

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**“DISTRIBUCION DE LA HUMEDAD EN LA DISPOSICION DE
EMISORES EN EL RIEGO PARCIAL DE RAICES EN EL CULTIVO DE
PAPA (*Solanum Tuberosum*)”**

Presentado por:

BACH. GINO FRANKLIN OVIEDO YUPANQUI

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

**Lima – Perú
2018**

DEDICATORIA

A mis padres (Santos y Delina), por su incondicional apoyo, amor y comprensión en las decisiones que tomo. Y a mis hermanos menores, para que vean que con dios y la familia unida todo es posible.

AGRADECIMIENTOS

- A dios, por siempre cuidarme a pesar de todas las cosas y mantener a mi familia unida pese a todos los problemas que puedan pasar
- A mi asesor, Mg. Sc. Miguel Sánchez, por todo el apoyo, guía y consejos brindados durante el desarrollo y redacción del presente trabajo.
- A mi presidente y jurados de la tesis, por sus observaciones precisas en la redacción del trabajo.
- A mis amigos de la parcela experimental del cultivo de la papa única (Piero, Carlos, Raúl y Skill), por creer y ser constantes en los trabajos de campo que se hicieron en la parcela.
- A mis queridos amigos pichanaquenses de toda la vida: Darwin, Antony y Pool; por su apoyo en la recolección de los resultados obtenidos en el diseño experimental. Michael y Hans; por su apoyo en la preparación de la sustentación de la tesis.
- A mi querido grupito de amigos del trabajo (Jose, Josimar y Andrea), por apoyarme en partes del trabajo que eran mi responsabilidad y por siempre estar cuando se les necesita.

RESUMEN

La presente investigación tuvo como finalidad determinar la disposición adecuada de los emisores de un Riego Parcial de Raíces (PRD) en la distribución de la humedad del suelo, durante el crecimiento vegetativo de la papa variedad única, con un aporque trapecial. 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 junio a setiembre del 2017. Cuya área experimental efectiva para cada etapa vegetativa (Emergencia, Tuberización, Desarrollo y Maduración) tuvo un área de 72 m², distribuidas en cuatro parcelas experimentales con área de 18 m² para cada tratamiento. El arreglo estadístico elegido fue el diseño factorial completamente al azar con dos factores: (a) Disposición emisor y (b) Tipo Riego; además cada factor presento dos niveles: (a.1) Lineal, (a.2) Paralelo y (b.1) PRD, (b.2) Normal, cuya combinación genero cuatro tratamientos (T, RP2, RP y RP1), donde las variables respuestas fueron las radios y profundidades en centímetros (forma y dimensión del bulbo húmedo). De acuerdo con los resultados obtenidos, en Emergencia con un Riego Parcial de Raíces (PRD) se tuvo que la disposición lineal como la paralela nos da radios y profundidades estadísticamente iguales (no existe diferencia significativa); mientras que, en Tuberización y Desarrollo con un riego normal se tuvo que la disposición lineal nos da radios mayores (17.26 cm y 18.44 cm) estadísticamente significativas con respecto a la paralela (16.01 cm y 15.66 cm); y finalmente en Maduración con un Riego Parcial de Raíces (PRD) se tuvo que la disposición lineal nos da radios mayores (16.53 cm) estadísticamente significativas con respecto a la paralela (15.18 cm), esto debido al talud del aporque que no permite su avance horizontal y por la ubicación de los emisores (en la lineal está ubicada al centro de la corona de aporque, mientras que en la paralela está a 7cm del borde de la corona de aporque). Por lo que se concluye que la mejor disposición de emisor de un PRD en la distribución de la humedad, durante el crecimiento vegetativo y con un aporque trapecial es la disposición lineal (RP2).

Palabras claves: disposición emisores, riego PRD, bulbo húmedo, papa única.

ABSTRACT

The aim of the research was to determine the appropriate disposition of the emitters of a Partial Root Irrigation (PRD) in the distribution of soil moisture, throughout the vegetative growth of the single variety potato, with a trapezoidal hilling. The field work was carried out in the demonstration plot of the Department of Water Resources (DRH) of the Faculty of Agricultural Engineering, at the National Agrarian University La Molina, since June to September 2017. The experimental effective area for each Vegetative stage (Emergency, Tuberculation, Development and Maturation) had 72 m², distributed in four experimental plots of 18 m² for each treatment. The statistical arrangement chosen was the completely random factorial design with two factors: (a) Issuer disposition and (b) Irrigation type; In addition, each factor presented two levels: (a.1) Linear, (a.2) Parallel and (b.1) PRD, (b.2) Normal, the combination generated four treatments (T, RP2, RP and RP1), where the variable answers were the radius and depths in centimeters. According to the obtained results, in Emergency with a PRD irrigation, the linear arrangement as the parallel one gave us statistically equal radius and depths (there is no significant difference); while, in Tuberculation and Development with a normal irrigation, the linear arrangement gave us greater radius (17.26 and 18.44 cm) statistically significant than the parallel one (16.01 and 15.66 cm); and finally in Maturation with a PRD irrigation, the linear arrangement gave us greater radius (16.53 cm) statistically significant than the parallel one (15.18 cm), due to the slope of the hilling that does not allow its horizontal advancement and location of the emitters (in the linear is located at the center of the horn crown, while in the parallel is 7cm from the edge of the hilling crown). In conclusion, the best disposition of emitter of a PRD in the distribution of moisture, throughout vegetative growth and with a trapezoidal horn is the linear arrangement (RP2).

Keywords: emitter disposal, PRD irrigation, wet bulb, single potato.

INDICE

I. INTRODUCCION.....	1
1.1 Objetivo General.....	2
1.2 Objetivos Específicos.....	2
II. REVISION DE LITERATURA.....	3
2.1 CULTIVO DE LA PAPA – VARIEDAD UNICA.....	3
2.1.1 Origen.....	3
2.1.2 Morfología de la Papa.....	4
2.1.3 Descripción Varietal.....	5
2.1.4 Comportamiento agronómico.....	6
2.1.5 Atributos para el mercado.....	7
2.1.6 Periodo Vegetativo de la Papa.....	8
2.1.7 Labores agronómicas.....	9
2.1.7.1 La siembra.....	9
2.1.7.2 Abonamiento.....	10
2.1.7.2 Manejo de malezas.....	10
2.1.7.3 Aporque.....	10
2.1.7.4 El riego.....	11
2.1.7.5 Cosecha.....	12
2.1.7.6 Comercialización.....	12
2.1.7.7 Almacenamiento.....	12
2.2 RIEGO DEFICITARIO POR GOTEEO.....	12
2.2.1 Estrés.....	12
2.2.1.1 Estrés hídrico.....	13
2.2.1.2 Estrés hídrico en cultivos.....	13
2.2.2 Riego deficitario.....	14
2.2.2.1 Riego deficitario controlado (RDC).....	15
2.2.2.2 Riego parcial de raíces (PRD).....	15
2.3 BULBO HÚMEDO.....	18
2.3.1 Formación del bulbo húmedo.....	19
2.3.2 Forma y dimensión del bulbo húmedo.....	19

2.3.3 Superficie mojada por el emisor.....	22
2.3.4 Infiltración	22
2.3.5 Uniformidad de riego	22
2.3.5.1 El coeficiente de uniformidad.....	22
III. MATERIALES Y METODOS.....	25
3.1 MATERIALES	25
3.1.1 Localización de la parcela experimental	25
3.1.2 Ubicación política.....	25
3.1.3 Ubicación geográfica	25
3.1.4 Condiciones climáticas	25
3.1.5 Suelo	26
3.1.6 Características físico – químico del suelo	26
3.1.7 Fisiografía e historia del campo	27
3.1.8 Equipos e insumos	27
3.1.9 Los tratamientos en estudio	29
3.1.10 Especificaciones de los tratamientos	30
3.1.11 Diseño estadístico	31
3.1.12 El modelo aditivo lineal.....	31
3.1.13 Análisis estadístico	32
3.1.14 El campo experimental.....	33
3.2 METODOLOGÍAS	35
3.2.1 Metodología para determinar las características físico-químicas del suelo	35
3.2.2 Metodología para determinar la velocidad de infiltración del agua en el suelo ..	36
3.2.3 Metodología del cálculo de velocidad de infiltración instantánea	37
3.2.4 Metodología del cálculo de la función de la lámina infiltrada acumulada	40
3.2.5 Preparación del terreno	42
3.2.6 Instalación del experimento y siembra de la papa	43
3.2.7 Pruebas de uniformidad de riego	43
3.2.7.1 Actividades previas.....	43
3.2.7.2 Calculo del coeficiente de uniformidad.....	44

3.2.8 Ejecución del experimento	45
3.2.9 Metodología de evaluación de la forma y dimensión del bulbo húmedo	47
3.2.9.1 Registro de Datos de la forma y dimensión del bulbo húmedo.	48
IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES	49
4.1 PERIODO DE EMERGENCIA.....	49
4.1.1 Coeficiente de uniformidad de los tratamientos.	49
4.1.2 Forma y dimensión del bulbo húmedo	49
4.1.2.1 Forma y dimensión del bulbo húmedo del tratamiento T.....	49
4.1.2.2 Forma y dimensión del bulbo húmedo del tratamiento RP2	50
4.1.2.3 Forma y dimensión del bulbo húmedo del tratamiento RP	52
4.1.2.4 Forma y dimensión del bulbo húmedo del tratamiento RP1	54
4.1.3 Análisis de varianza de las dimensiones medias de los radios del bulbo húmedo.	56
4.1.4 Análisis de varianza de las dimensiones medias de las profundidades del bulbo húmedo.	58
4.2 PERIODO DE TUBERIZACION	60
4.2.1 Coeficiente de uniformidad de los tratamientos	60
4.2.2 Forma y dimensión del bulbo húmedo	61
4.2.2.1 Forma y dimensión del bulbo húmedo del tratamiento T.....	61
4.2.2.2 Forma y dimensión del bulbo húmedo del tratamiento RP2	62
4.2.2.3 Forma y dimensión del bulbo húmedo del tratamiento RP	64
4.2.2.4 Forma y dimensión del bulbo húmedo del tratamiento RP1	66
4.2.3 Análisis de varianza de las dimensiones medias de los radios del bulbo húmedo	68
4.2.4 Análisis de varianza de las dimensiones medias de las profundidades del bulbo húmedo.	70
4.3 PERIODO DE DESARROLLO	72
4.3.1 Coeficiente de uniformidad de los tratamientos	72
4.3.2 Forma y dimensión del bulbo húmedo	72
4.3.2.1 Forma y dimensión del bulbo húmedo del tratamiento T.....	72

4.3.2.2 Forma y dimensión del bulbo húmedo del tratamiento RP2	74
4.3.2.3 Forma y dimensión del bulbo húmedo del tratamiento RP	75
4.3.2.4 Forma y dimensión del bulbo húmedo del tratamiento RP1	78
4.3.3 Análisis de varianza de las dimensiones medias de los radios del bulbo húmedo	80
4.3.4 Análisis de varianza de las dimensiones medias de las profundidades del bulbo húmedo.	82
4.4 PERIODO DE MADURACION	83
4.4.1 Coeficiente de uniformidad de los tratamientos	83
4.4.2 Forma y dimensión del bulbo húmedo	84
4.4.2.1 Forma y dimensión del bulbo húmedo del tratamiento T	84
4.4.2.2 Forma y dimensión del bulbo húmedo del tratamiento RP2	85
4.4.2.3 Forma y dimensión del bulbo húmedo del tratamiento RP	87
4.4.2.4 Forma y dimensión del bulbo húmedo del tratamiento RP1	89
4.4.3 Análisis de varianza de las dimensiones medias de los radios del bulbo húmedo	91
4.4.4 Análisis de varianza de las dimensiones medias de las profundidades del bulbo húmedo.	94
4.5 Morfología de la papa variedad única.....	96
4.5.1 Profundidad de raíces.	96
4.5.2 Altura de la planta.	98
4.5.3 Área foliar de la papa.	99
4.6 Consumo de agua por periodo vegetativo	101
V. CONCLUSIONES	103
VI. RECOMENDACIONES	104
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	105
VIII. ANEXOS	108

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Factores que determinan el volumen total y frecuencia de riegos.	11
Tabla 2: Datos meteorológicos mensuales.	26
Tabla 3: Características físico-químicas de la parcela experimental.	26
Tabla 4: Descripción de los tratamientos en estudio.	29
Tabla 5: Registro de datos para el cálculo de la velocidad de infiltración.	39
Tabla 6: Registro de datos para el cálculo de la Lamina Infiltrada Acumulada.	40
Tabla 7: Volumen de lámina aplicada por tratamiento en riego de Emergencia.	45
Tabla 8: Volumen de lámina aplicada por tratamiento en riego de Tuberización.	46
Tabla 9: Volumen de lámina aplicada por tratamiento en riego de Desarrollo.	46
Tabla 10: Volumen de lámina aplicada por tratamiento en riego de Maduración.	46
Tabla 11: Valores de coeficientes de uniformidad del riego en Emergencia.	49
Tabla 12: Dimensiones medias del radio horizontal y profundidad (cm) del bulbo húmedo del tratamiento T en Emergencia.	49
Tabla 13: Dimensiones medias del radio horizontal y profundidad (cm) del bulbo húmedo del tratamiento RP2 en Emergencia.	51
Tabla 14: Dimensiones medias del radio horizontal y profundidad (cm) del bulbo húmedo del tratamiento RP en Emergencia.	52
Tabla 15: Dimensiones medias del radio horizontal y profundidad (cm) del bulbo húmedo del tratamiento RP1 en el periodo de Emergencia.	54
Tabla 16: Análisis de varianza de las dimensiones medias de los radios del bulbo húmedo en Emergencia.	56
Tabla 17: Análisis de varianza de las dimensiones medias de las profundidades del bulbo húmedo (cm) en Emergencia.	58
Tabla 18: Valores de coeficientes de uniformidad del riego en Tuberización.	60
Tabla 19: Dimensiones medias del radio horizontal y profundidad (cm) del bulbo húmedo del tratamiento T.	61
Tabla 20: Dimensiones medias del radio horizontal y profundidad (cm) del bulbo húmedo del tratamiento RP2 en Tuberización.	62

Tabla 21: Dimensiones medias del radio horizontal y profundidad (cm) del bulbo húmedo del tratamiento RP en Tuberización.	64
Tabla 22: Dimensiones medias del radio horizontal y profundidad (cm) del bulbo húmedo del tratamiento RP1 en Tuberización.	66
Tabla 23: Análisis de varianza de las dimensiones medias de los radios del bulbo húmedo en el periodo de Tuberización.	68
Tabla 24: Análisis de varianza de las dimensiones medias de las profundidades del bulbo húmedo (cm) en Tuberización.	70
Tabla 25: Valores de coeficientes de uniformidad del riego en Desarrollo.	72
Tabla 26: Dimensiones medias del radio horizontal y profundidad (cm) del bulbo húmedo del tratamiento T en Desarrollo.	73
Tabla 27: Dimensiones medias del radio horizontal y profundidad (cm) del bulbo húmedo del tratamiento RP2 en Desarrollo.	74
Tabla 28: Dimensiones medias del radio horizontal y profundidad (cm) del bulbo húmedo del tratamiento RP en Desarrollo.	76
Tabla 29: Dimensiones medias del radio horizontal y profundidad (cm) del bulbo húmedo del tratamiento RP1 en Desarrollo.	78
Tabla 30: Análisis de varianza de las dimensiones medias de los radios del bulbo húmedo en el periodo de Desarrollo.	80
Tabla 31: Análisis de varianza de las dimensiones medias de las profundidades del bulbo húmedo (cm) en Desarrollo.	82
Tabla 32: Valores de coeficientes de uniformidad del riego en Maduración.	83
Tabla 33: Dimensiones medias del radio horizontal y profundidad (cm) del bulbo húmedo del tratamiento T en Maduración.	84
Tabla 34: Dimensiones medias del radio horizontal y profundidad (cm) del bulbo húmedo del tratamiento RP2 en Maduración.	85
Tabla 35: Dimensiones medias del radio horizontal y profundidad (cm) del bulbo húmedo del tratamiento RP en Maduración.	87
Tabla 36: Dimensiones medias del radio horizontal y profundidad (cm) del bulbo húmedo del tratamiento RP1 en Maduración.	89

Tabla 37: Análisis de varianza de las dimensiones medias de los radios del bulbo húmedo en el periodo de Maduración.	91
Tabla 38: Análisis de varianza de las dimensiones medias de las profundidades del bulbo húmedo (cm) en Maduración.	94
Tabla 39: Profundidad de raíz (cm) por tratamiento y periodo vegetativo.	96
Tabla 40: Altura de la papa (cm) por tratamiento y periodo vegetativo.....	98
Tabla 41: Área foliar de la papa (cm) por tratamiento y periodo vegetativo.	100
Tabla 42: Consumo de agua (m³/ha) por tratamiento y periodo vegetativo.....	101

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Genealogía de la variedad única	3
Figura 2: Partes de la papa.	4
Figura 3: Partes del tallo de la papa.	5
Figura 4: Imágenes del tallo, hoja, tubérculo y flor de la variedad única.	6
Figura 5: Estabilidad de la variedad única (10 localidades de costa, 1995 – 96).	7
Figura 6: Características e inicios del periodo vegetativo.	8
Figura 7: Periodo vegetativo de la papa unica, después de la siembra.	9
Figura 8: Secuencia de siembra de la papa.	9
Figura 9: Sección transversal del aporque y disposición de laterales de riego.	11
Figura 10: Esquema de dos formas de aplicación de agua.	16
Figura 11: Vista en planta de la disposición paralela de los emisores de un PRD.	17
Figura 12: Vista en planta de la disposición lineal de los emisores de un PRD	17
Figura 13: Vista perfil de la alternancia de aplicación de agua a la planta.	18
Figura 14: Humedad del bulbo húmedo según el tipo de suelo.	20
Figura 15: Croquis del diseño de las parcelas experimentales.	34
Figura 16: Parcelas experimentales en estudio.	35
Figura 17: Forma y dimensión del bulbo húmedo del tratamiento T en Emergencia.	50
Figura 18: Forma y dimensión del bulbo húmedo del tratamiento RP2 en Emergencia.	51
Figura 19: Forma y dimensión del bulbo húmedo del tratamiento RP en Emergencia.	53
Figura 20: Forma y dimensión del bulbo húmedo del tratamiento RP1 en el periodo de Emergencia.	55
Figura 21: Grafico de efectos principales para radio del factor B (tipo de riego) en Emergencia.	57
Figura 22: Grafico de normalidad de error de residuos estandarizados del radio medio en Emergencia.	58
Figura 23: Grafico de efectos principales para profundidad del factor B (tipo de riego) en Emergencia.	59

Figura 24: Grafico de normalidad de error residuos estandarizados de la profundidad media en Emergencia.	60
Figura 25: Forma y dimensión del bulbo húmedo del tratamiento T en Tuberización.	61
Figura 26: Forma y dimensión del bulbo húmedo del tratamiento RP2 en Tuberización.	63
Figura 27: Forma y dimensión del bulbo húmedo del tratamiento RP en Tuberización.	65
Figura 28: Forma y dimensión del bulbo húmedo del tratamiento RP1 en Tuberización.	67
Figura 29: Grafico de efectos principales para radio del factor A (Disposición de Emisor) en Tuberización.	69
Figura 30: Grafico de normalidad de error de residuos estandarizados del radio medio en Tuberización.	70
Figura 31: Grafico de normalidad de error de residuos estandarizados de la profundidad en Tuberización.	71
Figura 32: Forma y dimensión del bulbo húmedo del tratamiento T en Desarrollo. ... 73	
Figura 33: Forma y dimensión del bulbo húmedo del tratamiento RP2 en Desarrollo.	74
Figura 34: Forma y dimensión del bulbo húmedo del tratamiento RP en Desarrollo. 76	
Figura 35: Forma y dimensión del bulbo húmedo del tratamiento RP1 en Desarrollo.	78
Figura 36: Grafico de efectos principales para radio del factor A (Disposición de Emisor) en Desarrollo.	81
Figura 37: Grafico de normalidad de error de residuos estandarizados del radio medio en Desarrollo.	81
Figura 38: Grafico de normalidad de error de residuos estandarizados de la profundidad en Desarrollo.	83
Figura 39: Forma y dimensión del bulbo húmedo del tratamiento T en Maduración.	84

Figura 40: Forma y dimensión del bulbo húmedo del tratamiento RP2 en Maduración.	86
.....	
Figura 41: Forma y dimensión del bulbo húmedo del tratamiento RP en Maduración.	88
.....	
Figura 42: Forma y dimensión del bulbo húmedo del tratamiento RP1 en Maduración.	90
.....	
Figura 43: Grafico de efectos principales para radio del factor A (Disposición de Emisor) en Maduración.	92
Figura 44: Grafico de efectos principales para radio del factor B (tipo de riego) en Maduración.	93
Figura 45: Grafico de normalidad de error de residuos estandarizados del radio medio en Maduración.	94
Figura 46: Grafico de efectos principales para radio del factor B (tipo de riego) en Maduración.	95
Figura 47: Grafico de normalidad de error de residuos estandarizados de la profundidad en Maduración.	96
Figura 48: Desarrollo de la profundidad de raíz (cm) por periodo vegetativo	97
Figura 49: Desarrollo de la altura de la papa (cm) por periodo vegetativo	99
Figura 50: Desarrollo del área foliar de la papa (cm²) por periodo vegetativo	100
Figura 51: Consumo de agua (m³/ha) por tratamiento y periodo vegetativo	101

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Calicata para determinar las características fisicoquímicas del suelo.	108
Anexo 2: Prueba de cilindros infiltrometros.	108
Anexo 3: Formato de llenado de prueba de infiltración.	109
Anexo 4: Tractor agrícola arando parcelas experimentales.	110
Anexo 5: Foto de prueba de coeficiente de uniformidad por periodo.	110
Anexo 6: Formato de llenado de prueba de CU (ml/min) por periodo.	111
Anexo 7: Formato de llenado de prueba de CU (L/hr) por periodo.	120
Anexo 8: Cálculo del coeficiente de uniformidad por periodo.	128
Anexo 9: Forma y dimensión del bulbo húmedo por periodo vegetativo.	133
Anexo 10: Aporque trapecial por cada tratamiento.	133
Anexo 11: Resultados de radios y profundidades por cada tratamiento y replica para el periodo de emergencia.	134
Anexo 12: Resultados de radios y profundidades por cada tratamiento y replica para el periodo de tuberización.	135
Anexo 13: Resultados de radios y profundidades por cada tratamiento y replica para el periodo de desarrollo.	136
Anexo 14: Resultados de radios y profundidades por cada tratamiento y replica para el periodo de maduración.	138

I. INTRODUCCION

En el mundo, en el Perú y más en la costa, donde más se utiliza el recurso hídrico (75% de toda el agua dulce) es en los cultivos, según la FAO (2018). Uno de ellos es la papa, ya que esta ocupa el segundo lugar en superficie de siembra respecto a los cultivos anuales de mayor importancia (Representa el 16.3% de superficie sembrada en el Perú), el primero lo ocupa el café, según la INIA (2012).

Ante esto para utilizar eficientemente el uso y la racionalización del recurso hídrico en el cultivo de la papa, en los últimos años se ha venido utilizando el Riego Deficitario de alta frecuencia, específicamente la estrategia del Riego Parcial de Raíces (PRD, por sus siglas en inglés: Partial root drying), con este sistema se redujo el agua aplicado con el mínimo impacto posible en la producción.

Pero para validar en campo este tipo o estrategia de riego, no solo se necesita saber el impacto en la producción, sino también el impacto en la fisiología y morfología que tiene en la planta de la papa (variedad única), para saber si es posible esperar resultados promisorios respecto a la calidad.

En la presente investigación, se plantea encontrar la disposición de los emisores de un Riego Parcial de Raíces (donde se ensayan dos disposiciones: una paralela y otra lineal de los emisores en dos mangueras de riego, como se ven en la Figura 11 y 12), en dichas disposiciones se evaluará la distribución de la humedad durante el desarrollo vegetativo de la papa variedad única, así mismo se implementará un aporque del tipo trapecial, la cual es recomendada por Arias (2009).

Por último, este conocimiento permitirá el diseño de sistemas de riego de campo más eficientes bajo la estrategia de riego parcial de raíces (PRD), y a su vez este permitirá impactos positivos en tanto a producción, fisiología, morfología y calidad del cultivo estudiado.

1.1 Objetivo General

- Determinar la disposición adecuada de los emisores de un Riego Parcial de Raíces en la distribución de la humedad del suelo, durante el desarrollo vegetativo de la papa.

1.2 Objetivos Específicos

- Cuantificar el coeficiente de uniformidad (CU) en las disposiciones de los emisores de Riego Parcial de Raíces durante el desarrollo vegetativo de la papa
- Evaluar la distribución de la humedad en la disposición paralela de los emisores del Riego Parcial de Raíces, durante el desarrollo vegetativo de la papa con un aporque trapecial.
- Evaluar la distribución de la humedad en la disposición lineal de los emisores del Riego Parcial de Raíces, durante el desarrollo vegetativo de la papa con un aporque trapecial.
- Evaluar la fisiología y morfología en las dos disposiciones durante el crecimiento vegetativo de la papa.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1 CULTIVO DE LA PAPA – VARIEDAD UNICA

Solanum Tuberosum – papa UNICA, es una variedad que fue seleccionada y evaluada por el Centro Internacional de la Papa (CIP) durante más de 7 años, sembrada en experimentos en más de 20 localidades. Tiene atributos de resistencia y precocidad que la hacen atractiva para los agricultores involucrados en el cultivo de la papa.

La adaptación de la UNICA a diferentes ambientes permite una amplia distribución geográfica, en regiones de la Costa y Sierra del Perú. Las buenas características para el consumo en fresco y para el procesamiento en tiras, representa una alternativa de mejores ingresos para los agricultores por la demanda que puede generar en el mercado (Gutiérrez *et al.* 2007).

2.1.1 Origen

La papa, variedad UNICA es el resultado de las investigaciones participativas con los agricultores (Asociaciones de Productores), las instituciones nacionales de investigación en el sector agrícola (Universidad Nacional “San Luis Gonzaga” de Ica) y el Centro Internacional de la Papa (CIP). El nombre UNICA, es un reconocimiento a la universidad mencionada y representa una abreviación e iniciales de dicha universidad. La genealogía de la UNICA se muestra en la Figura 1.

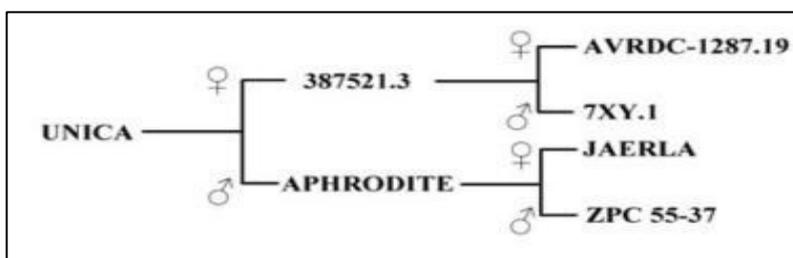


Figura 1: Genealogía de la variedad única
Fuente: Tomado de Gutiérrez-Rosales *et al.* 2007.

El clon identificado con el código del investigador o campo: C92.140 y con el código del CIP No. 392797, posteriormente fue denominado variedad UNICA. El proceso tuvo tres fases: 1. Por resistencia a virus PVY (Potato Virus Y) y PVX (Potato Virus X), 2. Por tolerancia al virus PLRV (Potato Leaf Roll Virus) y al nematodo RKN (Root Knot Nematode) y 3. Por adaptabilidad a climas áridos y cálidos.

En el año 1998 fue liberada a los agricultores por la Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica y en el 2005 fue inscrita en el Registro Nacional de Cultivares con el registro N° 001-2.005-AG- SENASA-DGSV (SENASA 2005) con el apoyo de los fondos provenientes del Proyecto FONTAGRO

2.1.2 Morfología de la Papa

A continuación, se muestra una imagen que permitirá tener un mejor detalle de las partes de la planta de la papa:

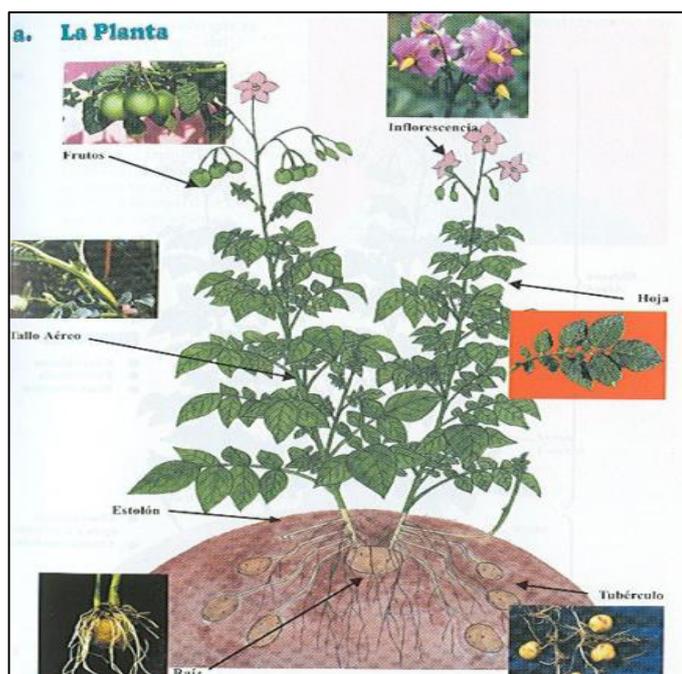


Figura 2: Partes de la papa.
Fuente: Tomado de Egusquiza 2000.

- La planta: Es de naturaleza herbácea, consta de un sistema aéreo y un subterráneo. Las funciones del primero son de crecimiento, fotosíntesis y producción. Mientras que del segundo es de absorción de agua y nutrientes y almacenamiento.
- El tallo: Es el conjunto de tallos aéreos y subterráneos que se muestran en el siguiente esquema.

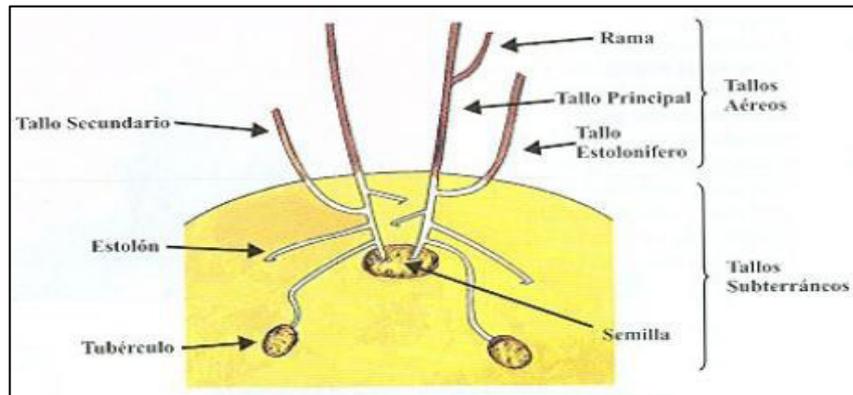


Figura 3: Partes del tallo de la papa.

Fuente: Tomado de Egusquiza (2000).

- La Raíz: Es la estructura responsable de la absorción de agua. Se origina en los nudos de los tallos subterráneos y que en conjunto forma un sistema fibroso.
- La Hoja: Es la estructura que sirve para captar y transformar la energía lumínica (luz solar) en energía alimenticia (azúcares y almidón)
- La Flor: Es la estructura aérea que cumple las funciones de reproducción sexual, las características de la flor tienen una importancia para la diferenciación y reconocimiento de variedades.
- El Estolón: Se origina en la yema del tallo subterráneo y el extremo tiene la forma de gancho, es especializado en el transporte de sustancias (azúcares) producidas en las hojas y que se almacenan en el tubérculo en forma de almidón.
- El Tubérculo: Es la porción apical del estolón cuyo crecimiento es fuertemente comprimido y orientado hacia los costados (expansión lateral).

2.1.3 Descripción Varietal

En general, la planta variedad UNICA es herbácea con hábito de crecimiento erecto:

- Los tallos son gruesos de color verde oscuro, alcanzando una longitud entre 0.90 a 1.20 metros.

- Las hojas son compuestas y se distribuyen en espiral sobre el tallo.
- La forma de la hoja es disectada, con cinco pares de folíolos laterales y un par de interhojuelas sobre los peciólulos.
- Tiene floración moderada, entrada la temporada de primavera en Costa, escasa floración en el invierno en Costa y ausencia de floración en condiciones de Sierra (mayor a 2.000 msnm).
- Las flores son violetas y no forman bayas en épocas con bajas temperaturas. Los estolones son alargados en el invierno o bajo condiciones de Sierra; ligeramente cortos y pegados al tallo en la primavera.
- Los tubérculos son oblongos y alargados, con ojos superficiales y en la parte del ojo apical es semi-profundo.
- La piel del tubérculo es de color rosado, que toma una tonalidad más clara hacia finales de la primavera en la Costa y es roja en condiciones de Sierra.
- La pulpa es crema.

Algunas imágenes de las características descritas pueden apreciarse en la Figura 4.



Figura 4: Imágenes del tallo, hoja, tubérculo y flor de la variedad única.

Fuente: Tomado de Gutiérrez-Rosales *et al.* 2007.

2.1.4 Comportamiento agronómico

El período de dormancia de la semilla alcanza los 40 a 50 días, presenta ligera dominancia apical. El período vegetativo es precoz (70 a 90 dds) en condiciones de trópico alto o Sierra (2.000 a 3.800 msnm) para fines de multiplicación de semilla. Presenta características de

semi-precoz (90 a 110 dds) en condiciones de trópico bajo como la Costa o los Valles Interandinos (0 a 1,500 msnm)

Debido a su gran estabilidad en diferentes épocas de siembra y en diferentes localidades (Figura 5), mantiene el rendimiento a diferencia de otras variedades como Canchán y Tomasa (CIP 1998).

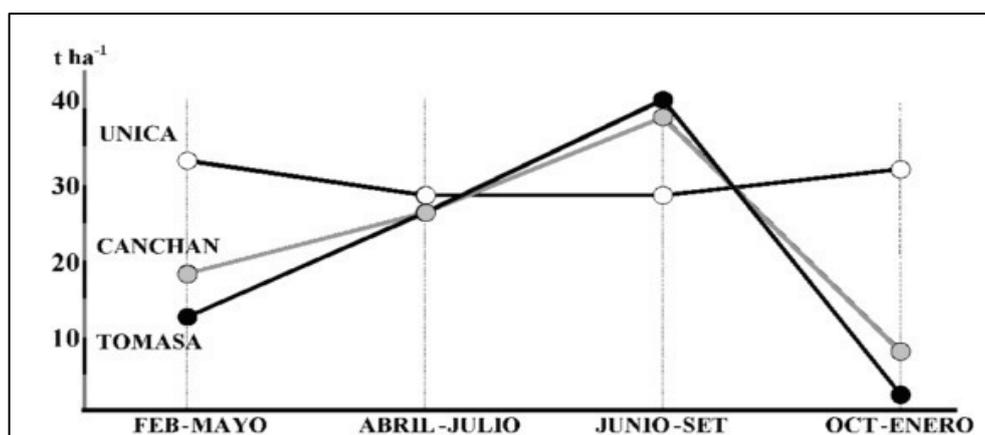


Figura 5: Estabilidad de la variedad única (10 localidades de costa, 1995 – 96).

Fuente: Tomado de Gutiérrez-Rosales *et al.* 2007.

Alto rendimiento potencial (50 t/ha). Para el invierno en zonas de Costa Peruana (trópico bajo) y en épocas húmedas de la zona Sierra (trópico alto) se puede alcanzar el rendimiento potencial. En la primavera y en la época seca de las respectivas zonas se reduce el rendimiento. Comercialmente se pueden lograr rendimientos promedios de hasta 40 t/ha.

Posee ligera tolerancia a sales y a temperaturas cálidas, pudiendo tuberizar con temperaturas nocturnas de hasta 16 °C (Vásquez 2003), siendo una ventaja, pues en condiciones del fenómeno de El Niño, la producción de papa en la Costa Peruana se ve afectada por el incremento de la temperatura, inhibiéndose la tuberización en las variedades tradicionales. La amplia adaptabilidad a diferentes condiciones climáticas de la Costa, favorece la programación de las siembras y cosechas en una mayor amplitud de épocas (CIP, 1997 y 1998; UNICA, 1998).

2.1.5 Atributos para el mercado

El principal uso que se le encuentra a la variedad UNICA es para el consumo en fresco, sin embargo también presenta atributos para el procesado de papas peladas y cortadas en tiras (CIP 2002), utilizada comúnmente en el Perú como guarnición para los pollos a la brasa,

teniendo un 58% de rendimiento en procesamiento para tiras mayores de 8 cm (Gutiérrez-Rosales *et al.* 2007)

2.1.6 Periodo Vegetativo de la Papa

Egusquiza (2000), describe las características del periodo vegetativo según la siguiente figura 6.

