

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**“EFECTO DEL RIEGO INTERMITENTE EN EL RENDIMIENTO
DEL CULTIVO DE PAPA (*Solanum tuberosum* L.) VARIEDAD UNICA”**

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

EDGAR EDUARDO GIRALDO VICENTE

LIMA – PERÚ

2019

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

**“EFECTO DEL RIEGO INTERMITENTE EN EL RENDIMIENTO DEL
CULTIVO DE PAPA (*Solanum Tuberosum L.*) VARIEDAD UNICA”**

TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE:

INGENIERO AGRÍCOLA

Presentado por:

BACH. EDGAR EDUARDO GIRALDO VICENTE

Sustentado y aprobado por el siguiente jurado:

Ing. ANTONIO CELESTINO ENCISO GUTIÉRREZ
Presidente

Ing. JAVIER ANTONIO GOICOCHEA RÍOS
Miembro

Mg. Sc. ROLANDO PERCY EGÚSQUIZA BAYONA
Miembro

Mg. Sc. MIGUEL ANGEL SÁNCHEZ DELGADO
Asesor

LIMA – PERU

2019

DEDICATORIA

La presente investigación va dedicado a mis padres Marcial y Crecencia

A mis hermanos porque me inspiraron a superarme cada día

En memoria de mis abuelos y mi tierra Ancash

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme fuerzas y esperanza en todo momento
de mi formación como profesional.

A mi familia que siempre ha sido lugar de apoyo y ejemplo.

A la Universidad Nacional Agraria la Molina por ser
lugar de desarrollo y conocimiento.

A mi patrocinador Mg.Sc. Miguel Sánchez Delgado
por su amplia paciencia y apoyo.

A mis amigos que de una u otra manera fueron parte
de la realización de este proyecto.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN

ABSTRACT

Pág.

| | |
|---|----------|
| I. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1 Objetivo general..... | 2 |
| 1.2 Objetivos específicos | 2 |
| II. REVISIÓN DE LITERATURA | 3 |
| 2.1 Riego por gravedad | 3 |
| 2.2 Riego continuo | 3 |
| 2.2.1 Fases del riego continuo | 4 |
| 2.3 Riego intermitente..... | 5 |
| 2.3.1 Antecedentes..... | 5 |
| 2.3.2 Descripción general | 6 |
| 2.3.3 Procesos físicos durante el riego | 7 |
| 2.4 Ventajas y desventajas del sistema de riego intermitente..... | 8 |
| 2.4.1 Tiempo de avance más rápido | 9 |
| 2.4.2 Disminución del tiempo de infiltración | 9 |
| 2.4.3 Mayores eficiencias de aplicación..... | 10 |
| 2.4.4 Reducción de la erosión..... | 10 |
| 2.4.5 Bajo requerimiento energético..... | 11 |
| 2.4.6 Adaptación a diversos campos y cultivo | 11 |
| 2.4.7 Aplicación del fertirriego..... | 11 |
| 2.4.8 Bajos costos de inversión, mantenimiento y operación..... | 12 |
| 2.4.9 Desventajas del riego intermitente | 13 |
| 2.5 Planificación del proyecto de riego intermitente | 13 |

| | | |
|-------------|--|-----------|
| 2.6 | Rendimiento del cultivo “función de producción” | 14 |
| 2.7 | Diseño del sistema de riego intermitente | 15 |
| 2.7.1 | Topografía | 15 |
| 2.7.2 | Características del campo | 17 |
| 2.7.3 | Fuente de agua | 18 |
| 2.7.4 | Tipo de suelo | 18 |
| 2.7.5 | Clima | 19 |
| 2.7.6 | Cultivo | 20 |
| 2.8 | Diseño hidráulico del sistema de riego intermitente..... | 22 |
| 2.8.1 | Descripción del sistema | 22 |
| 2.8.2 | Tubería de bambú | 26 |
| 2.9 | Adaptaciones del riego intermitente | 27 |
| 2.10 | Papa (<i>Solanum tuberosum</i>) variedad UNICA..... | 28 |
| 2.11 | Etapas fisiológicas de la papa | 29 |
| 2.11.1 | Brotación | 29 |
| 2.11.2 | Crecimiento | 29 |
| 2.11.3 | Floración..... | 30 |
| 2.11.4 | Crecimiento de estolones..... | 30 |
| 2.11.5 | Tuberización | 31 |
| III. | MATERIALES Y MÉTODOS..... | 32 |
| 3.1 | Ubicación del proyecto | 32 |
| 3.1.1 | Características del suelo | 33 |
| 3.1.2 | Características del agua de riego | 34 |
| 3.1.3 | Clima | 35 |
| 3.2 | Materiales, equipos y herramientas | 36 |
| 3.3 | Metodología de la investigación | 37 |
| 3.3.1 | Sistema de riego | 37 |

| | | |
|------------|--|-----------|
| 3.3.2 | Preparación del terreno | 38 |
| 3.3.3 | Diseño y disposición experimental..... | 38 |
| 3.3.4 | Tratamientos | 41 |
| 3.4 | Diseño y pruebas de campo | 42 |
| 3.4.1 | Preparación del terreno..... | 42 |
| 3.4.2 | Pruebas de campo | 43 |
| 3.4.3 | Diseño agronómico..... | 45 |
| 3.4.4 | Operación del sistema de riego intermitente | 47 |
| 3.5 | Labores del cultivo..... | 47 |
| 3.5.1 | Curado de la semilla | 47 |
| 3.5.2 | Preparación del terreno | 48 |
| 3.5.3 | Siembra..... | 48 |
| 3.5.4 | Aporque | 48 |
| 3.5.5 | Control de malezas | 49 |
| 3.5.6 | Fertilización | 49 |
| 3.5.7 | Riegos | 50 |
| 3.5.8 | Cosecha..... | 50 |
| 3.6 | Evaluaciones durante la cosecha..... | 50 |
| 3.7 | Diseño experimental del cultivo | 51 |
| 3.7.1 | Bloques completamente al azar | 52 |
| IV. | RESULTADOS..... | 53 |
| 4.1 | Resultados de las características del suelo..... | 53 |
| 4.1.1 | Características hídricas del suelo..... | 53 |
| 4.1.2 | Densidad aparente..... | 53 |
| 4.1.3 | Pruebas de riego de infiltración, avance y recesión del agua | 54 |
| 4.2 | Resultados del diseño agronómico | 57 |
| 4.2.1 | Caudal máximo no erosivo | 57 |

| | | |
|--------------|---|------------|
| 4.2.2 | Lámina neta y frecuencia de riego..... | 58 |
| 4.3 | Evaluación del cultivo de papa | 59 |
| 4.3.1 | Porcentaje de emergencia | 59 |
| 4.3.2 | Altura del cultivo | 60 |
| 4.3.3 | Tallos y hojas..... | 60 |
| 4.4 | Evaluación del riego | 64 |
| 4.4.1 | Tiempos de apertura y cierre de las compuertas..... | 64 |
| 4.4.2 | Pruebas de avance registradas | 64 |
| 4.4.3 | Contenido de humedad en el suelo | 65 |
| 4.5 | Volumen de agua aplicado..... | 70 |
| 4.5.1 | Volumen de agua por evento de riego | 70 |
| 4.5.2 | Lámina de riego | 71 |
| 4.5.3 | Distribución del volumen de agua aplicado | 75 |
| 4.5.4 | Volumen total aplicado..... | 77 |
| 4.6 | Eficiencia de aplicación de riego | 78 |
| 4.6.1 | Eficiencia de aplicación según lámina aplicada | 78 |
| 4.6.2 | Eficiencia de aplicación según perfil de humedecimiento | 81 |
| 4.7 | Cosecha..... | 85 |
| 4.7.1 | Rendimiento total del cultivo | 85 |
| 4.7.2 | Análisis estadístico de la producción del cultivo | 86 |
| 4.7.3 | Número de tubérculos..... | 88 |
| 4.7.4 | Peso de tubérculos | 90 |
| V. | CONCLUSIONES | 94 |
| VI. | RECOMENDACIONES | 95 |
| VII. | BIBLIOGRAFÍA | 96 |
| VIII. | ANEXOS | 100 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1: Características de los sistemas de riego por escurrimiento superficial. | 16 |
| Tabla 2: Particularidades de los métodos de riego por escurrimiento superficial. | 17 |
| Tabla 3: Largo y caudal máximo recomendado. | 18 |
| Tabla 4: Coeficiente de cultivo de papa. | 21 |
| Tabla 5: Número de ciclos de avance de acuerdo al tipo de suelo y longitud. | 24 |
| Tabla 6: Características de la parcela. | 32 |
| Tabla 7: Características físico - químicas del suelo. | 33 |
| Tabla 8: Características físico - químicas del agua. | 34 |
| Tabla 9: Datos climatológicos en los meses del cultivo. | 36 |
| Tabla 10: Materiales, equipos e insumos utilizados. | 36 |
| Tabla 11: Valores de constantes según la textura del suelo. | 45 |
| Tabla 12: Factores de corrección para cada tipo de suelo. | 46 |
| Tabla 13: Distanciamiento para la siembra de papa. | 48 |
| Tabla 14: Clasificación de los tubérculos de papa según calibres. | 51 |
| Tabla 15: Referencia para el número de repeticiones. | 52 |
| Tabla 16: Densidad aparente de cada estrato. | 54 |
| Tabla 17: Función de infiltración y avance. | 54 |
| Tabla 18: Diseño del caudal. | 57 |
| Tabla 19: Lámina neta y frecuencia de riego. | 58 |
| Tabla 20: Altura de plantas por tratamiento. | 60 |
| Tabla 21: Número promedio de tallos y hojas. | 60 |
| Tabla 22: Análisis de varianza del número de hojas. | 61 |
| Tabla 23: Análisis de varianza del número de tallos. | 63 |
| Tabla 24: Agrupación según laprueba de Tukey para número de tallos | 63 |
| Tabla 25: Tiempo de avance del riego intermitente. | 64 |
| Tabla 26: Contenido de humedad gravimétrica - riego intermitente. | 66 |
| Tabla 27: Contenido de humedad gravimétrica - riego continuo. | 67 |
| Tabla 28: Eventos de riego y lámina aplicada. | 71 |

| | |
|---|----|
| Tabla 29: Distribución de la lámina de agua aplicada por pulsos - séptimo riego. | 72 |
| Tabla 30: Tiempo de avance por tramos del surco - séptimo riego. | 73 |
| Tabla 31: Distribución del volumen de agua aplicado en el riego continuo. | 75 |
| Tabla 32: Distribución del volumen de agua aplicado en el riego intermitente. | 76 |
| Tabla 33: Volúmenes totales de agua aplicados. | 77 |
| Tabla 34: Eficiencia de aplicación del riego intermitente. | 79 |
| Tabla 35: Eficiencia de aplicación del riego continuo. | 80 |
| Tabla 36: Eficiencia de aplicación a partir del perfil de humedecimiento (R.C.) | 83 |
| Tabla 37: Eficiencia de aplicación a partir del perfil de humedecimiento (R.I.) | 84 |
| Tabla 38: Producción según tratamiento. | 85 |
| Tabla 39: Análisis de varianza de la producción por bloques. | 87 |
| Tabla 40: Análisis de varianza del número de tubérculos. | 90 |
| Tabla 41: Análisis de varianza del peso de tubérculos. | 92 |
| Tabla 42: Comparación de medias entre los pesos de los calibres por tratamiento. | 93 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1: Distribución de la lámina aplicada en el riego continuo. | 4 |
| Figura 2: Tiempo de oportunidad a partir de curvas de avance y recesión. | 5 |
| Figura 3: Fase de avance del riego intermitente. | 7 |
| Figura 4: Fase de remojo del riego intermitente. | 7 |
| Figura 5: Saturación del suelo durante el riego. | 8 |
| Figura 6: Función de producción según el agua aplicada. | 14 |
| Figura 7: Curva típica del factor de cultivo (Kc). | 21 |
| Figura 8: Desnivel necesario para el funcionamiento del sistema de riego. | 23 |
| Figura 9: Distribución de las tuberías en el terreno. | 24 |
| Figura 10: Tubería de conducción de bambú. | 28 |
| Figura 11: Tipos de crecimiento de la papa según su variedad. | 30 |
| Figura 12: Croquis de la ubicación del proyecto. | 32 |
| Figura 13: Diagrama de Piper de la caracterización de agua. | 35 |
| Figura 14: Línea de conducción del sistema de riego | 37 |
| Figura 15: Distribución de los bloques en el campo experimental. | 38 |
| Figura 16: Dimensiones del campo experimental. | 39 |
| Figura 18: Distribución del cultivo por hilera. | 39 |
| Figura 17: Dimensiones del bloque. | 39 |
| Figura 19: Representación de un tramo del riego continuo. | 40 |
| Figura 20: Aforador Ballofet. | 40 |
| Figura 21: Representación del riego intermitente. | 41 |
| Figura 22: Recolección del volumen de agua por escorrentía. | 41 |
| Figura 23: Preparación de la parcela experimental. | 42 |
| Figura 24: Levantamiento de cotas con el nivel de ingeniero. | 43 |
| Figura 25: Método de los cilindros infiltrómetros. | 43 |
| Figura 26: Prueba de avance y recesión en el campo experimental. | 44 |
| Figura 27: Curva de infiltración. | 55 |

| | |
|---|----|
| Figura 28: Curva de velocidad de infiltración. | 55 |
| Figura 29: Curva de avance. | 56 |
| Figura 30: Curva de recesión. | 56 |
| Figura 31: Porcentaje de emergencia del cultivo. | 59 |
| Figura 32: Diagrama de cajas de la número de hojas promedio. | 61 |
| Figura 33: Diagrama de cajas de la cantidad de tallos promedio. | 62 |
| Figura 34: Curva de avance por pulsos de riego intermitente y continuo. | 65 |
| Figura 35: Porcentaje de humedad gravimétrica - riego intermitente. | 68 |
| Figura 36: Porcentaje de humedad promedio a 30 cm - riego continuo. | 69 |
| Figura 37: Perfil de humedecimiento por pulsos a lo largo del surco - séptimo riego. | 74 |
| Figura 38: Perfil de humedecimiento después del séptimo riego (riego continuo). | 81 |
| Figura 39: Perfil de humedecimiento después del séptimo riego (riego intermitente). | 82 |
| Figura 40: Rendimiento del cultivo por hectárea. | 86 |
| Figura 41: Diagrama de cajas de la producción por tratamiento. | 87 |
| Figura 42: Rendimiento del cultivo por volumen de agua aplicado. | 88 |
| Figura 43: Número de tubérculos por calibre. | 88 |
| Figura 44: Número de tubérculos por calibre. | 89 |
| Figura 45: Peso de tubérculos por calibre. | 91 |
| Figura 46: Pesos de tubérculos según su calibre. | 92 |

ÍNDICE DE ANEXOS

| | |
|---|-----|
| Anexo 1: Análisis de suelo..... | 100 |
| Anexo 2: Análisis de agua..... | 101 |
| Anexo 3: Calendario agrícola..... | 102 |
| Anexo 4: Cuantificación del volumen de agua por escorrentía..... | 104 |
| Anexo 5: Aforamiento del caudal de entrada y salida del riego continuo..... | 105 |
| Anexo 6: Panel fotográfico del cultivo de papa variedad UNICA..... | 106 |
| Anexo 7: Monitoreo del crecimiento de la papa variedad UNICA..... | 107 |
| Anexo 8: Sistema multicompuertas..... | 108 |
| Anexo 9: Clasificación de tubérculos..... | 108 |
| Anexo 10: Número y peso de tubérculos según calibres en los bloques de riego continuo. | 109 |
| Anexo 11: Determinación del área de humedecimiento..... | 111 |
| Anexo 12: Perfil de humedecimiento durante toda la campaña..... | 112 |

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

Acrónimo

| | |
|---------|--|
| CC | Capacidad de Campo |
| CE | Conductividad Eléctrica |
| CIP | Centro Internacional de la Papa |
| Da | Densidad aparente |
| DBCA | Diseño de Bloques Completamente al Azar |
| ETP | Evapotranspiración Potencial |
| FAO | Food and Agriculture Organization |
| FIA | Facultad de Ingeniería Agrícola |
| INIA | Instituto Nacional de Innovación Agraria |
| Kc | Coefficiente de cultivo |
| LASMAF | Laboratorio de Agua, Suelo, Medio Ambiente y Fertirriego |
| Lb | Lamina bruta |
| Ln | Lamina neta |
| MINAGRI | Ministerio de Agricultura y Riego |
| MO | Materia Orgánica |
| pH | Potencial de hidrogeno |
| PMP | Punto de Marchites Permanente |
| PVC | Policloruro de Vinilo |
| RC | Riego Continuo |
| RI | Riego Intermitente |
| SAR | Sodium Adsorption Ratio |
| SENASA | Servicio Nacional de Sanidad Agraria |
| UNALM | Universidad Nacional Agraria la Molina |

RESUMEN

La presente investigación se llevó a cabo en la parcela experimental de la Facultad de Ingeniería Agrícola de la UNALM, durante los meses de junio a octubre del 2017. El objetivo principal fue evaluar el rendimiento y la eficiencia de aplicación de riego en el cultivo de papa variedad UNICA abastecido con un sistema de riego intermitente en comparación al sistema tradicional de riego continuo. Los tratamientos se distribuyeron en dos parcelas de diez bloques cada una, considerando cada una de estas como una repetición y basándose en unos bloques completamente al azar para ambos tratamientos. El riego intermitente consta de dos fases, la primera es la fase de avance donde se humedece el surco mediante pulsos de agua por tramos, saturando el suelo de manera uniforme y rápida, para luego entrar a la fase de remojo donde se abrieron las compuertas por lapsos de tiempo hasta terminar la aplicación de la lámina necesaria para el cultivo; en el riego continuo se abren las compuertas y se espera a que termina el tiempo de riego. En la cosecha se registró el rendimiento del cultivo, número, tamaños y peso por calibre de los tubérculos. El análisis estadístico mostró que existen diferencias significativas entre tratamientos. El rendimiento estimado en las parcelas con riego continuo promedio fue de 33.46 t/ha mientras que en las de riego intermitente fue de 38.51 t/ha lo que indica que este último método de riego tiene una mayor producción del 15.09 por ciento. La eficiencia de aplicación con riego continuo fue 37.22 por ciento y con riego intermitente fue de 72.71 por ciento. Lo que indica un mejor aprovechamiento de agua con el sistema de riego intermitente.

Palabras claves: riego intermitente; riego continuo; papa variedad UNICA; rendimiento; eficiencia de aplicación.

ABSTRACT

The present investigation was carried out in the experimental plot of the Faculty of Agricultural Engineering of the UNALM, during the months of June to October 2017. The main objective was to evaluate the performance and efficiency of irrigation application in potato cultivation UNICA variety supplied with an intermittent irrigation system compared to the traditional continuous irrigation system. The treatments were distributed in two plots of ten blocks each, considering each of these as a repetition and based on completely random blocks for both treatments. The intermittent irrigation consists of two phases, the first is the advance phase where the groove is moistened by pulses of water by sections, saturating the soil evenly and quickly, and then entering the soaking phase where the floodgates were opened by time lapses until the application of the sheet necessary for cultivation is finished; in continuous irrigation the floodgates open and wait for the irrigation time to end. In the crop the crop yield, number, sizes and weight per caliber of the tubers were recorded. Statistical analysis showed that there are significant differences between treatments. The estimated yield in plots with average continuous irrigation was 33.46 t / ha, while in intermittent irrigation plots it was 38.51 t / ha, which indicates that the latter method of irrigation has a greater production of 15.09 percent. The application efficiency with continuous irrigation was 37.22 percent and with intermittent irrigation was 72.71 percent. This indicates a better use of water with the intermittent irrigation system.

Keywords: intermittent irrigation; continuous irrigation; UNICA variety potato; performance; application efficiency

I. INTRODUCCIÓN

La papa es uno de los cuatro cultivos alimenticios más importantes del mundo junto al trigo, arroz y maíz. El Perú es el principal productor de papa en América Latina con 4.6 millones de toneladas, se posicionó en el décimo octavo lugar entre los principales productores de papa a nivel mundial (FAO, 2014).

El agua es el recurso primordial para todo cultivo que se desee producir ya que su deficiencia repercute en el rendimiento y calidad del producto que se cosecha. Por otra parte es el recurso que más escasea en la vertiente del Pacífico de nuestro país, es por esta razón que su uso eficiente es de gran importancia. Se estima que en nuestro país la eficiencia de riego es de aproximadamente 35 por ciento, debido a la falta de mantenimiento en los sistemas de conducción y a la poca eficiencia de aplicación en los riegos por gravedad (MINAGRI, 2004).

El riego intermitente, discontinuo, por pulsos, por etapas, o por su nombre en inglés “*Surge Flow*”, ha surgido en los últimos 40 años como una de las técnicas de mayor eficiencia en el uso del agua de riego. Numerosos trabajos de investigación dan a conocer que este método de riego ocasiona que el frente de agua en el surco avance de forma más rápida, reduciendo la percolación profunda, facilita que las unidades de riego sean más largas y logra una buena uniformidad en la aplicación del agua. El riego intermitente ha revolucionado los sistemas de riego por gravedad, modificando y mejorando radicalmente cada uno de los parámetros que intervienen en el funcionamiento de este sistema.

Por estas razones se experimentó con este método de riego en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum L.*) variedad UNICA con el fin de analizar sus efectos en la producción, la eficiencia de aplicación y la uniformidad de riego, respecto al sistema de riego continuo.

1.1 Objetivo general

Contribuir con el mayor conocimiento de las características y efectos del sistema de riego intermitente.

1.2 Objetivos específicos

- a.** Evaluar el efecto del riego intermitente en el rendimiento del cultivo de papa variedad UNICA en condiciones de costa central.
- b.** Determinar la eficiencia de aplicación del riego intermitente en el cultivo de la papa.
- c.** Determinar la eficiencia de aplicación del riego continuo en el cultivo de la papa.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Riego por gravedad

Vásquez *et al.* (2017), mencionan que en el riego por gravedad, el agua aplicada fluye mediante la gravedad, pendiente del terreno y la carga de agua; esta a su vez se puede aplicar en surcos, melgas o en pozas.

Existen varios métodos de riego por gravedad, pero uno de los más usados es el riego por surcos. Consiste en la canalización de agua, que ingresa por la parte más alta del campo de cultivo, a través de un canal de tierra siguiendo el sentido de la pendiente principal del terreno de cultivo. Conforme avanza el agua por el surco se va infiltrando paulatinamente efectuando el humedecimiento de las raíces, esta velocidad de infiltración dependerá de las características del suelo.

Vásquez *et al.* (2017), señala que se usa el riego por surco cuando se trata de cultivos sembrados en línea (maíz, esparrago, algodón, caña de azúcar, papa, etc.); mientras que en las melgas se utilizan cuando se trata de cultivos que cubren el terreno de un modo continuo (arroz, alfalfa, etc.). Las pozas normalmente se utilizan en los cultivos frutales u otras especies arbóreas.

2.2 Riego continuo

Vásquez *et al.* (2017), afirma que el agua ingresa al surco o melga hasta que llega a su extremo final, donde transcurre un tiempo: tiempo de avance. La cabecera del campo tiene una mayor lámina infiltrada respecto a la parte final de los surcos o melgas, ya que el tiempo de infiltración es mayor. Esta diferencia puede disminuir después que se suspenda el riego, ya que la tasa de infiltración será mayor al final del surco o melga que en la cabecera; además el agua tarda más en infiltrar en el extremo final que en la cabecera (Figura 1).

Fernández (2010), añade que constituye un tipo de riego donde el agua se distribuye por surcos paralelos, de forma que se infiltra por el fondo y costados de los mismos. Aconsejable para los cultivos que son sensibles al encharcamiento, y al sembrarse en la superficie de los surcos se evita mojar el cuello de la planta y evitando que se produzcan ciertas enfermedades.

Miranda y García (2015), manifiestan que se divide en dos fases: avance y recesión. En la fase de avance, el agua recorre toda la longitud del surco, después de haber transcurrido el tiempo para completar la infiltración de la lámina de agua consumida por la evapotranspiración del cultivo desde el riego anterior y el ingreso del agua al surco se interrumpe, comenzando así la fase de recesión.

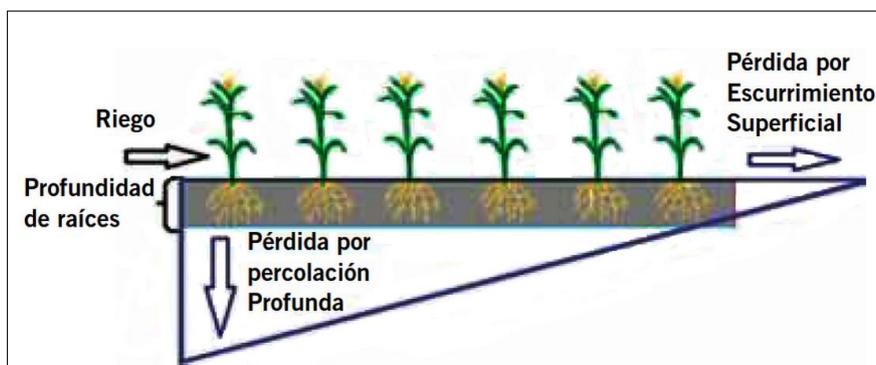


Figura 1: Distribución de la lámina aplicada en el riego continuo.

FUENTE: INIA, 2013

INIA (2013), añade que tradicionalmente en este tipo de riego se utilizan altos caudales, lo cual provoca una mala distribución del agua en la superficie, además de altas pérdidas del recurso, generando eficiencias de aplicación no superiores al 30 por ciento.

2.2.1 Fases del riego continuo

Gurovich (2001), menciona que puede ser dividido en cuatro fases:

- Fase de avance: comienza cuando el agua entra al surco y termina cuando el frente de avance llega al extremo final del surco.
- Fase de almacenamiento superficial: da inicio cuando el agua empieza a salir al final del surco por escurrimiento superficial, terminando cuando se interrumpe el caudal de entrada al surco.
- Fase de retardo de la recesión: finaliza cuando la lámina de agua sobre la superficie al comienzo del surco desaparece por efecto de la infiltración y del flujo superficial que ocurre simultáneamente en el suelo, esta fase generalmente es muy corta.
- Fase de recesión: termina cuando el surco no presenta agua libre en ningún punto de su superficie.

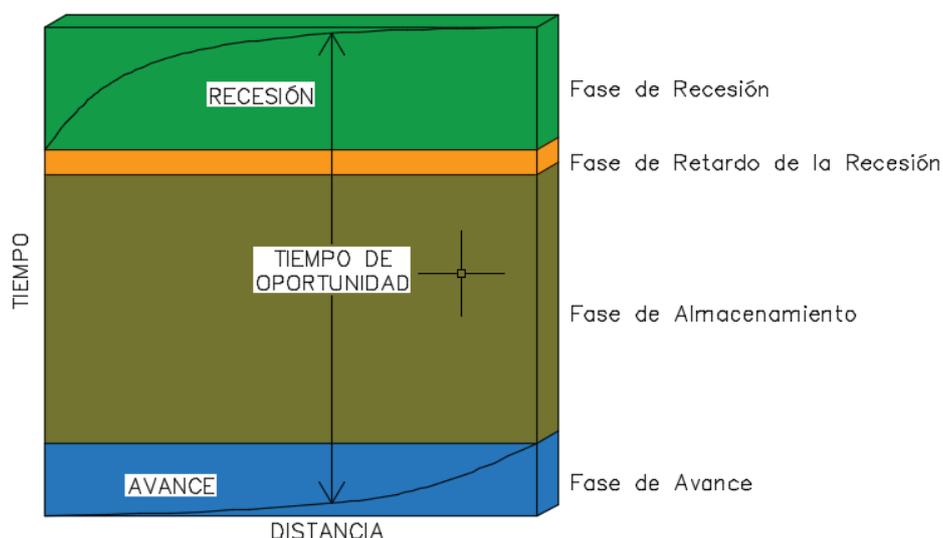


Figura 2: Tiempo de oportunidad a partir de curvas de avance y recesión.

FUENTE: Gurovich, 2001

Con las fases anteriormente señaladas se intenta que el tiempo de contacto del agua con el suelo sea lo más homogéneo posible a lo largo del surco, con el fin de conseguir una infiltración uniforme y una buena eficiencia de uso del agua, que permita la recuperación total del agua consumida desde el último riego.

2.3 Riego intermitente

2.3.1 Antecedentes

Walker y Skogerboe (1987), mencionan que en 1979, Stringham y Keller, introdujeron un nuevo concepto para automatizar los sistemas de riego superficial, en aquellos donde se presentaban problemas, producto de un frente de avance lento y con un exceso de escorrentía. A este concepto lo denominaron “*Surge Flow*” describiendo con esto, el régimen hidráulico del flujo sobre el campo.

El mismo autor añade que en 1986, la oficina de patentes de Estados Unidos, otorgó una patente bajo el título de “Método y Sistema para Riego por Surcos” a los Drs. Jack Keller y G. E. Stringham como inventores, y a la Universidad Estatal de Utah como asignado. Actualmente “*Surge Flow*” es una práctica de manejo que puede ser aplicada para varias condiciones de riego superficial.

En la actualidad se intenta impulsar en diversos países esta forma de riego ya que se está teniendo buenos resultados por la mejora significativa en la eficiencia de aplicación y uniformidad que se presenta en el cultivo en comparación con el riego continuo.

Un caso puntual es en el cultivo de arroz con el fin de dejar de lado el riego por inundación, de esta forma se ahorra agua y además se evita la propagación de insectos como por ejemplo mosquitos y zancudos que son los principales vectores de enfermedades.

2.3.2 Descripción general

Roque (2000), afirma que consiste en aplicar el agua a una cierta cantidad de surcos o melgas usando tuberías de PVC, aluminio o mangas de polietileno con aberturas o compuertas enfrentadas a los surcos, al cabo de cierto tiempo, el agua es derivada a otro set o conjunto de surcos, que se halla en otro sector del campo, mediante una válvula mariposa en forma de “T” que tiene la capacidad de derivar el agua en dos direcciones. Luego de haber avanzado el agua en el otro sector hasta la misma distancia del primer sector, la válvula deriva nuevamente el caudal hacia el primer conjunto de surcos. Este procedimiento se repite las veces que sea necesario, logrando que el agua avance en cada pulso una cierta distancia mediante tiempos variables o constantes.

García (1991), señala que el sistema está diseñado para suministrar descargas de agua en forma intermitente a un lado y otro de la válvula, atendiendo dos grupos de surcos; el agua escurre en cada uno de ellos alternadamente, durante intervalos de tiempo fijados con anterioridad, que dependen del avance y recesión del frente de onda.

Miranda y García (2015), mencionan que en el riego intermitente, el agua es aplicada a los surcos o bordes durante un período breve de tiempo, luego se corta, se espera un lapso de tiempo y se inicia nuevamente el ciclo.

INIA (2013), añade que este método de riego consigue reducir la tasa de infiltración de agua del surco húmedo, homogenizando el humedecimiento del surco en toda su extensión (Figura 3 y 4).

Según Gurovich (2001), esta técnica puede ser definida como una aplicación superficial del agua en forma intermitente, ya sea por aplicación de agua a intervalos constantes de tiempo, o aplicando el agua en un surco de riego hasta que se cumpla el tiempo de avance, y después, repetidas veces hasta que se cumpla la lámina neta de reposición.

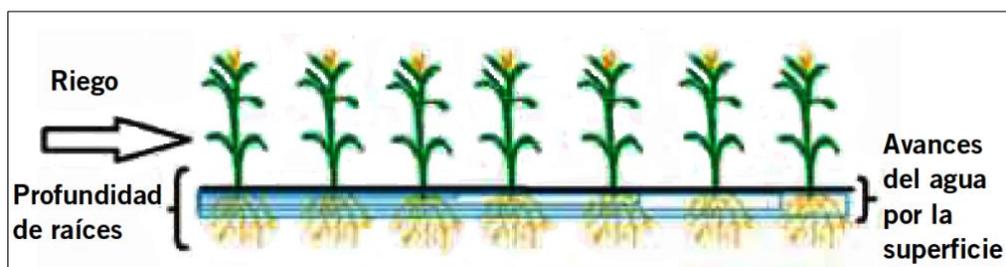


Figura 3: Fase de avance del riego intermitente.

FUENTE: INIA, 2013

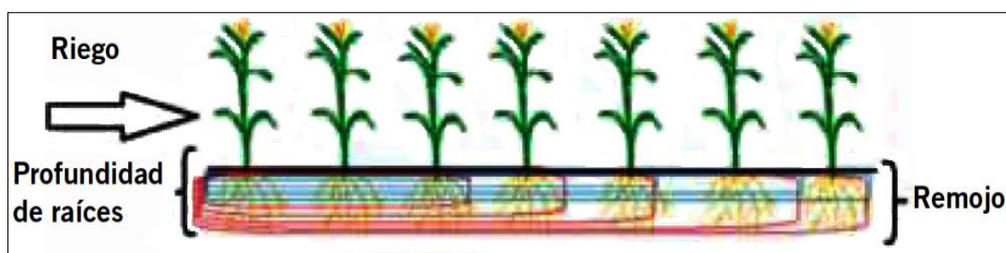


Figura 4: Fase de remojo del riego intermitente.

FUENTE: INIA, 2013

Miranda y García (2015), añaden que ya igualada la tasa de infiltración en todo el surco, producto de la fase de avance, comienza la fase de remojo (Figura 4) que consiste en abrir y cerrar el flujo de agua hasta que se culmine la reposición de la lámina requerida.

El mismo autor señala que estos cortes de agua permiten minimizar el escurrimiento superficial limitando la cantidad de agua que desagua y aumentando el volumen de agua a infiltrar.

