinado por datos meteorol3gicos (Allen *et al.*2006).

2.4.1 Evapotranspiración del cultivo (ET_c)

Es la evapotranspiración de un cultivo cualquiera que no presente enfermedades, que tenga una adecuada fertilización y que se desarrolla en parcelas amplias, estando a condiciones óptimas tanto de suelo como de agua, lo que le permite obtener la máxima producción según las condiciones climáticas de su medio circundante (Allen *et al.* 2006). El cálculo de este parámetro involucra despejar previamente las variables de evapotranspiración de referencia (ET_o) y de coeficiente del cultivo (K_c) (Puppo y García Petillo 2009). Contar con un bagaje de información correcta con respecto de la ET_c posibilita la opción de un mejor manejo del agua, lo cual se puede lograr cambiando el volumen y la frecuencia del riego para cubrir las necesidades hídricas de los cultivos y para que este se adapte a las características propias de su medio, es decir el suelo (Lazzara y Rama 2010).

2.4.2 Coeficiente del cultivo (K_c)

El coeficiente de cultivo (K_c), es la relación que existe entre la evapotranspiración real máxima del cultivo y la evapotranspiración de referencia siendo determinado experimentalmente para cada cultivo. Este valor es característico del cultivo y de la variedad; y teóricamente depende única y exclusivamente de la etapa fenológica en la que se encuentre el cultivo.

La elección del K_c se realiza en base a las características del cultivo, las fechas de plantación o siembra, el ritmo de desarrollo del cultivo, en la duración del periodo vegetativo y muy en especial de las condiciones climáticas predominantes. En el estudio encontrado sobre los coeficientes de cultivo (K_c) en camote, fueron reportados por Baigorria (1994), donde determinó los coeficientes de cultivo para cada etapa de crecimiento del cultivo de camote en la localidad de La Molina.

Para este fin se montaron y calibraron dos estaciones meteorológicas, las cuales contaban con un instrumental meteorológico convencional así como estaciones

automáticas. Se instalaron especialmente un evapotranspirómetro y un lisímetro, los que sirvieron para determinar la evapotranspiración de referencia y la evapotranspiración real máxima del cultivo de camote, "con la que posteriormente se determinó el Kc de acuerdo a la etapa fenológica del cultivo, cuya información se aprecia en la Tabla 1 y 2 (Baigorria 1994). Cabe indicar que Baigorria trabajó durante dos campañas:

- la Primera campaña: 11 de setiembre de 1990, "meses de frío"
- la Segunda campaña: 28 de enero de 1991, "meses de verano"

Con los datos correspondientes al año 1990, de evapotranspiración de referencia del evapotranspirómetro y los datos registrados por el instrumental meteorológico existente, se procedió a la depuración de información; y mediante el análisis de correlación y regresión simple y múltiple, se determinaron, para una fórmula para la cuantificación de la evapotranspiración de referencia.

Tabla 1: Kc del cultivo de camote

	Fase del cultivo	Kc
I	Inicial	0.5166
II	Desarrollo del cultivo	0.8837
III	Mediados del período	0.9552
IV	Finales del periodo	0.839

FUENTE: Adaptado de Baigorria (1994).

Tabla 2: Período vegetativo del cultivo de camote

	Fase del cultivo	Período vegetativo(días)
I	Inicial	25
II	Desarrollo del cultivo	30
III	Mediados del período	45
IV	Fineles del periodo	30

FUENTE: Adaptado de Baigorria (1994).

2.5 MEDICIÓN DE EVAPOTRANSPIRACIÓN

La FAO ha definido como métodos para determinar la evapotranspiración a los que se listan en los siguientes párrafos, sin embargo, estas metodologías han sido motivo de investigación y específicamente, de comparación para definir las metodologías viables que aporten en el manejo de la demanda de riego en los sistemas agrícolas (López y Dennett 2005).

2.5.1 Datos meteorológicos

Se han desarrollado una serie de ecuaciones que permitan obtener la ETo a partir de datos meteorológicos debido a la complejidad que implican las mediciones directas. El método Penman – Monteith modificado por FAO se considera como el método estándar en la definición como en el cálculo de la ETo (Allen *et al.*, 2006). Las variables climáticas requeridas como entradas para la ecuación son las siguientes: Temperatura máxima (T máx.), temperatura mínima (T mín.), humedad relativa (HR%), velocidad del viento a 2 m de altura (u_2) y radiación neta (R_n) (Puppo y García Petillo 2009). Tales variables climáticas pueden ser registradas por medio de una estación meteorológica, o en el caso de no contar con una estación, se pueden tomar datos históricos del lugar de interés empleando datos de estaciones vecinas (Gil *et al.* 2009). Por otro lado, las estaciones meteorológicas cuentan con anemómetro (mide la velocidad y dirección del viento), colector de lluvia y sensores de temperatura, radiación solar, humedad, entre otros. Las diferentes variables climatológicas son registradas e incluso procesadas puesto que permiten obtener datos de evapotranspiración, para la cual emplea la ecuación Penman – Monteith.



Figura 1: Estación meteorológica Alexander Von Humbolt

FUENTE: Facultad de ciencias- UNALM

2.5.2 Tanque evaporímetro

Una de las principales ventajas de este método es que simplifica los efectos integrados del clima a únicamente la evaporación de una superficie libre de agua (Puppo y García Petillo 2009). Es por esta característica que el método del tanque evaporímetro es uno de los más empleados en los proyectos de riego, esto en respuesta a la usual falta de equipos necesarios para obtener los datos meteorológicos, debido a la complejidad de su mantenimiento o por el alto costo que implica, necesarios para el modelo Penman – Monteith (Fonseca 2002). El tanque Clase A cumple con las siguientes características: 120.7 cm de diámetro, 25 cm de profundidad y está fabricado con fierro galvanizado de 0.8 mm de espesor (Allen *et al.* 2006). La estructura se debe ubicar sobre apoyos de madera a 15 cm sobre el nivel del suelo. El interior del tanque debe contener agua limpia la cual debe ser reemplazada semanalmente para evitar problemas con la turbidez que puedan afectar las mediciones. El nivel del agua debe mantenerse siempre entre 5 y 7.5 cm del borde.

El tanque debe aislarse de la acción involuntaria de terceros o de animales, para ello se deben colocar mallas de seguridad (Gil *et al.* 2009). El principio del funcionamiento es sencillo, consiste en la medición del nivel del agua una vez al día, todos los días y de preferencia en las mañanas a la misma hora. Las lecturas se efectúan en una poza de estabilización, una varilla puntiaguda unida a una escala graduada con un vernier se gira en hacia arriba o hacia abajo por una cremallera hasta que la punta de la aguja corta la superficie del agua. La variación en la lectura con respecto de la del día anterior resulta la ETo, siempre y cuando se tenga en cuenta también la precipitación (Strangeways 2001).

El tanque de evaporación clase A permite estimar los efectos integrados del clima (radiación, temperatura, viento y humedad relativa), en función de la evaporación registrada de una superficie de agua libre de dimensiones estándar.

$$E_{to \text{ diaria}} = K_p * E \quad (1)$$

Dónde:

E_{to} : Evapotranspiración de referencia (mm/día).

K_p : Coeficiente empírico del tanque evaporímetro.

E : Evaporación libre del tanque clase A (mm/día).

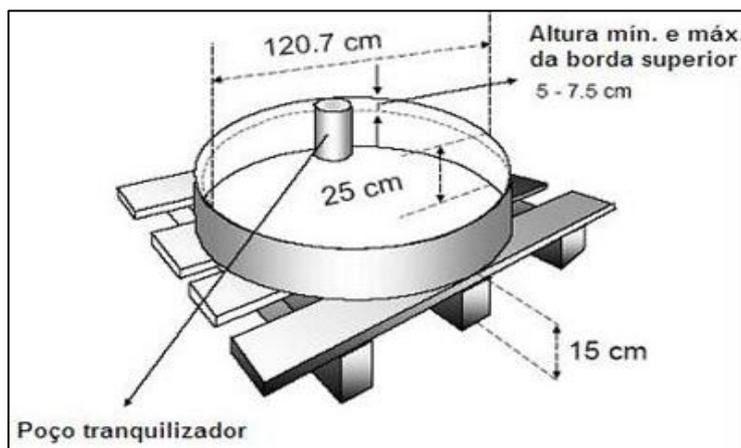


Figura 2: Dimensión del tanque evaporímetro Clase A.

FUENTE: Universidad de Sao Paulo Brasil

2.5.3 Coeficiente del tanque evaporímetro

Para seleccionar el coeficiente apropiado para un tanque evaporímetro dado, se debe considerar no solamente el tipo de tanque, sino también la cobertura del suelo donde se ubica el tanque, sus alrededores así como el viento y las condiciones generales de humedad como podemos apreciar en la Figura 3 (manual FAO N° 56 2006).

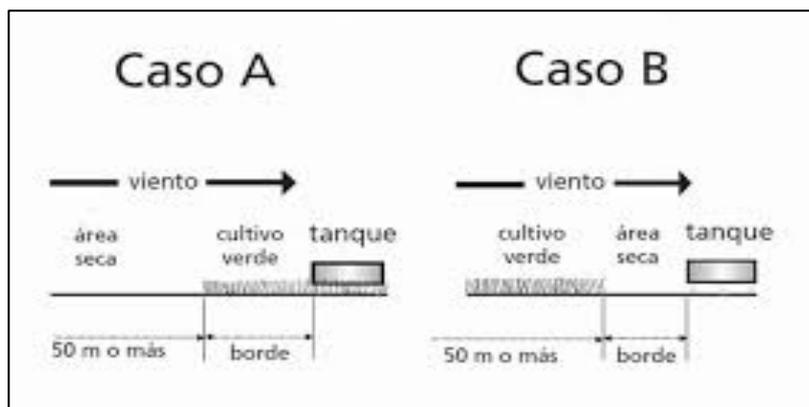


Figura 3: Dos casos de localización del tanque de evaporación y sus alrededores

FUENTE: FAO (2006).

2.6 HUMEDAD DEL SUELO

Es de vital importancia para el riego conocer el agua útil de suelo o agua disponible para la planta (ADP), que está representado por la diferencia del contenido de humedad entre el nivel de Capacidad de Campo y el Punto de Marchitez (Buesa 2013). Los niveles de humedad a capacidad de campo y punto de marchitez permanente se pueden observar en las líneas punteadas en la Figura 4. Por otro lado, cuando se multiplica el ADP por la profundidad de la zona radicular se obtiene la Capacidad de Retención de Agua Disponible (CRAD), que en el riego implica una “reducción máxima permisible” (RMP) o una fracción del (CRAD) que es el rango operativo ideal de contenido de agua del suelo (Zotarelli *et al.* 2013).

La humedad del suelo puede ser expresada en distintas unidades. Uno de los más comunes es la humedad volumétrica del suelo, que se refiere a la profundidad de una columna de agua contenida en una determinada profundidad de suelo. Una fracción de suelo consiste en poros, lo cuales pueden contener aire o agua. Tal fracción es denominada porosidad (Robock *et al.* 2000).

La Capacidad de Campo (CC) es el volumen de agua que puede retener el suelo en contra de la gravedad, después de un riego pesado o de una precipitación considerable.

El Punto de Marchitez o Punto de Marchitez Permanente (PMP) es el porcentaje de humedad de un suelo en el que las plantas se marchitan sin opción a recuperación.

Existe además otro nivel denominado Punto de Saturación (PS) que es el que se da después de un riego profundo o de una lluvia intensa y el agua ha ocupado todos los poros. A este nivel cualquier cantidad extra de agua escurrirá o generará encharcamiento hasta que se elimine hacia las capas más profundas del suelo. Sin embargo, CC es en realidad la condición idónea para el desarrollo de las plantas (Parra y Ortiz, citado por Orozco 2011). Por lo tanto, manejar un adecuado conocimiento de la distribución y vinculación de la humedad del suelo referente a la evaporación y transpiración, resulta lo más básico para predecir la influencia recíproca entre la superficie del suelo, el tiempo y el clima (Wei 1995).

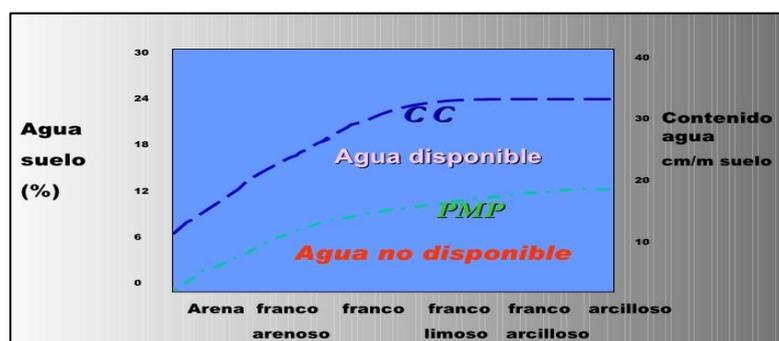


Figura 4: Contenido de humedad para suelos de diferentes texturas
FUENTE: Wei (1995)

2.7 Medición de la humedad del suelo

A lo largo de los años se han desarrollado métodos directos e indirectos para determinar el contenido de humedad del suelo. La elección de un método en particular depende tanto de la aplicación como de los recursos disponibles (Robock *et al.* 2000).

Entre los métodos directos están la gravimetría y las placas de Richards, mientras que entre los métodos indirectos están los tensiómetros, los sensores de resistencia eléctrica, las sondas de neutrones y las medidas de la constante dieléctrica del suelo, donde estos últimos incluyen la reflectometría en el dominio de la frecuencia y la reflectometría en el dominio del tiempo.

Los métodos indirectos presentan mayores opciones pues, aunque los métodos directos son más precisos, presentan grandes inconvenientes en su uso porque son destructivos, requieren de mano de obra y son inútiles para el monitoreo de la humedad de suelo de forma continua. No obstante, estos últimos se emplean para calibrar métodos indirectos (Buesa 2013).

2.7.1 Método gravimétrico

El método gravimétrico, el cual es un método directo, es el único método que mide la humedad del suelo directamente (Dorigo et al. 2011). Se trata de un antiquísimo método tradicional en el que se obtienen muestras de suelo a través de dispositivos de extracción como barrenas a las diferentes profundidades y locaciones requeridas. La muestra obtenida es pesada en una balanza y, posteriormente secada en un horno a 105°C , para finalmente volver a ser pesada. La diferencia entre los pesos húmedos y secos permite obtener la humedad del suelo de la muestra. Tal parámetro puede ser expresado volumétricamente si el resultado de la humedad gravimétrica se multiplica por la densidad del suelo. Este método se puede desarrollar con baja tecnología y es simple de efectuar. Sin embargo, como se trata de un trabajo intensivo y bastante destructivo, se han desarrollado otras tecnologías más modernas basadas en principios de la electrónica (Robock 2000).

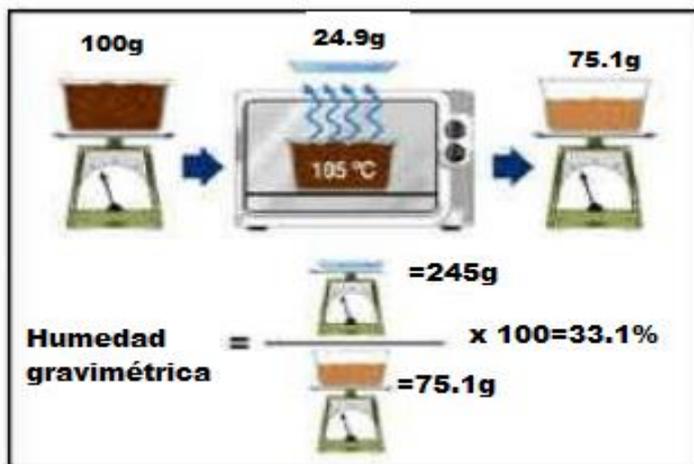


Figura 5:Proceso de determinación de la Humedad Gravimetrica

FUENTE: Robock (2000).

2.8 COMPONENTES DE LOS SISTEMAS DE RIEGO POR GOTEO SUBTERRÁNEO

Los sistemas de riego por goteo subterráneo presentan componentes similares al de un sistema de riego por goteo superficial, sin embargo, en el RGS el uso de un sistema de filtrado, de válvulas de aire y de líneas de purga son requisitos indispensables para que el sistema tenga un buen rendimiento y una duración a lo largo del tiempo. Los sistemas de RGS tienen un alto costo inicial de inversión por lo que suprimir algunos componentes para reducir tal gasto puede ser visto como una buena opción, sin embargo, ello solo derivará en una pobre operación del sistema o una reducción en su tiempo de vida, lo que no justificará el costo de inversión inicial (Lamm *et al.* 2003). En la Figura 6 se puede visualizar de forma general, todos los componentes que deben ser utilizados.



Figura 6: Componentes de riego por goteo

FUENTE: PRAKORD

2.8.1 Bomba

Una ventaja de los sistemas de RGS es que presentan bajos requerimientos de presión, lo cual influye en la reducción de costos en la elección de la bomba, entonces las dimensiones de la bomba solo estarán en función del caudal y de la carga. En general los requerimientos de altura que se tendrán en cuenta serán la elevación del bombeo, las pérdidas por fricción, cambios de elevación y la presión del sistema. Sin embargo, en el RGS se debe considerar las caídas de presión debido a los filtros, de las válvulas (de control, de caudal, etc.) y de las líneas de suministro. En resumen, el tamaño de la bomba dependerá de la oferta del agua de riego, de las necesidades de presión del sistema, del área que se irrigará, del sistema de filtrado y de la presión requerida para el lavado de las líneas de purga (Rogers *et al.* 2003).

2.8.2 Sistema de filtrado

El agua siempre presenta partículas suspendidas que perjudican el rendimiento de los emisores por lo que se necesita de un buen sistema de filtrado que remueva tales partículas. Los tipos de filtro que se pueden instalar son de mallas, de discos o de arena. Sin embargo, la elección en particular de que tipo se empleará estará dada por la calidad del agua. Ante ello existe por ejemplo la posibilidad de emplear separadores de arena

centrífugos en caso de que el agua contenga arena, usual en el caso del agua de pozo. En el caso de fuentes de agua superficiales se cuentan con sedimentadores para remover la alta carga de sedimentos, en conjunto con un sistema regular de filtros. Combinar los diferentes tipos de filtros puede resultar una buena opción para remover partículas en suspensión. Cabe destacar que muchos de estos sistemas están capacitados con un retro lavado automático. Entonces, para definir los elementos que formaran parte del sistema de filtrado se debe tener las siguientes consideraciones:

- Calidad del agua (Incluye la cantidad, tamaño y tipo de partículas (orgánicas o minerales) a ser removidas.
- Requerimientos del emisor, es decir el tamaño o abertura del emisor (Máximo tamaño de partícula permisible). Esta información está presente en los manuales del fabricante.
- Caudal

Como regla general emplean los filtros para evitar el paso de partículas de 1/10 del tamaño de la vía de paso más pequeña (Rogers *et al.* 2003).

2.8.3 Manómetros

Los manómetros son elementos de control, sobre todo de los filtros, es por ello que se suelen colocar tanto antes como después de la presencia de los mismos, pues ello indicará la pérdida de presión que generan las unidades de filtrado y por lo tanto el momento en el que necesitan ser lavados. Este control se extiende a lo largo de todas las tuberías puesto que las distancias se traducen en pérdidas de carga por lo que se aconseja contar con manómetros o puntos de control tanto al inicio de la línea principal como en la línea más lejana. Los manómetros como elementos de control de presiones, al igual que las válvulas volumétricas con respecto de los caudales, constituyen los indicadores necesarios para evaluar los rendimientos y posibles obstrucciones que se puedan presentar en el sistema (Rogers *et al.* 2003).

2.8.4 Válvula de regulación

Estas válvulas son empleadas para mantener una adecuada presión en las líneas de riego. Se debe considerar las especificaciones del emisor según el fabricante y las pérdidas de presión en la tubería durante la entrega de agua a la conexión con la línea de goteo. Los goteros por lo general tienen un caudal determinado o trabajan con cierto caudal a una determinada presión, entonces la válvula reguladora de presión debe ser capaz de aportar tal presión además de controlar las pérdidas que se dan entre la válvula y el emisor (Rogers *et al.* 2003).

2.8.5 Medidor de caudal

Mide el volumen de agua que se mueve a través del sistema ya sea como caudal o como volumen total acumulado. Este medidor de flujo ofrece información al operador referente de cómo está funcionando el sistema y cómo programar la aplicación de agua (Rogers *et al.* 2003).

2.8.6 Válvulas de zona

Son válvulas bastante simples y es usual que en la agricultura sean operadas manualmente, sin embargo, hay una tendencia a la automatización en la que mediante un sistema eléctrico, se cuenta con un programador desde donde se abren o cierran las válvulas según los turnos de riego. Estas válvulas son abiertas o cerradas para controlar que el agua fluya a las zonas adecuadas (Rogers *et al.* 2003).

2.8.7 Válvulas de aire y de liberación de vacío

Estas válvulas previenen que el suelo o material particulado sea arrastrado hacia los emisores cuando el sistema de riego está apagado o cuando se han purgado o vaciado las líneas de goteo. Las válvulas deben ser colocadas en los puntos altos del sistema (Rogers *et al.* 2003).

2.8.8 Líneas de purga

Los sistemas de filtrado por lo general no remueven partículas de arcilla, limo, o incluso algas y bacterias puesto que estas son muy pequeñas. Tales partículas pueden viajar a través de los filtros como partículas individuales, lo que no garantiza que se mantengan así puesto que se pueden asociar o incorporar a residuos orgánicos y eventualmente hacerse lo suficientemente grandes como para obstruir los emisores, (Nakayama *et al.* citados por Puig-Bargués *et al.* 2010). Es por todo ello que se deben realizar purgados periódicos para remover tales partículas y organismos acumulados en las líneas de riego (Adin y Stacks, citados por Puig-Bargués *et al.* 2010). Las purgas en los puntos terminales del sistema tienen el propósito de permitir que cualquier sedimento o contaminante sea expulsado de los laterales de riego hacia una determinada ubicación (Rogers *et al.* 2003).