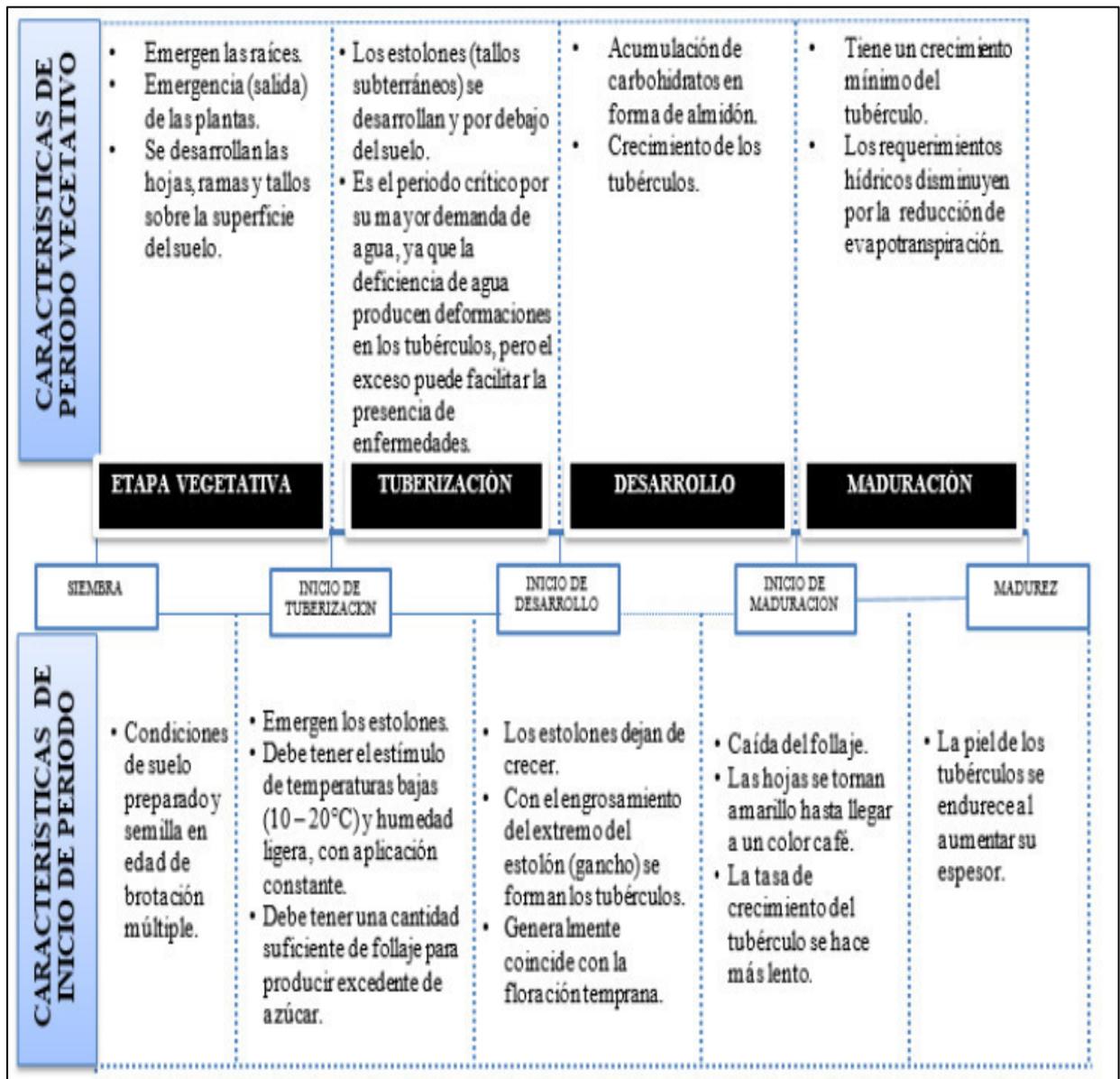


Figura 6: Características e inicios del periodo vegetativo.

Fuente: Tomado de Egusquiza 2000.

Además, Ordoñez (2016) nos describe el periodo vegetativo de la Papa Variedad Única después de la siembra (dds) en la siguiente figura 7.

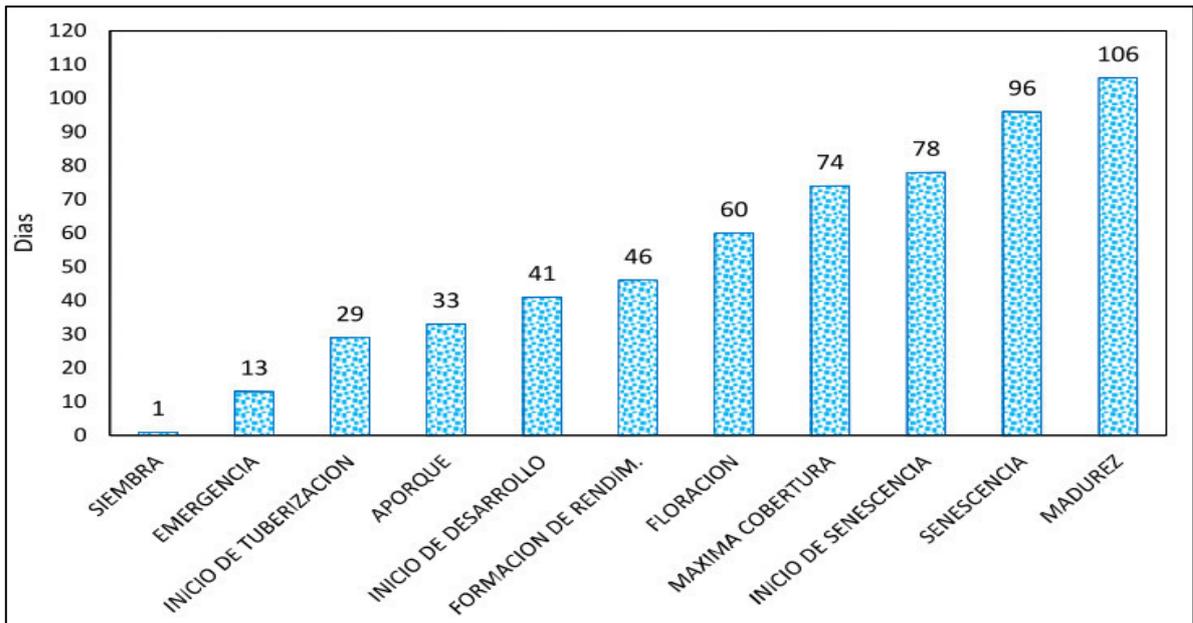


Figura 7: Periodo vegetativo de la papa unica, después de la siembra.

Fuente: Tomado de Ordoñez 2016.

2.1.7 Labores agronómicas

Egúsqiza y Catalán (2011), en su artículo describe a las labores culturales de la siguiente manera:

2.1.7.1 La siembra: Es la instalación del campo de papa. Una buena siembra es aquella en la que las plantas emergen uniformemente y en el tiempo más corto posible. Normalmente las plantas emergen a la tercera o cuarta semana después de la siembra. A continuación, se muestra la secuencia de siembra.



Figura 8: Secuencia de siembra de la papa.

Fuente: Tomado de Egúsqiza y Catalán 2011,

2.1.7.2 Abonamiento: La aplicación de abonos (fuentes orgánicas) y fertilizantes (fuentes inorgánicas) al suelo tiene por objeto proporcionar los nutrientes que requieren las plantas para su correcto crecimiento y producción. De otra manera, la aplicación de abonos y fertilizantes se realiza para restituir al suelo lo que extrae la cosecha de papa.

2.1.7.2 Manejo de malezas: Las malezas o malas hierbas son otras plantas que compiten con las plantas de papa en el uso del espacio, agua y nutrientes; por otro lado, las malezas pueden ser hospederos de patógenos que causan daños al cultivo de papa. Siendo así, es recomendable mantener densidades muy bajas de malezas.

2.1.7.3 Aporque: Es el traslado de tierra al cuello de las plantas de papa. En muchos lugares de la sierra se denomina segundo cultivo. El aporque eleva la altura de los camellones, profundiza el surco de riego y aísla las raíces, estolones y tubérculos de las plagas que proceden del exterior. Este se realiza cuando las plantas alcanzan entre 25 y 30 cm de altura.

Objetivos del aporque: Los objetivos del aporque son principalmente de carácter sanitario porque se procura alcanzar los siguientes resultados:

- Aislar los tubérculos del daño de “gusaneras” (gorgojo de los andes, polillas, gusanos de tierra, etc.).
- Aislar los tubérculos para reducir el daño de ranca que se traslada desde el follaje.
- Aislar los tubérculos de los excesos de agua de lluvia.
- Aislar los tubérculos del daño de pudriciones causadas por bacterias.
- Cubrir de tierra los tubérculos para reducir el verdeamiento.
- Cubrir con tierra la segunda mitad de la dosis de fertilización nitrogenada.
- Reducir la densidad de malezas.

Ramos-Carranza y Acevedo (1999), realizaron un estudio en Mérida, Venezuela, a 3100 msnm y 624 mm de precipitación anual, el efecto de cuatro alturas de aporque (0, 15, 30 y 45 cm.) en dos variedades de papa, Andinita y Granola. No encontraron diferencias estadísticas entre los tratamientos de altura de aporque, sin embargo, los resultados de rendimiento mostraron que la altura de aporque de 30 cm favorece el rendimiento en

andinita, mientras que en la variedad Granola tiende a disminuir al incrementarse la altura de aporque.

Arias (2009) demostró que la sección transversal de la estructura de aporque trapecial con: base mayor 80 cm, base menor o corona 34 cm y altura 25 cm (como se ve en la figura 9), distribuye bien la humedad para un riego por goteo con disposición lineal y paralelo.

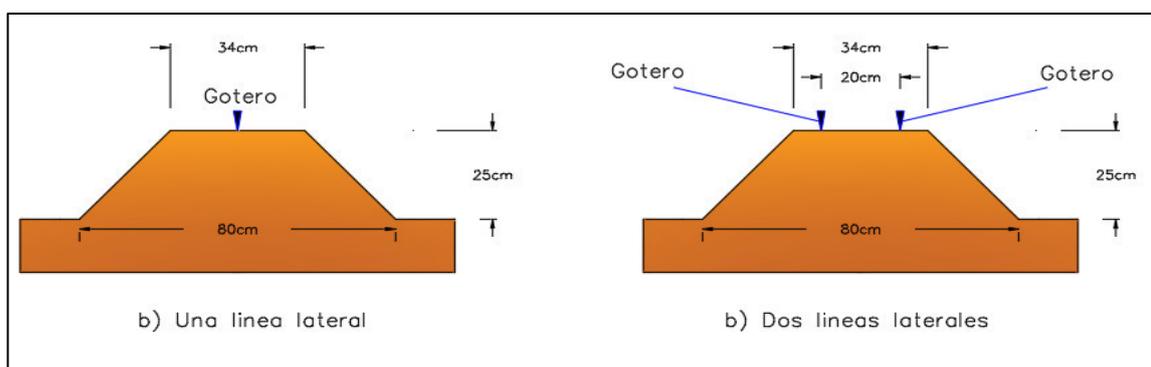


Figura 9: Sección transversal del aporque y disposición de laterales de riego.

Fuente: Tomado de Arias (2009).

2.1.7.4 El riego: Según Egúsquiza (2000) el rendimiento del cultivo está directamente y positivamente relacionado con la cantidad total de agua aplicada por campaña. Es decir, si se dispone de buen drenaje y es posible controlar las enfermedades causadas por hongos y bacterias, “a más agua, mayor rendimiento”.

Los riegos deben ser ligeros y frecuentes antes que distanciados y pesados. La cantidad de agua requerida por el cultivo está en función de las condiciones que se muestran en la Tabla 1, pero en general, es mayor a medida que crece la planta y es más indispensable durante el periodo de tuberización.

Tabla 1: Factores que determinan el volumen total y frecuencia de riegos.

Suelo	Clima	Planta	Sistema De Riego
Textura	Temperatura	Variedad	Eficiencia de Conducción
Compactación	Humedad Relativa	Estado Fenológico	Eficiencia de Aplicación
Materia Orgánica			Eficiencia de Almacenamiento
Salinidad			

Fuente: Tomado de Egúsquiza (2000).

2.1.7.5 Cosecha: Es la actividad de extracción de los tubérculos. La modalidad de cosecha (mecanizada, con yunta o manualmente) son las más empleadas y la eficiencia de cada una de ellas está determinada por la velocidad de extracción y el porcentaje de tubérculos que se quedan bajo tierra.

2.1.7.6 Comercialización: En general, el mercado ofrece mejores precios de acuerdo con la calidad de la cosecha. Diferentes situaciones pueden afectar la calidad del producto dentro de la cadena de comercialización.

2.1.7.7 Almacenamiento: Los tubérculos cosechados pueden almacenarse por cortos periodos antes de su comercialización o por periodos más prolongados cuando se decide postergar la venta o cuando se conservan para el consumo familiar. Estos son perecibles.

2.2 RIEGO DEFICITARIO POR GOTEO.

Definición del riego por goteo

El riego por goteo, igualmente conocido bajo el nombre de "riego gota a gota", es un método de irrigación utilizado en las zonas áridas pues permite la utilización óptima de agua y fertilizantes.

El agua aplicada por este método de riego se infiltra hacia las raíces de las plantas irrigando directamente la zona de influencia de las raíces a través de un sistema de tuberías y emisores (goteros).

¿Que es regar bien?

Regar bien es darles a las plantas la cantidad de agua necesaria en el momento oportuno, es decir, antes que el contenido hídrico del suelo les genere un estrés que disminuya su rendimiento. Pero esta cantidad adecuada de agua debe aplicarse de forma uniforme en toda la parcela. Cuanto más des uniforme sea la aplicación, mayor será el volumen de agua aplicado para que toda la parcela quede bien regada.

2.2.1 Estrés

El concepto de estrés se ha dado bajo diferentes enfoques que han sido publicados por diferentes autores, siendo así, en la definición biofísica de estrés involucra una fuerza

ejercida sobre un objeto en relación con el área sobre el cual se aplica, equivalente al concepto de presión (Tambussi 2004). Por lo tanto, en el marco de la fisiología vegetal, el término estrés refleja la magnitud de presión ambiental que fuerza al cambio en la fisiología de una planta.

Otra definición del estrés menciona Lambers y col. (1998), que es cualquier factor ambiental biótico o abiótico que reduce la tasa de algún proceso fisiológico (por ejemplo, crecimiento o fotosíntesis) por debajo de la tasa máxima respecto de la que podría alcanzar

2.2.1.1 Estrés hídrico

Existen variadas clasificaciones de los factores de estrés. En general, estos pueden ser clasificados en físicos, químicos y bióticos, siendo los dos primeros agrupados bajo el término de 'estreses abióticos'. Entre los factores físicos se pueden mencionar el estrés hídrico que incluye dos tipos de estrés contrapuestos: por déficit o exceso de agua en el suelo (Tambussi 2004).

2.2.1.2 Estrés hídrico en cultivos

Respecto a los cultivos, aunque ha sido señalado que el estrés por déficit hídrico no siempre es el factor central, está claro que el déficit hídrico es el principal factor abiótico que limita la distribución geográfica y el rendimiento de la mayoría de los cultivos (Araus y Col 2002).

Clásicamente el comportamiento de las plantas frente al estrés hídrico ha sido clasificado en tres tipos: escape, evitación y tolerancia (Tambussi 2004). En el primer caso, las plantas ajustan su fenología para cumplir su ciclo fuera de los períodos de déficit hídrico. En el segundo caso, las plantas poseen mecanismos para evitar (o postergar) la deshidratación; una estrategia es aumentar la capacidad de absorción de agua gracias al incremento de la superficie radicular o disminución de la resistencia hidráulica siendo frecuente en plantas conocidas como 'derrochadoras de agua' ó 'water-spenders' (Nilsen y Orcutt 1996); la estrategia inversa es la que adoptan las plantas 'ahorradoras', que minimizan las pérdidas de agua por diversas vías, tales como el cierre estomático y la disminución de la transpiración cuticular; dentro de esta misma estrategia conservadora podrían incluirse las plantas que producen menos biomasa aérea al sufrir déficit hídrico, aumentando por ende la proporción relativa de masa radicular (Tambussi 2004).

Tambussi (2004) menciona que diversos y numerosos procesos de la planta pueden ser alterados por el estrés hídrico, entre estos se tienen:

- **Inhibición del crecimiento:** uno de los primeros efectos del déficit hídrico sobre los vegetales es la inhibición de la elongación celular y por ende, del crecimiento. Es bastante conocido que el crecimiento de la raíz es menos sensible que el crecimiento de la parte aérea, lo que conduce a un aumento de la relación parte aérea y raíz.
- **Cierre estomático:** El cierre estomático (y la consecuente disminución de la conductancia) es uno de los efectos del estrés hídrico más ampliamente conocido. El fenómeno está vinculado al aumento de los niveles xilemáticos (o cambios en la compartimentalización) del ácido abscísico (ABA), aunque la intensidad de la respuesta puede ser modulada por otros factores tales como el gradiente de presión parcial de vapor de agua (VPD) de forma aún no del todo esclarecida. Es un hecho conocido que el cierre estomático puede inducirse aún antes de cualquier cambio detectable en el potencial hídrico y el contenido relativo de agua de las hojas, y actualmente se acepta la existencia de una señal proveniente de las raíces (Flexas y Medrano 2002). La señal que hipotéticamente provendría de las raíces ha sido asociada con el ABA, aunque el mecanismo exacto del proceso parece ser complejo y no ha sido esclarecido aún (Davies y Gowing 1999). El resultado obvio del cierre estomático es la disminución de la tasa transpiratoria y por ende, del agua consumida por la planta (Tambussi 2004).

El mecanismo de resistencia a nivel fisiológico es el cierre de estomas, ya que estos son los responsables de la mayor proporción de pérdida de agua en las plantas. El proceso de cierre de las estomas, cuando el mesófilo comienza a sufrir deshidratación, está regulado por el ácido abscísico (ABA),

2.2.2 Riego deficitario

Estrategias de riego deficitario capaces de reducir el agua aplicada con el mínimo impacto posible sobre la producción, toman una especial relevancia en su estudio Sánchez y Torrecillas (1995). En ese sentido, Hargreaves y Samani (1984) señalan que los riegos deficitarios pueden proporcionar unos retornos económicos por unidad de superficie, mayores que los obtenidos con riegos para máximas producciones.

Siendo así, la técnica de riego deficitario de alta frecuencia consiste en regar todo el ciclo por debajo de la demanda del cultivo, pero utilizando una frecuencia de aportes lo suficientemente alta como para evitar la aparición de situaciones de estrés trascendentes. En ese sentido, los primeros trabajos realizados en distintos cultivos herbáceos consiguieron apreciables reducciones de agua sin mermas en la producción.

Para ello se vienen desarrollado dos estrategias denominadas:

- Riego deficitario controlado (RDC)
- Riego Parcial de raíces (PRD)

2.2.2.1 Riego deficitario controlado (RDC)

Un paso adelante en la mejora de la eficiencia del uso del agua fue la aplicación de la técnica de Riego Deficitario Controlado (RDC), que desde finales de la década de los 80 se vienen aplicando a diversos frutales, en la que el déficit hídrico se hace coincidir con determinados períodos fenológicos. El RDC es una alternativa en situaciones de limitada disponibilidad de agua para el riego que trata de adecuar los aportes hídricos al comportamiento fisiológico del árbol, y se basa en reducir las dosis de agua a aplicar en momentos o períodos fenológicos en los que el déficit hídrico no afecta (o afecta menos) a la producción final, aplicando el 100 por ciento de las necesidades hídricas en los períodos críticos, Sánchez-Blanco y Torrecillas (1995), que en el caso de los herbáceos y en concreto la papa, coincide con la fase II de tuberización.

2.2.2.2 Riego parcial de raíces (PRD)

Con la finalidad de no reducir el rendimiento de la producción de los cultivos, al aplicar el déficit hídrico con el fin del ahorro de agua de riego, otra técnica de riego deficitario planteada recientemente es el denominado riego deficitario de secado parcial de raíces, más conocido como PRD (de las siglas en inglés de Partial Rootzone Drying). Se trata de una técnica de riego localizado, desarrollada en Australia, que ha permitido importantes ahorros de agua sin pérdidas en el rendimiento y calidad de la cosecha (Loveys *et al.* 1997, 1998)

El riego parcial de raíces 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, que una vez en la parte aérea regulan la apertura de estomas y limitan las pérdidas de agua vía transpiración (Davies *et al.* 1994). Para mantener la reducción en la apertura de las estomas se necesita una señal continua desde el sistema radical que se obtiene por medio de la alternancia en las zonas "seca" y "húmeda" de las raíces (Stoll *et al.* 2000), por lo que es preciso disponer una doble lateral de goteros para regar en estas condiciones. La frecuencia del cambio de riego de un lado de la raíz al otro depende del cultivo, de la etapa de crecimiento y del balance hídrico del suelo (Jovanovic *et al.* 2010).

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).

Esta estrategia de riego (preciso disponer doble lateral de goteros) tiene dos disposiciones de los emisores.

- Doble lateral paralela con los emisores paralelas.
- Doble lateral juntas con los emisores alternadas

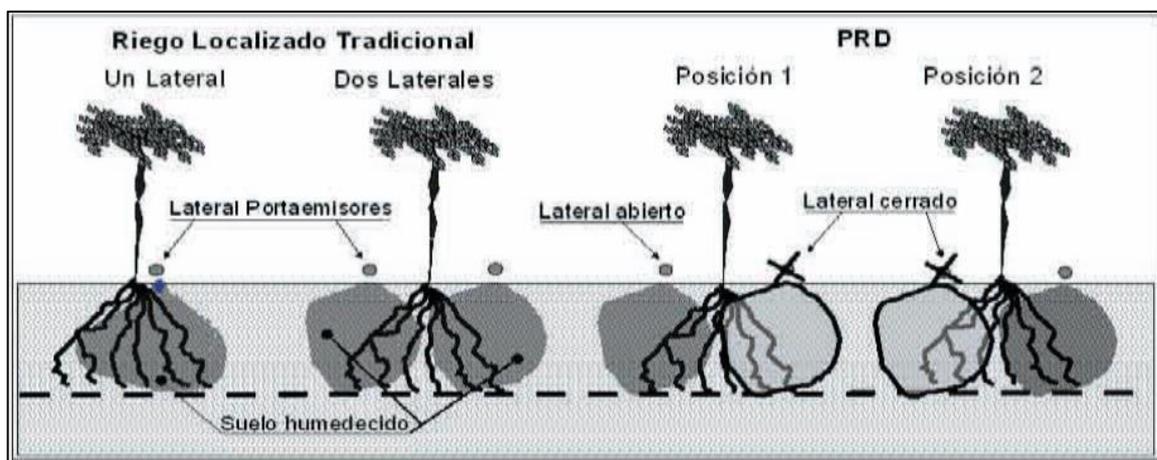


Figura 10: Esquema de dos formas de aplicación de agua.
Fuente: Tomada de Sánchez y Meza 2015.

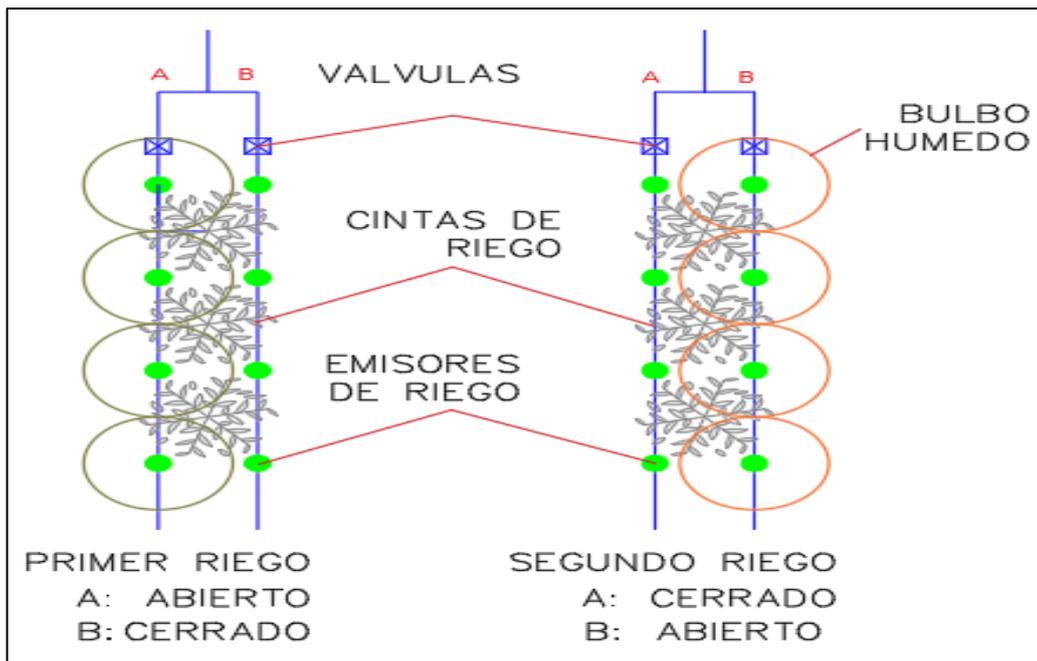


Figura 11: Vista en planta de la disposición paralela de los emisores de un PRD.

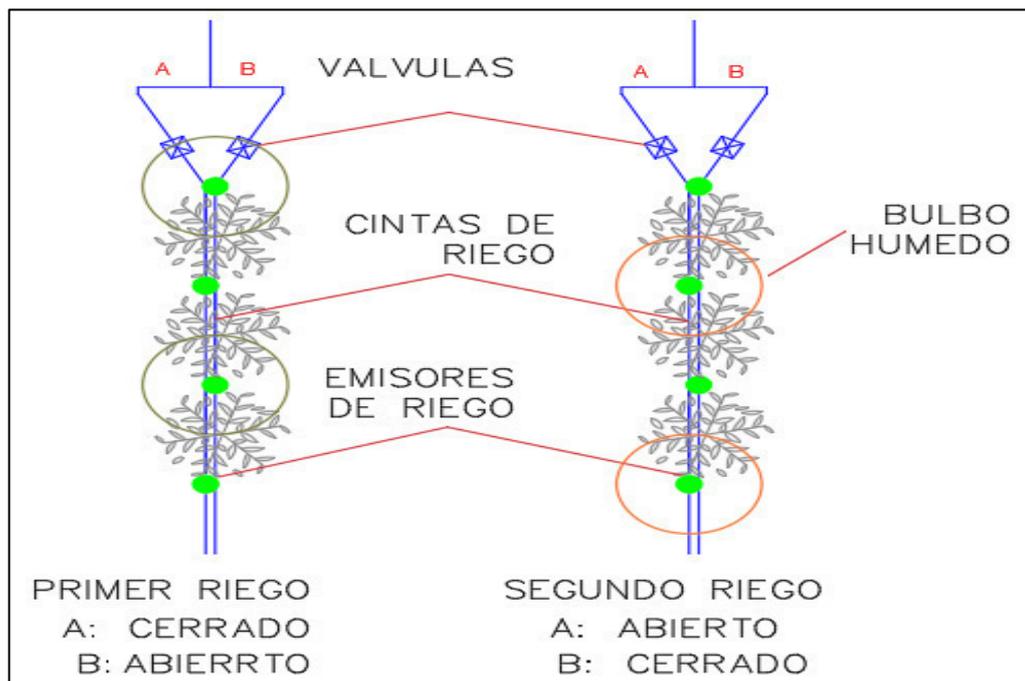


Figura 12: Vista en planta de la disposición lineal de los emisores de un PRD

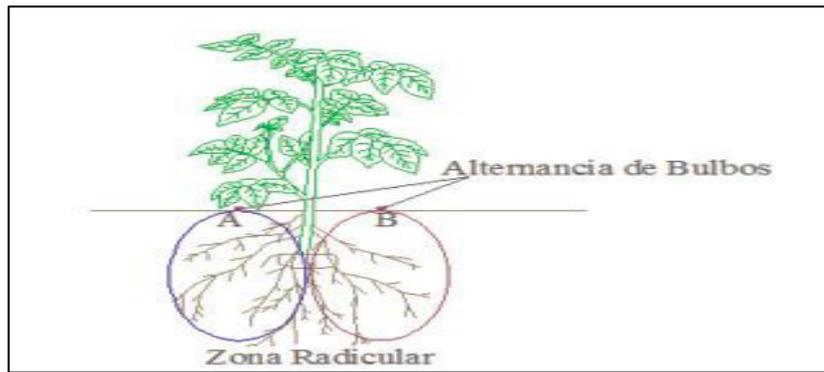


Figura 13: Vista perfil de la alternancia de aplicación de agua a la planta.

Fuente: Tomada de Sánchez y Meza 2015.

2.3 BULBO HÚMEDO

El riego por goteo ha sido un importante avance al lograr aportar la humedad constante hacia las raíces gota por gota, permitiendo el desarrollo óptimo de las plantas. El agua es conducida desde el abastecimiento, a través de sistemas de tuberías, y mediante los emisores, se libera el agua gota a gota, justo en las raíces de cada planta. El agua provoca una zona específica de humedad, por lo que sólo se moja el área del suelo utilizado por la planta para el desarrollo de sus raíces. Estas, entonces, sólo se expanden dentro de esa zona específica, denominada "bulbo húmedo", posibilitando un mayor provecho de las tierras para el cultivo.

Con respecto al estudio del movimiento del agua a través del suelo, resultado de la aplicación de agua mediante un emisor, se reporta las siguientes definiciones:

Dice Pizarro (1996). Se denomina bulbo húmedo a la parte del suelo humedecida por un emisor de riego localizado.

Gispeert-Folch (2003) dice, en los sistemas de riego a presión, especialmente en micro-irrigación, donde el agua es aportada gota a gota o pulverizada, esta se desplaza por el suelo en función de las propiedades físico-químicas de su entorno. La variada disposición tridimensional que puede ocupar el agua en el desplazamiento de sus frentes de humedad, en un determinado suelo y a partir de un punto de emisión recibe el nombre de volumen húmedo.

Muchos estudios sobre este tema definen el mismo concepto con el nombre genérico de "bulbo húmedo", sin embargo, considera oportuno una definición que permite contemplar

una mayor amplitud de disposiciones del frente de humedad como es el concepto de “volumen húmedo”

Como vemos las mencionadas definiciones; tanto como “bulbo húmedo” y “volumen húmedo”. Se refieren al mismo tema.

2.3.1 Formación del bulbo húmedo

Pizarro (1996) lo describe así: 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 continua. Cuanto más húmedo se encuentra el suelo, la velocidad de infiltración del agua disminuye, pero aumenta la conductividad hidráulica al aproximarse a la saturación. La disminución de la velocidad de infiltración favorece al incremento del radio del charco y cuando el caudal del emisor dividido por la superficie del charco igual 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. El potencial de esta zona no saturada está compuesto por el potencial mátrico o matricial y el potencial gravimétrico o gravitacional.

2.3.2 Forma y dimensión del bulbo húmedo

Peña y Brown (2000) mediante análisis de los resultados de pruebas de campo realizados en suelos ferralíticos rojos (Oxisol) de la Provincia de Ciego de Avila. Cuba, destinados al conocimiento de la forma y dimensión del bulbo húmedo generado por diferentes tipos de gotero, observo que la forma geométrica que describe la humedad en el perfil del suelo corresponde a un elipsoide truncado donde el plano de corte es la superficie del suelo.

Mendoza (2013) señala que, la forma del bulbo está condicionada en gran parte por el tipo de suelo. En los suelos pesados (de textura arcillosa), la velocidad de infiltración es menor que en los suelos ligeros (de textura arenosa), lo que hace que el charco sea mayor y el bulbo se extienda más horizontalmente que en profundidad. Si se aplica la misma cantidad de agua en tres suelos con texturas diferentes, la forma del bulbo variará aproximadamente de la forma como se presenta en la Figura 14.

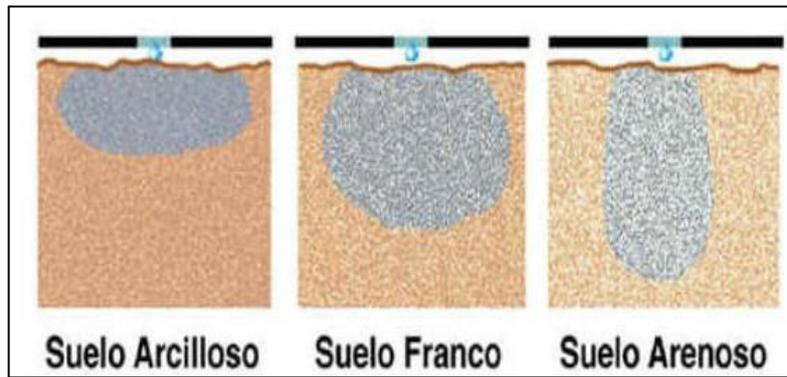


Figura 14: Humedad del bulbo húmedo según el tipo de suelo.

Fuente: Tomada de Mendoza (2013).

Al respecto, Moya (2002) reporta que a lo largo de los años se han visto formas y dimensiones diferentes, a lo teóricamente previsto, por lo que recomienda comprobar en la propia parcela, con una azada o barrena. Y depende de:

- Del tipo del suelo: Un suelo arcilloso infiltra y lo retiene con mayor fuerza que un suelo arenoso, por lo que la forma del bulbo se achata en el primer caso y se alarga en el segundo.
- Del caudal del emisor: A mayor caudal se genera bulbos más anchos.
- De la cantidad y tiempo de riego: A mayor cantidad de agua y el tiempo de riego, el bulbo se hace mayor hasta un cierto límite. El exceso de agua podría perderse, sin aumentar la superficie húmeda, es la razón por la que en suelos muy permeables (arenosos - pedregosos), si se emplea goteros, estas deben estar a menos de un metro, siendo preferible las mangueras o cintas.
- La pendiente: lugar en declive donde se ubica el emisor.
- De la presencia de una capa impermeable.
- De la homogeneidad o no del suelo.

Así mismo, Pizarro (1996) dice, la acción combinada de la fuerzas matrices y gravimétricas originan la forma y dimensiones del bulbo húmedo que depende de:

- Tipo de suelo: en suelos arenosos, debida a los grandes poros, el agua circula con mayor facilidad hacia abajo, entendiéndose que las fuerzas gravitacionales predominan sobre las mátricas. En suelos arcilloso, la existencia de mayor porcentaje de microporos hace que las fuerzas mátricas dominen sobre las gravimétricas.

En caso de los suelos francos, podríamos decir que las fuerzas mátricas y gravitacionales conservan cierto equilibrio. En cada caso se ha aplicado el mismo volumen de agua.

En consecuencia, en suelos arenosos la forma del bulbo es alargada en dirección vertical. En los arcillosos, es alargada en sentido horizontal y en los francos, adoptan la forma intermedia entre los arenosos y arcillosos.

- La estratificación. Es normal que exista dentro de la naturaleza del suelo, estratos de distinta porosidad, que afecta al flujo y retención del agua, por lo tanto, afecta también al bulbo húmedo. La compactación, los obstáculos impermeables como la presencia de piedras y material poco permeable, hacen que el bulbo se extienda en forma lateral hasta que el agua rebose por los bordes del obstáculo.
- Caudal del emisor. El tamaño del charco depende del caudal que sale por el emisor: a mayor caudal corresponde una superficie mayor del charco, en consecuencia, el bulbo es más extendido en sentido horizontal.
- El tiempo de riego. Manteniendo un nivel constante del caudal, a medida que aumenta el tiempo de riego, la dimensión del bulbo aumenta más en profundidad que sentido horizontal.

Por lo visto; para conseguir un volumen mojado de suelo y el agua pueda ser absorbida por las raíces de las plantas, es muy importante conocer cómo se extiende el bulbo húmedo en sentido horizontal y vertical

La extensión horizontal no se puede aumentar indefinidamente incrementando el caudal del emisor o el tiempo de riego, y si quieres conseguir una extensión de humedad adecuada, hay que considerar el número adicional de emisores que se deben colocar en la proximidad de las plantas. Por otra parte, la profundidad del bulbo húmedo está relacionada con la velocidad de infiltración del agua y con el tiempo de aplicación. Un tiempo excesivo de riego produce una pérdida de agua por percolación.

Gispert (2005), define el desarrollo del bulbo húmedo de la siguiente manera; la forma y tamaño del volumen de suelo húmedo como factor esencial del diseño de un sistema de riego y uso eficiente del agua, dependerá de gran medida del contenido inicial de agua presente en el suelo.

2.3.3 Superficie mojada por el emisor.

Fuentes (2003). La superficie mojada por un emisor es la proyección horizontal del bulbo húmedo que forma el emisor en referencia. Se determina mediante: empleo de fórmulas, utilización de tablas y Pruebas de campo. Además, advierte que, debido a la heterogeneidad del suelo, las fórmulas o tablas se deberán utilizar con mucha prudencia en un diseño o motivos de orientación. Es más confiable la medición directa en campo.

2.3.4 Infiltración

Una propiedad de los suelos, de gran importancia para los regantes, es la velocidad que el agua percola o se filtra a ellos. La velocidad de filtración es normalmente mucho mayor al principio de un riego o lluvia que varía horas después y está influida por las propiedades del suelo y por el gradiente de humedad.

Vásquez (1992), escribe que las características de infiltración de un suelo, es muy importante para elaborar un adecuado diseño de un sistema de riego, tiempos de riego y el manejo de los caudales en las parcelas.

La infiltración, puede ser definida como la entrada vertical (gravitacional) del agua en el perfil del suelo.

La velocidad de infiltración se refiere a la relación entre la lámina de agua que se infiltra y el tiempo que tarda en infiltrarse dicha lamina. Se expresa en centímetros por hora (cm/h) o milímetro por hora (mm/h)

2.3.5 Uniformidad de riego

La uniformidad es una magnitud que caracteriza a todo sistema de riego, interviene en el diseño agronómico como en el hidráulico. En el diseño agronómico, afecta al cálculo de las necesidades totales de agua. En la parte hidráulica, en función de ella se definen los límites permisibles de variación de los caudales de los emisores. Como medida de la uniformidad de riego se utiliza el coeficiente de uniformidad.