2.3.3 Procesos físicos durante el riego

Gurovich (2001), menciona que en anteriores experiencias realizadas en suelos con textura media, se obtuvo que al segundo pulso de agua la conductividad hidráulica del suelo en condiciones saturadas disminuía un 45 por ciento y que luego de completado el primer evento de riego producía una importante consolidación de la superficie del suelo.

Además en otras investigaciones el mismo autor menciona que el riego intermitente hace suponer que la tensión suelo - agua también es afectada por la consolidación del suelo, esto se debe al aumento de la densidad aparente del suelo lo que reduce la porosidad y permeabilidad. Con ello la reducción de la infiltración en el perfil del terreno.

Roque (2000), afirma que la explicación del fenómeno que se produce con el riego intermitente se debe a que entre un pulso y otro se produce un disgregamiento de terrones, un reacomodamiento de partículas y una migración de sedimentos que sellan la base del surco. Por otra parte al haber una interrupción de suministro de agua queda aire atrapado en los poros del suelo.

Con la llegada del agua en cada tramo del terreno se logra una configuración del terreno por tramos y profundidades debido a que cada intervalo de tiempo que se va humedeciendo el largo del surco, esto ocasiona que las partículas se acomoden además de que las arcillas en contacto con el agua entran en un proceso de expansión; por lo que no solo la infiltración baja sino también que la rugosidad del largo del terreno donde ya se humedeció disminuya, por ende se consigue una mayor velocidad de avance, lo cual es beneficioso para surcos de gran tamaño, además de una homogeneidad en el perfil de humedecimiento.

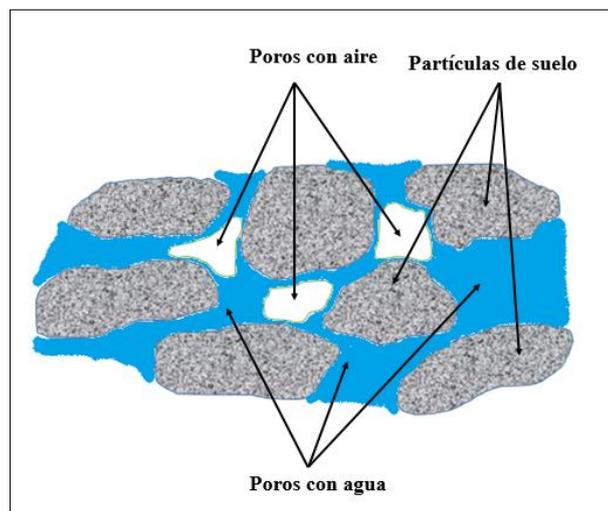


Figura 5: Saturación del suelo durante el riego.

FUENTE: Elaboración propia

2.4 Ventajas y desventajas del sistema de riego intermitente

Estas son algunas ventajas del riego intermitente frente a los diversos tipos de riego que existen, recordar que se debe ajustar y mejorar esta técnica para obtener mejores resultados.

2.4.1 Tiempo de avance más rápido

Latif y Ittfaq (1998), hacen referencia a que a través de este sistema de riego se completa la fase de avance más rápidamente que en un riego continuo, en otras palabras llega al final del surco en menor tiempo, empleando el mismo caudal. Ibrahim y Eid (2000), adicionan que bajo distintas prácticas de nivelación, un sistema de riego intermitente puede lograr una reducción del tiempo de avance de 20 a 25 por ciento del tiempo requerido para un sistema de riego continuo.

Kanber *et al.* (2001), mencionan que un menor tiempo de avance puede deberse a la influencia de los ciclos de humedecimiento y drenaje sobre las características de infiltración del suelo.

2.4.2 Disminución del tiempo de infiltración

Ruffo (2000), afirma que la aplicación del agua a través del riego intermitente permite una infiltración más uniforme, casi manteniéndose a la profundidad de las raíces en la cabecera y sin pérdida de agua debido a la escorrentía superficial al final del surco.

Gurovich (2001), menciona que la técnica de riego intermitente reduce un tercio a dos tercios las velocidades de infiltración, siendo los suelos de texturas finas, franco a franco arcilloso en donde se observa una mayor reducción de las tasas de infiltración.

Kanber *et al.* (2001), añaden que con pequeños intervalos de pulsos se logra reducir la tasa de infiltración del agua en 13 – 23 por ciento, además sugieren que la aplicación del riego intermitente para las primeras temporadas de riego en donde las altas tasas de infiltración pueden resultar en bajas eficiencias de aplicación empleando riego continuo.

Killen y Slack (1987), encontraron que con un tiempo de 30 minutos, tanto para el periodo donde la compuerta está abierta como para el periodo donde está cerrada, da paso a la reducción de la tasa de infiltración en el suelo después del primer ciclo de riego, en comparación con el riego continuo el cual es mayor; presentándose con mayor reducción del volumen infiltrado en los suelos con textura franco arenosa.

2.4.3 Mayores eficiencias de aplicación

Pozzolo (2001), afirma que controlando el ingreso del agua al surco mediante recesivos cortes y aperturas se logra uniformizar la infiltración a lo largo de todo el surco, de esta manera el agua que ingrese a continuación infiltrará en el perfil del suelo en forma muy pareja a todo lo largo, obteniendo eficiencias similares a los sistemas de aspersión.

Roque (2000), hace referencia que se puede lograr eficiencias de aplicación cercanas a la aspersión, es decir un 80 por ciento, pudiendo llegar en algunas condiciones de textura y pendiente a un 85 por ciento, teniendo también en cuenta un buen manejo del sistema.

Evans y Mahan (1990), añaden que al comparar el sistema de riego intermitente con parcelas regados por un sistema de riego por aspersión sobre árboles de cerezas dulces, su mejor performance puede ser obtenido bajo altas frecuencias de riego por surcos (80 por ciento de eficiencia de aplicación), no existiendo diferencias significativas entre ambos sistemas.

Gurovich (2001), señala que este sistema de riego es capaz de cambiar la eficiencia agronómica del riego por surcos, alcanzándose valores de eficiencia de aplicación y distribución, mayores a 60 por ciento.

Walker y Skogerboe (1987), indican que la eficiencia de aplicación puede en la mayoría de casos, ser incrementada en 55 a 10 por ciento con una selección cuidadosa del tiempo por ciclo.

Romay y Morabito (2000), mencionan que las láminas de riego aplicadas con el sistema de riego intermitente son muy próximas a la mitad de las que se aplican con riego tradicional, por consecuencia, la eficiencia de aplicación es también el doble.

2.4.4 Reducción de la erosión

Roque (2000), afirma que es posible controlar la erosión por las mismas características de la intermitencia, también haciendo una capa de cualquier material para evitar el impacto del agua a la entrada de los surcos.

Sirjacobs *et al.* (2001), afirman que con un flujo interrumpido (riego intermitente), se logra reducir la erosión hídrica en 16 y 18 por ciento de la erosión provocada en un flujo continuo dentro de un suelo arcilloso y franco limoso respectivamente, siendo este sistema de riego una alternativa para aminorar la erosión en estos tipos de suelos durante el riego.

2.4.5 Bajo requerimiento energético

Ruffo (2000), menciona que el sistema no necesita energía más que solo la necesaria para poder elevar el agua del pozo y vencer las pérdidas de carga, no necesita una alta presión como lo son los sistemas de goteo o aspersión. Por estas razones la potencia requerida por el motor y el consumo energético son menores.

Roque (2000), afirma que es un sistema de baja presión por ende requiere un bajo consumo energético. Considerando un mismo caudal, se necesitan 0.5 kg/cm^2 para poder funcionar correctamente.

PyR A. S. (2003), afirma que este sistema trabaja en rangos relativamente bajos, desde 0.05 kg/cm^2 , hasta valores cercanos a 1 kg/cm^2 . Todo esto permite un ahorro de energía significativo, cuando se hace uso de un equipo de bombeo, puede llegar al 80 por ciento de disminución.

2.4.6 Adaptación a diversos campos y cultivo

INIA (2013), menciona que en un sistema de multicompuetas permite ampliar el rango de pendientes de terreno, minimizando los altos costos de emparejamiento. Se puede trabajar desde 0.1 hasta 1.5 por ciento.

Garcia (1991), afirma que se puede emplear en cualquier tipo de labranza, convencional, reducida y cero.

Roque (2000), con respecto al cultivo indica que se puede aplicar a cualquier tipo de cultivo que se regué por gravedad, sean cereales, hortalizas frutícolas, industriales y forestales; se tiene preferencia en el cultivo de arroz.

Ruffo (2000), añade que en este sistema puede ser adaptado a lotes irregulares simplemente programando una computadora que controle la válvula mariposa de doble salida.

2.4.7 Aplicación del fertirriego

Roque (2000), indica que es una cualidad el tener la oportunidad de aplicar automáticamente una cuota de nitrógeno requerido durante el ciclo de cultivo, en plena fase de remojo, ya que se está acompañando la demanda incremental de este elemento en varias aplicaciones, según el estado fenológico de la planta.

El mismo autor menciona que al aplicar el fertilizante en el ciclo de mojado se asegura la uniformidad de distribución. Además esta práctica permite aplicar el fertilizante más tardíamente cuando el cultivo tiene mayores requerimientos y no es posible ingresar con maquinaria al lote.

PyR A. S. (1995), añade que en la fase de remojo del riego intermitente la fertirrigación puede ser más beneficioso. En campos de maíz los agricultores presenciaron los efectos al aplicar los fertilizantes disueltos en el agua de riego durante los últimos ciclos de remojo obteniendo un resultado muy favorable; el forraje de sus campos de maíz incrementaron de 29.6 a 68.2 toneladas por hectárea, el nitrógeno residual en los primeros 0.6 metros de la superficie incrementó en 14 por ciento al final de la temporada, lo cual fue favorable para la siguiente campaña.

Champion y Bartholomay (1992). Citado por Vaquiata (2016). mencionan que un sistema de riego intermitente adicionándole la fertirrigación conserva el agua y evita la degradación del agua subterránea.

2.4.8 Bajos costos de inversión, mantenimiento y operación

Roque (2000), menciona que su costo inicial y mantenimiento es muy bajo en comparación de un sistema de riego presurizado; también menciona que el costo operativo ronda los 0.2\$ por mm de agua aplicada por hectárea, por lo tanto, debido a la reducción notable de energía y mano de obra necesarias, la inversión por hectárea del sistema de riego intermitente para superficies mayores a 40 ha varía aproximadamente entre \$250 A \$300.

Evans (2003), indica la posibilidad de un mismo controlador para varias válvulas en un campo empleando la rotación del agua, haciendo esto que el costo por hectárea sea menor, teniendo presente que el riego intermitente se tiene que automatizar para un manejo económico.

Romay y Morabito (2000), argumentan que el riego intermitente está siendo bien aceptado por los usuarios, ya que les permite tener mejores eficiencias y además muy económico en cualquier aspecto como tecnología de ahorro (agua y mano de obra) y valorización (aumento de rendimientos). Más aun en la mayoría de casos, la inversión altamente rentable solo considerando el efecto de ahorro repagándose a muy corto plazo (menos de dos años).

2.4.9 Desventajas del riego intermitente

Evans (2003), indica que sin una experiencia previa en la instalación de este sistema resulta desalentador, además que toma tiempo en capacitar a los regadores para que hagan uso de este nuevo sistema y ellos mismos deben de trabajarlo para que ganen confianza en la programación de los controladores antes de que todo el beneficio sea logrado.

Romay y Morabito (2000), afirman que el riego intermitente requiere de una puesta a punto del sistema de campo. Esto se trata de la calibración del caudal a emplear y de los tiempos de riego (avance y remojo) así mismo la infiltración tanto para el primer riego como para los subsiguientes, por ello lleva consigo el esfuerzo de aprendizaje (teórico-práctico y cultural) de los productores, encargados y operarios acostumbrados al manejo del riego tradicional.

Yonts *et al.* (1995). Citado por Vaquita (2016), mencionan que en el sistema de riego intermitente existe dos grandes desventajas: (1) puede no siempre reducir el tiempo de avance y (2) con referencia a la aplicación del agua, si la infiltración del agua se reduce y una menor cantidad de agua almacenada en la zona radicular durante el riego; esto se debe compensar con riegos más frecuentes, incrementando el tiempo de riego por lo que la programación de riegos se torna un factor importante a considerar.

Ruffo (2000), indica que el riego intermitente funciona perfectamente en terrenos donde la pendiente esta entre 0.1 y 0.3 por ciento, en caso de pendientes mayores la longitud de surco se tendría que reducir considerablemente y en el otro caso de tener pendientes menores se tendría problemas con la fluidez del agua por el surco, por ende donde tengamos relieves muy irregulares en el campo de riego este sistema tendrá dificultades.

Latif e Ittfaq (1998), añaden que en parcelas pequeñas no se observan ventajas del riego intermitente frente al riego continuo.

2.5 Planificación del proyecto de riego intermitente

Vaquiat (2016), menciona que para un sistema de riego por gravedad tecnificado se debe diseñar satisfaciendo los requerimientos hídricos del cultivo, en forma eficiente, uniforme y oportuna para lo cual se debe tener conocimiento de las características del riego, agua, suelo, medio ambiente y cultivo, también de contar con personal capacitado en estas labores, esto es necesario para efectuar la tecnificación del riego, teniendo en cuenta sus efectos generalmente de larga duración en la productividad del campo agrícola.

Un buen diseño de riego intermitente funciona de manera eficiente, tanto el usuario como el diseñador deben tener en cuenta los siguientes puntos:

- El manejo del sistema de riego no debe de llevar consigo problemas de gasto excesivo de agua, erosión o lavado de nutrientes del suelo.
- Debe de tomarse en consideración las preferencias del agricultor en cuanto a ocupación de la mano de obra (horas de riego, días por semana), la inversión de capital o tipo de cultivos considerados en la rotación.
- Los beneficios del riego debe de incrementar los ingresos, para que cubran los gastos de inversión, instalación, operación y mantenimiento del sistema de riego, además de todo ello debe de dejar utilidades al agricultor por su inversión realizada.

2.6 Rendimiento del cultivo “función de producción”

Doorenbos y Kassam (1988), indican que el suministro necesario de agua dependerá del cultivo y de su periodo fenológico de la planta. Si el suministro de agua es limitado y teniendo en cuenta las anteriores condiciones enunciadas, el rendimiento estará determinado por la medida en que puedan suministrarse las necesidades hídricas totales durante todo el ciclo de cultivo. La forma en que el déficit de agua afecta al crecimiento y el rendimiento del cultivo, varía con la variedad y el periodo vegetativo del mismo.

Para cuantificar el beneficio económico debido al riego es necesario determinar el incremento en la producción en función del incremento del agua aplicada a través de cualquier método de riego.

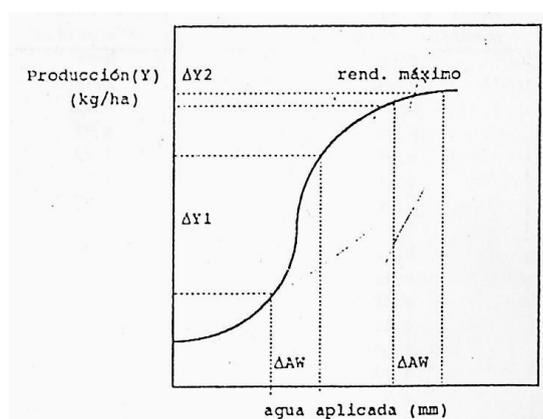


Figura 6: Función de producción según el agua aplicada.

FUENTE: Chipana (1996). Citado por Vaquita (2016)

Chipana (1996). Citado por Vaquita (2016), menciona que la forma típica de la función de lámina de agua aplicada al cultivo (AW) durante la estación de crecimiento vs producción “comercial” (Y) (ver Figura 6), puede ser obtenida mediante una ecuación de regresión lineal a través de datos tomados en campo.

Como se puede apreciar en la Figura 6 la función comienza con una pendiente relativamente alta, lo cual indica que el agua suministrada es eficientemente utilizada por el cultivo para producir una elevada producción. Siguiendo la función se observa que mientras aumenta el agua aplicada la producción no incrementa, tendiendo a que la pendiente de la curva disminuya.

Se aprecia que la máxima producción se obtiene cuando la pendiente de la función es igual a cero, pasado el punto de producción máxima el incrementar la lámina de agua aplicada resulta algo improductivo, esto se debe a que se reduce la aeración de la zona radicular del cultivo. Tener en cuenta que no todos los cultivos tienen este comportamiento pero si en su mayoría.

2.7 Diseño del sistema de riego intermitente

Se requiere de información meteorológica y de campo, por lo cual es necesario saber la topografía, calidad de agua, tipo de suelo, los requerimientos del cultivo, entre otros factores que se deben de tener en cuenta y que puedan influir en el desempeño del sistema de riego intermitente, obtenida esta información se puede establecer las mejores opciones de diseño.

2.7.1 Topografía

Cisneros *et al.* (2001). Citado por Vaquiata (2016), afirman que se debe de conocer las dimensiones y pendiente del terreno a cultivar, para lo cual se debe realizar un levantamiento topográfico del lugar donde se instalará el sistema de riego intermitente. Debido a que este sistema trabaja en pendientes bajas se debe evitar zonas onduladas. El rango de pendiente para poder emplear el sistema de riego intermitente puede variar de 0.1 a 2 por ciento, aunque se recomienda trabajar en el rango de 0.4 – 0.8 por ciento.

Morabito *et al.* (2008). Citado por Vaquiata (2016), mencionan que en las Tablas 1 y 2 se analiza y detalla las generalidades de los métodos de riego por escurrimiento superficial con y sin pendiente, además de las particularidades de cada uno de ellos.

Tabla 1: Características de los sistemas de riego por escurrimiento superficial.

| | RIEGO SIN PENDIENTE | RIEGO CON PENDIENTE |
|--------------------|--|--|
| Clima | Sin restricciones | Posibilidad de erosión en caso de lluvias de alta intensidad. |
| Suelos | Arenosos: poco aconsejables. Preferiblemente profundos. | Arenosos y muy arcillosos: poco aconsejables. Preferiblemente profundos |
| Cultivos | Sin restricciones. Preferiblemente de raíz profunda. | Salvo el arroz, no hay restricciones. Preferiblemente de raíz profunda |
| Ventajas | No hay pérdidas por escurrimiento. No hay probabilidad de erosión. Alta eficiencia en lavado de sales. Relativamente fácil de manejar. | Parcelas largas: pocas acequias, poco espacio perdido y alta eficiencia de uso de la maquinaria. Fácil desagüe, pero difícil de controlar. |
| Desventajas | Probabilidad de inundación prolongada. Parcelas de pequeñas dimensiones: muchas acequias, gran espacio perdido, baja eficiencia de uso de la maquinaria. Requiere adecuada nivelación. | Posibilidad de erosión, pérdidas de escurrimiento. Requiere adecuada nivelación. Requiere habilidad para regar bien. Baja eficiencia en lavado de sales. |

FUENTE: Morabito *et al.* (2008). Citado por Vaquiata (2016)

Tabla 2: Particularidades de los métodos de riego por escurrimiento superficial.

| | RIEGO SIN PENDIENTE | RIEGO CON PENDIENTE |
|--------------------------------------|--|---|
| Principio | Agua retenida en parcelas nivelada horizontalmente | Infiltración del agua mediante la circulación de un caudal |
| Característica | | |
| Pendiente longitudinal | 0% | 0.1 - 1% |
| Parcelas | Cortas | Relativamente largas |
| Perdidas por percolación | si | si |
| Perdidas por escorrentía superficial | No | Si |
| Probabilidad de erosión | No | Si |
| Lavado de sales | Alta eficiencia | Baja eficiencia |
| Desagüe | Difícil, pero controlable. Probabilidad de inundación prolongada | Fácil pero a veces cuesta controlarlo |
| Buen desempeño | Fácil de lograrlo | Requiere habilidad para alcanzarlo |
| Etapas de riego | | |
| Primera etapa | Periodo de avance | Periodo de avance |
| Segunda etapa | Periodo de inundación (coincide generalmente con el avance) | Periodo de mantenimiento de un caudal circulante (para lograr la infiltración del agua) |
| Etapas de riego | | |
| Etapas de riego | | |
| Tercera etapa | Periodo de agotamiento (infiltración del agua estancada sobre el suelo). | Periodo de receso |

FUENTE: Morabito *et al.* (2008). Citado por Vaquiata (2016)

2.7.2 Características del campo

Vaquiata (2016), menciona que en la mayoría de casos para dividir el campo en parcelas, se tiene que adaptar a las características topográficas del terreno, como resultado de ello se cuenta con campos que presentan diversas formas, con distintas longitudes de surco, a lo que después se adapta el sistema de riego.

Además sabiendo el caudal empleado y la pendiente del surco tal como se muestra en la Tabla 3, se puede estimar la longitud de surco más adecuado a emplear.

Tabla 3: Largo y caudal máximo recomendado.

| LARGO MÁXIMO DE LOS SURCOS (m) SEGÚN TEXTURA | | | | |
|---|------------------------|--------------------------|--------|---------|
| Pendiente (%) | Caudal Máximo (l/s) | TEXTURA DEL SUELO | | |
| | | Arcilloso | Franco | Arenoso |
| 0.3 | 2.1 | 350 | 300 | 190 |
| 0.5 | 1.3 | 300 | 245 | 145 |
| 0.75 | 0.85 | 250 | 190 | 115 |
| 1 | 0.6 | 200 | 165 | 100 |
| 1.5 | 0.4 | 180 | 130 | 80 |
| 2 | 0.3 | 150 | 110 | 70 |

FUENTE: Morabito *et al.* (2008). Citado por Vaquiata (2016)

2.7.3 Fuente de agua

Vaquiata (2016), afirma que es importante analizar el recurso hídrico disponible, por lo tanto se necesita conocer el hidrograma histórico de entrega de agua al predio a lo largo de la temporada de producción. Esto incluye un estudio detallado de los volúmenes y caudales efectivamente disponibles en el tiempo y las restricciones que pueden esperarse en años de disponibilidad restringida.

La fuente del agua debe de estar en un punto estratégico, que permita proveer la carga necesaria para que funcione correctamente el sistema. En el caso del sistema de riego por pulsos puede ser instalado directamente con la toma de agua desde un reservorio o bien desde el canal de conducción más cercano ya que no requiere más de un metro de columna de agua en la lateral de las multicompuertas para que funcione con normalidad.

2.7.4 Tipo de suelo

Vaquiata (2016), menciona que la textura del suelo determinará el grado de aplicabilidad del riego intermitente, siendo este desde un suelo franco arenoso hasta arcillosos; deben excluirse aquellos suelos que son arenosos por su alto nivel de infiltración que poseen.

El mismo autor señala que para poder determinar la textura en el campo de cultivo se requiere hacer varios muestreos al azar, debido a que el suelo es muy heterogéneo, mientras mayor sea el tamaño de la parcela mayor será el número de muestreo, teniendo en cuenta que esta acción se realiza a la profundidad de las raíces del cultivo.

Para poder apreciar mejor la distribución de características físicas y químicas del campo de cultivo es preferible realizar planos de textura, permeabilidad, cationes y aniones principales, con los últimos datos se puede realizar una mejor toma de decisiones al momento de fertilizar, según los requerimientos del cultivo.

2.7.5 Clima

Esta información determinará los requerimientos hídricos del cultivo, para ello es necesario contar con los datos meteorológicos de alguna estación cercana, los cuales nos serán de utilidad para calcular la evapotranspiración potencial (ET_o), por el método de Penman – Monteith que es uno de los más completos. Teniendo en cuenta el dato anterior y las características propias del cultivo se determina la programación de riego.

- Evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o)

Es la evapotranspiración de una superficie de referencia sin restricciones de agua, se conoce como evapotranspiración del cultivo de referencia y se denomina ET_o. La superficie de referencia corresponde a un cultivo hipotético de pasto con características específicas.

Huachos (2009), menciona que los factores que afectan la ET_o son los parámetros climatológicos, por ello que también se le considera un parámetro climático a la ET_o. Teniendo en cuenta lo anterior mencionado la ET_o se puede representar como el poder evaporante que caracteriza a la atmósfera de una localidad en particular y en una época específica del año.

El método de Penman – Monteith se recomienda utilizar para la determinación del ET_o, además este método es con el que está programado el software libre Cropwat. Tener en cuenta que también se puede determinar el ET_o a partir de la evaporación del tanque Clase A.

- Método del tanque evaporímetro para estimar la ET_o.

En épocas de ausencia de lluvias, la cantidad de agua evaporada durante un periodo (mm/día) corresponde a la disminución de la altura de agua en el tanque Clase A en ese periodo.

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

El uso de la evaporación del tanque para predecir la ETo en breves periodos puede ser confiable a pesar de la diferencia de la superficie del tanque evaporímetro y de la evapotranspiración de una superficie cultivada, si se usa correctamente.

De todo lo anterior mencionado se puede resumir en la siguiente ecuación para hallar la evapotranspiración de referencia a partir de la evaporación del tanque y el coeficiente empírico derivado del propio tanque:

$$ETo = Kp * Etan$$

Donde:

ETo: Evapotranspiración de referencia (mm/día)

Kp: Coeficiente del tanque evaporímetro

Etan: Evapotranspiración del tanque evaporímetro (mm/día)

2.7.6 Cultivo

Vaquata (2016), menciona que el riego intermitente se adapta bien a un amplio rango de cultivos, en su mayoría en cultivos que se puedan sembrar en surcos, teniendo presente que se puede aplicar en cultivos de pastos como la alfalfa o arroz, a través de melgas.

Se debe de conocer los requerimientos del cultivo ya que esto depende de la variedad, periodo de cultivo (etapas de crecimiento y desarrollo).

- Factor de cultivo (Kc)

Vásquez *et al.* (2017), afirman que el llamado también coeficiente de cultivo, es un factor que indica el grado de desarrollo o cobertura del suelo por el cultivo del cual se requiere evaluar su consumo de agua.

En las diferentes etapas fenológicas del cultivo el coeficiente de cultivo varía debido a los cambios en la vegetación y al grado de cobertura del suelo. Fácilmente se puede representar la variación del Kc en la Figura 7.

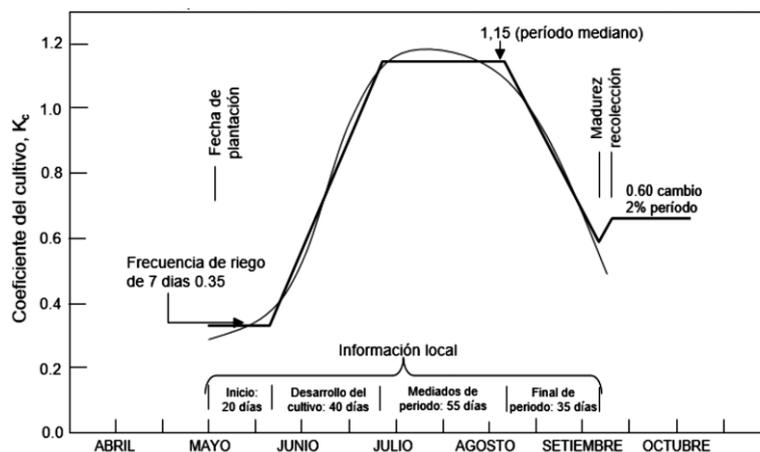


Figura 7: Curva típica del factor de cultivo (K_c).

FUENTE: Vásquez *et al.* (2008)

En el caso del cultivo de papa tendremos en consideración el coeficiente de cultivo propuesto por AUTODEMA (2015), los valores se muestran en la Tabla 4, por semanas.

Tabla 4: Coeficiente de cultivo de papa.

| Periodo Vegetativo (semanas) | K_c |
|---------------------------------|-------|
| 1-4 | 0.30 |
| 5-7 | 0.60 |
| 8-10 | 1.10 |
| 11-13 | 1.35 |
| 14-15 | 1.20 |
| 105 días | |

FUENTE: AUTODEMA, (2008)

- Evapotranspiración real del cultivo (E_{Tc})

Para determinar la E_{Tc} es necesario realizar un estudio de los datos meteorológicos de la zona y conocer los requerimientos del cultivo, después de realizar el estudio se procede con los siguientes pasos:

- Tener el registro de la información climatológica disponible en intervalos de tiempo de 30 días, para poder calcular la E_{To} por el método de Penman – Monteith. En el diseño agronómico se consideró el E_{To} máximo por mes.

- Definir el coeficiente de cultivo (K_c) para ello se debe de conocer el periodo de crecimiento del cultivo y sus características (estados fenológicos).
- Con los datos anteriormente señalados podremos calcular la ET_c , mediante la siguiente ecuación:

$$ET_c = ET_o * K_c$$

2.8 Diseño hidráulico del sistema de riego intermitente

Para diseñar el sistema de riego intermitente se debe ubicar la fuente de agua y la dirección de conducción del caudal, con estos datos se diseñará las longitudes y los diámetros de las tuberías que se requiere para poder conducir el agua en los tramos de conducción y de distribución, teniendo en cuenta los aspectos técnicos de diseño, como el desnivel del terreno, la pérdida de carga por accesorios y longitudes de tubería, aunque no es mucha la presión que se requiere en el sistema de riego intermitente, es importante tenerlo en cuenta.

2.8.1 Descripción del sistema

a. Criterios para el diseño

El diseño debe de ir según la topografía del terreno, así para poder aprovechar la pendiente del mismo y el desnivel que existe entre el punto de captación y la salida del caudal en el campo.

b. Altura

La carga de agua se toma desde el espejo de agua del reservorio o del punto de captación hasta las compuertas de la tubería de distribución ubicada en el campo, con esto se asegura el desnivel requerido para el funcionamiento correcto el sistema de riego, donde la altura “H” (Figura 8) tiene que ser suficiente para que compense todas las pérdidas de carga del sistema, si es que no se trabajara con una bomba.

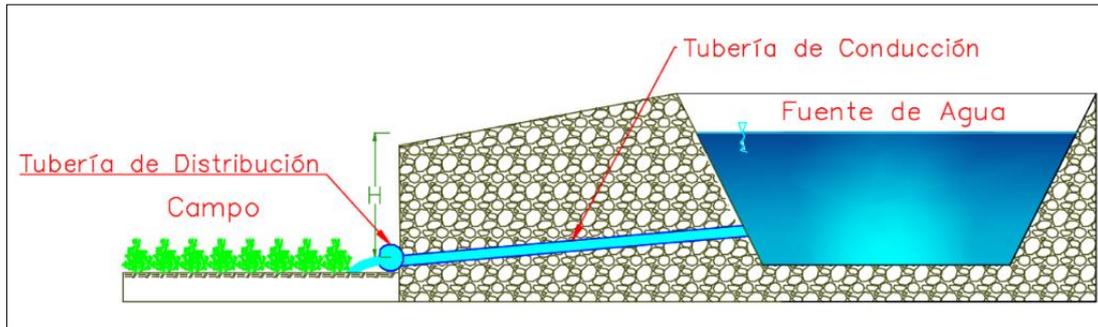


Figura 8: Desnivel necesario para el funcionamiento del sistema de riego.

FUENTE: Elaboración propia.

c. Pérdida de carga en la tubería multicompuertas

Se debe tener en cuenta la pérdida que se da por la tubería de conducción, distribución y las compuertas de la tubería de distribución, siendo el objetivo que estas presenten:

$$P (\%) < m(\%)$$

Donde:

P = Pérdidas por fricción del diámetro y caudal (%)

m = Pendiente natural del terreno en la dirección de la tubería (%)

d. Procedimiento del sistema

Teniendo en cuenta las pérdidas de carga en el sistema desde el punto de captación hasta la entrega en el campo, se sigue el siguiente procedimiento:

- Primero se debe posicionar las tuberías del sistema aprovechando en todo momento la pendiente del terreno.
- La válvula mariposa va justo en el centro de la tubería de distribución siendo posible así la intermitencia de una parcela a otra.
- En caso que el campo no presente un desnivel muy pronunciado, puede ubicarse la válvula al centro del campo. Esto permite ubicar las alas (derecha e Izquierda) en ambos lados de la válvula, estando la longitud de cada tubería en función de la forma del campo (Figura 9)

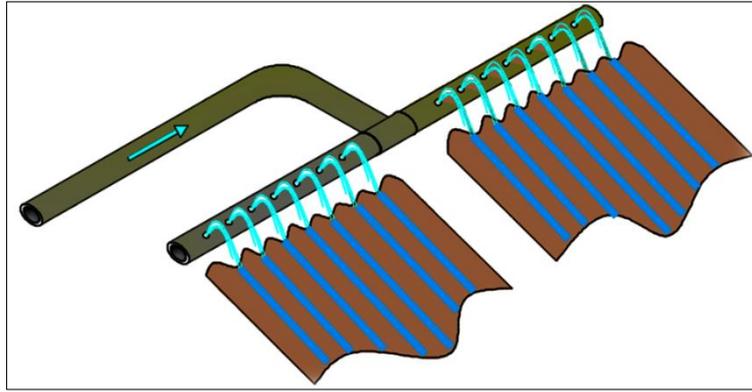


Figura 9: Distribución de las tuberías en el terreno.