2.8.9 Arco de riego

Entrega el agua de las tuberías secundarias a los laterales y enlaza las mangueras de riego a una sola unidad de control (Rogers *et al.* 2003).

2.8.10 Líneas de goteros

Están formadas por cinta manguera con goteos integrados. El espaciamiento entre emisores y el caudal que aporta cada emisor es definido en función de las demandas del cultivo y de la capacidad de retención de agua del suelo. Estos deben ser compatibles con la presión de bombeo. Por otro lado, se puede emplear goteros auto compensados sin embargo su costo es más alto que el de los goteros no compensados. Se debe tener en cuenta la calidad del agua en la elección del tamaño y espaciamiento de los emisores para evitar obstrucciones (Rogers *et al.* 2003).

2.9 CULTIVO DE CAMOTE JONATHAN EN EL PERU

Para Tapia (1990), el Perú posee la mayor diversidad de variedades de camote del mundo, y crece en nuestro país desde hace 10 mil años, al igual que en Centroamérica. El agricultor peruano puede cultivarlo casi todos los días del año.

En el Perú, el camote se siembra en la costa, selva y valles interandinos ubicados entre 20 y 2000 metros sobre el nivel del mar. En estos últimos años, el área sembrada con este cultivo oscila entre 12000 a 14000 hectáreas (10 mil unidades agrícolas), con un volumen de producción de 190 mil a 224 mil toneladas (0.3% del valor bruto de producción agrícola) y un rendimiento promedio de 16 t ha⁻¹.

Según registro de estadísticas, la mayor zona de producción de camote en el país es el departamento de Lima, en donde se concentra el 70% de la superficie cultivada; siendo las provincias de Huaral (800 ha) y Cañete (3,500 ha), las principales zonas productoras de camote; las cuales ofertan al mercado capitalino 120 mil toneladas métricas anuales. Los valles del norte chico Huacho, Barranca y Pativilca, poseen menor superficie de siembra (700 ha) y aportan alrededor 12 mil TM para los mercados de Lima (Proyecto Camote <http://www.inia.gob.pe/camote/>)



Figura 7: Cultivo de Camote (*Ipomoema batatas*) variedad Jonathan

La clasificación sistemática de la batata es la siguiente:

- Familia: Convolvulaceae.
- Tribu: Ipomoeae.
- Género: Ipomoea Linnaeus.
- Subgénero: Quamoclit.

- Sección: Batatas.
- Especie: Ipomoea batatas.

2.9.1 Características de la planta

- Medianamente compacta y vigorosa.
- Habito de crecimiento semi-erecto.
- Altura de planta 18.63 cm.
- Tallos gruesos, entrenudos cortos de color verde.
- Forma del lóbulo cetril lanceolada.
- Nervadura de color verde en el envèz.
- Periodo vegetativo de 4.5 a 5 meses.
- Numero de esquejes,8 a 10.

2.9.2 Características de la raíz reservante

- Forma: elíptico alargada.
- Color de piel: Naranja.
- Color de pulpa: Naranja amarillenta.
- Grosor de la corteza: delgada.
- Superficie: lisa y uniforme.
- Formación de raíces: en racimo abierto.
- Características de mercado: interno y exportación.
- Sabor: moderadamente dulce.
- Rendimiento de raices tuberosas: 25-27 Tn Ha.
- Bondades: Resistente a nematodos.

2.9.3 Fenología del Camote Variedad (Jonathan)

- Brotación; se inicia el crecimiento de los esquejes de manera vigorosa luego de la siembra.
- Formación de hojas; Aparición de la segunda hoja, tercera, quinta y sucesivas impares, aunque se hayan marchitado las que traía el esqueje plantado.
- Brotes Laterales Aéreos; Aparecen los brotes en las axilas de las hojas de la guía principal y de otras guías secundarias. Esta fase es importante ya que hay una relación proporcional entre la emisión de brotes y el engrosamiento de la raíz; también se aprecia el crecimiento longitudinal de la guía que constituye el esqueje empleado como propagulo.
- Botón floral; Aparecen los rudimentos de las inflorescencias o botones en las axilas de las hojas.
- Floración; Se aprecia la apertura de los primeros botones florales
- Maduración; Se aprecia por el marchitamiento y secado de las hojas y el tubérculo ha alcanzado un tamaño tal que se agrieta el suelo entorno a ellos. Se puede observar, de acuerdo a la variedad, las características que definen su madurez (Claro 1985).

Tabla 3: Descriptores de variedad Jonathan

N	Descriptores variedad Jonathan	
1	Largo de raíz	11.0 cm
2	Diametro de raíz	6.08 cm
3	Peso de raíz	0.83 kg
4	Longitud de esquejes	2.09 cm
G5	Numero de raíces	2.58 uds
6	Altura de plantas	18.73 cm
7	Produccion de toneladas por /Ha	27,788T/Ha
8	Color de raíz	Anaranjado Amarillento
9	Color de tallo	Verde tierno

FUENTE: INTA (2003).

2.9.4 Etapas fenológicas del camote (*Ipomoea batata*), variedad “Jonathan”.

- **Siembra:** El camote puede cultivarse en gran diversidad de suelos, pero los óptimos son los franco arenosos o arcillo-arenosos finos, con profundidad de 30 a 40 cm, rico en nutrientes buena permeabilidad, bien drenados y buena aireación. Crece en suelos con pH que oscilan entre 4.5 a 5, aunque el nivel óptimo oscila entre 5.6 a 6.5. Es susceptible a suelos alcalinos y a la salinidad.
- **El camote “Jonathan”,** no se debe sembrar bajo sombra, porque no produce raíces tuberosas. La siembra se debe realizar en horas frescas de las tardes. El suelo debe estar húmedo (capacidad de campo). Es recomendable sumergir las guías antes de la siembra con una solución azucarada al 10 % para aumentar el potencial osmótico de las células. Se deben hacer agujeros para acomodar las guías en forma erecta y sin cámaras de aire.
- **Clima y temperatura óptima;** El camote “Jonathan”, es una planta que requiere días soleados, calientes y noches frías condiciones favorables para la formación de raíces tuberosas. La temperatura óptima del suelo para el desarrollo del sistema radicular es de 24-27 °C, pero se ha observado que los mayores rendimientos se obtienen cuando se siembran a altitudes menores a los 200 msnm, en donde se presentan temperaturas de 20-30 °C.
- **Fecha de Siembra:** Es un cultivo que se siembra durante todo el año.
- **Requerimiento de agua:** El camote no es muy exigente en una calendarización estricta de riego ya que una vez que las guías cubren la cama la humedad es protegida, no obstante se puede establecer un programa de riego de 2 horas cada dos días desde la siembra hasta el cerrado de guías, luego hay que analizar las condiciones del cultivo y el nivel de retención de humedad del suelo y que puede depender de las condiciones de vientos y los niveles de evapotranspiración.

- **El riego;** es importante para el cultivo del camote “Jonathan”, especialmente en aquellas zonas donde la distribución de las precipitaciones pluviales es errática. El cultivo es susceptible al déficit de agua al momento del prendimiento de las guías y durante la formación y engrosamiento de las raíces tuberosas (Molina 2004).

2.9.5 Fases de crecimiento y desarrollo del camote

En la Figura 8 (Molina 2010) se aprecian las diferentes etapas de crecimiento de la planta de camote, los cuales son determinados por la aparición de las distintas estructuras de la planta, las que se mencionan a continuación:

- Fase de establecimiento del cultivo

Brotación y crecimiento inicial, cuando la superficie del suelo está cubierta apenas o nada por el cultivo (10% de cobertura).

- Fase de inicio de formación de raíces reservantes

Empieza desde el final de la fase inicial hasta que se llega a una cubierta sombreada efectiva completa (cuando el Kc se aproxima al máximo), equivalente a un 70 u 80% de la cobertura, lo que no significa que el cultivo haya llegado a su maduración.

- Fase de llenado de raíces reservantes

Desde que se obtiene la cubierta sombreada efectiva completa hasta el momento de iniciarse la maduración, tal como se pone de manifiesto por la decoloración de las hojas o su caída. Es equivalente al periodo en que la planta obtiene su 100% de cobertura.

- Fase de maduración y cosecha

Desde el final de la fase de llenado de raíces hasta que se llega a la plena maduración o a la recolección.

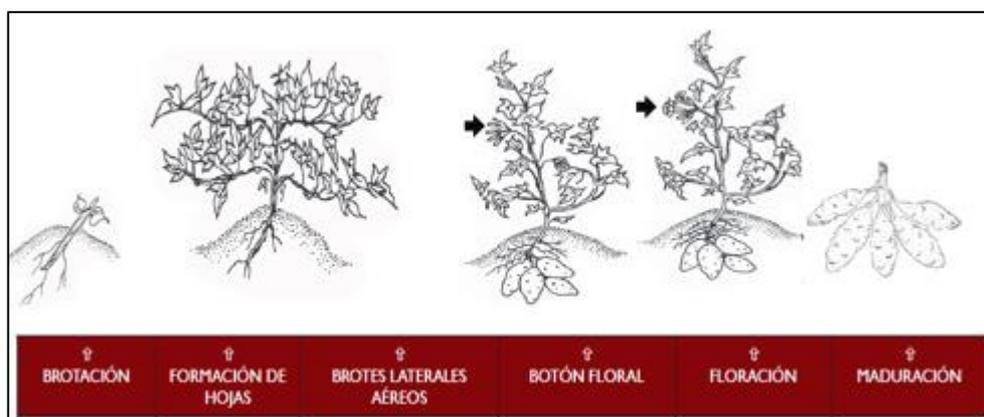


Figura 8: Fases fenológicas del camote *Ipomoea batatas*

FUENTE: SENAMHI (2001).

2.9.6 Manejo del cultivo

- Preparación del terreno

Requiere de un machaco previo, arar en forma profunda y aplicación de 10 a 15 t ha⁻¹ de guano, si es necesario pasar aradas con subsoladores para romper la capa endurecida por compactación.

- Selección de semilla.

Utilizar semilla (esquejes), fisiológicamente maduras obtenidos de campos que han sido previamente agostados y libres de plagas, 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 40 cm.

- 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 0.20 a 0.30 m y la distancia entre surcos de 0.90 a 1.00 m.

- Aporque

Realizar el primer aporque a los 20 días de la siembra, después de un riego. Aprovechar esta labor para abonar y desmalezar; el segundo aporque se realiza antes que las plantas cubran los surcos.

- Riegos

Los riegos son realizados dependiendo de la pérdida de la humedad del suelo en el camote generalmente deben ser ligeros y poco frecuentes, se debe evitar riegos pesados y el exceso de fertilización nitrogenada, que ocasiona crecimiento abundante de follaje en desmedro de la formación de raíces reservantes. Las fases críticas del camote al déficit hídrico se presentan, después del trasplante y en el momento de llenado de las raíces tuberosas.

- Control de Malezas y Enfermedades

Durante el experimento el cultivo fue afectado por malezas, los cuales fueron combatidos con deshierbos semanales.

2.10 BULBO DE HUMEDECIMIENTO

Gispert y Garcia (1999), indican que se denomina volumen húmedo del suelo a la variada disposición tridimensional que puede ocupar el frente de humedad del agua de riego en un determinado suelo, a partir de un punto de irrigación (gotero, micro aspersor, manguera, cinta, etc.) en un sistema de riego localizado.

Egúsqiza (2000), afirma que existe relación positiva y directa entre la cantidad de agua que dispone la planta y el rendimiento comercial.

Según, Cañamero y Laguna (2012) las características del suelo son las que determinan el movimiento del agua bajo el riego por goteo. Por ello, existe una relación entre la dimensión horizontal (el radio de humedecimiento) y la dimensión vertical (la profundidad de humedecimiento) en las cuales se distribuye el agua de riego. Ambas dimensiones constituyen los límites del "bulbo" humedecido

La forma del "bulbo" depende de cuatro factores:

- 1) El suelo, la dimensión horizontal es favorecida por la atracción capilar del suelo. La dimensión vertical está dominada por la fuerza de gravedad, o sea que en un suelo arenoso se forma un bulbo más angosto.
- 2) La descarga del gotero, la distribución lateral (horizontal) del agua, depende de la descarga del gotero. Un gotero de 2 LH-1 produce un bulbo más estrecho que uno de 4 o de 8 LH-1. Si comparamos un suelo arenoso con otro arcilloso, veremos que en el primero será necesario seleccionar un gotero con mayor descarga y a menos espaciamiento que en el segundo.
- 3) La duración del riego, cuanto más se prolonga el riego, más aumenta la dimensión horizontal, hasta un determinado límite. Pasando este límite, se pierde el agua por debajo de la zona radicular, bajando la eficiencia de riego.
- 4) La frecuencia de riego, a medida que el suelo se seca, aumenta la tensión con la cual el suelo retiene al agua. Tensiones elevadas reducen la velocidad del movimiento del agua en el suelo. Por lo tanto, el riego por goteo en un suelo seco producirá un bulbo demasiado estrecho y hace falta regar a alta frecuencia.

Pizarro (1996), menciona que los emisores de riego localizado dejan fluir gota a gota el agua sobre la superficie puntual del suelo, se forma un pequeño charco o disco de suelo saturado, y su radio va extendiéndose a medida que el riego continúa. Cuanto más húmedo se encuentra el suelo, la velocidad de infiltración del agua disminuye, pero aumenta la conductividad hidráulica a aproximarse a la saturación. La disminución de la velocidad de infiltración favorece el incremento del radio del charco y cuando el

caudal del emisor dividido por la superficie del charco iguala a la velocidad de infiltración, el charco se estabiliza. A partir del disco de suelo saturado del charco, el agua se distribuye por los poros hacia los alrededores, zona donde la humedad es menor.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 MATERIALES

3.1.1 Materiales y equipos

La parcela dispone de una instalación de riego por goteo, un cabezal de riego, elementos de control y otros.

Equipos:

- Mochila manual de 20 litros
- Rejilla medidora de cobertura
- Tornillo muestreador
- Horno de sacado
- Baldes de 20 y 5 litros
- Estacas de madera
- Plastico
- Cordel
- Cal
- Sacos de polietileno
- Bolsas de papel
- Herramientas (pico,pala, rastrillo,rafia,mica,etc)
- Esquejes selectas

Materiales utilizados para la instalación del sistema de riego:

Cintas manguera goteo. Vardit, 16mm, 16M, 30cm, 1.2lt-PC,1000M, METZERPLAST autocompensado.

- Codos dentados de polietileno de 16 mm SAB
- Tees dentadas,16x16 x16,AZUD

- Mini válvula drenaje adaptador,17x3/4”-Hembra IRRITEC
- Mini válvula drenaje,3/4”-Hembra, IRRITEC
- Mini válvula Mang-Mang16x16 AZUD
- Conector Manguera-Cinta Antiporoscante 16x17mm,IRRIGATION SYSTEM
- Abrazadera.Seguridad,Gancho,16mm,AZUD

Instrumentos para medición:

- Balanza digital de precisión
- Cintas métricas
- Manómetro
- Medidor de caudal
- Lisímetro
- Tanque tipo A

3.1.2 Ubicación del área de estudio

a. Localización

El experimento se llevó a cabo en la parcela demostrativa de Recursos Hídricos (DRH) de la facultad de Ingeniería Agrícola (FIA), en la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), colindante con el centro de ventas de la UNALM y a la derecha de la puerta principal. La ubicación geográfica es: Latitud su 12° 5' 06'', longitud oeste 76° 57' 00'' y altitud de 238msnm.Los datos climatológicos (Tabla 4) fueron obtenidos de la estación Von Humboldt-UNALM, perteneciente al departamento de Recursos Hídricos de la FIA, son correspondientes a la fase experimental.



Figura 9: Ubicación de la zona de estudio

b. Clima

El clima es seco, la precipitación en la zona es escasa, para la obtención de la información meteorológica se ha realizado la medición diaria actual en la estación Alexander Von Humboldt, ubicada en la Universidad Nacional Agraria La Molina.

Tabla 4: Condiciones climáticas en la UNALM (2000-2010)

Mes	T° media (°c)	HR Media (%)	Precipitación (mm)	Tanque de evaporación (mm)	Radiación MJ/m2/día
Enero	23.3	82	0.03	3.82	19.2
Febrero	24.7	81	0.06	3.61	16.9
Marzo	24.1	78	0.02	3.95	19.8
Abril	23.1	79	0.05	3.49	18.4
mayo	19.92	84.71	0.02	2.79	30.33
junio	16.51	92.93	0.01	1.36	28.34

FUENTE: Elaborada con información meteorológica de la Est. Von Humboldt-UNALM

c. Descripción del área experimental

El área experimental está situado en el campus universitario, perteneciente a la Facultad de Ingeniería Agrícola. El suelo es de tipo franco arenoso y cuenta con un sistema de riego presurizado, abastecido por un reservorio cuya capacidad es de 500 m³.

El sistema de riego presurizado cuenta con un reservorio, sistema de bombeo y un cabezal de riego conjuntamente con un sistema de fertirrigación.

La disposición de los laterales de riego estuvieron en función a los tratamientos en evaluación (RGS y RGSP). En RGS, se tendió una cinta que luego fue cubierta por una capa de suelo; y en RGSP se tendió dos cintas en paralelo con la finalidad de aplicar el riego parcial. En la Figura 10, se muestra un esquema del área experimental en la que se realizó el trabajo de campo.

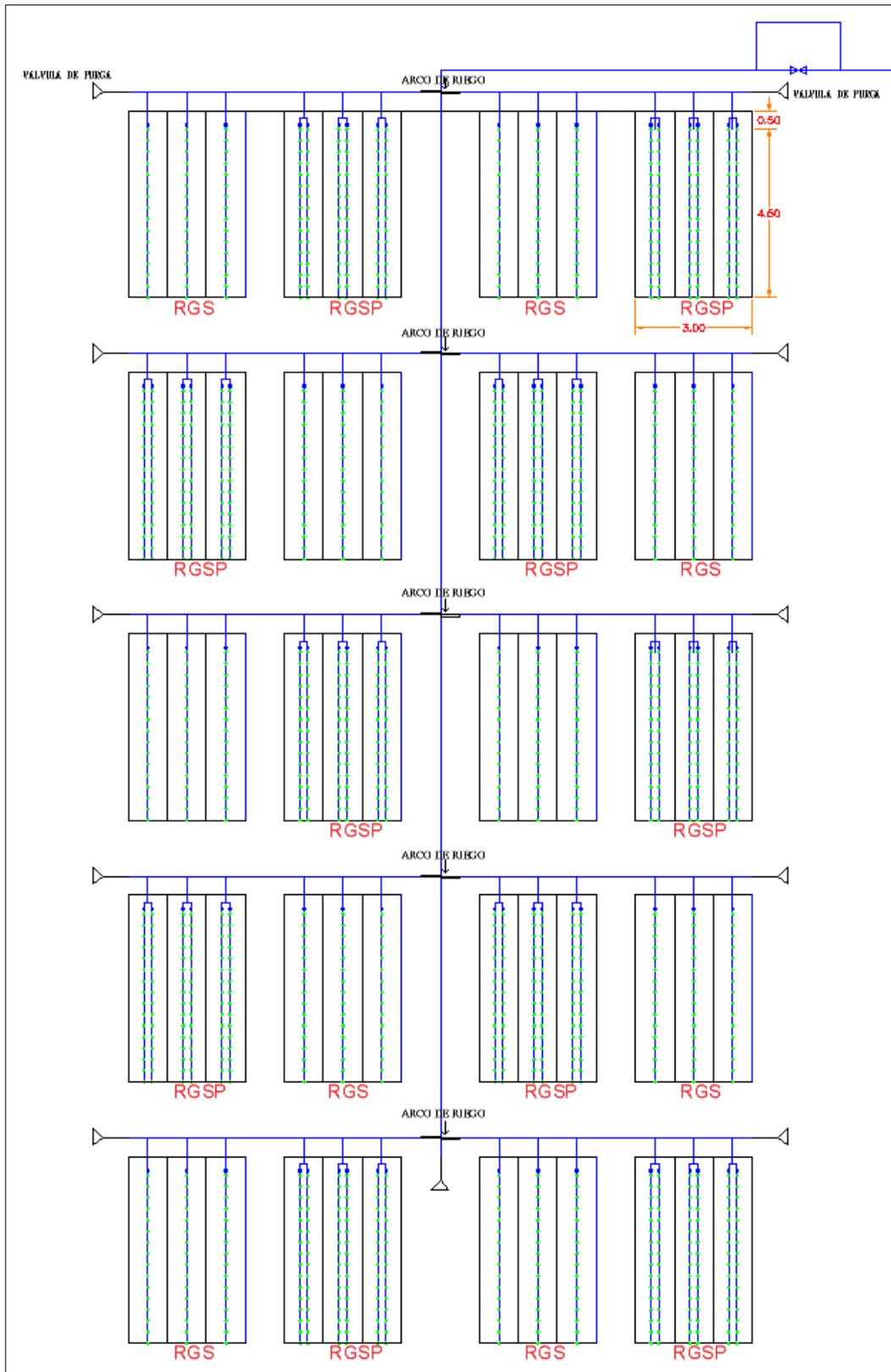


Figura 10: Esquema del área experimental

3.1.3 Material vegetal

Se utilizaron esquejes de camote, variedad Jonathan, que fueron obtenidos del fundo Del Instituto Nacional de Investigación Agraria (INIA) – Donoso ubicada en Huaral, con la garantía de estar libres de enfermedades y patógenos. En la Figura 11, se observa el semillero de camote, donde se realiza la masificación de las plantas de la variedad mejorada.



Figura 11: Vista interior del campo en el INIA Huaral a cargo del Ing. Cantoral

3.1.4 Características físicas y químicas del suelo

El análisis de suelos fue desarrollado por el Laboratorio de agua, suelo, medio ambiente y fertirriego, de la facultad de Ingeniería Agrícola, los resultados indican que la conductividad eléctrica (CE) es de 0.89 dS m⁻¹, valor que muestra que el suelo es ligeramente salino, de textura franco arenoso, de reacción moderadamente alcalino (pH 7.86), presentó un alto nivel medio de fósforo (42.99ppm) y alto nivel de potasio disponible (272 ppm), además presenta baja Capacidad de Intercambio Catiónico (10.93), notándose la necesidad de incorporar materia orgánica, siendo este (1.74%).