2.3.5.1 El coeficiente de uniformidad

El coeficiente de uniformidad está afectado por diferentes factores siguientes:

- Constructivos. En los procesos de fabricación, los modelos y materiales no son exactamente iguales entre si, generando a igual presión diferentes caudales, dichos factores se engloban en el coeficiente de variación de fabricación.
- Hidráulicos. Los emisores están sometidos a diferentes presiones ocasionadas por la pérdida de carga y por los desniveles.
- De envejecimiento y obturaciones.
- Diferencias de temperaturas.

Fuentes (2003), manifiesta, que el coeficiente de uniformidad (CU), es utilizado para evaluar las instalaciones en funcionamiento y para el diseño de nuevas instalaciones. En el diseño, es una condición que se impone y es determinada por factores económicos. Un coeficiente de uniformidad elevado representa un mayor coste inicial de instalación porque requiere de mayores diámetros de tuberías, laterales más cortos o mayor número de reguladores de presión y otros. Por otra parte, uno más bajo, indica un mayor consumo de agua.

El coeficiente de uniformidad para los sistemas de alta frecuencia entre los que se encuentra el riego por goteo, se debe utilizar un coeficiente de uniformidad más exigente, siendo el más aceptado el coeficiente establecido en 1978 por Merriam y Keller, que incluye solo factores hidráulicos y no recomendable para el diseño, es la ecuación (1)

$$CU = \frac{q_{25}}{q_a} \dots \dots \dots (1)$$

Donde:

q_a = Caudal medio de todos los emisores.

q_{25} = Caudal medio de emisores que conforman el 25% de caudal mas bajo

La uniformidad de la emisión depende de la variación de caudales que se presenta en la subunidad como consecuencia de la variación de presiones.

Mendoza (2013) señala que, para propósitos de diseño, los rangos recomendados de valores de coeficiente de uniformidad a ser utilizados son los siguientes:

- a) Para goteros en cultivos permanentes con espaciamiento amplio:

- Topografía uniforme: $90 < CU < 94$
- Topografía irregular u ondulada: $88 < CU < 92$

b) Para goteros en cultivos permanentes con espaciamiento reducidos:

- Topografía uniforme: $86 < CU < 92$
- Topografía irregular u ondulada: $84 < CU < 90$

III. MATERIALES Y METODOS

3.1 MATERIALES

3.1.1 Localización de la parcela experimental

El lugar donde se realizó el estudio, está ubicado en la parcela demostrativa del Departamento de Recursos Hídricos (DRH) de la facultad de Ingeniería Agrícola, de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), con coordenadas UTM WGS 84 E 287603.46 y N 8663772.82 con una altitud de 235 msnm.

3.1.2 Ubicación política

Lugar	: Universidad Nacional Agraria La Molina
Valle	: Ate
Distrito	: La Molina
Provincia	: Lima
Departamento	: Lima

3.1.3 Ubicación geográfica

Latitud	: 12° 04' 50.28'' S
Longitud	: 76° 57' 04.85'' W
Altitud	: 235 m.s.n.m

3.1.4 Condiciones climáticas

Según la clasificación de Köppen, el clima de Lima, localizado en la zona costera, corresponde a desierto subtropical árido caluroso. Los datos meteorológicos mensuales

registrados durante la ejecución de la investigación (junio, julio, agosto y setiembre) del año 2017, se muestra en la Tabla 2:

Tabla 2: Datos meteorológicos mensuales.

MES	HORAS DE SOL	TEMPERATURA (C°)		HUMEDAD RELATIVA (%)	VELOCIDAD DE VIENTO (m/s)	PP (mm)
		MAX	MIN			
Junio	6.03	19.94	15.98	88.48	1.56	0.00
Julio	5.90	19.21	15.44	88.12	1.56	0.00
Agosto	6.70	18.47	14.33	90.85	1.55	0.02
Setiembre	8.53	18.32	14.08	91.95	1.64	0.03

3.1.5 Suelo

Serie : La molina

Grupo : Aluvial

Orden : Entisol (FAO)

Región Geoedáfica : Yermosolica (ONERN, 1985)

3.1.6 Características físico – químico del suelo

El resultado del análisis físico – químico de la muestra de suelo de la parcela del área experimental fue obtenido en el laboratorio de análisis de agua, suelo, medio ambiente y fertirriego del departamento de recursos hídricos de la facultad de ingeniería agrícola de la universidad nacional agraria la molina, la Tabla 3 reporta las siguientes características:

Tabla 3: Características físico-químicas de la parcela experimental.

CE (dS/m) Relación 1:1	Análisis Mecánico				pH Relación 1:1	M.O %
	Arena %	Limo %	Arcilla %	Textura		
1.05	55.84	33	11.16	Franco Arenoso	7.56	1.49

De la Tabla 3: donde se observa los resultados del análisis físico – químico, esos valores determinan ciertas características del suelo del campo experimental, como son:

- Textura: Franco Arenoso
- Conductividad eléctrica (CE), se registra 1.05 dS/m (diecisiemens por metro), indica que está en la categoría: Muy ligeramente salino (< 2 dS/m).
Equivalencia: 1 mmhos/cm = 1 dS/m
- Reacción del suelo (pH), es también ligeramente alcalino (pH =7.56).
- Materia orgánica (MO) = 1.49 por ciento, se considera como bajo (<2 por ciento)
- Características hídricas del suelo del campo experimental:
Capacidad de campo (CC) : 18.0 por ciento
Punto de Marchitez (PM) : 8.8 por ciento

3.1.7 Fisiografía e historia del campo

La superficie representativa del campo experimental presenta pendiente menor al 2 por ciento, considerándose como plana.

La historia del campo en el aspecto agronómico es como sigue:

- En el año 2014; se sembró el cultivo del maíz
- En el año 2015; se sembró hortalizas
- En el año 2016; se hizo el experimento en el cultivo de camote
- En el año 2017; se hizo el experimento en el cultivo de papa

3.1.8 Equipos e insumos

Dentro de los equipos e insumos utilizados en la ejecución de la investigación para mejor entendimiento, se especifican de acuerdo a las fases siguientes: (a) Fase de campo, (b) Fase de laboratorio y (c) Fase de gabinete.

a. Fase de campo

Equipo de riego por goteo que consta de:

- Cabezal de riego y aparatos de control de presión hidráulico
- Red primaria o de conducción, de tubo de pvc 2”

- Tubería secundaria o de distribución de pvc de clase 5
- Tubería terciaria de pvc de clase 5 donde van insertados los laterales o bigotes
- Tubería porta goteros o manguera de polietileno de 16 mm de diámetro.
- Mini válvulas de control de mangueras.
- Goteros katif autocompensados con descarga de 2.3 L/hr, color negro
- Materiales de pluviometría: vasos de plástico de 250 mL y probeta de 500 mL

a.1 Equipo para determinar la velocidad de infiltración:

- Cilindros infiltrometros de acero o fierro galvanizado de 2 mm de espesor, de 30 y 40 cm de diámetro para el cilindro interior y exterior respectivamente y unos de 40 cm de alto.
- Plancha metálica o tabloncillos de madera
- Escalímetro o regla graduada
- Cinta adhesiva o ganchos sujetadores de la regla graduada
- Baldes
- Lápices
- Gancho metálico, medidor de nivel de agua
- Cronometro
- comba
- Plástico negro

a.2 Equipos para determinar la forma y dimensión del bulbo húmedo del suelo:

- Wincha pegada a una regla de 60 cm para medir profundidad
- Wincha de mano para medir radios húmedos
- Libreta de campo
- Cámara fotográfica digital

a.3 Otros:

- Pala, pico, comba, nivel de carpintero
- Wincha de 30m, cordel, estacas de madera

b. Fase de laboratorio

- Balanza de precisión
- Estufa eléctrica
- Bolsas de papel manila

c. Fase de gabinete

- Equipo de cómputo e impresión
- Programas de computo: Microsoft Word, Microsoft Excel, Power Point, Minitab 18
- Material bibliográfico
- Útiles de escritorio

3.1.9 Los tratamientos en estudio

Para determinar la mejor distribución de la humedad en la disposición de los emisores de un Riego Parcial de Raíces durante el crecimiento vegetativo de la papa variedad única, se consideró dos factores: (a) dos tipos de disposiciones una lineal y otra paralela, (b) dos tipos de láminas de riego una al 100 por ciento de lámina requerida y otra al 50 por ciento. Combinando estos niveles de factor se obtiene cuatro tratamientos. Proponiéndose entonces 4 tratamientos con 5 repeticiones cada una, haciendo 20 unidades experimentales (se tomó como una unidad experimental a una PLANTA DE PAPA). A continuación, se muestra la descripción de los tratamientos en la Tabla 4.

Tabla 4: Descripción de los tratamientos en estudio.

Tratamientos	Descripción	Combinación
T1	Disposición lineal testigo, con lamina de riego 100%	T
T2	Disposición lineal, con lamina de riego 50% en PRD	RP2
T3	Disposición paralela testigo, con lamina de riego 100%	RP
T4	Disposición paralela, con lamina de riego 50% en PRD	RP1

Como se analizó la mejor distribución de la humedad durante el crecimiento vegetativo de la papa, entonces el diseño experimental planteado se realizó para cada etapa fisiológica del cultivo, las cuales fueron en las siguientes etapas: (a) Emergencia, (b) Tuberización, (c) Desarrollo y (d) Maduración. Esto debido al *efecto temporal*, ya que cada planta es distinta en tamaño, profundidad de raíces, hojas, etc., en cada etapa fenológica.

3.1.10 Especificaciones de los tratamientos

Cada gotero representa un tratamiento de acuerdo con la disposición de emisores y la lámina requerida como se describe en la Tabla 4.

- Los tratamientos T se ubicaron en un espacio de superficie plana de 3.0 metros de ancho y 6.0 metros de longitud, estos contaron con tres hileras de 1.0 metro de ancho y 6.0 metros de longitud cada una, la disposición de los goteros katiff (2.3 L/hr) fue lineal, separadas cada 0.30 cm entre ellas. En total en cada hilera hubo 16 goteros (tratamiento T), por lo tanto 15 plantas de papa variedad única regadas en un 100 % de la lámina de riego, demandada en cada turno de riego.
- Los tratamientos RP2 se ubicaron en un espacio de superficie plana de 3.0 metros de ancho y 6.0 metros de longitud, estos contaron con tres hileras de 1.0 metro de ancho y 6.0 metros de longitud cada una, la disposición de los goteros katiff (2.3 l/hr) fue lineal, separadas cada 0.60 cm entre ellas, pero estas estuvieron en dos manqeras de 16 mm unidas como si fueran uno solo. Esto permitió realizar el Riego Parcial de Raíces en la disposición mencionada. En total en cada hilera hubo 16 goteros, por lo tanto 15 plantas de papa variedad única regadas en un 50 % de la lámina de riego demandada en cada turno de riego.
- Los tratamientos RP se ubicaron en un espacio de superficie plana de 3.0 metros de ancho y 6.0 metros de longitud, estos contaron con tres hileras de 1.0 metro de ancho y 6.0 metros de longitud cada una, la disposición de los goteros katiff (2.3 l/hr) fue paralela, separadas cada 0.30 cm entre ellas, pero estas estuvieron en dos mangueras de 16mm separadas 0.20 cm. En total en cada hilera hubo 32 goteros (16 en cada manguera), por lo tanto 15 plantas de papa variedad única regadas en un 100 % de la lámina de riego, demandada en cada turno de riego.
- Los tratamientos RP1 se ubicaron en un espacio de superficie plana de 3.0 metros de ancho y 6.0 metros de longitud, estos contaron con tres hileras de 1.0 metro de ancho y 6.0 metros de longitud cada una, la disposición de los goteros katiff (2.3 l/hr) fue paralela, separadas cada 0.30 cm entre ellas, pero estas estuvieron en dos mangueras de 16mm separadas 0.20 cm. Esto permitió realizar el Riego Parcial de Raíces en la disposición mencionada. En total en cada hilera hubo 32 goteros (16 en cada manguera), por lo tanto 15 plantas de papa variedad única regadas en un 50 % de la lámina de riego, demandada en cada turno de riego.

3.1.11 Diseño estadístico

El diseño estadístico empleado fue el de *Diseño Factorial Completamente al Azar (D. F. C. A)*. para 4 tratamientos con 5 repeticiones cada una. Esto en cada etapa fenológica de la papa única.

Este diseño estadístico se llevó a cabo para estudiar los efectos producidos por 2 factores (disposición de emisores y tipo de riego).

Los diseños factoriales producen experimentos más eficientes, pues cada observación proporciona información sobre todos los factores y es posible apreciar las respuestas de un factor en los diferentes niveles del otro factor. Además, se puede observar si los factores actúan en las unidades experimentales en forma independiente, en cuyo caso se dice que no hay interacción entre ellos.

El efecto de un factor es un cambio en la respuesta medida causado por un cambio en el nivel de ese factor, los tres tipos de efectos que interesan en un experimento factorial son: (a) Los Efectos de Interacción, (b) Los Efectos Principales, (c) Los Efectos Simples.

3.1.12 El modelo aditivo lineal

Es el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

Donde:

- Y_{ijk} : Valor de la variable respuesta en el i -ésimo nivel del factor 1, j -ésimo nivel del factor 2 y k -ésimo repetición.
- μ : Efecto de la media general de la variable respuesta.
- α_i : Efecto del i -ésimo nivel del factor 1.
- β_j : Efecto del j -ésimo nivel del factor 2.
- $(\alpha\beta)_{ij}$: Efecto de la interacción del i -ésimo nivel del factor 1 y j -ésimo nivel del factor 2.
- ϵ_{ijk} : Efecto del error experimental en el i -ésimo nivel factor 1, j -ésimo nivel del factor 2 y k -ésimo repetición.

Para $i = 1, \dots, p, j = 1, \dots, q$ y $k = 1, \dots, r$.

3.1.13 Análisis estadístico

Para la Inferencia (la hipótesis de la muestra representa a la población) y obtener la diferencia estadística significativa de las fuentes de variabilidad se realizó el análisis de varianza de los radios y profundidad medios del bulbo húmedo, con un nivel de significación de 0.1. Esto para cada etapa vegetativa

Para el modelo de efectos fijos se analizó con las siguientes hipótesis en términos de los efectos de los niveles de los factores:

a. Para el efecto de interacción AB (Disposición emisor x Tipo riego):

$$H_0: (\alpha\beta)_{ij} = 0, \forall i, j$$

$$H_1: (\alpha\beta)_{ij} \neq 0, \text{ para al menos algún } i, j$$

b. Para el efecto de principal de A (Disposición emisor):

$$H_0: \alpha_i = 0, \forall i$$

$$H_1: \alpha_i \neq 0, \text{ para al menos algún } i$$

c. Para el efecto de principal de B (Tipo de riego):

$$H_0: \beta_j = 0, \forall j$$

$$H_1: \beta_j \neq 0, \text{ para al menos algún } j$$

Entonces para aceptar las hipótesis nulas planteadas se tuvo que analizar con el estadístico de prueba (p-value), donde este tiene que ser mayor al nivel de significación planteado.

Además, para validar la inferencia o hipótesis se tuvo que verificar la normalidad de errores (si existe normalidad, hay homogeneidad), con la siguiente hipótesis:

$$H_0: \text{Existe Normalidad}$$

$$H_1: \text{No Existe Normalidad}$$

Por último, para cuantificar el grado de homogeneidad, se realizó con el Coeficiente de Variabilidad, el cual se calculó de la siguiente manera:

$$CV = \frac{\sqrt{CME}}{\mu}$$

Donde:

- CV: Coeficiente de Variabilidad.
- μ : Efecto de la media general de la variable respuesta.
- CME: Cuadrado Medio de los Errores.

3.1.14 El campo experimental

El campo experimental fue constituido por 20 parcelas haciendo un área total de 544 m². Estos se distribuyeron en 5 filas (A, B, C, D y E), cada una separada cada 1 m. En cada fila estuvieron los 4 tratamientos presentados, al medio se instaló un arco de riego, separando a los tratamientos contiguos en 2 m y los otros contiguos a 1 m entre ellas. Por lo tanto, se tuvo un total de 360 m² como área efectiva de ensayo.

Estas características del campo experimental se muestran en las siguientes figuras 15 y 16:

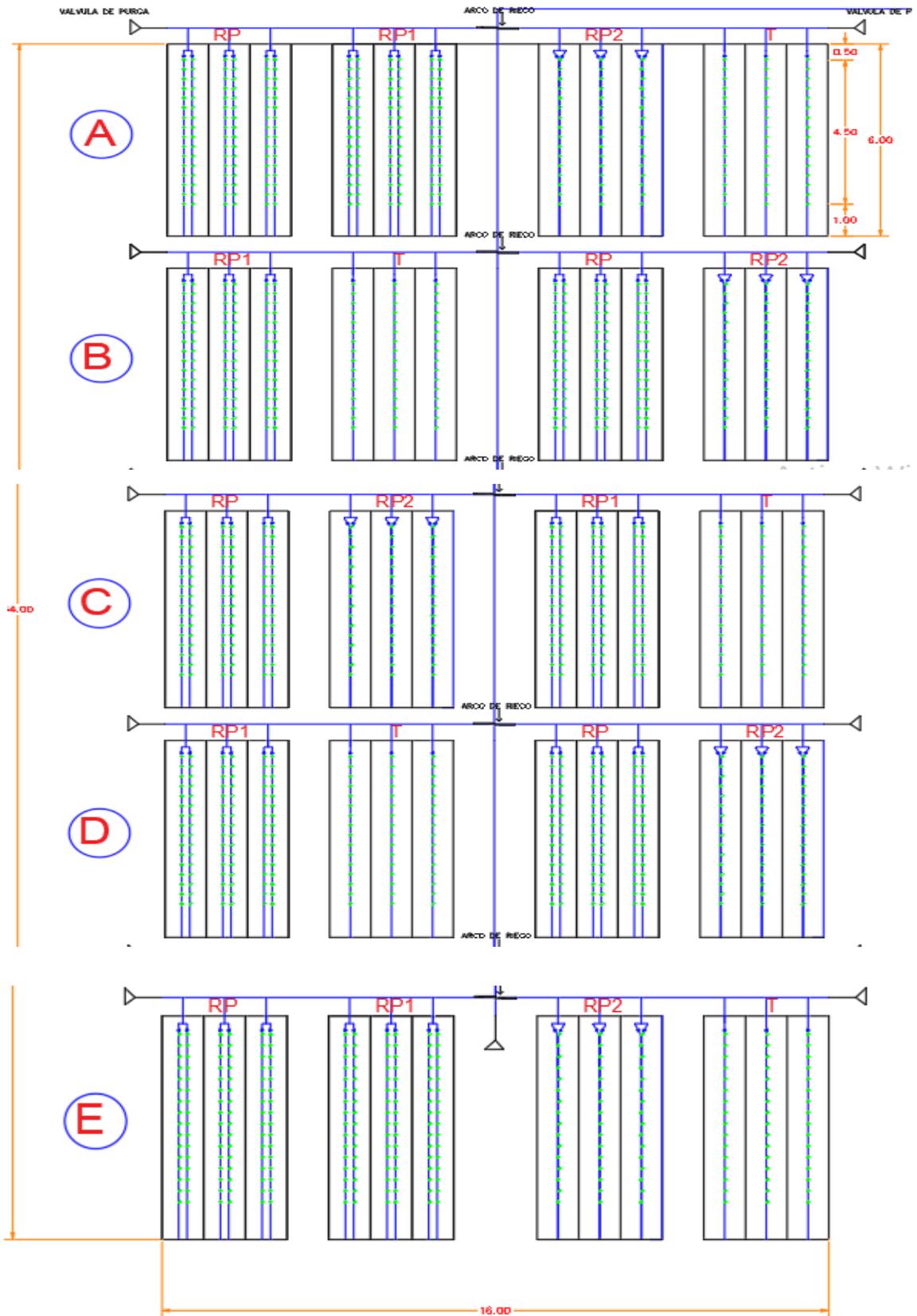


Figura 15: Croquis del diseño de las parcelas experimentales.



Figura 16: Parcelas experimentales en estudio.

3.2 METODOLOGÍAS

3.2.1 Metodología para determinar las características físico-químicas del suelo

- Se ubico un lugar representativo de suelo no perturbado, dentro del campo designado para el estudio. Luego se demarco un espacio en la superficie para excavar una calicata de 1.0 m de ancho, 1.0 m de largo y 1.0 m de profundidad, tal como se muestra en el Anexo 1.
- En el perfil de la calicata, se tomaron muestras de suelo mediante cilindros (50 mm de diámetro y 51 mm de altura) a diferentes profundidades; dos muestras de 0 – 30 cm, dos muestras de 30 – 60 cm. Del mismo modo, se obtuvieron muestras sueltas con pesos aproximados de 1.0 Kg, en las mismas profundidades del caso anterior. Estos fueron llenados en bolsas plásticas.
- Todas las muestras obtenidas fueron llevados a laboratorio de análisis de agua, suelo, medio ambiente y fertirriego del departamento de recursos hídricos de la facultad de Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional Agraria La Molina

Los métodos seguidos para el análisis de las muestras son las siguientes:

- Análisis mecánico: Textura, por el método del Hidrómetro.
- Conductividad Eléctrica (CE): Lectura de extracto de relación suelo – agua 1:1 y extracto de la pasta saturada.

- Reacción del suelo (pH): Método del potenciómetro, relación suelo – agua 1:1 y en la pasta saturada.
- Materia orgánica (M.O): Método de Walkley y Black $\% \text{ M.O} = \% \text{ C} \times 1.724$

3.2.2 Metodología para determinar la velocidad de infiltración del agua en el suelo

Para determinar la velocidad de infiltración, se seleccionó el siguiente método: el método del doble cilindro infiltrometro; la aplicación de este método consiste en los siguientes pasos:

- Selección del lugar: La prueba se realizó en un lugar representativo ubicado dentro del campo designado para el estudio.
- Ejecución de la prueba: el procedimiento fue el siguiente:

Instalación de los cilindros en el lugar seleccionado, el cilindro mayor se introdujo verticalmente 15 cm de profundidad, mediante golpes de comba sobre el cuartón de madera que va en contacto en la parte superior del cilindro. Para mantener la horizontalidad del cilindro en el proceso de instalación, se utilizó el nivel de carpintero. De la misma forma anterior, se procedió para introducir el cilindro menor a 20 cm de profundidad quedando concéntrica con el cilindro mayor. Ver Anexo 2.

Terminada la instalación de los cilindros, se fijó el medidor esférico (boya) en el centro superior del cilindro menor, en esta, viene adosado el indicador y la regla graduada para la medición de altura de carga de agua.

Luego se procedió a extender la lámina de plástico en el interior del cilindro menor, quedando en contacto con la cara interna de la misma y la superficie del suelo.

Después se inició el llenado con agua el cilindro menor, luego se llenó el cilindro mayor; ambos cilindros tuvieron una carga aproximada de 10 cm de lámina de agua, de inmediato, se retiró el plástico del cilindro menor. Así se inició la prueba de infiltración, simultáneamente se activó el cronometro para el control del tiempo. La carga de agua en el cilindro mayor fue para controlar o anular la infiltración lateral del cilindro menor.

Al retirar el plástico del cilindro interno, ya se registró el valor inicial del nivel de agua que señala el indicador sobre la regla graduada. El cronometro inicia la medición del intervalo de tiempo planificado. El intervalo de tiempo fue de 5 minutos, y en forma gradual se incrementó a 10, 15, 30, 60 minutos para finalizar la prueba cuando alcanzo una tasa de infiltración constante. La duración de la prueba fue de 176 minutos.

Cuando el nivel de lámina de agua debido a la infiltración disminuyo aproximadamente 3.0 cm, se procedió a llenar nuevamente los cilindros procurando alcanzar el mismo nivel inicial anterior. En cada renuevo, se registró la lectura del nivel de agua y el inicio del intervalo de tiempo determinado.

- Registro de datos: utilizando el formato adecuado (Anexo 3) para este fin, se registraron los datos de campo en las columnas (1) y (4). En base a estos datos se realizaron cálculos para el llenado del resto de las columnas.

3.2.3 Metodología del cálculo de velocidad de infiltración instantánea

La velocidad de infiltración instantánea o simplemente Velocidad de Infiltración, es la velocidad de entrada del agua en el perfil del suelo cuando la superficie del terreno se cubre con una lámina delgada de agua.

Para el cálculo de la velocidad de infiltración se utilizó la Tabla 5, aplicando el método analítico en el modelo experimental propuesto por Kostiakov (1932) que tiene la siguiente forma:

$$I = aT o^b \dots \dots \dots (1)$$

Donde:

I: Velocidad de infiltración expresada en cm/hr ó mm/hr

To : Tiempo de contacto del agua con el suelo desde el inicio o tiempo de oportunidad, se expresa en minutos u horas.

a : Coeficiente de velocidad de infiltración para To = 1.0 minuto.

b : Exponente que varia entre 0 y -1.

a. Calculo de los parámetros a y b:

Para los cálculos, se usa la técnica de los mínimos cuadrados y sus respectivas relaciones matemáticas.

a.1 Calculo del parámetro b: El valor del parámetro b, se obtuvo mediante la aplicación de la ecuación (2) siguiente:

$$b = \frac{n(\sum x \cdot y) - \sum x \sum y}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \dots \dots \dots (2)$$

y de acuerdo con los datos calculados que se muestra en la Tabla 5, reemplazamos por sus valores correspondientes en la ecuación (2). Y nos arroja el siguiente valor $b = -0.37$

a.2 Calculo del parámetro a: Para determinar el valor del parámetro (a), se requiere la utilización de la relación matemática de (a_o) , ecuación (3). Luego hallamos el antilogaritmo respectivo según la ecuación (4).

$$a_o = \frac{\sum y}{n} - \frac{b \sum x}{n} \dots \dots \dots (3)$$

Reemplazando por los valores respectivos que se muestran en la Tabla 5.

$$a_o = 1.098$$

Como a, es antilogaritmo de (a_o) :

$$a = \text{antilog}(a_o) \dots \dots \dots (4)$$

Luego: $a = 12.55$. Estos resultados, permiten establecer la ecuación de la Velocidad de Infiltración Instantánea:

$$I = 12.55 * T_o^{-0.37} \dots \dots \dots (5)$$

Tabla 5: Registro de datos para el cálculo de la velocidad de infiltración.

Datos para el cálculo de la Velocidad de Infiltración							
Nº	Tiempo Acum (min)	Veloc. Infil. Inst (cm/hr)	X=Log(To)	Y=Log(Icum)	XY	X ²	Y ²
		0	0.00				
1	1	12	0.00	1.08	0.00	0.00	1.16
2	2	6	0.30	0.78	0.23	0.09	0.61
3	3	12	0.48	1.08	0.51	0.23	1.16
4	4	6	0.60	0.78	0.47	0.36	0.61
5	5	6	0.70	0.78	0.54	0.49	0.61
6	6	6	0.78	0.78	0.61	0.61	0.61
7	7	6	0.85	0.78	0.66	0.71	0.61
8	8	6	0.90	0.78	0.70	0.82	0.61
9	9	6	0.95	0.78	0.74	0.91	0.61
10	10	6	1.00	0.78	0.78	1.00	0.61
11	11	6	1.04	0.78	0.81	1.08	0.61
12	12	6	1.08	0.78	0.84	1.16	0.61
13	13	6	1.11	0.78	0.87	1.24	0.61
14	14	6	1.15	0.78	0.89	1.31	0.61
15	16	6	1.20	0.78	0.94	1.45	0.61
16	18	3	1.26	0.48	0.60	1.58	0.23
17	20	6	1.30	0.78	1.01	1.69	0.61
18	22	6	1.34	0.78	1.04	1.80	0.61
19	24	6	1.38	0.78	1.07	1.90	0.61
20	26	3	1.41	0.48	0.68	2.00	0.23
21	31	1.2	1.49	0.08	0.12	2.22	0.01
22	36	3.6	1.56	0.56	0.87	2.42	0.31
23	41	3.6	1.61	0.56	0.90	2.60	0.31
24	46	2.4	1.66	0.38	0.63	2.76	0.14
25	51	3.6	1.71	0.56	0.95	2.92	0.31
26	56	1.2	1.75	0.08	0.14	3.06	0.01
27	116	2.7	2.06	0.43	0.89	4.26	0.19
28	176	1.9	2.25	0.28	0.63	5.04	0.08
			32.93	18.48	19.12	45.73	13.82

Para conocer el grado de confiabilidad del modelo encontrado, se calcula el coeficiente de determinación (r^2) con la relación (6) que se muestra:

$$r^2 = \frac{(\sum x \cdot y - \frac{\sum x \sum y}{n})^2}{(\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n})(\sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{n})} \dots \dots \dots (6)$$

Reemplazando por sus valores se obtiene que $r^2 = 0.7805$

b. Calculo de la velocidad de infiltración básica.

La ecuación de la infiltración básica es:

$$I_b = aT^b \dots \dots \dots (7)$$

Y para obtener el resultado para T^b en horas se tiene;

$$I_b = a(-10b)^b \dots \dots \dots (8)$$

Reemplazando los valores de la ecuación (8) en la ecuación (5), se obtiene la velocidad de infiltración básica.

$$I_b = 7.68 \text{ mm/hr}$$

3.2.4 Metodología del cálculo de la función de la lámina infiltrada acumulada

Para los cálculos de los parámetros de la función de la lámina infiltrada acumulada y su correspondiente coeficiente de determinación, se aplica la técnica de los mínimos cuadrados utilizando los datos de la Tabla 6, y se procede de la misma forma del caso anterior.

Tabla 6: Registro de datos para el cálculo de la Lamina Infiltrada Acumulada.

Datos para el cálculo de la función de la Lamina Infiltrada Acumulada							
N°	Tiempo Acum (min)	Lam. Infiltr. Acum. (cm)	X=Log(To)	Y=Log(Icum)	XY	X^2	Y^2
		0	0.00				
1	1	0.2	0.00	-0.70	0.00	0.00	0.49
2	2	0.3	0.30	-0.52	-0.16	0.09	0.27
3	3	0.5	0.48	-0.30	-0.14	0.23	0.09
4	4	0.6	0.60	-0.22	-0.13	0.36	0.05
5	5	0.7	0.70	-0.15	-0.11	0.49	0.02

Datos para el cálculo de la función de la Lamina Infiltrada Acumulada							
Nº	Tiempo Acum (min)	Lam. Infiltr. Acum. (cm)	X=Log(To)	Y=Log(Icum)	XY	X^2	Y^2
6	6	0.8	0.78	-0.10	-0.08	0.61	0.01
7	7	0.9	0.85	-0.05	-0.04	0.71	0.00
8	8	0.9	0.90	-0.05	-0.04	0.82	0.00
9	9	1	0.95	0.00	0.00	0.91	0.00
10	10	1.1	1.00	0.04	0.04	1.00	0.00
11	11	1.2	1.04	0.08	0.08	1.08	0.01
12	12	1.3	1.08	0.11	0.12	1.16	0.01
13	13	1.4	1.11	0.15	0.16	1.24	0.02
14	14	1.5	1.15	0.18	0.20	1.31	0.03
15	16	1.7	1.20	0.23	0.28	1.45	0.05
16	18	1.8	1.26	0.26	0.32	1.58	0.07
17	20	2	1.30	0.30	0.39	1.69	0.09
18	22	2.2	1.34	0.34	0.46	1.80	0.12
19	24	2.4	1.38	0.38	0.52	1.90	0.14
20	26	2.5	1.41	0.40	0.56	2.00	0.16
21	31	2.6	1.49	0.41	0.62	2.22	0.17
22	36	2.9	1.56	0.46	0.72	2.42	0.21
23	41	3.2	1.61	0.51	0.81	2.60	0.26
24	46	3.4	1.66	0.53	0.88	2.76	0.28
25	51	3.7	1.71	0.57	0.97	2.92	0.32
26	56	3.8	1.75	0.58	1.01	3.06	0.34
27	116	6.5	2.06	0.81	1.68	4.26	0.66
28	176	8.4	2.25	0.92	2.08	5.04	0.85
			32.93	5.18	11.22	45.73	4.74

a. Cálculos de los parámetros A y B:

Se tiene el modelo:

$$I_{cum} = AT o^B \dots \dots \dots (9)$$

a.1 Calculo del parámetro B:

Para hallar el valor de B, utilizamos la relación (10)

$$B = \frac{n(\sum x \cdot y) - \sum x \sum y}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \dots \dots \dots (10)$$

y de acuerdo con los datos calculados que se muestra en el cuadro 3.5, reemplazamos por sus valores correspondientes en la ecuación (10). Y nos arroja el siguiente valor $B = 0.7327$

a.2 Calculo del parámetro A: Para determinar el valor del parámetro (A), se requiere la utilización de la relación matemática de (A_o), ecuación (11). Luego hallamos el antilogaritmo respectivo según la ecuación (12).

$$A_o = \frac{\sum y}{n} - \frac{b \sum x}{n} \dots \dots \dots (11)$$

Reemplazando por los valores respectivos que se muestran en la Tabla 6.

$$A_o = -0.6768$$

Como A, es antilogaritmo de (A_o):

$$A = \text{antilog}(A_o) \dots \dots \dots (12)$$

Luego: $A = 0.21$. Estos resultados, permiten establecer la ecuación final de la Lamina Infiltrada Acumulada:

$$I \text{ cum} = 0.21 * T_o^{0.7327} \dots \dots \dots (13)$$

Para conocer el grado de confiabilidad del modelo encontrado, se calcula el coeficiente de determinación (R^2) con la relación (14) que se muestra:

$$R^2 = \frac{(\sum x \cdot y - \frac{\sum x \sum y}{n})^2}{(\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n})(\sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{n})} \dots \dots \dots (14)$$

Reemplazando por sus valores se obtiene que $r^2 = 0.9953$

3.2.5 Preparación del terreno

Se humedeció el suelo con aspersores (22 de abril del 2017), para su posterior volteo con pico, lampa y rastrillo. Esto para uniformizar y evitar que quede terrones. Pero igual luego se tuvo que volver a pasar con un tractor agrícola de 75 HP de potencia (23 de mayo del

2017), provisto de un arado de tres discos de 28 pulgadas de diámetro. Como se ve en el Anexo 4.

Al término de la aradura, el suelo no presentó terrones. Por lo mismo, no hubo necesidad de gradeo, quedando el área en condiciones de ser utilizados de inmediato. Es así, que a continuación se aprovechó para la demarcación de los tratamientos en estudio.

3.2.6 Instalación del experimento y siembra de la papa

Una vez terminado de insertar los goteros (Katiff negro 2.3 l/hr) y colocado las válvulas en cada manguera de 16 mm de polietileno, según el tratamiento estudiado. Se pasó a instalar en el campo como se muestra en la Figura 15 y 16. Esto se realizó el 03 de junio del 2017.

La conducción del agua se realizó a través de tuberías de conducción “primarias”, tuberías “secundarias” que se unen a la red de tuberías terciarias donde se colocaron conectores plásticos que unieron las cintas de riego o mangueras de polietileno de 16 mm de diámetro (insertados en ellos 15 goteros auto compensados de 2.3 litros/hora para cada tratamiento) y que fueron colocadas a lo largo de las hileras de cada tratamiento.

Después de la instalación, se regó el campo experimental y al día siguiente, el 14 de junio del 2017, se realizó la siembra del cultivo de la papa variedad única.

Como se ve en la Figura 16. Las cinco filas (A, B, C, D y E) contuvieron a los cuatro tratamientos del diseño planteado. En la fila A, se realizó el experimento factorial para el primer estado vegetativo de la papa variedad única, que es el periodo de EMERGENCIA; En la fila C, se realizó el experimento factorial para el segundo estado, que es el periodo de TUBERIZACION; En la fila E, se realizó el experimento factorial para el tercer estado, que es el periodo de DESARROLLO y por último en la fila B, se realizó el experimento factorial del último periodo, que es el de MADURACION.

3.2.7 Pruebas de uniformidad de riego

3.2.7.1 Actividades previas

Las pruebas de uniformidad de riego se realizaron minutos antes de la ejecución del experimento, es decir, antes de la aplicación del riego normal o parcial de la zona de raíces, por goteo en cada unidad experimental.

Para esta prueba mencionada, se evaluó diferentes presiones en el cabezal y las presiones en los laterales con el fin de obtener flujos uniformes en los emisores, quedando establecido la presión de 21 mca en el cabezal y 15 mca en los laterales.

El tiempo de funcionamiento del sistema para obtener muestras de flujos de los emisores recibidos en vasos pluviómetros (Anexo 5), fue de un minuto controlado con un cronometro.

Las descargas de cada emisor se llevaron a una probeta graduada en milímetros (ml), registrándose los datos en el formato mostrado en el Anexo 6. Estos datos en milímetros fueron transformados a litros/hora en cada tratamiento y en cada etapa vegetativa, tal como se ve en el Anexo 7.

3.2.7.2 Calculo del coeficiente de uniformidad.

Una vez obtenido los caudales de cada emisor de todos los tratamientos y transformados a litros/hora, se pasó a calcular el coeficiente de uniformidad (CU), para cada tratamiento y en cada etapa vegetativa. Y para esto se utilizó la ecuación propuesta por Merriam y Keller en 1978, que incluye solo factores hidráulicos y se utiliza tanto para la instalación de nuevos equipos como la evaluación de equipos en funcionamiento. Como se ve en el Anexo 8.

$$CU = \frac{q_{25}}{q_a} \dots \dots \dots (1)$$

Donde:

q_a = Caudal medio de todos los emisores.

q_{25} = Caudal medio de emisores que conforman el 25% de caudal mas bajo

- El caudal medio de todos los emisores (q_a), está dado por la relación:

$$q_a = \frac{\sum q}{n} \dots \dots \dots (2)$$

Donde:

$\sum q$: Suma de caudales de los emisores

n : Numero de emisores.