FUENTE: Elaboración propia.

e. Número de pulsos

Es el parámetro más importante debido a que si se hacen pulsos de riego muy cortos o muy largos en la fase de avance o remojo repercutirán directamente en la eficiencia del sistema, como sugerencia para el número de pulso según la longitud del surco se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5: Número de ciclos de avance de acuerdo al tipo de suelo y longitud.

| Tipo de Suelo | Longitud de surcos (m) | | | |
|------------------|------------------------|-----------|-----------|-----------|
| | <100 | 100 - 200 | 200 - 300 | 300 - 400 |
| Arenoso | 3 | 3 - 4 | 5-6 | 6 - 7 |
| Franco | 3 | 3 | 4-6 | 5 - 7 |
| Arcilloso | 2 | 3 | 3-4 | 4 - 5 |

FUENTE: Morabito *et al.* (2008). Citado por Vaquiata (2016)

f. Fase de avance

Valquiata (2016), afirma que la determinación de este valor está en función de las características físicas del suelo (textura), la longitud de los surcos, el caudal empleado y sobre todo el criterio empleado para proporcionar la lámina necesaria al cultivo (tiempo de riego). De acuerdo a la experiencia obtenida en campo se ha elaborado la Tabla 6, que puede servir de referencia.

g. Fase de remojo

Valquiata (2016), menciona que en esta parte del riego, el objetivo es que el agua ingrese hasta la profundidad requerida por el cultivo, para ello el número de veces que el agua ingresara al surco va a ser igual o mayor que los ciclos de avance. El encargado del riego determinará cuando se debe cortar el ingreso del agua al surco.

h. Determinación de tiempo de apertura y cierre

García (1991), señala que la duración de los ciclos depende de (1) la rapidez y homogeneidad del agua por los surcos; (2) la uniformidad de infiltración del agua en el suelo; (3) el control de la escorrentía en el último tramo de los surcos y (4) la reducción adecuada de la infiltración y la velocidad con que se produce.

i. Criterio empírico

Es necesario realizar pruebas antes de sembrar el cultivo en el campo, como la prueba de avance para tener un aproximado de que tiempo se tarda en llegar el frente de avance al final del surco y con ello también el tiempo que se demora en llegar a cada tramo.

Vaquiatá (2016), menciona que el diseño del riego intermitente se puede realizar teniendo en cuenta los siguientes métodos:

- Método tiempo constante – distancia variable

Este método es usado cuando no se tenga la facilidad de manejar tiempo de ciclos distintos, de manera manual o automática. Es más eficiente y recomendado en longitudes cortas.

- Tener establecido dos unidades de riego con un conector interconectado en ambos.
- Se colocan estacas en intervalos de cinco metros o más, dependiendo de la longitud del surco y del criterio del diseñador.
- Se inicia el riego
- Se observa que el frente de onda de avance recorra aproximadamente entre 30 y 40 por ciento de la longitud total. Este tiempo es donde la compuerta estará abierta.
- La longitud humedecida en cada pulso será aproximadamente el 75 por ciento de la longitud del surco mojado en el pulso de agua anterior. En el caso de no lograrlo, se recomienda incrementar el tiempo de apertura de las compuertas.
- Cuando el frente de avance llega al final del surco, es decir terminado la fase de avance, el siguiente paso será humedecer todo el surco, para lo cual se podría recomendar que se moje el 75 por ciento de la longitud total del surco, teniendo en cuenta que esto dependerá del tipo de suelo.
- Terminado el proceso anterior, se cambia la salida de agua para la otra unidad de riego y así sucesivamente hasta que termine el tiempo de riego.

- Tener en cuenta que el agua que está en el surco continuará avanzando hasta el final del mismo. En el caso que no sucediera se debe incrementar el tiempo de abertura de las compuertas.

- **Método tiempo variable –distancia constante**

Se usa cuando se van a variar los tiempos de los ciclos de avance como los de remojo.

Se sigue el siguiente procedimiento:

- Los tres primeros pasos son idénticos al método anterior.
- El primer pulso de agua está definido por el tiempo que se demora el frente de avance para llegar $1/n * 100$ por ciento (en donde n es el número de ciclos de avance usado) de la longitud total del surco. Terminado el primer pulso se corta el agua y se abren las compuertas de la siguiente unidad de riego, y se sigue el mismo procedimiento.
- En los ciclos siguientes se considerará el tiempo que el agua transcurre sobre el sector humedecido más la cantidad de tiempo requerido para que el agua avance otros $1/n * 100$ por ciento de la longitud total del surco.
- En la fase de avance, los tiempos de corte deberán ser suficiente para que permita que el agua en el surco complete el receso.
- Cuando el frente de avance llega al final del surco, se debe programar un tiempo reducido, teniendo en cuenta el criterio del método anterior.

2.8.2 Tubería de bambú

Convencionalmente en los campos se usan tuberías de PVC o mangas de riego, pero una alternativa es usar tuberías de bambú para aprovechar un recurso el cual en algunos lugares abunda y es idóneo para ser usado como material de conducción y distribución de agua.

En su diseño cabe la posibilidad de realizarlo con diversas ramificaciones dependiendo de la distribución de la parcela además de la topografía del terreno, para lo cual se requiere un plano detallado para realizar el diseño del sistema.

Las uniones entre cada elemento de bambú se debe de realizar herméticamente y con el refuerzo necesario para que con el tiempo resista al interperismo; se sabe que con un buen mantenimiento del sistema hecho de bambú puede mantenerse dos años, después de los cuales se tiene que cambiar por nuevas tuberías.

a. Características

La tubería multicompuerta de bambú es un elemento estático, instalado sobre una superficie plana, estable y en la parte más alta de la parcela, por lo cual tiene dos funciones principales: la primera es la conducción hasta las compuertas de turno, la segunda es de regular por medio de la altura de apertura de la compuerta para que el caudal en cada surco sea el mismo y constante durante el tiempo de riego.

b. Disposición de la tubería de conducción

La tubería de bambú es usada para la conducción y distribución de agua, se posicionan fijamente en lugares estratégicos y de forma fija para evitar fugas en las uniones.

Además de la distribución se puede presentar tuberías paralelas las cuales se usan dependiendo de la topografía del terreno, al momento de definir la distribución de las tuberías.

c. Compuerta

La compuerta está diseñada en dos partes, una fija y la otra móvil, la fija permanece incrustada a presión en la tubería de bambú y con un poco de pegamento para que esté herméticamente sellada para evitar fugas. La parte móvil es la compuerta, la cual se puede subir o bajar para regular el caudal de salida, funciona simultáneamente con otras compuertas según el turno de riego.

d. Apertura de ventana

Teniendo en cuenta que debe existir un rendimiento óptimo del agua, en el sistema se debe de asegurar que trabaje a una sección de compuerta que permita la salida del caudal necesario para comenzar el riego en la parcela de turno.

2.9 Adaptaciones del riego intermitente

En la actualidad se puede disponer de varias tecnologías para los diversos sistemas de riego, pero en muchos de ellos resultan costosos, lo cual no es viable para algunas personas que se dedican aún al riego por gravedad. Es por ello que en el ámbito de querer alivianar costos de materiales, se emplea de los materiales de la zona, que son de menor costo y más fácil para su adquisición.

En la zona tropical de Ecuador usan los palos de bambú a modo de tubería de conducción y distribución (Figura 10), lo cual resulta muy práctico ya que es un recurso que abunda en la zona, y con esto se obtiene un menor costo del sistema de riego y se ha obtenido buenos resultados en el remplazo de las tuberías convencionales.



Figura 10: Tubería de conducción de bambú.

FUENTE: Elaboración propia

2.10 Papa (*Solanum tuberosum*) variedad UNICA

La papa (*Solanum tuberosum*) variedad UNICA tiene atributos de resistencia a diversos factores y precocidad en la producción de los tubérculos lo que resulta atractiva para los agricultores involucrados en el cultivo de papa. Gutiérrez y Espinoza (2007), mencionan que la adaptación de esta variedad a diferentes ambientes permite una amplia distribución geográfica, en regiones de la costa y sierra del Perú, donde fue evaluada por más de siete años y en 20 localidades del Perú por el Centro Internacional de la Papa (CIP).

La planta es de crecimiento erecto, porte mediano, tallos gruesos de color verde oscuro, alcanzando una longitud entre 90 a 120 cm. Las hojas son verde oscuras con cinco pares de folíolos laterales y un par de interhojuelas sobre los pecíolos (Gutiérrez y Espinoza, 2007). Presenta floración moderada en la primavera de costa, escasa floración en el invierno en costa y ausencia de floración en la sierra (> a 2000 msnm); las flores son de color violáceo algo pálidas y no forman bayas en épocas con bajas temperaturas. Los estolones son alargados en el invierno o bajo condiciones de sierra y ligeramente cortos y pegados al tallo en la primavera. Además, los tubérculos son oblongo alargados, con ojos superficiales, el ojo apical es semi-profundo y los brotes son rojo violáceos. 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 la sierra, la pulpa es de color crema (Gutiérrez y Espinoza, 2007).

2.11 Etapas fisiológicas de la papa

La planta como todo ser vivo atraviesa por diversas etapas de crecimiento, cada una de ellas con ciertas características y funciones, las cuales son necesarias para su desarrollo.

Al igual que todos los seres vivos, la planta también respira pero también realizan otra función importante no solo para ella sino también para los seres humanos, la cual es conocida como fotosíntesis.

2.11.1 Brotación

En esta etapa a partir de las yemas o también llamados ojos crecen los primeros brotes con clorofila, la cantidad de brotes dependerá del tamaño y de variedad de la semilla; es recomendable que se realice este proceso en plena luz, porque también se produce en oscuridad pero estos brotes no son tan fuertes como los expuestos a la luz. Además con una humedad relativa en el ambiente hace que aparezcan raíces en los brotes.

2.11.2 Crecimiento

Es recomendable que la semilla sea sembrada ya con presencia de brotes, esto con el fin de que la aparición de los tallos sea inmediata después de la siembra y que las raíces también crezcan a la par, por lo contrario el exceso de humedad y bajas temperaturas en el campo de cultivo son factores que ocasionan la ralentización del crecimiento de la planta y la hace propensa a enfermedades.

El periodo vegetativo de la planta se considera desde la emergencia de la planta hasta la madurez total del cultivo.

Egúsquiza (2014), aclara que el periodo vegetativo de las variedades de la papa puede ser desde aquellas muy precoces (tres meses), hasta aquellas muy tardías (siete meses). Por lo que el periodo vegetativo de la papa lo clasifica en dos tipos de crecimiento de las plantas cuyas diferencias fundamentales se aprecian en la Figura 11.

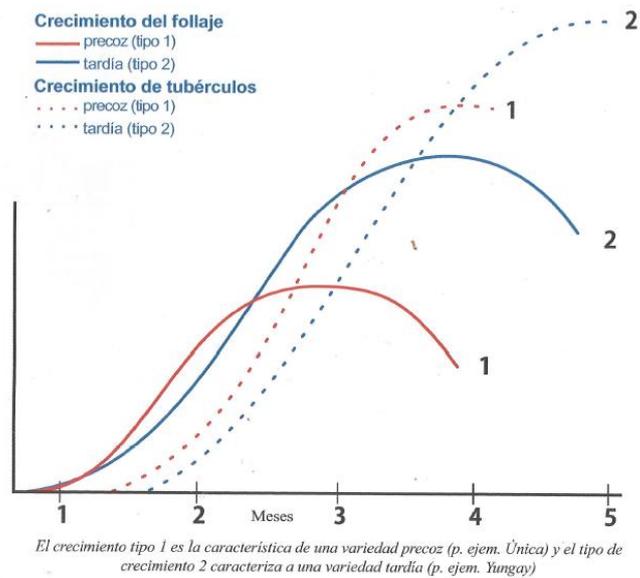


Figura 11: Tipos de crecimiento de la papa según su variedad.

FUENTE: Egúsquiza 2014

2.11.3 Floración

Egúsquiza (2014), indica que el péndulo floral y la inflorescencia crecen cuando el tallo principal ha finalizado su crecimiento y se inicia “la primera floración”, al mismo tiempo, se inicia el crecimiento de una rama o se acelera el crecimiento del tallo secundario en cuyo extremo crecerá otra inflorescencia que da la apariencia de una “segunda floración”.

Existen variedades que tienen abundante floración así como algunas que tienen poca o nula, por ejemplo la variedad UNICA, la cual no florece o en poca medida en condiciones de costa.

2.11.4 Crecimiento de estolones

Este proceso ocurre en la base del tallo, se trata de una ramificación que crece lateralmente, de donde el extremo puede convertirse en tubérculo. No todos los estolones terminan siendo tubérculos, ya que si se realiza un mal aporque estos quedan fuera del suelo y se forma un tallo normal con follaje.

Egúsquiza (2014), menciona que los primeros estolones se producen en las partes más bajas, es decir próximos a la semilla. Por esta razón que los primeros estolones son más largos y los estolones más cortos son los que están más alejados de la semilla. Algunas variedades producen estolones cortos (ejem. UNICA) y otras producen estolones largos (ejem. Yungay).

2.11.5 Tuberización

a. Inicio de tuberización

Es el proceso por el cual al final de los estolones comienza a incrementarse el volumen, con lo cual se inicia la aparición del tubérculo.

Midmore (1998), aclara que las temperaturas elevadas del aire pueden influir positivamente en el potencial de inducción a la tuberización en tanto que las altas temperaturas del suelo pueden bloquear dicho proceso.

Doorembos j. y Kassam (1988), afirman que las temperaturas más favorables para el desarrollo de la planta y la producción de los tubérculos oscilan entre los 15 a 20 °C, siendo las temperaturas nocturnas inferiores a 15 °C las óptimas para dar inicio a la tuberización. La temperatura del suelo influye en la velocidad de crecimiento de los brotes y de la emergencia.

Por otra parte Cortbaoui (1993), manifiesta que suelos fríos (por debajo de los 15 °C), retardan la emergencia en tanto que los suelos más calientes la estimulan. Por otra parte, temperaturas demasiado altas (temperaturas nocturnas de sobre 20° C), pueden impedir la formación de tubérculos.

Egúsqüiza (2014), menciona que este proceso ocurre cuando los azúcares se depositan en forma de almidón, las células se multiplican a lo largo del “gancho”, los estolones dejan de crecer. La inducción de tuberización a nivel de planta ocurre en un periodo de una o dos semanas.

Morales (2011), aclara que este desarrollo puede ser imperceptible, pero que hay muchas variedades que, al término de este evento, coincide con el inicio de la floración.

b. Tuberización o llenado del tubérculo

Una vez formado el pequeño tubérculo en el estolón se procede a su respectivo llenado, este proceso es el más crítico y en donde las necesidades de agua y nutrientes se requieren al máximo para un buen desarrollo del tubérculo.

Morales (2011), manifiesta que las células de la papa se expanden debido a la acumulación de agua, nutrientes y carbohidratos, el tubérculo llega a ser el sitio dominante de la deposición de carbohidratos y compuestos inorgánicos.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación del proyecto

La investigación se realizó en la parcela experimental del Departamento de Recursos Hídricos de la Facultad de Ingeniería Agrícola, dentro del campus de la UNALM, en el distrito de La Molina, provincia de Lima, Región Lima, en la región natural de la costa, durante los meses de junio a octubre del 2017.

Teniendo como coordenadas geográficas: S12° 04' 50", O76° 57' 06.5" y 233 m.s.n.m. de longitud, latitud y altura respectivamente además en la Figura 12 se aprecia la ubicación exacta del proyecto. También cuenta con las características que se pueden apreciar en la Tabla 8.

Tabla 6: Características de la parcela.

| Datos de campo | |
|------------------------|--------------------|
| Pendiente Longitudinal | 0.8 % |
| Largo | 61 m |
| Ancho | 13 m |
| Área | 793 m ² |
| Área de cultivo | 600 m ² |

FUENTE: Elaboración propia.



Figura 12: Croquis de la ubicación del proyecto.

FUENTE: Google Earth (10/07/2017)

3.1.1 Características del suelo

Para determinar las características físico – químicas del suelo, se realizaron muestreos de suelo a 30 cm de profundidad en distintas partes del terreno con los cuales se hizo una combinación y por el método del cuarteo se tomó una muestra de un kilogramo, el cual fue enviado a laboratorio para realizar el ensayo de rutina. En el Anexo 1 se muestra el documento emitido por el laboratorio.

Los resultados del análisis del laboratorio se muestran en la Tabla 9.

Tabla 7: Características físico - químicas del suelo.

| Determinación a 30 cm | Unidad | Valor | Método de análisis |
|-----------------------|----------------|-------|----------------------|
| C.E. Relación 1:1 | (dS / m) | 1.05 | Conductivímetro |
| Arena | % | 54.20 | |
| Limo | % | 38.28 | Método de Bouyoucos |
| Arcilla | % | 7.52 | |
| Textura | Franco Arenoso | | |
| pH Relación 1:1 | - | 7.56 | Potenciómetro |
| CaCO ₃ | % | 1.32 | |
| M.O. | % | 1.49 | Walkley y Black |
| Fosforo | ppm | 50.19 | Olsen modificado |
| Potasio | ppm | 242 | Acetato de amonio 1N |

FUENTE: Adaptación de los resultados de laboratorio LASMAF.

Los resultados muestran una conductividad eléctrica (C.E.) 1.05 dS/m, lo cual indica que no se trata de un suelo salino y que el cultivo no corre riesgo de pérdidas en la producción. Los porcentajes de arena, limo y arcilla fueron de 55.84, 33.00 y 11.16 respectivamente, con lo que se concluye que es un suelo de textura franco arenoso.

El pH nos indica que es ligeramente alcalino; por otra parte el contenido de materia orgánica (M.O.) es bajo, el cultivo requiere de una cantidad de M.O. no menor a dos por ciento y por lo cual se añadió compost al momento de la preparación del terreno.

La cantidad de carbonato de calcio (CaCO₃) es de 1.32 por ciento lo cual está en condiciones óptimas, pero por parte del fosforo (P) tiene un valor de 50.19 ppm lo cual esta elevado y

por último el potasio (K) al contar con una cantidad de 242 ppm está ligeramente bajo por lo que se aplicó fertilizante adicional en el momento de la siembra.

3.1.2 Características del agua de riego

El agua que se usó en el proyecto provino del río Rímac, que ingresa a la UNALM y es almacenada en un reservorio de la Facultad de Ingeniería Agrícola (FIA). El análisis físico – químico de la muestra tomada del reservorio se muestra en la Tabla 10 y Figura 13. En el ANEXO 2 se muestra el documento emitido por el laboratorio.

Tabla 8: Características físico - químicas del agua.

| Parámetro | Unidades | Valor |
|------------------|-----------------|--------------|
| C.E. | dS/m | 0.66 |
| pH | - | 7.52 |
| Calcio (Ca) | meq/l | 4.90 |
| Magnesio (Mg) | meq/l | 0.83 |
| Sodio (Na) | meq/l | 0.89 |
| Potasio (K) | meq/l | 0.05 |
| Suma de Cationes | meq/l | 6.67 |
| Cloruros | meq/l | 1.13 |
| Sulfatos | meq/l | 2.67 |
| Bicarbonatos | meq/l | 2.83 |
| Nitratos | meq/l | 0.00 |
| Carbonatos | meq/l | 0.00 |
| Suma de Aniones | meq/l | 6.62 |
| SAR | - | 0.52 |
| Clasificación | - | C2-S1 |
| Boro | ppm | 0.57 |

FUENTE: Adaptación de los resultados de laboratorio (LASMAF).

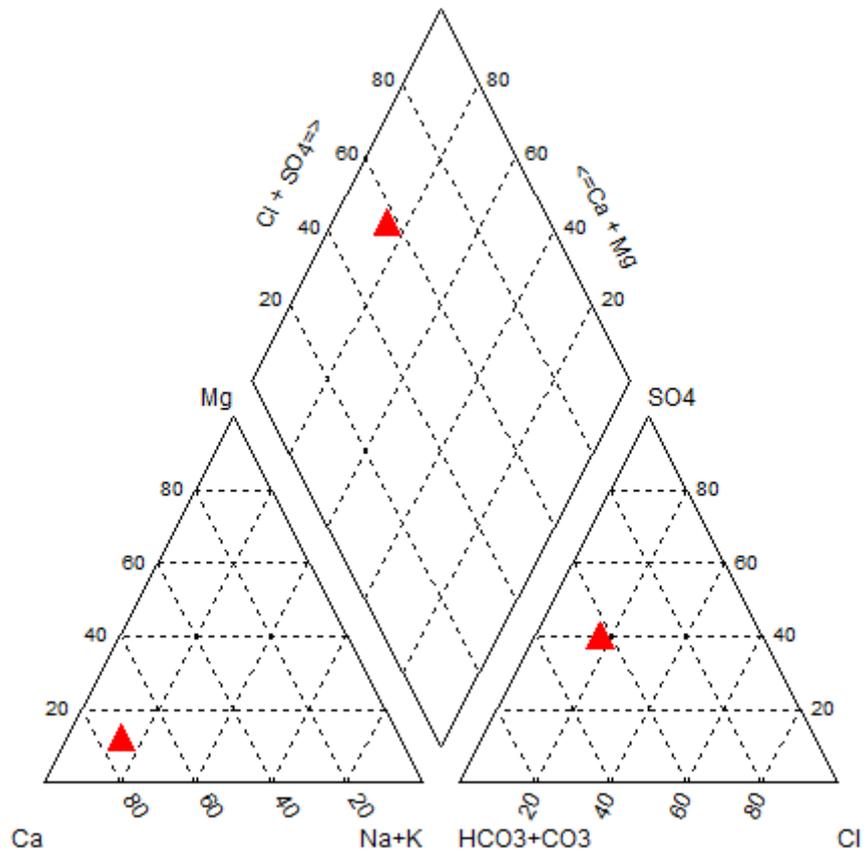


Figura 13: Diagrama de Piper de la caracterización de agua.

FUENTE: Elaboración propia.

A partir de los resultados de laboratorio podemos decir que la conductividad eléctrica (C.E.) es menor a la C.E. del suelo, por lo cual no tendremos problemas de salinización, además de ello y teniendo en cuenta el SAR, podemos afirmar que el agua es idónea para realizar el riego por su bajo contenido de sodio y su baja C.E.

Por otra parte las cantidades de aniones y cationes presentes en el agua de riego están en concentraciones moderadas y aceptables.

3.1.3 Clima

El periodo del cultivo comienza el 24 de junio del 2017 en donde se efectúa la siembra en el campo experimental y culmina el 25 de octubre del mismo año por esta razón se recolectaron los datos climatológicos de la estación Davis, perteneciente al Departamento de Recursos Hídricos de la Facultad de Ingeniería Agrícola, los cuales se representan por meses en la Tabla 11.

Tabla 9: Datos climatológicos en los meses del cultivo.

| Mes - Año | Temperatura (°C) | | | Humedad Relativa (%) | Precipitación (mm) |
|-----------|------------------|--------|--------|----------------------|--------------------|
| | Promedio | Máximo | Mínimo | | |
| Jun-17 | 18.01 | 22.20 | 14.90 | 81.63 | 0.75 |
| Jul-17 | 17.32 | 21.60 | 13.50 | 88.12 | 0.00 |
| Ago-17 | 16.40 | 20.10 | 13.30 | 90.85 | 0.50 |
| Set-17 | 16.20 | 22.10 | 13.30 | 91.95 | 0.75 |
| Oct-17 | 17.74 | 23.60 | 13.90 | 88.76 | 0.00 |

FUENTE: Adaptación de los resultados de la estación meteorológica Davis con coordenadas UTM 288196.2E, 8664038N y elevación 248 m.s.n.m.

3.2 Materiales, equipos y herramientas

Se usó como material vegetal la papa variedad UNICA, debido a sus cualidades de precocidad, resistencia a determinados patógenos y demanda en el mercado actual. La semilla adquirida procede de Aramachay - Jauja. Los tubérculos en estado de semilla asexual han sido tratados con un fungicida y un activador de brotación para que las semillas tengan más brotes.

En la Tabla 12, se presenta los materiales, equipos e insumos que se usaron durante el periodo de la investigación.

Tabla 10: Materiales, equipos e insumos utilizados.

| Equipos, materiales e insumos | Descripción |
|--|--|
| Cabezal de riego | Se usó un sistema de riego presurizado, financiado por el Proyecto de Innovación Tecnológica - 2016, con una bomba que extrae el agua del reservorio y pasa por un filtro de mallas, para después ser conducido a campo. |
| Tuberías de conducción y sistema multicompuertas | La tubería de conducción es de PVC de 2", mientras que el sistema multi-compuertas se realizó con tubería de bambú y compuertas de 2" de diámetro. |
| Mochila de fumigación | Fue usado en aplicaciones foliares de fertilizantes e insecticidas. |
| Aforador tipo Ballofet | Para aforar la cantidad de caudal de entra y salida del surco. |
| Fertilizantes, fungicidas e insecticidas | Se usaron para fertilizar el cultivo, controlar plagas y enfermedades. |
| Otros | Baldes, roturador, sobres manila, estufa, tornillo muestreador, balanza electrónica, barreno, carretilla, cinta métrica, cubeta, pala, pico, rastrillo, cronometro y software (AutoCAD, Microsoft Office 2013 (Word, Excel y Power Point) y Minitab 19). |

FUENTE: Elaboración propia.

3.3 Metodología de la investigación

3.3.1 Sistema de riego

Inicia desde el reservorio (1) que pertenece a la Facultad de Ingeniería Agrícola (FIA), después de ser succionado el agua por una electrobomba ubicada en el cabezal de riego (2) pasa por un sistema de filtrado para ser conducido hasta el campo experimental (3). Llegado hasta el punto (4) se conecta con una válvula de bola de 2" el cual se acopla mediante un adaptador con una tubería de bambú (5) y en seguida con la tubería multicompuertas para la distribución del caudal en el campo (6). En la Figura 14 se muestra cada tramo del sistema.

El sistema de riego está constituido por la estación de bombeo, el sistema de conducción mixto (tubería de PVC y bambú) y el sistema de distribución que está hecha totalmente de bambú, unido herméticamente con alambre y jebe lo cual impide que haya fugas de agua en la tubería. En esta tubería se encuentran las compuertas de plástico distanciadas a un metro una de otra y reguladas a una altura de apertura de tal manera que viertan 0.5 l/s.

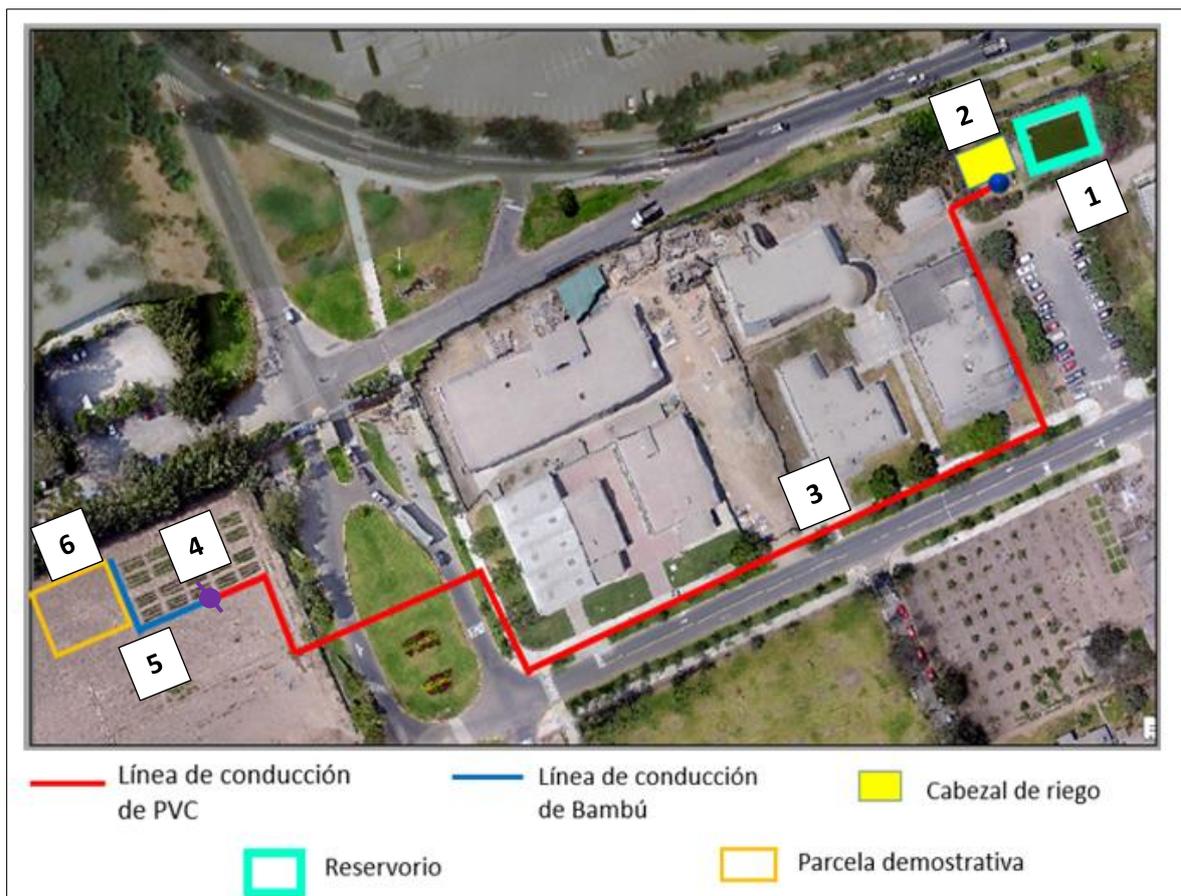


Figura 14: Línea de conducción del sistema de riego.

FUENTE: Elaboración propia.

3.3.2 Preparación del terreno

En vista que el terreno donde se realizó el experimento había estado compactado y en desuso, se procedió a realizar un riego pesado para que el campo sea más trabajable, luego se realizó el volteo del suelo a una profundidad de 40 cm. Al estar el suelo removido se procedió con el mullido eliminando los terrones que existiesen, para luego surcar el campo y realizar la siembra del cultivo.

3.3.3 Diseño y disposición experimental

a. Diseño experimental

La investigación está basada en el Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA). Se consideró como factor de estudio el tipo de riego, los cuales fueron el riego intermitente y el riego continuo. Se dispuso de dos parcelas en el campo experimental, una para cada tratamiento de riego, que a su vez fueron divididas en diez bloques con seis hileras de cultivo, considerando cada bloque como una repetición (Figura 15).

b. Distribución experimental

Como se mencionó anteriormente entre los dos tratamientos se tiene 20 bloques (Figura 16) y cada uno tiene una dimensión de seis metros de ancho por cinco metros de largo (Figura 17). Todas las parcelas tienen 78 plantas distribuidas en seis filas de 13 plantas cada una (Figura 18) y cada una de ellas recibe la misma fertilización y tratamiento fitosanitario. También se dejó un metro entre subparcelas para realizar las labores culturales y monitoreo del cultivo.

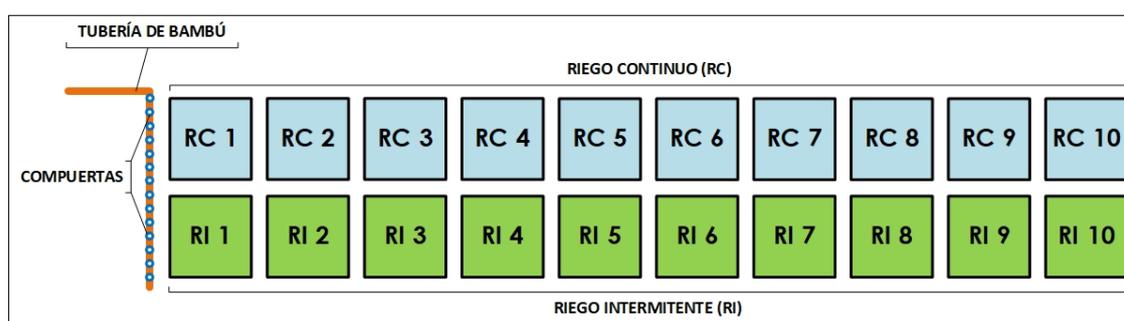


Figura 15: Distribución de los bloques en el campo experimental.

FUENTE: Elaboración propia.

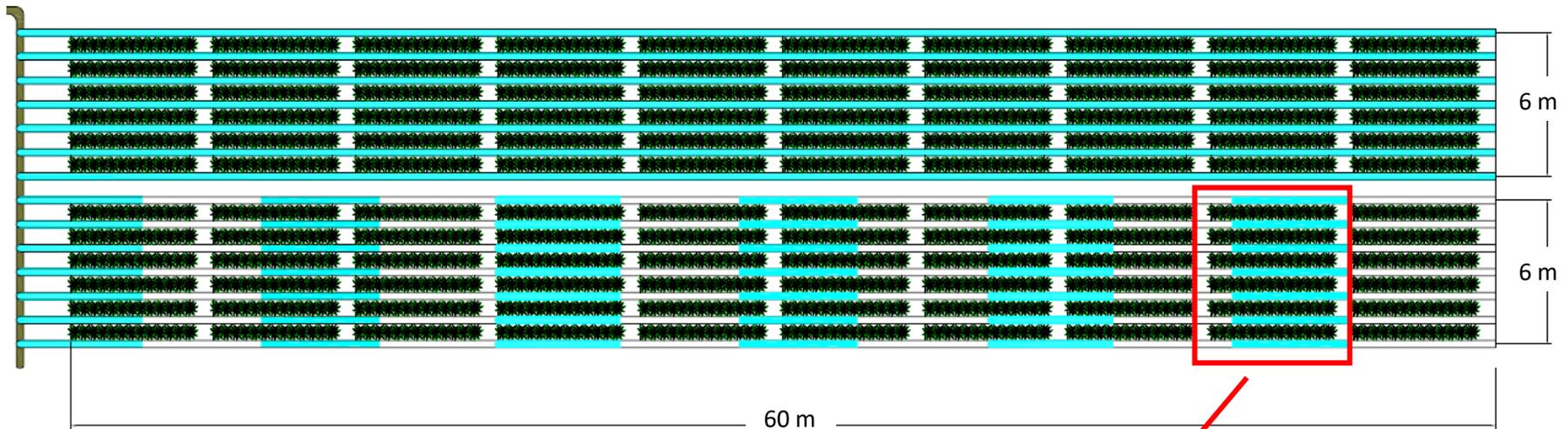


Figura 16: Dimensiones del campo experimental.

FUENTE: Elaboración propia.