Tabla 5:Características Físicas del suelo

Análisis mecánico				CE	PH
Textura	Arena	Limo	Arcilla		
	%	%	%	dsm-	
Franco Arenoso	52.70	32.78	14.52	0.89	7.86

FUENTE: Laboratorio de Análisis de Agua, Suelo, Medio Ambiente y Fertirriego-FIA

De acuerdo a lo indicado en la Tabla 5 , para un rango de 0.0 a 0.40 m, el suelo presenta una textura franco arenoso, se observa que tiene buena capacidad de retención de humedad, buena aireación y adecuada permeabilidad; aptas para el desarrollo del cultivo. Los resultados en cuanto a nutrientes y iones intercambiables se pueden observar en la Tabla 6.

Tabla 6:Características químicas del suelo

Nutrientes			Cationes cambiabiles			
M.O	P	K	CIC	Ca	K	Na
%	Ppm	ppm	Cmol(+) Kg			
1.74	42.99	272	10.93	9.05	0.41	0.07

3.1.5 Agua

La fuente de agua proviene del río Rímac a través del canal de Ate y se deriva hacia el área experimental mediante canales revestidos, para ser almacenada en un reservorio de 500m³ .Luego el agua ingresa al sistema de riego a través de la red primaria y laterales respectivamente.

En la Tabla 7, se puede apreciar un resumen de los resultados obtenido el Laboratorio de Agua, Suelo, Medio Ambiente y Fertirriego de la Facultad de Ingeniería Agrícola. Para mayor detalle ver Anexo 3.

Tabla 7: Características del agua de riego

Parámetro	Unidades	Valor
CE	dS/m	0.63
Ph		7.4
Calcio	meq/l	4.6
Magnesio	meq/l	0.65
Sodio	meq/l	0.91
Potasio	meq/l	0.1
Suma de cationes		6.25
Cloruro	meq/l	0.98
Sulfato	meq/l	2.7
Bicarbonato	meq/l	2.8
Nitratos	meq/l	0
Carbonatos	meq/l	0
Suma de Aniones		6.49
SAR		0.56
Clasificación		C2-S1
Boro ppm	ppm	0.02
Dureza total	mg Ca CO ₃ /L	156.81
Alcalinidad total	mg Ca CO ₃ /L	140.19
Solidos suspendidos	mg/L	6
Turbidez	mg/L	10.2

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

De acuerdo a los análisis realizados en la investigación se identificó que el pH del agua fue 7.4; es considerada neutra. La salinidad fue de 0,63 dS/m, por ello el agua utilizada fue clasificada como C2, es decir de salinidad moderada. La cantidad de sodio nos indica el efecto que puede tener el agua en la permeabilidad del suelo, es decir puede afectar el drenaje del agua en el suelo. Para clasificar el contenido de sodio en el agua, se utiliza la relación de adsorción de sodio (RAS) que para el experimento fue de 0,56. Valores que pertenecen a la clasificación S1, la cual indica que no se presenta peligro de sodio. Por consiguiente, al considerar la salinidad y la presencia de sodio en el agua, deducimos que se desarrolló la investigación con un agua C2 – S1, lo que significa un agua de buena calidad para los cultivos que toleran moderadamente la sal y que no se afectó la permeabilidad ni la estructura del suelo.

3.2 METODOLOGÍA

El presente trabajo de investigación se desarrolló entre los meses de Febrero a Junio del 2018.

3.2.1 Tratamientos

La investigación se realizó con dos tratamientos; con 10 repeticiones cada uno. El tratamiento control (RGS) (100% de ETc) que tuvo riego por goteo subterráneo y el tratamiento con riego parcial de raíces al 50% de ETc.

Tabla 8: Tratamiento

Tratamiento	Descripcion
RGS	Riego por goteo subterráneo al 100% ETc
RGSP	Riego parcial de raíces por goteo subterráneo al 50% ETc

En las figuras 12 y 13, se muestra la distribución de las unidades experimentales.

RGS -1	RGSP -1	RGS - 2	RGSP -2
RGSP - 3	RGS - 3	RGSP -4	RGS-4
RGS - 5	RGSP -5	RGS - 6	RGSP – 6
RGSP -7	RGS - 7	RGSP - 8	RGS – 8
RGS - 9	RGSP - 9	RGS - 10	RGSP – 10

Figura 12: Distribución de unidades experimentales con 10 repeticiones cada uno

3.2.2 Diseño experimental

Se estableció el Diseño Completamente al Azar (DCA), con dos tratamientos uno con Riego por Goteo Subterráneo (RGS) y el otro con Riego Parcial por Goteo Subterráneo Parcial (RGSP), y diez repeticiones, distribuido en 360 m² de área neta. Cada unidad experimental (UE) fue de 18 m², en el cual se sembraron 20 esquejes por surco, teniendo en total 60 esquejes por unidad experimental.

Cada unidad experimental tuvo tres líneas de riego separadas a 1 m. Se instaló en el campo cintas de riego, con goteros autocompensados de 1.2 L h⁻¹ y con espaciamiento entre emisores de 30 cm.

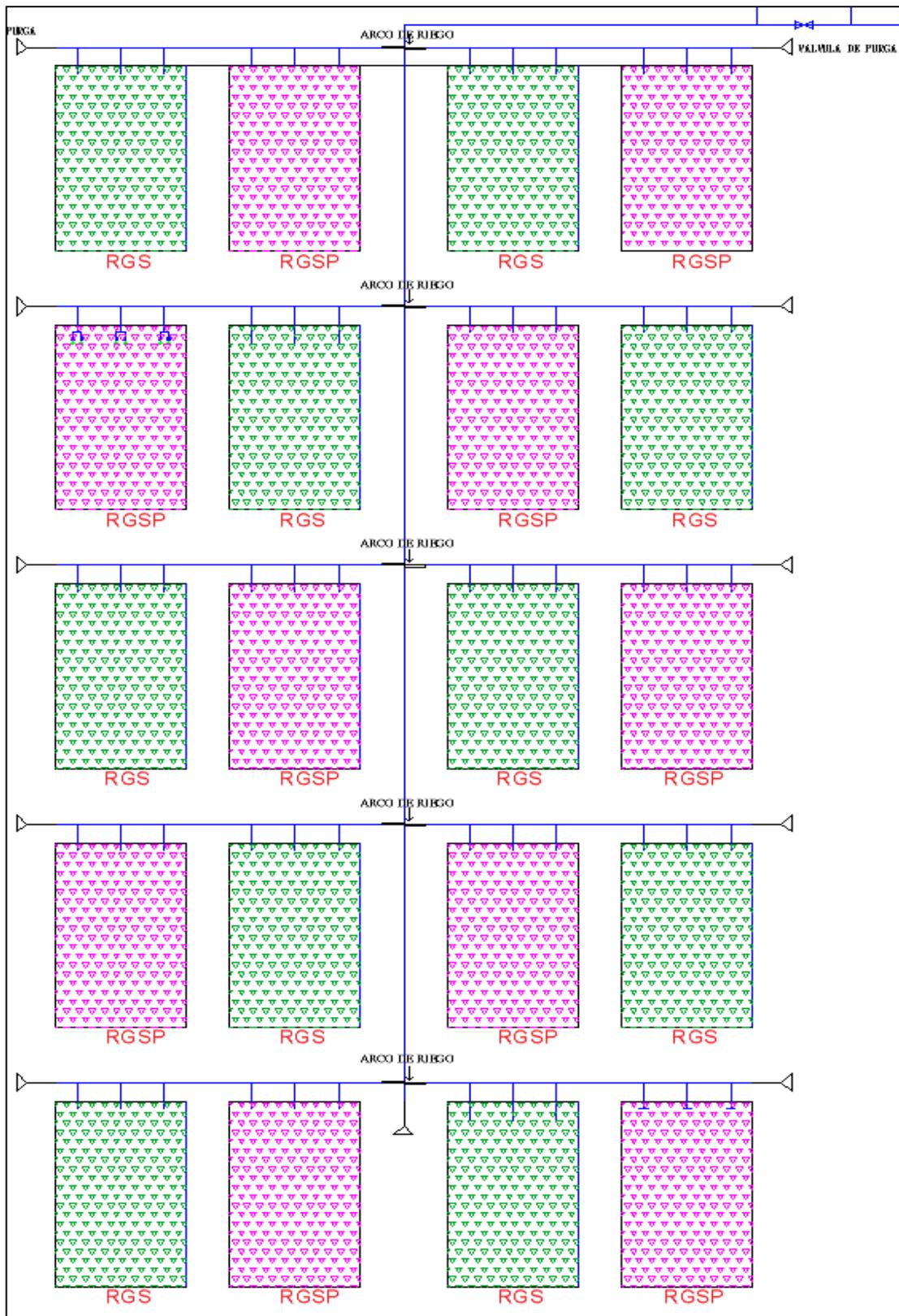


Figura 13: Diseño de campo

3.2.2.1 Especificaciones de la siembra

El área neta total fue de 360 m², (sin considerar bordes y caminos), cada tratamiento tuvo 180 m² dividido en 10 unidades experimentales, cada UE estuvo compuesto de 3 surcos y en cada surco se sembraron 20 esquejes con un espaciamiento de 30cm entre las mismas. En la Tabla 9, se muestra las características detalladas de cada UE.

Tabla 9: Dimensiones de la unidad experimental

Distancia entre plantas	0.30 m
Distancia entre surcos	1.00 m
Numero de plantas por surco	20
Número de surcos por unidad experimental	3
Largo del surco	6 m
Ancho de unidad surco	3 m
Área de unidad experimental	18 m
Número de unidades experimentales	20
Área neta del experimento	360 m
Área libre (de calles)	252 m
Área total del experimento	612 m

3.2.3 Conducción del experimento

a. Preparación del terreno

La limpieza del terreno se realizó en forma manual utilizando lampa, pico, rastrillo; culminado el trabajo de limpieza se procedió a la preparación del campo, para ello se realizó un riego pesado, utilizando 4.5 m³ de agua, equivalentes a 180m³ ha⁻¹. El volteo del suelo se realizó de forma mecanizada, se utilizó el arado de discos, seguidamente se realizó el nivelado y desterronado utilizando rastrillo y finalmente se procedió a replantar el terreno de acuerdo al diseño experimental, considerando parcelas en forma de camas uniformes con surcos de 0.5 m de profundidad para instalar las cintas del riego subterráneo .

b. Sistema de riego

El sistema de riego está formada por los siguientes componentes: reservorio, cabezal de riego (sistema de filtrado, equipo de fertilización, válvulas medidoras, unidad de control, reguladores de presión y sus indicadores), posteriormente el agua es conducida bajo presión hasta el lugar donde se dará uso.

Mediante la red primaria, el agua se llevó a la parcela, y de allí a la red secundaria para distribuirla a cada unidad experimental, conectándose a la red terciaria, en este caso a las cintas de riego. Las cintas empleadas (METZERPAS) fueron de 16mm de diámetro, de clase 1000 y con goteros autocompensados de 1.2 L h⁻¹ para un rango de presión entre 2.0 -2.5 bar, las cuales fueron enterradas a 5cm de la superficie del suelo.

c. Labores culturales

- Deshierbe

Culminada la siembra de los esquejes, durante las primeras cinco semanas se realizó el deshierbe en el campo de forma manual. Esto permitió disminuir la competencia de las plantas de camote con las malezas, el camote es una planta rastrera y una vez que la planta cubrió el surco, las malezas se redujeron considerablemente.

- Aporque

La labor de recalce se realizó a los 20 días después de la siembra, mientras que el aporque se realizó a los 40 días de sembrado las raíces reservantes.

- Abonamiento y control fitosanitario

En la presente investigación, se realizó la fertirrigación, utilizando un producto orgánico denominado como BIOLAC, este es un consorcio de microorganismos benéficos o GRAS (Generalmente Reconocidos como Seguros) concentrado líquido de amplio uso en el sector agropecuario.

presenta un complejo de bacterias benéficas cuyos metabolitos mejoran el pH del suelo, acelerando el proceso de descomposición de la materia orgánica e incrementando la población microbiana benéfica del suelo, optimiza la solubilidad de los nutrientes y activa y estimula los procesos fisiológicos de las plantas. Protege el medio ambiente, no contamina el agua y restaura el suelo en el agro ecosistema.

Dentro de sus bondades tenemos: Es un acidificante orgánico, presenta un pH de 3,5 a 3,8; permite el aumento de la solubilidad de los nutrientes del suelo y su absorción por las; incrementa la población de microorganismos benéficos del suelo como bacterias promotoras de crecimiento.

El BIOLAC, fue aplicado mediante fertirrigación en 17 oportunidades, con una dosis variable en función al desarrollo vegetativo, como indica la Tabla 12 esta solución se inyecta al sistema presurizado utilizando un Venturi.



Figura 14:BIOLAC microorganismos benéficos.

FUENTE: NOGA-FER PERU SAC.

Tabla 10: Plan de fertirrigación

Fecha de aplicación	DDS	Dosis BIOLAC	Volumen de solución madre
16/02/2018	20	200 mil	40 L
24/02/2018	28	200 mil	40 L
04/03/2018	36	250 mil	40 L
12/03/2018	44	250 mil	40 L
20/03/2018	52	250 mil	40 L
28/03/2018	60	250 mil	40 L
05/04/2018	68	300 mil	40 L
13/04/2018	76	300 mil	40 L
21/04/2018	84	300 mil	40 L
29/04/2018	92	300 mil	40 L
07/05/2018	100	250 mil	40 L
15/05/2018	108	250 mil	40 L
23/05/2018	116	250 mil	40 L
31/05/2018	124	250 mil	40 L
08/06/2018	132	200 mil	40 L
16/06/2018	140	200 mil	40 L
24/06/2018	148	200 mil	40 L

- **Aplicación foliar de nutrientes.**

Para complementar la nutrición se aplicó bia foliar el producto orgánico denominado como BIOLAC, este es un consorcio de microorganismos benéficos o GRAS (Generalmente Reconocidos como Seguros) concentrado líquido de amplio uso en el sector agropecuario.

Plan de aplicación:

La aplicación se hizo con la ayuda de una mochila de fumigar de capacidad 20L de solución. El plan se muestra en la Tabla 11.

Tabla 11: Plan de aplicación foliar.

Fecha de aplicación	DDS	Dosis BIOLAC	Volumen de solución madre
16/02/2018	20	100 mil	20 L
02/03/2018	34	100 mil	20 L
16/03/2018	48	150 mil	20 L
30/03/2018	62	250 mil	20 L
13/04/2018	76	250 mil	20 L
27/04/2018	90	250 mil	20 L
11/05/2018	104	150 mil	20 L
25/05/2018	118	150 mil	20 L
08/06/2018	132	100 mil	20 L
22/06/2018	146	100 mil	20 L

Se aplicó fertilizante orgánico dos veces por semana durante todo el periodo vegetativo de la planta, se aplicó humus (ácido húmico) y Biolac.

El control fitosanitario fue cultural y orgánico, con aplicaciones de productos orgánicos (Biolac) para el control de plagas.

Al momento de aplicar abono orgánico como fertirriego se aplicó también abono foliar del mismo producto (Biolac), esta operación se realizó dos veces por semana durante todo el período vegetativo al notar la presencia de mosca blanca (Aleyrodidae) en el campo, se decidió fumigar para evitar que se propaguen, hizo la aplicación de Abementina 1.8% p/v Ec, en dos oportunidades.

- Cosecha

La cosecha se realizó a los 153 días después de la siembra, realizando esta labor planta.

- Monitoreo de la humedad del suelo

Se extrajeron muestras de suelo para determinar el contenido de humedad en el suelo, antes de cada riego.

- **Medición de plantas**

Se realizó la medición de la altura y área foliar de las plantas elegidas al azar en cada unidad experimental.

3.2.4 Riegos

Para obtener los riegos se realizaron en base a las mediciones diarias de las lecturas de tanque evaporimetro tipo A ubicado en el campus de la Facultad de Ingeniería Agrícola, UNALM además de la lectura del tanque se requirió la data del promedio diario de la humedad relativa y la velocidad del viento para poder obtener el factor de corrección del tanque. Con esta información se pudo calcular la evapotranspiración de referencia actual diaria y con ello obtener la lámina de agua a reponer y el tiempo de riego para el cultivo. Anexo 4. En la Tabla 12, se presenta la evapotranspiración del cultivo de referencia de febrero a junio del 2018.

Tabla 12: Evapotranspiración de referencia de febrero a junio del 2018 (mm día⁻¹)

Día	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
01		1.92	2.26	1.60	2.16
02		3.68	2.85	2.72	0.88
03		4.48	3.14	2.32	0.80
04		3.36	2.50	3.92	0.80
05		3.84	3.17	4.32	0.80
06		4.24	3.14	3.12	0.56
07		3.60	2.64	4.11	0.72
08		3.35	2.58	2.74	1.20
09		2.08	2.50	2.66	1.04
10		2.88	2.02	2.08	0.88
11		3.04	2.46	2.16	2.16
12		3.20	4.08	2.26	0.96
13		2.56	1.62	2.24	0.88
14		2.78	1.58	2.34	0.64
15		2.70	2.16	2.20	1.04
16	3.36	3.21	2.34	1.52	0.56
17	4.32	2.46	2.50	4.00	0.56
18	3.04	2.98	2.98	4.32	1.12
19	3.28	3.28	4.00	0.50	2.00
20	3.20	3.25	1.71	1.52	0.96
21	3.28	3.08	3.48	3.87	0.96
22	2.72	3.16	3.20	2.78	1.60
23	3.20	3.02	3.07	3.14	1.92
24	3.28	3.21	2.72	1.78	2.00
25	3.60	3.06	1.02	1.50	1.04
26	4.40	3.02	1.52	1.58	1.20
27	3.52	2.79	2.30	1.76	1.36
28	2.80	3.03	3.28	0.96	1.20
29	===	3.23	2.37	0.96	1.36
30	===	3.06	2.27	1.04	0.88
31	===	2.90	===	2.08	===

- **Características agronómicas**

En la Tabla 13 se resumen las características agronómicas consideradas en el presente trabajo de investigación.

Tabla 13: Características agronomicas

Cultivo	Camote
Separacion entre plantas	0.30 m
Separacion entre líneas de plantas	1.00 m
Superficie ocupada por plantas	360 m ²
Caudal del gotero	1.20 l/h
Diametro de humedecimiento del emisor	30cm
Solape entre emisores	40%
Separacion entre emisores	0.30 m
Area neta mojada por emisores	0.09m ²
Porcentaje de superficie mojado	79%
Numero mínimo de emisores calculados	3
Número de lateral / hilera RGS	1
Número de laterales /hilera RGSP	2
Número de emisores corregido por m ²	3

- **Evapotranspiración del cultivo (ET_c)**

Este valor está influenciado por la evapotranspiración de referencia (ET_o) y el coeficiente de cultivo (K_c) de camote para ello se utilizó la Tabla 1 (Baigorria 1994). Para reponer el agua consumida se acumuló las evapotranspiraciones de los días correspondientes después del último riego. Esta suma se multiplicó por el coeficiente de cultivo (K_c) de la etapa fisiológica de la que se encontraba el cultivo, proporcionando así el valor de la evapotranspiración del cultivo (ET_c).

$$ET_c = ET_o * K_c$$

* ET_o=Lectura del tanque de evaporímetro TIPO A

- **Nececesidades netas de agua de riego (mm/día)**

Para el cálculo de las necesidades netas de agua de riego, se ha considerado la precipitación efectiva como nula.

$$Nn = \text{Perdidas} - \text{Ganancias} \rightarrow Nn = (ETc) - (Pe)$$
$$Nn(\text{mm/día}) = ETc \dots \dots \dots (1)$$

*Evapotranspiración del cultivo

- **Cálculo de la eficiencia de riego**

- Factor de lavado

De acuerdo a los análisis de suelo y de agua realizados, el suelo presenta una CE de 1.02 dS m y el agua de 0.63 dS m El camote es un cultivo moderadamente sensible a la salinidad y en el experimento el porcentaje del **requerimiento de lavado obtenido es de 10%**.

- Coeficiente de uniformidad (Cu)

Se ha considerado un coeficiente de uniformidad de 95% para un sistema de riego por goteo.

- Eficiencia de riego

La eficiencia de conducción y la eficiencia de distribución son 100%. La eficiencia de aplicación, según el riego localizado y coeficiente de uniformidad, es de 95 %, por lo que la eficiencia de riego tuvo un valor 95%.

- **Lámina de riego (mm/día)**

Para el cálculo de las necesidades totales de agua de riego, está afectada por las eficiencias de aplicación, el coeficiente de uniformidad (CU) y la fracción de lavado.

$$Lr = \frac{Nn}{Ea * CU} \dots \dots \dots (2)$$

Ea: Eficiencia de aplicación. $\rightarrow Ea = 0.95$

CU: Coeficiente de uniformidad → $CU = 0.95$

- **Tiempo de riego**

El tiempo de riego se calculó como la relación de la lámina total entre el caudal del emisor y el número de plantas por metro lineal de cultivo. Una vez cumplido este tiempo, con el que se contempla la dosis de agua del tratamiento, se cerraron las válvulas para 100% luego se abrieron para el 50%

Con los resultados de (1) y (2) se procede a calcular el tiempo de riego.

$$T = \frac{(Lr \text{ (mm)}) * a * b * 60}{qe} \text{ (minutos)}$$

a: separación entre plantas, → $a = 0.30m$

b: separación entrelaterales de riego, en metros → $b = 1 m$

60: factor de conversión de horas a minutos

qe: caudal del gotero → $qe = 1.2l/h$

- **Frecuencia de riego (días)**

Este valor viene afectado por la capacidad de almacenamiento de agua del suelo y del cultivo, la superficie mojada y la lámina neta de riego. La frecuencia considerada para el experimento fue de 1 día.