- El caudal medio de los emisores que constituyen el 25% de caudal más bajos (q_{25}), presenta la siguiente relación:

$$q_a = \frac{\sum q_b}{n_b} \dots \dots \dots (3)$$

Donde:

$\sum q_b$: Suma de los caudales mas bajos de los emisores seleccionados.

n_b : Numero de emisores seleccionados.

3.2.8 Ejecución del experimento

La aplicación del riego por goteo (riego normal o parcial), para las tomas de datos de los tratamientos fueron durante el crecimiento vegetativo de la planta, las cuales son las siguientes: (a) Emergencia, (b) Tuberización, (c) Desarrollo y (d) Maduración.

En la primera etapa (Emergencia), por ser un periodo no crítico para el cultivo de la papa variedad única, se aplicó un Riego Parcial de Raíces (PRD). La fecha en el que se aplicó el riego fue el 07 de julio del 2017, en el día 24 después de la siembra. Este fue el octavo riego que se realizó en el sistema, pero el tercer riego deficitario aplicado, donde las válvulas de la derecha de las hileras estaban cerradas mientras el lado izquierdo abiertos. A continuación, se muestra en la Tabla 7 los volúmenes de agua aplicado por tratamiento en el turno de riego mencionado.

Tabla 7: Volumen de lámina aplicada por tratamiento en riego de Emergencia.

TRATAMIENTO	TIEMPO RIEGO (min)	VOLUMEN RIEGO (L)
RP1	5	46
RP	5	92
RP2	10	46
T	10	92

En la segunda etapa (Tuberización), por ser un periodo crítico (periodo en el cual la planta necesita buena cantidad de agua para aumentar su producción) para el cultivo de la papa variedad única, se aplicó un Riego Normal por goteo. Esto hizo que todos los tratamientos tuvieran el mismo volumen de agua, como se ve en la Tabla 8. La fecha en el que se aplicó

el riego fue el 22 de julio del 2017, en el día 39 después de la siembra. Este fue en el 14 riego que se realizó en el sistema.

Tabla 8: Volumen de lámina aplicada por tratamiento en riego de Tuberización.

TRATAMIENTO	TIEMPO RIEGO (min)	VOLUMEN RIEGO (L)
RP1	12	211.6
RP	12	211.6
RP2	23	211.6
T	23	211.6

En la tercera etapa (Desarrollo), por ser un periodo crítico para el cultivo de la papa variedad única, se aplicó un Riego Normal por goteo. Esto hizo que todos los tratamientos tuvieran el mismo volumen de agua, como se ve en la Tabla 9. La fecha en el que se aplicó el riego fue el 23 de agosto del 2017, en el día 71 después de la siembra. Este fue en el 28 riego que se realizó en el sistema.

Tabla 9: Volumen de lámina aplicada por tratamiento en riego de Desarrollo.

TRATAMIENTO	TIEMPO RIEGO (min)	VOLUMEN RIEGO (L)
RP1	27	487.6
RP	27	487.6
RP2	53	487.6
T	53	487.6

En la cuarta etapa y última (Maduración), por ser un periodo no crítico para el cultivo de la papa variedad única, se aplicó un Riego Parcial de Raíces (PRD). La fecha en el que se aplicó el riego fue el 02 de setiembre del 2017, en el día 81 después de la siembra. Este fue el 28 riego que se realizó en el sistema, pero el tercer riego deficitario aplicado, donde las válvulas de la izquierda de las hileras estaban abiertas mientras el lado derecho cerrados. A continuación, se muestra en la Tabla 10 los volúmenes de agua aplicado por tratamiento en el turno de riego mencionado.

Tabla 10: Volumen de lámina aplicada por tratamiento en riego de Maduración.

TRATAMIENTO	TIEMPO RIEGO (min)	VOLUMEN RIEGO (L)
RP1	16.5	151.8

TRATAMIENTO	TIEMPO RIEGO (min)	VOLUMEN RIEGO (L)
RP	16.5	303.6
RP2	33	151.8
T	33	303.6

3.2.9 Metodología de evaluación de la forma y dimensión del bulbo húmedo

Terminada la aplicación del riego normal o parcial en la zona de raíces en todas las parcelas experimentales y cerrada el flujo de agua, después de 24 horas, se realizó el proceso de evaluaciones de las características del bulbo húmedo de cada tratamiento. Las fechas de evaluación según la etapa vegetativa, fueron las siguientes:

- Etapa Emergencia: 08 de julio del 2017.
- Etapa Tuberización: 23 de julio del 2017.
- Etapa Desarrollo: 24 de agosto del 2017.
- Etapa Maduración: 03 de setiembre del 2017.

Para tal fin, se hizo un corte al suelo (calicata), con una pala recta en sentido transversal a la dirección del tendido de los laterales o hileras aporcadas. La profundidad del corte fue de 50 cm, suficiente para observar la forma y dimensiones del bulbo. Las mediciones longitudinales fueron con flexómetro, más conocido como wincha.

En el caso de toma de datos en suelo llano sin aporque (etapa de emergencia); las evaluaciones consistieron en registrar la forma y dimensión que describe la humedad debajo del emisor a partir del nivel de la superficie del suelo.

Para el caso de las hileras con aporque (etapas de tuberización, desarrollo y maduración), la forma y dimensiones que describe el bulbo húmedo, fueron medidas a partir del nivel superior o corona de aporque.

En ambos casos, se consideró como eje y centro de inicio de mediciones el punto de emisión de los goteros. En cada centro se colocó una varilla vertical graduada con intervalos de 5 cm, hasta una profundidad suficiente para realizar las evaluaciones del avance del bulbo húmedo.

3.2.9.1 Registro de Datos de la forma y dimensión del bulbo húmedo.

Para el registro de datos se tuvo en cuenta el desplazamiento vertical y horizontal del frente de humedad. Considerándose los datos de profundidad en la ordenada (Y) y el desplazamiento horizontal (diámetros), en la abscisa (X).

Los datos de diámetro horizontal superficial y subsuperficial, así como el de profundidad, se registraron en un formato especialmente diseñado para cada tratamiento en una hoja de cálculo del software Excel (estos se muestran en el siguiente capítulo), que luego de ser procesados los mismos, sirvieron para obtener los gráficos de la forma geométrica y dimensiones del bulbo húmedo. Los resultados son analizados en el Capítulo IV. Resultados y Discusiones.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 PERIODO DE EMERGENCIA.

4.1.1 Coeficiente de uniformidad de los tratamientos.

Los coeficientes de uniformidad de riego obtenidos previos a la aplicación del riego para la evaluación del bulbo húmedo, se presenta en la Tabla 11.

Tabla 11: Valores de coeficientes de uniformidad del riego en Emergencia.

TRATAMIENTO	RP2	T	RP	RP1
CU (%)	89.21%	88.95%	92.33%	90.12%

Estos fueron calculados según lo indicado en el capítulo de III. Materiales y métodos. Los valores obtenidos son mayores a 86 por ciento, por lo que se ve que el sistema riega o moja las parcelas experimentales de forma uniforme, según Mendoza (2013).

4.1.2 Forma y dimensión del bulbo húmedo

4.1.2.1 Forma y dimensión del bulbo húmedo del tratamiento T

Tabla 12: Dimensiones medias del radio horizontal y profundidad (cm) del bulbo húmedo del tratamiento T en Emergencia.

FILA:		A
TRATAMIENTO:		T
I (cm)		
-X (Radio)	Y (Profundidad)	X (Radio)
-14	0	13
-16	-5	16
-18	-10	18
-17	-15	17.8
-16.5	-20	17.5
-16	-25	16.2
-13	-30	14
-3	-32	4
0	-32	0

De acuerdo con los datos registrados de las pruebas de campo que se muestran en la Tabla 12 y su respectivo delineamiento gráfico; la forma geométrica que describe el bulbo húmedo

en el perfil del suelo que más se aproxima, es el de un elipsoide truncado, donde el plano de corte es la superficie del suelo, tal como reporta Peña y Brown (2000).

En este contexto, se observó que, si el suelo es de textura homogénea, sin estratos diferentes y otros factores que se interpongan en el avance normal del frente de humedad, se obtiene un bulbo húmedo de forma simétrica, teniendo como eje la proyección vertical, el centro del flujo del emisor.

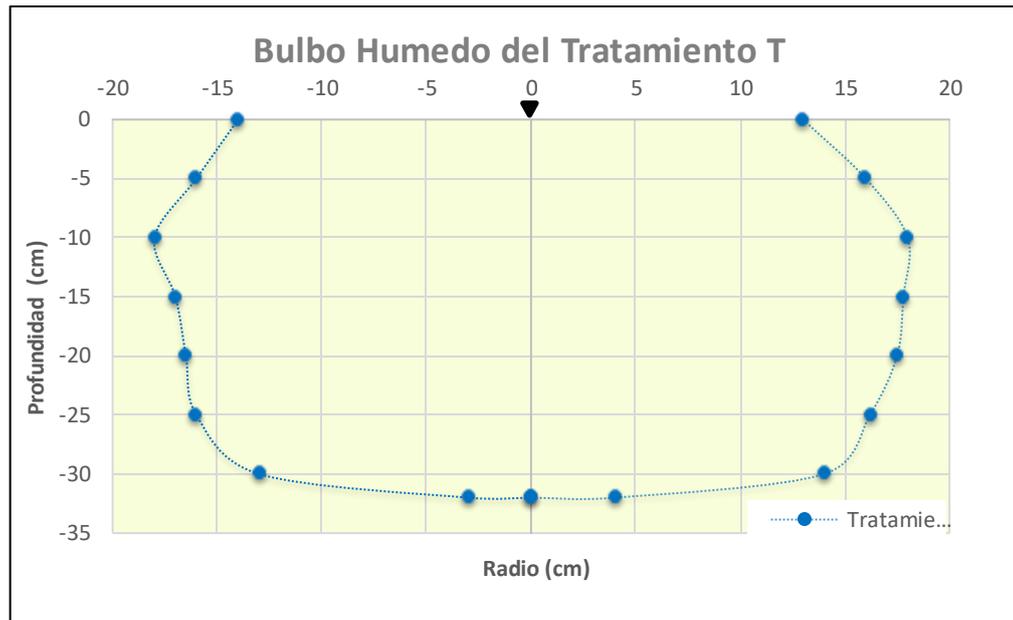


Figura 17: Forma y dimensión del bulbo húmedo del tratamiento T en Emergencia.

También se observó en la Tabla 12, que las dimensiones mayores de los radios del bulbo húmedo se encuentran entre 5 cm y 15 cm, por debajo de la superficie llana del terreno.

Las pruebas de campo, de acuerdo con el tiempo de aplicación de riego para un gotero katiff 2.3 L/hr, dieron los siguientes resultados:

- Tiempo de riego: 10 minutos.
- El mayor radio es de 18 cm y se encuentra a 10 cm debajo de la superficie.
- La profundidad que alcanza el bulbo es de 32 cm

4.1.2.2 Forma y dimensión del bulbo húmedo del tratamiento RP2

Como resultado del procesamiento de los datos del tratamiento RP2 (Tabla 13), que ha permitido delinear el contorno del bulbo húmedo (Figura 18), se tiene lo siguiente:

Tabla 13: Dimensiones medias del radio horizontal y profundidad (cm) del bulbo húmedo del tratamiento RP2 en Emergencia.

FILA: A					
TRATAMIENTO: RP2					
Izquierdo (cm)			Derecho (cm)		
-X (Radio)	Y (Profundidad)	X (Radio)	-X (Radio)	Y (Profundidad)	X (Radio)
-15	0	17	-12	0	11
-16.5	-5	18	-13	-5	13
-16	-10	19	-14.2	-10	14
-14	-15	17	-12.2	-15	12
-12.5	-20	14	-11	-20	11.6
-8	-25	10	-8	-25	10
-5	-30	5	0	-25	0
-2	-34	2			
0	-34	0			

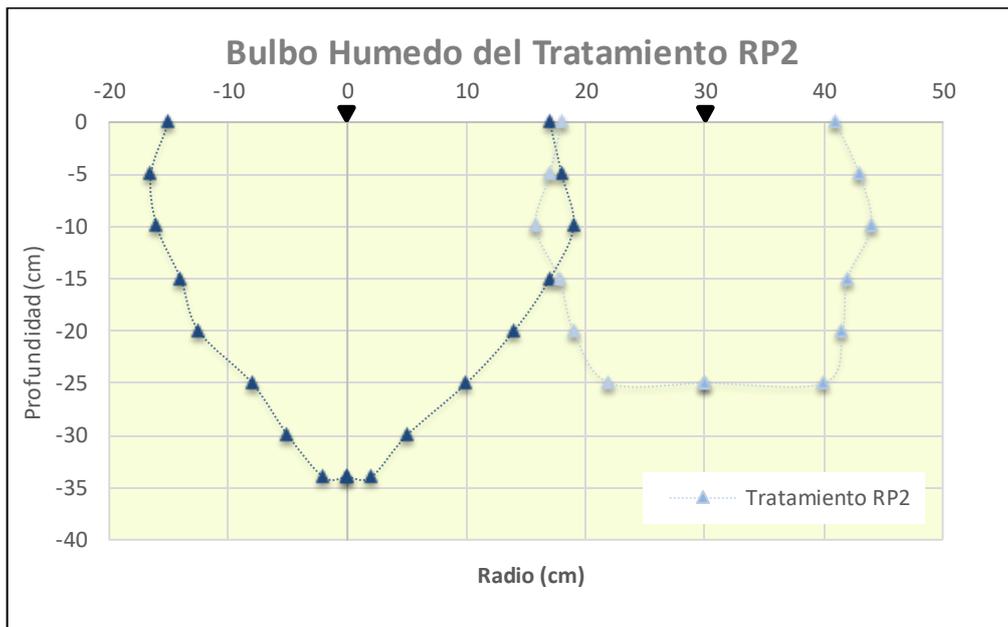


Figura 18: Forma y dimensión del bulbo húmedo del tratamiento RP2 en Emergencia.

Se observa que la forma predominante de cada bulbo húmedo es el de un elipsoide truncado, donde el plano de corte es la superficie del suelo.

En este tratamiento que tiene una disposición lineal, el plano de corte fue longitudinal al tendido de las mangueras, donde se ve que los emisores están separados 30 cm, además se

muestra que las dimensiones de los radios horizontales y la profundidad del bulbo húmedo del lado izquierdo es mayor al del lado derecho. Esto debido a que en el riego parcial de raíces el lado izquierdo se regó, mientras que el lado derecho no.

También se observó en la Tabla 13, que las dimensiones mayores de los diámetros del bulbo húmedo se encuentran entre 5 cm y 10 cm, por debajo de la superficie llana del terreno.

Las pruebas de campo, de acuerdo con el tiempo de aplicación de riego para un gotero katiff 2.3 L/hr, dieron los siguientes resultados:

En el bulbo húmedo del lado izquierdo:

- Tiempo de riego: 10 minutos.
- El mayor radio es de 19 cm y se encuentra a 10 cm debajo de la superficie.
- La profundidad que alcanza el bulbo es de 34 cm

En el bulbo húmedo del lado derecho:

- Tiempo de riego: no se regó.
- El mayor radio es de 14.2 cm y se encuentra a 10 cm debajo de la superficie.
- La profundidad que alcanza el bulbo es de 25 cm

4.1.2.3 Forma y dimensión del bulbo húmedo del tratamiento RP

Como resultado del procesamiento de los datos del tratamiento RP (Tabla 14), que ha permitido delinear el contorno del bulbo húmedo (Figura 19), se tiene lo siguiente:

Tabla 14: Dimensiones medias del radio horizontal y profundidad (cm) del bulbo húmedo del tratamiento RP en Emergencia.

FILA: A					
TRATAMIENTO: RP					
Izquierdo (cm)			Derecho (cm)		
-X (Radio)	Y (Profundidad)	X (Radio)	-X (Radio)	Y (Profundidad)	X (Radio)
-14	0	15	-15	0	14
-19	-5	17	-16	-5	15
-18	-10	18	-17	-10	17
-16	-15	15	-14	-15	15
-15.5	-20	14	-13	-20	13
-13	-25	9	-9.4	-25	10

FILA: A					
TRATAMIENTO: RP					
Izquierdo (cm)			Derecho (cm)		
-X (Radio)	Y (Profundidad)	X (Radio)	-X (Radio)	Y (Profundidad)	X (Radio)
-5	-30	4	-5	-28	5
0	-30	0	0	-28	0

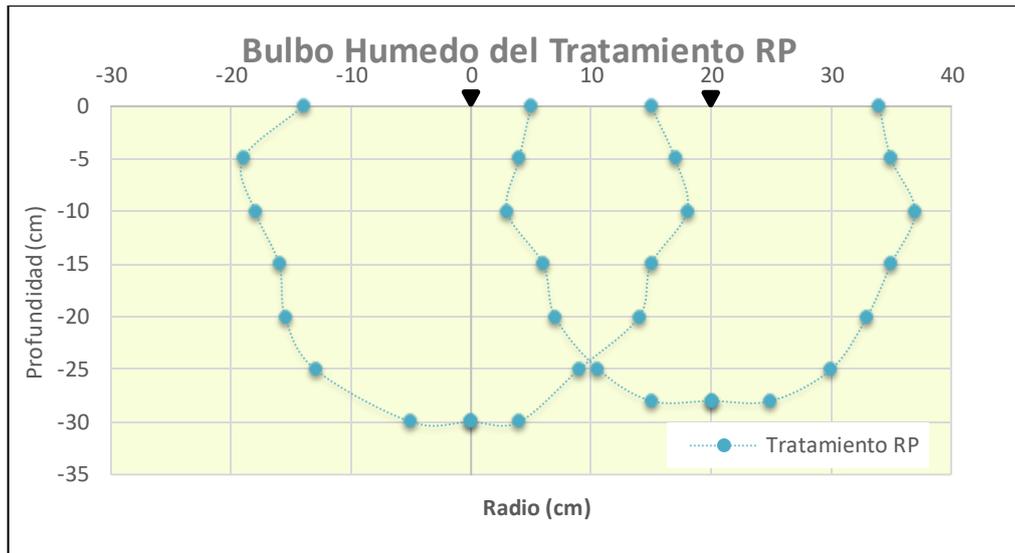


Figura 19: Forma y dimensión del bulbo húmedo del tratamiento RP en Emergencia.

Se observa que la forma predominante de cada bulbo húmedo es el de un elipsoide truncado y superpuestos parcialmente, donde el plano de corte es la superficie del suelo.

La superposición se determinó cuantitativamente por el porcentaje de humedad por el método gravimétrico, el cual nos dio un valor de 19 por ciento (en la parte central), un valor mayor al 18 por ciento que es la humedad a capacidad de campo.

En este tratamiento que tiene una disposición paralela, el plano de corte fue transversal al tendido de las mangueras paralelas, donde se ve que los emisores están separados 20 cm; además se muestra que las dimensiones de los radios horizontales y la profundidad del bulbo húmedo del lado izquierdo y derecho son similares. Esto debido al riego normal (100 por ciento del ETo) que se aplicó.

También se observó en la Tabla 14, que las dimensiones mayores de los diámetros del bulbo húmedo se encuentran entre 5 cm y 10 cm, por debajo de la superficie llana del terreno.

Las pruebas de campo, de acuerdo con el tiempo de aplicación de riego para un gotero katiff 2.3 L/hr, dieron los siguientes resultados:

En el bulbo húmedo del lado izquierdo:

- Tiempo de riego: 5 minutos.
- El mayor radio es de 19 cm y se encuentra a 5 cm debajo de la superficie.
- La profundidad que alcanza el bulbo es de 30 cm

En el bulbo húmedo del lado derecho:

- Tiempo de riego: 5 minutos.
- El mayor radio es de 17 cm y se encuentra a 10 cm debajo de la superficie.
- La profundidad que alcanza el bulbo es de 28 cm

4.1.2.4 Forma y dimensión del bulbo húmedo del tratamiento RP1

Como resultado del procesamiento de los datos del tratamiento RP1 (Tabla 15), que ha permitido delinear el contorno del bulbo húmedo (Figura 20), se tiene lo siguiente:

Tabla 15: Dimensiones medias del radio horizontal y profundidad (cm) del bulbo húmedo del tratamiento RP1 en el periodo de Emergencia.

FILA: A					
TRATAMIENTO: RP1					
Izquierdo (cm)			Derecho (cm)		
-X (Radio)	Y (Profundidad)	X (Radio)	-X (Radio)	Y (Profundidad)	X (Radio)
-14.5	0	15	-8	0	10
-15	-5	16	-10	-5	12
-17	-10	17	-12	-10	14
-17.5	-15	14	-10	-15	13
-18	-20	15	-8	-20	12
-17	-25	14	-6	-25	8
-16	-30	13	-4	-27	5
-3	-35	6	0	-27	0
0	-35	0			

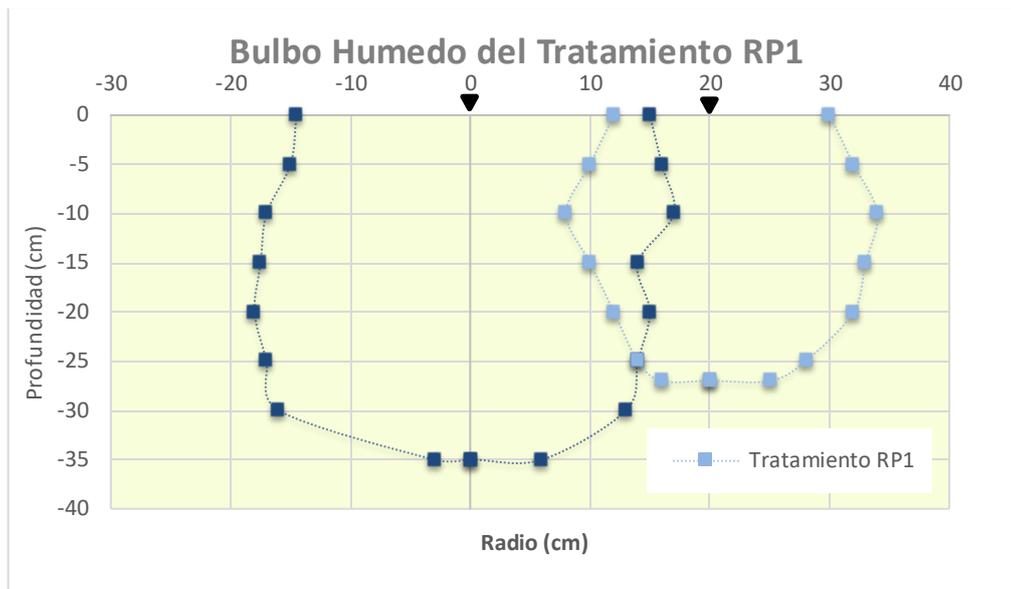


Figura 20: Forma y dimensión del bulbo húmedo del tratamiento RP1 en el periodo de Emergencia.

Se observa que la forma predominante de cada bulbo húmedo es el de un elipsoide truncado y superpuestos parcialmente, donde el plano de corte es la superficie del suelo.

La superposición se determinó cuantitativamente por el porcentaje de humedad por el método gravimétrico, el cual nos dio un valor de 18.2 por ciento (en la parte central), un valor mayor al 18 por ciento que es la humedad a capacidad de campo.

En este tratamiento que tiene una disposición paralela, el plano de corte fue transversal al tendido de las mangueras paralelas, donde se ve que los emisores están separados 20 cm, además se muestra que las dimensiones de los radios horizontales y la profundidad del bulbo húmedo del lado izquierdo es mayor al del lado derecho. Esto debido a que en el riego parcial de raíces el lado izquierdo se regó, mientras que el lado derecho no.

También se observó en la Tabla 15, que las dimensiones mayores de los diámetros del bulbo húmedo se encuentran entre 5 cm y 10 cm, por debajo de la superficie llana del terreno.

Las pruebas de campo, de acuerdo con el tiempo de aplicación de riego para un gotero katiff 2.3 L/hr, dieron los siguientes resultados:

En el bulbo húmedo del lado izquierdo:

- Tiempo de riego: 5 minutos.

- El mayor radio es de 17.5 cm y se encuentra a 15 cm debajo de la superficie.
- La profundidad que alcanza el bulbo es de 35 cm

En el bulbo húmedo del lado derecho:

- Tiempo de riego: No se riega.
- El mayor radio es de 14 cm y se encuentra a 10 cm debajo de la superficie.

La profundidad que alcanza el bulbo es de 27 cm

4.1.3 Análisis de varianza de las dimensiones medias de los radios del bulbo húmedo.

Para determinar estadísticamente si los radios de los tratamientos ensayados nos arrojan valores diferentes o iguales, se realizó el análisis de varianza.

Obtenidos los datos de campo, ordenados y procesados mediante las bases de la estadística establecida, calzada (1970). Nos permitió desarrollar el análisis de varianza (ANVA) de las dimensiones de los radios del bulbo húmedo (los resultados de los radios por cada tratamiento y con sus respectivas replicas se muestran en el Anexo 11). Se muestra en la Tabla 16.

Tabla 16: Análisis de varianza de las dimensiones medias de los radios del bulbo húmedo en Emergencia.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Disposición Emisor (Factor A)	1	0.7722	0.7722	1.25	0.279
Tipo Riego (Factor B)	1	43.7192	43.7192	70.95	0.0002
Disposición Emisor*Tipo Riego	1	0.0806	0.0806	0.13	0.722
Error	16	9.8591	0.6162		
Total	19	54.4313			

De la Tabla 16, se observa primero que no existe efecto de interacción estadísticamente significativa entre los niveles de los factores de Disposición Emisor y Tipo Riego, ya que el Valor p (0.722) es mayor al nivel de significación (0.1). Esto quiere decir que al combinar los niveles de los factores nos daría resultados de radios iguales o similares que utilizando los niveles de los factores por separado.

También se ve que no existe efecto de los niveles del factor A (Disposición de emisor) estadísticamente significativa, ya que el Valor p (0.279) es mayor al nivel de significación (0.1). Esto quiere decir que al utilizar tanto la disposición paralela o lineal nos da los mismos radios medios.

En cambio, en el factor B (Tipo de Riego), si existe efecto de los niveles del factor estadísticamente significativa, ya que el Valor p (0.0002) es menor al nivel de significación (0.1). Esto quiere decir que si queremos obtener radios medios mayores es importante ver el tipo de riego, como se ve en la Figura 21.

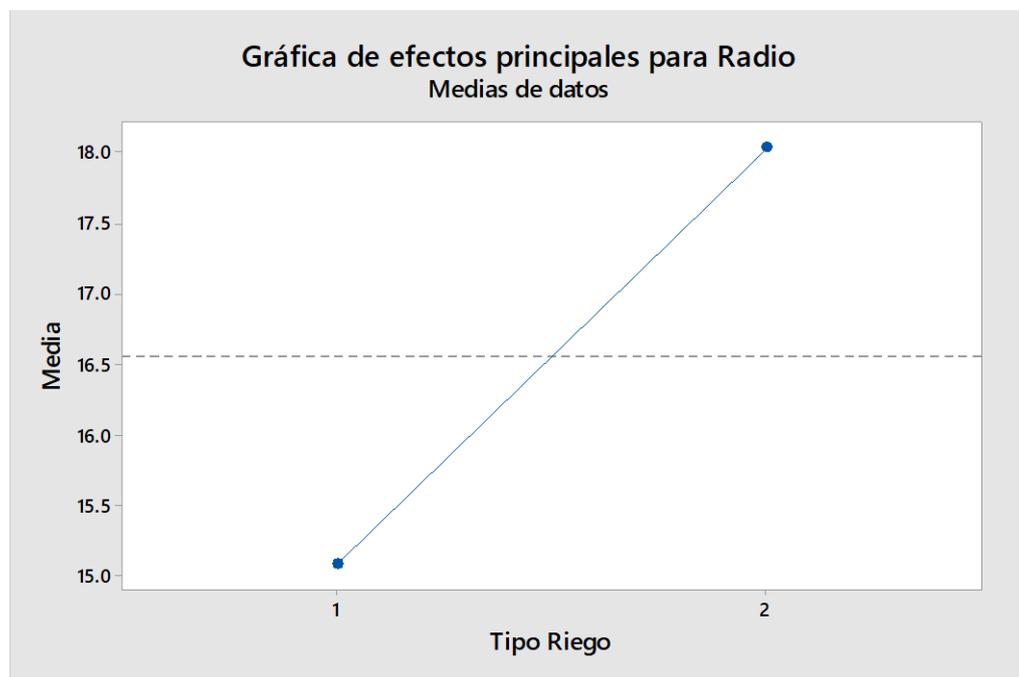


Figura 21: Grafico de efectos principales para radio del factor B (tipo de riego) en Emergencia.

Entonces como se ve en la Figura 21, si queremos obtener radios mayores se tendría que escoger el nivel 2 (tipo de riego normal con 100 por ciento del ETo) con un valor de 18.04 cm, con respecto al nivel 1 (tipo de riego parcial de raices con 50 por ciento del ETo) con un valor de 15.08 cm.

Como se ve en la Figura 22, el error tiende a una distribución normal, ya que el Valor p (0.674) es mayor al nivel de significación (0.1), por lo tanto, se valida las hipótesis aceptadas anteriormente estadísticamente, con un coeficiente de variabilidad (C.V) de 4.74 por ciento.

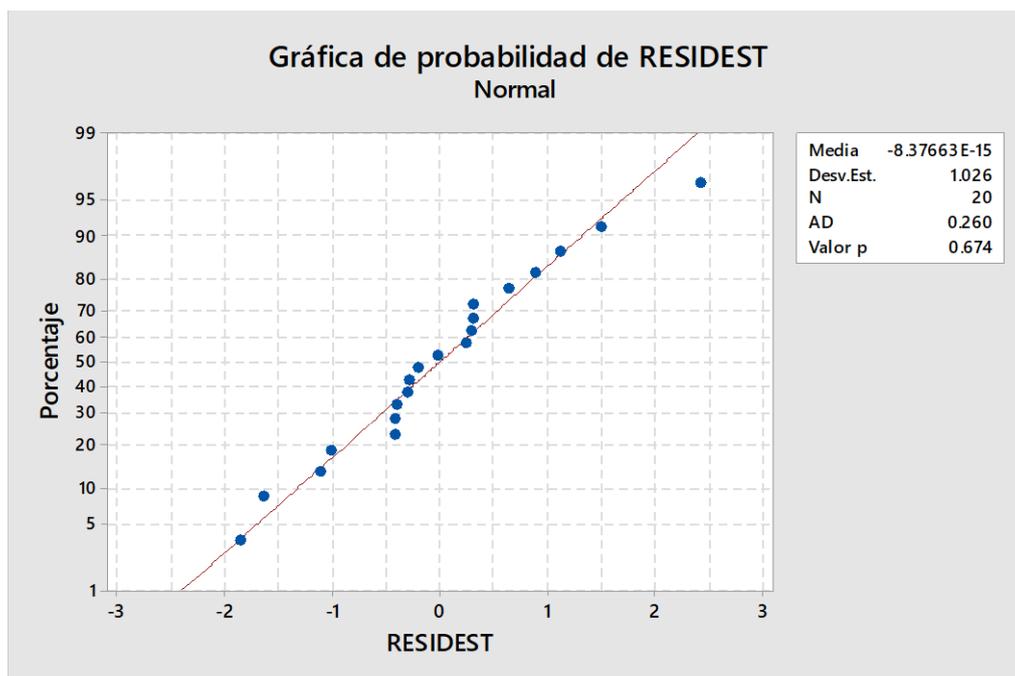


Figura 22: Grafico de normalidad de error de residuos estandarizados del radio medio en Emergencia.

4.1.4 Análisis de varianza de las dimensiones medias de las profundidades del bulbo húmedo.

Para determinar estadísticamente si las profundidades de los tratamientos ensayados nos arrojan valores diferentes o iguales, se realizó el análisis de varianza.

Según el análisis de varianza (ANVA) de la profundidad media del bulbo húmedo que se muestra en la Tabla 17.

Tabla 17: Análisis de varianza de las dimensiones medias de las profundidades del bulbo húmedo (cm) en Emergencia.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Disposición Emisor (Factor A)	1	4.513	4.513	1.06	0.318
Tipo Riego (Factor B)	1	56.113	56.113	13.2	0.002
Disposición Emisor*Tipo Riego	1	12.012	12.012	2.83	0.112
Error	16	68	4.25		
Total	19	140.638			

Se observa primero que no existe efecto de interacción estadísticamente significativa entre los niveles de los factores de Disposición Emisor y Tipo Riego, ya que el Valor p (0.112) es

mayor al nivel de significación (0.1). Esto quiere decir que al combinar los niveles de los factores nos daría resultados de profundidades iguales o similares que utilizando los niveles de los factores por separado.

También se ve que no existe efecto de los niveles del factor A (Disposición de emisor) estadísticamente significativa, ya que el Valor p (0.318) es mayor al nivel de significación (0.1). Esto quiere decir que al utilizar tanto la disposición paralela o lineal nos da las mismas profundidades medias.

En cambio, en el factor B (Tipo de Riego), si existe efecto de los niveles del factor estadísticamente significativa, ya que el Valor p (0.002) es menor al nivel de significación (0.1). Esto quiere decir que si queremos obtener profundidades medias mayores es importante ver el tipo de riego, como se ve en la Figura 23.

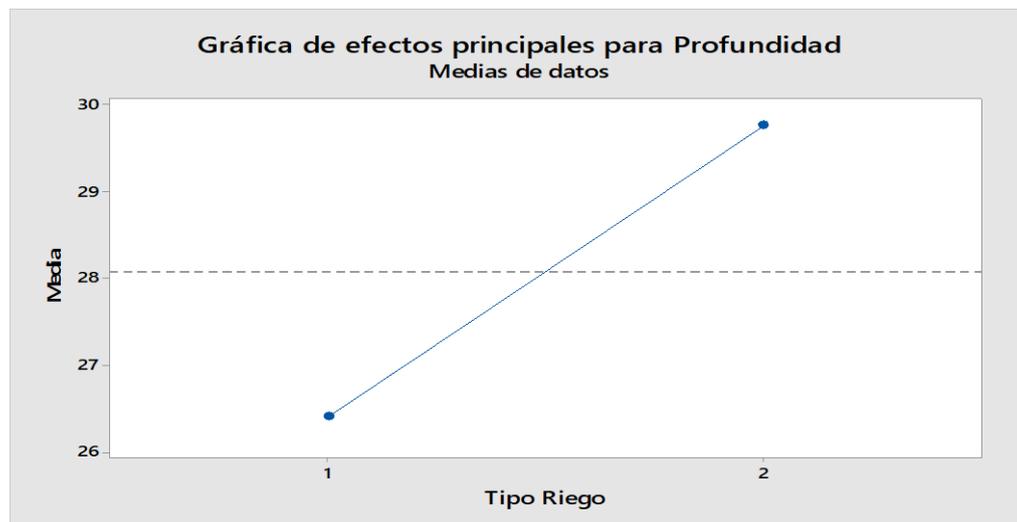


Figura 23: Grafico de efectos principales para profundidad del factor B (tipo de riego) en Emergencia.

Entonces como se ve en la Figura 23, si queremos obtener profundidades mayores se tendría que escoger el nivel 2 (tipo de riego normal con 100 por ciento del ETo) con un valor de 29.75 cm, con respecto al nivel 1 (tipo de riego parcial de raíces con 50 por ciento del ETo) con un valor de 26.40 cm.

Como se ve en la Figura 24, el error tiende a una distribución normal, ya que el Valor p (0.712) es mayor al nivel de significación (0.1), por lo tanto, se valida las hipótesis aceptadas anteriormente estadísticamente, con un coeficiente de variabilidad (C.V) de 7.34 por ciento.

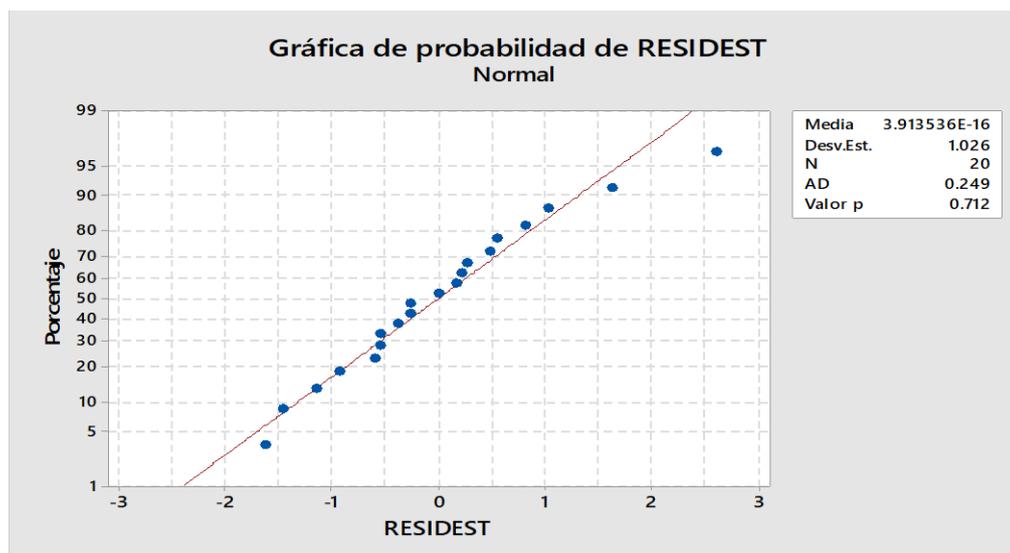


Figura 24: Grafico de normalidad de error residuos estandarizados de la profundidad media en Emergencia.