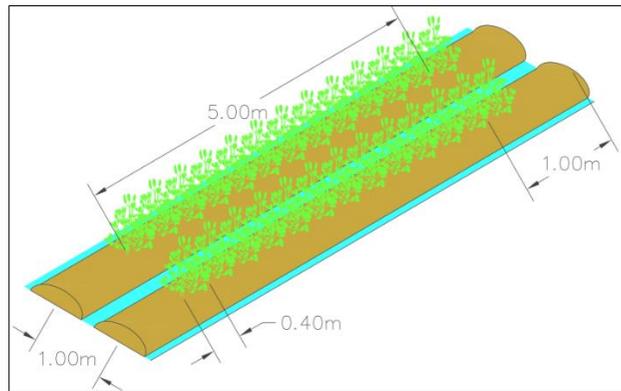


Figura 18: Distribución del cultivo por hilera.

FUENTE: Elaboración propia.

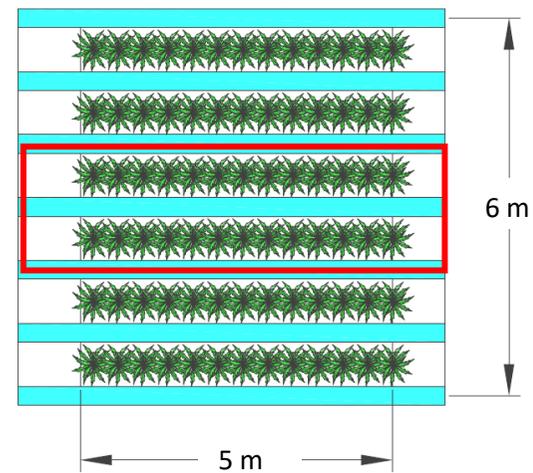


Figura 17: Dimensiones del bloque.

FUENTE: Elaboración propia.

Para las parcelas que van a ser irrigadas con el riego continuo (RC) se instalaron los aforadores Ballofet al inicio y al final del surco, con el fin de controlar el caudal de entrada y salida del surco, como se observa en la Figura 19.

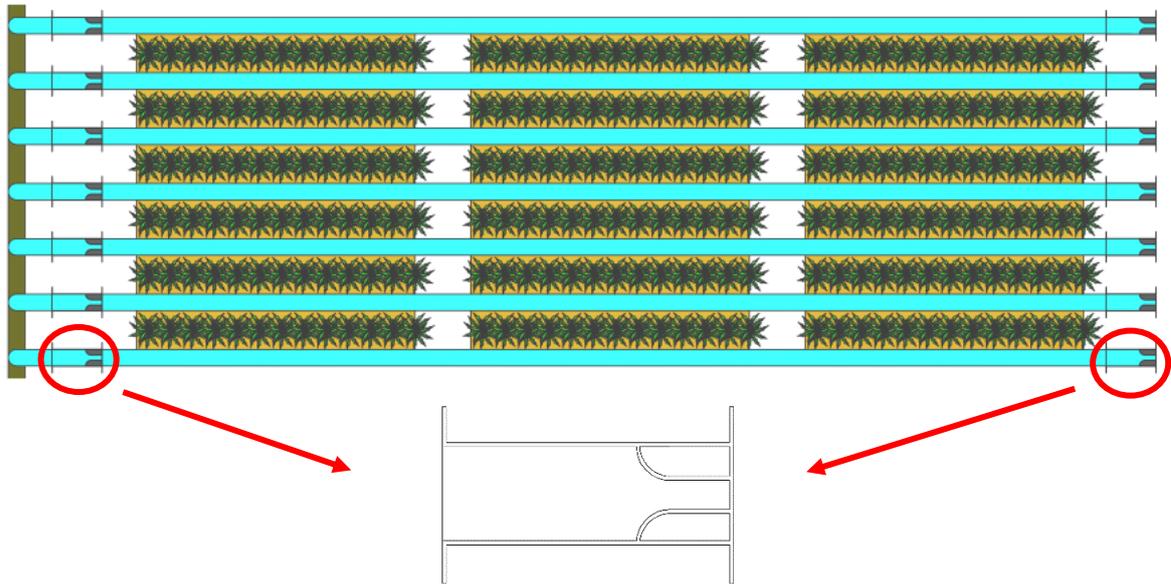


Figura 19: Representación de un tramo del riego continuo.

FUENTE: Elaboración propia.

La ecuación del aforador Ballofet y sus dimensiones se aprecian en la Figura 20.

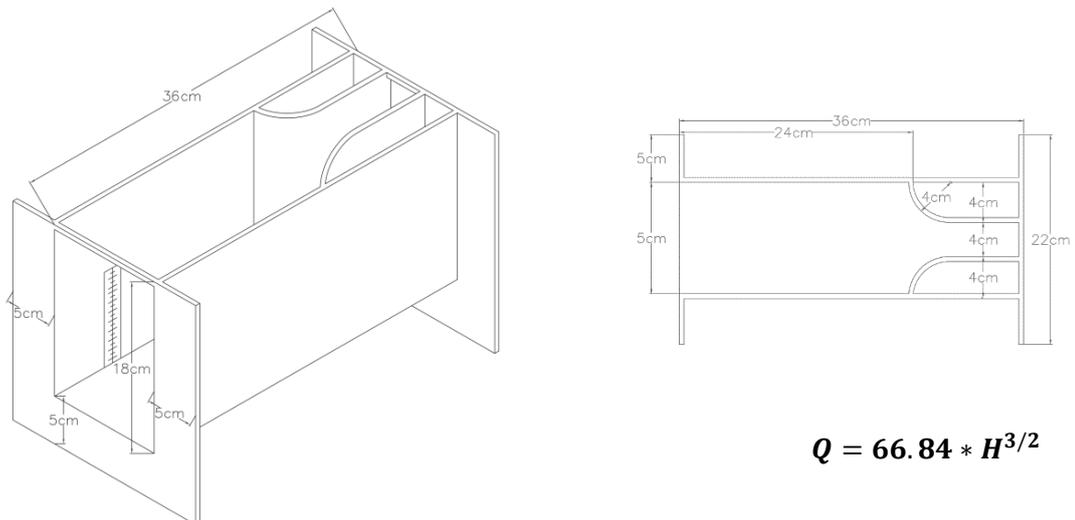


Figura 20: Aforador Ballofet.

FUENTE: Elaboración propia.

En el caso de las parcelas que serán irrigadas por el riego intermitente (RI) se instaló un recipiente de 20 L (Figura 21) al final del surco para cuantificar el volumen de agua que se pierden por escorrentía en el surco con el fin de hallar la eficiencia de riego Figura 22.

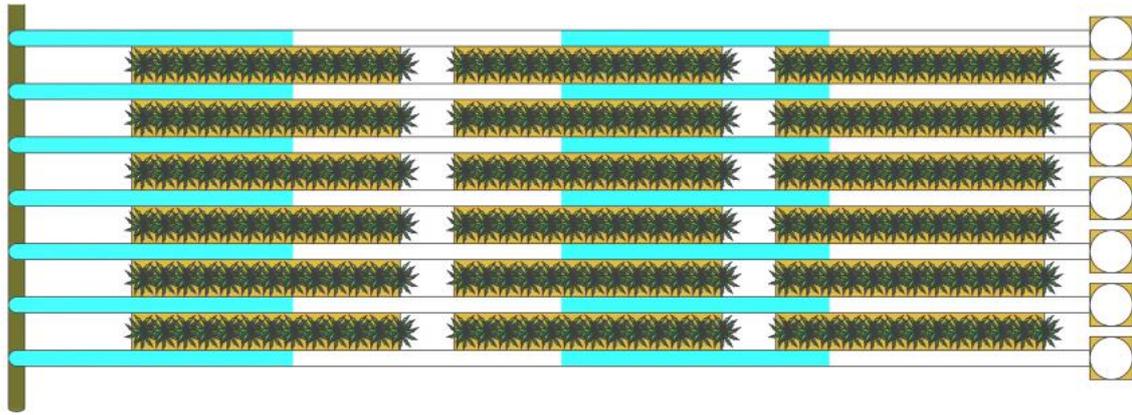


Figura 21: Representación del riego intermitente.

FUENTE: Elaboración propia.

Al iniciar el riego se afora en la compuerta el caudal de 0.5 l/s, esto se logró marcando una altura de compuerta y asegurando que se encuentre a una determinada presión todo el sistema.

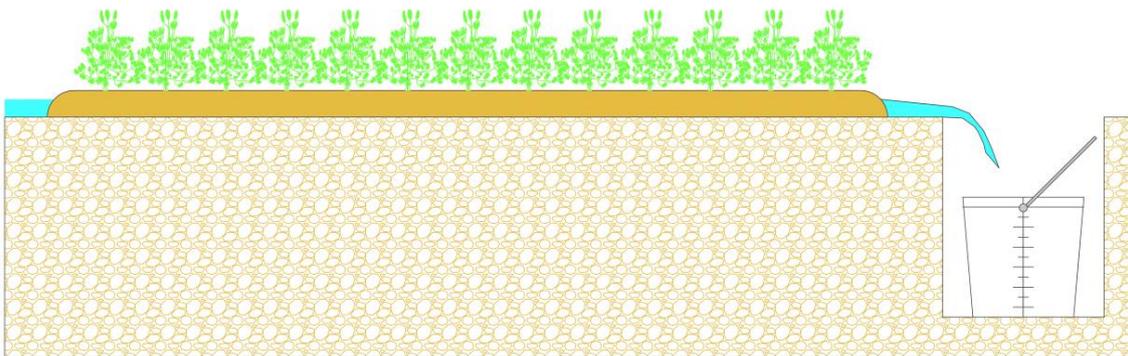


Figura 22: Recolección del volumen de agua por escorrentía.

FUENTE: Elaboración propia.

3.3.4 Tratamientos

a. Tratamiento control (Riego continuo (RC))

Se aplicó la lámina de agua con la frecuencia de siete días establecido en el diseño agronómico; en cada evento de riego se abrían las seis compuertas de la parcela de riego continuo con un caudal de 0.5 l/s en cada compuerta durante el tiempo de riego, de esta manera se irrigaron los diez bloques de este tratamiento.

b. Riego intermitente (RI)

La aplicación del agua se realizó en dos fases, la primera se llamó la fase de avance, que consistió en humedecer el largo del surco mediante seis pulsos de agua con diferentes tiempos. La segunda fase la cual se llamó fase de remojo es en donde se completa la lámina de riego mediante pulsos de agua, en esta fase las compuertas se abren durante un tiempo constante y suficiente para que el pulso de agua remoje todo el surco, esta acción continúa hasta finalizar el tiempo de riego.

3.4 Diseño y pruebas de campo

Antes de la siembra se realizaron labores y pruebas en el campo para tener los datos necesarios para el diseño del proyecto.

3.4.1 Preparación del terreno

Este procedimiento se llevó a cabo con maquinaria especializada en el removimiento de tierra a una profundidad de 40 cm, a esta profundidad la raíz de papa se encuentra en mayor abundancia, este procedimiento es necesario para tener el terreno libre de compactación (Figura 23).

Posteriormente otro tipo de rastra fue usado para el mullido del terreno, debido a que los terrones que se formaron en el removimiento del terreno también son perjudiciales para el buen desarrollo de los tubérculos, de esta manera se obtuvo un terreno con una estructura más aireada, en esta fase también se aprovecha para la incorporación de materia orgánica lo cual mejorará la calidad del suelo.



Figura 23: Preparación de la parcela experimental.

FUENTE: Elaboración propia.

Además se tuvo que nivelar el terreno para que no exista ondulaciones, para lo cual se midió las cotas en diversos puntos del campo haciendo uso del nivel de ingeniero (Figura 24), con el fin de identificar partes del terreno donde se requiere corte y relleno.



Figura 24: Levantamiento de cotas con el nivel de ingeniero.

FUENTE: Elaboración propia.

3.4.2 Pruebas de campo

a. Prueba de infiltración

Se llevó a cabo con cilindros infiltrómetros, donde se tomaron mediciones por intervalos de tiempo anotando el descenso del nivel de agua (Figura 25) y con estos datos poder generar la ecuación de infiltración a través de mínimos cuadrados y la velocidad de infiltración a través de la derivada de esta ecuación.



Figura 25: Método de los cilindros infiltrómetros.

FUENTE: Elaboración propia.

b. Prueba avance y recesión

Esta prueba se realizó después de haber terminado el surcado del campo y usando los aforadores Ballofet en la entrada y salida del surco, además de banderillas a cada diez metros de la longitud total (Figura 26). Al ingresar el agua al surco se comenzó a tomar nota del tiempo que pasa por cada tramo, hasta llegar al final del surco, una vez llegado al final del surco se verifica el nivel del agua que llega al aforador Ballofet que este casi al mismo nivel que en la salida, ya que esto significó que el suelo ya estaba saturado.

Luego de suspender el agua se registra los pocos segundos que tarda en desaparecer al inicio del surco que el tiempo de retardo de recesión, para luego tomar el tiempo que demora en desaparecer el agua en cada tramo del surco. Estos datos tomados en campo sirvieron para generar las curvas de avance y recesión que se muestran en la Figura 29 y 30.



Figura 26: Prueba de avance y recesión en el campo experimental.

FUENTE: Elaboración propia.

c. Densidad aparente del suelo

Se realizó una calicata en el campo, para obtener unas muestras inalteradas a cada nivel con unos moldes cilíndricos. Ya obtenidas las muestras inalteradas en los moldes, con cuidado se enrazó y se llevó al laboratorio para pesarlos. Teniendo el peso y el volumen se calculó la densidad aparente del suelo.

3.4.3 Diseño agronómico

a. Caudal máximo no erosivo

Para determinar este parámetro, se consideró básicamente la pendiente del terreno, logrando determinar la velocidad con que el agua recorrerá todo el campo evitando al mínimo el transporte suelo y en el menor tiempo posible.

Según la ficha técnica de la revista Producción Agroindustrial del NOA. (2005) se debe de realizar los siguientes cálculos para obtener un caudal máximo erosivo teórico, el cual debe de ser validado en campo.

- Primera aproximación del caudal no erosivo (q^1)

Al realizar la primera aproximación, se plantea la siguiente ecuación para calcular el caudal máximo no erosivo (Q_{max}) en l/s:

$$Q_{max} = \frac{C}{S^a}$$

Donde:

C: constante (ver Tabla 13)

S: pendiente

a: constante (ver Tabla 13)

Tabla 11: Valores de constantes según la textura del suelo.

| Tipo de Suelo | C | a |
|---------------|-------|-------|
| Muy fina | 0.892 | 0.937 |
| Fina | 0.998 | 0.550 |
| Media | 0.613 | 0.733 |
| Gruesa | 0.644 | 0.704 |
| Muy gruesa | 0.665 | 0.548 |

FUENTE: Olarte (1987)

Para evitar la erosión en la entrada del surco debido a la salida del agua de las compuertas se colocó un plástico o piedras donde no impacte bruscamente en el suelo sino que se disipe la energía con la que sale en ello y entre al surco con una menor velocidad.

- **Segunda aproximación (q^2)**

Calculado el valor del caudal con la primera aproximación, será multiplicado por un factor de corrección según el tipo de suelo, ya que los suelos presentan diversas propiedades para resistir a la erosión.

En el Tabla 14 se muestra el factor de corrección con respecto al tipo de suelo.

Tabla 12: Factores de corrección para cada tipo de suelo.

| Tipo de Suelo | Factor |
|--------------------------------------|--------|
| Delgada capa superior (de 7 a 15 cm) | 50% |
| Areno Limoso | 50% |
| Limo Arenoso | 70% |
| Limo Arenoso Fino | 85% |
| Con sedimento de Limo | 100% |
| Limo Arcilloso Sedimentado | 120% |

FUENTE: Morabito *et al.* (2008) . Citado por Vaquiata (2016)

Al multiplicar por el factor de corrección el caudal máximo no erosivo, se obtuvo un caudal reducido (Q_r), como se representa en la siguiente ecuación:

$$Q_r = Q_{max} * 0.5$$

b. Requerimiento hídrico del cultivo

Considerando la evapotranspiración en cada estado fenológico del cultivo, se calculó la cantidad de agua que se debe reponer de manera oportuna para que el cultivo no sea afectado por el estrés hídrico, específicamente en los meses de mayor requerimiento.

- **Cálculo de la lámina neta**

A partir de las características físicas del suelo se calculó la lámina de agua necesaria para cada evento de riego, a partir de la siguiente ecuación:

$$Ln = \frac{CC - PMP}{100} * Da * Pr * Dt$$

Donde:

Ln = Lamina neta (cm)

CC = Humedad a capacidad de campo (%)

PMP = Humedad a Punto de Marchites Permanente (%)

Da = Densidad Aparente (gr/cm³)

Pr = Profundidad de raíces (cm)

Dt = Descenso tolerable (%)

El descenso tolerable se consideró 60 por ciento debido a que el cultivo de papa es muy sensible al estrés hídrico.

- **Frecuencia de riego (Fr)**

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

$$Fr = \frac{Ln}{ET_c}$$

- **Eficiencia de aplicación (Ea)**

Está definida por el volumen de agua que queda retenida en la zona radicular (Vr), y el volumen de agua que ha sido aplicado durante el riego (Vt).

$$Ea = \frac{Vr}{Vt}$$

3.4.4 Operación del sistema de riego intermitente

En cada evento de riego se manipuló el sistema abriendo y cerrando las compuertas teniendo en consideración los intervalos de tiempo de apertura y cierre, tanto para la fase de avance como la de remojo y además registrando el volumen de agua a la salida del surco.

3.5 Labores del cultivo

3.5.1 Curado de la semilla

Es el proceso por la cual se pretende librar a la semilla asexual de cualquier patógeno o plaga que tenga o en todo caso de forma preventiva, mediante una solución de algún fungicida, insecticida y activador, este último con el fin de acelerar la aparición de brotes en la semilla.

3.5.2 Preparación del terreno

Este proceso se puede realizar manualmente o con maquinaria, para el mullido del terreno y posterior surcado del mismo, esto dependerá de las condiciones y extensión de terreno, recordando que no deben de existir obstáculos en el suelo del cultivo por ejemplo: piedras, ramas, materiales inorgánicos o que sean perjudiciales para el libre desarrollo del tubérculo. En este proceso es recomendable adicionar materia orgánica como compost.

3.5.3 Siembra

Según Pumisacho y Sherwood (2002), se coloca la semilla a una distancia determinada según el fin (Tabla 6), ya sea para consumo o producción de semilla; la distancia será mayor o igual a 40 cm y de 25 a 30 cm, respectivamente. La profundidad de siembra depende de la humedad del suelo y del tamaño del tubérculo y brotes. Cuando hay humedad suficiente y brotes bien formados la semilla-tubérculo debe ser tapada con unos cinco cm de tierra; en caso de ser la siembra en terrenos secos donde la humedad está más profunda, colocar la semilla en el fondo del surco y tapa con una capa de tierra de 8-12 cm.

Además la profundidad de siembra dependerá de las siguientes variables: tamaño de semilla, edad, textura del suelo, clima y pluviosidad.

Se recomienda que al momento de colocar la semilla a un lado de esta agregar fertilizantes o algún otro producto para que aporte en el crecimiento de la planta o proteja de los patógenos que pudiera presentarse.

Tabla 13: Distanciamiento para la siembra de papa.

| Distanciamientos | Tradicional (cm) | Rangos (cm) | |
|------------------|---------------------|-------------|--------|
| | | Mínimo | Máximo |
| Entre surcos | 100 | 50 | 120 |
| Entre semillas | 30 | 15 | 40 |

FUENTE: Adptado de Egúsquiza, 2014

3.5.4 Aporque

Egúsquiza (2014), afirma que es una labor agronómica que consiste en elevar los camellones de los surcos y profundizar los surcos del riego trasladando tierra al cuello de la planta. El aporque que se realiza; fundamentalmente para alejar la zona subterránea de la planta de

infecciones de parásitos y de condiciones que podrían reducir la producción y causar daño a los tubérculos disminuyendo su calidad.

El mismo autor señala que el primer aporque se debe realizar a inicio de la tuberización y que en las variedades precoces este proceso se debe de hacer más temprano que en el caso de las variedades tardías. El aporque para condiciones de costa se debe de realizar cuanto la planta alcanza un tamaño de 25 a 30 cm.

3.5.5 Control de malezas

Debido a que las malezas compiten por los nutrientes del suelo, luz y agua, es importante su oportuna eliminación ya sea a base de químicos, mecánicos o por última instancia manualmente para que no se vea afectada la producción del cultivo.

Orena y Santos (2012), señala que el cultivo de papa es muy sensible a la competencia de malezas al inicio de su desarrollo, especialmente entre los 30 y 60 días después de la siembra.

Egúsquiza (2014), afirma también que las malezas pueden ser plantas infectadas o convertirse en plantas hospederas de plagas que se transmiten al cultivo de papa.

3.5.6 Fertilización

En un comienzo es recomendable realizar un análisis de calidad del suelo para determinar la composición química de este, esto con el fin de determinar si es que el campo requiere de abonamiento o de algún mineral específico. La fertilización se puede dar tanto por fertirriego o de forma directa a la planta.

Egúsquiza (2014), manifiesta que los macronutrientes que requiere la papa son el nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K).

- Nitrógeno (N):

Es el más importante ya que de este macronutriente forma parte de numerosos compuestos orgánicos de la papa.

- Fósforo (P):

Su importancia radica en la formación temprana de las raíces y tallos aéreos del cultivo.

- Potasio (K):

El potasio con el fósforo contribuyen con la reducción de los efectos negativos del exceso de nitrógeno además que regula el balance hídrico de la planta.

3.5.7 Riegos

El riego debe de ser oportuno y humedecer la mayor cantidad de raíces, sobre todo a partir de la tuberización que es la etapa donde requiere de mayor cantidad de agua para formar los tubérculos. También antes de la siembra se debe de humedecer el terreno esta acción hará que los brotes crezcan más rápido.

Ekanayake (1994), señala que la papa debe regarse a -0.35 bares o menos, de potencial tensiométrico del suelo para mantener un micromedio bien irrigado.

Egúsquiza (2014), manifiesta que existe una relación positiva y directa entre la cantidad de agua que dispone la planta y el rendimiento comercial, debido a que la planta de la papa es muy sensible a la deficiencia de agua.

El mismo autor añade que solamente el cinco por ciento del agua que toma la planta es utilizado en su constitución celular y lo demás es transpirado.

3.5.8 Cosecha

Es el proceso por la cual se extraen los tubérculos, después de la madurez total de la planta. Egúsquiza (2014), menciona que la planta de papa está madura cuando la mayor parte de hojas muestran un color amarillento o cuando ha perdido la totalidad de hojas y no muestra follaje verde.

3.6 Evaluaciones durante la cosecha

Al finalizar el periodo vegetativo del cultivo se realizó la cosecha y clasificación de los tubérculos según el tratamiento, evaluando el número de tubérculos, tamaño y pesos de los mismos.

- Rendimiento según tratamiento

Teniendo el peso total por tratamiento y el área del experimento se calculó el rendimiento del cultivo en kilogramos por hectárea.

Rendimiento (Kg/ha)= cantidad producida (Kg)/Superficie cosechada (ha)

- Rendimiento según el calibre del tubérculo

En base a la producción por calibres o diámetro longitudinal de los tubérculos a nivel comercial, según la clasificación recomendada por Sifuentes (2012), se calculó el rendimiento de la siguiente manera:

Rendimiento (Kg/ha)= cantidad por calibre producido (Kg)/Superficie cosechada (ha)

- **Números de tubérculos**

También se registró la cantidad de tubérculos producidos por tratamiento, según su calibre en la clasificación que se muestra en la Tabla 15. Para facilitar la clasificación de los tubérculos se hizo uso de una estructura como se muestra en el ANEXO 9.

- **Tamaño de tubérculos**

Para la clasificación se tomó como referencia la calificación planteada por Sifuentes (2012), donde considera el diámetro longitudinal para la clasificación de los tubérculos.

Tabla 14: Clasificación de los tubérculos de papa según calibres.

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

Fuente: Sifuentes, 2012

3.7 Diseño experimental del cultivo

Para poder realizar un análisis estadístico se tiene que basar en un diseño experimental, con el fin de obtener datos de campo confiables para nuestra investigación. Por lo cual resulta muy práctico el tener repeticiones por tratamiento.

Hudson (1997), afirma que siempre habrá alguna variación natural en lo que se está midiendo y también algún error en la medición. Se utilizan las repeticiones, es decir, en teoría situaciones absolutamente idénticas, para dar una evaluación que sea aceptablemente confiable y segura. La dimensión del experimento siempre tiene limitaciones como los costos, la mano de obra o la superficie, por lo que hay que buscar una solución entre el número de tratamientos y el número de repeticiones. Una referencia para el número de repeticiones se muestra en la Tabla 7.

Algunos diseños empleados para el análisis estadístico en campos agrícolas son los siguientes: completo al azar, diseños de bloques, cuadrado latino, parcelas divididas, bloques divididos, etc.

Tabla 15: Referencia para el número de repeticiones.

| Tratamientos | Repeticiones de cada tratamiento |
|---------------------|---|
| 12 | 1 |
| 6 | 2 |
| 4 | 3 |
| 3 | 4 |
| 2 | 6 |
| 1 | 12 |

FUENTE: Hudson, 1997

3.7.1 Bloques completamente al azar

Es un diseño experimental que considera el efecto de un factor por bloques, a su vez cada bloque está constituido por un mismo número de tratamientos, en donde se considera tres fuentes de variabilidad: factor de tratamiento, factor de bloques y el error aleatorio.

IV. RESULTADOS

4.1 Resultados de las características del suelo

4.1.1 Características hídricas del suelo

Las características hídricas del suelo se calcularon en base a su porcentaje de contenido de arena, arcilla y limo (Tabla 7), usando las fórmulas de Bodman y Mahmud para determinar la humedad a capacidad de campo (CC) y la formula de Máximov para determinar el punto de marchitez permanente (PMP).

- Capacidad de campo (CC)

Formula de Bodman y Mahmud:

$$CC\% = 0.023 (\% \text{ arena}) + 0.25 (\% \text{ limo}) + 0.61 (\% \text{ arcilla})$$

$$CC\% = 0.023 (54.20) + 0.25 (38.28) + 0.61 (7.52)$$

$$CC = 15.40 \%$$

- Punto de marchitez permanente (PMP)

Formula de Máximov:

$$PMP \% = 0.001(\% \text{ arena}) + 0.12(\% \text{ limo}) + 0.57(\% \text{ arcilla})$$

$$PMP \% = 0.001(54.2) + 0.12(38.28) + 0.57(7.52)$$

$$PMP = 8.93 \%$$

4.1.2 Densidad aparente

Para determinar la densidad aparente se realizó una calicata en la parcela experimental en donde se tomaron nueve muestras inalteradas de suelo en unos cilindros para luego ser pesados en el laboratorio, hasta los 30 cm de profundidad se observa que la densidad aparente es de 1.43 gr/cm³ mientras que para 60 cm y 90 cm es de 1.46 gr/cm³. Ver Tabla 16.

Tabla 16: Densidad aparente de cada estrato.

| Muestra | Profundidad (cm) | Pss (gr) | Da | Psh (gr) | Da (Promedio) (gr/cm3) |
|---------|------------------|----------|------|----------|------------------------|
| M1 | 30 | 157.8 | 1.46 | 179.8 | 1.43 |
| M2 | 30 | 153.1 | 1.41 | 178.4 | |
| M3 | 30 | 154.2 | 1.42 | 178.2 | |
| M4 | 60 | 159.7 | 1.48 | 182.7 | 1.46 |
| M5 | 60 | 157.6 | 1.46 | 181.9 | |
| M6 | 60 | 156.4 | 1.44 | 182.5 | |
| M7 | 90 | 158.9 | 1.47 | 183.5 | 1.46 |
| M8 | 90 | 158.0 | 1.46 | 180.9 | |
| M9 | 90 | 157.8 | 1.46 | 184.6 | |

FUENTE: Elaboración propia.

4.1.3 Pruebas de riego de infiltración, avance y recesión del agua

Los resultados de las pruebas realizadas se muestran en la Tabla 17 se aprecian altos coeficiente de determinación (R^2) lo cual nos indica que hay una buena correlación de los datos.

Tabla 17: Función de infiltración y avance.

| | Ecuación | R^2 |
|---|---------------------------------|--------|
| Función de lámina infiltrada acumulada | $I_{cum} = 0.6522 * t^{0.4562}$ | 0.9968 |
| Función de velocidad de infiltración | $V_i = 41.621 * t^{-0.448}$ | 0.9942 |
| Función de avance | $D = 3.6228 * t^{0.8382}$ | 0.9866 |
| Función de recesión | $D_r = 10.871 * t^{0.9508}$ | 0.9851 |

FUENTE: Elaboración propia.

En las Figuras 27 y 28 se presenta en detalle las curvas de lámina infiltrada y velocidad de infiltración respectivamente.

La prueba de avance y recesión son importantes para definir los ciclos de riego y lo podemos observar en la Figura 29 y 30 respectivamente. El tiempo en llegar del inicio al final del surco es de 28.1 minutos y el tiempo de recesión es de 5.53 minutos.

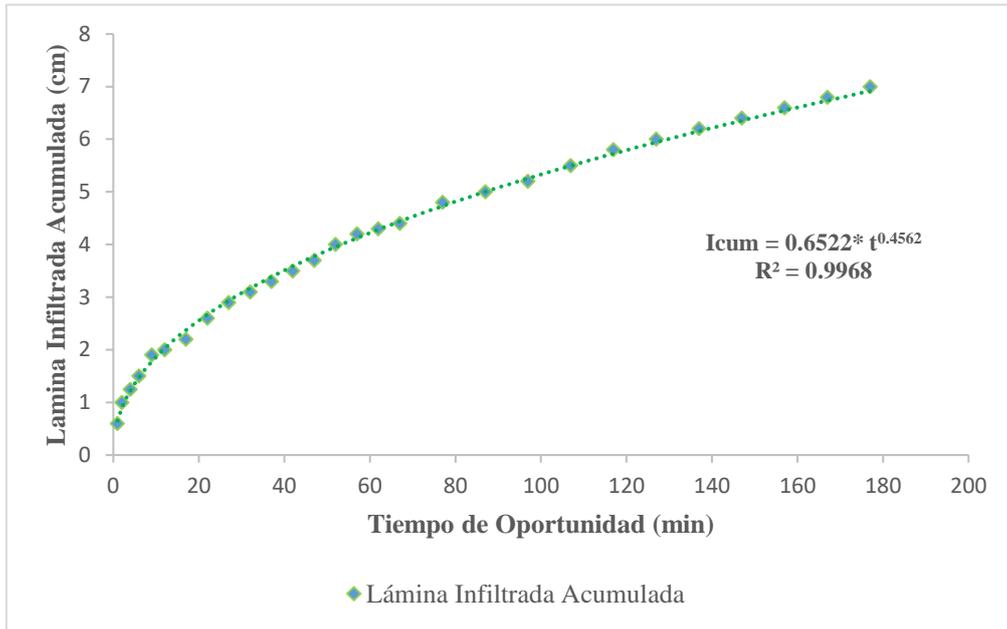


Figura 27: Curva de infiltración.

FUENTE: Elaboración propia.

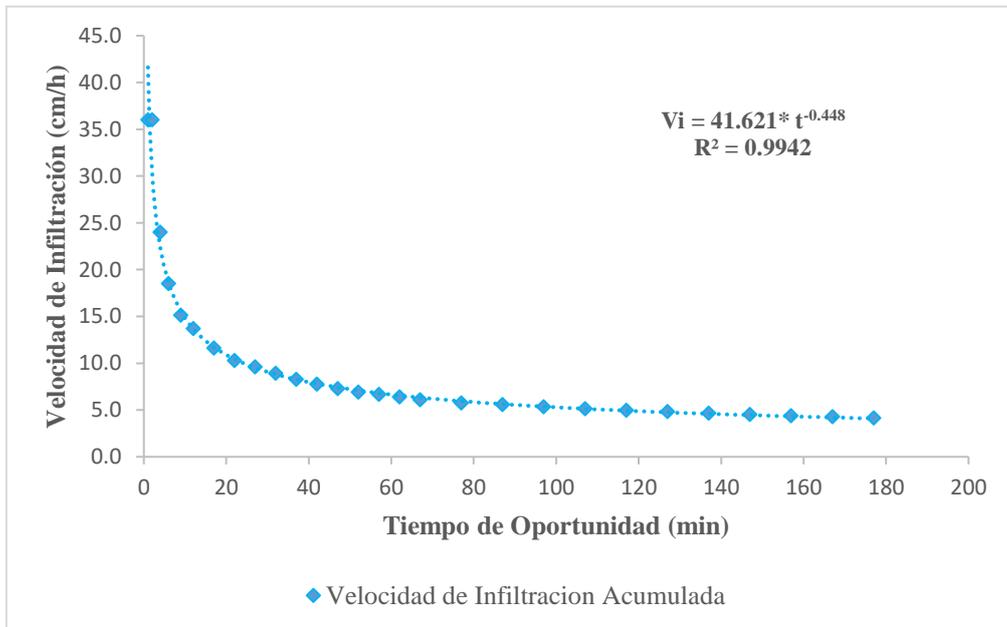


Figura 28: Curva de velocidad de infiltración.

FUENTE: Elaboración propia.