3.2.5 Pruebas de coeficiente de uniformidad (CU)

Las pruebas de uniformidad de riego se realizaron antes de realizar la siembra. Durante la prueba se tuvo la presión de 2.5 m.c.a. en el cabezal y 2.0 m.c.a. en los laterales. El tiempo considerado para obtener muestras de flujos de los emisores fue de uno y dos minutos controlados con un cronómetro. Las descargas de cada emisor, se llevaron a una probeta graduado en mililitros (ml), Para el cálculo del coeficiente de uniformidad (CU), se utilizó la ecuación propuesta por Merriam y Kéller en 1978, que incluye solo factores hidráulicos y se utiliza tanto para la instalación de nuevos equipos como para la evaluación de equipos en funcionamiento.

$$Cu = \frac{Q_{25}}{Q_a}$$

Dónde:

Cu = Coeficiente de uniformidad.

Q_a = Caudal medio de todos los emisores.

Q₂₅ = Caudal medio de emisores que conforman el 25% de caudal más bajo.

3.2.6 Determinación del contenido de humedad del suelo

La toma de muestras se realizó en cada una de las unidades experimentales y se luego se tomó el promedio por cada tratamiento. La determinación del contenido de humedad, fue por el método directo o conocido también como método gravimétrico.

- a. Se extrajeron muestras de suelo húmedo en cada tratamiento.
- b. Las muestras fueron envasadas en bolsas de papel.
- c. En el laboratorio, las muestras húmedas fueron pesadas y colocadas en una estufa durante 24 horas a una temperatura de 105 °C, luego se volvió a pesarlo.
- d. El análisis de humedad de las muestras se hicieron en base a suelo seco, de acuerdo a la relación:

$$H_s = \frac{M_a}{M_s} * 100$$

Dónde:

H_s = Humedad en base a suelo seco, en %.

M_a = Masa de agua (g).

M_s = Masa de suelo seco (g) en estufa a 105°C y por 24 horas.

- e. Los resultados sirvieron para elaborar un gráfico con los valores de porcentaje de humedad.

Se debe considerar también que el agua disponible para la planta (ADP) es la diferencia en contenido de humedad entre la capacidad de campo y el punto de marchitamiento

Tabla 14: Capacidad del suelo para retener agua.

Profundidad (cm)	CC %	PMP (%)	Da (gr/cm ³)	Agua retenida (%)	Agua retenida (mm)
0-30	19.1	7.8	1.5	16.95	50.85

3.2.7 Evaluación del sistema de riego

- Presión promedio de trabajo del sistema: Se evaluó durante todo el ciclo vegetativo del cultivo de camote.
- Caudal: Se evaluó durante todo el ciclo vegetativo del cultivo de camote.
- Coeficiente de uniformidad: Se evaluó antes de la siembra.

3.2.8 Evaluación de crecimiento y desarrollo de la planta

a) Área foliar

El análisis de cobertura se realizó una vez por semana durante todo el periodo experimental. Este análisis fue hecho haciendo el seguimiento de 60 plantas marcadas completamente al azar y distribuidas por todo el campo.

Para este análisis, se usó un marco de madera cuyas dimensiones son de 1.06 m x 0.56 m. El área dentro del marco de madera, fue separada por pábilos distanciados cada 5 cm tanto a lo largo como a lo ancho, quedando así una malla con sectores cuadrados de 5 x 5 cm.

Luego, este cobertor se pone suspendido en el aire sobre la planta, pudiéndose contar así el número de cuadrados que la planta llenaba, luego de ello se llevó esta imagen al Autocad y al delimitar la planta se obtuvo el área proyectada de la planta sobre el suelo (cobertura), un ejemplo del trabajo realizado se aprecia en la Figura 15.



Figura 15: Delimitación del área foliar de camote

b) Altura de plantas

Se midió desde el cuello de la planta hasta el ápice del tallo principal. Para evaluar el crecimiento de las plantas se realizó las mediciones de altura en las 60 plantas seleccionadas en el área experimental, para posteriormente tomar un promedio de los datos obtenidos en cada unidad experimental.

3.2.9 Evaluación de la cosecha

Se realizó luego de culminado el periodo vegetativo del cultivo, es decir a los 153 días. Se registraron datos de la producción total por planta en toda el área experimental.

a. Rendimiento (kg/ha) total de raíces reservantes

Peso total por hectárea: Es el valor estimado llevado a hectárea con relación al valor total hallado para cada unidad experimental.

Para cada tratamiento se considerará el producto final cosechado.

b. Eficiencia de uso de agua (EUA)

Se refiere al rendimiento de raíces reservantes obtenidos por cada metro cúbico de agua aplicada.

$$EUA \text{ (Kg/m)} = \frac{\text{Rendimiento (Kg/ha)}}{\text{Volumen de agua aplicado (m}^3\text{/ha)}}$$

Evaluar el efecto del riego parcial de la raíz (RPGS) en el rendimiento del cultivo de camote de variedad Jonathan, (*Ipomoea batatas*) utilizando el sistema de riego por goteo subterráneo.

Determinar la eficiencia del uso del agua en el cultivo de camote variedad Jonathan al aplicar el riego parcial de la raíz (RPGS).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 TIEMPO DE RIEGO

Durante toda la etapa fenológica del cultivo, el tiempo de riego se calculó de acuerdo a la evapotranspiración diaria, se tomó como referencia las lecturas del tanque evaporímetro Tipo A, la frecuencia de riego utilizada fue de un día, teniendo en cuenta que la variación de la lámina de riego se encuentre entre 2 y 10 mm.

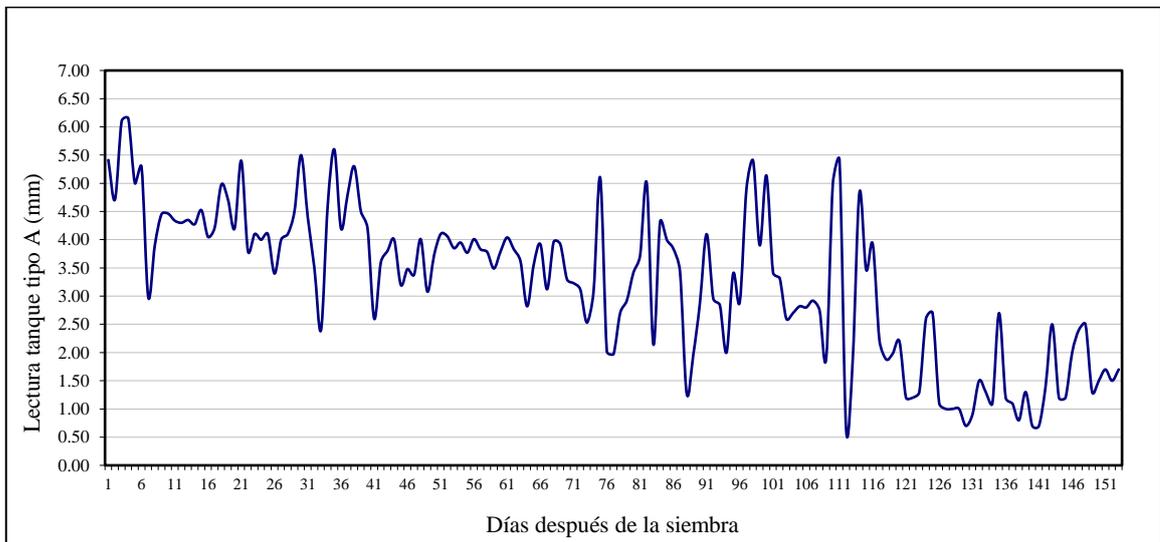


Figura 16: Lectura del tanque Tipo A

En la fase de establecimiento del cultivo tuvo una duración de 25 días y se aplicaron 13 riegos con una lámina acumulada de 47.34mm para RGS Y 42.02mm para RPGS, la segunda etapa tuvo una duración de 30 días y recibió 15 riegos con una lámina de 61.45mm para RGS y 30.72mm para RPGS, la tercera etapa tuvo una duración de 45 días y se aplicaron 36 riegos con una lámina de 117.53mm para RGS y 58.76mm para RPGS, la última fase tuvo una duración de 51 días y se aplicaron 41 riegos con una lámina de 74.69mm para RGS y 37.34mm para RPGS.

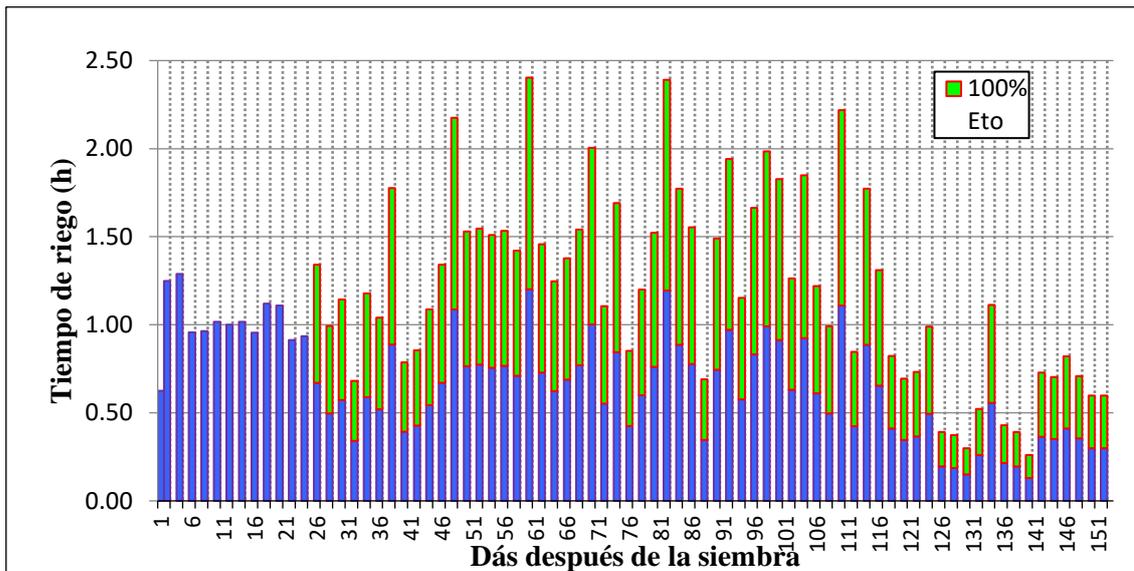


Figura 17:Tiempo de riego en horas

4.2 VOLUMEN DE AGUA APLICADO

Para la investigación realizada, se consideró aplicar el 100% y 50% de la lamina requerida por la planta, en RGS y RGSP respectivamente, durante la fase no experimental, el volumen de agua y las fechas en que se regó fueron las mismas, mientras que en la fase experimental se aplicó el 100% ETc en RSG y 50% ETc en RGSP. En la Tabla 15, se muestra la información del volumen de agua aplicado durante todo el periodo vegetativo para el cultivo de camote. Para el experimento se consideró 20 días de fase no experimental tiempo que tardan los esquejes en pegarse al suelo al 100%.

En la Tabla 15, se observa el volumen de agua aplicado a cada tratamiento durante la campaña. Como se puede apreciar, durante la fase no experimental se aplicó menor cantidad de agua que en la fase experimental, debido a que corresponde desde el inicio de tuberización hasta la madurez completa, el requerimiento hidrico es mayor (Molina, 2010).

Tabla 15: Volumen de agua aplicada ($m^3 ha^{-1}$) por tratamiento

TRATAMIENTO	No experimenta ----- $m^3 ha$ -----	Experimental	V. Total
RGS	407.68	3216.50	3624.18
RGSP	407.68	1608.25	2015.93

Tabla 16: Lámina aplicada por cada estado fenológico (mm)

FASE FENOLOGICAS	DURACIÓN	N° DE RIEGOS	LAMINA APLICADA (mm)	
			RGS	RGSP
Fase de establecimiento del cultivo	25	13	47.34	47.34
Fase de desarrollo del cultivo	30	15	61.45	30.72
Fase de mediados del periodo	45	36	117.53	58.76
Fase finale de periodo	51	41	74.69	37.34
Total	151	105	301.00	174.17

Según el INIA (2000), el agua requerida en una campaña de producción de camoten bajo riego tradicional (riego por gravedad) es de 6500m³/ha.

Comparativamente se puede mostrar que mediante el uso del sistema de riego utilizando en la presente investigación, se logra ahorrar agua en 69% y 44% , tanto en RGSP y RGS respectivamente. Queda claro que existe un ahorro considerable al cambiar de un sistema tradicional un riego tecnificado subterráneo, sin dejar de lado otros beneficios (reducción de evaporación y malezas, mejor uniformidad en el riego, reducción en el empleo de fungicidas, mejor aplicación de fertilizantes por fertiriego, etc).

Si bien es cierto las cantidades de agua para ambos tratamientos fue menor que riego convencional, se debe considerar la eficiencia en el uso del agua, ya que por los resultados que se han reportado se muestra que con el tratamiento RGS se obtiene el 30% de EUA respecto al tratamiento RGSP.

4.3 CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO

Para poder observar el movimiento del agua en el perfil del suelo y su disponibilidad, se realizaron mediciones del contenido de humedad del suelo antes de cada riego.

El cultivo de camote tiene la característica de formar raíces profundas. Los riegos han sido realizados dependiendo la pérdida de humedad del suelo y la frecuencia ha sido tal que no se tenga una lámina evaporada acumulada muy elevada.

Es importante notar que en el experimento se ha evitado tener riegos pesados. Las fases críticas del camote al déficit hídrico se presentan, después del trasplante y en el momento de llenado de las raíces reservantes. En la etapa de maduración se ha evitado el riego para evitar la pudrición de las raíces reservantes.

En la siguiente figura muestra la gráfica de comparación de humedad para los dos tratamientos.

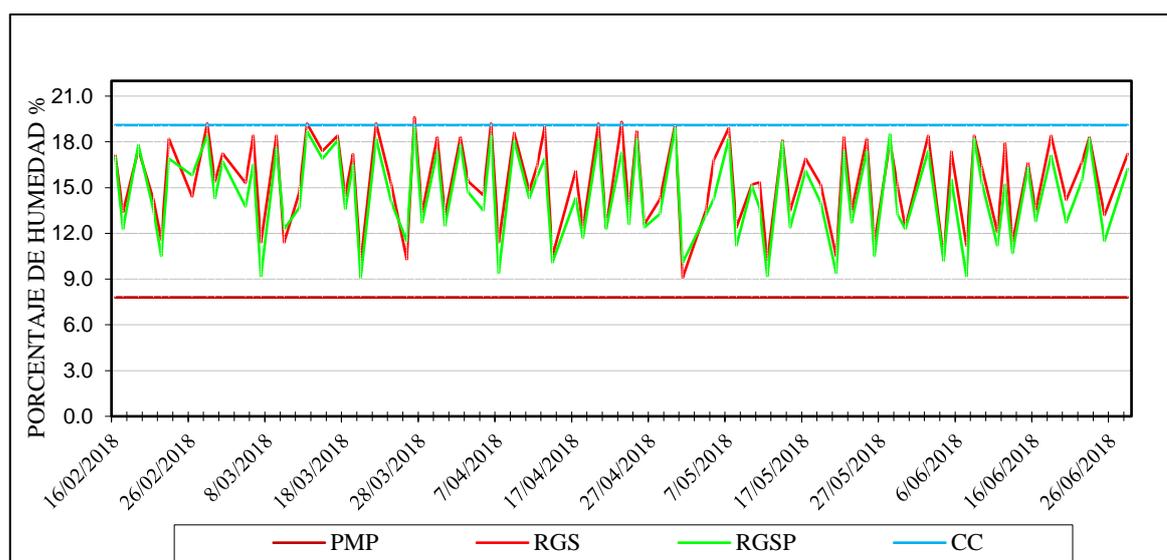


Figura 18: Diagrama de contenido de humedad

En la Figura 18, se muestra el diagrama del contenido de humedad, como se puede apreciar en el tratamiento de riego por goteo subterráneo (RGS) el porcentaje de humedad es ligeramente superior al riego por goteo subterráneo parcial (RGSP).

Durante todo el periodo vegetativo, se trató en lo posible que el porcentaje de humedad se encuentre cerca a la capacidad de campo, la humedad disponible viene a ser 11.3%. Se debe indicar que en los riegos aplicados a los cultivos no se debe permitir un agotamiento mayor del 40 al 60% de la humedad disponible, a fin de mantener un apropiado nivel de humedad para el cultivo. En nuestro caso la humedad disponible usada por el cultivo ha sido de 5.43% valor que equivale al 60% de la humedad disponible.

4.4 ANÁLISIS DEL CRECIMIENTO Y DESARROLLO DE LA PLANTA

4.4.1 Área foliar

Existe mínima diferencia del área foliar entre RGS y RGSP, siendo superior, este último, en todas las etapas fenológicas.

El tratamiento RGSP tuvo un área foliar máxima a los 75 días después de la siembra obteniendo un 25.1% más en comparación con el tratamiento RGS.

Para ambos tratamientos se tuvo un área foliar máximo a los 75 días después de la siembra, en la curva de crecimiento que se aprecia en la Figura 19, se puede notar que hasta los 47 días el área foliar para ambos tratamientos tienen valores cercanos, a partir de ahí el tratamiento RGSP presenta mayores valores en comparación con el tratamiento RGS, hasta los 124 días en que los valores promedios del área foliar logran tener valores cercanos pero el RGSP sigue siendo mayor al RGS, a partir de ello hasta los 138 días la diferencia entre el tratamiento RGS se sigue manteniendo ligeramente mayor respecto al tratamiento RGSP.

Se debe indicar también que en los resultados se ha promediado los valores de las 30 plantas analizadas para cada tratamiento.

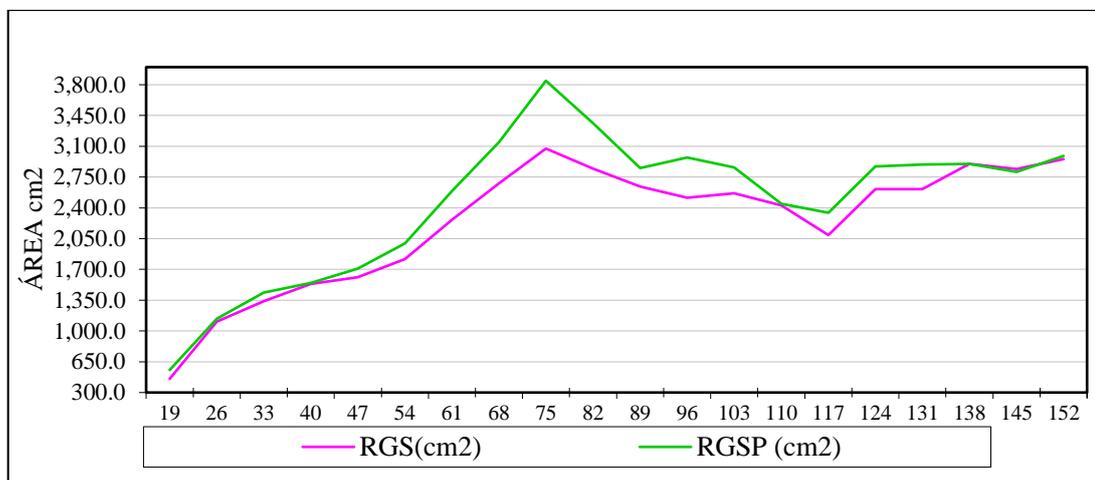


Figura 19: Variación del área foliar según tratamiento

4.4.2 Altura de planta

El tratamiento del RGS tuvo una altura de planta mayor en todas las etapas fenológicas del cultivo en comparación con el tratamiento del RGSP.

El tratamiento RGS tuvo una altura máxima a los 75 días después de la siembra obteniendo un 6.6 % más en comparación con el tratamiento RGSP.

Para ambos tratamientos se tuvo una altura de planta máxima a los 75 días después de la siembra, en la curva de crecimiento que se aprecia en la Figura 20 puede notar que hasta los 131 días la altura de planta para ambos tratamientos tienen valores cercanos, notándose mayor altura en el tratamiento RGS, posteriormente se registró alturas superiores en el tratamiento RGSP hasta la culminación del periodo vegetativo del cultivo. Se debe indicar también que en los resultados se han promediado los valores de las 30 plantas analizadas para cada tratamiento.

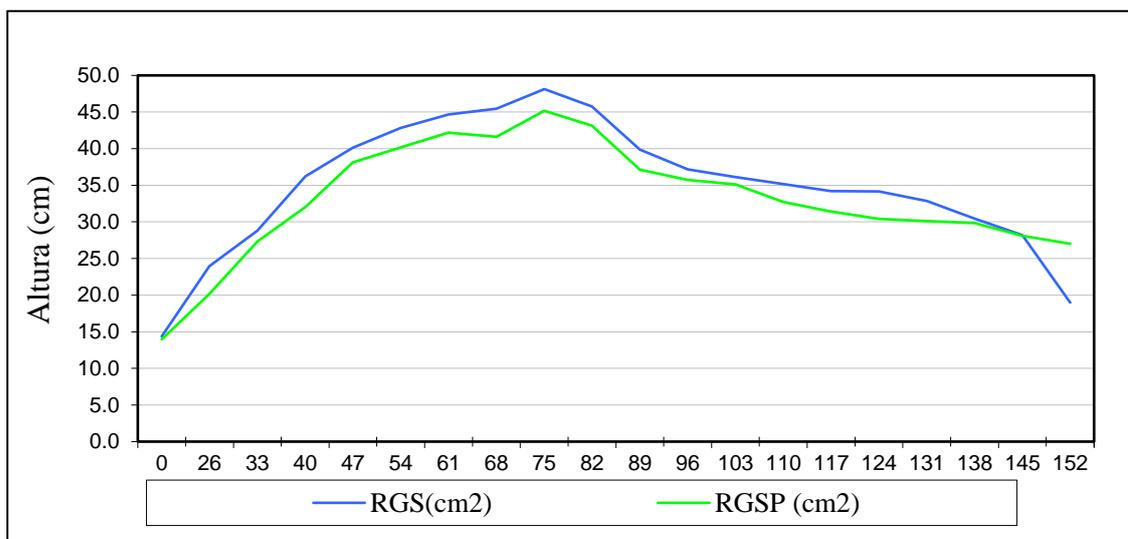


Figura 20: variacion de la altura de la planta según tratamiento

4.5 RENDIMIENTO DE RAÍCES RECERVANTES DEL CULTIVO DE CAMOTE VARIEDAD JONATHAN

4.5.1 Rendimiento total de raíces reservantes ($t\ ha^{-1}$)

El rendimiento alcanzado por el tratamiento de riego por goteo subterráneo (RGS) ha sido de $27.70\ t\ ha^{-1}$ y $21.80\ t\ ha^{-1}$ para el tratamiento de riego por goteo subterráneo parcial (RGSP). El rendimiento de RGS es superior en 21.3% respecto a la producción del RGSP. Los resultados indicados los podemos apreciar en la Figura 21.