4.2 PERIODO DE TUBERIZACION

En este periodo se aplicó un riego normal (100 por ciento del ETo) en todos los tratamientos del experimento, dado que esta etapa es una de las etapas críticas del cultivo (papa variedad única) ya que, si no se les suministra el agua requerido durante este periodo, este afectaría tanto a la morfología como a la producción.

El riego normal en todos los tratamientos del experimento ocasiona que el tratamiento T sea igual al RP2 y el tratamiento RP sea igual al RP1. Por lo que sería igual analizar solo dos de estos tratamientos (T y RP, o RP1 y RP2), que analizar los cuatro.

4.2.1 Coeficiente de uniformidad de los tratamientos

Los coeficientes de uniformidad de riego obtenidos previos a la aplicación del riego para la evaluación del bulbo húmedo, se presenta en la Tabla 18.

Tabla 18: Valores de coeficientes de uniformidad del riego en Tuberización.

TRATAMIENTO	RP2	T	RP	RP1
CU (%)	86.80%	86.26%	88.74%	91.24%

Los valores obtenidos en este periodo son mayores a 86 por ciento, por lo que se ve que el sistema riega o moja las parcelas experimentales de forma uniforme, según Mendoza (2013).

4.2.2 Forma y dimensión del bulbo húmedo

4.2.2.1 Forma y dimensión del bulbo húmedo del tratamiento T

Según el resultado del procesamiento de datos de la Tabla 19, la forma y dimensión del bulbo húmedo proveniente de la descarga del emisor ubicado en la parte central de la corona del aporque, es el de un elipsoide truncado (como se muestra en la Figura 25), donde el plano de corte es la superficie de la corana de aporque. Estas características fueron observadas y reportadas por Peña y Brown (2000), pero no precisamente en una estructura de aporque.

Tabla 19: Dimensiones medias del radio horizontal y profundidad (cm) del bulbo húmedo del tratamiento T.

FILA:		C
TRATAMIENTO:		T
I (cm)		
-X (Radio)	Y (Profundidad)	X (Radio)
-15	0	16
-19	-5	21
-23	-10	24
-22	-15	22
-14	-20	14
-8	-25	6
-4	-28	2
0	-28	0

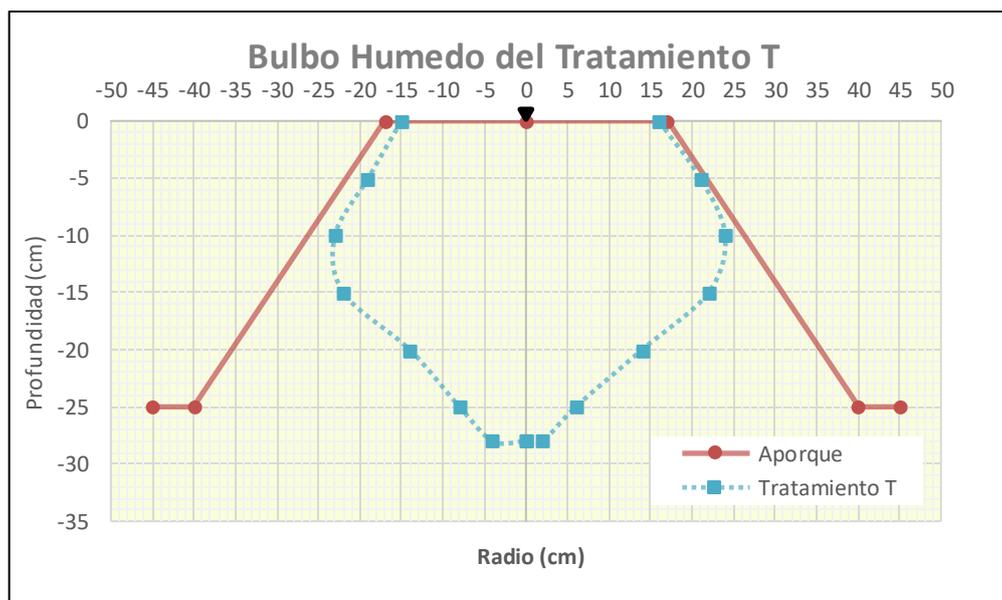


Figura 25: Forma y dimensión del bulbo húmedo del tratamiento T en Tuberización.

Las dimensiones de radios y profundidades medias del bulbo del tratamiento T se muestran en la Tabla 19, donde los valores mayores de los radios, de acuerdo con las evaluaciones se ubican de 10 a 15 cm, por debajo de la superficie de la corona de aporque.

Las pruebas de campo, de acuerdo con el tiempo de aplicación de riego para un gotero katiff 2.3 L/hr, dieron los siguientes resultados:

- Tiempo de riego: 23 minutos.
- El mayor radio es de 24 cm y se encuentra a 10 cm debajo de la superficie.
- La profundidad que alcanza el bulbo es de 28 cm

4.2.2.2 Forma y dimensión del bulbo húmedo del tratamiento RP2

Como resultado del procesamiento de los datos del tratamiento RP2 (Tabla 20), que ha permitido delinear en contorno del bulbo húmedo (Figura 26), se tiene lo siguiente:

Tabla 20: Dimensiones medias del radio horizontal y profundidad (cm) del bulbo húmedo del tratamiento RP2 en Tuberización.

FILA: C					
TRATAMIENTO: RP2					
Izquierdo (cm)			Derecho (cm)		
-X (Radio)	Y (Profundidad)	X (Radio)	-X (Radio)	Y (Profundidad)	X (Radio)
-12	0	14	-14	0	17.5
-15	-5	15	-16.5	-5	18
-17	-10	17.5	-16	-10	19
-14	-15	15	-14	-15	15
-10	-20	12	-10	-20	12
-6	-25	8	-4	-25	4
-2	-28	2	0	-26	0
0	-28	0			

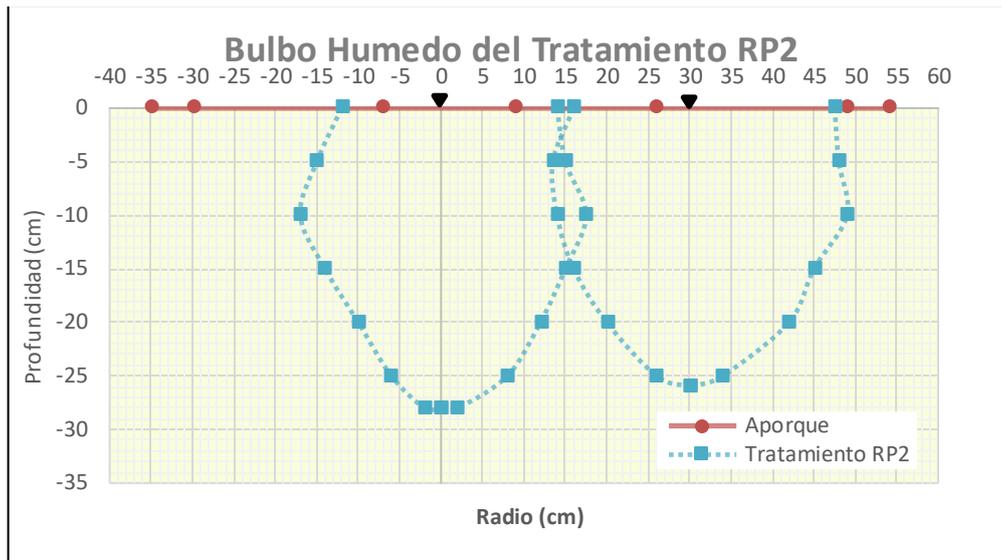


Figura 26: Forma y dimensión del bulbo húmedo del tratamiento RP2 en Tuberización.

Se observa que la forma predominante de cada bulbo húmedo es el de un elipsoide truncado, donde el plano de corte es la superficie de la corona de aporque.

En este tratamiento que tiene una disposición lineal, el plano de corte fue longitudinal al tendido de las mangueras, donde se ve que los emisores están separados 30 cm, además se muestra que las dimensiones de los radios horizontales y la profundidad del bulbo húmedo del lado izquierdo como la del lado derecho son similares. Esto debido a que se regó con un riego normal todos los goteros.

También se observó en la Tabla 20, que las dimensiones mayores de los radios del bulbo húmedo se encuentran entre 5 cm y 10 cm, por debajo de la superficie de la corona de aporque.

Las pruebas de campo, de acuerdo con el tiempo de aplicación de riego para un gotero katiff 2.3 L/hr, dieron los siguientes resultados:

En el bulbo húmedo del lado izquierdo:

- Tiempo de riego: 23 minutos.
- El mayor radio es de 17.5 cm y se encuentra a 10 cm debajo de la superficie.
- La profundidad que alcanza el bulbo es de 28 cm

En el bulbo húmedo del lado derecho:

- Tiempo de riego: 23 minutos.
- El mayor radio es de 19 cm y se encuentra a 10 cm debajo de la superficie.
- La profundidad que alcanza el bulbo es de 26 cm

4.2.2.3 Forma y dimensión del bulbo húmedo del tratamiento RP

De acuerdo con los resultados del procesamiento de datos que se muestra en la Tabla 21, se delineó el contorno del bulbo húmedo de los mismos. Donde se muestra cada bulbo con una forma con tendencia a ser un elipsoide cortado en la parte superior de la corona y en el talud del aporque, y superpuesto parcialmente. Donde el plano de corte es la superficie de la corona de aporque. Como se ve en la Figura 27.

Tabla 21: Dimensiones medias del radio horizontal y profundidad (cm) del bulbo húmedo del tratamiento RP en Tuberización.

FILA: C					
TRATAMIENTO: RP					
Izquierdo (cm)			Derecho (cm)		
-X (Radio)	Y (Profundidad)	X (Radio)	-X (Radio)	Y (Profundidad)	X (Radio)
-7	0	10	-10	0	6
-11.5	-5	12	-11	-5	10.5
-16	-10	14	-12	-10	15
-15	-15	12	-10	-15	16
-12	-20	8	-8	-20	14
-8	-25	6	-6	-25	10
-4	-28	2	-3	-28	2
0	-28	0	0	-28	0

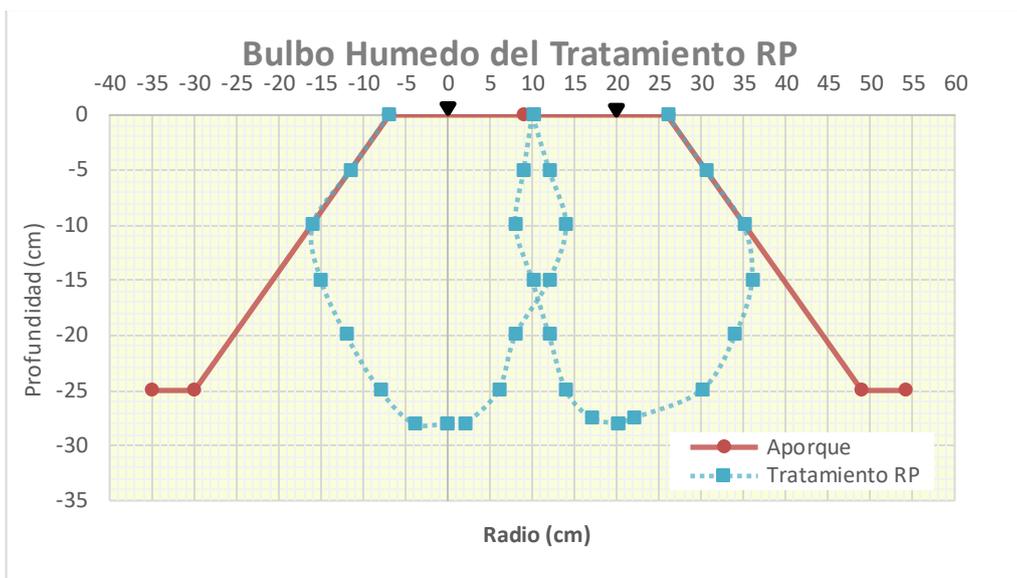


Figura 27: Forma y dimensión del bulbo húmedo del tratamiento RP en Tuberización.

En este tratamiento que tiene una disposición paralela, el plano de corte fue transversal al tendido de las mangueras paralelas, donde se ve que los emisores están separados 20 cm; además se muestra que las dimensiones de los radios horizontales y la profundidad del bulbo húmedo del lado izquierdo y derecho son similares. Esto debido al riego normal (100 por ciento del ETo) que se aplicó.

Las mediciones de las dimensiones horizontales y la profundidad de avance del frente húmedo del bulbo izquierdo como derecho, generado uno por cada emisor, se realizaron teniendo como eje y centro de inicio la proyección vertical del punto de emisión de cada gotero ubicadas a 7 cm del borde la corona.

La superposición se determinó con el porcentaje de humedad ensayado en la parte central del aporque, el cual se obtuvo un valor de 18.7 por ciento, un valor mayor al 18 por ciento a capacidad de campo.

En este tratamiento se observó las limitaciones del desarrollo de la forma y dimensión del bulbo analizado en sección transversal del aporque. En los primeros centímetros de profundidad; por un lado, del eje hay limitación de la dimensión horizontal por la superficie del talud. Por otro al interior del aporque, el desarrollo del frente de humedad de acuerdo con el avance en profundidad, fue cambiando en magnitud horizontal hacia el lado del otro talud.

Las pruebas de campo, de acuerdo con el tiempo de aplicación de riego para un gotero katiff 2.3 L/hr, dieron los siguientes resultados:

En el bulbo húmedo del lado izquierdo:

- Tiempo de riego: 12 minutos.
- El mayor radio es de 16 cm y se encuentra a 10 cm debajo de la superficie de la corona.
- La profundidad que alcanza el bulbo es de 28 cm

En el bulbo húmedo del lado derecho:

- Tiempo de riego: 12 minutos.
- El mayor radio es de 16 cm y se encuentra a 15 cm debajo de la superficie de la corona.
- La profundidad que alcanza el bulbo es de 28 cm

4.2.2.4 Forma y dimensión del bulbo húmedo del tratamiento RP1

De acuerdo con los resultados del procesamiento de datos que se muestra en la Tabla 22, se delineó el contorno del bulbo húmedo de los mismos. Donde se muestra cada bulbo con una forma con tendencia a ser un elipsoide cortado en la parte superior de la corona y en el talud del aporque, y superpuesto parcialmente. Donde el plano de corte es la superficie de la corona de aporque. Como se ve en la Figura 28.

Tabla 22: Dimensiones medias del radio horizontal y profundidad (cm) del bulbo húmedo del tratamiento RP1 en Tuberización.

FILA: C					
TRATAMIENTO: RP1					
Izquierdo (cm)			Derecho (cm)		
-X (Radio)	Y (Profundidad)	X (Radio)	-X (Radio)	Y (Profundidad)	X (Radio)
-7	0	12	-10	0	6
-11.5	-5	13	-11	-5	11
-15	-10	14	-12	-10	15
-16	-15	11	-10	-15	16
-12	-20	8	-8	-20	14
-6	-25	6	-7.5	-25	10
-2	-27	3	-3	-28	4
0	-28	0	0	-28	0

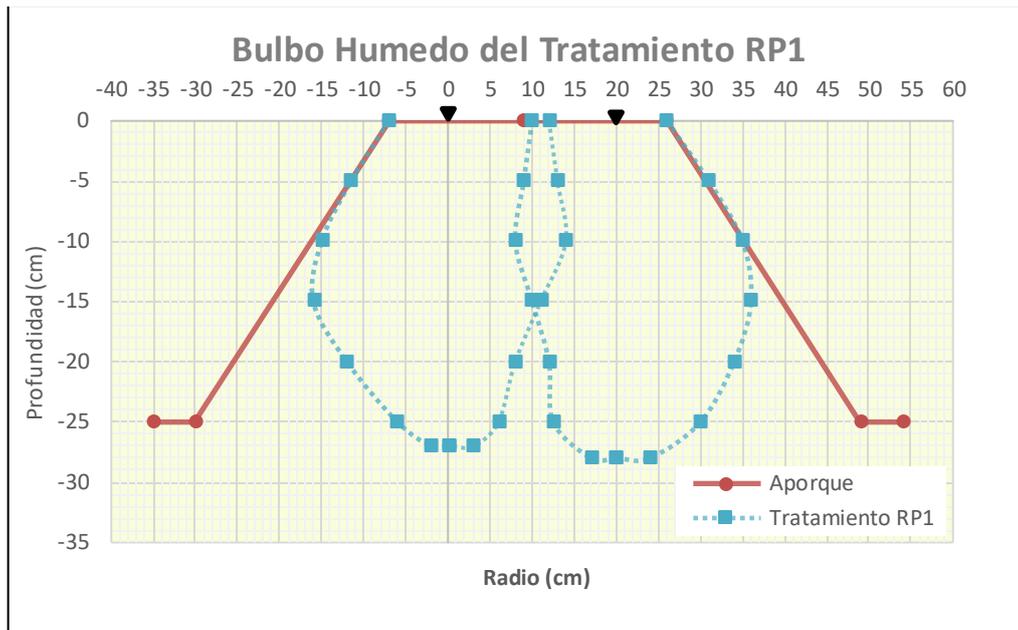


Figura 28: Forma y dimensión del bulbo húmedo del tratamiento RP1 en Tuberización.

En este tratamiento que tiene una disposición paralela, el plano de corte fue transversal al tendido de las mangueras paralelas, donde se ve que los emisores están separados 20 cm; además se muestra que las dimensiones de los radios horizontales y la profundidad del bulbo húmedo del lado izquierdo y derecho son similares. Esto debido al riego normal (100 por ciento del ETo) que se aplicó.

Las mediciones de las dimensiones horizontales y la profundidad de avance del frente húmedo del bulbo izquierdo como derecho, generado uno por cada emisor, se realizaron teniendo como eje y centro de inicio la proyección vertical del punto de emisión de cada gotero ubicadas a 7 cm del borde la corona.

La superposición se determinó con el porcentaje de humedad ensayado en la parte central del aporque, el cual se obtuvo un valor de 19.2 por ciento, un valor mayor al 18 por ciento a capacidad de campo.

En este tratamiento se observó las limitaciones del desarrollo de la forma y dimensión del bulbo analizado en sección transversal del aporque. En los primeros centímetros de profundidad; por un lado del eje hay limitación de la dimensión horizontal por la superficie del talud. Por otro al interior del aporque, el desarrollo del frente de humedad de acuerdo

con el avance en profundidad, fue cambiando en magnitud horizontal hacia el lado del otro talud.

Las pruebas de campo, de acuerdo con el tiempo de aplicación de riego para un gotero katiff 2.3 L/hr, dieron los siguientes resultados:

En el bulbo húmedo del lado izquierdo:

- Tiempo de riego: 12 minutos.
- El mayo radio es de 16 cm y se encuentra a 15 cm debajo de la superficie de la corona.
- La profundidad que alcanza el bulbo es de 28 cm

En el bulbo húmedo del lado derecho:

- Tiempo de riego: 12 minutos.
- El mayo radio es de 16 cm y se encuentra a 15 cm debajo de la superficie de la corona.
- La profundidad que alcanza el bulbo es de 28 cm

4.2.3 Análisis de varianza de las dimensiones medias de los radios del bulbo húmedo

Para determinar estadísticamente si los radios de los tratamientos ensayados nos arrojan valores diferentes o iguales, se realizó el análisis de varianza.

El análisis de varianza (ANVA) de los radios medios del bulbo húmedo (los resultados de los radios por cada tratamiento y con sus respectivas replicas se muestran en el Anexo 12) obtenidos con el programa Minitab 18, se muestra en la Tabla 23.

Tabla 23: Análisis de varianza de las dimensiones medias de los radios del bulbo húmedo en el periodo de Tuberización.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Disposición Emisor (Factor A)	1	7.7501	7.7501	7.6	0.014
Tipo Riego (Factor B)	1	0.2856	0.2856	0.28	0.604
Disposición Emisor*Tipo Riego	1	0.1361	0.1361	0.13	0.72
Error	16	16.3122	1.0195		
Total	19	24.4841			

De la Tabla 23, se observa primero que no existe efecto de interacción estadísticamente significativa entre los factores de Disposición Emisor y Tipo Riego, ya que el Valor p (0.72)

es mayor al nivel de significación (0.1). Esto quiere decir que al combinar los niveles de los factores nos daría resultados de radios iguales o similares que utilizando los niveles de los factores por separado.

También se ve que no existe efecto de los niveles del factor B (Tipo de Riego) estadísticamente significativa, ya que el Valor p (0.604) es mayor al nivel de significación (0.1). Esto debido a que los dos niveles para este factor en este periodo vegetativo fueron iguales (Riego normal, 100 por ciento del ETo).

En cambio, en el factor A (Disposición de Emisor), si existe efecto de los niveles del factor estadísticamente significativa, ya que el Valor p (0.014) es menor al nivel de significación (0.1). Esto debido a que en este periodo vegetativo se realizó el aporque (como se ve en la Figura 9) en todos los tratamientos del cultivo; ocasionando que en los emisores paralelos éstos se acomodaran al talud del aporque (debido a que los emisores estaban a 7 cm del filo de la base menor del aporque), mientras que en los emisores lineales seguían el curso de su formación del bulbo húmedo (debido a que el emisor estaba al centro de la base menor del aporque). Entonces quiere decir que si queremos obtener radios medios mayores es importante ver la disposición del emisor, como se ve en la Figura 29.

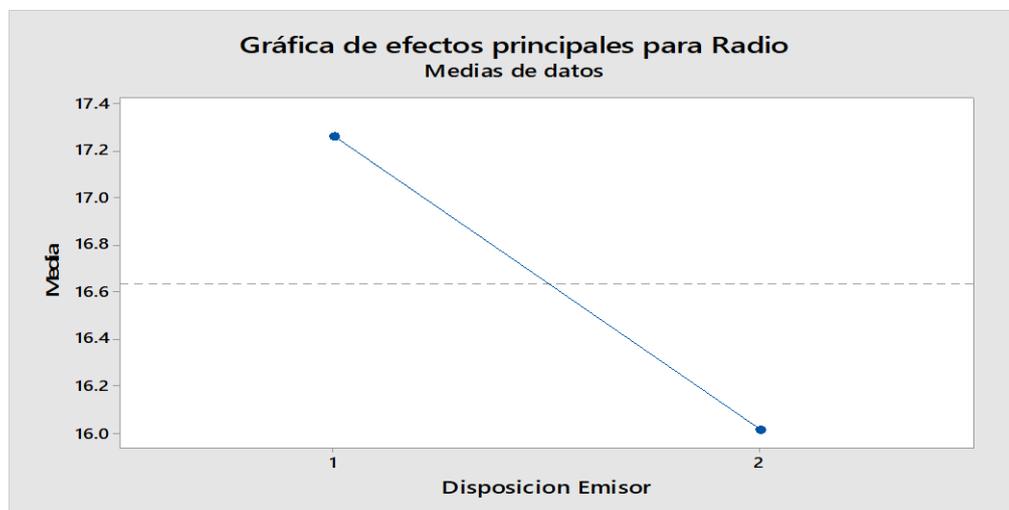


Figura 29: Grafico de efectos principales para radio del factor A (Disposición de Emisor) en Tuberización.

Entonces como se ve en la Figura 29, si queremos obtener radios mayores se tendría que escoger el nivel 1 (Disposición de Emisor Lineal) con un valor de 17.26 cm, con respecto al nivel 2 (Disposición de Emisor Paralelo) con un valor de 16.01 cm.

Como se ve en la Figura 30, el error tiende a una distribución normal, ya que el Valor p (0.618) es mayor al nivel de significación (0.1), por lo tanto, se valida las hipótesis aceptadas anteriormente estadísticamente, con un coeficiente de variabilidad (C.V) de 6.07 por ciento.

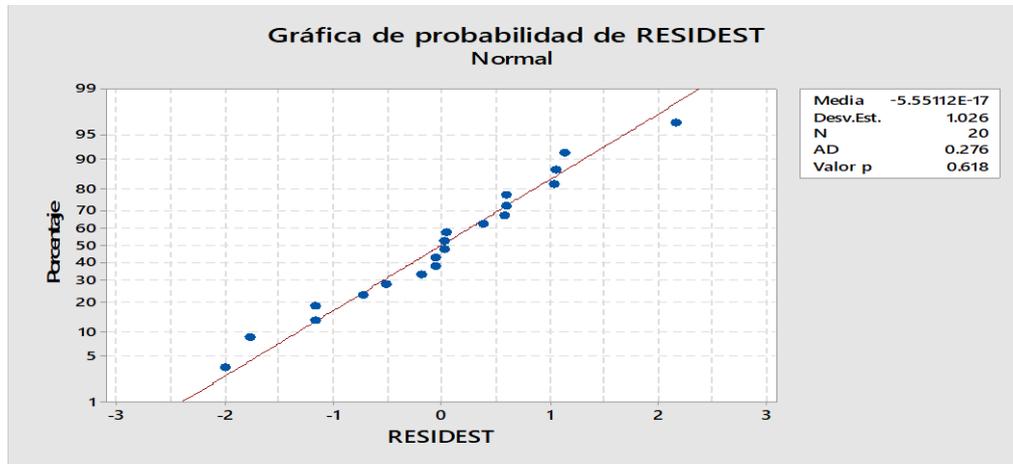


Figura 30: Grafico de normalidad de error de residuos estandarizados del radio medio en Tuberización.

4.2.4 Análisis de varianza de las dimensiones medias de las profundidades del bulbo húmedo.

Para determinar estadísticamente si las profundidades de los tratamientos ensayados nos arrojan valores diferentes o iguales, se realizó el análisis de varianza.

Según el análisis de varianza (ANVA) de la profundidad media del bulbo húmedo que se muestra en la Tabla 24.

Tabla 24: Análisis de varianza de las dimensiones medias de las profundidades del bulbo húmedo (cm) en Tuberización.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Disposición Emisor (Factor A)	1	0.45	0.45	0.26	0.62
Tipo Riego (Factor B)	1	0.45	0.45	0.26	0.62
Disposición Emisor*Tipo Riego	1	0.2	0.2	0.11	0.741
Error	16	28.2	1.7625		
Total	19	29.3			

Se observa primero que no existe efecto de interacción estadísticamente significativa entre los niveles de los factores de Disposición Emisor y Tipo Riego, ya que el Valor p (0.741) es

mayor al nivel de significación (0.1). Esto quiere decir que al combinar los niveles de los factores nos daría resultados de profundidades iguales o similares que utilizando los niveles de los factores por separado.

También se ve que no existe efecto de los niveles del factor A (Disposición de emisor) estadísticamente significativa, ya que el Valor p (0.62) es mayor al nivel de significación (0.1). Esto quiere decir que al utilizar tanto la disposición paralela o lineal nos da las mismas profundidades medias.

Lo mismo, en el factor B (Tipo de Riego), se ve que no existe efecto de los niveles del factor estadísticamente significativo, ya que el Valor p (0.62) es mayor al nivel de significación (0.1). Esto debido a que es el mismo riego en los niveles del factor B; por lo tanto, nos da como resultado profundidades medias iguales estadísticamente.

Finalmente, como se ve en la Figura 31, el error tiende a una distribución normal, ya que el Valor p (0.794) es mayor al nivel de significación (0.1); por lo tanto, se valida las hipótesis aceptadas anteriormente estadísticamente, con un coeficiente de variabilidad (C.V) de 4.85 por ciento.

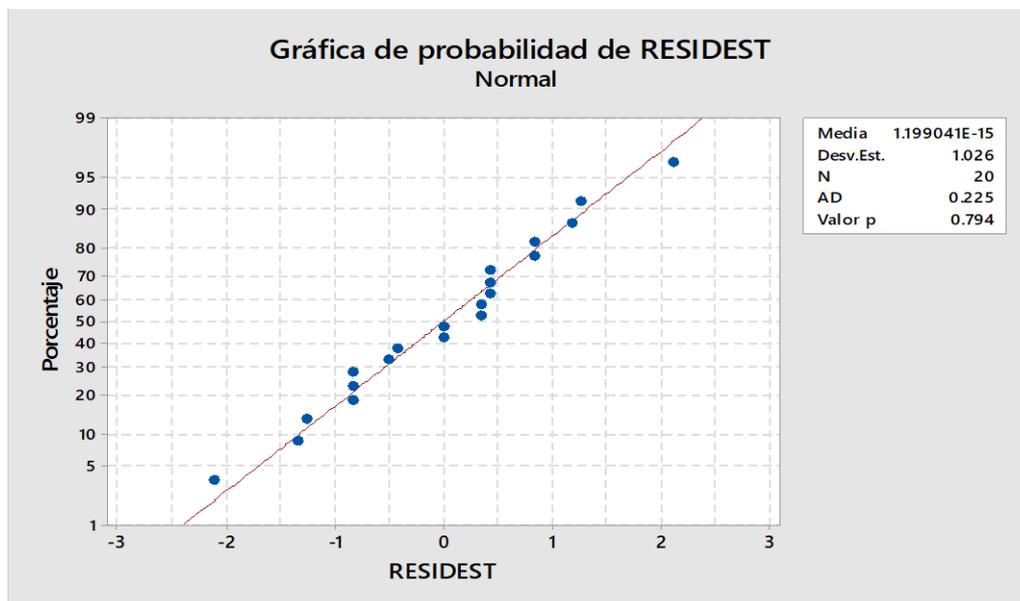


Figura 31: Grafico de normalidad de error de residuos estandarizados de la profundidad en Tuberización.

4.3 PERIODO DE DESARROLLO

En este periodo también se aplicó un riego normal (100 por ciento del ETo) en todos los tratamientos del experimento, dado que esta etapa es otra de las etapas críticas del cultivo (papa variedad única) ya que, si no se les suministra el agua requerido durante este periodo, este afectaría a la producción.

El riego normal en todos los tratamientos del experimento ocasiona que el tratamiento T sea igual al RP2 y el tratamiento RP sea igual al RP1. Por lo que sería igual analizar solo dos de estos tratamientos (T y RP, o RP1 y RP2), que analizar los cuatro.

4.3.1 Coeficiente de uniformidad de los tratamientos

Los coeficientes de uniformidad de riego obtenidos previos a la aplicación del riego para la evaluación del bulbo húmedo, se presenta en la Tabla 25.

Tabla 25: Valores de coeficientes de uniformidad del riego en Desarrollo.

TRATAMIENTO	RP2	T	RP	RP1
CU (%)	86.77%	92.57%	91.42%	86.23%

Los valores obtenidos en este periodo son mayores a 86 por ciento, por lo que se ve que el sistema riega o moja las parcelas experimentales de forma uniforme, según Mendoza (2013).

4.3.2 Forma y dimensión del bulbo húmedo

4.3.2.1 Forma y dimensión del bulbo húmedo del tratamiento T

Según el resultado del procesamiento de datos de la Tabla 26, la forma y dimensión del bulbo húmedo proveniente de la descarga del emisor ubicado en la parte central de la corona del aporque, es el de un elipsoide truncado (como se muestra en la Figura 32), donde el plano de corte es la superficie de la corona de aporque. Estas características fueron observadas y reportadas por Peña y Brown (2000), pero no precisamente en una estructura de aporque.

Tabla 26: Dimensiones medias del radio horizontal y profundidad (cm) del bulbo húmedo del tratamiento T en Desarrollo.

FILA:		E
TRATAMIENTO:		T
I (cm)		
-X (Radio)	Y (Profundidad)	X (Radio)
-14	0	13
-19	-5	20
-22	-10	23
-18	-15	18
-15	-20	14
-10	-25	9
-2	-28	2
0	-28	0

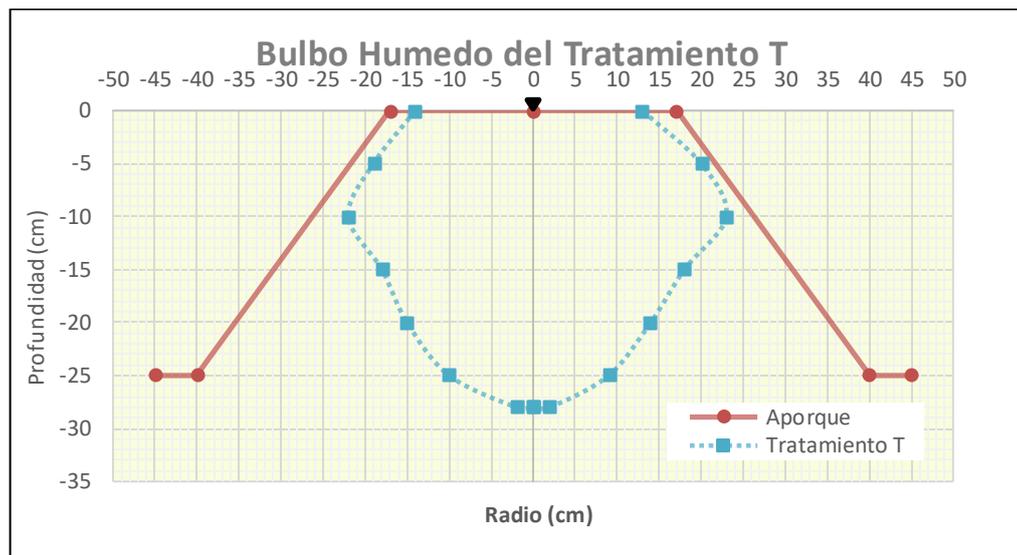


Figura 32: Forma y dimensión del bulbo húmedo del tratamiento T en Desarrollo.

Las dimensiones de radios y profundidades medias del bulbo del tratamiento T se muestran en la Tabla 26, donde los valores mayores de los radios, de acuerdo con las evaluaciones se ubican de 5 a 10 cm, por debajo de la superficie de la corona de aporque.

Las pruebas de campo, de acuerdo con el tiempo de aplicación de riego para un gotero katiff 2.3 L/hr, dieron los siguientes resultados:

- Tiempo de riego: 53 minutos.
- El mayor radio es de 23 cm y se encuentra a 10 cm debajo de la superficie.

- La profundidad que alcanza el bulbo es de 28 cm

4.3.2.2 Forma y dimensión del bulbo húmedo del tratamiento RP2

Como resultado del procesamiento de los datos del tratamiento RP2 (Tabla 27), que ha permitido delinear en contorno del bulbo húmedo (Figura 33), se tiene lo siguiente:

Tabla 27: Dimensiones medias del radio horizontal y profundidad (cm) del bulbo húmedo del tratamiento RP2 en Desarrollo.

FILA: E					
TRATAMIENTO: RP2					
Izquierdo (cm)			Derecho (cm)		
-X (Radio)	Y (Profundidad)	X (Radio)	-X (Radio)	Y (Profundidad)	X (Radio)
-10	0	10	-14	0	15
-19	-5	17	-16.5	-5	18
-20	-10	19	-16	-10	19
-16	-15	16.5	-14	-15	16
-14	-20	15	-12	-20	12
-13	-25	13	-8	-25	8
-8	-30	7	-2	-28	2
0	-31	0	0	-28	0

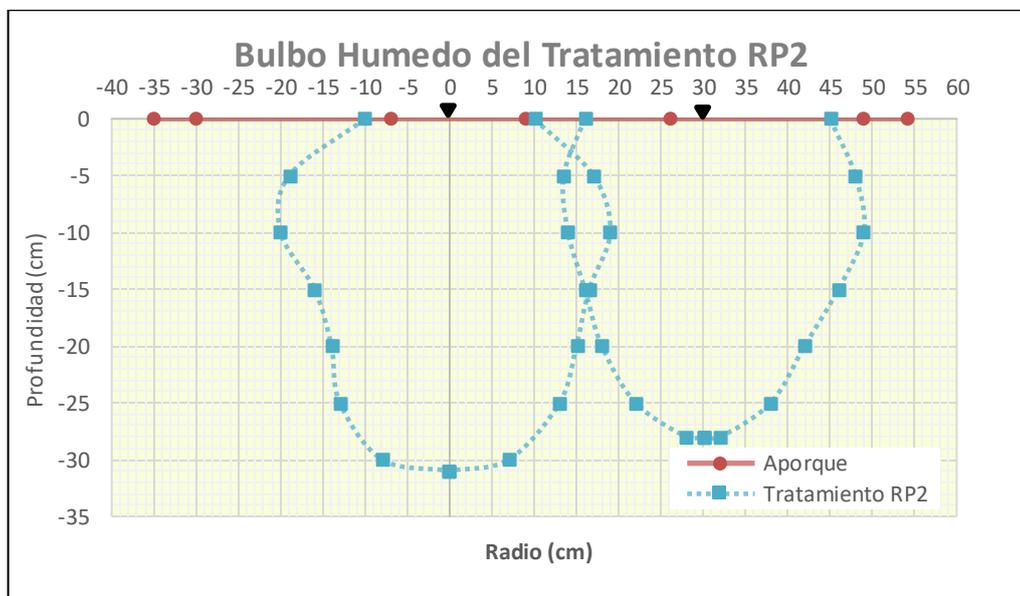


Figura 33: Forma y dimensión del bulbo húmedo del tratamiento RP2 en Desarrollo.

Se observa que la forma predominante de cada bulbo húmedo es el de un elipsoide truncado, donde el plano de corte es la superficie de la corona de aporque.

En este tratamiento que tiene una disposición lineal, el plano de corte fue longitudinal al tendido de las mangueras, donde se ve que los emisores están separados 30 cm, además se muestra que las dimensiones de los radios horizontales y la profundidad del bulbo húmedo del lado izquierdo como la del lado derecho son similares. Esto debido a que se riega con un riego normal todos los goteros.

También se observó en la Tabla 27, que las dimensiones mayores de los radios del bulbo húmedo se encuentran entre 5 cm y 10 cm, por debajo de la superficie de la corona de aporque.