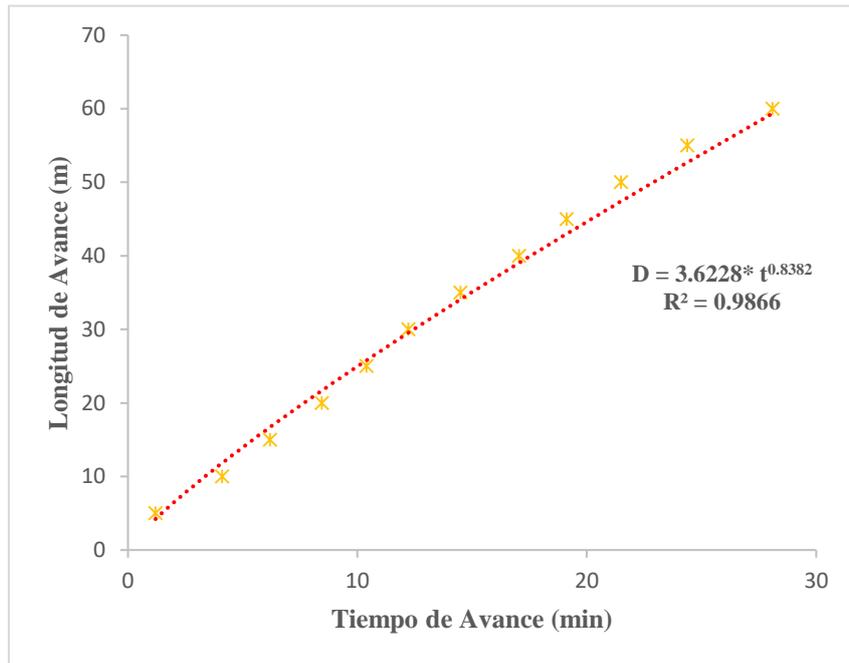


Figura 29: Curva de avance.

FUENTE: Elaboración propia.

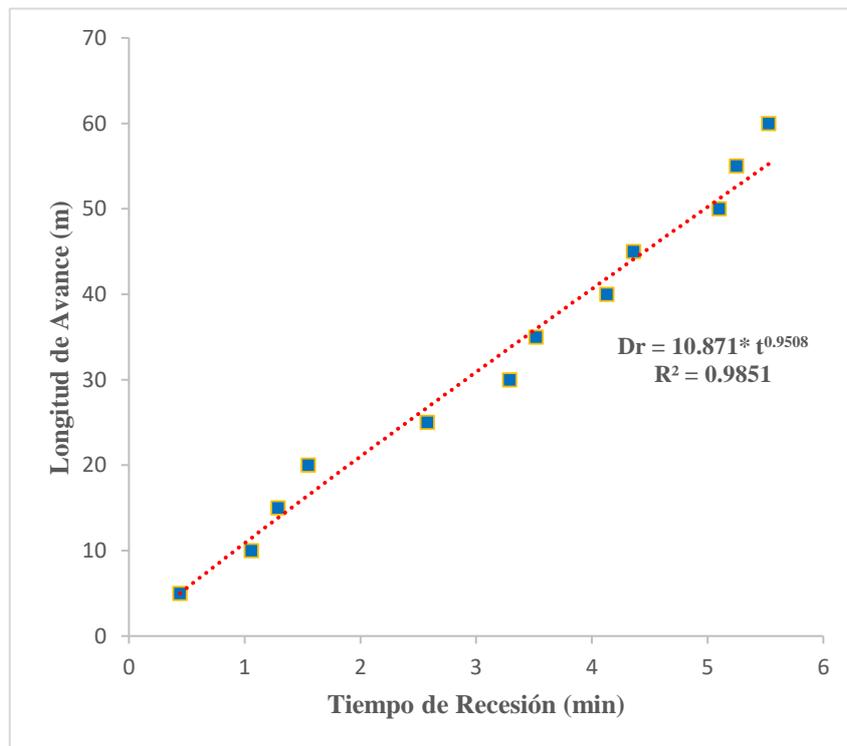


Figura 30: Curva de recesión.

FUENTE: Elaboración propia.

4.2 Resultados del diseño agronómico

4.2.1 Caudal máximo no erosivo

Se uniformizó la pendiente longitudinal del terreno a 0.8 por ciento, además se consideró para un suelo franco – arenoso los valores de las constantes “c” y “a” iguales a 0.613 y 0.733 respectivamente (Tabla 13), con ello se realizó la primera aproximación del caudal máximo no erosivo resultando un valor de 0.72 l/s.

$$Q_{max} = \frac{C}{S^a}$$

$$Q_{max} = \frac{0.613}{0.8^{0.733}}$$

$$Q_{max} = 0.72 \text{ l/s}$$

Se realizó la segunda aproximación para evitar la erosión, considerando un 70 por ciento de la primera aproximación resultando el valor de 0.5 l/s el cual se aplicó en el campo observando que no existe movimiento de partículas significativo (Tabla 18).

$$Q_r = Q_{max} * 0.7$$

$$Q_r = 0.721 \text{ l/s} * 0.7$$

$$Q_r = 0.5 \text{ l/s}$$

Tabla 18: Diseño del caudal.

| Parámetro | Descripción |
|--|------------------------|
| Cultivo | Papa (UNICA) |
| Distancia entre compuertas | 1.00 m |
| Pendiente promedio del terreno | 0.80 % |
| Textura del suelo | Franco - Arenoso |
| Constantes | c = 0.613 a = 0.733 |
| Caudal máximo no erosivo (primera aproximación) | 0.72 l/s |
| Caudal máximo no erosivo (segunda aproximación) | 0.50 l/s |

FUENTE: Elaboración propia.

4.2.2 Lámina neta y frecuencia de riego

Con los datos calculados de densidad aparente, capacidad de campo y punto de marchitez permanente además de los datos de profundidad de raíces según su estado fenológico y considerando un descenso tolerable del 60 por ciento para toda la campaña con el fin de evitar el estrés hídrico, se determinó la lámina de agua que se debe reponer al cultivo en cada mes.

Teniendo además la información de la estación meteorológica de la Facultad de Ingeniería Agrícola y el requerimiento hídrico del cultivo en cada etapa de crecimiento, se realizó la programación de riego (Tabla 19).

Con la información de las pruebas realizadas (avance, recesión e infiltración), se calcularon los tiempos de riego para cada tratamiento.

Tabla 19: Lámina neta y frecuencia de riego.

| Parámetros | Unidad | Etapas de crecimiento del cultivo | | | | |
|---|--------|-----------------------------------|-------|--------|-----------|---------|
| | | junio | julio | agosto | setiembre | octubre |
| Capacidad de Campo (CC) | % | 15.40 | 15.40 | 15.40 | 15.40 | 15.40 |
| Punto de Marchitez Permanente (PMP) | % | 8.93 | 8.93 | 8.93 | 8.93 | 8.93 |
| Densidad Aparente (Da) | gr/cc | 1.43 | 1.43 | 1.43 | 1.43 | 1.43 |
| Profundidad radicular efectiva | cm | 5 | 15 | 30 | 40 | 40 |
| Descenso Tolerable | % | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 |
| Lamina neta (Ln) | mm | 2.78 | 8.33 | 16.65 | 22.21 | 22.21 |
| Evapotranspiración de referencia (ET _o) | mm/día | 1.76 | 1.67 | 1.87 | 2.24 | 2.8 |
| Coefficiente del cultivo (K _c) | - | 0.30 | 0.60 | 1.10 | 1.35 | 1.20 |
| Evapotranspiración del cultivo (ET _c) | mm/día | 0.528 | 1.002 | 2.057 | 3.024 | 3.36 |
| Frecuencia de riego (Fr) | días | 5.26 | 8.31 | 8.10 | 7.34 | 6.61 |
| Longitud de surco (l) | m | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 |
| Tiempo de infiltración (t _i) | min | 0.88 | 9.83 | 44.94 | 84.43 | 84.43 |
| Tiempo de avance (t _a) | min | 28.47 | 28.47 | 28.47 | 28.47 | 28.47 |
| Tiempo de merma o recesión (t _m) | min | 6.03 | 6.03 | 6.03 | 6.03 | 6.03 |
| Tiempo de riego (RC) | min | 35.38 | 44.33 | 79.44 | 118.93 | 118.93 |
| Tiempo de riego (RI) | min | 16.8 | 26.93 | 40.26 | 55.25 | 55.25 |

FUENTE: Elaboración propia.

En la Tabla 19 se aprecia la frecuencia de riego según la etapa de crecimiento del cultivo, lo cual estaría condicionada a la disponibilidad de agua riego, siendo esta una vez a la semana.

También se muestra el tiempo de riego para cada mes del cultivo, iniciando con 35.38 minutos y en la fase final con 118.93 minutos para el riego continuo, mientras que para el riego intermitente un tiempo de 16.8 minutos al comienzo de la campaña y con 55.25 minutos en el último riego. Estos tiempos se calcularon con las curvas de tiempo de avance, infiltración y recesión.

4.3 Evaluación del cultivo de papa

El efecto del riego en el crecimiento del cultivo se realizó teniendo en cuenta los parámetros de porcentaje de emergencia, número de tallos y tamaños de planta, para cada tratamiento.

4.3.1 Porcentaje de emergencia

Las primeras plantas en emerger estuvieron en los bloques del riego intermitente a los nueve días de la siembra, observándose un promedio del 13 por ciento de emergencia en la parcela de riego intermitente y un 12 por ciento en el riego continuo, tal vez debido al tamaño de los brotes o al posicionamiento de la semilla al momento de la siembra los cuales pudieron ser factores que influyeron. A los 25 días de la siembra se llegó en su totalidad la emergencia del cultivo para ambos tratamientos (Figura 31).

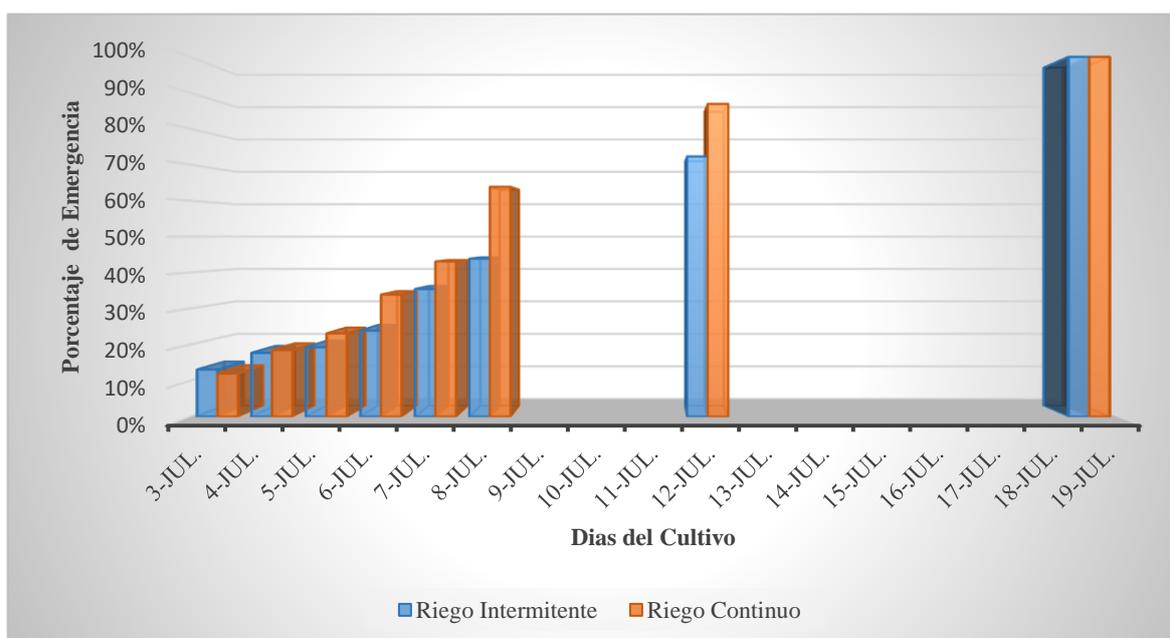


Figura 31: Porcentaje de emergencia del cultivo.

FUENTE: Elaboración propia.

4.3.2 Altura del cultivo

Para esta evaluación se eligieron plantas de forma aleatoria para realizar las medidas y tener un promedio de altura de planta por tratamiento (ver ANEXO 7).

Gutiérrez y Espinoza (2007), indican que la papa variedad UNICA alcanza una altura máxima de 120 cm. Sin embargo, en el presente experimento alcanzaron un porte máximo de 97 cm en promedio en el riego continuo y 90 cm en promedio para el riego intermitente. Los resultados se muestran en la Tabla 20.

Tabla 20: Altura de plantas por tratamiento.

| Tratamiento | Días después de la siembra | | | | |
|-----------------|------------------------------------|----|----|----|-----|
| | 25 | 50 | 75 | 90 | 112 |
| | Tamaño del cultivo - Promedio (cm) | | | | |
| R. Continuo | 7 | 54 | 76 | 94 | 97 |
| R. Intermitente | 2 | 16 | 62 | 84 | 90 |

FUENTE: Elaboración propia.

4.3.3 Tallos y hojas

A partir de los tallos emergen los estolones que posteriormente se convertirán en los tubérculos, y mientras mayor cantidad de hojas la planta hará más fotosíntesis, por ello son factores importantes en la productividad; se muestran los resultados en la Tabla 21, teniendo en cuenta que son valores promedio por bloque.

Tabla 21: Número promedio de tallos y hojas.

| Bloque | Riego Continuo | | Riego Intermitente | |
|---------------|----------------|-------|--------------------|-------|
| | Tallos | Hojas | Tallos | Hojas |
| 1 | 5 | 115 | 4 | 50 |
| 2 | 4 | 79 | 4 | 58 |
| 3 | 4 | 71 | 5 | 63 |
| 4 | 4 | 63 | 5 | 66 |
| 5 | 4 | 79 | 3 | 38 |
| 6 | 3 | 48 | 3 | 32 |
| 7 | 3 | 44 | 3 | 29 |
| 8 | 2 | 28 | 3 | 31 |
| 9 | 3 | 56 | 3 | 49 |
| 10 | 3 | 62 | 3 | 43 |
| Máximo | 5 | 115 | 5 | 66 |
| Mínimo | 2 | 28 | 3 | 29 |
| Media | 4 | 63 | 3 | 46 |

FUENTE: Elaboración propia.

- **Análisis estadístico del número de hojas**

A partir del siguiente método de análisis:

Hipótesis nula (H0): Todas las medias de hojas por bloques son iguales

Hipótesis alterna (H1): No todas las medias de hojas por bloques son iguales

Y teniendo un grado de significancia: $\alpha = 0.05$

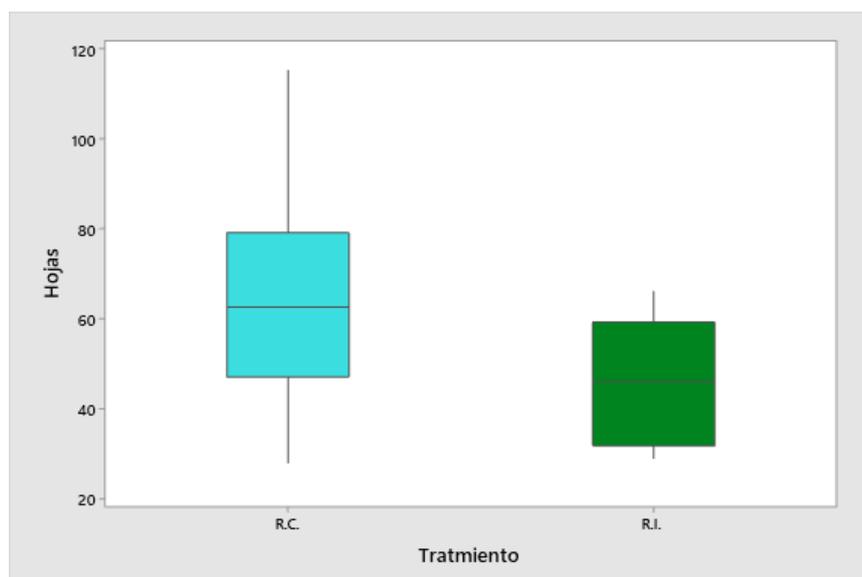


Figura 32: Diagrama de cajas de la número de hojas promedio.

FUENTE: Elaboración propia.

De la Figura 32 se puede decir que el número de hojas para el riego continuo es más variante teniendo como un pico máximo de 115 hojas y un mínimo de 28 en promedio por bloques; por otra parte para el riego intermitente varía en un rango menor, entre 29 y 66 hojas por planta.

- **Análisis de varianza (ANOVA)**

Tabla 22: Análisis de varianza del número de hojas.

| Fuente | Grados de libertad | Suma de cuadrados | Promedio de los cuadrados | F | Probabilidad | Valor crítico para F |
|--------------|--------------------|-------------------|---------------------------|------|--------------|----------------------|
| Tratamientos | 1 | 1730 | 1729.8 | 8.07 | 0.019 | 5.12 |
| Bloques | 9 | 4829 | 536.6 | 2.50 | 0.094 | 3.18 |
| Error | 9 | 1930 | 214.5 | | | |
| Total | 19 | 8489 | | | | |

FUENTE: Elaboración propia.

Se puede concluir a partir de la Tabla 22, que al tener una probabilidad de 0.019 siendo esta menor a 0.05 entre tratamientos, se rechaza la hipótesis nula y se afirma que existe diferencia significativa entre tratamientos; a diferencia de la probabilidad entre bloques que es de 0.094 y que es mayor a 0.05 esto significa que no existe diferencia significativa entre bloques, lo cual es conveniente ya que solo estamos analizando la varianza entre tratamientos y se podría considerar que entre bloques existe la misma cantidad de hojas pero distinta entre tratamientos.

- **Análisis estadístico del número de tallos**

A partir del siguiente método de análisis:

Hipótesis nula (H0): Todas las medias de tallos por bloques son iguales.

Hipótesis alterna (H1): No todas las medias de tallos por bloques son iguales.

Y teniendo un grado de significancia: $\alpha = 0.05$

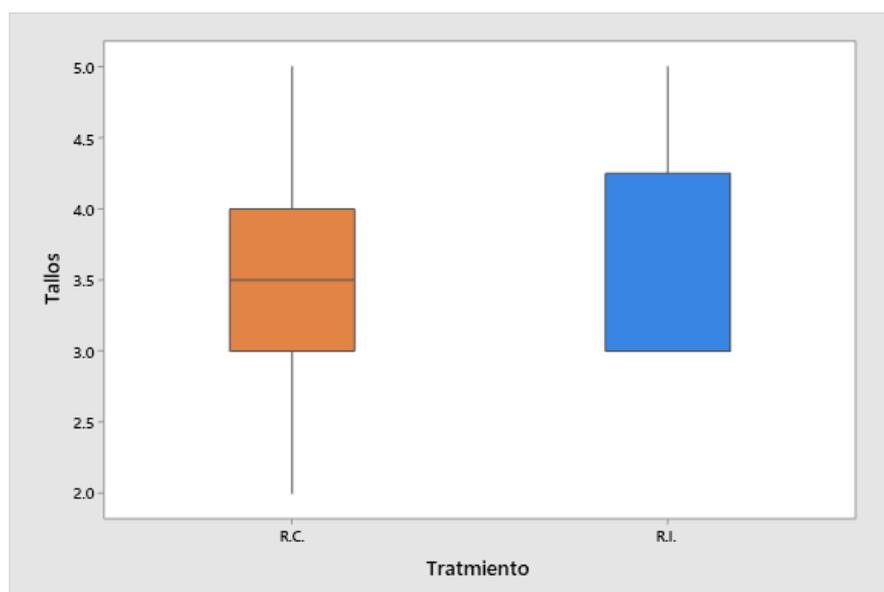


Figura 33: Diagrama de cajas de la cantidad de tallos promedio.

FUENTE: Elaboración propia.

Se muestra en la Figura 33 que en promedio, los tallos para el riego continuo tienen como media 3.5 y además se presenta un caso extremo mínimo de dos tallos y en el riego intermitente la media es de tres por ser el número de tallos en promedio de los diez bloques.

- **Análisis de varianza (ANOVA)**

Tabla 23: Análisis de varianza del número de tallos.

| Fuente | Grados de libertad | Suma de cuadrados | Promedio de los cuadrados | F | Probabilidad | Valor crítico para F |
|---------------|---------------------------|--------------------------|----------------------------------|----------|---------------------|-----------------------------|
| Tratamiento | 1 | 0.05 | 0.05 | 0.18 | 0.678 | 5.12 |
| Bloques | 9 | 10.45 | 1.16 | 4.27 | 0.021 | 3.18 |
| Error | 9 | 2.45 | 0.27 | | | |
| Total | 19 | 12.95 | | | | |

FUENTE: Elaboración propia.

En la Tabla 23 se muestra que la varianza entre tratamientos para el número de tallos promedio, no existe una diferencia significativa debido a que la probabilidad es 0.678 la cual es mayor a 0.05 establecido, por otra parte para el análisis entre bloques si existe una variabilidad significativa ya que 0.021 es menor a 0.05 por lo cual se realizó el análisis de Tukey para observar que bloques difieren de los demás.

- **Prueba de comparaciones múltiple de Tukey**

Tabla 24: Agrupación según la prueba de Tukey para número de tallos

| Bloques | N | Media | Agrupación | |
|----------------|----------|--------------|-------------------|---|
| 4 | 2 | 4.5 | A | |
| 3 | 2 | 4.5 | A | |
| 1 | 2 | 4.5 | A | |
| 2 | 2 | 4 | A | B |
| 5 | 2 | 3.5 | A | B |
| 10 | 2 | 3 | A | B |
| 9 | 2 | 3 | A | B |
| 7 | 2 | 3 | A | B |
| 6 | 2 | 3 | A | B |
| 8 | 2 | 2.5 | | B |

FUENTE: Elaboración propia.

La prueba de comparación de Tukey demostró que no existe diferencia significativa entre los bloques 6, 7, 9, 10, 5, 2 por lo que se podrían considerar iguales mientras que para los bloques 8, 4, 3 y 1 si hay diferencia significativa por ello que en la Tabla 24 tienen diferente agrupación.

4.4 Evaluación del riego

Los riegos se realizaron una vez a la semana, en donde se evaluaron las humedades gravimétricas antes y después del riego, la lámina aplicada, la distribución de los volúmenes de agua y las eficiencias de aplicación de cada evento de riego.

4.4.1 Tiempos de apertura y cierre de las compuertas

Las acciones de apertura y suspensión de riego en cada surco se realizaron de forma manual, cerrando y abriendo cada una de las compuertas.

El tiempo de apertura y cierre de compuertas se realizó en base al tiempo de avance y recesión, para la fase de avance se consideró seis pulsos con intervalos de dos, tres y cuatro minutos, tiempo que el frente de avance pasa por el largo del surco ya humedecido más diez metros adicionales del surco que aún no ha sido humedecido por el pulso anterior, esta acción continuó hasta completar el largo del surco. En la fase de remojo se estableció intervalos de cinco minutos por pulso para reponer la lámina de riego total.

4.4.2 Pruebas de avance registradas

Los datos registrados se obtuvieron a partir de la prueba de avance para determinar los intervalos de apertura y cierre de las compuertas, registrando los tiempos que demora el frente de agua en avanzar diez metros del surco con un caudal de 0.5 l/s. Los resultados se aprecian en la Tabla 25 y la Figura 34 donde se observa que las curvas tienen un avance más rápido que la del riego continuo.

Tabla 25: Tiempo de avance del riego intermitente.

| Long. Surco (m) | N° de pulsos y Tiempo de riego (min.) | | | | | |
|--------------------|---------------------------------------|-----|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 0 | 0.0 | 3.7 | 7.8 | 13.3 | 19.4 | 26.8 |
| 10 | 1.7 | 4.8 | 8.6 | 14.1 | 20.1 | 27.4 |
| 20 | | 5.8 | 9.5 | 14.8 | 20.7 | 28.1 |
| 30 | | | 10.3 | 15.6 | 21.3 | 28.7 |
| 40 | | | | 16.4 | 21.9 | 29.3 |
| 50 | | | | | 22.8 | 30.0 |
| 60 | | | | | | 30.8 |

FUENTE: Elaboración propia.

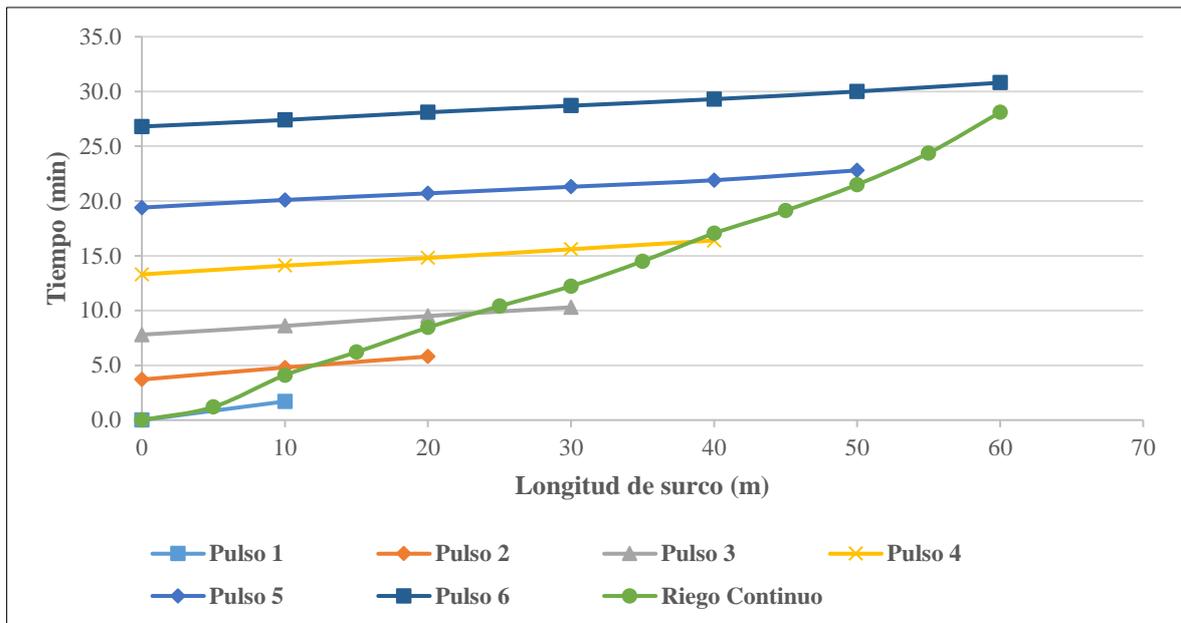


Figura 34: Curva de avance por pulsos de riego intermitente y continuo.

FUENTE: Elaboración propia.

4.4.3 Contenido de humedad en el suelo

Se tomaron muestras de suelo antes y después de cada riego, en intervalos de 30 metros del surco y a la profundidad radicular del cultivo, para calcular el contenido de humedad gravimétrica promedio en el riego continuo y el riego intermitente.

En las Tablas 26 y 27 se muestran los resultados de la humedad gravimétrica que existe en la zona radicular, ya que con cada evento de riego se busca reponer la lámina de agua que se pierde por evapotranspiración y llegar a capacidad de campo.

De los resultados anteriormente mencionados se observa que al inicio del surco correspondiente al riego continuo, contiene una humedad cercana a capacidad de campo, mientras que el riego intermitente tiene una distribución de humedad más uniforme.

Tabla 26: Contenido de humedad gravimétrica - riego intermitente.

| N° de Riego | Fecha | Longitud de surco (m) | | | Observ. | Promedio |
|-------------|------------|-----------------------|--------|--------|---------|----------|
| | | 0 | 30 | 60 | | |
| 1 | 24/06/2017 | 4.50% | 5.04% | 5.19% | A.R. | 4.91% |
| | 25/06/2017 | 18.24% | 17.52% | 17.54% | D.R. | 17.77% |
| 2 | 1/07/2017 | 10.30% | 9.95% | 10.25% | A.R. | 10.17% |
| | 2/07/2017 | 14.25% | 13.35% | 15.63% | D.R. | 14.41% |
| 3 | 8/07/2017 | 12.41% | 11.27% | 12.23% | A.R. | 11.97% |
| | 9/07/2017 | 17.85% | 17.72% | 18.28% | D.R. | 17.95% |
| 4 | 15/07/2017 | 11.85% | 11.23% | 11.93% | A.R. | 11.67% |
| | 16/07/2017 | 16.12% | 16.37% | 17.74% | D.R. | 16.74% |
| 5 | 22/07/2017 | 11.69% | 10.53% | 11.98% | A.R. | 11.40% |
| | 23/07/2017 | 16.46% | 15.33% | 14.95% | D.R. | 15.58% |
| 6 | 29/07/2017 | 12.38% | 9.85% | 11.18% | A.R. | 11.14% |
| | 30/07/2017 | 16.08% | 15.33% | 14.71% | D.R. | 15.37% |
| 7 | 5/08/2017 | 12.23% | 9.68% | 11.68% | A.R. | 11.20% |
| | 6/08/2017 | 16.77% | 16.24% | 16.41% | D.R. | 16.47% |
| 8 | 12/08/2017 | 10.80% | 12.72% | 10.84% | A.R. | 11.45% |
| | 13/08/2017 | 16.27% | 17.14% | 17.42% | D.R. | 16.94% |
| 9 | 19/08/2017 | 9.40% | 9.88% | 12.59% | A.R. | 10.62% |
| | 20/08/2017 | 15.85% | 17.43% | 17.99% | D.R. | 17.09% |
| 10 | 26/08/2017 | 12.03% | 10.53% | 12.16% | A.R. | 11.57% |
| | 27/08/2017 | 17.76% | 16.34% | 16.84% | D.R. | 16.98% |
| 11 | 2/09/2017 | 12.53% | 9.94% | 10.48% | A.R. | 10.98% |
| | 3/09/2017 | 16.11% | 15.42% | 15.92% | D.R. | 15.82% |
| 12 | 9/09/2017 | 11.40% | 10.07% | 9.83% | A.R. | 10.43% |
| | 10/09/2017 | 17.12% | 15.51% | 16.36% | D.R. | 16.33% |
| 13 | 16/09/2017 | 11.39% | 9.89% | 10.28% | A.R. | 10.52% |
| | 17/09/2017 | 17.72% | 16.36% | 15.76% | D.R. | 16.61% |
| 14 | 23/09/2017 | 12.66% | 11.92% | 12.43% | A.R. | 12.34% |
| | 24/09/2017 | 17.97% | 16.91% | 17.65% | D.R. | 17.51% |
| 15 | 30/09/2017 | 10.79% | 10.26% | 9.93% | A.R. | 10.33% |
| | 1/10/2017 | 16.61% | 16.08% | 15.31% | D.R. | 16.00% |
| 16 | 7/10/2017 | 9.95% | 9.82% | 9.54% | A.R. | 9.77% |
| | 8/10/2017 | 15.99% | 15.63% | 16.53% | D.R. | 16.05% |
| 17 | 14/10/2017 | 11.47% | 10.90% | 9.75% | A.R. | 10.71% |
| | 15/10/2017 | 17.36% | 15.14% | 15.73% | D.R. | 16.08% |

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 27: Contenido de humedad gravimétrica - riego continuo.

| N° de Riego | Fecha | Longitud de surco (m) | | | Observ. | Promedio |
|-------------|------------|-----------------------|--------|--------|---------|----------|
| | | 0 | 30 | 60 | | |
| 1 | 24/06/2017 | 4.76% | 4.81% | 4.52% | A.R. | 4.70% |
| | 25/06/2017 | 21.41% | 17.14% | 14.44% | D.R. | 17.66% |
| 2 | 1/07/2017 | 19.59% | 15.14% | 12.77% | A.R. | 15.83% |
| | 2/07/2017 | 20.14% | 16.81% | 13.94% | D.R. | 16.96% |
| 3 | 8/07/2017 | 20.25% | 14.26% | 11.22% | A.R. | 15.24% |
| | 9/07/2017 | 21.54% | 16.56% | 15.28% | D.R. | 17.79% |
| 4 | 15/07/2017 | 20.00% | 13.22% | 11.29% | A.R. | 14.84% |
| | 16/07/2017 | 20.82% | 16.93% | 14.66% | D.R. | 17.47% |
| 5 | 22/07/2017 | 19.28% | 14.60% | 11.25% | A.R. | 15.04% |
| | 23/07/2017 | 21.78% | 16.70% | 14.68% | D.R. | 17.72% |
| 6 | 29/07/2017 | 19.83% | 15.96% | 10.56% | A.R. | 15.45% |
| | 30/07/2017 | 20.26% | 16.88% | 15.44% | D.R. | 17.53% |
| 7 | 5/08/2017 | 19.66% | 11.27% | 10.18% | A.R. | 13.70% |
| | 6/08/2017 | 21.87% | 15.26% | 12.55% | D.R. | 16.56% |
| 8 | 12/08/2017 | 17.22% | 9.83% | 9.80% | A.R. | 12.28% |
| | 13/08/2017 | 21.33% | 14.10% | 12.47% | D.R. | 15.97% |
| 9 | 19/08/2017 | 18.03% | 13.07% | 10.66% | A.R. | 13.92% |
| | 20/08/2017 | 22.17% | 17.17% | 14.17% | D.R. | 17.84% |
| 10 | 26/08/2017 | 18.96% | 12.78% | 12.15% | A.R. | 14.63% |
| | 27/08/2017 | 21.08% | 16.41% | 16.46% | D.R. | 17.98% |
| 11 | 2/09/2017 | 14.12% | 10.76% | 9.47% | A.R. | 11.45% |
| | 3/09/2017 | 16.62% | 12.62% | 12.02% | D.R. | 13.75% |
| 12 | 9/09/2017 | 18.74% | 12.08% | 9.40% | A.R. | 13.41% |
| | 10/09/2017 | 21.78% | 14.54% | 12.55% | D.R. | 16.29% |
| 13 | 16/09/2017 | 18.84% | 16.11% | 10.24% | A.R. | 15.06% |
| | 17/09/2017 | 21.95% | 17.41% | 12.76% | D.R. | 17.37% |
| 14 | 23/09/2017 | 17.32% | 13.29% | 12.90% | A.R. | 14.50% |
| | 24/09/2017 | 20.57% | 15.18% | 15.62% | D.R. | 17.12% |
| 15 | 30/09/2017 | 19.39% | 14.18% | 10.81% | A.R. | 14.79% |
| | 1/10/2017 | 20.70% | 16.27% | 17.05% | D.R. | 18.01% |
| 16 | 7/10/2017 | 19.34% | 14.02% | 10.70% | A.R. | 14.69% |
| | 8/10/2017 | 20.00% | 16.41% | 15.56% | D.R. | 17.32% |
| 17 | 14/10/2017 | 19.12% | 15.57% | 10.05% | A.R. | 14.91% |
| | 15/10/2017 | 20.34% | 17.94% | 15.21% | D.R. | 17.83% |

FUENTE: Elaboración propia.