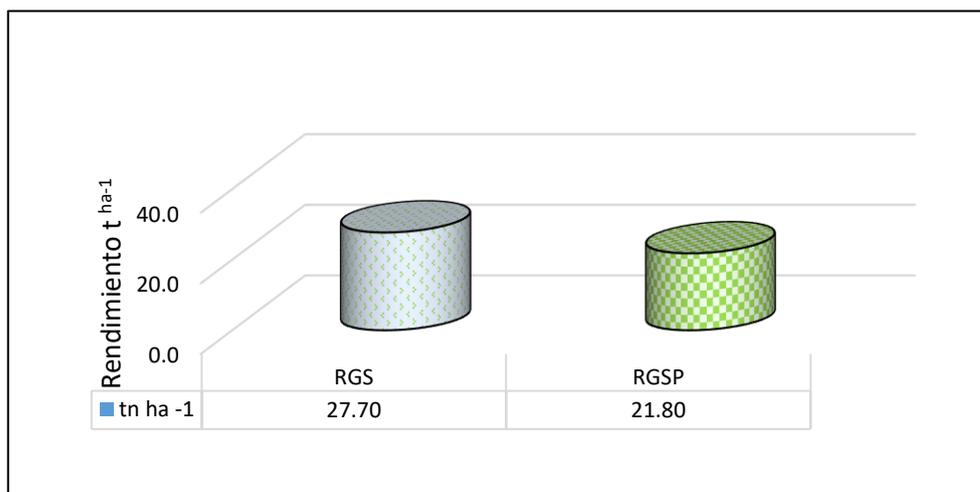


Figura 21: Rendimiento total de raíces reservantes

- **Análisis estadístico**

La Figura 22, muestra la distribución de los tallos reservantes por unidad experimental, notándose, en el tratamiento RGSP, mayor consistencia en la distribución de los datos.

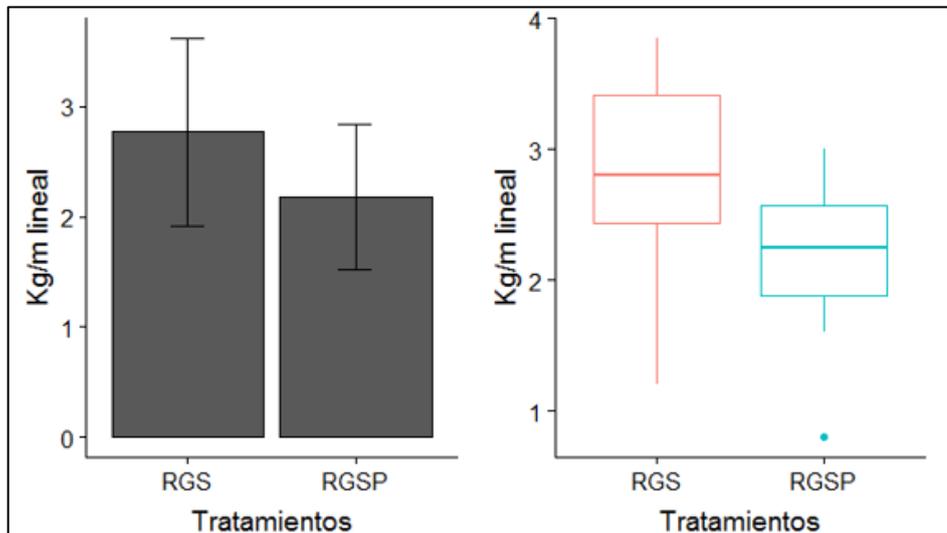


Figura 22: Diagrama de cajas para el rendimiento total por tratamiento

- **Supuesto Básicos (Normalidad y homogeneidad de varianzas)**

En la Figura 23, la curva (Normal Q-Q Plot) da indicios de que los errores tienden a distribuirse normalmente (los puntos de los cuantiles están cerca de la diagonal); mientras que la curva (Resid vs Fitted) muestra que en la variable no existe un patrón o tendencia obvia en los puntos, es decir los valores ajustados frente a sus residuos parecen bastante aleatorios. En base a esto, se sospecha que no se tiene problemas de no homogeneidad ya que los residuos parecen tener la misma varianza al ser constantes.

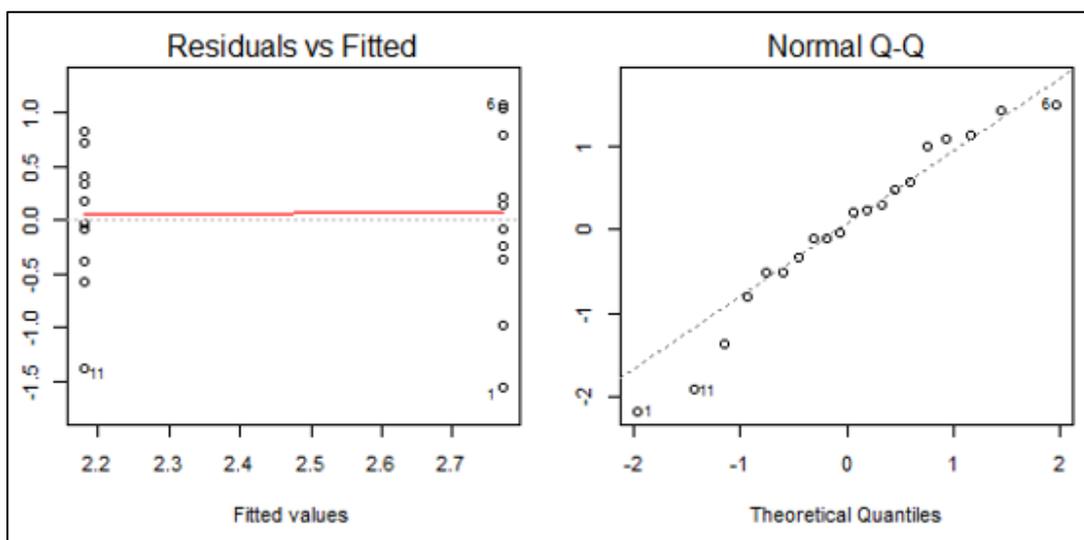


Figura 23: Normalidad de error de residuos estandarizados de rendimiento total

- **Análisis de Varianza (ANOVA)**

Los resultados obtenidos se muestran en el Anexo 10 , para el análisis del rendimiento total se ha considerado incluir la prueba de normalidad de errores y la prueba de homogeneidad de varianzas, que son supuestos para poder realizar el análisis de variancia (ANVA).

Ambos valores reportan un p-valor igual a 0.4482 y 0.4174, siendo mayor a 0.05, por lo que se puede afirmar que se cumplen ambos supuestos para el análisis realizado.

El coeficiente de variabilidad en el análisis estadístico del rendimiento total ($t\ ha^{-1}$) ha sido 30.84% y 30.15%, valores aceptados para trabajos desarrollados en campo. Se debe indicar que el análisis realizado fue considerando un nivel de significancia al 95% ($\alpha=0.05$).

El análisis de variancia (ANVA) para la variable del rendimiento total nos indica que el rendimiento medio del RGS es diferente al rendimiento medio del RGSP, por lo que el resultado indica que existen diferencias significativas entre los dos tratamientos analizados con un coeficiente de variabilidad de del modelo de 0.05% (Anexo 10).

Tabla 17: Análisis estadístico para rendimiento total

Tratamiento	Media (t ha⁻¹)	N	Tukey	ANVA	CV
RGSP	21.8	10	a	S	30.84%
RGS	27.7	10	b		30.15%

La prueba de comparación múltiple de medias de Tukey, nos confirma los resultados del análisis de varianza, ya que se ha trabajado con un par de tratamientos, que nos indica que si existen diferencias significativas entre el tratamiento RGS y el RGSP.

Los valores obtenidos en el trabajo han sido favorables ya que se tienen valores más altos al trabajar con riego por goteo subterráneo. En la variedad Jonathan el promedio nacional por hectárea esta alrededor de 17.80 t ha⁻¹.

4.5.2 Rendimiento (t ha⁻¹) de raíces reservantes por categoría.

La producción total estuvo compuesta por la clasificación: primera, segunda y descarte . Cabe resaltar que la producción comercial es la segunda, ya que el tamaño del calibre es atractivo por los consumidores, mientras que la clase primera y descarte generalmente se pierde en chacra o se vende a un bajo precio.

El CIP clasifica el rendimiento del cultivo, en base al peso de cada raíz reservante. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 18.

Tabla 18: Clasificación del rendimiento según tratamiento

CLASIFICACIÓN	RENDIMIENTO			
	RGS		RGSP	
	tn ha⁻¹	%	tn ha⁻¹	%
PRIMERA	13.79	49.76	12.27	56.30
SEGUNDA	11.67	42.12	8.63	39.56
DESCARTE	2.25	8.12	0.90	4.14
TOTAL	27.70	100.00	21.80	100.00

En la Figura 24 se pueden apreciar gráficas que evidencian la comparación del rendimiento en ambos tratamientos. En las gráficas se puede notar que el tratamiento RGS

presenta considerablemente mayores valores en la clasificación de primera, segunda y descarte respecto al tratamiento RGSP.

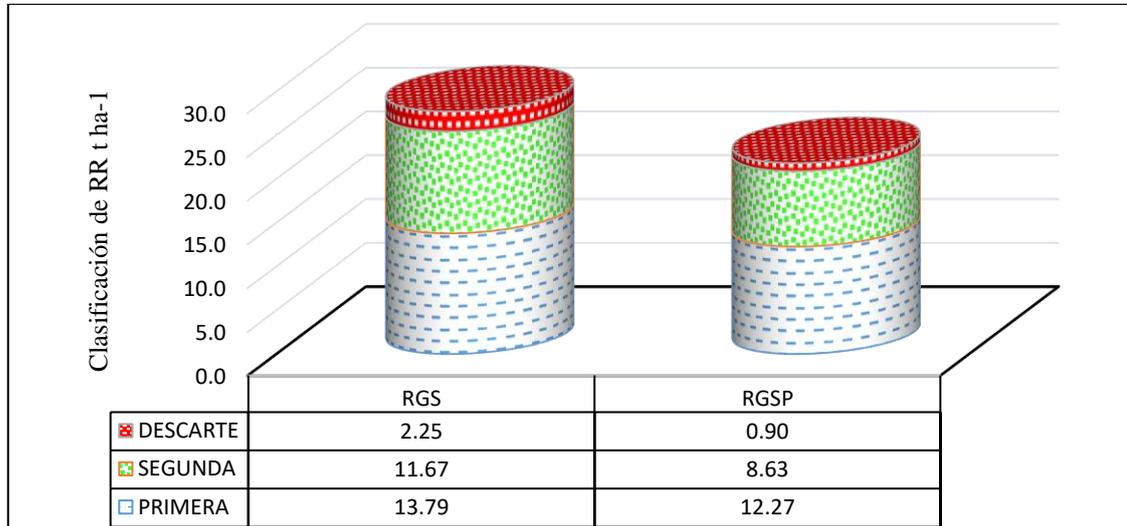


Figura 24: Clasificación de raíces reservantes según tratamiento

Este resultado es favorable ya que los agricultores vienen aplicando un sistema de riego por surcos y sería importante comparar no solo el rendimiento obtenido sino también la eficiencia del uso del agua que se verá más adelante.

Para los resultados se muestran en el Anexo 11, 12 y 13, en el análisis del rendimiento de primera, segunda y descarte, se ha considerado incluir la prueba de normalidad de errores y la prueba de homogeneidad de varianzas, que son supuestos que permiten realizar el análisis de variancia (ANVA). Ambos valores reporta un p-valor mayor a 0.05 por lo que se puede afirmar ambos supuestos en los análisis realizados.

Se debe indicar que el análisis realizado para el rendimiento de primera, segunda y descarte fue considerando un nivel de significancia al 95% ($\alpha=0.05$).

Los resultados del análisis de variancia, el coeficiente de variabilidad y la comparación de medias de Tukey lo podemos apreciar en la Tabla 19, que como resultado nos indica que existen diferencias significativas entre los tratamientos analizados, con un nivel de significancia al 95%.

Según la Tabla 19, los resultados obtenidos en el análisis estadístico, a un nivel de significancia del 0.05, existe diferencia significativa entre los tratamientos RGS y RGSP, en sus tres clasificaciones (primera, segunda y descarte), siendo el tratamiento RGS el que produce mayor rendimiento. Del análisis realizado se puede evidenciar que el riego por goteo subterráneo estaría logrando mejores resultados respecto al riego por goteo subterráneo parcial.

Tabla 19: Análisis estadístico para rendimiento de primera y segunda calidad.

Categoría	Tratamiento	Media (t ha⁻¹)	N	Tukey	ANVA	CV
Primera	RGSP	12.27	10	a	S	34.64%
	RGS	13.79	10	b		33.90%
Segunda	RGSP	8.63	10	a	S	32.15%
	RGS	11.67	10	b		29.83%
Descarte	RGSP	0.90	10	a	S	26.72%
	RGS	2.25	10	b		58.83%

4.6 EFICIENCIA DE USO DE AGUA EN EL CULTIVO DE CAMOTE VARIEDAD JONATHAN

La cantidad de agua para riego por goteo subterráneo fue 100% de ETo y para riego por goteo subterráneo parcial fue el 50% de ETo . Sin embargo la eficiencia del uso de agua en el tratamiento del RGSP ha sido mayor respecto al RGS, se logró mayor rendimiento en RGS pero se aplicó mayor cantidad de agua.

La eficiencia del uso de agua, se expresa como la producción de camote en kilogramos por metro cubico de agua aplicado al cultivo, siendo este valor menor en el tratamiento RGS, respecto al tratamiento RGSP como se indica en laTabla 20.

Tabla 20:Comparacion de la eficiencia del uso del agua.

Tratamiento	RGS	RGSP
Rendimiento de RR(kg/ha)	27702.8	21802.2
Cantidad de agua(m3/ha)	3624.2	2015.93
EUA (Kg/m ³)	7.64	10.81

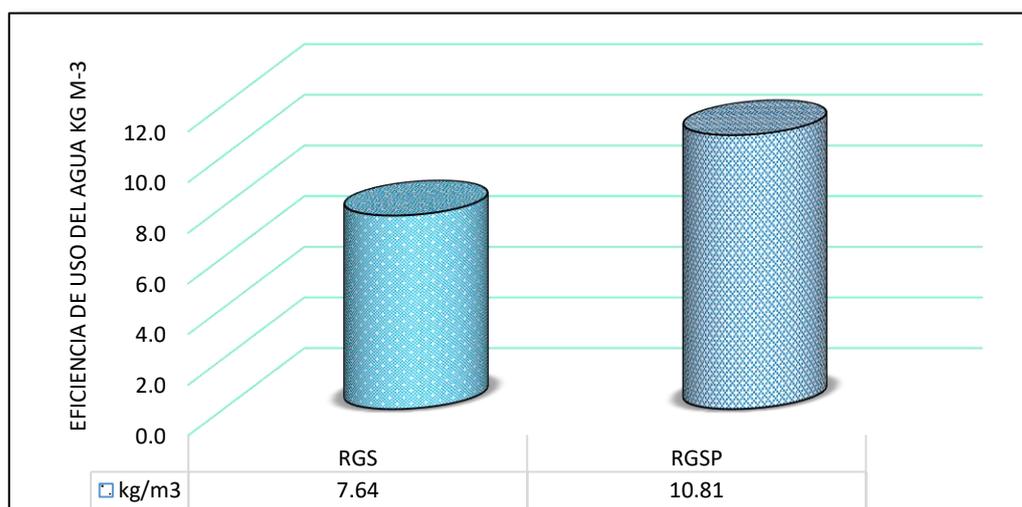


Figura 25:comparación de eficiencias de uso de agua

De acuerdo a la información que se muestra en la Tabla 20, se puede indicar que el tratamiento RGSP presenta mayor eficiencia de uso de agua (10.81 kg/m³) a comparación del tratamiento RGS (7.64 kg/m³), al aplicar láminas entre 100%ET_o – RGS y 50%ET_o - RGSP.

4.7 COSTOS

Es importante considerar el costo de producción y el costo de implementar una futura instalación de riego por goteo subterráneo, ya que muchos de los productores de camote vienen manejando un sistema de riego por gravedad.

La tecnología, sistema de riego subterráneo, no solo permite un mejor control del agua, sino que también a la larga resulta provechoso ya que disminuye el crecimiento de malezas en el campo, por consiguiente la presencia plagas y enfermedades, además reduce la evaporación del agua. Al incorporar un sistema de fertirrigación como parte de la tecnología planteada, permitirá el ahorro y la optimización en el uso de fertilizantes, de esta forma se disminuye el efecto contaminante que podrían ocasionar los residuos de fertilizantes que en un sistema convencional se pierden por percolación.

4.7.1 Costos de producción

A continuación se muestra un resumen de los costos de producción para el cultivo de camote.

Tabla 21: Resumen de costo de producción

DESCRIPCION	(S/. /Ha)
I.- COSTOS DIRECTOS	
1.- GASTOS DIRECTOS DE CULTIVO	
1.1 . Maquinaria agricola	580.00
1.2.Mano de obra	2,480.00
1.3.Semilla	230.00
1.4. Fertilizante organico	120.00
1.5.Canon de agua de riego	90.00
1.6. Agroquimicos	98.00
TOTAL DE COSTOS DIRECTOS	3,598.00
II. COSTOS INDIRECTOS	
2.1 Otros gastos 3%	10,8
TOTAL DE COSTOS INDIRECTOS	10,8
III.COSTO DE PRODUCCION	3608,8

4.7.2 Costo de instalación de sistema de riego tecnificado enterrado.

Obtener el costo de instalación por hectárea de un sistema de riego subterráneo, es variable ya que depende de algunos factores que se mencionan a continuación:

1. El transporte de agua desde la fuente hasta el campo que en la mayoría de los casos es el componente más caro del sistema de riego. En caso se tenga como

fuelle de agua un canal de riego, se va requerir la construcción de un reservorio y el sistema se encarece dependiendo de la distancia y de la elevación en la que el agua tiene que ser transportada en tuberías, en caso se trabaje con agua proveniente del acuífero se requerirá la construcción de un pozo y la instalación de un sistema de bombeo que impulse el agua al cabezal.

2. La cantidad de agua que se necesita aplicar para cumplir con la evapotranspiración máxima del cultivo, los requerimientos durante la máxima demanda del cultivo. Depende básicamente de las condiciones de clima prevalecientes, cubierta del cultivo y de la eficiencia del sistema de riego.
3. Otras consideraciones: la topografía del terreno, la textura del suelo que determina el espaciamiento del emisor, entre otros.

El costo de instalación para un proyecto es variable, ya que depende de múltiples factores, tales como equipos que se requiera instalar y principalmente la extensión del terreno. Por lo que los costos mencionados solo pueden ser tomados como referencia.

V. CONCLUSIONES

- El tratamiento RGS provoca un incremento en el rendimiento total de un 21.32% en relación al tratamiento RGSP. Además de provocar un incremento sustancial en el rendimiento, la aplicación de riego por goteo subterráneo parcial, produce un efecto desfavorable en el calibre, se obtuvo 57.88% de camotes no comerciales (Primera y descarte) correspondientes al tratamiento testigo RGS (100% ETo) y 60.44% en el tratamiento RGSP (50% ETo).
- El volumen de agua utilizado en el tratamiento RGSP fue de $2015.93\text{m}^3\text{ ha}^{-1}$. Este valor representa el 56% de agua empleada en el tratamiento testigo RGS ($3624.18\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}$). La eficiencia de uso de agua en el tratamiento RGS, fue de 7.64 kg m^{-3} , mientras que en el tratamiento RGSP alcanzó el valor de 10.81kg m^{-3} . Además se presenta un ahorro de agua de 69% y 44%, tanto en RGSP y RGS respectivamente, en comparación a un riego tradicional (riego por gravedad).

VI. RECOMENDACIONES

- Se sugiere investigar en cultivo con otras láminas de riego para poder evaluar el efecto positivo o negativo que tendrá en el rendimiento y el consumo hídrico.
- Se recomienda desarrollar investigaciones similares en diferentes tipos de suelo, con la finalidad de conocer el comportamiento del riego por goteo subterráneo y los efectos positivos y negativos que pueda presentarse.
- En el presente estudio el tiempo de riego fue calculado en base al ETo obtenida del tanque tipo A; se recomienda regar, en futuras investigaciones, utilizando el contenido de humedad del suelo en tiempo real para el balance de necesidades hídricas, para ello será necesario utilizar sensores, todo esto con la finalidad de mejorar la eficiencia de uso de agua.
- Por el costo elevado de la tecnología se recomienda aplicarla en zonas donde la escasez de agua sea crítica evaluando el punto óptimo de rentabilidad.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alam, M; Trooien, P; Lamm, F; Rogers, D. 2002. Filtration and maintenance considerations for subsurface drip irrigation (SDI) systems. Irrigation Management series. January 2002. Roma, Italia. 298 p.
- Lucas, F; Alarcon, A. 2005. Riego localizado ventajas e inconvenientes. Departamento de Ciencia y Tecnología Agraria. Área de Edafología y Química Agrícola. Universidad Politécnica de Cartagena. Disponible en:
https://www.infoagro.com/riegos/riego_localizadoventajasinconvenientes.htm
- Allen, G; Pereira, L; Raes, D; Smith, M. 2006. Estudio FAO Riego y drenaje 56. Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Serie Cuadernos Técnicos. Roma, Italia. FAO. 298 p.
- Ayars, J; Fulton A; Taylor, B. 2015. Subsurface drip irrigation in California - Here to stay?. Agric. Water Manage. 157: 39-47.
- Ayars, J; Phene, C; Hutmacher R; Davis, R; Schoneman, S. 1999. Subsurface drip irrigation of row crops: a review of 15 years of research at the Water Management Research Laboratory. Agric. Water Manage. 42: 1-27.
- Barberá, J. 2003. Riego subterráneo aplicado a jardinería. (En línea, sitio web). Consultado 01 de junio del 2019. Disponible en:
<http://www.interempresas.net/Agricola/Articulos/110478>
- Bello, M; Pino, M. 2000. Cálculo básico para fertirrigar. Boletín INIA N° 26. Centro Regional de Investigación Kampenaike. Punta Arena, Chile. 30 p. Disponible en:
<http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR25633.pdf>
- Berg, J. 1972. El riego por goteo bajo condiciones de invernadero y su efecto sobre procesos físicos de cuatro suelos y características de crecimiento en girasol. Tesis Ms. Chapingo-Mexico. Escuela Nacional de Agricultura, 60 p.
- Buesa, I. 2013. Determinación del estado hídrico del suelo mediante sensores FDR en vid cv. Moscatel de Alejandría regada por goteo. Trabajo Fin de Máster. Valencia, España. 85 p.
- Camp, C; Garrett, J; Sadler, E; Busscherv, E. 1993. Microirrigation management for double-cropped vegetables in a humid area. Trans. ASAE 36: 1639-1644.