Las pruebas de campo, de acuerdo con el tiempo de aplicación de riego para un gotero katiff 2.3 L/hr, dieron los siguientes resultados:

En el bulbo húmedo del lado izquierdo:

- Tiempo de riego: 53 minutos.
- El mayor radio es de 20 cm y se encuentra a 10 cm debajo de la superficie.
- La profundidad que alcanza el bulbo es de 30 cm

En el bulbo húmedo del lado derecho:

- Tiempo de riego: 53 minutos.
- El mayor radio es de 19 cm y se encuentra a 10 cm debajo de la superficie.
- La profundidad que alcanza el bulbo es de 28 cm

4.3.2.3 Forma y dimensión del bulbo húmedo del tratamiento RP

De acuerdo con los resultados del procesamiento de datos que se muestra en la Tabla 28, se delineó el contorno del bulbo húmedo de los mismos. Donde se muestra cada bulbo con una forma con tendencia a ser un elipsoide cortado en la parte superior de la corona y en el talud del aporque, y superpuesto parcialmente. Donde el plano de corte es la superficie de la corona de aporque. Como se ve en la Figura 34.

Tabla 28: Dimensiones medias del radio horizontal y profundidad (cm) del bulbo húmedo del tratamiento RP en Desarrollo.

FILA: E					
TRATAMIENTO: RP					
Izquierdo (cm)			Derecho (cm)		
-X (Radio)	Y (Profundidad)	X (Radio)	-X (Radio)	Y (Profundidad)	X (Radio)
-7	0	13	-12	0	6
-12	-5	13	-14	-5	11
-16	-10	15	-16	-10	13
-15	-15	13	-13	-15	10
-10	-20	10	-9	-20	8
-5	-25	5	-6	-25	5
-2	-28	2	-2	-28	2
0	-28	0	0	-28	0

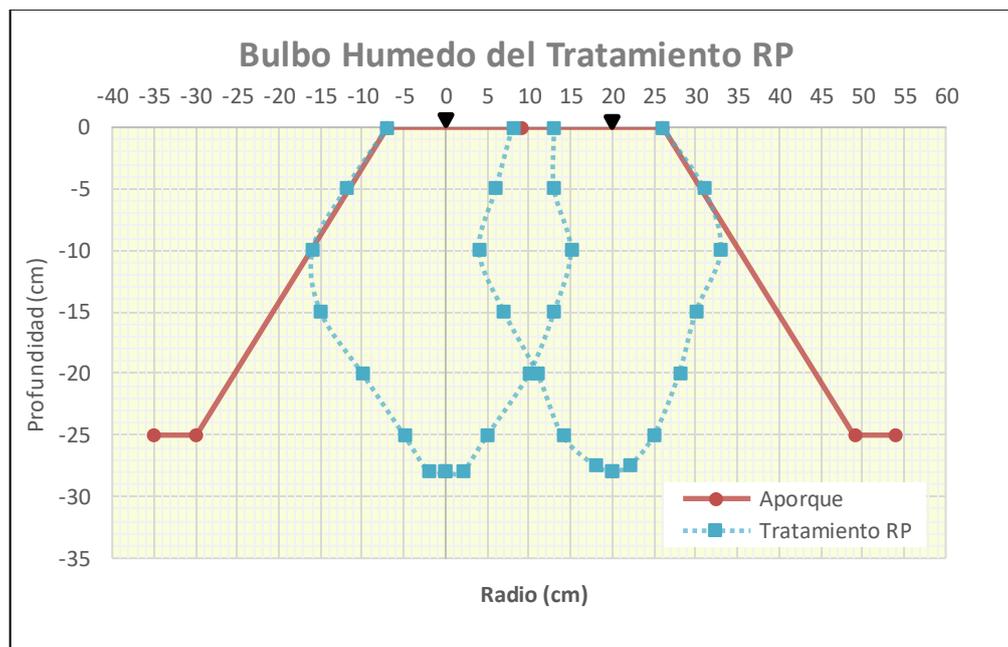


Figura 34: Forma y dimensión del bulbo húmedo del tratamiento RP en Desarrollo.

En este tratamiento que tiene una disposición paralela, el plano de corte fue transversal al tendido de las mangueras paralelas, donde se ve que los emisores están separados 20 cm; además se muestra que las dimensiones de los radios horizontales y la profundidad del bulbo húmedo del lado izquierdo y derecho son similares. Esto debido al riego normal (100 por ciento del ETo) que se aplicó.

Las mediciones de las dimensiones horizontales y la profundidad de avance del frente húmedo del bulbo izquierdo como derecho, generado uno por cada emisor, se realizaron teniendo como eje y centro de inicio la proyección vertical del punto de emisión de cada gotero ubicadas a 7 cm del borde la corona.

La superposición se determinó con el porcentaje de humedad ensayado en la parte central del aporque, el cual se obtuvo un valor de 20.15 por ciento, un valor mayor al 18 por ciento a capacidad de campo.

En este tratamiento se observó las limitaciones del desarrollo de la forma y dimensión del bulbo analizado en sección transversal del aporque. En los primeros centímetros de profundidad; por un lado, del eje hay limitación de la dimensión horizontal por la superficie del talud. Por otro al interior del aporque, el desarrollo del frente de humedad de acuerdo con el avance en profundidad, fue cambiando en magnitud horizontal hacia el lado del otro talud.

Las pruebas de campo, de acuerdo con el tiempo de aplicación de riego para un gotero katiff 2.3 L/hr, dieron los siguientes resultados:

En el bulbo húmedo del lado izquierdo:

- Tiempo de riego: 27 minutos.
- El mayor radio es de 16 cm y se encuentra a 10 cm debajo de la superficie de la corona.
- La profundidad que alcanza el bulbo es de 28 cm

En el bulbo húmedo del lado derecho:

- Tiempo de riego: 27 minutos.
- El mayor radio es de 16 cm y se encuentra a 10 cm debajo de la superficie de la corona.
- La profundidad que alcanza el bulbo es de 28 cm

4.3.2.4 Forma y dimensión del bulbo húmedo del tratamiento RP1

De acuerdo con los resultados del procesamiento de datos que se muestra en la Tabla 29, se delineo el contorno del bulbo húmedo de los mismos. Donde se muestra cada bulbo con una forma con tendencia a ser un elipsoide cortado en la parte superior de la corona y en el talud del aporque, y superpuesto parcialmente. Donde el plano de corte es la superficie de la corona de aporque. Como se ve en la Figura 35.

Tabla 29: Dimensiones medias del radio horizontal y profundidad (cm) del bulbo húmedo del tratamiento RP1 en Desarrollo.

FILA: E					
TRATAMIENTO: RP1					
Izquierdo (cm)			Derecho (cm)		
-X (Radio)	Y (Profundidad)	X (Radio)	-X (Radio)	Y (Profundidad)	X (Radio)
-7	0	9	-11	0	6
-12	-5	10	-13	-5	11
-16	-10	12	-14	-10	15
-16	-15	10	-12	-15	12
-13	-20	9	-10	-20	10
-8	-25	9	-8	-25	8
-3	-30	3	-4	-30	4
0	-30	0	0	-30	0

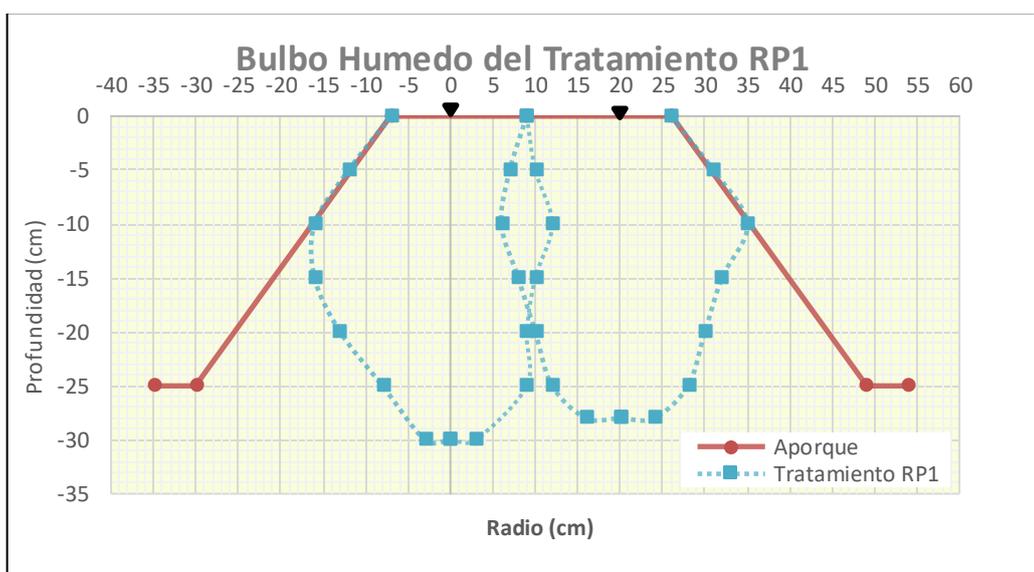


Figura 35: Forma y dimensión del bulbo húmedo del tratamiento RP1 en Desarrollo.

En este tratamiento que tiene una disposición paralela, el plano de corte fue transversal al tendido de las mangueras paralelas, donde se ve que los emisores están separados 20 cm; además se muestra que las dimensiones de los radios horizontales y la profundidad del bulbo húmedo del lado izquierdo y derecho son similares. Esto debido al riego normal (100 por ciento del ETo) que se aplicó.

Las mediciones de las dimensiones horizontales y la profundidad de avance del frente húmedo del bulbo izquierdo como derecho, generado uno por cada emisor, se realizaron teniendo como eje y centro de inicio la proyección vertical del punto de emisión de cada gotero ubicadas a 7 cm del borde la corona.

En este tratamiento se observó las limitaciones del desarrollo de la forma y dimensión del bulbo analizado en sección transversal del aporque. En los primeros centímetros de profundidad; por un lado, del eje hay limitación de la dimensión horizontal por la superficie del talud. Por otro al interior del aporque, el desarrollo del frente de humedad de acuerdo con el avance en profundidad, fue cambiando en magnitud horizontal hacia el lado del otro talud.

Las pruebas de campo, de acuerdo con el tiempo de aplicación de riego para un gotero katiff 2.3 L/hr, dieron los siguientes resultados:

En el bulbo húmedo del lado izquierdo:

- Tiempo de riego: 27 minutos.
- El mayor radio es de 16 cm y se encuentra a 15 cm debajo de la superficie de la corona.
- La profundidad que alcanza el bulbo es de 30 cm

En el bulbo húmedo del lado derecho:

- Tiempo de riego: 27 minutos.
- El mayor radio es de 15 cm y se encuentra a 10 cm debajo de la superficie de la corona.

La profundidad que alcanza el bulbo es de 30 cm

4.3.3 Análisis de varianza de las dimensiones medias de los radios del bulbo húmedo

El análisis de varianza (ANVA) de los radios medios del bulbo húmedo (los resultados de los radios por cada tratamiento y con sus respectivas replicas se muestran en el Anexo 13) obtenidos con el programa Minitab 18, se muestra en la Tabla 30.

Tabla 30: Análisis de varianza de las dimensiones medias de los radios del bulbo húmedo en el periodo de Desarrollo.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Disposición Emisor (Factor A)	1	30.8264	30.8264	29.27	0.002
Tipo Riego (Factor B)	1	0.0432	0.0432	0.04	0.842
Disposición Emisor*Tipo Riego	1	0.7334	0.7334	0.7	0.416
Error	16	16.8495	1.0531		
Total	19	48.4527			

De la Tabla 30, se observa primero que no existe efecto de interacción estadísticamente significativa entre los factores de Disposición Emisor y Tipo Riego, ya que el Valor p (0.416) es mayor al nivel de significación (0.1). Esto quiere decir que al combinar los niveles de los factores nos daría resultados de radios iguales o similares que utilizando los niveles de los factores por separado.

También se ve que no existe efecto de los niveles del factor B (Tipo de Riego) estadísticamente significativa, ya que el Valor p (0.842) es mayor al nivel de significación (0.1). Esto debido a que los dos niveles para este factor en este periodo vegetativo fueron iguales (Riego normal, 100 por ciento del ETo).

En cambio, en el factor A (Disposición de Emisor), si existe efecto de los niveles del factor estadísticamente significativo, ya que el Valor p (0.002) es menor al nivel de significación (0.1). Esto debido a que en este periodo vegetativo ya estaba el aporque (como se ve en la figura 9) en todos los tratamientos del cultivo; ocasionando que en los emisores paralelos estén se acomodaran al talud del aporque (debido a que los emisores estaban a 7 cm del filo de la base menor del aporque), mientras que en los emisores lineales seguían el curso de su formación del bulbo húmedo (debido a que el emisor estaba al centro de la base menor del aporque). Entonces quiere decir que si queremos obtener radios medios mayores es importante ver la disposición del emisor, como se ve en la Figura 36.

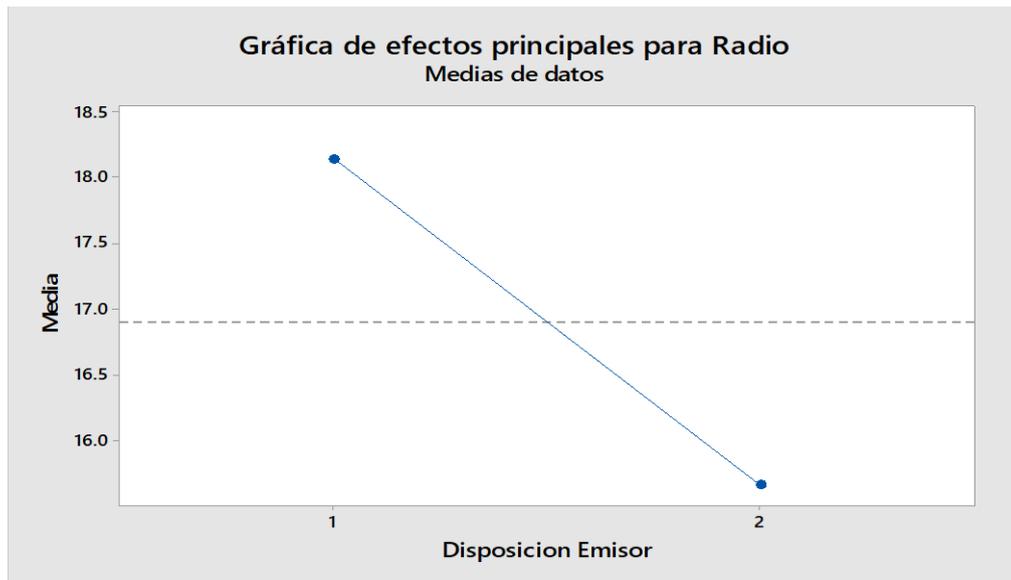


Figura 36: Grafico de efectos principales para radio del factor A (Disposición de Emisor) en Desarrollo.

Entonces como se ve en la Figura 36, si queremos obtener radios mayores se tendría que escoger el nivel 1 (Disposición de Emisor Lineal) con un valor de 18.14 cm, con respecto al nivel 2 (Disposición de Emisor Paralelo) con un valor de 15.65 cm.

Como se ve en la Figura 37, el error tiende a una distribución normal, ya que el Valor p (0.365) es mayor al nivel de significación (0.1), por lo tanto, se valida las hipótesis aceptadas anteriormente estadísticamente, con un coeficiente de variabilidad (C.V) de 6.07 por ciento.

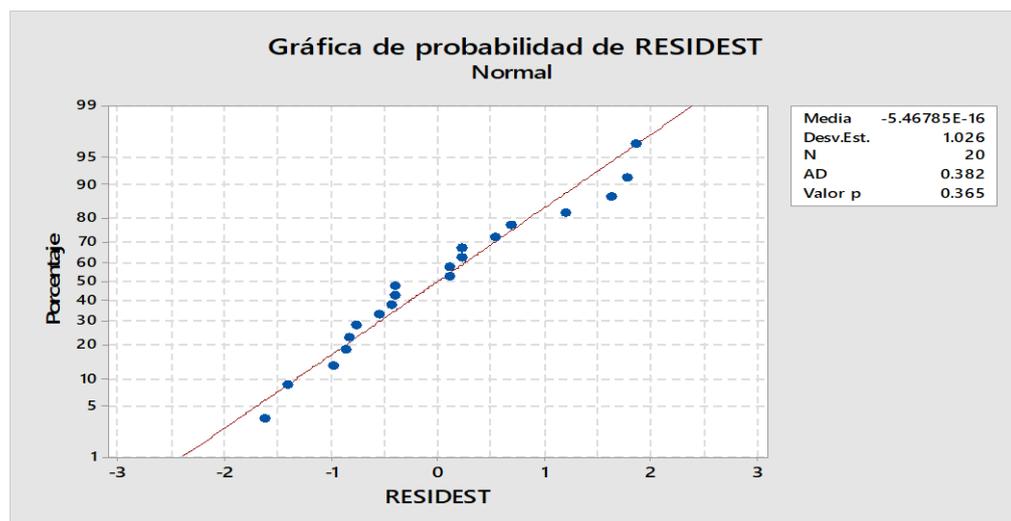


Figura 37: Grafico de normalidad de error de residuos estandarizados del radio medio en Desarrollo.

4.3.4 Análisis de varianza de las dimensiones medias de las profundidades del bulbo húmedo.

Según el análisis de varianza (ANVA) de la profundidad media del bulbo húmedo que se muestra en la Tabla 31.

Tabla 31: Análisis de varianza de las dimensiones medias de las profundidades del bulbo húmedo (cm) en Desarrollo.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Disposición Emisor (Factor A)	1	23.5445	23.5445	8.04	0.112
Tipo Riego (Factor B)	1	1.9845	1.9845	0.68	0.423
Disposición Emisor*Tipo Riego	1	0.1445	0.1445	0.05	0.827
Error	16	46.872	2.9295		
Total	19	72.5455			

Se observa primero que no existe efecto de interacción estadísticamente significativa entre los niveles de los factores de Disposición Emisor y Tipo Riego, ya que el Valor p (0.827) es mayor al nivel de significación (0.1). Esto quiere decir que al combinar los niveles de los factores nos daría resultados de profundidades iguales o similares que utilizando los niveles de los factores por separado.

También se ve que no existe efecto de los niveles del factor A (Disposición de emisor) estadísticamente significativa, ya que el Valor p (0.112) es mayor al nivel de significación (0.1). Esto quiere decir que al utilizar tanto la disposición paralela o lineal nos da las mismas profundidades medias, estadísticamente.

Lo mismo, en el factor B (Tipo de Riego), se ve que no existe efecto de los niveles del factor estadísticamente significativo, ya que el Valor p (0.423) es mayor al nivel de significación (0.1). Esto debido a que es el mismo riego en los niveles del factor B; por lo tanto, nos da como resultado profundidades medias iguales estadísticamente.

Finalmente, como se ve en la Figura 38, el error tiende a una distribución normal, ya que el Valor p (0.533) es mayor al nivel de significación (0.1); por lo tanto, se valida las hipótesis aceptadas anteriormente estadísticamente, con un coeficiente de variabilidad (C.V) de 5.92 por ciento.

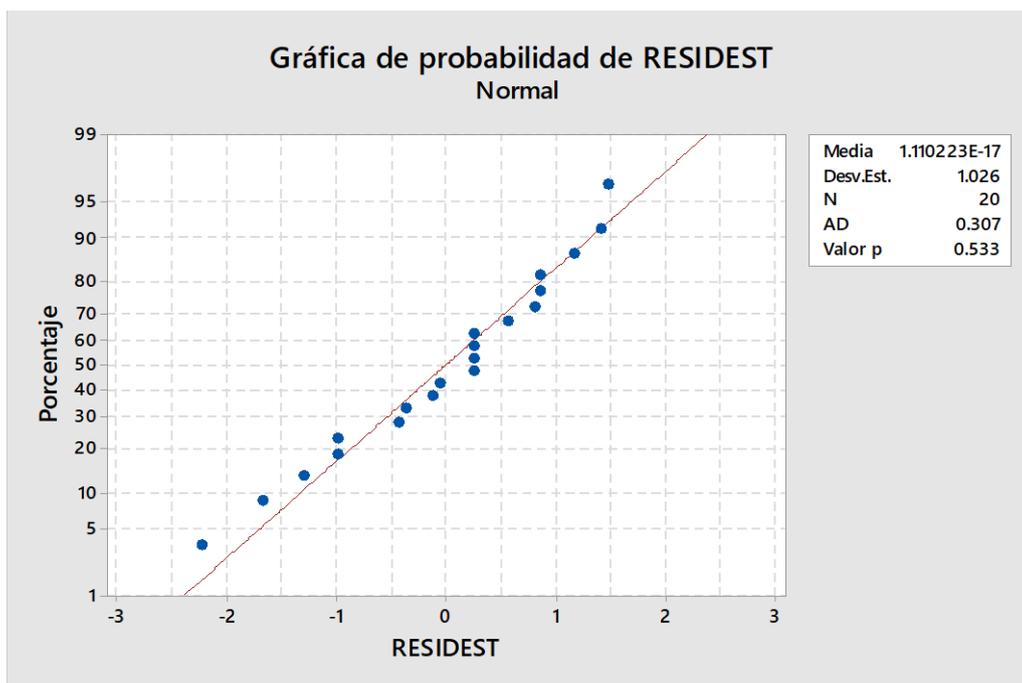


Figura 38: Grafico de normalidad de error de residuos estandarizados de la profundidad en Desarrollo.

4.4 PERIODO DE MADURACION

En este último periodo vegetativo se aplicó un riego PRD, por lo que los cuatro tratamientos estudiados son diferentes entre sí.

4.4.1 Coeficiente de uniformidad de los tratamientos

Los coeficientes de uniformidad de riego obtenidos previos a la aplicación del riego para la evaluación del bulbo húmedo, se presenta en la Tabla 32.

Tabla 32: Valores de coeficientes de uniformidad del riego en Maduración.

TRATAMIENTO	RP2	T	RP	RP1
CU (%)	89.11%	87.44%	88.28%	89.57%

Los valores obtenidos en este periodo son mayores a 86 por ciento, por lo que se ve que el sistema riega o moja las parcelas experimentales de forma uniforme, según Mendoza (2013).

4.4.2 Forma y dimensión del bulbo húmedo

4.4.2.1 Forma y dimensión del bulbo húmedo del tratamiento T

Según el resultado del procesamiento de datos de la Tabla 33, la forma y dimensión del bulbo húmedo proveniente de la descarga del emisor ubicado en la parte central de la corona del aporque, es el de un elipsoide truncado (como se muestra en la Figura 39), donde el plano de corte es la superficie de la corona de aporque. Estas características fueron observadas y reportadas por Peña y Brown (2000), pero no precisamente en una estructura de aporque.

Tabla 33: Dimensiones medias del radio horizontal y profundidad (cm) del bulbo húmedo del tratamiento T en Maduración.

FILA:		B
TRATAMIENTO:		T
I (cm)		
-X (Radio)	Y (Profundidad)	X (Radio)
-11	0	10
-14	-5	15
-16	-10	18
-14	-15	15
-10	-20	11
-6	-25	8
-2	-28	2
0	-28	0

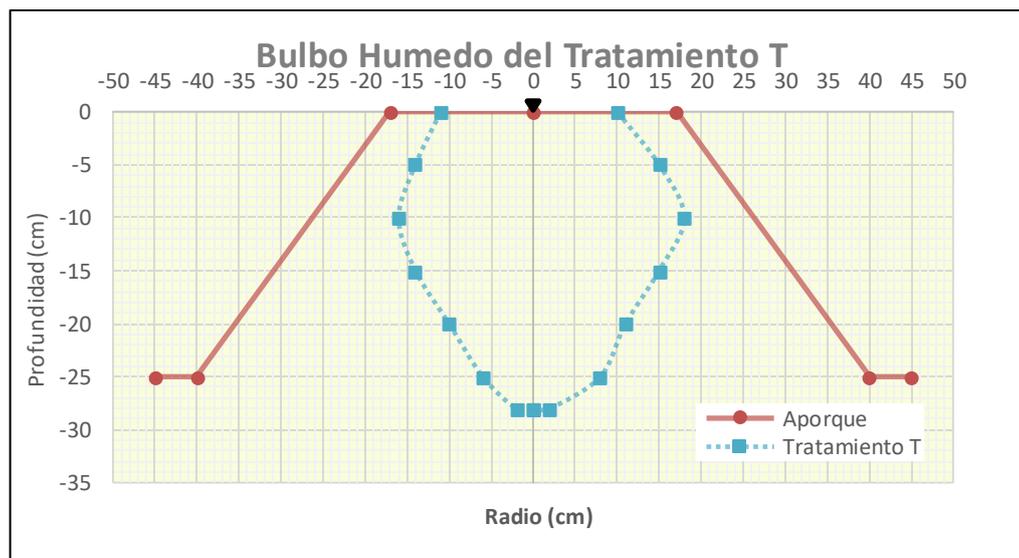


Figura 39: Forma y dimensión del bulbo húmedo del tratamiento T en Maduración.

Las dimensiones de radios y profundidades medios del bulbo del tratamiento T se muestran en la Tabla 33, donde los valores mayores de los radios, de acuerdo con las evaluaciones se ubican de 5 a 10 cm, por debajo de la superficie de la corona de aporque.

Las pruebas de campo, de acuerdo con el tiempo de aplicación de riego para un gotero katiff 2.3 L/hr, dieron los siguientes resultados:

- Tiempo de riego: 33 minutos.
- El mayor radio es de 18 cm y se encuentra a 10 cm debajo de la superficie.
- La profundidad que alcanza el bulbo es de 28 cm

4.4.2.2 Forma y dimensión del bulbo húmedo del tratamiento RP2

Como resultado del procesamiento de los datos del tratamiento RP2 (Tabla 34), que ha permitido delinear en contorno del bulbo húmedo (Figura 40), se tiene lo siguiente:

Tabla 34: Dimensiones medias del radio horizontal y profundidad (cm) del bulbo húmedo del tratamiento RP2 en Maduración.

FILA: B					
TRATAMIENTO: RP2					
Izquierdo (cm)			Derecho (cm)		
-X (Radio)	Y (Profundidad)	X (Radio)	-X (Radio)	Y (Profundidad)	X (Radio)
-14	0	12	-12	0	8
-16	-5	16	-14	-5	12
-18	-10	18	-15	-10	16
-14	-15	14	-14	-15	14
-12	-20	12	-7.5	-20	8
-8	-25	8	-2	-24	2
-2	-30	2	0	-24	0
0	-30	0			

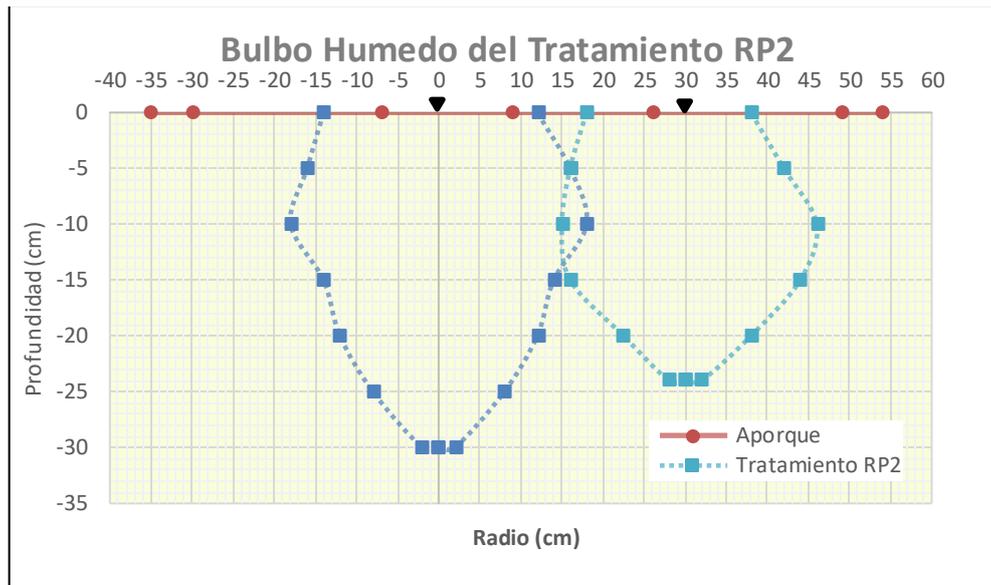


Figura 40: Forma y dimensión del bulbo húmedo del tratamiento RP2 en Maduración.

Se observa que la forma predominante de cada bulbo húmedo es el de un elipsoide truncado, donde el plano de corte es la superficie de la corona de aporque.

En este tratamiento que tiene una disposición lineal, el plano de corte fue longitudinal al tendido de las mangueras, donde se ve que los emisores están separados 30 cm, además se muestra que las dimensiones de los radios horizontales y la profundidad del bulbo húmedo del lado izquierdo son mayores al del lado derecho. Esto debido a que en el riego parcial de raíces el lado izquierdo se regó, mientras que el lado derecho no.

También se observó en la Tabla 34, que las dimensiones mayores de los diámetros del bulbo húmedo se encuentran entre 5 cm y 10 cm, por debajo de la superficie llana del terreno.

Las pruebas de campo, de acuerdo con el tiempo de aplicación de riego para un gotero katiff 2.3 L/hr, dieron los siguientes resultados:

En el bulbo húmedo del lado izquierdo:

- Tiempo de riego: 33 minutos.
- El mayor radio es de 18 cm y se encuentra a 10 cm debajo de la superficie.
- La profundidad que alcanza el bulbo es de 30 cm

En el bulbo húmedo del lado derecho:

- Tiempo de riego: no se rego.
- El mayor radio es de 16 cm y se encuentra a 10 cm debajo de la superficie.
- La profundidad que alcanza el bulbo es de 24 cm

4.4.2.3 Forma y dimensión del bulbo húmedo del tratamiento RP

De acuerdo con los resultados del procesamiento de datos que se muestra en la Tabla 35, se delineó el contorno del bulbo húmedo de los mismos. Donde se muestra cada bulbo con una forma con tendencia a ser un elipsoide cortado en la parte superior de la corona y en el talud del aporque, y superpuesto parcialmente. Donde el plano de corte es la superficie de la corona de aporque. Como se ve en la Figura 41.

Tabla 35: Dimensiones medias del radio horizontal y profundidad (cm) del bulbo húmedo del tratamiento RP en Maduración.

FILA: B					
TRATAMIENTO: RP					
Izquierdo (cm)			Derecho (cm)		
-X (Radio)	Y (Profundidad)	X (Radio)	-X (Radio)	Y (Profundidad)	X (Radio)
-7	0	12	-10	0	6
-11	-5	13	-12	-5	11
-14	-10	15	-15	-10	15
-13	-15	14	-14	-15	14
-12	-20	13	-12	-20	12
-8	-25	12	-10	-25	8
-5	-28	7	-4	-28	2
0	-28	0	0	-28	0

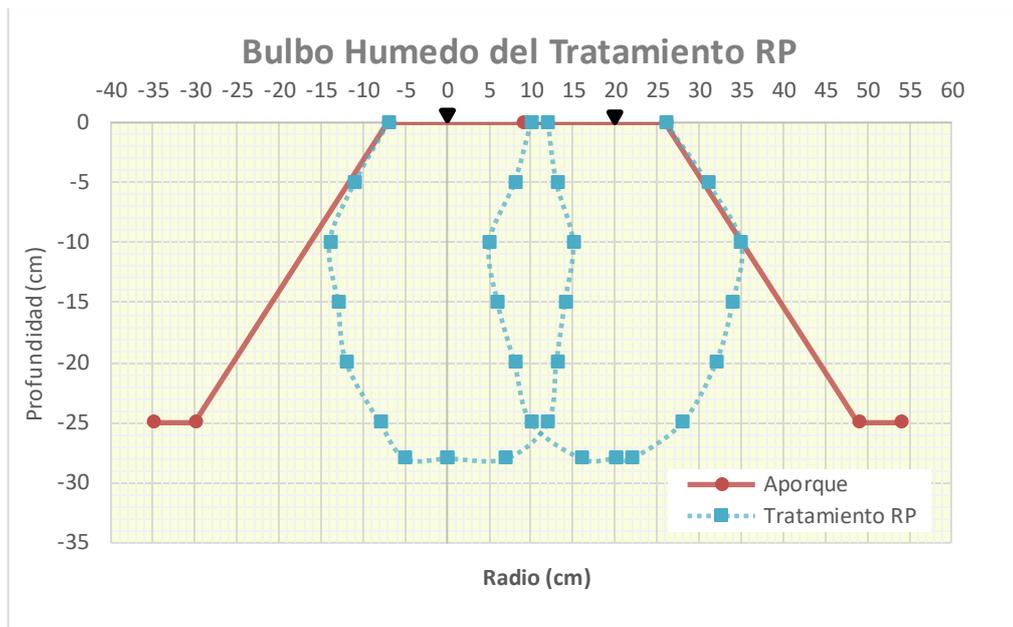


Figura 41: Forma y dimensión del bulbo húmedo del tratamiento RP en Maduración.

En este tratamiento que tiene una disposición paralela, el plano de corte fue transversal al tendido de las mangueras paralelas, donde se ve que los emisores están separados 20 cm; además se muestra que las dimensiones de los radios horizontales y la profundidad del bulbo húmedo del lado izquierdo y derecho son similares. Esto debido al riego normal (100 por ciento del ETo) que se aplicó.

Las mediciones de las dimensiones horizontales y la profundidad de avance del frente húmedo del bulbo izquierdo como derecho, generado uno por cada emisor, se realizaron teniendo como eje y centro de inicio la proyección vertical del punto de emisión de cada gotero ubicadas a 7 cm del borde la corona.

La superposición se determinó con el porcentaje de humedad ensayado en la parte central del aporque, el cual se obtuvo un valor de 19.2 por ciento, un valor mayor al 18 por ciento a capacidad de campo.

En este tratamiento se observó las limitaciones del desarrollo de la forma y dimensión del bulbo analizado en sección transversal del aporque. En los primeros centímetros de profundidad; por un lado, del eje hay limitación de la dimensión horizontal por la superficie del talud. Por otro al interior del aporque, el desarrollo del frente de humedad de acuerdo

con el avance en profundidad, fue cambiando en magnitud horizontal hacia el lado del otro talud.

Las pruebas de campo, de acuerdo con el tiempo de aplicación de riego para un gotero katiff 2.3 L/hr, dieron los siguientes resultados:

En el bulbo húmedo del lado izquierdo:

- Tiempo de riego: 16.5 minutos.
- El mayó radio es de 15 cm y se encuentra a 10 cm debajo de la superficie de la corona.
- La profundidad que alcanza el bulbo es de 28 cm

En el bulbo húmedo del lado derecho:

- Tiempo de riego: 16.5 minutos.
- El mayó radio es de 15 cm y se encuentra a 10 cm debajo de la superficie de la corona.
- La profundidad que alcanza el bulbo es de 28 cm

4.4.2.4 Forma y dimensión del bulbo húmedo del tratamiento RP1

De acuerdo con los resultados del procesamiento de datos que se muestra en la Tabla 36, se delinea el contorno del bulbo húmedo de los mismos. Donde se muestra cada bulbo con una forma con tendencia a ser un elipsoide cortado en la parte superior de la corona y en el talud del aporque, y superpuesto parcialmente. Donde el plano de corte es la superficie de la corona de aporque. Como se ve en la Figura 42.

Tabla 36: Dimensiones medias del radio horizontal y profundidad (cm) del bulbo húmedo del tratamiento RP1 en Maduración.

FILA: B					
TRATAMIENTO: RP1					
Izquierdo (cm)			Derecho (cm)		
-X (Radio)	Y (Profundidad)	X (Radio)	-X (Radio)	Y (Profundidad)	X (Radio)
-7	0	10	-11	0	6
-11	-5	13	-12	-5	11
-15	-10	15	-13	-10	12
-13	-15	11	-10	-15	8
-8	-20	9	-3	-20	4
-4	-25	3	0	-20	0

FILA: B					
TRATAMIENTO: RP1					
Izquierdo (cm)			Derecho (cm)		
-X (Radio)	Y (Profundidad)	X (Radio)	-X (Radio)	Y (Profundidad)	X (Radio)
0	-25	0			

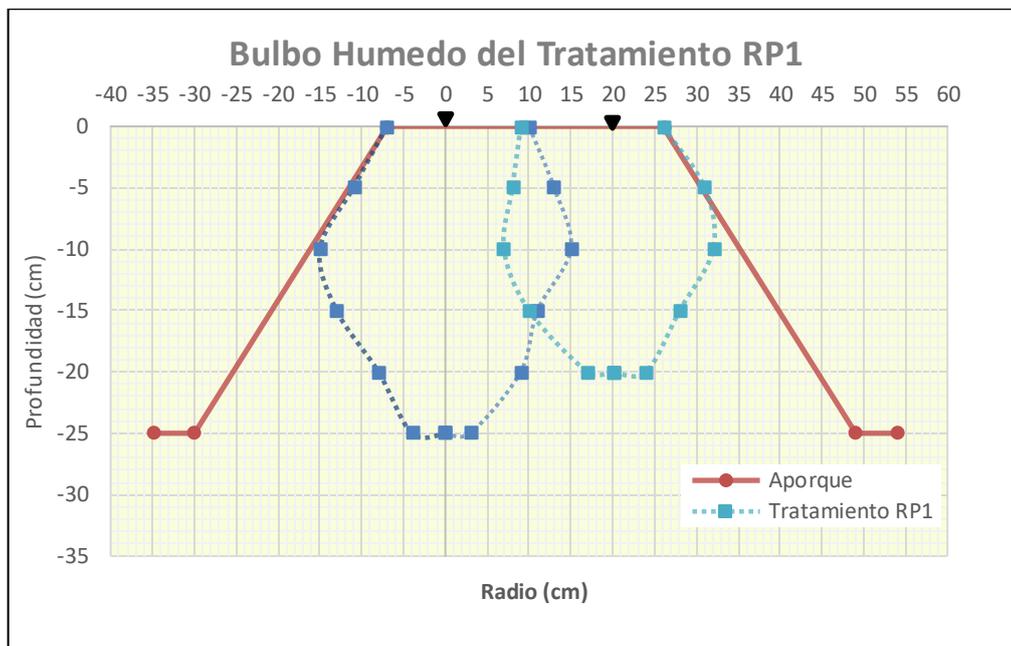


Figura 42: Forma y dimensión del bulbo húmedo del tratamiento RP1 en Maduración.