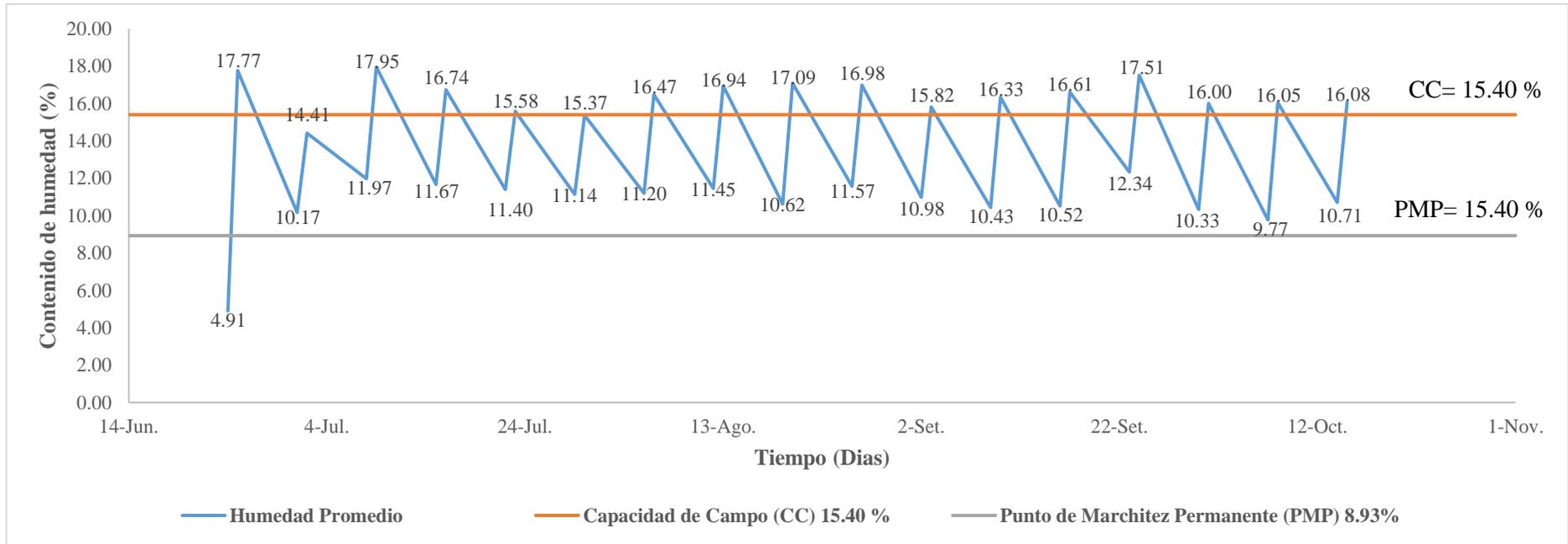


Figura 35: Porcentaje de humedad gravimétrica - riego intermitente.

FUENTE: Elaboración propia.

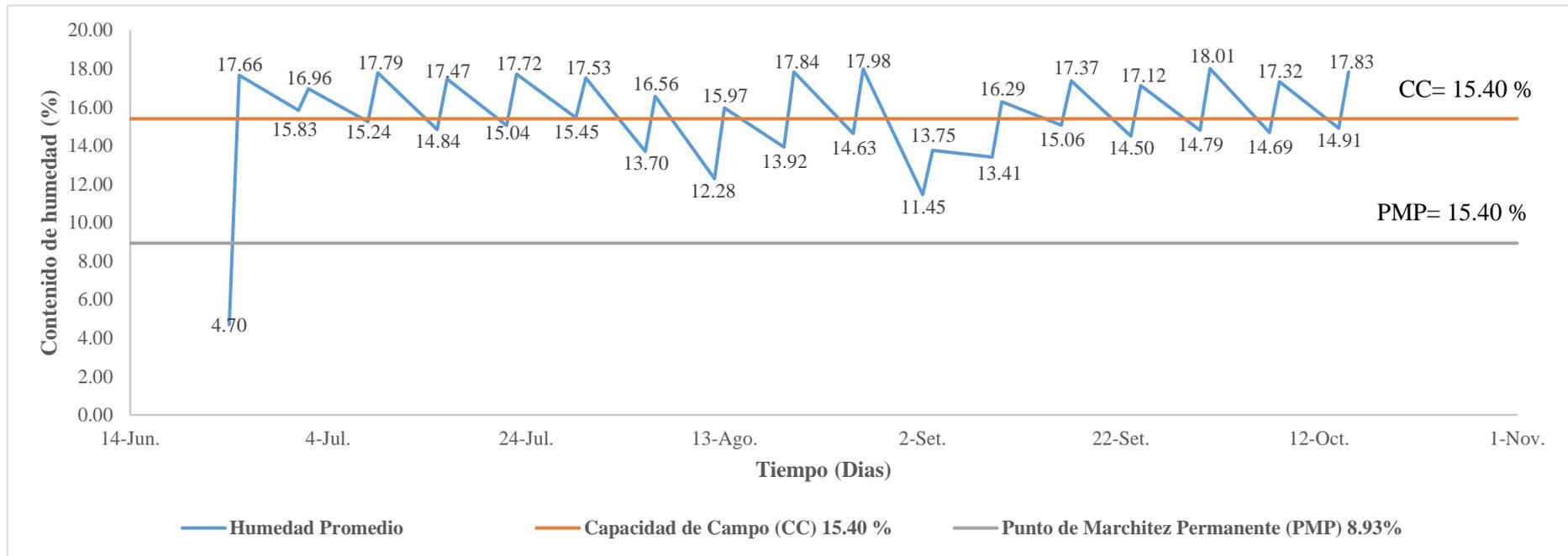


Figura 36: Porcentaje de humedad promedio a 30 cm - riego continuo.

FUENTE: Elaboración propia.

En la Figura 35 y 36 se muestra la variación del porcentaje de humedad promedios durante los riegos con un mínimo de 9.77 por ciento de humedad en la parcela de riego intermitente, el cual se aproxima al punto de marchitez permanente; en el riego continuo se puede apreciar que la humedad promedio está por encima de 11.43 por ciento, esto se justifica debido a que en los primeros metros del surco ha habido mayor infiltración de agua.

También se observa que después del riego la humedad gravimétrica está por encima de la humedad a capacidad de campo, teniendo como evento extremo, en el riego intermitente una humedad de 17.95 por ciento lo cual nos indica que hay un porcentaje de agua que la planta no consumirá y se perderá como percolación profunda, mientras que en el riego continuo se muestra como máximo valor 18.01 por ciento de humedad.

4.5 Volumen de agua aplicado

Las láminas aplicadas en cada de riego dependen del tiempo de riego que se calcularon en el diseño agronómico del cultivo mostrado en la Tabla 19.

4.5.1 Volumen de agua por evento de riego

Se consiguió efectuar el riego intermitente mediante un sistema que fue construido de tuberías de bambú con multicompuertas ubicadas frente a cada surco, desde donde se efectuó la apertura y cierre de los mismos por intervalos de tiempo durante la fase de avance y la fase de remojo. Se realizó de 6 a 14 pulsos de agua para el riego continuo dependiendo de la edad del cultivo, con el fin de tener un mejor perfil de humedecimiento.

Durante todo el tiempo que duró el experimento se llegó a realizar 17 riegos (Tabla 28) a un riego por semana y usando en promedio un caudal de 0.5 l/s tanto para el riego intermitente como para el riego continuo, esto se logró ajustando la altura de apertura de las compuertas que tiene la tubería de bambú.

Tabla 28: Eventos de riego y lámina aplicada.

| Número de riego | Fecha | Lámina bruta R.C. (mm) | Lámina bruta R.I. (mm) |
|------------------------|--------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 1 | 24/06/2017 | 17.69 | 8.40 |
| 2 | 1/07/2017 | 22.17 | 13.47 |
| 3 | 8/07/2017 | 22.17 | 13.47 |
| 4 | 15/07/2017 | 22.17 | 13.47 |
| 5 | 22/07/2017 | 22.17 | 13.47 |
| 6 | 29/07/2017 | 22.17 | 13.47 |
| 7 | 5/08/2017 | 39.72 | 20.13 |
| 8 | 12/08/2017 | 39.72 | 20.13 |
| 9 | 19/08/2017 | 39.72 | 20.13 |
| 10 | 26/08/2017 | 39.72 | 20.13 |
| 11 | 2/09/2017 | 59.47 | 27.63 |
| 12 | 9/09/2017 | 59.47 | 27.63 |
| 13 | 16/09/2017 | 59.47 | 27.63 |
| 14 | 23/09/2017 | 59.47 | 27.63 |
| 15 | 30/09/2017 | 59.47 | 27.63 |
| 16 | 7/10/2017 | 59.47 | 27.63 |
| 17 | 14/10/2017 | 59.47 | 27.63 |

FUENTE: Elaboración propia.

4.5.2 Lámina de riego

En la Tabla 29 y en la Figura 37 se muestra la distribución de la lámina de agua aplicada, a manera de ejemplo para el séptimo riego donde se cubrió la lámina de riego de 16.7 mm.

También podemos apreciar que para cada tramo ya humedecido por el anterior pulso su permeabilidad ha disminuido esto debido a que los poros del suelo se saturan con el agua del último pulso logrando así una mayor velocidad de avance en el tramo ya humedecido. El tiempo que tarda en pasar por cada tramo del surco se puede apreciar en la Tabla 30, donde después de la fase de avance el tiempo que se demora el frente de avance del agua por tramo se vuelve constante.

Gracias a esta característica de aumento de velocidad de avance en el tramo ya humedecido, el riego intermitente tiene una ventaja ya que el su tiempo de avance es menor en comparación al riego continuo y por ello el aumento de la eficiencia de aplicación.

Tabla 29: Distribución de la lámina de agua aplicada por pulsos - séptimo riego.

| Longitud de surco (m) | 1 pulso | 2 pulsos | 3 pulsos | 4 pulsos | 5 pulsos | 6 pulsos | 7 pulsos | 8 pulsos | 9 pulsos | 10 pulsos | 11 pulsos |
|------------------------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|
| 0 | 0.51 | 0.83 | 1.08 | 1.31 | 1.51 | 1.71 | 1.96 | 2.21 | 2.46 | 2.71 | 2.96 |
| 10 | 0.13 | 0.28 | 0.59 | 0.89 | 1.18 | 1.49 | 1.84 | 2.19 | 2.54 | 2.90 | 3.25 |
| 20 | | 0.16 | 0.40 | 0.72 | 1.00 | 1.30 | 1.64 | 1.98 | 2.33 | 2.68 | 3.03 |
| 30 | | | 0.26 | 0.32 | 0.67 | 1.03 | 1.44 | 1.86 | 2.27 | 2.69 | 3.11 |
| 40 | | | | 0.26 | 0.58 | 0.92 | 1.31 | 1.70 | 2.09 | 2.49 | 2.88 |
| 50 | | | | | 0.26 | 0.56 | 0.91 | 1.27 | 1.62 | 1.98 | 2.35 |
| 60 | | | | | | 0.28 | 0.61 | 0.94 | 1.28 | 1.63 | 1.97 |

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 30: Tiempo de avance por tramos del surco - séptimo riego.

| Longitud de surco (m) | Nº de pulsos y Tiempo de riego (min.) | | | | | | | | | | |
|-----------------------|---------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10 | 1.7 | 1.1 | 0.8 | 0.8 | 0.7 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 |
| 20 | | 1 | 0.9 | 0.7 | 0.6 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.6 | 0.6 | 0.6 |
| 30 | | | 0.8 | 0.8 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 |
| 40 | | | | 0.8 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 |
| 50 | | | | | 0.9 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.6 | 0.6 |
| 60 | | | | | | 0.8 | 0.7 | 0.7 | 0.6 | 0.6 | 0.6 |

FUENTE: Elaboración propia.

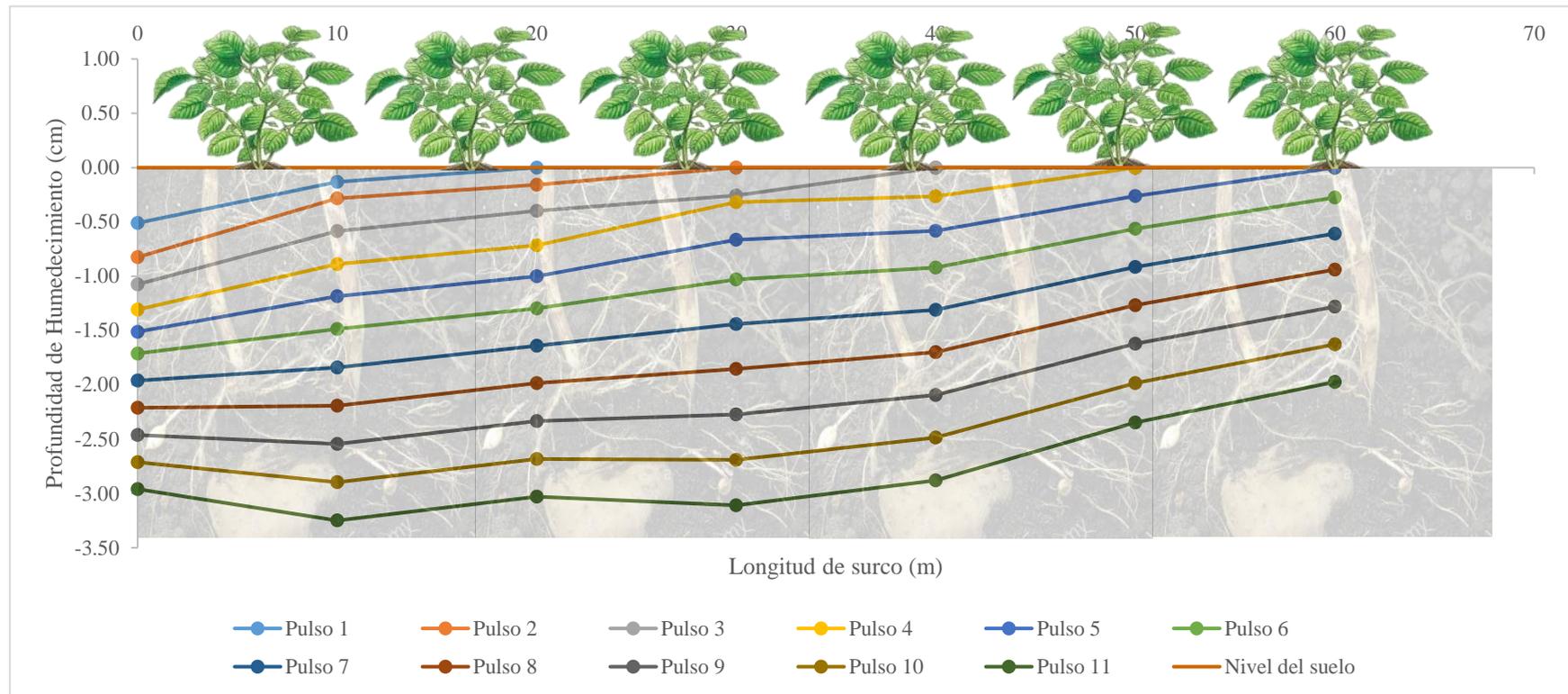


Figura 37: Perfil de humedecimiento por pulsos a lo largo del surco - séptimo riego.

FUENTE: Elaboración propia.

4.5.3 Distribución del volumen de agua aplicado

Teniendo los aforamientos y recolección de volúmenes de agua del riego continuo y riego intermitente respectivamente se calcularon los volúmenes de agua de cada evento de riego que se pierde por escorrentía superficial como se puede apreciar en las Tablas 31 y 32.

A partir de las tablas anteriormente señaladas se puede afirmar que, en el riego continuo mientras mayor sea el tiempo de riego mayor es el caudal que se pierde por escorrentía superficial y percolación profunda, a diferencia del riego intermitente donde los valores de escorrentía superficial no superan al metro cubico y de igual manera la percolación profunda, haciendo un uso eficiente del agua de riego.

Tabla 31: Distribución del volumen de agua aplicado en el riego continuo.

| N° de riego | Fecha de evaluación | Caudal (l/s) | Surco | Tiempo (min) | Volumen de agua (m3) | | | |
|-------------|---------------------|--------------|-------|--------------|----------------------|-------------|----------------|-------------|
| | | | | | Aplicada | Escorrentía | Zona de raíces | Percolación |
| 1 | 24/06/2017 | 0.5 | 2 | 35.38 | 1.06 | 0.56 | 0.17 | 0.33 |
| 2 | 1/07/2017 | 0.5 | 3 | 44.33 | 1.33 | 0.65 | 0.50 | 0.18 |
| 3 | 8/07/2017 | 0.5 | 4 | 44.33 | 1.33 | 0.69 | 0.50 | 0.14 |
| 4 | 15/07/2017 | 0.5 | 5 | 44.33 | 1.33 | 0.69 | 0.50 | 0.14 |
| 5 | 22/07/2017 | 0.5 | 2 | 44.33 | 1.33 | 0.76 | 0.50 | 0.07 |
| 6 | 29/07/2017 | 0.5 | 3 | 44.33 | 1.33 | 0.71 | 0.50 | 0.12 |
| 7 | 5/08/2017 | 0.5 | 4 | 79.44 | 2.38 | 1.18 | 1.00 | 0.20 |
| 8 | 12/08/2017 | 0.5 | 5 | 79.44 | 2.38 | 1.26 | 1.00 | 0.13 |
| 9 | 19/08/2017 | 0.5 | 2 | 79.44 | 2.38 | 1.27 | 1.00 | 0.11 |
| 10 | 26/08/2017 | 0.5 | 3 | 79.44 | 2.38 | 1.34 | 1.00 | 0.04 |
| 11 | 2/09/2017 | 0.5 | 4 | 118.93 | 3.57 | 2.12 | 1.33 | 0.11 |
| 12 | 9/09/2017 | 0.5 | 5 | 118.93 | 3.57 | 2.11 | 1.33 | 0.13 |
| 13 | 16/09/2017 | 0.5 | 2 | 118.93 | 3.57 | 2.07 | 1.33 | 0.17 |
| 14 | 23/09/2017 | 0.5 | 3 | 118.93 | 3.57 | 2.09 | 1.33 | 0.15 |
| 15 | 30/09/2017 | 0.5 | 4 | 118.93 | 3.57 | 2.04 | 1.33 | 0.19 |
| 16 | 7/10/2017 | 0.5 | 5 | 118.93 | 3.57 | 2.08 | 1.33 | 0.16 |
| 17 | 14/10/2017 | 0.5 | 2 | 118.93 | 3.57 | 2.06 | 1.33 | 0.17 |

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 32: Distribución del volumen de agua aplicado en el riego intermitente.

| N° de riego | Fecha de evaluación | Caudal (l/s) | Surco | Tiempo (min) | Volumen de agua (m3) | | | |
|-------------|---------------------|--------------|-------|--------------|----------------------|-------------|----------------|-------------|
| | | | | | Aplicada | Escorrentía | Zona de raíces | Percolación |
| 1 | 24/06/2017 | 0.5 | 2 | 16.80 | 0.50 | 0.02 | 0.17 | 0.32 |
| 2 | 1/07/2017 | 0.5 | 3 | 26.93 | 0.81 | 0.03 | 0.50 | 0.28 |
| 3 | 8/07/2017 | 0.5 | 4 | 26.93 | 0.81 | 0.04 | 0.50 | 0.27 |
| 4 | 15/07/2017 | 0.5 | 5 | 26.93 | 0.81 | 0.04 | 0.50 | 0.27 |
| 5 | 22/07/2017 | 0.5 | 2 | 26.93 | 0.81 | 0.10 | 0.50 | 0.20 |
| 6 | 29/07/2017 | 0.5 | 3 | 26.93 | 0.81 | 0.11 | 0.50 | 0.20 |
| 7 | 5/08/2017 | 0.5 | 4 | 40.26 | 1.21 | 0.16 | 1.00 | 0.05 |
| 8 | 12/08/2017 | 0.5 | 5 | 40.26 | 1.21 | 0.06 | 1.00 | 0.15 |
| 9 | 19/08/2017 | 0.5 | 2 | 40.26 | 1.21 | 0.11 | 1.00 | 0.10 |
| 10 | 26/08/2017 | 0.5 | 3 | 40.26 | 1.21 | 0.17 | 1.00 | 0.04 |
| 11 | 2/09/2017 | 0.5 | 4 | 55.25 | 1.66 | 0.25 | 1.33 | 0.08 |
| 12 | 9/09/2017 | 0.5 | 5 | 55.25 | 1.66 | 0.13 | 1.33 | 0.20 |
| 13 | 16/09/2017 | 0.5 | 2 | 55.25 | 1.66 | 0.21 | 1.33 | 0.12 |
| 14 | 23/09/2017 | 0.5 | 3 | 55.25 | 1.66 | 0.07 | 1.33 | 0.25 |
| 15 | 30/09/2017 | 0.5 | 4 | 55.25 | 1.66 | 0.16 | 1.33 | 0.16 |
| 16 | 7/10/2017 | 0.5 | 5 | 55.25 | 1.66 | 0.16 | 1.33 | 0.16 |
| 17 | 14/10/2017 | 0.5 | 2 | 55.25 | 1.66 | 0.18 | 1.33 | 0.15 |

FUENTE: Elaboración propia.

4.5.4 Volumen total aplicado

En la Tabla 33 observamos los volúmenes totales de agua aplicados por cada riego, con un total de 253.31 m³ para el riego continuo, en comparación con el riego intermitente que es de 125.86 m³, existe una diferencia de 127.45 m³ que es el volumen de agua que se pierde por percolación profunda y escorrentía superficial en el riego continuo.

Realizando la conversión de unidades a metros cúbicos por hectárea, para el tratamiento de riego continuo se obtuvo 7036.50 m³/ha, mientras que en el riego intermitente es de 3496.20 m³/ha; lo que equivaldría a 703.65 mm y 349.62 mm de lámina de agua.

Tabla 33: Volúmenes totales de agua aplicados.

| Fecha de riego | Volumen total aplicado por parcela | | | |
|----------------|------------------------------------|--------------------|----------------------|----------------------|
| | Riego continuo | Riego intermitente | Riego continuo | Riego intermitente |
| | (m ³) | (m ³) | (m ³ /ha) | (m ³ /ha) |
| 24/06/2017 | 6.37 | 3.02 | 176.90 | 84.00 |
| 1/07/2017 | 7.98 | 4.85 | 221.65 | 134.65 |
| 8/07/2017 | 7.98 | 4.85 | 221.65 | 134.65 |
| 15/07/2017 | 7.98 | 4.85 | 221.65 | 134.65 |
| 22/07/2017 | 7.98 | 4.85 | 221.65 | 134.65 |
| 29/07/2017 | 7.98 | 4.85 | 221.65 | 134.65 |
| 5/08/2017 | 14.30 | 7.25 | 397.20 | 201.30 |
| 12/08/2017 | 14.30 | 7.25 | 397.20 | 201.30 |
| 19/08/2017 | 14.30 | 7.25 | 397.20 | 201.30 |
| 26/08/2017 | 14.30 | 7.25 | 397.20 | 201.30 |
| 2/09/2017 | 21.41 | 9.95 | 594.65 | 276.25 |
| 9/09/2017 | 21.41 | 9.95 | 594.65 | 276.25 |
| 16/09/2017 | 21.41 | 9.95 | 594.65 | 276.25 |
| 23/09/2017 | 21.41 | 9.95 | 594.65 | 276.25 |
| 30/09/2017 | 21.41 | 9.95 | 594.65 | 276.25 |
| 7/10/2017 | 21.41 | 9.95 | 594.65 | 276.25 |
| 14/10/2017 | 21.41 | 9.95 | 594.65 | 276.25 |
| Total | 253.31 | 125.86 | 7036.50 | 3496.20 |

FUENTE: Elaboración propia.

4.6 Eficiencia de aplicación de riego

Se determinó la eficiencia de riego con los datos de lámina neta (L_n) y lámina bruta (L_b), también se calculó en base al perfil de humedecimiento, teniendo en cuenta el área de raíces (A_r) y el área de perfil del suelo humedecido (A_h).

$$Ef. A = \frac{L_n}{L_b}$$

$$Ef. A = \frac{A_r}{A_h}$$

Para ambos riegos se consideró lámina neta calculada a partir del diseño agronómico, además la lámina bruta se calculó con los datos de tiempo, caudal, y el área humedecida del surco.

$$L_b = \frac{Q * t}{A_h} * 1000$$

Donde:

L_b : Lámina bruta (mm)

Q : Caudal total (m^3)

t : tiempo de riego (s)

A_h : Área de humedecimiento del surco (m^3)

Los resultados de estos cálculos se muestran en las Tablas 34 y 35.

4.6.1 Eficiencia de aplicación según lámina aplicada

Según los resultados mostrados en la Tabla 34 las eficiencias de aplicación de cada riego intermitente, que en promedio resulta en 71.71 por ciento lo cual es una eficiencia óptima para ser un riego por gravedad, mientras que en la Tabla 35 muestra las eficiencias de aplicación del riego continuo el cual tiene como promedio 37.22 por ciento.

Tabla 34: Eficiencia de aplicación del riego intermitente.

| N° de riego | Fecha de evaluación | Caudal (l/s) | Surco | Longitud (m) | Área de humed. (m2) | Tiempo (min) | Ln (mm) | Lb (mm) | Eficiencia de Aplicación (%) |
|-------------|---------------------|--------------|-------|--------------|---------------------|--------------|---------|---------|------------------------------|
| 1 | 24/06/2017 | 0.5 | 1 | 60 | 60 | 16.80 | 2.78 | 8.40 | 33.10% |
| 2 | 1/07/2017 | 0.5 | 2 | 60 | 60 | 26.93 | 8.33 | 13.47 | 61.86% |
| 3 | 8/07/2017 | 0.5 | 3 | 60 | 60 | 26.93 | 8.33 | 13.47 | 61.86% |
| 4 | 15/07/2017 | 0.5 | 4 | 60 | 60 | 26.93 | 8.33 | 13.47 | 61.86% |
| 5 | 22/07/2017 | 0.5 | 1 | 60 | 60 | 26.93 | 8.33 | 13.47 | 61.86% |
| 6 | 29/07/2017 | 0.5 | 2 | 60 | 60 | 26.93 | 8.33 | 13.47 | 61.86% |
| 7 | 5/08/2017 | 0.5 | 3 | 60 | 60 | 40.26 | 16.65 | 20.13 | 82.71% |
| 8 | 12/08/2017 | 0.5 | 4 | 60 | 60 | 40.26 | 16.65 | 20.13 | 82.71% |
| 9 | 19/08/2017 | 0.5 | 1 | 60 | 60 | 40.26 | 16.65 | 20.13 | 82.71% |
| 10 | 26/08/2017 | 0.5 | 2 | 60 | 60 | 40.26 | 16.65 | 20.13 | 82.71% |
| 11 | 2/09/2017 | 0.5 | 3 | 60 | 60 | 55.25 | 22.21 | 27.63 | 80.40% |
| 12 | 9/09/2017 | 0.5 | 4 | 60 | 60 | 55.25 | 22.21 | 27.63 | 80.40% |
| 13 | 16/09/2017 | 0.5 | 1 | 60 | 60 | 55.25 | 22.21 | 27.63 | 80.40% |
| 14 | 23/09/2017 | 0.5 | 2 | 60 | 60 | 55.25 | 22.21 | 27.63 | 80.40% |
| 15 | 30/09/2017 | 0.5 | 3 | 60 | 60 | 55.25 | 22.21 | 27.63 | 80.40% |
| 16 | 7/10/2017 | 0.5 | 4 | 60 | 60 | 55.25 | 22.21 | 27.63 | 80.40% |
| 17 | 14/10/2017 | 0.5 | 1 | 60 | 60 | 55.25 | 22.21 | 27.63 | 80.40% |

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 35: Eficiencia de aplicación del riego continuo.

| N° de riego | Fecha de evaluación | Caudal (l/s) | Surco | Longitud (m) | Área de humed. (m²) | Tiempo (min) | Ln (mm) | Lb (mm) | Eficiencia de Aplicación (%) |
|--------------------|----------------------------|---------------------|--------------|---------------------|---------------------------------------|---------------------|----------------|----------------|-------------------------------------|
| 1 | 24/06/2017 | 0.5 | 1 | 60 | 60 | 35.38 | 2.78 | 17.69 | 15.72% |
| 2 | 1/07/2017 | 0.5 | 2 | 60 | 60 | 44.33 | 8.33 | 22.17 | 37.58% |
| 3 | 8/07/2017 | 0.5 | 3 | 60 | 60 | 44.33 | 8.33 | 22.17 | 37.58% |
| 4 | 15/07/2017 | 0.5 | 4 | 60 | 60 | 44.33 | 8.33 | 22.17 | 37.58% |
| 5 | 22/07/2017 | 0.5 | 1 | 60 | 60 | 44.33 | 8.33 | 22.17 | 37.58% |
| 6 | 29/07/2017 | 0.5 | 2 | 60 | 60 | 44.33 | 8.33 | 22.17 | 37.58% |
| 7 | 5/08/2017 | 0.5 | 3 | 60 | 60 | 79.44 | 16.65 | 39.72 | 41.92% |
| 8 | 12/08/2017 | 0.5 | 4 | 60 | 60 | 79.44 | 16.65 | 39.72 | 41.92% |
| 9 | 19/08/2017 | 0.5 | 1 | 60 | 60 | 79.44 | 16.65 | 39.72 | 41.92% |
| 10 | 26/08/2017 | 0.5 | 2 | 60 | 60 | 79.44 | 16.65 | 39.72 | 41.92% |
| 11 | 2/09/2017 | 0.5 | 3 | 60 | 60 | 118.93 | 22.21 | 59.47 | 37.35% |
| 12 | 9/09/2017 | 0.5 | 4 | 60 | 60 | 118.93 | 22.21 | 59.47 | 37.35% |
| 13 | 16/09/2017 | 0.5 | 1 | 60 | 60 | 118.93 | 22.21 | 59.47 | 37.35% |
| 14 | 23/09/2017 | 0.5 | 2 | 60 | 60 | 118.93 | 22.21 | 59.47 | 37.35% |
| 15 | 30/09/2017 | 0.5 | 3 | 60 | 60 | 118.93 | 22.21 | 59.47 | 37.35% |
| 16 | 7/10/2017 | 0.5 | 4 | 60 | 60 | 118.93 | 22.21 | 59.47 | 37.35% |
| 17 | 14/10/2017 | 0.5 | 1 | 60 | 60 | 118.93 | 22.21 | 59.47 | 37.35% |

FUENTE: Elaboración propia.

4.6.2 Eficiencia de aplicación según perfil de humedecimiento

En las Figuras 38 y 39 se muestra el perfil de humedecimiento del riego continuo e intermitente respectivamente, después del séptimo riego, donde el cultivo tiene la zona radicular a 30 cm de la superficie. Se observa que en el riego continuo al comienzo del surco existe una área de perfil de suelo con percolación profunda ya que está muy por debajo de la zona de raíces, mientras que para el riego intermitente presenta humedad por debajo de la zona de raíces pero en menor medida, siendo la humedad más uniforme a lo largo del surco.

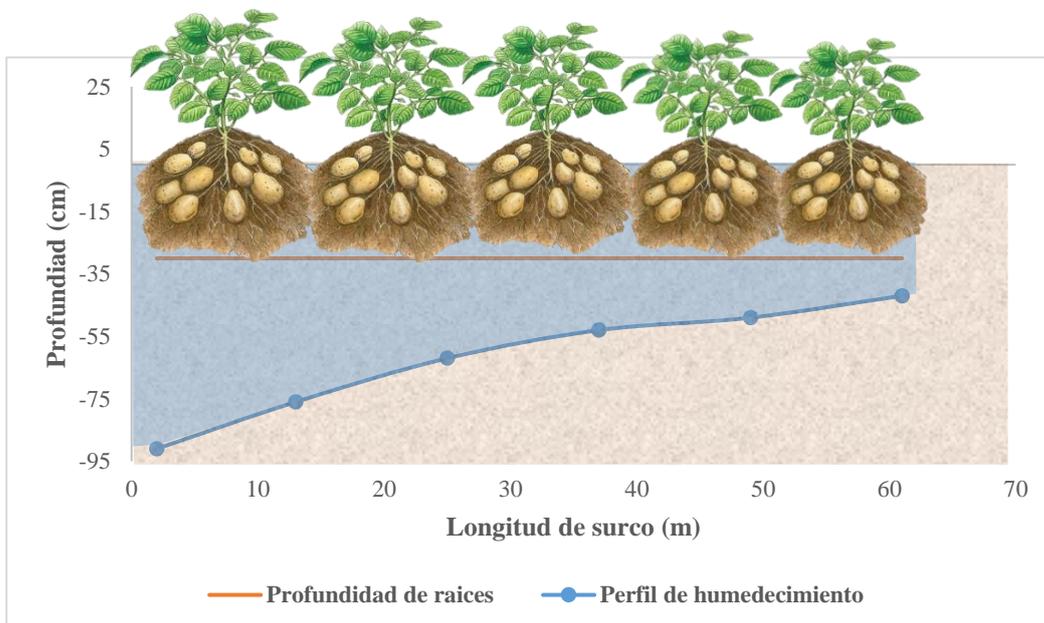


Figura 38: Perfil de humedecimiento después del séptimo riego (riego continuo).