- Campbell, C; Cobos, D; Bissey, L. 2009. Calibration and evaluation of an improved lowcost soil moisture sensor. Application Notes. Consultado 1 agosto 2016. Disponible en: <http://www.decagon.com>.
- Cañamero, M; Laguna, T. 2012. Innovación tecnológica en riego por goteo: kgoteo. Edita Concytec. Primera edición, Perú, 187 p.
- Caspari, H; Einhorn T; Leib bg; redulla CA; ANDREWS PK; LOMBARDINI L; AUVIL T; MCFERSON JR. 2004. Progress in the development of partial rootzone drying of apple trees. *Acta Horticulturae* 664: 125-132.
- Claro, R. 1985. Apuntes de Fenología. Instituto Colombiano de Hidrología y Adecuación de Tierras (HIMAT). Bogotá, Colombia
- Cruz, J. 2009. Diseño de un sistema de riego por goteo controlado y automatizado para Uva Italia. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú
- De Liñán, C. "Vademécum de Productos Fitosanitarios 2004". Ediciones Agrotécnicas. Madrid, 2004.
- Dos Santos, L; Matsura, E; Goncalves, I; Barbosa, E; Nazário, N. Tuta, Elaiuy, M; Feitosa, M; De Sousa, A. 2016. Water storage in the soil profile under subsurface drip irrigation: Evaluating two installation depths of emitters and two water qualities. *Agric. Water Manage.* 170: 91-98.
- Dorigo, W; Wagner, W; Hohensinn, R; Hahn, S; Paulik, C; Xaver, A; Gruber, A; Drusch, M; Mecklenburg, S; Van, P; Robock, A; Jackson, T. 2011. The International Soil Moisture Network: a data hosting facility for global in situ soil moisture measurements. *Hydrology and Earth system sciences* 15: 1675-1698.
- Dry, P; Loveys br; During, H. 2000a. Partial drying of the root-zone of grape. 1. Transient changes in shoot growth and gas exchange. *Vitis* 39: 3-8.
- Egusquiza, B. 2000. La papa, producción transformación y comercialización. Primera edición, Lima, Perú, 192 p.
- FAO (Food And Agriculture Organization of The United Nations). 2007. Information System on Water and Agriculture - Aquastat. 263 p.
- Faria, LF. 2002. Variação de vazao de gotejadores enterrados na irrigação de citros e café. Dissertação apresentada á Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidad de Sao Paulo.
- Fonseca, M. 2002. Reference evapotranspiration based on class A pan evaporation. *Scientia Agricola* 59(3): 417-420.

- Fuentes, J. 2003. Técnicas de riego. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 483p.
- García L; Briones, G. 2007. Sistema de riego por aspersión y goteo. Ediciones Trillas. 2ª Edición, México, 182 p.
- Gil, R; Pitelli, J; Barreto, A; De Andrade, L. 2013. Crescimento da grama bermudas sob diferentes lâminas de irrigação. Irriga, Botucatu. 18(1): 257-269.
- Gispert, J; García, J. 1999. El volumen húmedo del suelo en el riego localizado. Importancia y evaluación. IV Jornada de investigación en la zona no saturada ICIA. Universidad de Florida, USA, 17 p.
- Herrera, G. 2014. Evaluación del sistema de riego por goteo a tres profundidades, con dos dosis de abonamiento órgano - mineral edáfica, en la producción limpia de tomate de mesa (*Lycopersicon esculentum* Mill). Tumbaco, Pichincha. Tesis Ing. Agr. Quito, Ecuador. 87 p.
- Hidalgo, J; Pastor, M; Hidalgo, G. 2003. Evaluación de una sonda FDR para la estimación de la evolución del contenido de agua en el suelo y para el control de riegos en olivar. Estudios de la zona no saturada del suelo 6: 171-176. [HTTP://www.interempresas.net/Agricola/Articulos/110478-Principales-ventajas-e-instalacion-del-riego-por-goteo.htm](http://www.interempresas.net/Agricola/Articulos/110478-Principales-ventajas-e-instalacion-del-riego-por-goteo.htm).
- INTA. s.f. Camote variedad Jonathan promisorio para el municipio de Nueva Guinea. Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria. Disponible en: http://www.funica.org.ni/docs/cult_div_02.pdf
- INIA, 2001. Camote INIA 306 – Huamachero. Programa nacional de investigación en papa y camote. Estación experimental Donoso-Huaral. P. 2. Disponible en: https://www.inia.gob.pe/wp-content/uploads/investigacion/programa/sistProductivo/variedad/camote/INIA_306.pdf
- Kang, S; Llang, Z; Hu, W; Zhang, J. 1998. Water use efficiency of controlled alternate irrigation on root-divided maize plant, Agricultural Water Management, 38: 69-76.
- Lamm, F; Rogers, D; Alam, M; Clark, G. 2003. Design consideration for Subsurface Drip Irrigation (SDI) Systems. Kansas State University Cooperative Ext. Irrigation Mgmt. Series, MF-2578. 8p.
- Lazzara, P; Rana, G. 2010. The crop coefficient (Kc) values of the major crops grown under Mediterranean climate. Mediterr. Dialogue Integr. Water Manage
- López, J; Dennett, M. 2005. Comparación de dos métodos para estimar la evapotranspiración de referencia (ET_o) en una zona semi-árida de Venezuela. Bioagro 17(1): 41-46.

- Losada, A. 1997. Glosario sobre sistemas de riego. *Ingeniería del Agua* 4(8): 55-68.
- Lucas, F.; Alarcón, A; Munuera, M. 2005. Desarrollo y productividad de un cultivo de tomate bajo riego enterrado en diferentes sustratos ante diferentes dosis y formas de aplicación de Trifluralina y diseño de emisores. XXIII Congreso Nacional de Riegos.
- Mingo, D; Theobals, J; Bacon, M; William, J; Dodd, I. 2004. Biomass allocation in tomato (*Lycopersicon esculentum*) plants grown under partial rootzone drying: enhancement of root growth. *Functional Plant Biology* 31, 971978.
- Molina, J. 2010. El cultivo de camote en el Perú. Serie manual N° 1-10. INIA-CIP. Lima, Perú, 50 p.
- Molina, J. 2004. Proyecto Camote. INIA. <http://www.inia.gob.pe/camote/>
- Molden, D; Oweis, P; Steduto, P; Bindraban, M. 2010. Improving agricultural water productivity: Between optimism and caution. *Agric. Water Manage.* 97: 528–535.
- Montemayor, T; Lara, M; Woo R; Munguía, M; Rivera, R; Trucíos, C. 2012. Producción de maíz forrajero (*Zea mays* L.) en tres sistemas de irrigación en la Comarca Lagunera de Coahuila y Durango, México. *Agrociencia* 46: 267-278.
- Montemayor, T; Gómez, J; Olague, A; Zermeño, E; Ruiz, M; Fortis, H; Salazar, S; Aldaco, N. 2006. Efecto de tres profundidades de cinta de riego por goteo en la eficiencia de uso de agua y en el rendimiento de maíz forrajero. *Téc. Pecu. Méx.* 44: 359-364.
- Orozco, A. 2011. Determinación del régimen de riego para manzano bajo microaspersión mediante el uso de estaciones meteorológicas y sondas de capacitancia (FDR). *Retos de la investigación del agua en México.* p. 239-253.
- Parra, R; Ortiz, P. 2004. Manejo del riego en manzano mediante déficit de riego controlado (DCR), Ciudad Cuauhtémoc, Chihuahua, inifap/Sagarpa, Campo Experimental Sierra de Chihuahua, Centro de Investigación Regional Norte Centro.
- Pizarro, F. 1996. Riegos localizados de alta frecuencia (RLAF) goteo, microaspersión, exudación. Ediciones Mundi - Prensa. Madrid, España, 51 O p.
- Puppo, L; GARCÍA, M. 2009. Estimación de los coeficientes de tanque «A» para calcular la evapotranspiración del cultivo de referencia en la zona sur del Uruguay. *Agrociencia* 13(2) 47-51.
- Ramos, C. 2007. Modelo para estimar la evapotranspiración en La Molina. *Anales Científicos de la Universidad Nacional Agraria La Molina* 68 (4): 125-136.

- Robock, A; Vinnikov, K; Srinivasan, G; Entin, J; Hollinger, S; Speranskaya, N; Liu, S; Namkhai, A. 2000. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 81(6):1281-1299.
- Rogers, D; Lamm, F; Alam, M. 2003. Subsurface drip irrigation (SDI) components: Minimum requirements. Kansas State University Cooperative Ext. Irrigation Mgmt. Series, MF-2576. 4p.
- Santos, T; Lopes, C; Rodrigues, M; De Souza, C; Da Silva, J; Maroco, J; Pereira, J; Chaves, M. 2007. Effects of deficit irrigation strategies on cluster microclimate for improving fruit composition field-grown grapevines. *Scientia Horticulturae*, Sao Paulo, Brasil. 112 p.
- Sánchez-Blanco, M; Torrecillas, A. 1995. Aspectos relacionados con la utilización de estrategias de riego deficitario controlado en cultivos leñosos. En: *Riego Deficitario Controlado. Colección Cuadernos VALUE I. Mundi Prensa/Unión Europea*. M. Zapata y P. Segura, eds. ISBN 84-7114-590-1.
- Senamhi. 2011. *Manual de Observaciones Fenológicas*. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología. Y el Ministerio De Agricultura, Lima – Perú.
- Shalhevet, J; Mantel, A; Bielordi, H. 1970. Irrigation of field and Orchard crops under semi-arid conditions. Center Betdagan, Israel, 5 p.
- Stoll, M; Loveys, B; Dry, P. 2000. Improving the water use efficiency of irrigated horticultural crops. *Journal of Experimental Botany* 48: 23-25.
- Strangeways, I. 2001. Back to basics: The 'met. Enclosure'. Part 7. Evaporation. *Weather* 56: 419-427.
- Tapia, M. 1990. *Cultivos Andinos Sub explotados*. Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la Alimentación FAO.
- Thompson, T; Huan-Cheng, P; Yu-Yi, I. 2009. The Potential Contribution of Subsurface Drip Irrigation to WaterSaving Agriculture in the Western USA. *Agric. Sci. China* 8: 850-854.
- UNE. 1989. *Equipos para Riego: Sistemas de Tuberías Emisoras*. AENOR, Madrid.
- Vermeiren, L; Joblin, G. 1986. "Riego localizado" FAO: *Riego y Drenaje* N° 36. Madrid, España, 8-9 p.
- Wei, Y. 1995. *Soil Moisture: Report of a Workshop Held in Tiburon, California, 25–27 January 1994*. NASA Conference Publication 3319, 80 pp.

- Zhang, J; Davies, W. 1991. Abscisic acid produced in dehydrating roots may enable the plant to measure the water status of the soil. *Plant, Cell Environment* 12: 73-81.
- Zhang, Q; Wang, L; Inoue, M; Xiang, Q; Jin, W. 2014. Effects of mulching and sub-surface irrigation on vine growth, berry sugar content and water use of grapevines. *Agric. Water Manage.* 143: 1–8.
- Zhang, J; Tardieu, F. 1996. Relative contribution of apices and mature tissues to ABA synthesis in droughted maize root system. *Plant and Cell Physiology*, 37: 598-605

VIII. ANEXOS

ANEXO N° 1: Registro meteorológico promedio mensual (2017)

Mes	T° media (°c)	HR Media (%)	Precipitación (mm)	Tanque de evaporación (mm)	Radiación MJ/m2/día
Enero	23.3	82	0.03	3.82	19.2
Febrero	24.7	81	0.06	3.61	16.9
Marzo	24.1	78	0.02	3.95	19.8
Abril	23.1	79	0.05	3.49	18.4
mayo	19.92	84.71	0.02	2.79	30.33
junio	16.51	92.93	0.01	1.36	28.34

FUENTE: Estación meteorológica Von Humbol-UNAML

ANEXO N° 2: Análisis físico químico del suelo – inicial

ANALISIS DE SUELO - CARACTERIZACION

SOLICITANTE : PIERO ABRAHAN NATIVIDAD TORIBIO
 PROCEDENCIA : La Molina
 RESP. ANALISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
 FECHA DE ANALISIS : La Molina, 30 de Octubre de 2017

Número de muestra Lab.	Campo	CE ds / m Relación 1:1	Análisis Mecánico				pH	M.O. %	P ppm	K ppm	CaCO ₃ %	Cationes Cambiables					
			Arena %	Limo %	Arcilla %	Textura						Relación 1:1	CIC total	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na	K
13226	RP-2	0.89	52.70	32.78	14.52	Franco arenoso	7.93	1.74	42.99	272.00	0.54	10.93	9.05	1.40	0.07	0.41	-

LABORATORIO DE ANALISIS DE AGUA Y SUELO
 Ing. Msc. Teresa Velásquez Beltrano
 JEFE DE LABORATORIO



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

ANEXO N° 3: Análisis de agua

CAMPO	Agua
CE Ds/m	0.70
Ph	6.88
Calcio meq/l	4.35
Magnecio meq/l	0.76
Sodio meq/l	2.17
Potacio meq/l	0.18
SUMA DE CATIONES	7.46
Cloruro meq/l	2.19
Sulfato meq/l	3.08
Bicarbonato meq/l	2.48
Nitrato meq/l	0.03
Carbonatos meq/l	0.00
SUMA DE ANIONES	7.79
SAR	1.36
CLASIFICACION	C3-SI
Boro meq/l	0.13

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

ANEXO N° 4: Lecturas del tanque tipo A

DDS	FECHA	LECTURA TANQUE TIPO -A (mm/d)	DDS	FECHA	LECTURA TANQUE TIPO -A (mm/d)
1	28/01/2018	5.41	41	09/03/2018	2.60
2	29/01/2018	4.71	42	10/03/2018	3.60
3	30/01/2018	6.10	43	11/03/2018	3.80
4	31/01/2018	6.15	44	12/03/2018	4.00
5	01/02/2018	5.00	45	13/03/2018	3.20
6	02/02/2018	5.29	46	14/03/2018	3.48
7	03/02/2018	2.99	47	15/03/2018	3.38
8	04/02/2018	3.90	48	16/03/2018	4.01
9	05/02/2018	4.45	49	17/03/2018	3.08
10	06/02/2018	4.46	50	18/03/2018	3.72
11	07/02/2018	4.34	51	19/03/2018	4.10
12	08/02/2018	4.30	52	20/03/2018	4.06
13	09/02/2018	4.35	53	21/03/2018	3.85
14	10/02/2018	4.28	54	22/03/2018	3.95
15	11/02/2018	4.53	55	23/03/2018	3.77
16	12/02/2018	4.05	56	24/03/2018	4.01
17	13/02/2018	4.21	57	25/03/2018	3.83
18	14/02/2018	4.98	58	26/03/2018	3.78
19	15/02/2018	4.71	59	27/03/2018	3.49
20	16/02/2018	4.20	60	28/03/2018	3.79
21	17/02/2018	5.40	61	29/03/2018	4.04
22	18/02/2018	3.80	62	30/03/2018	3.83
23	19/02/2018	4.10	63	31/03/2018	3.62
24	20/02/2018	4.00	64	01/04/2018	2.82
25	21/02/2018	4.10	65	02/04/2018	3.56
26	22/02/2018	3.40	66	03/04/2018	3.92
27	23/02/2018	4.00	67	04/04/2018	3.12
28	24/02/2018	4.10	68	05/04/2018	3.96
29	25/02/2018	4.50	69	06/04/2018	3.92
30	26/02/2018	5.50	70	07/04/2018	3.30
31	27/02/2018	4.40	71	08/04/2018	3.23
32	28/02/2018	3.50	72	09/04/2018	3.12
33	01/03/2018	2.40	73	10/04/2018	2.53
34	02/03/2018	4.60	74	11/04/2018	3.08
35	03/03/2018	5.60	75	12/04/2018	5.10
36	04/03/2018	4.20	76	13/04/2018	2.02
37	05/03/2018	4.80	77	14/04/2018	1.97
38	06/03/2018	5.30	78	15/04/2018	2.70
39	07/03/2018	4.50	79	16/04/2018	2.92
40	08/03/2018	4.20	80	17/04/2018	3.42

DDS	FECHA	LECTURA TANQUE TIPO -A (mm/d)	DDS	FECHA	LECTURA TANQUE TIPO -A (mm/d)
81	18/04/2018	3.72	118	25/05/2018	1.88
82	19/04/2018	5.00	119	26/05/2018	1.98
83	20/04/2018	2.14	120	27/05/2018	2.20
84	21/04/2018	4.31	121	28/05/2018	1.20
85	22/04/2018	4.00	122	29/05/2018	1.20
86	23/04/2018	3.84	123	30/05/2018	1.30
87	24/04/2018	3.44	124	31/05/2018	2.60
88	25/04/2018	1.28	125	01/06/2018	2.70
89	26/04/2018	1.96	126	02/06/2018	1.10
90	27/04/2018	2.88	127	03/06/2018	1.00
91	28/04/2018	4.10	128	04/06/2018	1.00
92	29/04/2018	2.96	129	05/06/2018	1.00
93	30/04/2018	2.84	130	06/06/2018	0.70
94	01/05/2018	2.00	131	07/06/2018	0.90
95	02/05/2018	3.40	132	08/06/2018	1.50
96	03/05/2018	2.90	133	09/06/2018	1.30
97	04/05/2018	4.90	134	10/06/2018	1.10
98	05/05/2018	5.40	135	11/06/2018	2.70
99	06/05/2018	3.90	136	12/06/2018	1.20
100	07/05/2018	5.14	137	13/06/2018	1.10
101	08/05/2018	3.42	138	14/06/2018	0.80
102	09/05/2018	3.32	139	15/06/2018	1.30
103	10/05/2018	2.60	140	16/06/2018	0.70
104	11/05/2018	2.70	141	17/06/2018	0.70
105	12/05/2018	2.82	142	18/06/2018	1.40
106	13/05/2018	2.80	143	19/06/2018	2.50
107	14/05/2018	2.92	144	20/06/2018	1.20
108	15/05/2018	2.75	145	21/06/2018	1.20
109	16/05/2018	1.90	146	22/06/2018	2.00
110	17/05/2018	5.00	147	23/06/2018	2.40
111	18/05/2018	5.40	148	24/06/2018	2.50
112	19/05/2018	0.63	149	25/06/2018	1.30
113	20/05/2018	1.90	150	26/06/2018	1.50
114	21/05/2018	4.84	151	27/06/2018	1.70
115	22/05/2018	3.47	152	28/06/2018	1.50
116	23/05/2018	3.92	153	29/06/2018	1.70
117	24/05/2018	2.22			

ANEXO N° 5: Cálculo del tiempo de riego

DDS	Fecha	Lec. Tanque TIPO-A (mm/d)	Kp	Eto (mm/d)	kc	Etc (mm/d)	Ln (m3/ha-d)	Lb (m3/ha-d)	Lr (m3/ha)	Tiem. Riego(h)	
										100% Eto	50% Eto
1	28/01/2018	5.4	0.80	4.33	0.52	2.25	22.52	25.02	25.02	0.63	0.31
2	29/01/2018	4.7	0.80	3.77	0.52	1.96	19.60	21.78	49.98	1.25	0.62
3	30/01/2018	6.1	0.80	4.88	0.52	2.54	25.38	28.20			
4	31/01/2018	6.2	0.80	4.92	0.52	2.56	25.58	28.43	51.54	1.29	0.64
5	01/02/2018	5.0	0.80	4.00	0.52	2.08	20.80	23.11			
6	02/02/2018	5.3	0.80	4.23	0.52	2.20	22.00	24.44	38.25	0.96	0.48
7	03/02/2018	3.0	0.80	2.39	0.52	1.24	12.43	13.81			
8	04/02/2018	3.9	0.80	3.12	0.52	1.62	16.22	18.03	38.60	0.96	0.48
9	05/02/2018	4.5	0.80	3.56	0.52	1.85	18.51	20.57			
10	06/02/2018	4.5	0.80	3.57	0.52	1.86	18.56	20.63	40.68	1.02	0.51
11	07/02/2018	4.3	0.80	3.47	0.52	1.80	18.04	20.05			
12	08/02/2018	4.3	0.80	3.44	0.52	1.79	17.89	19.88	39.98	1.00	0.50
13	09/02/2018	4.4	0.80	3.48	0.52	1.81	18.10	20.11			
14	10/02/2018	4.3	0.80	3.42	0.52	1.78	17.78	19.76	40.68	1.02	0.51
15	11/02/2018	4.5	0.80	3.62	0.52	1.88	18.82	20.92			
16	12/02/2018	4.1	0.80	3.24	0.52	1.68	16.85	18.72	38.19	0.95	0.48
17	13/02/2018	4.2	0.80	3.37	0.52	1.75	17.52	19.47			
18	14/02/2018	5.0	0.80	3.98	0.52	2.07	20.70	23.00	44.78	1.12	0.56
19	15/02/2018	4.7	0.80	3.77	0.52	1.96	19.60	21.78			
20	16/02/2018	4.2	0.80	3.36	0.52	1.75	17.47	19.41	44.37	1.11	0.55
21	17/02/2018	5.4	0.80	4.32	0.52	2.25	22.46	24.96			
22	18/02/2018	3.8	0.80	3.04	0.52	1.58	15.81	17.56	36.52	0.91	0.46
23	19/02/2018	4.1	0.80	3.28	0.52	1.71	17.06	18.95			
24	20/02/2018	4	0.80	3.20	0.52	1.66	16.64	18.49	37.44	0.94	0.47
25	21/02/2018	4.1	0.80	3.28	0.52	1.71	17.06	18.95			
26	22/02/2018	3.4	0.80	2.72	0.52	1.41	14.14	15.72	34.20	1.34	0.67
27	23/02/2018	4	0.80	3.20	0.52	1.66	16.64	18.49			
28	24/02/2018	4.1	0.80	3.28	0.52	1.71	17.06	18.95	39.75	0.99	0.50
29	25/02/2018	4.5	0.80	3.60	0.52	1.87	18.72	20.80			
30	26/02/2018	5.5	0.80	4.40	0.52	2.29	22.88	25.42	45.76	1.14	0.57
31	27/02/2018	4.4	0.80	3.52	0.52	1.83	18.30	20.34			
32	28/02/2018	3.5	0.80	2.80	0.52	1.46	14.56	16.18	27.27	0.68	0.34
33	01/03/2018	2.4	0.80	1.92	0.52	1.00	9.98	11.09			
34	02/03/2018	4.6	0.80	3.68	0.52	1.91	19.14	21.26	47.15	1.18	0.59
35	03/03/2018	5.6	0.80	4.48	0.52	2.33	23.30	25.88			
36	04/03/2018	4.2	0.80	3.36	0.52	1.75	17.47	19.41	41.60	1.04	0.52