En este tratamiento que tiene una disposición paralela, el plano de corte fue transversal al tendido de las mangueras paralelas, donde se ve que los emisores están separados 20 cm; además se muestra que las dimensiones de los radios horizontales y la profundidad del bulbo húmedo del lado izquierdo son mayores al del lado derecho. Esto debido al riego parcial de raíces, donde el lado izquierdo se regó mientras que, el derecho no.

Las mediciones de las dimensiones horizontales y la profundidad de avance del frente húmedo del bulbo izquierdo como derecho, generado uno por cada emisor, se realizaron teniendo como eje y centro de inicio la proyección vertical del punto de emisión de cada gotero ubicadas a 7 cm del borde la corona.

La superposición se determinó con el porcentaje de humedad ensayado en la parte central del aporque, el cual se obtuvo un valor de 18.2 por ciento, un valor mayor al 18 por ciento a capacidad de campo.

En este tratamiento se observó las limitaciones del desarrollo de la forma y dimensión del bulbo analizado en sección transversal del aporque. En los primeros centímetros de profundidad; por un lado, del eje hay limitación de la dimensión horizontal por la superficie del talud. Por otro al interior del aporque, el desarrollo del frente de humedad de acuerdo con el avance en profundidad, fue cambiando en magnitud horizontal hacia el lado del otro talud.

Las pruebas de campo, de acuerdo con el tiempo de aplicación de riego para un gotero katiff 2.3 L/hr, dieron los siguientes resultados:

En el bulbo húmedo del lado izquierdo:

- Tiempo de riego: 16.5 minutos.
- El mayor radio es de 15 cm y se encuentra a 10 cm debajo de la superficie de la corona.
- La profundidad que alcanza el bulbo es de 25 cm

En el bulbo húmedo del lado derecho:

- Tiempo de riego: No se rego.
- El mayor radio es de 13 cm y se encuentra a 10 cm debajo de la superficie de la corona.
- La profundidad que alcanza el bulbo es de 20 cm

4.4.3 Análisis de varianza de las dimensiones medias de los radios del bulbo húmedo

El análisis de varianza (ANVA) de los radios medios del bulbo húmedo (los resultados de los radios por cada tratamiento y con sus respectivas replicas se muestran en el Anexo 14) obtenidos con el programa Minitab 18, se muestra en la Tabla 37.

Tabla 37: Análisis de varianza de las dimensiones medias de los radios del bulbo húmedo en el periodo de Maduración.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Disposición Emisor (Factor A)	1	9.18	9.18	9.15	0.008
Tipo Riego (Factor B)	1	42.486	42.486	42.35	0.002
Disposición Emisor*Tipo Riego	1	5.778	5.778	5.76	0.129
Error	16	16.052	1.003		
Total	19	73.496			

De la Tabla 37, se observa primero que no existe efecto de interacción estadísticamente significativa entre los factores de Disposición Emisor y Tipo Riego, ya que el Valor p (0.129) es mayor al nivel de significación (0.1). Esto quiere decir que al combinar los niveles de los factores nos daría resultados de radios iguales o similares que utilizando los niveles de los factores por separado.

En el factor A (Disposición de Emisor), si existe efecto de los niveles del factor estadísticamente significativa, ya que el Valor p (0.008) es menor al nivel de significación (0.1). Esto debido a que en este periodo vegetativo ya estaba el aporque (como se ve en la figura 9) en todos los tratamientos del cultivo; ocasionando que en los emisores paralelos éstos se acomodaran al talud del aporque (debido a que los emisores estaban a 7 cm del filo de la base menor del aporque), mientras que en los emisores lineales seguían el curso de su formación del bulbo húmedo (debido a que el emisor estaba al centro de la base menor del aporque). Entonces quiere decir que si queremos obtener radios medios mayores es importante ver la disposición del emisor, como se ve en la Figura 43.

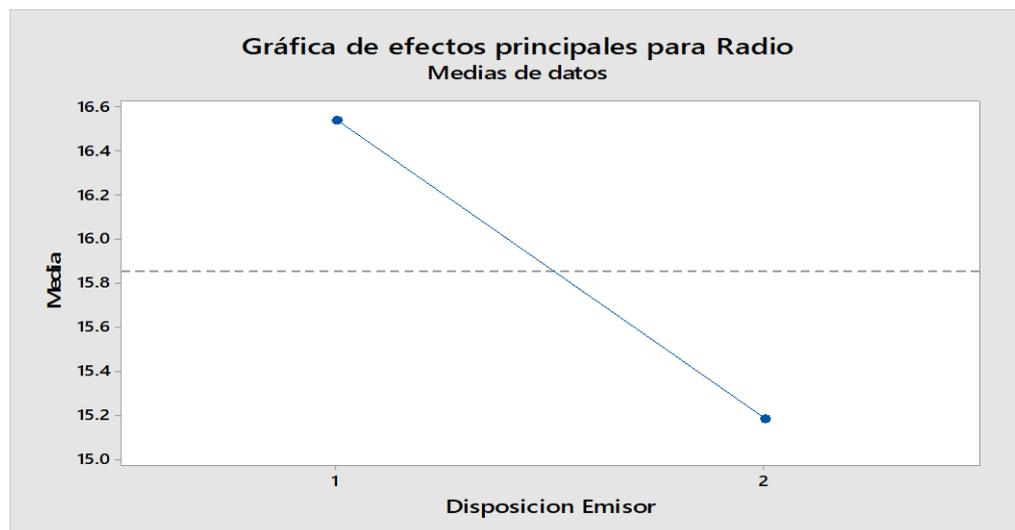


Figura 43: Grafico de efectos principales para radio del factor A (Disposición de Emisor) en Maduración.

Entonces como se ve en la Figura 43, si queremos obtener radios mayores se tendría que escoger el nivel 1 (Disposición de Emisor Lineal) con un valor de 16.53 cm, con respecto al nivel 2 (Disposición de Emisor Paralelo) con un valor de 15.18 cm.

También se ve que existe efecto de los niveles del factor B (Tipo de Riego) estadísticamente significativa, ya que el Valor p (0.002) es menor al nivel de significación (0.1). Esto quiere

decir que si queremos obtener radios medios mayores es importante ver el tipo de riego, como se ve en la Figura 44.

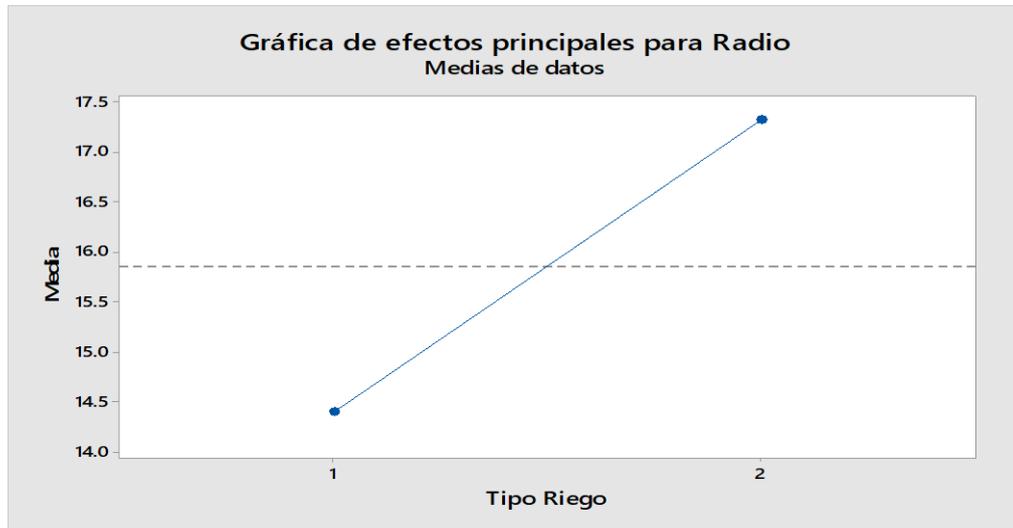


Figura 44: Grafico de efectos principales para radio del factor B (tipo de riego) en Maduración.

Entonces como se ve en la Figura 44, si queremos obtener radios mayores se tendría que escoger el nivel 2 (tipo de riego normal con 100 por ciento del ETo) con un valor de 17.31 cm, con respecto al nivel 1 (tipo de riego PRD con 50 por ciento del ETo) con un valor de 14.4 cm.

Finalmente, como se ve en la Figura 45, el error tiende a una distribución normal, ya que el Valor p (0.208) es mayor al nivel de significación (0.1), por lo tanto, se valida las hipótesis aceptadas anteriormente estadísticamente, con un coeficiente de variabilidad (C.V) de 6.32 por ciento.

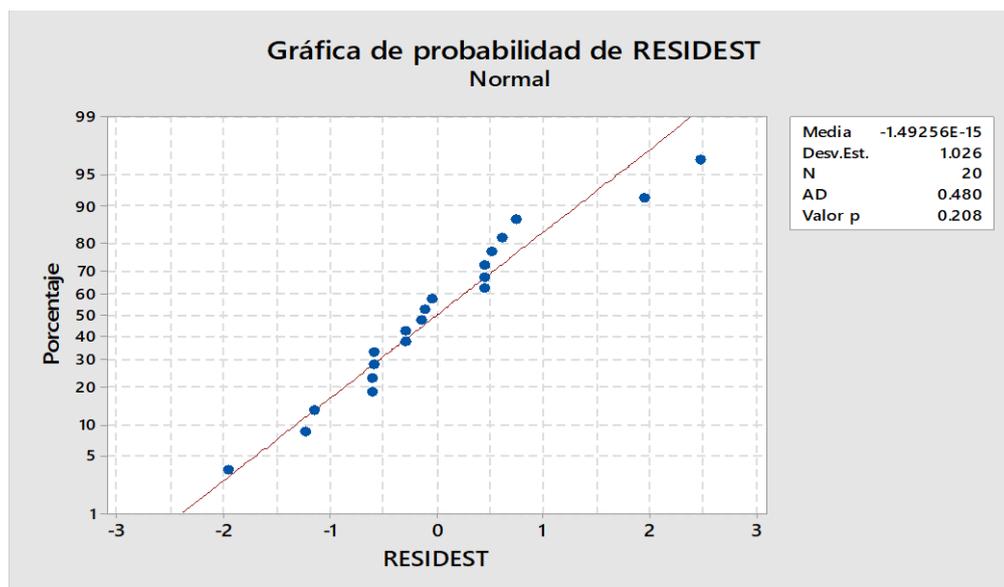


Figura 45: Grafico de normalidad de error de residuos estandarizados del radio medio en Maduración.

4.4.4 Análisis de varianza de las dimensiones medias de las profundidades del bulbo húmedo.

Según el análisis de varianza (ANVA) de la profundidad media del bulbo húmedo que se muestra en la Tabla 38.

Tabla 38: Análisis de varianza de las dimensiones medias de las profundidades del bulbo húmedo (cm) en Maduración.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Disposición Emisor (Factor A)	1	7.2	7.2	2.2	0.158
Tipo Riego (Factor B)	1	162.45	162.45	49.6	0.002
Disposición Emisor*Tipo Riego	1	0.45	0.45	0.14	0.716
Error	16	52.4	3.275		
Total	19	222.5			

Se observa primero que no existe efecto de interacción estadísticamente significativa entre los niveles de los factores de Disposición Emisor y Tipo Riego, ya que el Valor p (0.716) es mayor al nivel de significación (0.1). Esto quiere decir que al combinar los niveles de los factores nos daría resultados de profundidades iguales o similares que utilizando los niveles de los factores por separado.

También se ve que no existe efecto de los niveles del factor A (Disposición de emisor) estadísticamente significativa, ya que el Valor p (0.158) es mayor al nivel de significación (0.1). Esto quiere decir que al utilizar tanto la disposición paralela o lineal nos da las mismas profundidades medias, estadísticamente.

En cambio, se ve que existe efecto de los niveles del factor B (Tipo de Riego) estadísticamente significativa, ya que el Valor p (0.002) es menor al nivel de significación (0.1). Esto quiere decir que si queremos obtener profundidades medias mayores es importante ver el tipo de riego, como se ve en la Figura 46.

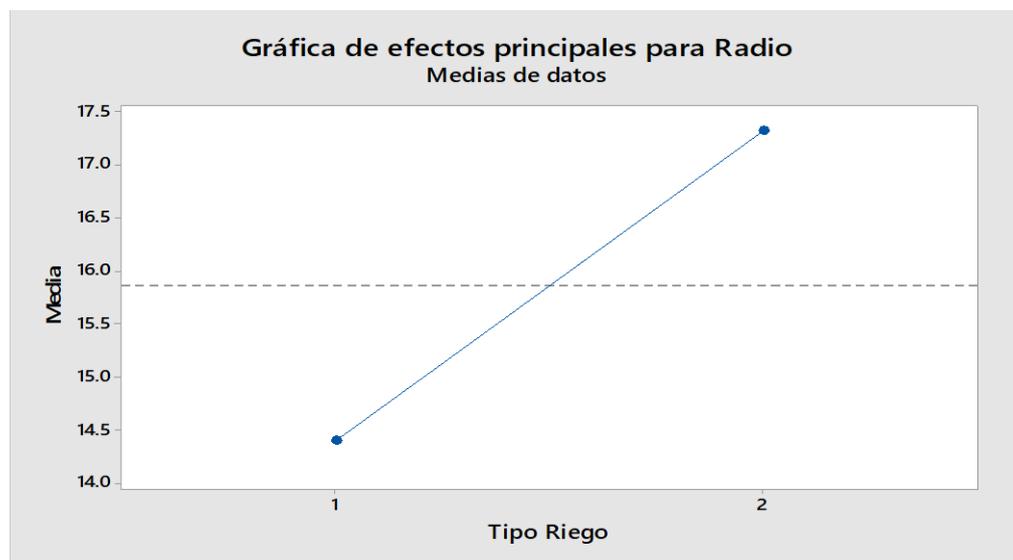


Figura 46: Grafico de efectos principales para radio del factor B (tipo de riego) en Maduración.

Entonces como se ve en la Figura 46, si queremos obtener profundidades mayores se tendría que escoger el nivel 2 (tipo de riego normal con 100 por ciento del ETo) con un valor de 28.85 cm, con respecto al nivel 1 (tipo de riego PRD con 50 por ciento del ETo) con un valor de 23.15 cm.

Finalmente, como se ve en la Figura 47, el error tiende a una distribución normal, ya que el Valor p (0.533) es mayor al nivel de significación (0.1); por lo tanto, se valida las hipótesis aceptadas anteriormente estadísticamente, con un coeficiente de variabilidad (C.V) de 6.96 por ciento.

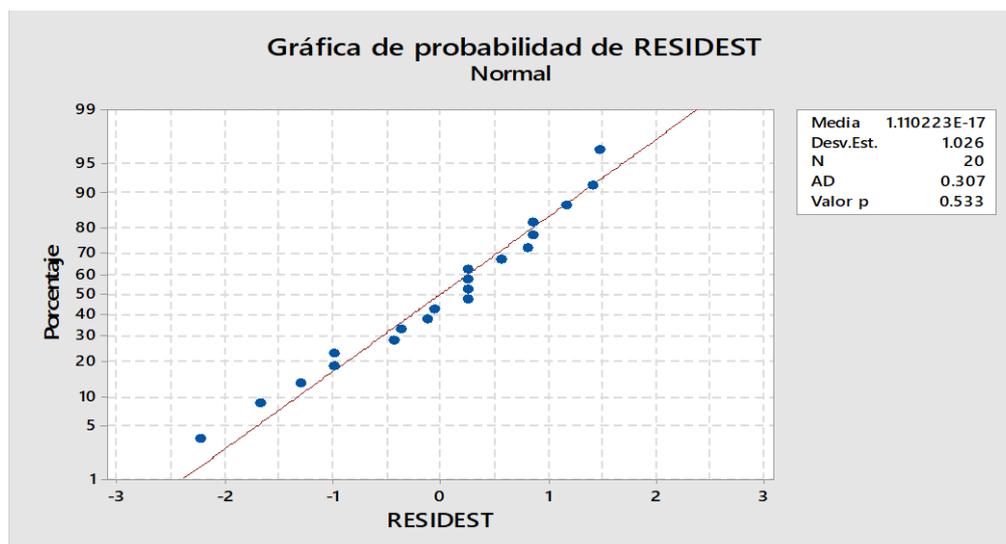


Figura 47: Grafico de normalidad de error de residuos estandarizados de la profundidad en Maduración.

4.5 Morfología de la papa variedad única

Se observa cómo se desarrollan los parámetros biométricos (profundidad de raíz, altura y área foliar de la papa), según los tratamientos (T, RP2, RP y RP1) planteados en esta investigación, durante el crecimiento vegetativo del cultivo.

4.5.1 Profundidad de raíces.

Un riego parcial de raíces estimula mayor desarrollo radicular que un riego normal, debido a que las raíces son susceptibles al déficit de agua en el suelo (Gutiérrez-Rojas *et al.* 2007). En la Tabla 39 y en la Figura 48 se muestra el desarrollo de la profundidad de la raíz por tratamiento y periodo vegetativo.

Tabla 39: Profundidad de raíz (cm) por tratamiento y periodo vegetativo.

Tratamiento	T	RP2	RP	RP1
DDS	Profundidad de raíz (cm)			
0	0.00	0.00	0.00	0.00
7	5.00	8.00	4.00	7.00
19	12.00	14.00	10.00	15.00
24	22.00	24.00	20.00	25.00
26	25.00	27.00	24.00	27.00
40	31.00	30.00	30.00	31.00
49	30.00	31.00	30.00	31.00

Tratamiento	T	RP2	RP	RP1
DDS	Profundidad de raíz (cm)			
60	31.00	33.00	32.00	33.00
71	33.00	30.00	33.00	34.00
81	30.00	34.00	32.00	36.00
97	31.00	35.00	30.00	34.00
106	30.00	33.00	30.00	31.00

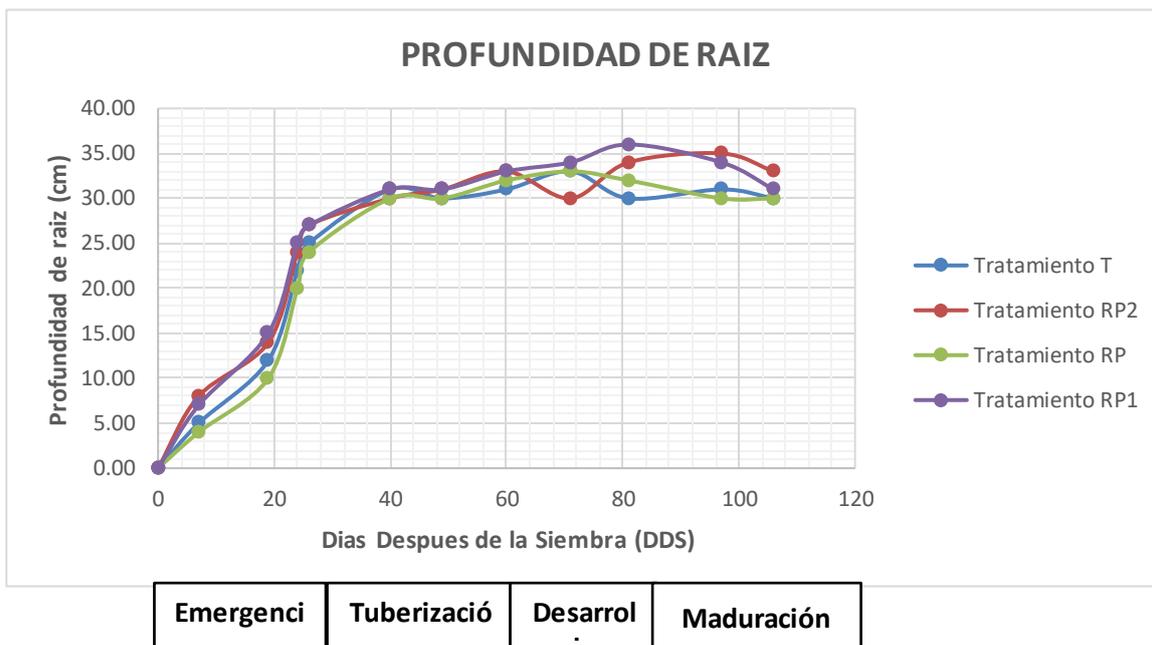


Figura 48: Desarrollo de la profundidad de raíz (cm) por periodo vegetativo

De los cuales se puede observar que la profundidad de las raíces de los tratamientos de la investigación tiene tendencia exponencial creciente. Donde los tratamientos con riego parcial de raíces (RP2 y RP1) desarrollan profundidades más largas alcanzando su máxima longitud de 35 cm, a los 81 dds; mientras que las del riego normal (T y RP) alcanzan su máxima longitud de 33 cm, a los 71 dds.

Esto debido a que, en un riego parcial de raíces, la planta fuerza su desarrollo radicular por la ausencia de agua en las partes no regadas de la planta.

La máxima profundidad de la raíz difícilmente supera los 35 cm debido a que las raíces laterales se desarrollan horizontalmente y/o radialmente. Y no de forma vertical o pivotante como lo hacen otras plantas.

4.5.2 Altura de la planta.

La variación de altura de la planta tiene una tendencia exponencial, donde el riego normal muestra mayor intensidad de crecimiento que el riego parcial de raíces (Sánchez y Meza 2015). En la Tabla 40 y en la Figura 49 se muestra el desarrollo de la altura de la papa por tratamiento y periodo vegetativo.

Tabla 40: Altura de la papa (cm) por tratamiento y periodo vegetativo.

Tratamiento	T	RP2	RP	RP1
DDS	Altura de la papa (cm)			
0	0.00	0.00	0.00	0.00
7	0.00	0.00	0.00	0.00
19	12.00	14.00	10.00	15.00
24	32.00	27.00	30.00	25.00
26	33.00	29.00	30.00	26.00
40	55.00	45.00	52.00	50.00
49	55.00	47.00	57.00	51.00
60	75.00	65.00	78.00	60.00
71	97.00	93.00	75.00	85.00
81	115.00	105.00	110.00	102.00
97	120.00	106.00	112.00	102.00
106	110.00	106.00	112.00	102.00

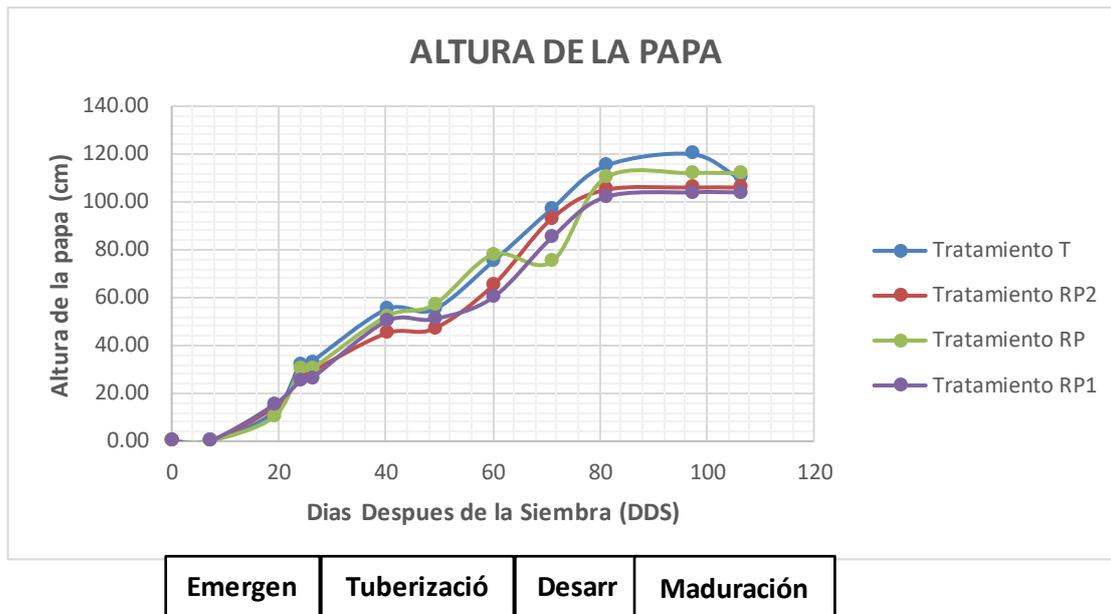


Figura 49: Desarrollo de la altura de la papa (cm) por periodo vegetativo

De los cuales se puede observar que los tratamientos con un riego normal (T y RP) son las que mejor desarrollaron la altura de la planta durante el crecimiento vegetativo con respecto a los tratamientos con riego parcial de raíces (RP2 y RP1).

También se ve que, en los periodos con riego parcial de raíces, el tratamiento RP2 (disposición lineal) es la que mejor se desarrolla en altura de la planta con respecto al RP1 (disposición paralela).

Por último, se observa que todos los tratamientos ensayados tienen un desarrollo creciente hasta su última etapa vegetativa, donde el tratamiento T alcanza una altura máxima de 120 cm.

4.5.3 Área foliar de la papa.

El desarrollo del área foliar tiene una tendencia exponencial hasta los últimos días del periodo de desarrollo, a partir de ahí este decrece por la madurez de las hojas (Sánchez y Meza 2015). En la Tabla 41 y en la Figura 50 se muestra el desarrollo del área foliar de la papa por tratamiento y periodo vegetativo.

Tabla 41: Área foliar de la papa (cm²) por tratamiento y periodo vegetativo.

Tratamiento	T	RP2	RP	RP1
DDS	Área foliar de la papa (cm²)			
0	0.00	0.00	0.00	0.00
7	0.00	0.00	0.00	0.00
19	365.70	168.13	367.98	266.94
24	891.32	675.27	874.74	814.61
26	1,321.45	1,125.24	1,425.62	1,058.48
40	1,795.54	1,754.28	1,819.00	1,685.45
49	1,918.14	1,920.98	1,696.06	1,822.77
60	1,782.18	1,536.19	1,706.53	1,617.03
71	1,937.03	1,787.26	1,936.36	1,745.25
81	1,623.85	1,497.64	1,449.97	1,487.26
97	1,225.36	1,102.28	1,005.26	1,125.36

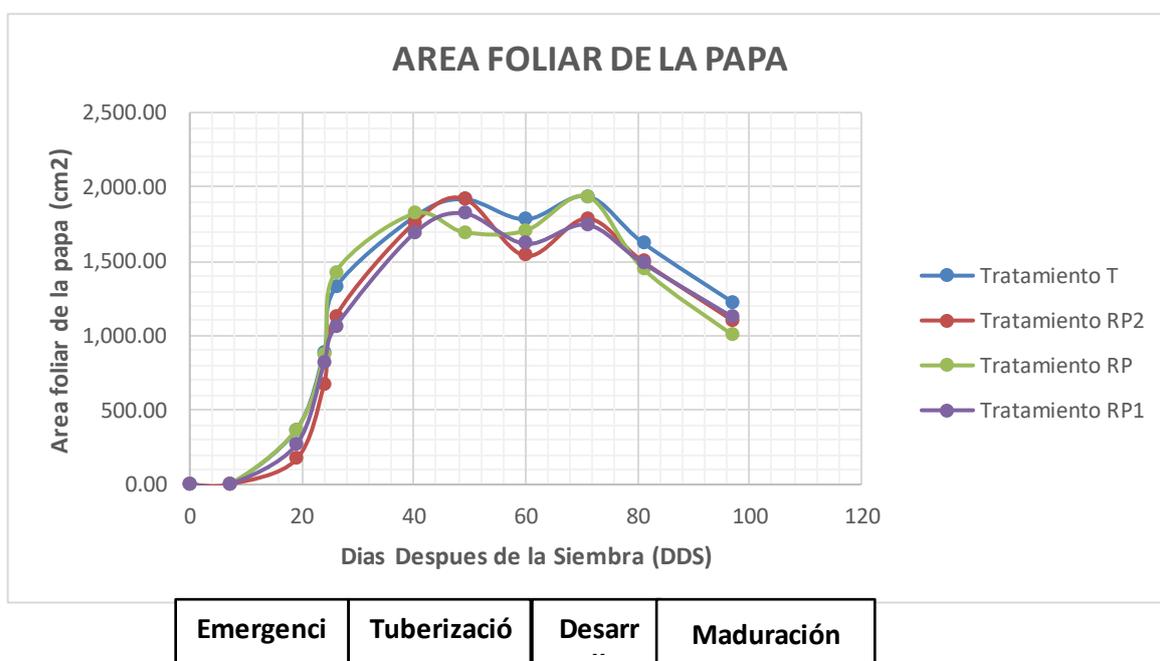


Figura 50: Desarrollo del área foliar de la papa (cm²) por periodo vegetativo

De los cuales se puede observar que los tratamientos con un riego normal (T y RP) son las que mejor desarrollaron el área foliar durante el crecimiento vegetativo con respecto a los tratamientos con riego parcial de raíces (RP2 y RP1).

También se ve que, en los periodos con riego parcial de raíces, el tratamiento RP2 (disposición lineal) es la que mejor se desarrolla en área foliar con respecto al RP1 (disposición paralela).

Por último, se observa que el periodo donde llegan al pico de su área foliar es el de desarrollo, para luego en la etapa de maduración disminuir, debido a la caída de las hojas que se da en la última etapa mencionada.

4.6 Consumo de agua por periodo vegetativo

El consumo de agua del cultivo de la papa por el riego por goteo es de **1857 m³/ha** en la Universidad Nacional Agraria La Molina durante los meses de agosto a diciembre, según Sánchez y Meza (2015). En la Tabla 42 se muestra el consumo de agua (m³/ha) por tratamiento y por periodo vegetativo, que se ensayó durante el diseño experimental, lo mismo en la Figura 51.

Tabla 42: Consumo de agua (m³/ha) por tratamiento y periodo vegetativo

Tratamiento	T	RP2	RP	RP1	N° de Riego
Periodo	Q (m ³ /ha)				
Emergencia	147.65	110.74	147.65	110.74	10.00
Tuberización	421.38	421.38	421.38	421.38	13.00
Desarrollo	310.07	310.07	310.07	310.07	6.00
Maduración	466.81	233.41	466.81	233.41	9.00
Total	1,345.93	1,075.60	1,345.93	1,075.60	

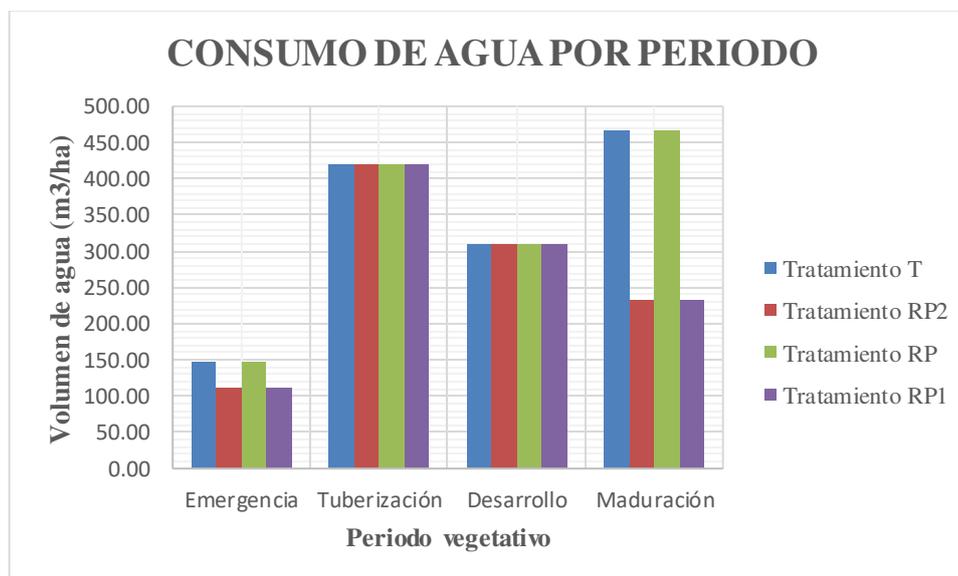


Figura 51: Consumo de agua (m³/ha) por tratamiento y periodo vegetativo

En la Tabla 42 y en la Figura 51, se puede observar los periodos vegetativos donde más agua se consumen son en los periodos de tuberización y desarrollo (con 13 y 6 turnos de riego respectivamente), ya que estos periodos son críticos para el desarrollo del cultivo. Mientras que en la etapa de emergencia y maduración se regó con un riego parcial de raíces (con 5 y 9 turnos de riego respectivamente).

El total de agua consumida por la papa variedad única durante su desarrollo vegetativo con un **riego por goteo normal** es de **1345.93 m³/ha**; comparado este resultado con el autor citado líneas arriba, se obtiene un ahorro de agua equivalente a **511.08 m³/ha**, esto debido temporada de siembra, ya que en el primero la temporada del desarrollo del cultivo fue en primavera, por lo que necesitaba más agua que comparado con el experimentado en la tesis que fue en invierno (Junio a Setiembre); mientras que con **riego parcial de raíces** la cantidad de agua aplicada al cultivo fue de **1075.60 m³/ha**, que comparado con el riego normal representa un ahorro de **270.32 m³/ha**; es decir un **20 por ciento** menos con respecto al riego normal.

V. CONCLUSIONES

- Los valores obtenidos de coeficiente de uniformidad de los cuatro tratamientos en los cuatro periodos fueron mayores al 86 por ciento. Por lo tanto, se afirma que el sistema riega o moja las parcelas experimentales uniformemente, según Mendoza (2013).
- La forma geométrica del bulbo húmedo en los periodos de aporque; en la disposición lineal tanto para un riego normal o parcial es la de un elipsoide truncado donde el plano de corte es la superficie de la corona de aporque; mientras que para la disposición paralela tanto para un riego normal o parcial es la de con tendencia a ser un elipsoide cortado en la parte superior de la corona y en el talud del aporque, esto debido a la ubicación de los emisores a 7 cm del borde de la corona. Tal como lo reporta Peña y Brown (2000), para suelos con textura franco-arenosas.
- En los periodos de aporque y con un riego normal o riego parcial de raíces, para las dimensiones de las profundidades no existe diferencia estadística significativa en una disposición lineal y paralela; mientras que en las dimensiones de los radios si existe diferencia estadística significativa, siendo la disposición lineal la de mayor radio. Por lo tanto, la disposición lineal de emisores de un riego parcial de raíces es la mejor en la distribución de la humedad durante el crecimiento vegetativo de la papa variedad única.
- En un riego parcial de raíces, la disposición lineal es el que mejor se desarrolla en morfología de la papa (profundidad de raíz, altura de la planta y área foliar), con respecto a la disposición paralela. Esto debido a que en la primera disposición mencionado se distribuye mejor la humedad en un aporque trapecial.

VI. RECOMENDACIONES

- Por los resultados obtenidos de la aplicación del riego parcial de raíces con un aporque trapecial durante el crecimiento vegetativo de la papa, se recomienda la instalación de la disposición lineal en las parcelas donde se sembrarán la papa variedad única y/u otros cultivos que necesiten aporque.
- El aporque trapecial planteado limita el desplazamiento horizontal del bulbo húmedo tanto en un riego normal como en el riego parcial de raíces; por lo que se recomienda experimentar la disposición de los emisores de un riego parcial de raíces en la distribución de la humedad del bulbo húmedo en cultivos que no necesiten aporque.
- Si se necesita saber la forma y dimensión del bulbo húmedo solo con fines de diseño; se recomienda hacer experimentos sin cultivo, dado que la determinación visual del contorno del bulbo cuando se ha sometido a varios ciclos de mojado (con cultivo) es difícil de determinar visualmente.
- A la hora de realizar el corte transversal o longitudinal de las unidades experimentales (emisor del tratamiento); se recomienda tener suficiente mano de obra para poder acabar con la prueba programadas para ese día, ya que es la prueba que más demora y que solo no se puede ejecutar.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Araus, JL; Slafer, GA; Reynolds, MP; Royo, C. 2002. Plant breeding and water relations in C3 cereals: what should we breed for? *Ann. Bot.* London, 89:925-940.

Arias, HM. 2009. Evaluación del bulbo húmedo en un suelo franco bajo condiciones de aporte y con el sistema de riego por goteo: El aporte y su estructura. Tesis Mag. Lima, Perú, UNALM. 104 p.

CIP (Centro Internacional de la Papa, Perú). 1998. Informe Técnico Anual 1.997-1.998 del Proyecto PROMESPA "Proyecto para el Mejoramiento y Semilla de Papa". Lima, Perú. 54p.

CIP (Centro Internacional de la Papa, Perú). 2002. Informe Técnico Anual 2.001-2.002 del Proyecto FONTAGRO "Selección y Utilización de Variedades de Papa con Resistencia a Enfermedades para el Procesamiento Industrial de América Latina". Lima, Perú. 84p.

Davies, WJ; Wilkinson, S; Loveys, B. 2002. Stomatal control by chemical signaling and the exploitation of this mechanism to increase water use efficiency in agriculture. *New Phytol.* 153: 449-460.

Egúsquiza, RO. 2000. La papa producción, transformación y comercialización: Botánica. Lima, Perú, Prisma. 192p.