FUENTE: Elaboración propia.

El detalle del área del perfil de humedecimiento de observa en el Anexo 12.

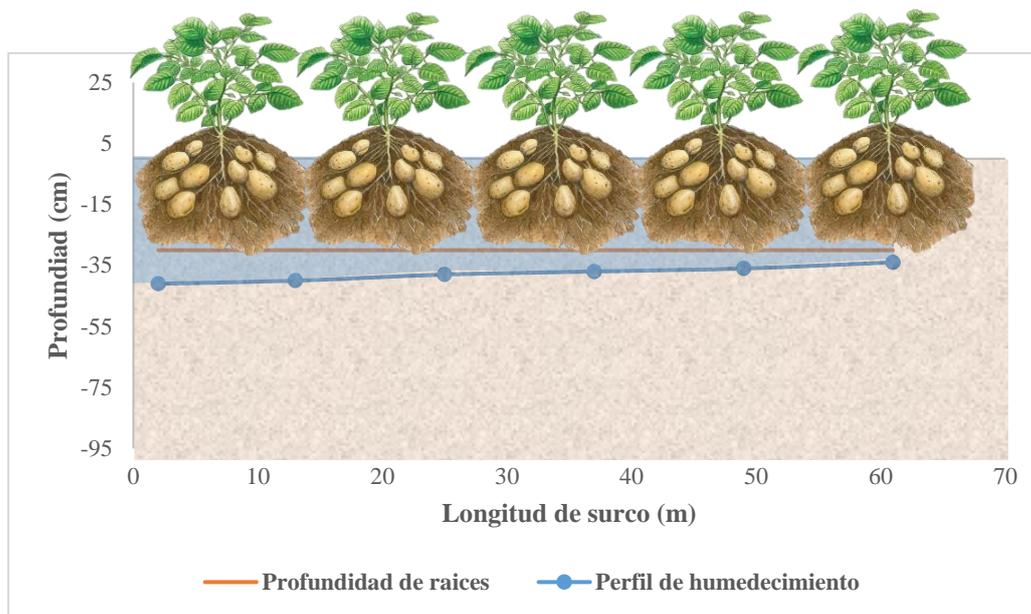


Figura 39: Perfil de humedecimiento después del séptimo riego (riego intermitente).

FUENTE: Elaboración propia.

Teniendo el perfil de humedecimiento de cada riego se procede a calcular la eficiencia de aplicación, basándonos en el área de raíces según la etapa fenológica del cultivo y el área humedecida después de cada riego obteniendo los resultados que se muestran en la Tabla 36 y 37.

EL resultado de la eficiencia de aplicación por este método es de 45.67 por ciento para el riego continuo, es mayor a la eficiencia de aplicación calculada en el método anterior. Mientras que para el riego intermitente tiene un valor promedio de 75.16 por ciento, presentando un aumento de la eficiencia de aplicación en comparación con el método anterior. El perfil de humedecimiento de cada riego se muestra en el Anexo 13.

Tabla 36: Eficiencia de aplicación a partir del perfil de humedecimiento (R.C.)

| N° de riego | Fecha de evaluación | N° de surco | Área de raíces (m²) | Área humedecida (m²) | Eficiencia de Aplicación % |
|--------------------|----------------------------|--------------------|---------------------------------------|--|-----------------------------------|
| 1 | 24/06/2017 | 2 | 3.00 | 14.60 | 20.55 |
| 2 | 1/07/2017 | 3 | 9.00 | 21.08 | 42.70 |
| 3 | 8/07/2017 | 4 | 9.00 | 19.06 | 47.22 |
| 4 | 15/07/2017 | 5 | 9.00 | 20.18 | 44.61 |
| 5 | 22/07/2017 | 2 | 9.00 | 19.38 | 46.45 |
| 6 | 29/07/2017 | 3 | 9.00 | 19.00 | 47.37 |
| 7 | 5/08/2017 | 4 | 18.00 | 36.38 | 49.48 |
| 8 | 12/08/2017 | 5 | 18.00 | 37.00 | 48.65 |
| 9 | 19/08/2017 | 2 | 18.00 | 42.70 | 42.15 |
| 10 | 26/08/2017 | 3 | 18.00 | 37.88 | 47.52 |
| 11 | 2/09/2017 | 4 | 24.00 | 48.78 | 49.21 |
| 12 | 9/09/2017 | 5 | 24.00 | 49.45 | 48.53 |
| 13 | 16/09/2017 | 2 | 24.00 | 48.30 | 49.69 |
| 14 | 23/09/2017 | 3 | 24.00 | 51.03 | 47.04 |
| 15 | 30/09/2017 | 4 | 24.00 | 49.08 | 48.90 |
| 16 | 7/10/2017 | 5 | 24.00 | 48.90 | 49.08 |
| 17 | 14/10/2017 | 2 | 24.00 | 50.80 | 47.24 |

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 37: Eficiencia de aplicación a partir del perfil de humedecimiento (R.I.)

| N° de riego | Fecha de evaluación | N° de surco | Área de raíces (m²) | Área humedecida (m²) | Eficiencia de Aplicación % |
|--------------------|----------------------------|--------------------|---------------------------------------|--|-----------------------------------|
| 1 | 24/06/2017 | 2 | 3.00 | 5.00 | 60.00 |
| 2 | 1/07/2017 | 3 | 9.00 | 11.60 | 77.59 |
| 3 | 8/07/2017 | 4 | 9.00 | 11.75 | 76.60 |
| 4 | 15/07/2017 | 5 | 9.00 | 13.93 | 64.63 |
| 5 | 22/07/2017 | 2 | 9.00 | 13.30 | 67.67 |
| 6 | 29/07/2017 | 3 | 9.00 | 13.60 | 66.18 |
| 7 | 5/08/2017 | 4 | 18.00 | 22.55 | 79.82 |
| 8 | 12/08/2017 | 5 | 18.00 | 21.95 | 82.00 |
| 9 | 19/08/2017 | 2 | 18.00 | 22.28 | 80.81 |
| 10 | 26/08/2017 | 3 | 18.00 | 22.58 | 79.73 |
| 11 | 2/09/2017 | 4 | 24.00 | 30.25 | 79.34 |
| 12 | 9/09/2017 | 5 | 24.00 | 28.68 | 83.70 |
| 13 | 16/09/2017 | 2 | 24.00 | 32.18 | 74.59 |
| 14 | 23/09/2017 | 3 | 24.00 | 32.03 | 74.94 |
| 15 | 30/09/2017 | 4 | 24.00 | 32.50 | 73.85 |
| 16 | 7/10/2017 | 5 | 24.00 | 31.60 | 75.95 |
| 17 | 14/10/2017 | 2 | 24.00 | 29.85 | 80.40 |

FUENTE: Elaboración propia.

4.7 Cosecha

A los 123 días de haber sembrado el cultivo, se procedió con la cosecha para obtener los rendimientos de los dos tratamientos que fueron objetivos de la investigación, por lo cual se cosechó la producción de las cuatro hileras centrales de los 20 boques, dejando la hilera uno y seis fuera de la investigación. Ver Anexo 12 y 13 para mayor detalle.

4.7.1 Rendimiento total del cultivo

En la Tabla 38, se muestra el rendimiento de cada bloque de los dos tratamientos en toneladas por hectárea, solo se consideró los tubérculos sanos por bloque. Donde se observa una mayor producción en los primeros bloques para el riego continuo, pero con una minoría entre los bloques 7, 8 y 9. Por parte del riego continuo se observa una distribución más uniforme en todos los bloques.

Tabla 38: Producción según tratamiento.

| Riego | Bloque | Producción (t/ha) | P. Promedio (t/ha) |
|--------------|--------|-------------------|--------------------|
| Continuo | 1 | 43.34 | 33.46 |
| | 2 | 43.33 | |
| | 3 | 38.76 | |
| | 4 | 36.28 | |
| | 5 | 30.90 | |
| | 6 | 30.85 | |
| | 7 | 29.22 | |
| | 8 | 24.57 | |
| | 9 | 25.46 | |
| | 10 | 31.86 | |
| Intermitente | 1 | 42.32 | 38.51 |
| | 2 | 41.71 | |
| | 3 | 37.93 | |
| | 4 | 37.40 | |
| | 5 | 37.21 | |
| | 6 | 36.60 | |
| | 7 | 35.46 | |
| | 8 | 35.22 | |
| | 9 | 37.75 | |
| | 10 | 43.54 | |

FUENTE: Elaboración propia.

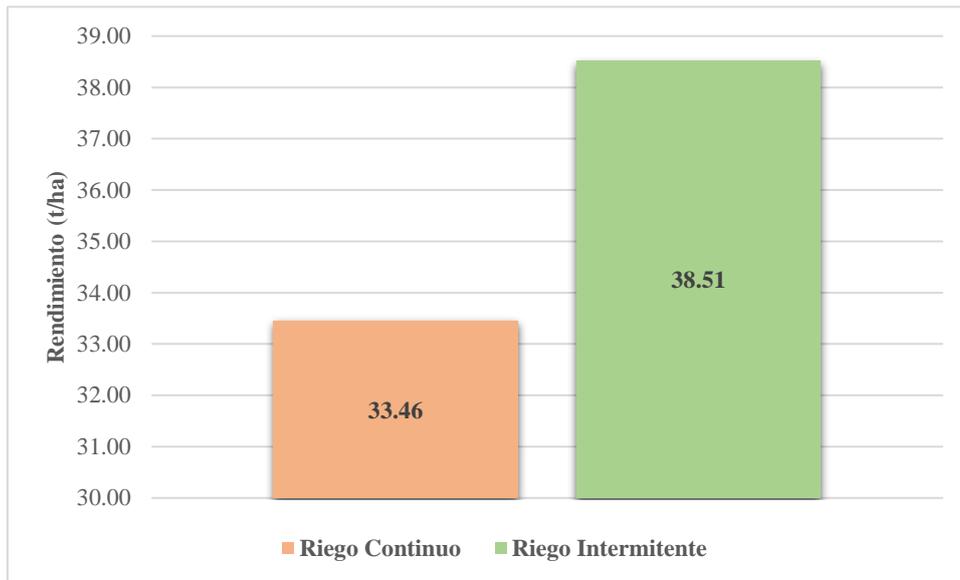


Figura 40: Rendimiento del cultivo por hectárea.

FUENTE: Elaboración propia.

A partir de la Figura 40 se puede decir que la producción del área irrigada con el riego intermitente es de 15.09 por ciento mayor con respecto al riego continuo. Para los valores de 33.46 t/ha y 38.51 t/ha del riego continuo e intermitente respectivamente se encuentran dentro de la producción promedio, para la producción en condiciones de costa central.

4.7.2 Análisis estadístico de la producción del cultivo

Para el análisis estadístico, se planteó las siguientes hipótesis:

Hipótesis nula (H0): Todas las medias de la producción de papa por bloques son iguales.

Hipótesis alterna (H1): No todas las medias de la producción de papa por bloques son iguales.

Y teniendo un nivel de significancia: $\alpha = 0.05$

En el diagrama de cajas de la Figura 41 se aprecia que para la producción del riego continuo tiene un mayor rango intercuantil a diferencia del riego intermitente donde se aprecia una producción más uniforme por cada bloque.

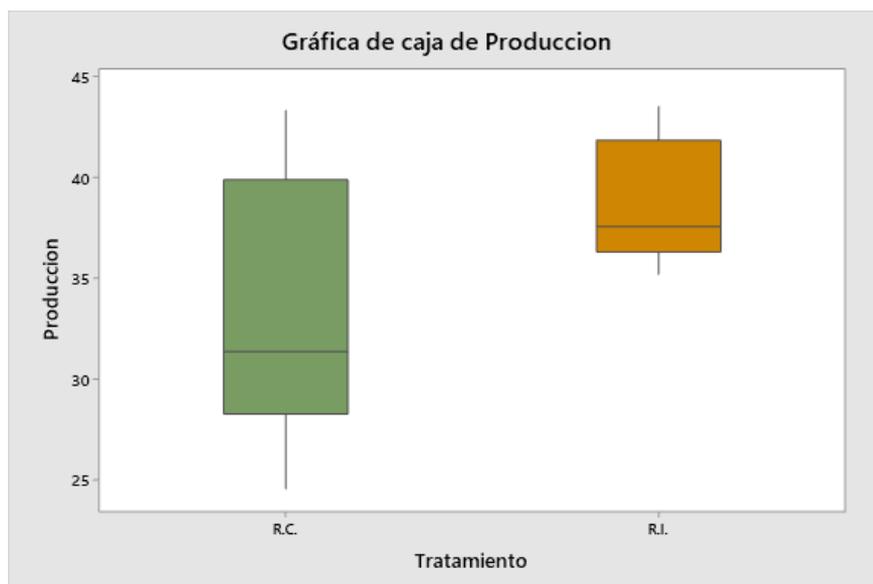


Figura 41: Diagrama de cajas de la producción por tratamiento.

FUENTE: Elaboración propia.

- **Análisis de varianza (ANOVA)**

Tabla 39: Análisis de varianza de la producción por bloques.

| Fuente | Grados de libertad | Suma de cuadrados | Cuadrados medios | F | Probabilidad | Valor crítico para F |
|-------------|--------------------|-------------------|------------------|------|--------------|----------------------|
| Tratamiento | 1 | 127.9 | 127.87 | 8.77 | 0.016 | 5.12 |
| Bloque | 9 | 354.4 | 39.38 | 2.7 | 0.078 | 3.18 |
| Error | 9 | 131.3 | 14.59 | | | |
| Total | 19 | 613.5 | | | | |

FUENTE: Elaboración propia.

De la Tabla 39 se analiza que entre tratamientos existe una diferencia significativa debido a que la probabilidad es de 0.016 y esta es menor al grado de significancia 0.05 establecido.

- **Relación entre el rendimiento y volumen aplicado**

En la Figura 42 se muestra la producción en base al volumen de agua aplicado durante toda la campaña, donde se muestra que para producir 6.12 kilogramos se requiere un metro cúbico de agua en el riego intermitente y en el riego continuo se obtiene 2.64 kilogramos por cada metro cubico empleado, en este contexto el riego intermitente lleva la ventaja por producir más por cada metro cubico de agua.

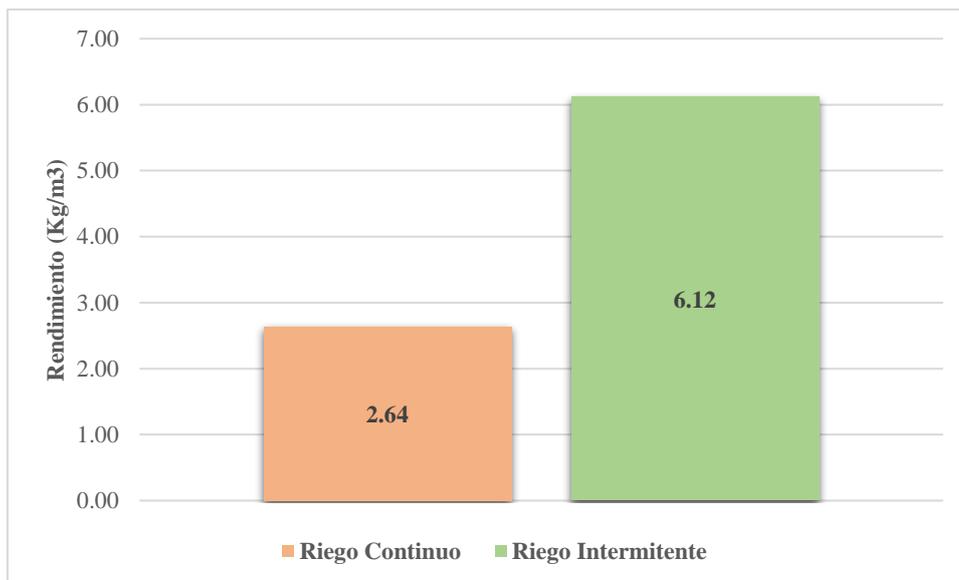


Figura 42: Rendimiento del cultivo por volumen de agua aplicado.

FUENTE: Elaboración propia.

4.7.3 Número de tubérculos

La cantidad de tubérculos va a depender de varios factores, uno de los cuales es el número de tallos que posee la planta, por esta razón es que antes de la siembra las semillas deben de tener varios brotes para tener más tallos y con ello también mayor área foliar, además de contar con semilla certificada de calidad. El número de tubérculo por calibre se muestran en la Figura 43 y el numero por bloques se muestran en el Anexo 10 y 11.

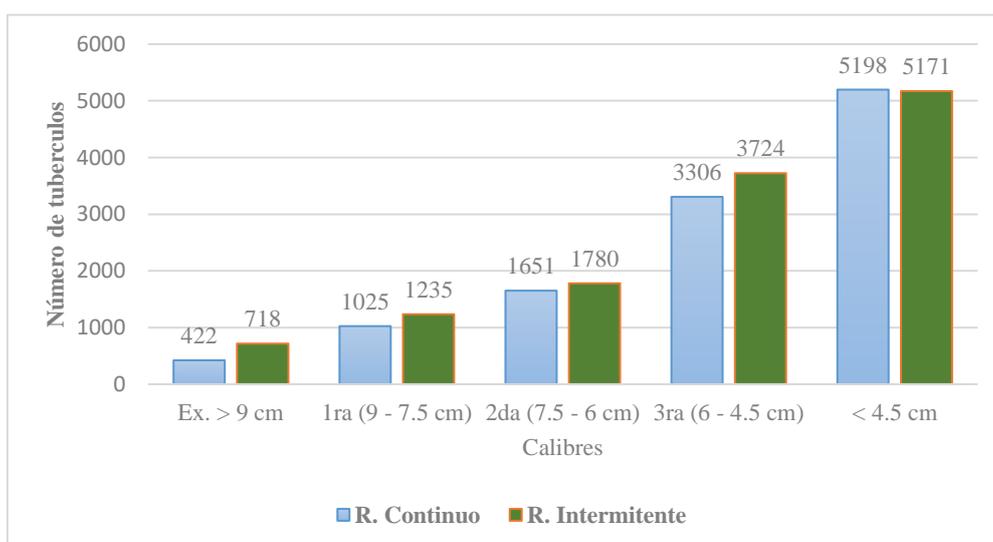


Figura 43: Número de tubérculos por calibre.

FUENTE: Elaboración propia.

- Análisis estadístico del número de papas

Para el análisis estadístico, se planteó las siguientes hipótesis:

Hipótesis nula (H0): Todas las medias del número de papas por calibres de cada bloque son iguales.

Hipótesis alterna (H1): No todas las medias del número de papas por calibres de cada bloque son iguales.

Y teniendo un grado de significancia: $\alpha = 0.05$

En la Figura 44 se muestra que el número de papas del calibre de descarte para el riego continuo tiene un intervalo más amplio, es decir tiene distintos números de papas por bloque del calibre de descarte; mientras que en el riego intermitente el rango de variación del número de papas por bloque es menor.

Para el calibre de extra en ambos casos es de menor número pero para el riego intermitente tienen cantidades más homogéneas por bloques, esta situación se repite para los calibres de primera y segunda, para el calibre de tercera se tiene la misma situación que con la de descarte donde hay un mayor rango de variación entre el número de papas por bloque en el riego continuo que en el intermitente y en este ultimo los números de tubérculos son más homogéneos entre bloques.

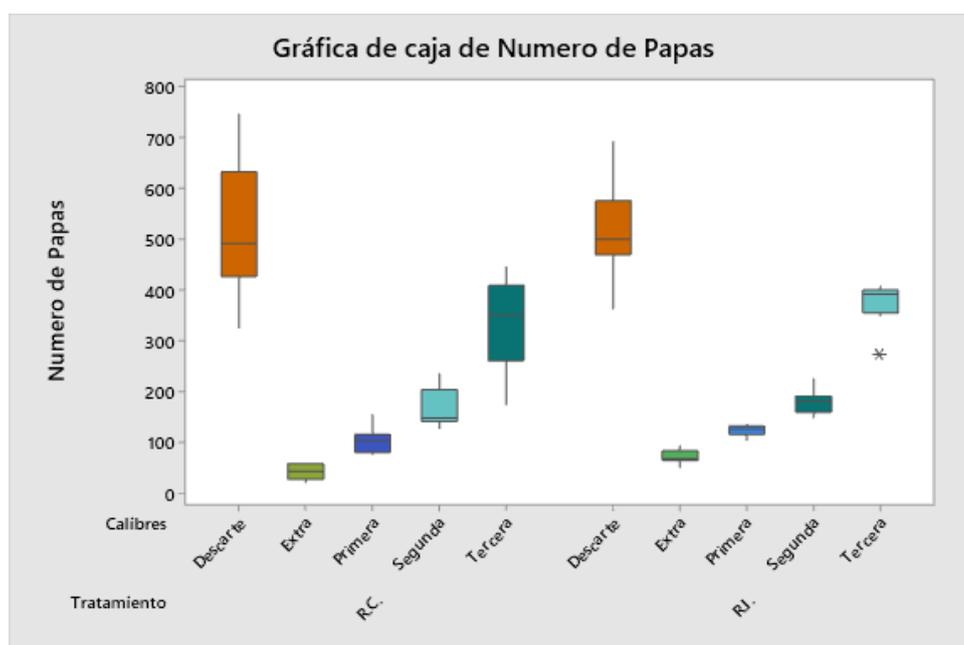


Figura 44: Número de tubérculos por calibre.

FUENTE: Elaboración propia.

- **Análisis de varianza (ANOVA)**

Tabla 40: Análisis de varianza del número de tubérculos.

| Fuente | Grados de libertad | Suma de cuadrados | Cuadrados medios | F | Probabilidad | Valor crítico para F |
|----------------------|---------------------------|--------------------------|-------------------------|----------|---------------------|-----------------------------|
| Tratamiento | 1 | 10527 | 10527.00 | 2.59 | 0.11 | 3.95 |
| Calibres | 4 | 2884872 | 721218.00 | 177.20 | 0.00 | 2.47 |
| Tratamiento*Calibres | 4 | 5664 | 1416.00 | 0.35 | 0.85 | 2.47 |
| Error | 90 | 366314 | 4070.00 | | | |
| Total | 99 | 3267377 | | | | |

FUENTE: Elaboración propia.

De la Tabla 41 podemos decir que la diferencia de números de tubérculos entre tratamientos no es significativa debido a que la probabilidad es de 0.11 y es mayor al grado de significancia 0.05 establecido, por otra parte entre calibres existe una alta diferencia significativa por ser cero menor a lo establecido. Y entre calibres por tratamientos tampoco existe una diferencia significativa por tener una probabilidad de 0.85 y esta es mayor a 0.05. Se puede asumir que para ambos tratamientos se tiene el mismo número de tubérculos por tratamiento y entre calibres por tratamiento.

4.7.4 Peso de tubérculos

Al momento de pesar los tubérculos, solo se consideró aquellos que estuvieran sanos y sin ninguna enmendadura, los resultados se pueden visualizar en el Anexo 10 y 11. En la Figura 45 se muestran los pesos por calibres.

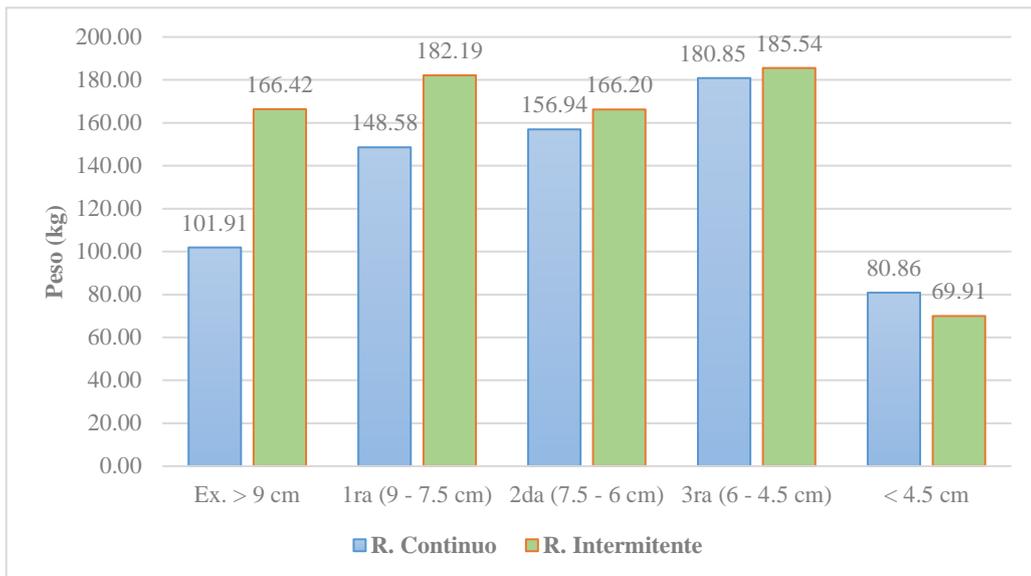


Figura 45: Peso de tubérculos por calibre.

FUENTE: Elaboración propia.

- Análisis estadístico del peso de papas

Para el análisis estadístico, se planteó las siguientes hipótesis:

Hipótesis nula (H0): Todas las medias del peso de papas por calibres de cada bloque son iguales.

Hipótesis alterna (H1): No todas las medias del peso de papas por calibres de cada bloque son iguales.

Y teniendo un grado de significancia: $\alpha = 0.05$

En la Figura 46 se muestra los pesos por calibre de los tubérculos por cada bloque, de donde podemos afirmar que para el riego intermitente los pesos por calibre son más uniformes que en el riego continuo, donde tiene un mayor intervalo de pesos por bloque.

Para el calibre de extra se obtuvo que en el riego intermitente tiene mayores valores y estos son más uniformes que en el riego continuo, de igual manera para el calibre de primera, en el caso del calibre de segunda en el riego intermitente se presenta menores valores, pero con un peso más homogéneo entre bloques a diferencia del riego continuo.

En los calibres de descarte y tercera se aprecia una gran variación de pesos entre bloques para el riego continuo, pero para el riego intermitente como en anteriores casos presenta un peso más uniforme entre bloques.

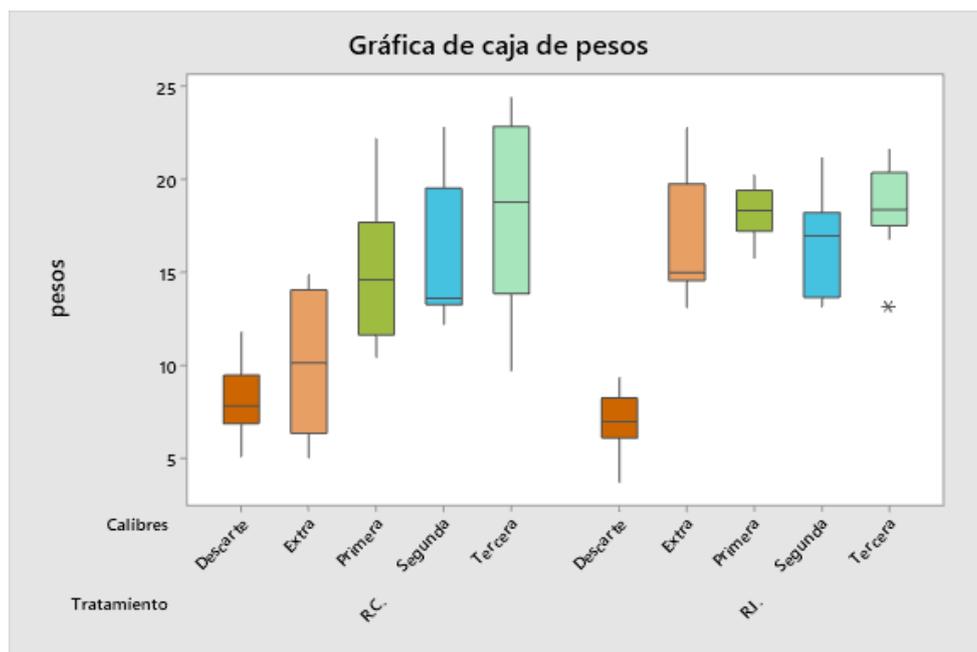


Figura 46: Pesos de tubérculos según su calibre.

FUENTE: Elaboración propia.

- **Análisis de varianza (ANOVA)**

Tabla 41: Análisis de varianza del peso de tubérculos.

| Fuente | Grados de libertad | Suma de cuadrados | Cuadrados medios | F | Probabilidad | Valor crítico para F |
|----------------------|--------------------|-------------------|------------------|-------|--------------|----------------------|
| Tratamiento | 1 | 102.30 | 102.26 | 9.85 | 0.002 | 2.47 |
| Calibres | 4 | 1421.40 | 355.35 | 34.24 | 0.000 | 3.95 |
| Tratamiento*Calibres | 4 | 173.70 | 43.42 | 4.18 | 0.004 | 2.47 |
| Error | 90 | 934.10 | 10.38 | | | |
| Total | 99 | 2631.40 | | | | |

FUENTE: Elaboración propia.

De la Tabla 42 podemos decir que la diferencia de tubérculos por calibre entre tratamientos es altamente significativa debido a que la probabilidad es de 0.002 es menor al grado de significancia 0.05 establecido, por otra parte entre calibres existe una alta diferencia significativa por ser cero menor al grado de significancia. Y entre calibres por tratamientos también existe una alta diferencia significativa por tener una probabilidad de 0.004 y esta es menor a 0.05.

Se llega a la conclusión que existe una gran diferencia entre tratamientos y entre pesos por calibre, para lo cual se realizará la prueba de comparaciones múltiples de Tukey.

- Prueba de comparaciones múltiple de Tukey

Tabla 42: Comparación de medias entre los pesos de los calibres por tratamiento.

| Tratamiento y Calibres | N | Media | Agrupación | |
|-------------------------------|----------|--------------|-------------------|---|
| R.I. Tercera | 10 | 18.55 | A | |
| R.I. Primera | 10 | 18.22 | A | |
| R.C. Tercera | 10 | 18.08 | A | |
| R.I. Extra | 10 | 16.64 | A | |
| R.I. Segunda | 10 | 16.62 | A | |
| R.C. Segunda | 10 | 15.69 | A | |
| R.C. Primera | 10 | 14.86 | A | B |
| R.C. Extra | 10 | 10.19 | B | C |
| R.C. Descarte | 10 | 8.08 | | C |
| R.I. Descarte | 10 | 6.99 | | C |

FUENTE: Elaboración propia.

En la Tabla 42 se muestra que para los pesos de los calibres de tercera, segunda, primera y extra del riego intermitente se puede considerar que tienen el mismo peso del calibre tercera, segunda y primera del riego continuo.

Los peso del calibre primera y extra del riego continuo son muy parecidos por ello pertenecen al mismo grupo, además los pesos de los calibres extra y descarte del riego continuo se puede considerar igual al peso del descarte del riego intermitente.

V. CONCLUSIONES

- En base a los resultados obtenidos en la cosecha de la papa variedad UNICA tanto para el riego continuo como para el riego intermitente se obtuvo una producción de 33.46 t/ha y 38.51 t/ha respectivamente, lo cual implica un 15.09 por ciento más de producción de papa en el riego intermitente.
- Al ser el riego intermitente un riego de mayor eficiencia de aplicación y uniformidad, proporciona tubérculos más uniformes ya que se aprovecha casi de igual manera el agua a lo largo del surco.
- La alta eficiencia de aplicación del riego intermitente en base a la lámina aplicada y al perfil de humedecimiento fue de 72.71 por ciento y 75.16 por ciento respectivamente, es equiparable con la de un riego por aspersión.
- La alta eficiencia de aplicación del riego intermitente en base a la lámina aplicada y al perfil de humedecimiento fue de 37.22 por ciento y 45.67 por ciento respectivamente, siendo alto para ser un riego por gravedad, pero justificable por el control del caudal que se tuvo al ingreso del surco.

VI. RECOMENDACIONES

Se recomienda que para futuras investigaciones:

- Preparar el terreno realizando una buena labranza, mullido y nivelación, teniendo en cuenta las características topográficas del lugar a cultivar, además de incorporar algunos nutrientes que hicieran falta al suelo.
- Validar la eficiencia de aplicación del riego intermitente en terrenos más extensos, con diferentes pendientes y caudales, además en otros cultivos buscando la manera más óptima de producción.
- La incorporación de la fertirrigación en la fase de remojo del riego intermitente.
- El estado debe dar apoyo en la construcción de reservorios para masificar el sistema de riego intermitente en lugares donde no se cuenta con disponibilidad continua.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- AUTODEMA (Autoridad Autónoma de Majes). (2015). Aplicación de un riego eficiente en un sistema de riego por goteo. Gobierno Regional de Arequipa. Arequipa Perú. 16p.
- Cortbaoui, R. (1993). Siembra de papa. Boletín de Información Técnica 11 CIP. Lima, Perú. Centro Internacional de la Papa. 105 p.
- Doorembos, J. & Kassam, A. (1988). Yield response to water. Irrigation and Drainage. Roma, Italia. FAO, Food and Agriculture Organization of United Nations. 193 p.
- Egúsquiza Bayona, R.P. (2014). La papa en el Perú. 2 ed. Lima, Peru. Cimagraf. 200 p.
- Ekanayake, I.J. (1994). Estudios sobre el estrés por sequía y necesidades de riego de la papa. Guía de Investigación 30. Lima, Perú. CIP, Centro internacional de la Papa. 39 p.
- Evans, R. G. (2003). Surge flow Surface Irrigation. Washington State University Cooperative Extension.
- Evans, R. & Mahan, M. (1990). Daily Furrow Irrigation in Orchards. American Society of Agricultural Engineers (ASAE). Disponible en: <http://www.prsurge.com/orchard.htm>.
- FOOD and AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO) (2014). Anuario Estadístico 2014 de la Alimentación y Agricultura en América Latina y el Caribe. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la agricultura - FAO. Santiago, Chile.178 p.
- Fernández Gómez, R. (2010). Manual de riego para agricultores: modulo 2. Riego por superficie. Sevilla. España. 103 p.