DDS	Fecha	Lec. Tanque TIPO-A (mm/d)	Kp	Eto (mm/d)	kc	Etc (mm/d)	Ln (m3/ha-d)	Lb (m3/ha-d)	Lr (m3/ha)	Tiem. Riego(h)	
										100% Eto	50% Eto
37	05/03/2018	4.8	0.80	3.84	0.52	2.00	19.97	22.19			
38	06/03/2018	5.3	0.80	4.24	0.52	2.20	22.05	24.50	45.30	1.78	0.89
39	07/03/2018	4.5	0.80	3.60	0.52	1.87	18.72	20.80			
40	08/03/2018	4.2	0.80	3.36	0.52	1.75	17.47	19.41	31.43	0.79	0.39
41	09/03/2018	2.6	0.80	2.08	0.52	1.08	10.82	12.02			
42	10/03/2018	3.6	0.80	2.88	0.52	1.50	14.98	16.64	34.20	0.86	0.43
43	11/03/2018	3.8	0.80	3.04	0.52	1.58	15.81	17.56			
44	12/03/2018	4	0.80	3.20	0.52	1.66	16.64	18.49	43.52	1.09	0.54
45	13/03/2018	3.2	0.80	2.56	0.88	2.25	22.53	25.03			
46	14/03/2018	3.48	0.80	2.78	0.88	2.45	24.50	27.22	53.66	1.34	0.67
47	15/03/2018	3.38	0.80	2.70	0.88	2.38	23.80	26.44			
48	16/03/2018	4.01	0.80	3.21	0.88	2.82	28.23	31.37	55.46	2.18	1.09
49	17/03/2018	3.08	0.80	2.46	0.88	2.17	21.68	24.09			
50	18/03/2018	3.72	0.80	2.98	0.88	2.62	26.19	29.10	61.17	1.53	0.76
51	19/03/2018	4.1	0.80	3.28	0.88	2.89	28.86	32.07			
52	20/03/2018	4.06	0.80	3.25	0.88	2.86	28.58	31.76	61.87	1.55	0.77
53	21/03/2018	3.85	0.80	3.08	0.88	2.71	27.10	30.12			
54	22/03/2018	3.95	0.80	3.16	0.88	2.78	27.81	30.90	60.39	1.51	0.75
55	23/03/2018	3.77	0.80	3.02	0.88	2.65	26.54	29.49			
56	24/03/2018	4.01	0.80	3.21	0.88	2.82	28.23	31.37	61.33	1.53	0.77
57	25/03/2018	3.83	0.80	3.06	0.88	2.70	26.96	29.96			
58	26/03/2018	3.78	0.80	3.02	0.88	2.66	26.61	29.57	56.87	1.42	0.71
59	27/03/2018	3.49	0.80	2.79	0.88	2.46	24.57	27.30			
60	28/03/2018	3.79	0.80	3.03	0.88	2.67	26.68	29.65	61.25	2.40	1.20
61	29/03/2018	4.04	0.80	3.23	0.88	2.84	28.44	31.60			
62	30/03/2018	3.83	0.80	3.06	0.88	2.70	26.96	29.96	58.28	1.46	0.73
63	31/03/2018	3.62	0.80	2.90	0.88	2.55	25.48	28.32			
64	01/04/2018	2.82	0.80	2.26	0.88	1.99	19.85	22.06	49.91	1.25	0.62
65	02/04/2018	3.56	0.80	2.85	0.88	2.51	25.06	27.85			
66	03/04/2018	3.92	0.80	3.14	0.88	2.76	27.60	30.66	55.07	1.38	0.69
67	04/04/2018	3.12	0.80	2.50	0.88	2.20	21.96	24.41			
68	05/04/2018	3.96	0.80	3.17	0.88	2.79	27.88	30.98	61.64	1.54	0.77
69	06/04/2018	3.92	0.80	3.14	0.88	2.76	27.60	30.66			
70	07/04/2018	3.3	0.80	2.64	0.88	2.32	23.23	25.81	51.08	2.00	1.00
71	08/04/2018	3.23	0.80	2.58	0.88	2.27	22.74	25.27			
72	09/04/2018	3.12	0.80	2.50	0.88	2.20	21.96	24.41	44.20	1.10	0.55
73	10/04/2018	2.53	0.80	2.02	0.88	1.78	17.81	19.79			
74	11/04/2018	3.08	0.80	2.46	0.88	2.17	21.68	24.09	67.61	1.69	0.85
75	12/04/2018	5.1	0.80	4.08	0.96	3.92	39.17	43.52			

DDS	Fecha	Lec. Tanque TIPO-A (mm/d)	Kp	Eto (mm/d)	kc	Etc (mm/d)	Ln (m3/ha-d)	Lb (m3/ha-d)	Lr (m3/ha)	Tiem. Riego(h)	
										100% Eto	50% Eto
76	13/04/2018	2.02	0.80	1.62	0.96	1.55	15.51	17.24	34.05	0.85	0.43
77	14/04/2018	1.97	0.80	1.58	0.96	1.51	15.13	16.81			
78	15/04/2018	2.7	0.80	2.16	0.96	2.07	20.74	23.04	47.96	1.20	0.60
79	16/04/2018	2.92	0.80	2.34	0.96	2.24	22.43	24.92			
80	17/04/2018	3.42	0.80	2.74	0.96	2.63	26.27	29.18	60.93	1.52	0.76
81	18/04/2018	3.72	0.80	2.98	0.96	2.86	28.57	31.74			
82	19/04/2018	5	0.80	4.00	0.96	3.84	38.40	42.67	60.93	2.39	1.20
83	20/04/2018	2.14	0.80	1.71	0.96	1.64	16.44	18.26			
84	21/04/2018	4.31	0.80	3.45	0.96	3.31	33.10	36.78	70.91	1.77	0.89
85	22/04/2018	4	0.80	3.20	0.96	3.07	30.72	34.13			
86	23/04/2018	3.84	0.80	3.07	0.96	2.95	29.49	32.77	62.12	1.55	0.78
87	24/04/2018	3.44	0.80	2.75	0.96	2.64	26.42	29.35			
88	25/04/2018	1.28	0.80	1.02	0.96	0.98	9.83	10.92	27.65	0.69	0.35
89	26/04/2018	1.96	0.80	1.57	0.96	1.51	15.05	16.73			
90	27/04/2018	2.88	0.80	2.30	0.96	2.21	22.12	24.58	59.56	1.49	0.74
91	28/04/2018	4.1	0.80	3.28	0.96	3.15	31.49	34.99			
92	29/04/2018	2.96	0.80	2.37	0.96	2.27	22.73	25.26	49.49	1.94	0.97
93	30/04/2018	2.84	0.80	2.27	0.96	2.18	21.81	24.23			
94	01/05/2018	2	0.80	1.60	0.96	1.54	15.36	17.07	46.08	1.15	0.58
95	02/05/2018	3.4	0.80	2.72	0.96	2.61	26.11	29.01			
96	03/05/2018	2.9	0.80	2.32	0.96	2.23	22.27	24.75	66.56	1.66	0.83
97	04/05/2018	4.9	0.80	3.92	0.96	3.76	37.63	41.81			
98	05/05/2018	5.4	0.80	4.32	0.96	4.15	41.47	46.08	79.36	1.98	0.99
99	06/05/2018	3.9	0.80	3.12	0.96	3.00	29.95	33.28			
100	07/05/2018	5.14	0.80	4.11	0.96	3.95	39.48	43.86	73.05	1.83	0.91
101	08/05/2018	3.42	0.80	2.74	0.96	2.63	26.27	29.18			
102	09/05/2018	3.32	0.80	2.66	0.96	2.55	25.50	28.33	50.52	1.26	0.63
103	10/05/2018	2.6	0.80	2.08	0.96	2.00	19.97	22.19			
104	11/05/2018	2.7	0.80	2.16	0.96	2.07	20.74	23.04	47.10	1.85	0.92
105	12/05/2018	2.82	0.80	2.26	0.96	2.17	21.66	24.06			
106	13/05/2018	2.8	0.80	2.24	0.96	2.15	21.50	23.89	48.81	1.22	0.61
107	14/05/2018	2.92	0.80	2.34	0.96	2.24	22.43	24.92			
108	15/05/2018	2.75	0.80	2.20	0.96	2.11	21.12	23.47	39.68	0.99	0.50
109	16/05/2018	1.9	0.80	1.52	0.96	1.46	14.59	16.21			
110	17/05/2018	5	0.80	4.00	0.96	3.84	38.40	42.67	88.75	2.22	1.11
111	18/05/2018	5.4	0.80	4.32	0.96	4.15	41.47	46.08			
112	19/05/2018	0.63	0.80	0.50	0.96	0.48	4.84	5.38	21.59	0.85	0.42
113	20/05/2018	1.9	0.80	1.52	0.96	1.46	14.59	16.21			
114	21/05/2018	4.84	0.80	3.87	0.96	3.72	37.17	41.30	70.91	1.77	0.89

DDS	Fecha	Lec. Tanque TIPO-A (mm/d)	Kp	Eto (mm/d)	kc	Etc (mm/d)	Ln (m3/ha-d)	Lb (m3/ha-d)	Lr (m3/ha)	Tiem. Riego(h)	
										100% Eto	50% Eto
115	22/05/2018	3.47	0.80	2.78	0.96	2.66	26.65	29.61			
116	23/05/2018	3.92	0.80	3.14	0.96	3.01	30.11	33.45	52.39	1.31	0.65
117	24/05/2018	2.22	0.80	1.78	0.96	1.70	17.05	18.94			
118	25/05/2018	1.88	0.80	1.50	0.96	1.44	14.44	16.04	32.94	0.82	0.41
119	26/05/2018	1.98	0.80	1.58	0.96	1.52	15.21	16.90			
120	27/05/2018	2.2	0.80	1.76	0.96	1.69	16.90	18.77	27.73	0.69	0.35
121	28/05/2018	1.2	0.80	0.96	0.84	0.81	8.06	8.96			
122	29/05/2018	1.2	0.80	0.96	0.84	0.81	8.06	8.96	18.67	0.73	0.37
123	30/05/2018	1.3	0.80	1.04	0.84	0.87	8.74	9.71			
124	31/05/2018	2.6	0.80	2.08	0.84	1.75	17.47	19.41	39.57	0.99	0.49
125	01/06/2018	2.7	0.80	2.16	0.84	1.81	18.14	20.16			
126	02/06/2018	1.1	0.80	0.88	0.84	0.74	7.39	8.21	15.68	0.39	0.20
127	03/06/2018	1	0.80	0.80	0.84	0.67	6.72	7.47			
128	04/06/2018	1	0.80	0.80	0.84	0.67	6.72	7.47	14.93	0.37	0.19
129	05/06/2018	1	0.80	0.80	0.84	0.67	6.72	7.47			
130	06/06/2018	0.7	0.80	0.56	0.84	0.47	4.70	5.23	11.95	0.30	0.15
131	07/06/2018	0.9	0.80	0.72	0.84	0.60	6.05	6.72			
132	08/06/2018	1.5	0.80	1.20	0.84	1.01	10.08	11.20	20.91	0.52	0.26
133	09/06/2018	1.3	0.80	1.04	0.84	0.87	8.74	9.71			
134	10/06/2018	1.1	0.80	0.88	0.84	0.74	7.39	8.21	28.37	1.11	0.56
135	11/06/2018	2.7	0.80	2.16	0.84	1.81	18.14	20.16			
136	12/06/2018	1.2	0.80	0.96	0.84	0.81	8.06	8.96	17.17	0.43	0.21
137	13/06/2018	1.1	0.80	0.88	0.84	0.74	7.39	8.21			
138	14/06/2018	0.8	0.80	0.64	0.84	0.54	5.38	5.97	15.68	0.39	0.20
139	15/06/2018	1.3	0.80	1.04	0.84	0.87	8.74	9.71			
140	16/06/2018	0.7	0.80	0.56	0.84	0.47	4.70	5.23	10.45	0.26	0.13
141	17/06/2018	0.7	0.80	0.56	0.84	0.47	4.70	5.23			
142	18/06/2018	1.4	0.80	1.12	0.84	0.94	9.41	10.45	29.12	0.73	0.36
143	19/06/2018	2.5	0.80	2.00	0.84	1.68	16.80	18.67			
144	20/06/2018	1.2	0.80	0.96	0.84	0.81	8.06	8.96	17.92	0.70	0.35
145	21/06/2018	1.2	0.80	0.96	0.84	0.81	8.06	8.96			
146	22/06/2018	2	0.80	1.60	0.84	1.34	13.44	14.93	32.85	0.82	0.41
147	23/06/2018	2.4	0.80	1.92	0.84	1.61	16.13	17.92			
148	24/06/2018	2.5	0.80	2.00	0.84	1.68	16.80	18.67	28.37	0.71	0.35
149	25/06/2018	1.3	0.80	1.04	0.84	0.87	8.74	9.71			
150	26/06/2018	1.5	0.80	1.20	0.84	1.01	10.08	11.20	23.89	0.60	0.30
151	27/06/2018	1.7	0.80	1.36	0.84	1.14	11.42	12.69			
152	28/06/2018	1.5	0.80	1.20	0.84	1.01	10.08	11.20	23.89	0.60	0.30
153	29/06/2018	1.7	0.80	1.36	0.84	1.14	11.42	12.69			

ANEXO N° 6: Resultado promedio del área foliar por semana

DDS	RGS(cm2)	RGSP (cm2)
19	456.00	556.00
26	1106.00	1137.00
33	1337.00	1438.00
40	1535.00	1546.00
47	1611.00	1710.00
54	1819.00	1995.00
61	2265.00	2591.00
68	2678.00	3145.00
75	3074.00	3845.00
82	2845.00	3361.00
89	2643.00	2854.00
96	2515.00	2972.00
103	2565.00	2858.00
110	2428.00	2446.00
117	2090.00	2345.00
124	2611.00	2869.00
131	2612.00	2892.00
138	2900.00	2900.00
145	2843.00	2810.00
152	2955.00	2990.00

ANEXO N° 7: Resultado promedio de la altura de planta por semana

DDS	RGS (cm)	RGSP (cm)
0	14.37	13.96
26	23.94	20.18
33	28.82	27.32
40	36.21	32.04
47	40.12	38.12
54	42.85	40.16
61	44.65	42.19
68	45.45	41.61
75	48.13	45.17
82	45.76	43.14
89	39.85	37.13
96	37.15	35.75
103	36.12	35.12
110	35.18	32.74
117	34.19	31.41
124	34.15	30.43
131	32.84	30.12
138	30.45	29.85
145	28.17	28.12
152	19.00	27.02

ANEXO N° 8: Registro de la preparación del terreno y siembra



Restos de cosecha de la anterior campaña-cultivo de papa



Limpieza de los restos de la campaña de papa



Replanteo luego del barvecho del terreno.



Terreno con las unidades experimentales replanteadas



Terreno lúcido, aradolimpio y nivelado



Preparación de surcos, donde serán enterradas las cintas autocompensadas



Siembra de esquejes de camote variedad Jonathan, 20 esquejes por surco, espaciadas a 30 cm

ANEXO N° 9: Seguimiento del cultivo de camote



El cultivo a los 20 días después de la siembra.



El cultivo a los 62 días después de la siembra, se colocaron trampas para la mosca blanca



El cultivo a los 123 días después de la siembra, se muestra el 100% de la cobertura



El cultivo a los 138 días después de la siembra.

ANEXO N° 10: Análisis estadístico para el rendimiento total

- **Pruebas de normalidad en los errores de los modelos**

H_0 : Los errores se distribuyen normalmente

H_1 : Los errores no se distribuyen normalmente

Shapiro-Wilk normality test

Variable: Rendimiento total

$W = 0.95493$, p-value = 0.4482

- Como el Pvalor es mayor que 0.05, por lo tanto con un alfa de 0.05 no se rechaza H_0 , concluyendo que los errores se distribuyen normalmente.

- **Prueba de homogeneidad de varianzas en los modelos**

H_0 : Existe homogeneidad de varianzas

H_1 : No existe homogeneidad de varianzas

studentized Breusch-Pagan test

Variance formula: ~ Rendimiento total

$BP = 0.65737$, $df = 1$, p-value = 0.41749

- Como el Pvalor es mayor que 0.05, por lo tanto con un alfa de 0.05 no se rechaza H_0 , concluyendo que existe homogeneidad de varianzas. La prueba fue mediante el Test Breush – Pagan.

- **Análisis de varianza**

$H_0: \mu_1 = \mu_2$

$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$

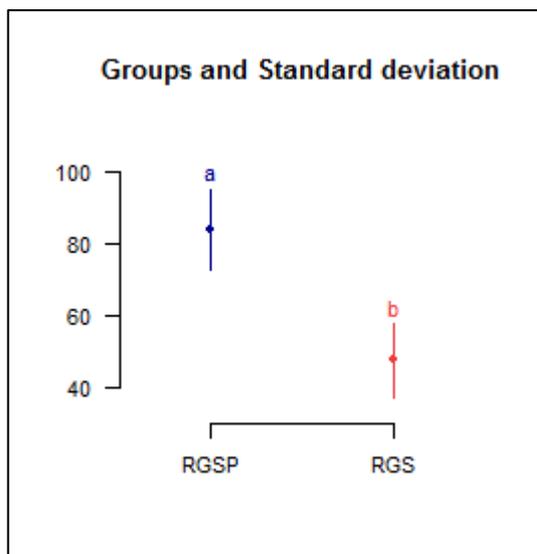
Anova

Fv	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	Sig
Riego	1	1.7405	1.7405	2.9961	0.1006	
Error	18	10.456	0.5809			

Signif. codes: 0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

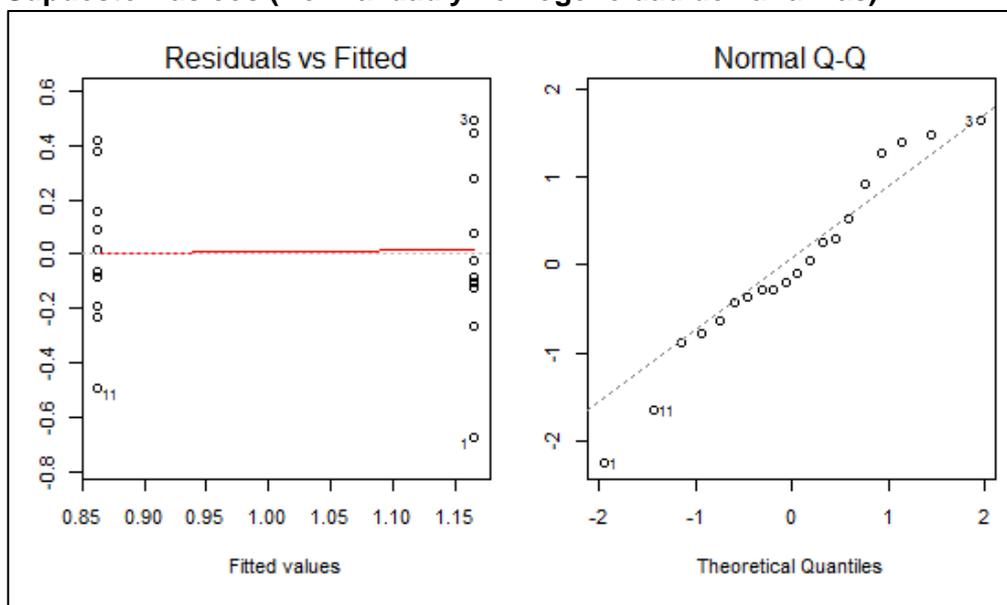
- El análisis de varianza indica a un nivel de 0.05 que el factor riego es significativo, por lo tanto al menos un tipo de riego influye sobre el rendimiento total.
- **Comparaciones múltiples**

comparison	difference	pvalue	signif.	LCL	UCL
RGS - RGSP	-36.3285	0.0000	***	-0.126117	1.306117



ANEXO N° 11: Análisis estadístico para el calibre primera

- **Supuesto Básicos (Normalidad y homogeneidad de varianzas)**



La figura (Normal Q-Q Plot) da indicios de que los errores tienden a distribuirse normalmente (los puntos de los cuantiles están cerca de la diagonal).

La figura (Resid vs Fitted) muestra que en la variable no existe un patrón o tendencia obvia en los puntos, es decir los valores ajustados frente a sus residuos parecen bastante aleatorios. En base a esto, se sospecha que no se tiene problemas de no homogeneidad ya que los residuos parecen tener la misma varianza al ser constantes.