Fuentes, J. 2003. Técnicas de riego. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 483p.

Gispert, J.R. 2005. Definición del volumen de suelo húmedo (vsh) en microirrigación, mediante la resistividad eléctrica: Aplicación al estudio del porcentaje de vsh en el comportamiento del manzano (*Malus domestica* Borkh) Departamento de Arboricultura Mediterránea. Centro de Mas Bové-Constantí (Tarragona). Institut de recerca y tecnologia Agroalimentaries (IRTA). pp: 75-80.

Gispert, JR; García, JA. 1999. El volumen húmedo del suelo en el riego localizado. Importancia y evaluación. Departamento de Arboricultura Mediterránea. Centro de Mas Bove-Constanti. Institut de Recerca i tecnologia Agrolimentaries (IRTA) Centro de Mas Bové- Constantí (Tarragona)

GDR (Grupo de Desarrollo del Riego). 2012. Riego en cultivos y pasturas. Seminario Internacional (2da), 2012, Salto, Uruguay. Montevideo, Uruguay, Boscana. 119p.

Gutiérrez-Rosales, RO; Espinoza-Trelles, JA; Bonierbale, M. 2007. UNICA: variedad Peruana para mercado fresco y papa frita con tolerancia y resistencia para condiciones climáticas adversas. Revista Latinoamericana de la Papa 14(1): 41-50.

Internacional, S. 2012. Riego en cultivos y pasturas. s.l., s.e., 119.

Jov Anovic, Z; Stikic, R; Vucelic, B; Paukovic, M; Brocic, Z; Matovic, G; Rovcanin, S; Mojevic, M. 2010. Partial root-zone drying increases WUE, N and antioxidant content in field potatoes. European Journal of Agronomy, 33: 124-131.

Kang, S; Llang, Z; Hu, W; Zhang, J. 1998. Water use efficiency of controlled alternate irrigation on root-divided maize plant, Agricultura! Water Management, 38: 69-76.

Lambers, H; Stuart-Chapin III, F; Pons, TL. 1998. Plant Physiological Ecology. Springer-Verlag, New York.

Loveys, BR; Grant, WJR; Dry, PR; Mccarthy, MG. 1997. Progress in the development of partial root-zone drying. The Australian Grapegrower and Winemaker, 403: 18-20.

Nilsen, ET; Orcutt, DM. 1996. The physiology of plants under stress. Wiley. New York, NY, EE UU., 689 p.

Peña, CM; Brown MO. 2000. Forma y dimensiones geográficas del bulbo húmedo bajo los goteros en suelos ferri líticos rojos. Publicación Ingeniería Hidráulica y Ambiental. Cuba.

Pizarro, F. 1996. Riegos Localizados de Alta Frecuencia. 3ª Edición. Ediciones Mundi-Prensa-Madrid, España.

Sanchez, MA; Meza, RE. 2015. Título: Evaluación del rendimiento del cultivo de papa bajo la aplicación del riego deficitario (PRD) utilizando cintas de riego. Anales Científico (76): 21-28.

Sanchez-Blanco, MJ; Torrecillas, A. 1995. Riego Deficitario Controlado, Fundamentos y Aplicaciones. España. 66 p.

Stoll, M; Loveys B; Dry, P. 2000. Hormonal changes induced by partial rootzone drying of irrigated grapevine. J. Exp. Bot, 51: 1627-1634.

Tambussi, EA. 2004. Fotosíntesis, fotoprotección, productividad y estrés abiótico: algunos casos de estudio. Memoria presentada para optar al grado de Doctor en Biología. Universidad de Barcelona. España. 203 p

Vásquez, A; Chang, L. 1992. El riego, principios básicos. Tomo I. Impreso en los talleres ONERN. San Isidro. Lima. Perú. 162p.

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 1: Calicata para determinar las características fisicoquímicas del suelo.



Anexo 2: Prueba de cilindros infiltrómetros.



Anexo 3: Formato de llenado de prueba de infiltración.

Tiempo (min)		Lamina Infiltrada (cm)		Velocidad de Infiltración (cm/hr)	
Parcial	Acumulado	Parcial	Acumulado	Instantánea	Promedio
0	0	0	0	0	0
1	1	0.2	0.2	12	12.0
1	2	0.1	0.3	6	9.0
1	3	0.2	0.5	12	10.0
1	4	0.1	0.6	6	9.0
1	5	0.1	0.7	6	8.4
1	6	0.1	0.8	6	8.0
1	7	0.1	0.9	6	7.7
1	8	0	0.9	0	6.8
1	9	0.1	1	6	6.7
1	10	0.1	1.1	6	6.6
1	11	0.1	1.2	6	6.5
1	12	0.1	1.3	6	6.5
1	13	0.1	1.4	6	6.5
1	14	0.1	1.5	6	6.4
2	16	0.2	1.7	6	6.4
2	18	0.1	1.8	3	6.0
2	20	0.2	2	6	6.0
2	22	0.2	2.2	6	6.0
2	24	0.2	2.4	6	6.0
2	26	0.1	2.5	3	5.8
5	31	0.1	2.6	1.2	5.0
5	36	0.3	2.9	3.6	4.8
5	41	0.3	3.2	3.6	4.7
5	46	0.2	3.4	2.4	4.4
5	51	0.3	3.7	3.6	4.4
5	56	0.1	3.8	1.2	4.1
60	116	2.7	6.5	2.7	3.4
60	176	1.9	8.4	1.9	2.9

Anexo 4: Tractor agrícola arando parcelas experimentales.



Anexo 5: Foto de prueba de coeficiente de uniformidad por periodo.



Anexo 6: Formato de llenado de prueba de CU (ml/min) por periodo.

PERIODO DE EMERGENCIA						
TRATAMIENTO RP2						
N° GOTERO	HILERA					
	1		2		3	
	I	D	I	D	I	D
1	106.3		113		119	
2		110		99		104
3	106		102		106	
4		119.6		103		115
5	113		113		105	
6		105		108		99
7	74		118		102	
8		119		110		103
9	114		107		99	
10		104		100		98
11	112		108		85	
12		110		74		103
13	102		108		100	
14		109		112		100
15	103		97		103	
16		98		100		95

TRATAMIENTO T						
N° GOTERO	HILERA					
	1		2		3	
	I	D	I	D	I	D
1	97		96		93	
2	98		98		91	
3	108		85		95	
4	93		86		95	
5	94		89		89	
6	91		92		86	
7	91		95		86	
8	90		107		87	
9	100		104		103	
10	84		89		55	
11	89		87		93	
12	98		89		99	

TRATAMIENTO T						
N° GOTERO	HILERA					
	1		2		3	
	I	D	I	D	I	D
13	92		85		98	
14	107		103		89	
15	98		105		75	
16	98		108		90	

TRATAMIENTO RP						
N° GOTERO	HILERA					
	1		2		3	
	I	D	I	D	I	D
1	106.3	100	113	102	119	108
2	100	110	110	99	106	104
3	106	102	108	102	106	106
4	104	108	106	103	106	115
5	113	106	113	100	105	106
6	98	105	106	108	104	99
7	74	104	118	100	102	98
8	106	119	98	110	104	103
9	114	104	107	104	99	98
10	108	104	98	100	102	98
11	112	108	108	108	85	102
12	106	110	104	74	106	103
13	102	98	108	108	100	104
14	104	109	108	112	104	100
15	103	98	97	106	103	106
16	104	98	102	100	102	95

TRATAMIENTO RP1						
N° GOTERO	HILERA					
	1		2		3	
	I	D	I	D	I	D
1	97	102	96	88	93	102
2	98	100	98	98	91	100
3	108	98	85	100	95	90
4	93	97	86	96	95	98

TRATAMIENTO RP1						
N° GOTERO	HILERA					
	1		2		3	
	I	D	I	D	I	D
5	94	85	89	106	89	96
6	91	102	92	90	86	95
7	91	86	95	104	86	88
8	90	88	107	102	87	98
9	100	100	104	98	103	102
10	84	102	89	89	55	106
11	89	96	87	96	93	88
12	98	97	89	98	99	96
13	92	92	85	95	98	94
14	107	94	103	87	89	98
15	98	98	105	98	75	86
16	98	85	108	100	90	98

PERIODO DE TUBERIZACION						
TRATAMIENTO RP2						
N° GOTERO	HILERA					
	1		2		3	
	I	D	I	D	I	D
1	47		45		34	
2		40		47		38
3	35		46		40	
4		48		42		49
5	47		46		47	
6		45		42		47
7	48		51		47	
8		51		43		46
9	46		44		46	
10		45		43		46
11	49		35		42	
12		44		41		41
13	47		55		47	
14		49		44		49
15	41		49		52	
16		46		39		55

TRATAMIENTO T						
N° GOTERO	HILERA					
	1		2		3	
	I	D	I	D	I	D
1	45		48		48	
2	38		46		39	
3	45		40		50	
4	47		48		46	
5	42		42		37	
6	36		42		45	
7	45		44		44	
8	46		38		42	
9	47		43		46	
10	41		41		35	
11	38		48		42	
12	42		45		42	
13	43		38		42	
14	44		48		41	
15	36		48		32	
16	45		34		41	

TRATAMIENTO RP						
N° GOTERO	HILERA					
	1		2		3	
	I	D	I	D	I	D
1	46	43	43	45	41	41
2	47	38	35	43	7	43
3	40	45	43	46	44	44
4	47	44	35	46	43	44
5	46	46	48	45	43	45
6	44	51	48	46	43	45
7	44	49	46	38	53	45
8	44	48	45	44	49	46
9	46	48	47	37	42	42
10	56	48	45	50	44	50
11	45	42	45	45	43	51
12	38	44	42	42	49	42
13	42	46	43	47	42	43
14	45	47	45	51	43	43
15	45	46	45	44	45	46

TRATAMIENTO RP						
N° GOTERO	HILERA					
	1		2		3	
	I	D	I	D	I	D
16	47	42	44	45	44	48

TRATAMIENTO RP1						
N° GOTERO	HILERA					
	1		2		3	
	I	D	I	D	I	D
1	46	43	43	45	41	41
2	47	38	43	43	7	43
3	43	45	43	46	44	44
4	47	44	43	46	43	44
5	46	46	48	45	43	45
6	44	51	48	46	43	45
7	44	49	46	42	53	45
8	44	48	45	44	49	46
9	46	48	47	37	42	42
10	56	48	45	50	44	50
11	45	42	45	45	43	51
12	40	44	42	42	49	42
13	42	46	43	47	10	43
14	45	47	45	51	43	43
15	45	46	45	44	45	46
16	47	42	44	45	44	48

PERIODO DE DESARROLLO						
TRATAMIENTO RP2						
N° GOTERO	HILERA					
	1		2		3	
	I	D	I	D	I	D
1		50	42			42
2	60			62	62	
3		49	59			59
4	51			60	50	
5		55	50			51
6	54			53	54	

PERIODO DE DESARROLLO						
TRATAMIENTO RP2						
N° GOTERO	HILERA					
	1		2		3	
	I	D	I	D	I	D
7		52	49			58
8	50			60	60	
9		49	39			54
10	53			55	58	
11		50	51			60
12	56			58	52	
13		57	58			58
14	51			58	56	
15			64			45
16						

TRATAMIENTO T						
N° GOTERO	HILERA					
	1		2		3	
	I	D	I	D	I	D
1	44		45		48	
2	50		53		45	
3	58		46		42	
4	48		46		45	
5	52		45		46	
6	46		46		44	
7	48		44		44	
8	52		45		45	
9	44		42		44	
10	50		44		45	
11	52		50		43	
12	52		50		46	
13	42		52		46	
14	48		46		52	
15	48		50		50	
16	45		48		44	

TRATAMIENTO RP						
N° GOTERO	HILERA					
	1		2		3	
	I	D	I	D	I	D
1	47	40	42	42	46	44
2	49	38	42	42	44	48
3	42	51	45	44	45	35
4	48	41	44	43	40	45
5	46	50	46	50	38	46
6	45	47	43	47	49	43
7	45	42	47	46	47	46
8	42	46	45	43	51	45
9	45	42	52	45	45	46
10	46	36	54	44	50	45
11	45	45	51	60	48	46
12	47	44	45	45	45	45
13	46	37	45	57	52	53
14	46	45	50	45	38	45
15	44	48	47	42	46	50
16			46	46	46	46

TRATAMIENTO RP1						
N° GOTERO	HILERA					
	1		2		3	
	I	D	I	D	I	D
1	46	48	44	53	45	48
2	45	50	51	53	52	51
3	52	52	52	50	46	55
4	48	50	47	52	50	54
5	52	52	43	32	52	56
6	55	51	14	58	50	52
7	48	48	51	56	50	52
8	50	52	40	58	52	32
9	52	52	54		45	50
10	48	49	51	50	52	54
11	50	27	54	54	48	52
12	49	48	52	30	53	60
13	50	52	51	60	56	46
14	51	48	60	52	52	49
15	50	52	42	56	52	42

PERIODO DE MADURACION						
TRATAMIENTO RP2						
N° GOTERO	HILERA					
	1		2		3	
	I	D	I	D	I	D
1		48	46			50
2	62			58	55	
3		59	59			49
4	50			60	51	
5		51	50			55
6	54			53	54	
7		58	49			52
8	60			60	50	
9		54	39			49
10	58			55	53	
11		60	51			50
12	52			52	54	
13		58	58			57
14	56			58	51	
15		48	64			
16						

TRATAMIENTO T						
N° GOTERO	HILERA					
	1		2		3	
	I	D	I	D	I	D
1	38		39		48	
2	50		53		45	
3	48		46		42	
4	48		46		45	
5	52		38		46	
6	46		46		30	
7	48		44		40	
8	52		45		45	
9	44		42		44	
10	50		44		45	
11	52		50		43	
12	52		50		46	
13	38		48		46	
14	48		46		52	

TRATAMIENTO RP						
N° GOTERO	HILERA					
	1		2		3	
	I	D	I	D	I	D
1	47	40	38	34	46	44
2	49	38	36	34	44	48
3	36	51	45	44	45	35
4	48	41	44	43	40	45
5	46	50	46	50	38	46
6	45	47	43	47	49	40
7	45	42	47	46	47	46
8	40	46	45	43	51	45
9	45	42	52	45	45	46
10	46	36	54	44	50	45
11	45	45	51	60	48	46
12	47	44	45	45	45	45
13	46	35	45	57	52	53
14	46	45	50	45	38	45
15	44	48	47	38	38	50
16			46	46	46	46

TRATAMIENTO RP1						
N° GOTERO	HILERA					
	1		2		3	
	I	D	I	D	I	D
1	46	48	44	53	45	48
2	45	50	51	53	52	51
3	52	52	52	50	46	55
4	48	50	47	52	50	54
5	52	52	43	32	52	56
6	55	51	40	58	50	52
7	48	48	51	56	50	52
8	50	52	40	58	52	40
9	52	52	54		45	50
10	48	49	51	50	52	54
11	50	40	54	54	48	52
12	49	48	52	30	53	60
13	50	52	51	60	56	46
14	51	48	60	52	52	49
15	50	52	42	56	52	42

Anexo 7: Formato de llenado de prueba de CU (L/hr) por periodo.

PERIODO DE EMERGENCIA						
TRATAMIENTO RP1						
N° GOTERO	HILERA					
	1		2		3	
	I	D	I	D	I	D
1	2.91	3.06	2.88	2.64	2.79	3.06
2	2.94	3	2.94	2.94	2.73	3
3	3.24	2.94	2.55	3	2.85	2.7
4	2.79	2.91	2.58	2.88	2.85	2.94
5	2.82	2.55	2.67	3.18	2.67	2.88
6	2.73	3.06	2.76	2.7	2.58	2.85
7	2.73	2.58	2.85	3.12	2.58	2.64
8	2.7	2.64	3.21	3.06	2.61	2.94
9	3	3	3.12	2.94	3.09	3.06
10	2.52	3.06	2.67	2.67	1.65	3.18
11	2.67	2.88	2.61	2.88	2.79	2.64
12	2.94	2.91	2.67	2.94	2.97	2.88
13	2.76	2.76	2.55	2.85	2.94	2.82
14	3.21	2.82	3.09	2.61	2.67	2.94
15	2.94	2.94	3.15	2.94	2.25	2.58
16	2.94	2.55	3.24	3	2.7	2.94

TRATAMIENTO RP2						
N° GOTERO	HILERA					
	1		2		3	
	I	D	I	D	I	D
1	3.189	0	3.39	0	3.57	0
2	0	3.3	0	2.97	0	3.12
3	3.18	0	3.06	0	3.18	0
4	0	3.588	0	3.09	0	3.45
5	3.39	0	3.39	0	3.15	0
6	0	3.15	0	3.24	0	2.97
7	2.22	0	3.54	0	3.06	0
8	0	3.57	0	3.3	0	3.09
9	3.42	0	3.21	0	2.97	0
10	0	3.12	0	3	0	2.94
11	3.36	0	3.24	0	2.55	0
12	0	3.3	0	2.22	0	3.09

TRATAMIENTO RP2						
N° GOTERO	HILERA					
	1		2		3	
	I	D	I	D	I	D
13	3.06	0	3.24	0	3	0
14	0	3.27	0	3.36	0	3
15	3.09	0	2.91	0	3.09	0
16	0	2.94	0	3	0	2.85

TRATAMIENTO T						
N° GOTERO	HILERA					
	1		2		3	
	I	D	I	D	I	D
1	2.91	0	2.88	0	2.79	0
2	2.94	0	2.94	0	2.73	0
3	3.24	0	2.55	0	2.85	0
4	2.79	0	2.58	0	2.85	0
5	2.82	0	2.67	0	2.67	0
6	2.73	0	2.76	0	2.58	0
7	2.73	0	2.85	0	2.58	0
8	2.7	0	3.21	0	2.61	0
9	3	0	3.12	0	3.09	0
10	2.52	0	2.67	0	1.65	0
11	2.67	0	2.61	0	2.79	0
12	2.94	0	2.67	0	2.97	0
13	2.76	0	2.55	0	2.94	0
14	3.21	0	3.09	0	2.67	0
15	2.94	0	3.15	0	2.25	0
16	2.94	0	3.24	0	2.7	0

TRATAMIENTO RP						
N° GOTERO	HILERA					
	1		2		3	
	I	D	I	D	I	D
1	3.189	3	3.39	3.06	3.57	3.24
2	3	3.3	3.3	2.97	3.18	3.12
3	3.18	3.06	3.24	3.06	3.18	3.18
4	3.12	3.24	3.18	3.09	3.18	3.45

TRATAMIENTO RP						
N° GOTERO	HILERA					
	1		2		3	
	I	D	I	D	I	D
5	3.39	3.18	3.39	3	3.15	3.18
6	2.94	3.15	3.18	3.24	3.12	2.97
7	2.22	3.12	3.54	3	3.06	2.94
8	3.18	3.57	2.94	3.3	3.12	3.09
9	3.42	3.12	3.21	3.12	2.97	2.94
10	3.24	3.12	2.94	3	3.06	2.94
11	3.36	3.24	3.24	3.24	2.55	3.06
12	3.18	3.3	3.12	2.22	3.18	3.09
13	3.06	2.94	3.24	3.24	3	3.12
14	3.12	3.27	3.24	3.36	3.12	3
15	3.09	2.94	2.91	3.18	3.09	3.18
16	3.12	2.94	3.06	3	3.06	2.85

PERIODO DE TUBERIZACION						
TRATAMIENTO RP2						
N° GOTERO	HILERA					
	1		2		3	
	I	D	I	D	I	D
1	2.82	0	2.7	0	2.04	0
2	0	2.4	0	2.82	0	2.28
3	2.1	0	2.76	0	2.4	0
4	0	2.88	0	2.52	0	2.94
5	2.82	0	2.76	0	2.82	0
6	0	2.7	0	2.52	0	2.82
7	2.88	0	3.06	0	2.82	0
8	0	3.06	0	2.58	0	2.76
9	2.76	0	2.64	0	2.76	0
10	0	2.7	0	2.58	0	2.76
11	2.94	0	2.1	0	2.52	0
12	0	2.64	0	2.46	0	2.46
13	2.82	0	3.3	0	2.82	0
14	0	2.94	0	2.64	0	2.94
15	2.46	0	2.94	0	3.12	0
16	0	2.76	0	2.34	0	3.3

TRATAMIENTO T						
N° GOTERO	HILERA					
	1		2		3	
	I	D	I	D	I	D
1	2.7	0	2.88	0	2.88	0
2	2.28	0	2.76	0	2.34	0
3	2.7	0	2.4	0	3	0
4	2.82	0	2.88	0	2.76	0
5	2.52	0	2.52	0	2.22	0
6	2.16	0	2.52	0	2.7	0
7	2.7	0	2.64	0	2.64	0
8	2.76	0	2.28	0	2.52	0
9	2.82	0	2.58	0	2.76	0
10	2.46	0	2.46	0	2.1	0
11	2.28	0	2.88	0	2.52	0
12	2.52	0	2.7	0	2.52	0
13	2.58	0	2.28	0	2.52	0
14	2.64	0	2.88	0	2.46	0
15	2.16	0	2.88	0	1.92	0
16	2.7	0	2.04	0	2.46	0

TRATAMIENTO RP						
N° GOTERO	HILERA					
	1		2		3	
	I	D	I	D	I	D
1	2.76	2.58	2.58	2.7	2.46	2.46
2	2.82	2.28	2.1	2.58	0.42	2.58
3	2.4	2.7	2.58	2.76	2.64	2.64
4	2.82	2.64	2.1	2.76	2.58	2.64
5	2.76	2.76	2.88	2.7	2.58	2.7
6	2.64	3.06	2.88	2.76	2.58	2.7
7	2.64	2.94	2.76	2.28	3.18	2.7
8	2.64	2.88	2.7	2.64	2.94	2.76
9	2.76	2.88	2.82	2.22	2.52	2.52
10	3.36	2.88	2.7	3	2.64	3
11	2.7	2.52	2.7	2.7	2.58	3.06
12	2.28	2.64	2.52	2.52	2.94	2.52
13	2.52	2.76	2.58	2.82	2.52	2.58
14	2.7	2.82	2.7	3.06	2.58	2.58
15	2.7	2.76	2.7	2.64	2.7	2.76

TRATAMIENTO RP1						
N° GOTERO	HILERA					
	1		2		3	
	I	D	I	D	I	D
1	2.76	2.58	2.58	2.7	2.46	2.46
2	2.82	2.28	2.58	2.58	0.42	2.58
3	2.58	2.7	2.58	2.76	2.64	2.64
4	2.82	2.64	2.58	2.76	2.58	2.64
5	2.76	2.76	2.88	2.7	2.58	2.7
6	2.64	3.06	2.88	2.76	2.58	2.7
7	2.64	2.94	2.76	2.52	3.18	2.7
8	2.64	2.88	2.7	2.64	2.94	2.76
9	2.76	2.88	2.82	2.22	2.52	2.52
10	3.36	2.88	2.7	3	2.64	3
11	2.7	2.52	2.7	2.7	2.58	3.06
12	2.4	2.64	2.52	2.52	2.94	2.52
13	2.52	2.76	2.58	2.82	0.6	2.58
14	2.7	2.82	2.7	3.06	2.58	2.58
15	2.7	2.76	2.7	2.64	2.7	2.76
16	2.82	2.52	2.64	2.7	2.64	2.88

PERIODO DE DESARROLLO						
TRATAMIENTO RP2						
N° GOTERO	HILERA					
	1		2		3	
	I	D	I	D	I	D
1	0	3	2.52	0	0	2.52
2	3.6	0	0	3.72	3.72	0
3	0	2.94	3.54	0	0	3.54
4	3.06	0	0	3.6	3	0
5	0	3.3	3	0	0	3.06
6	3.24	0	0	3.18	3.24	0
7	0	3.12	2.94	0	0	3.48
8	3	0	0	3.6	3.6	0
9	0	2.94	2.34	0	0	3.24
10	3.18	0	0	3.3	3.48	0
11	0	3	3.06	0	0	3.6
12	3.36	0	0	3.48	3.12	0
13	0	3.42	3.48	0	0	3.48
14	3.06	0	0	3.48	3.36	0

TRATAMIENTO T						
N° GOTERO	HILERA					
	1		2		3	
	I	D	I	D	I	D
1	2.64	0	2.7	0	2.88	0
2	3	0	3.18	0	2.7	0
3	3.48	0	2.76	0	2.52	0
4	2.88	0	2.76	0	2.7	0
5	3.12	0	2.7	0	2.76	0
6	2.76	0	2.76	0	2.64	0
7	2.88	0	2.64	0	2.64	0
8	3.12	0	2.7	0	2.7	0
9	2.64	0	2.52	0	2.64	0
10	3	0	2.64	0	2.7	0
11	3.12	0	3	0	2.58	0
12	3.12	0	3	0	2.76	0
13	2.52	0	3.12	0	2.76	0
14	2.88	0	2.76	0	3.12	0
15	2.88	0	3	0	3	0
16	2.7	0	2.88	0	2.64	0

TRATAMIENTO RP						
N° GOTERO	HILERA					
	1		2		3	
	I	D	I	D	I	D
1	2.82	2.4	2.52	2.52	2.76	2.64
2	2.94	2.28	2.52	2.52	2.64	2.88
3	2.52	3.06	2.7	2.64	2.7	2.1
4	2.88	2.46	2.64	2.58	2.4	2.7
5	2.76	3	2.76	3	2.28	2.76
6	2.7	2.82	2.58	2.82	2.94	2.58
7	2.7	2.52	2.82	2.76	2.82	2.76
8	2.52	2.76	2.7	2.58	3.06	2.7
9	2.7	2.52	3.12	2.7	2.7	2.76
10	2.76	2.16	3.24	2.64	3	2.7
11	2.7	2.7	3.06	3.6	2.88	2.76
12	2.82	2.64	2.7	2.7	2.7	2.7
13	2.76	2.22	2.7	3.42	3.12	3.18
14	2.76	2.7	3	2.7	2.28	2.7
15	2.64	2.88	2.82	2.52	2.76	3

TRATAMIENTO RP1						
N° GOTERO	HILERA					
	1		2		3	
	I	D	I	D	I	D
1	2.76	2.88	2.64	3.18	2.7	2.88
2	2.7	3	3.06	3.18	3.12	3.06
3	3.12	3.12	3.12	3	2.76	3.3
4	2.88	3	2.82	3.12	3	3.24
5	3.12	3.12	2.58	1.92	3.12	3.36
6	3.3	3.06	0.84	3.48	3	3.12
7	2.88	2.88	3.06	3.36	3	3.12
8	3	3.12	2.4	3.48	3.12	1.92
9	3.12	3.12	3.24	0	2.7	3
10	2.88	2.94	3.06	3	3.12	3.24
11	3	1.62	3.24	3.24	2.88	3.12
12	2.94	2.88	3.12	1.8	3.18	3.6
13	3	3.12	3.06	3.6	3.36	2.76
14	3.06	2.88	3.6	3.12	3.12	2.94
15	3	3.12	2.52	3.36	3.12	2.52
16	3.3	2.82	0	3.36	3	0

PERIODO DE MADURACION						
TRATAMIENTO RP2						
N° GOTERO	HILERA					
	1		2		3	
	I	D	I	D	I	D
1	0	2.88	2.76	0	0	3
2	3.72	0	0	3.48	3.3	0
3	0	3.54	3.54	0	0	2.94
4	3	0	0	3.6	3.06	0
5	0	3.06	3	0	0	3.3
6	3.24	0	0	3.18	3.24	0
7	0	3.48	2.94	0	0	3.12
8	3.6	0	0	3.6	3	0
9	0	3.24	2.34	0	0	2.94
10	3.48	0	0	3.3	3.18	0
11	0	3.6	3.06	0	0	3
12	3.12	0	0	3.12	3.24	0
13	0	3.48	3.48	0	0	3.42
14	3.36	0	0	3.48	3.06	0

TRATAMIENTO T						
N° GOTERO	HILERA					
	1		2		3	
	I	D	I	D	I	D
1	2.28	0	2.34	0	2.88	0
2	3	0	3.18	0	2.7	0
3	2.88	0	2.76	0	2.52	0
4	2.88	0	2.76	0	2.7	0
5	3.12	0	2.28	0	2.76	0
6	2.76	0	2.76	0	1.8	0
7	2.88	0	2.64	0	2.4	0
8	3.12	0	2.7	0	2.7	0
9	2.64	0	2.52	0	2.64	0
10	3	0	2.64	0	2.7	0
11	3.12	0	3	0	2.58	0
12	3.12	0	3	0	2.76	0
13	2.28	0	2.88	0	2.76	0
14	2.88	0	2.76	0	3.12	0
15	2.88	0	3	0	3	0
16	2.7	0	2.88	0	2.64	0

TRATAMIENTO RP						
N° GOTERO	HILERA					
	1		2		3	
	I	D	I	D	I	D
1	2.82	2.4	2.28	2.04	2.76	2.64
2	2.94	2.28	2.16	2.04	2.64	2.88
3	2.16	3.06	2.7	2.64	2.7	2.1
4	2.88	2.46	2.64	2.58	2.4	2.7
5	2.76	3	2.76	3	2.28	2.76
6	2.7	2.82	2.58	2.82	2.94	2.4
7	2.7	2.52	2.82	2.76	2.82	2.76
8	2.4	2.76	2.7	2.58	3.06	2.7
9	2.7	2.52	3.12	2.7	2.7	2.76
10	2.76	2.16	3.24	2.64	3	2.7
11	2.7	2.7	3.06	3.6	2.88	2.76
12	2.82	2.64	2.7	2.7	2.7	2.7
13	2.76	2.1	2.7	3.42	3.12	3.18
14	2.76	2.7	3	2.7	2.28	2.7
15	2.64	2.88	2.82	2.28	2.28	3

TRATAMIENTO RP1						
N° GOTERO	HILERA					
	1		2		3	
	I	D	I	D	I	D
1	2.76	2.88	2.64	3.18	2.7	2.88
2	2.7	3	3.06	3.18	3.12	3.06
3	3.12	3.12	3.12	3	2.76	3.3
4	2.88	3	2.82	3.12	3	3.24
5	3.12	3.12	2.58	1.92	3.12	3.36
6	3.3	3.06	2.4	3.48	3	3.12
7	2.88	2.88	3.06	3.36	3	3.12
8	3	3.12	2.4	3.48	3.12	2.4
9	3.12	3.12	3.24	0	2.7	3
10	2.88	2.94	3.06	3	3.12	3.24
11	3	2.4	3.24	3.24	2.88	3.12
12	2.94	2.88	3.12	1.8	3.18	3.6
13	3	3.12	3.06	3.6	3.36	2.76
14	3.06	2.88	3.6	3.12	3.12	2.94
15	3	3.12	2.52	3.36	3.12	2.52
16	3.3	2.82	0	3.36	3	0

Anexo 8: Cálculo del coeficiente de uniformidad por periodo.

PERIODO DE EMERGENCIA			
DESARROLLO DE CU - RP2			
q25	Suma(qb)	33.54	2.80
	nb	12	
qa	suma(q)	150.387	3.13
	n	48	
CU	89.21%		

DESARROLLO DE CU - T			
q25	Suma(qb)	29.82	2.49
	nb	12	
qa	suma(q)	134.1	2.79
	n	48	

DESARROLLO DE CU - T	
CU	88.95%

DESARROLLO DE CU - RP			
q25	Suma(qb)	69.12	2.88
	nb	24	
qa	suma(q)	299.439	3.12
	n	96	
CU	92.33%		

DESARROLLO DE CU - RP1			
q25	Suma(qb)	61.32	2.56
	nb	24	
qa	suma(q)	272.16	2.84
	n	96	
CU	90.12%		

PERIODO DE TUBERIZACION			
DESARROLLO DE CU - RP2			
q25	Suma(qb)	28.2	2.35
	nb	12	
qa	suma(q)	129.96	2.71
	n	48	
cu	86.80%		

DESARROLLO DE CU - T			
q25	Suma(qb)	26.46	2.21
	nb	12	

DESARROLLO DE CU - T			
qa	suma(q)	122.7	2.56
	n	48	
cu 86.26%			

DESARROLLO DE CU - RP			
q25	Suma(qb)	56.64	2.36
	nb	24	
qa	suma(q)	255.3	2.66
	n	96	
cu 88.74%			

DESARROLLO DE CU - RP1			
q25	Suma(qb)	58.14	2.42
	nb	24	
qa	suma(q)	254.88	2.66
	n	96	
cu 91.24%			

PERIODO DE DESARROLLO			
DESARROLLO DE CU - RP2			
q25	Suma(qb)	30.9	2.81
	nb	11	
qa	suma(q)	142.44	3.24
	n	44	
cu 86.77%			

DESARROLLO DE CU - T			
q25	Suma(qb)	31.38	2.62
	nb	12	
qa	suma(q)	135.6	2.83
	n	48	
cu	92.57%		

DESARROLLO DE CU - RP			
q25	Suma(qb)	56.22	2.44
	nb	23	
qa	suma(q)	256.68	2.67
	n	96	
cu	91.42%		

DESARROLLO DE CU - RP1			
q25	Suma(qb)	57.18	2.49
	nb	23	
qa	suma(q)	276.78	2.88
	n	96	
cu	86.23%		

PERIODO DE MADURACION			
DESARROLLO DE CU - RP2			
q25	Suma(qb)	31.68	2.88
	nb	11	
qa	suma(q)	142.2	3.23
	n	44	
cu	89.11%		

DESARROLLO DE CU - T			
q25	Suma(qb)	28.92	2.41
	nb	12	
qa	suma(q)	132.3	2.76
	n	48	
cu	87.44%		

DESARROLLO DE CU - RP			
q25	Suma(qb)	53.64	2.33
	nb	23	
qa	suma(q)	253.62	2.64
	n	96	
cu	88.28%		

DESARROLLO DE CU - RP1			
q25	Suma(qb)	60	2.61
	nb	23	
qa	suma(q)	279.6	2.91
	n	96	
cu	89.57%		

Anexo 9: Forma y dimensión del bulbo húmedo por periodo vegetativo.



Anexo 10: Aporque trapecial por cada tratamiento.



Anexo 11: Resultados de radios y profundidades por cada tratamiento y replica para el periodo de emergencia.

PERIODO EN EMERGENCIA		
Radio	Disposición Emisor	Tipo Riego
14.5	1	1
14.75	2	1
17	1	2
18	2	2
15	1	1
16	2	1
18	1	2
17	2	2
15.38	1	1
15.4	2	1
20	1	2
18.4	2	2
16	1	1
14.8	2	1
18.5	1	2
17.5	2	2
15.2	1	1
13.8	2	1
18	1	2
18	2	2

Profundidad	Disposición Emisor	Tipo Riego
25	1	1
31.5	2	1
28	1	2
30	2	2
24	1	1
26	2	1
30	1	2

Profundidad	Disposición Emisor	Tipo Riego
27.5	2	2
26.5	1	1
25	2	1
34	1	2
28	2	2
28	1	1
27	2	1
32	1	2
28	2	2
27	1	1
24	2	1
31	1	2
29	2	2

Anexo 12: Resultados de radios y profundidades por cada tratamiento y replica para el periodo de tuberización.

Radio	Disposición Emisor	Tipo Riego
17	1	1
14.38	2	1
17.5	1	2
16	2	2
18	1	1
16	2	1
16.8	1	2
14.25	2	2
16.88	1	1
16	2	1
18	1	2
15	2	2
16	1	1
16.5	2	1
17	1	2
18	2	2
17.4	1	1
17	2	1
18	1	2

Profundidad	Disposición Emisor	Tipo Riego
26	1	1
27.5	2	1
28	1	2
27	2	2
26.5	1	1
28.5	2	1
26.5	1	2
28	2	2
27.5	1	1
26	2	1
30	1	2
28	2	2
28	1	1
29	2	1
25	1	2
29	2	2
27	1	1
26.5	2	1
28	1	2
26	2	2

Anexo 13: Resultados de radios y profundidades por cada tratamiento y replica para el periodo de desarrollo.

Radio	Disposición Emisor	Tipo Riego
19	1	1
14.75	2	1
17.5	1	2
14.5	2	2
18	1	1
16	2	1
18	1	2
15	2	2
16.88	1	1
15	2	1

Radio	Disposición Emisor	Tipo Riego
17	1	2
16	2	2
18	1	1
14.8	2	1
19	1	2
17.5	2	2
20	1	1
17	2	1
18	1	2
16	2	2

Profundidad	Disposición Emisor	Tipo Riego
29	1	1
30	2	1
26	1	2
30	2	2
27.8	1	1
32	2	1
30	1	2
28	2	2
27.5	1	1
28	2	1
28	1	2
32	2	2
30	1	1
30	2	1
25	1	2
29	2	2
26	1	1
32	2	1
29	1	2
29	2	2

Anexo 14: Resultados de radios y profundidades por cada tratamiento y replica para el periodo de maduración.

Radio	Disposición Emisor	Tipo Riego
14.5	1	1
12.5	2	1
18	1	2
16.5	2	2
15	1	1
16	2	1
20.75	1	2
15	2	2
14	1	1
14	2	1
18.4	1	2
16.5	2	2
14	1	1
14.8	2	1
17.5	1	2
16.5	2	2
15.2	1	1
14	2	1
18	1	2
16	2	2

Profundidad	Disposición Emisor	Tipo Riego
24	1	1
22.5	2	1
28	1	2
30	2	2
25	1	1
25	2	1
30	1	2
27.5	2	2
20	1	1
24	2	1

Profundidad	Disposición Emisor	Tipo Riego
32	1	2
26	2	2
25	1	1
20	2	1
30	1	2
28	2	2
24	1	1
22	2	1
28	1	2
29	2	2