- **Pruebas de normalidad en los errores de los modelos**

H_0 : Los errores se distribuyen normalmente

H_1 : Los errores no se distribuyen normalmente

Shapiro-Wilk normality test

Variable: Rendimiento total

$W = 0.94239$, $p\text{-value} = 0.266$

- Como el p-valor es mayor que 0.05, por lo tanto con un alfa de 0.05 no se rechaza H_0 , concluyendo que los errores se distribuyen normalmente.

- **Prueba de homogeneidad de varianzas en los modelos**

H_0 : Existe homogeneidad de varianzas

H_1 : No existe homogeneidad de varianzas

studentized Breusch-Pagan test

Variance formula: ~ Rendimiento primera

BP = 0.090400, df = 1, p-value = 0.76367

- Como el Pvalor es mayor que 0.05, por lo tanto con un alfa de 0.05 no se rechaza H_0 , concluyendo que existe homogeneidad de varianzas. La prueba fue mediante el Test Breush – Pagan.

Análisis de varianza

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$$

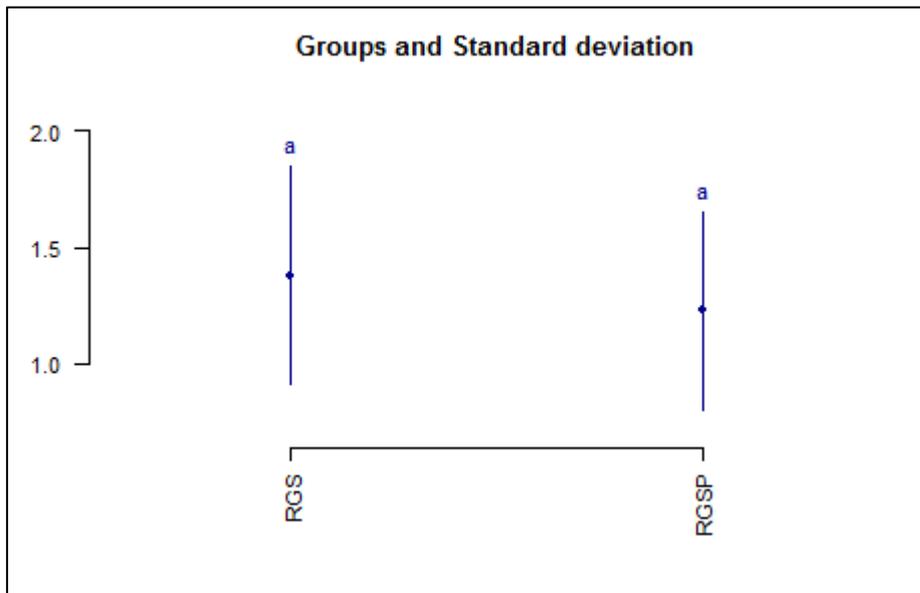
Anova

Fv	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	Sig
Tratamiento	1	0.114	0.114	0.5716	0.4594	
Residuals	18	3.5902	0.19945			
Signif.codes:	0 ‘***	*’ 0.001	‘***’ 0	.01 ‘*’ 0.	05 ‘.’ 0.1 ‘ ’	1

- El análisis de varianza indica a un nivel de 0.05 que el factor riego es significativo, por lo tanto al menos un tipo de riego influye sobre el rendimiento total.

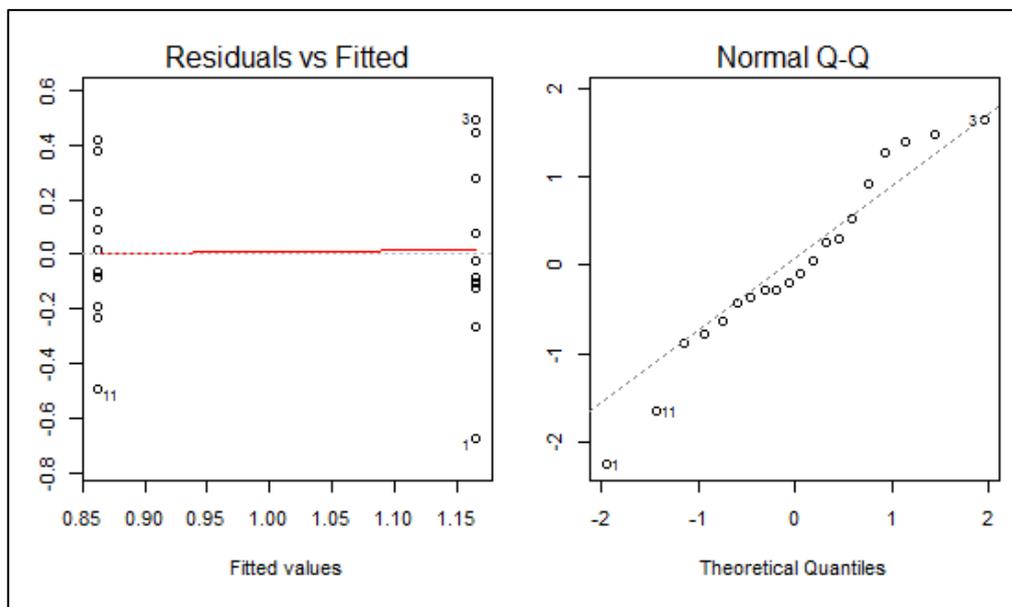
- **Comparaciones múltiples**

comparison	difference	pvalue	signif.	LCL	UCL
RGS - RGSP	0.59	0.1006	*	-0.126117	1.306117



ANEXO N° 12: Análisis estadístico para el calibre segunda

- **Supuesto Básicos (Normalidad y homogeneidad de varianzas)**



La figura (Normal Q-Q Plot) da indicios de que los errores tienden a distribuirse normalmente (los puntos de los cuantiles están cerca de la diagonal).

La figura (Resid vs Fitted) muestra que en la variable no existe un patrón o tendencia obvia en los puntos, es decir los valores ajustados frente a sus residuos parecen bastante aleatorios. En base a esto, se sospecha que no se tiene problemas de no homogeneidad ya que los residuos parecen tener la misma varianza al ser constantes.

- **Pruebas de normalidad en los errores de los modelos**

H_0 : Los errores se distribuyen normalmente

H_1 : Los errores no se distribuyen normalmente

Shapiro-Wilk normality test

Variable: Rendimiento total

W = 0.9638, p-value = 0.6223

- Como el Pvalor es mayor que 0.05, por lo tanto con un alfa de 0.05 no se rechaza Ho, concluyendo que los errores se distribuyen normalmente.

- **Prueba de homogeneidad de varianzas en los modelos**

H_0 : Existe homogeneidad de varianzas

H_1 : No existe homogeneidad de varianzas

studentized Breusch-Pagan test

Variance formula: ~ Rendimiento segunda

BP = 0.4824872, df = 1, p-value = 0.4873

- Como el Pvalor es mayor que 0.05, por lo tanto con un alfa de 0.05 no se rechaza H_0 , concluyendo que existe homogeneidad de varianzas. La prueba fue mediante el Test Breush – Pagan.

- **Análisis de varianza**

$H_0: \mu_1 = \mu_2$

$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$

Anova

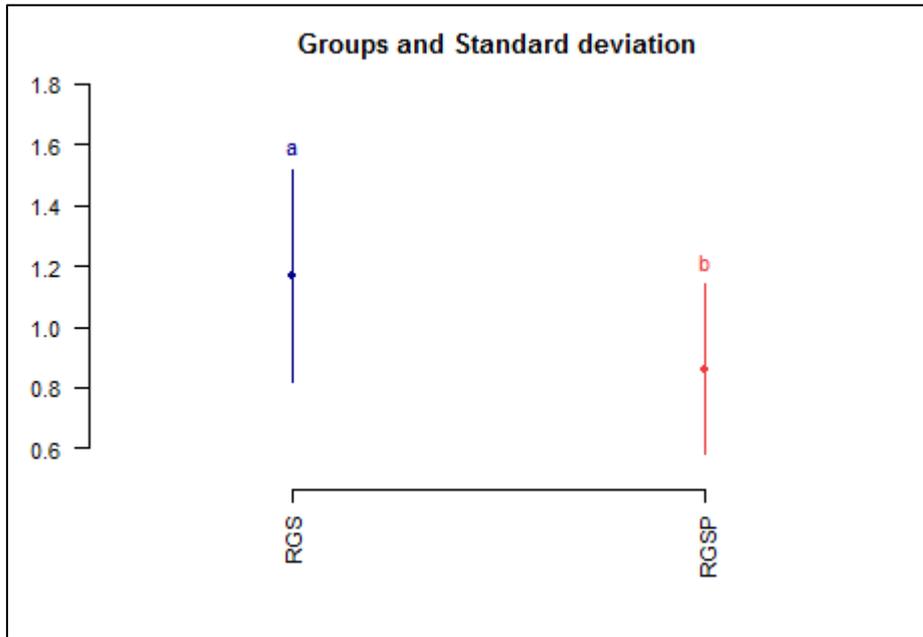
Fv	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	Sig
Riego	1	0.46208	0.46208	4.6764	0.0443	*
Residuals	18	1.7786	0.09881			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

- El análisis de varianza indica a un nivel de 0.05 que el factor riego es significativo, por lo tanto al menos un tipo de riego influye sobre el rendimiento en segunda.

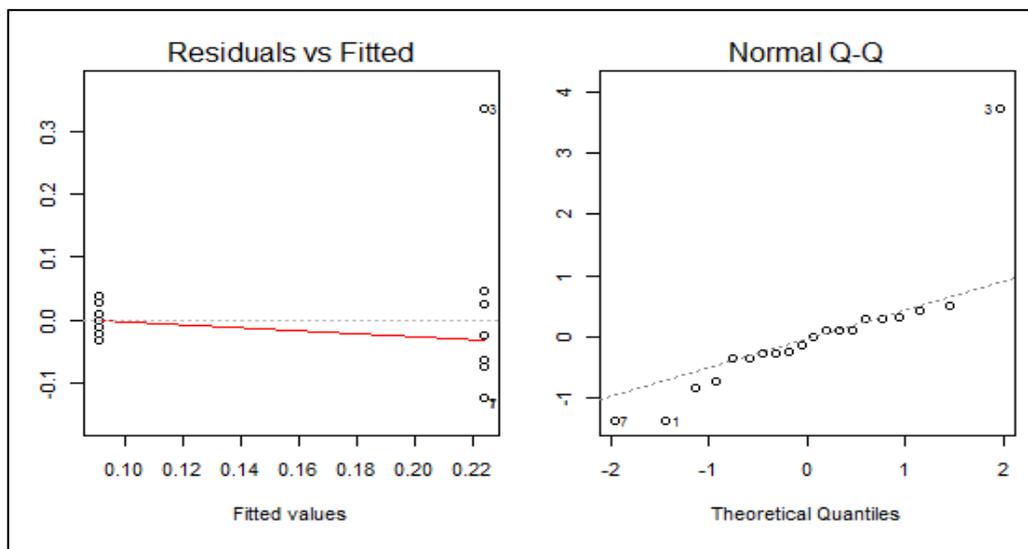
- **Comparaciones múltiples**

comparison	difference	pvalue	signif.	LCL	UCL
RGS - RGSP	0.304	0.0443	*	0.0086562	0.5993438



ANEXO N° 13: Análisis estadístico para el calibre descarte

- **Supuesto Básicos (Normalidad y homogeneidad de varianzas)**



La figura (Normal Q-Q Plot) da indicios de que los errores tienden a distribuirse normalmente (los puntos de los cuantiles están cerca de la diagonal).

La figura (Resid vs Fitted) muestra que en la variable no existe un patrón o tendencia obvia en los puntos, es decir los valores ajustados frente a sus residuos parecen bastante aleatorios. En base a esto, se sospecha que no se tiene problemas de no homogeneidad ya que los residuos parecen tener la misma varianza al ser constantes.

- **Pruebas de normalidad en los errores de los modelos**

H_0 : Los errores se distribuyen normalmente

H_1 : Los errores no se distribuyen normalmente

Shapiro-Wilk normality test

Variable: Rendimiento total

$W = 0.73072$, $p\text{-value} = 0.2115$

- Como el Pvalor es mayor que 0.05, por lo tanto con un alfa de 0.05 no se rechaza Ho, concluyendo que los errores se distribuyen normalmente.

- **Prueba de homogeneidad de varianzas en los modelos**

H_0 : Existe homogeneidad de varianzas

H_1 : No existe homogeneidad de varianzas

studentized Breusch-Pagan test

Variance formula: ~ Rendimiento Descarte

BP = 8.789422, df = 1, p-value = 0.1232

- Como el Pvalor es mayor que 0.05, por lo tanto con un alfa de 0.05 no se rechaza H_0 , concluyendo que existe homogeneidad de varianzas. La prueba fue mediante el Test Breush – Pagan.

- **Análisis de varianza**

$H_0: \mu_1 = \mu_2$

$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$

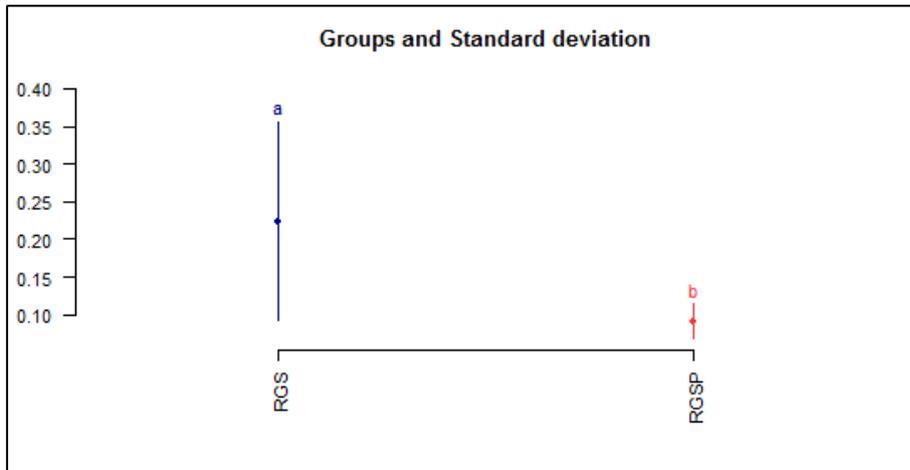
Anova

Fv	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	Sig
Riego	1	0.088445	0.088445	9.7711	0.0058	**
Residuals	18	0.16293	0.009052			
Signif. codes:	0 '***	*' 0.001	'**' 0	.01 '*' 0.	05 '.' 0.1 ' ' 1	

- El análisis de varianza indica a un nivel de 0.05 que el factor riego es significativo, por lo tanto al menos un tipo de riego influye sobre el rendimiento en Descarte.

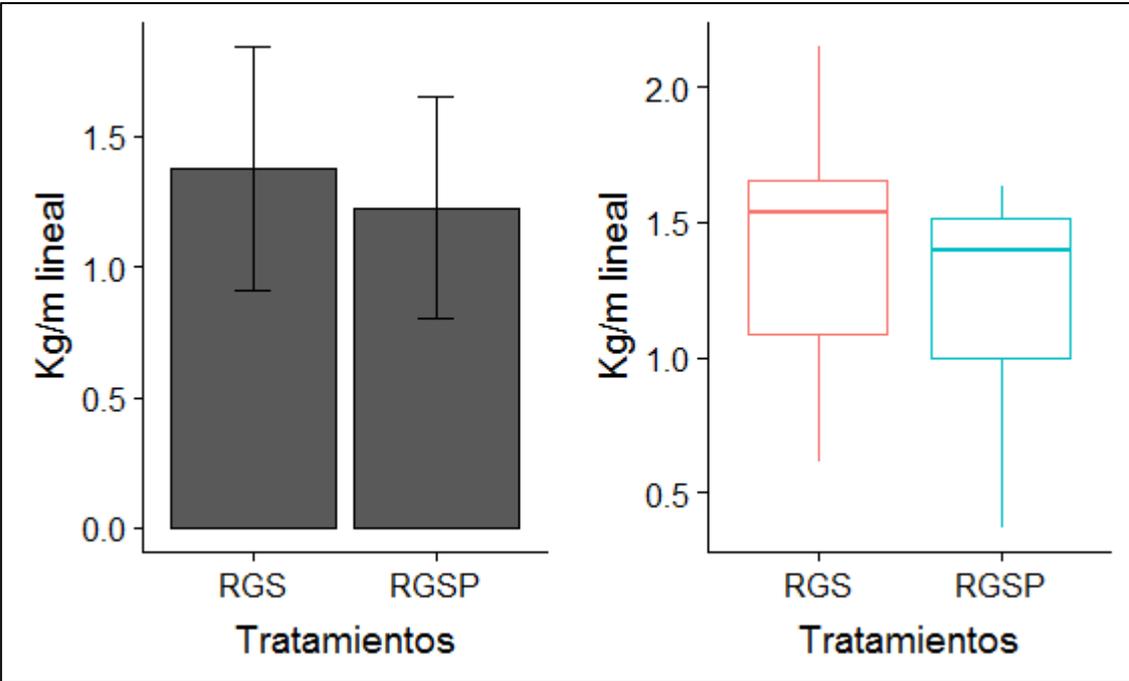
- **Comparaciones múltiples**

comparison	difference	pvalue	signif.	LCL	UCL
RGS - RGSP	0.133	0.0058	**	0.04361	0.2223901

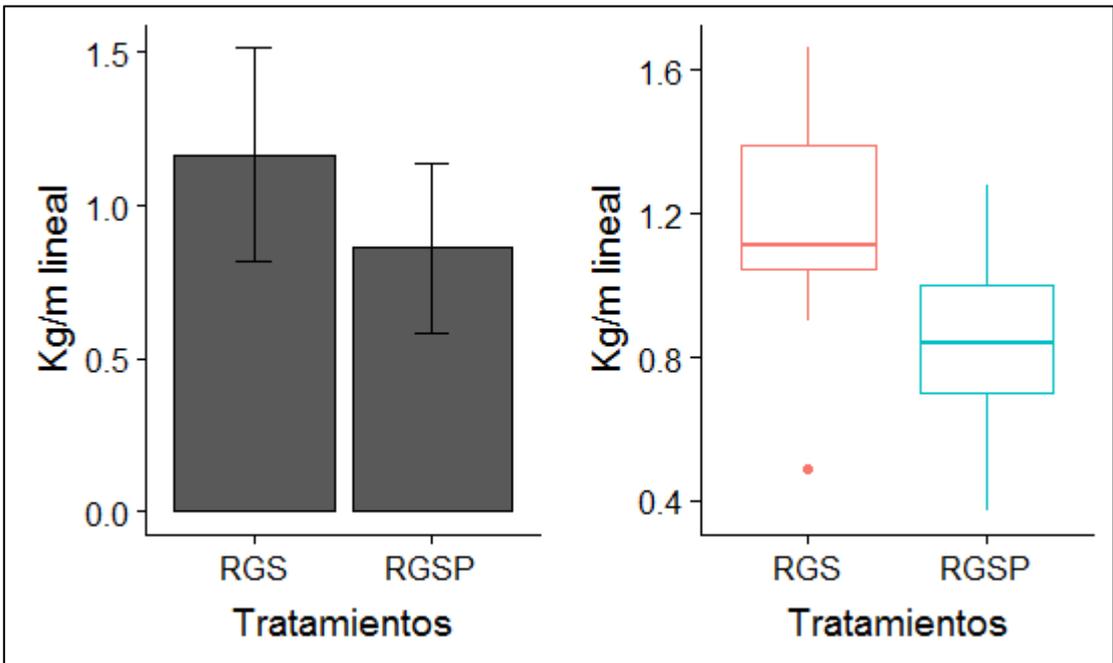


ANEXO N° 14: Diagrama de cajas por categoría

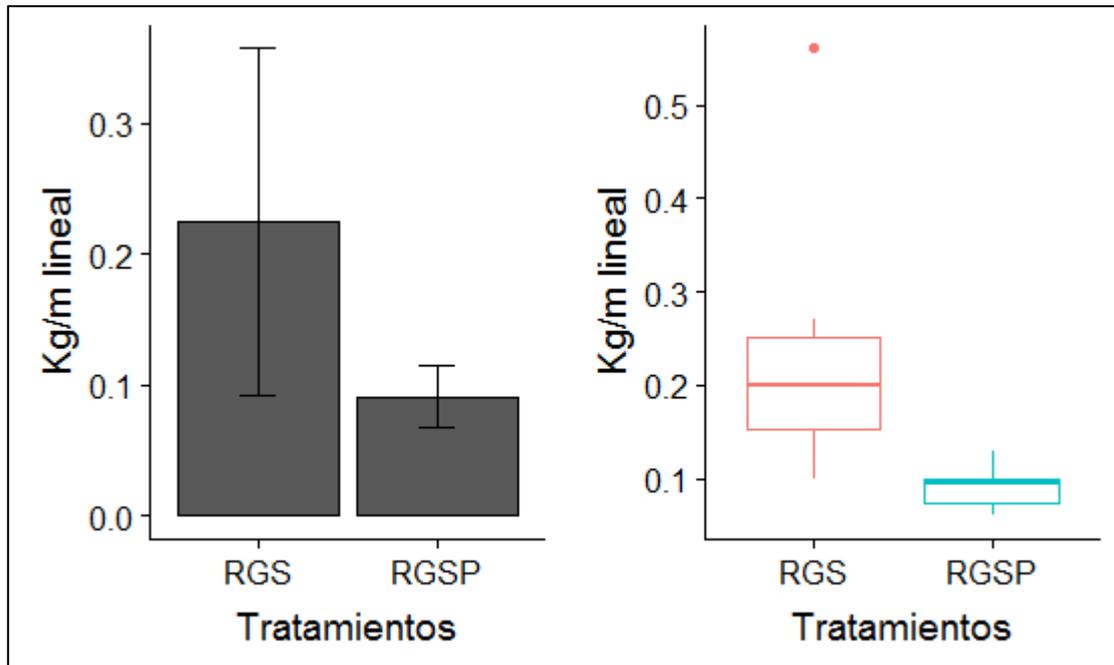
• PRIMERA



• SEGUNDA



- **DESCARTE**



DESCARTE