- García, V. N. (1991). Riego Intermitente. En Ingeniería Hidráulica México P 71-87
- Gurovich, L. A. (2001). Riego superficial tecnificado. 2 ed. Universidad Católica de Chile, Alfaomega. 610 p.
- Gutiérrez, J. & Espinoza, 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): P 41-51
- Huachos, R. (2009). Evaluación de los sistemas de riego intermitente por tuberías multicompuertas y de riego continuo por gravedad en el cultivo de brócoli, ubicados en la UNALM. Tesis Ing. Agr. Lima, Perú, UNALM. PP. 6-8
- Hudson, N.W. (1997). Medición sobre el terreno de la erosión del suelo y de la escorrentía. Diseño experimental. Boletín de Suelos de la FAO – 68. P 1-11. Disponible en:
<http://www.fao.org/docrep/T0848S/t0848s03.htm#cap%C3%ADtulo1dise%C3%B1oexperimental>.
- Ibrahim, S. M. & Eid, S. M. (2000). Surge Flow Irrigation for corn in clay soils. Irrigation. Group Nile, dept of Soil Sciences, Faculty of Agriculture, Kafr ElSheikh, Tanta University, Egypt. P 127-140.
- INIA (Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Chile). (2013). Riego por pulsos en maíz regado por surcos. Revista tierra adentro N° 102. Antúnez, A; Felmer, S; Sellés, G; Vidal, M (eds.). Chile. INIA. P 25-30.
- Kanber, R; Köksal, H; Önder, S; Kapur, S. & Sahan, S. (2001). Comparison of Surge and Continuous Furrow Methods for Cotton in the Harran Plain. Agricultural Water Management; Elsevier Science, P 119-135.
- Killen, M. & Slack, D. (1987). Green-Ampt model to Predict Surge Irrigation Phenomena. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE. P 575-584.

- Latif, M. & Ittfaq, M. (1998). Performance of Surge and Continuous Furrow Irrigations. Technical Repor, Rural and environmental Engineering (REE). P 35-42.

- Midmore, D.J. (1998). Fisiología de la planta de papa bajo condiciones de clima cálido. Guía de Investigación 24. Lima, Perú. CIP, Centro internacional de la Papa. 15 p.

- MINAGRI (Ministerio de Agricultura y Riego, Perú). (2004). Estrategia Nacional para la Gestión de los Recursos Hídricos Continentales del Perú. Lima, Perú. 29 p. Consultado el 03 de junio del 2017. Disponible en <http://siar.minam.gob.pe/puno/documentos/estrategia-nacional-gestion-recursos-hidricos-continentales-peru>

- Miranda, O. & García, J. (2015). Riego Intermitente nuevo concepto en riego. Fragmento publicado por INIA. P 44 - 46. Disponible en <http://www2.inia.cl/medios/biblioteca/IPA/NR11864.pdf>

- Morales Fernández, S.D. (2011). Crecimiento, contenido de azúcares y capacidad de brotación en semilla tubérculo de papa (*Solanum tuberosum L.*). Tesis Dr. Chapingo, México, Universidad Autónoma de Chapingo. 118 p.

- Olarte, W. (1987). Manual de Riego por Gravedad: Como diseñar el riego por surcos. Lima. CCTA. 96 p.

- Orena Alvarado, S. & Santos Rojas, J. (2012). Manejo agronómico del cultivo de papa (*Solanum tuberosum L.*). INIA. Informativo N° 96. 8 p.

- Pozzolo, O. (2001). La Hora del Caudal discontinuo. Disponible en: <http://www.pyrargentina.com.ar>

- P&R A. S. (2003). Hojas Técnicas. Disponible en: <http://pyrargentina.com.ar/fhojas.htm>.

- P&R A. S., Surge Systems. (1995). The Cutting edge of irrigation technology. <http://www.prsurge.com/ijsrg.htm>.

- Producción Agroindustrial del NOA. (2005). Riego por caudal discontinuo (En línea). Ficha técnica, consultado del 18 jn. 2019. Disponible en http://www.produccion.com.ar/2005/05ene_08.htm
- Pumisacho, M. & Sherwood, S. (2002). El cultivo de papa en el Ecuador. INIAP y CIP, 2002. Quito, Ecuador. P 33-36, 65.
- Romay, C. & Morabito, J. (2000). Análisis de casos de riego tradicional y por pulsos en Mendoza, Argentina. Rev. Agricultura de las Américas, 4-12.
- Roque, C. (2000). Caudal Discontinuo, la última vanguardia en la técnica del riego. Disponible en: <http://pyrargentina.com.ar/roque.html>.
- Ruffo, M. (2000). Revolucionario Sistema de Riego: El Caudal Discontinuo. Disponible en <http://pyrargentina.com.ar/gacetiia.html>.
- Sifuentes, F. (2012). Crecimiento, producción y calidad de papa para fritura variedad UNICA. Tesis Ing. Agr. Lima, Perú, UNALM. PP. 9-12
- Sirjacobs, D; Shainberg, I; Rapp, I. & Levy, G. (2001). Flow interruption Effects on Intake rate and Rill Erosion in Two Soils. Journal of Soil Science Society American. P 828-834.
- Vaquiata, B. (2016). Evaluación del riego por pulsos con modelación SIRMOD II en el cultivo de la papa (*Solanum tuberosum L.*) variedad Waysh'a en el centro experimental de cota. Tesis Agr. La Paz, Bolivia, Universidad Mayor de San Andrés. PP 38 – 39
- Vasquez, A; Vasquez, I; Vasquez, C. & Cañamero, M. (2017). Fundamentos de la ingeniería de riegos: diseño de un sistema de riego por gravedad. Lima. Perú. P 293-316
- Walker W. & Skogerboe G. (1987). Surface Irrigation: Theory and Practice. New Jersey: Prentice-Hall, INC, Englewood Clifs. 386 p.

VIII. ANEXOS

Anexo 1: Análisis de suelo.

ANÁLISIS DE SUELO - CARACTERIZACIÓN

SOLICITANTE : ING. MIGUEL SANCHEZ DELGADO
 UBICACIÓN : UNALM
 RESPONSABLE : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
 ANALISIS
 FECHA DE ANALISIS : La Molina, 15 de Junio del 2017

| Lab. | Número de muestra | Campo | CE dS / m Relación 1:1 | Análisis Mecánico | | | pH Relación 1:1 | M.O. % | P ppm | K ppm | CaCO ₃ % | CIC total | Cationes Cambiables | | | | |
|-------|-------------------|-------|---------------------------------|-------------------|-----------|--------------|-----------------------|-----------|----------|----------|------------------------|--------------|---------------------|------------------|------------------|-----------------|----------------|
| | | | | Arena % | Limo % | Arcilla % | | | | | | | Textura | Ca ⁺⁺ | Mg ⁺⁺ | Na ⁺ | K ⁺ |
| 12389 | | Suelo | 1.05 | 55.84 | 33.00 | 11.16 | 7.46 | 1.49 | 242.00 | 1.32 | 13.91 | 12.18 | 1.35 | 0.08 | 0.30 | - | |

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

Anexo 2: Análisis de agua.

ANALISIS DE AGUA - RUTINA

SOLICITANTE : MIGUEL SANCHEZ
UBICACIÓN : UNALM
RESPONSABLE ANALISIS : Ing. Nore Arevalo Flores
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 15 de Junio del 2017

| | | |
|------------------|-------|-------|
| N° LABORATORIO | | 7877 |
| N° DE CAMPO | | Agua |
| CE | dS/m | 0.66 |
| pH | | 7.52 |
| Calcio | meq/l | 4.9 |
| Magnesio | meq/l | 0.83 |
| Sodio | meq/l | 0.89 |
| Potasio | meq/l | 0.05 |
| SUMA DE CATIONES | | 6.67 |
| Cloruro | meq/l | 1.13 |
| Sulfato | meq/l | 2.67 |
| Bicarbonato | meq/l | 2.83 |
| Nitratos | meq/l | 0.00 |
| Carbonatos | meq/l | 0.00 |
| SUMA DE ANIONES | | 6.62 |
| SAR | | 0.52 |
| CLASIFICACION | | C2-S1 |
| Boro | ppm | 0.57 |

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

Anexo 3: Calendario agrícola.

| Fecha | Día | Descripción | Imagen |
|------------|-----|--|--|
| 14/05/2017 | - | <p>Preparación del terreno</p> <p>Se realizó las labores de volteo, mullimiento, surcado e incorporación de materia orgánica al campo.</p> |  |
| 15/05/2017 | - | <p>Pruebas campo</p> <p>Arado el campo se hicieron las pruebas de avance y recesión en el campo, además de la prueba de infiltración.</p> |  |
| 15/05/2017 | - | <p>Caracterización del terreno</p> <p>Nivelación y calculo de la pendiente longitudinal del terreno.</p> |  |
| 16/05/2017 | - | <p>Muestreo del campo</p> <p>Se realizo una calicata para el muestreo de suelo y extraer muestras para la densidad aparente del terreno.</p> |  |
| 30/05/2017 | - | <p>Preparación de semilla</p> <p>Las semillas fueron tratadas con un fungicida para evitar la aparición de hongos y estén listas para la siembra.</p> |  |
| 24/06/2017 | 1 | <p>Siembra</p> <p>Las semillas con brotes notorios se sembraron en el terreno preparado, con un espaciamiento de 0.4 m, para ambos tratamientos.</p> |  |
| 24/06/2017 | 1 | <p>Primer Riego</p> <p>Se realizo el mismo día de la siembra y con el tiempo de riego calculado.</p> |  |
| 25/06/2017 | 2 | <p>Muestreo del perfil de humedecimiento</p> <p>Después de cada riego se tomaron muestras para ver hasta que profundidad el suelo se encuentra a capacidad de campo y llevar una muestra a secar en el laboratorio.</p> |  |

Continuación...

| | | | |
|------------|----|--|--|
| 7/07/2017 | 14 | <p align="center">Trampa Amarilla</p> <p>Para el control de las plagas se implementaron trampas en el campo.</p> |  |
| 15/07/2017 | 22 | <p align="center">Primer Brote</p> <p>Después de nueve días de la siembra aparecieron los primeros brotes y posteriormente a los 25 días todas las plantas habrán emergido.</p> |  |
| 17/07/2017 | 24 | <p align="center">Bulbo Húmedo</p> <p>Realizado con el fin de ver la infiltración del agua en el surco y apreciar que llegue a las raíces de las plantas.</p> |  |
| 25/07/2017 | 32 | <p align="center">Desmalezar</p> <p>Debido a la humedad de los surcos después del riego crecieron las malezas las cuales son perjudiciales para el crecimiento del cultivo.</p> |  |
| 26/07/2017 | 33 | <p align="center">Crecimiento de Estolones</p> <p>En el día del cultivo aparecen en la mayoría de plantas los estolones para la formación de los tubérculos.</p> |  |
| 27/07/2017 | 34 | <p align="center">Aporque</p> <p>Debido al crecimiento de estolones se realizó el aporque para evitar que emerjan del suelo.</p> |  |
| 9/08/2017 | 47 | <p align="center">Control de plagas</p> <p>Ante la aparición leve de la mosca minadora, se aplicó un insecticida para eliminarla.</p> |  |
| 14/08/2017 | 52 | <p align="center">Flores</p> <p>Siendo una variedad de pocas flores, estas aparecieron en pocas plantas.</p> |  |

Continuación...

| | | | |
|------------|-----|--|--|
| 21/10/2017 | 120 | <p style="text-align: center;">Corte</p> <p>Después del último riego se realizó el corte de los tallos del cultivo para luego de dos semanas proceder con la cosecha.</p> |  |
| 2/11/2017 | 132 | <p style="text-align: center;">Cosecha</p> <p>Se cosecharon todas las plantas de las cuatro hileras centrales de todos los bloques.</p> |  |
| 5/11/2017 | 135 | <p style="text-align: center;">Poscosecha</p> <p>Después de haber cosechado se clasificó, pesó y contó la producción de cada planta.</p> |  |

FUENTE: Elaboración propia.

Anexo 4: Cuantificación del volumen de agua por escorrentía.



Recolección del volumen de agua en el riego intermitente.

FUENTE: Elaboración propia.

Anexo 5: Aforamiento del caudal de entrada y salida del riego continuo.



Instalación del aforador Ballofet.

FUENTE: Elaboración propia.



Aforamiento de la entrada del caudal al surco.

FUENTE: Elaboración propia.

Anexo 6: Panel fotográfico del cultivo de papa variedad UNICA.



Cultivo a los 15 días.



Cultivo a los 30 días.



Cultivo a los 45 días (RI).



Cultivo a los 45 días (RC).



Cultivo a los 60 días (RC).



Cultivo a los 60 días (RI).

FUENTE: Elaboración propia.

Anexo 7: Monitoreo del crecimiento de la papa variedad UNICA.



Planta a los 15 días.



Planta a los 20 días.



Planta a los 30 días.



Planta a los 50 días.



Planta a los 60 días.



Planta a los 80 días.

FUENTE: Elaboración propia.

Anexo 8: Sistema multicompuertas.



Tubería de conducción de bambú.

FUENTE: Elaboración propia.

Anexo 9: Clasificación de tubérculos.



Clasificación de papas según calibre.

FUENTE: Elaboración propia.

Anexo 10: Número y peso de tubérculos según calibres en los bloques de riego continuo.

a)

| RIEGO CONTINUO | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------|--------------|--------------|---------------|---------------|--------------|---------------|---------------|--------------|---------------|---------------|--------------|---------------|---------------|-------------|---------------|-----------------|
| N° de Bloque | Extra | | | Primera | | | Segunda | | | Tercera | | | Descarte | | | Producción (Kg) |
| | Número | Peso (Kg) | Promedio (Kg) | Número | Peso (Kg) | Promedio (Kg) | Número | Peso (Kg) | Promedio (Kg) | Número | Peso (Kg) | Promedio (Kg) | Número | Peso (Kg) | Promedio (Kg) | |
| 1 | 59 | 14.70 | 0.25 | 115 | 17.73 | 0.15 | 226 | 22.79 | 0.10 | 401 | 22.43 | 0.06 | 745 | 9.03 | 0.01 | 86.67 |
| 2 | 56 | 13.85 | 0.25 | 153 | 22.17 | 0.14 | 235 | 21.87 | 0.09 | 394 | 20.94 | 0.05 | 628 | 7.82 | 0.01 | 86.66 |
| 3 | 57 | 12.80 | 0.22 | 105 | 14.51 | 0.14 | 196 | 18.75 | 0.10 | 444 | 24.11 | 0.05 | 446 | 7.36 | 0.02 | 77.53 |
| 4 | 40 | 9.51 | 0.24 | 88 | 12.63 | 0.14 | 141 | 14.27 | 0.10 | 430 | 24.40 | 0.06 | 616 | 11.76 | 0.02 | 72.57 |
| 5 | 30 | 8.19 | 0.27 | 81 | 11.70 | 0.14 | 140 | 13.40 | 0.10 | 387 | 21.03 | 0.05 | 518 | 7.49 | 0.01 | 61.80 |
| 6 | 46 | 10.74 | 0.23 | 113 | 15.65 | 0.14 | 149 | 13.58 | 0.09 | 313 | 16.63 | 0.05 | 325 | 5.09 | 0.02 | 61.69 |
| 7 | 27 | 6.52 | 0.24 | 101 | 14.69 | 0.15 | 141 | 12.89 | 0.09 | 297 | 15.92 | 0.05 | 449 | 8.43 | 0.02 | 58.45 |
| 8 | 21 | 5.00 | 0.24 | 76 | 10.44 | 0.14 | 150 | 13.55 | 0.09 | 287 | 14.85 | 0.05 | 364 | 5.30 | 0.01 | 49.14 |
| 9 | 26 | 5.73 | 0.22 | 77 | 11.40 | 0.15 | 127 | 12.21 | 0.10 | 179 | 10.82 | 0.06 | 644 | 10.77 | 0.02 | 50.92 |
| 10 | 60 | 14.87 | 0.25 | 116 | 17.67 | 0.15 | 146 | 13.64 | 0.09 | 174 | 9.73 | 0.06 | 463 | 7.81 | 0.02 | 63.72 |
| Promedio | 42.20 | 10.19 | 0.24 | 102.50 | 14.86 | 0.14 | 165.10 | 15.70 | 0.10 | 330.60 | 18.09 | 0.05 | 519.80 | 8.09 | 0.02 | 66.92 |

Producción del tratamiento control por bloques.

FUENTE: Elaboración propia.

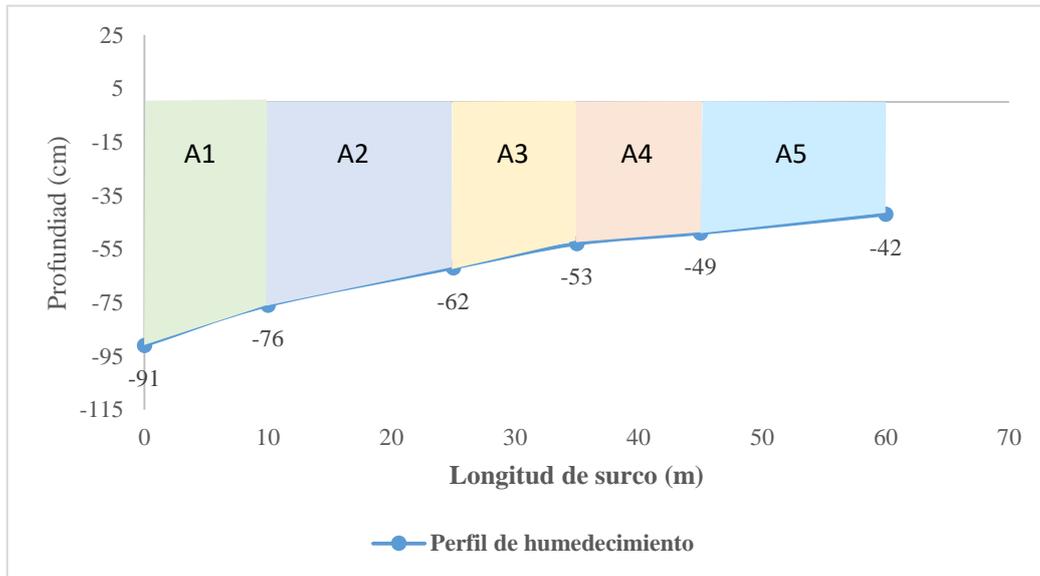
b)

| RIEGO INTERMITENTE | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|--------------|--------------|---------------|---------------|--------------|---------------|---------------|--------------|---------------|---------------|--------------|---------------|---------------|-------------|---------------|-----------------|
| N° de Bloque | Extra | | | Primera | | | Segunda | | | Tercera | | | Descarte | | | Producción (Kg) |
| | Número | Peso (Kg) | Promedio (Kg) | Número | Peso (Kg) | Promedio (Kg) | Número | Peso (Kg) | Promedio (Kg) | Número | Peso (Kg) | Promedio (Kg) | Número | Peso (Kg) | Promedio (Kg) | |
| 1 | 63 | 14.09 | 0.22 | 131 | 18.69 | 0.14 | 225 | 21.15 | 0.09 | 397 | 21.39 | 0.05 | 533 | 9.31 | 0.02 | 84.63 |
| 2 | 51 | 13.09 | 0.26 | 135 | 20.21 | 0.15 | 198 | 20.51 | 0.10 | 395 | 21.60 | 0.05 | 690 | 8.01 | 0.01 | 83.41 |
| 3 | 65 | 14.71 | 0.23 | 124 | 18.51 | 0.15 | 178 | 17.42 | 0.10 | 356 | 18.29 | 0.05 | 482 | 6.94 | 0.01 | 75.86 |
| 4 | 82 | 19.53 | 0.24 | 115 | 16.54 | 0.14 | 163 | 13.28 | 0.08 | 396 | 18.46 | 0.05 | 507 | 6.99 | 0.01 | 74.79 |
| 5 | 86 | 20.43 | 0.24 | 132 | 20.04 | 0.15 | 151 | 13.16 | 0.09 | 272 | 13.10 | 0.05 | 560 | 7.69 | 0.01 | 74.41 |
| 6 | 64 | 14.72 | 0.23 | 114 | 17.64 | 0.15 | 182 | 16.75 | 0.09 | 359 | 17.73 | 0.05 | 491 | 6.36 | 0.01 | 73.21 |
| 7 | 81 | 17.13 | 0.21 | 104 | 15.76 | 0.15 | 148 | 13.77 | 0.09 | 387 | 18.11 | 0.05 | 452 | 6.16 | 0.01 | 70.93 |
| 8 | 65 | 15.19 | 0.23 | 128 | 19.19 | 0.15 | 161 | 15.53 | 0.10 | 349 | 16.81 | 0.05 | 363 | 3.71 | 0.01 | 70.44 |
| 9 | 69 | 14.78 | 0.21 | 124 | 17.45 | 0.14 | 186 | 17.44 | 0.09 | 407 | 20.02 | 0.05 | 474 | 5.82 | 0.01 | 75.50 |
| 10 | 92 | 22.77 | 0.25 | 128 | 18.17 | 0.14 | 188 | 17.19 | 0.09 | 406 | 20.05 | 0.05 | 619 | 8.92 | 0.01 | 87.09 |
| Promedio | 71.80 | 16.64 | 0.23 | 123.50 | 18.22 | 0.15 | 178.00 | 16.62 | 0.09 | 372.40 | 18.56 | 0.05 | 517.10 | 6.99 | 0.001 | 77.03 |

Producción del riego intermitente por bloques.

FUENTE: Elaboración propia.

Anexo 11: Determinación del área de humedecimiento.



Perfil de humedecimiento del séptimo riego (RC).

FUENTE: Elaboración propia.

Para la determinación del perfil de humedecimiento se dividió en áreas por tramos y poder calcular el área del trapecio y finalmente sumar todas las áreas.

$$A_1 = \left(\frac{0.91 + 0.76}{2} \right) * 10 = 8.35 \text{ m}^2$$

$$A_2 = \left(\frac{0.76 + 0.62}{2} \right) * 15 = 10.35 \text{ m}^2$$

$$A_3 = \left(\frac{0.62 + 0.53}{2} \right) * 10 = 5.75 \text{ m}^2$$

$$A_4 = \left(\frac{0.53 + 0.49}{2} \right) * 10 = 5.10 \text{ m}^2$$

$$A_5 = \left(\frac{0.49 + 0.42}{2} \right) * 15 = 6.85 \text{ m}^2$$

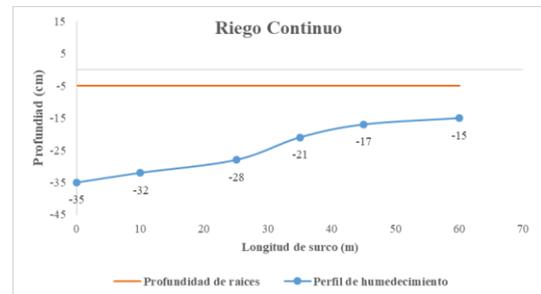
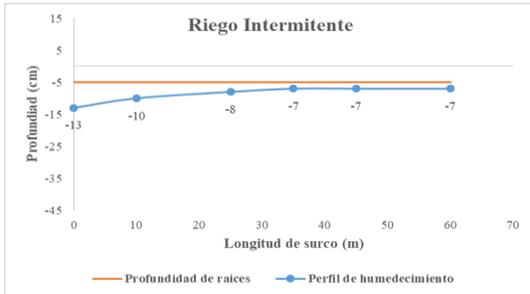
Área total:

$$A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 = 36.40 \text{ m}^2$$

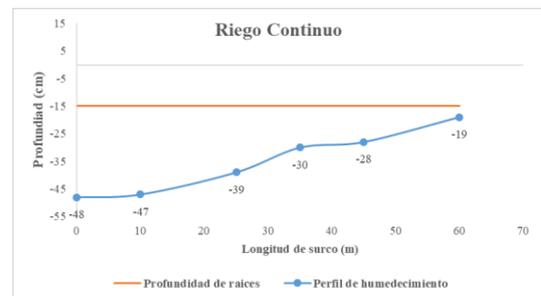
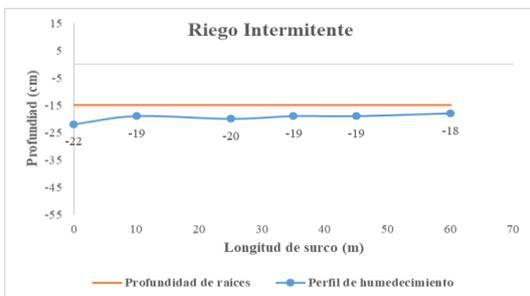
Así sucesivamente con todos los perfiles de humedecimientos.

Anexo 12: Perfil de humedecimiento durante toda la campaña.

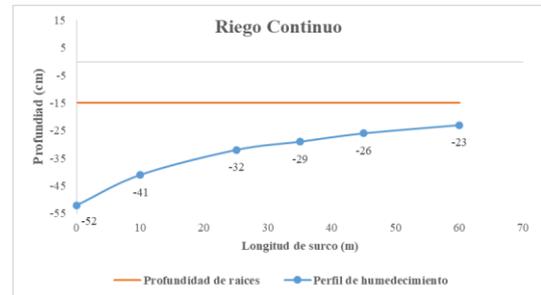
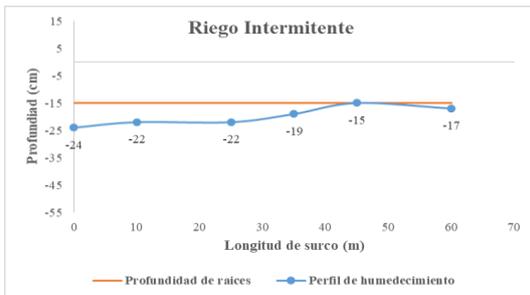
- Riegos del 24/06/2017



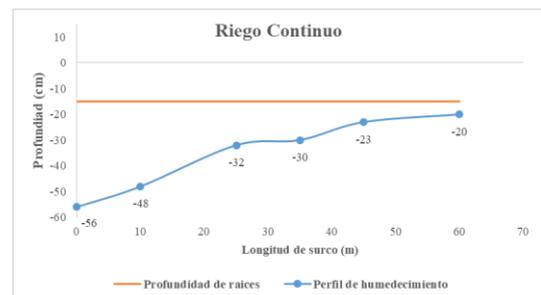
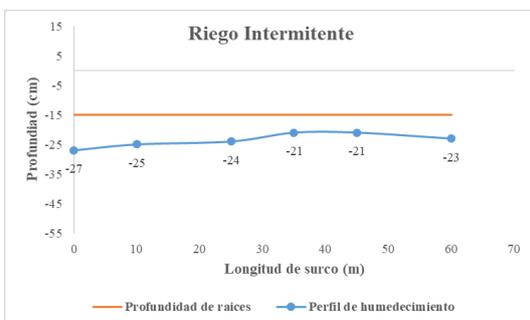
- Riegos del 01/07/2017



- Riegos del 08/07/2017

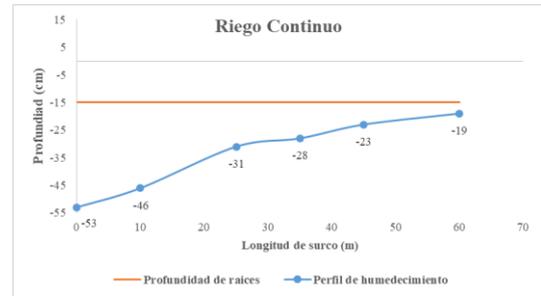
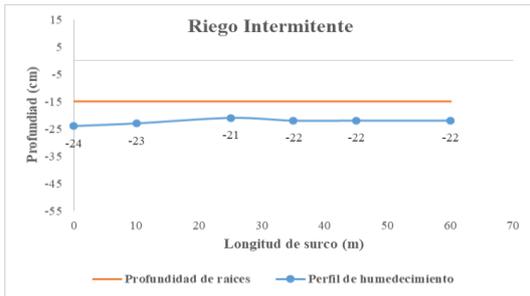


- Riegos del 15/07/2017

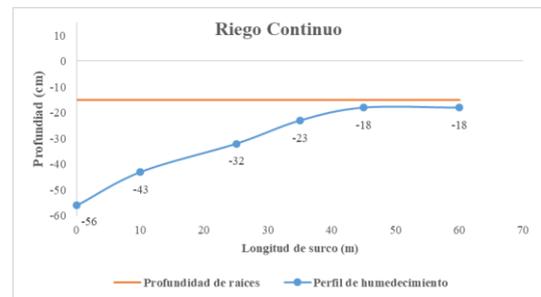
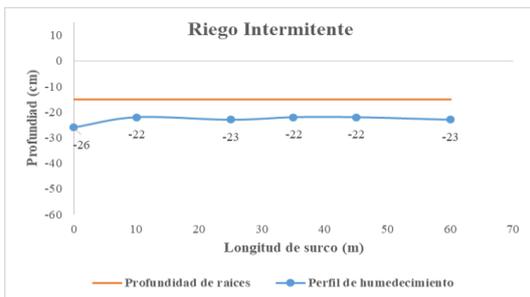


FUENTE: Elaboración propia.

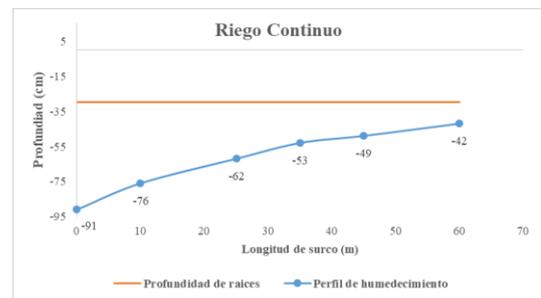
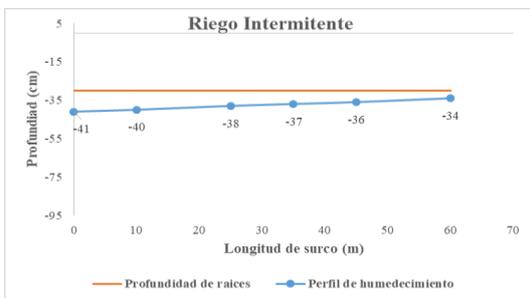
- Riegos del 22/07/2017



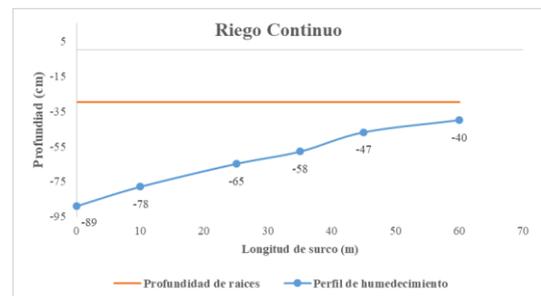
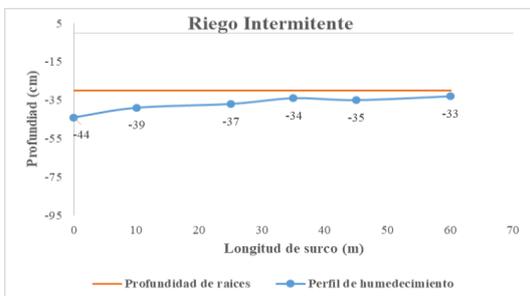
- Riegos del 29/07/2017



- Riegos del 05/08/2017

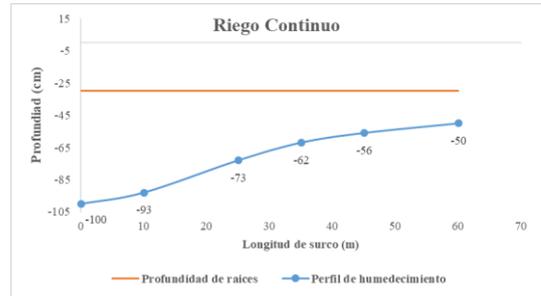
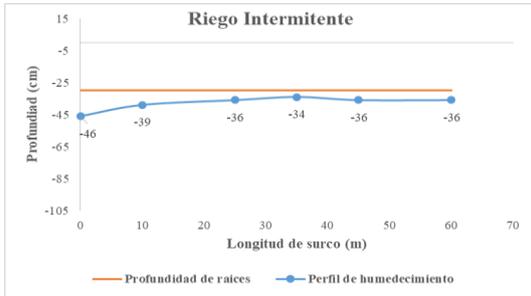


- Riegos del 12/08/2017

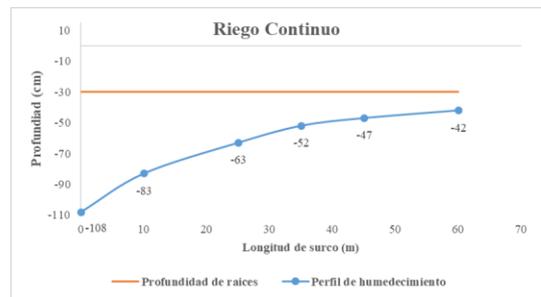
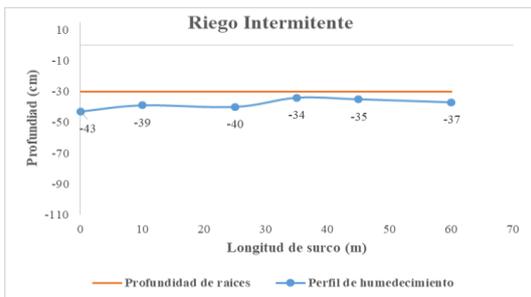


FUENTE: Elaboración propia.

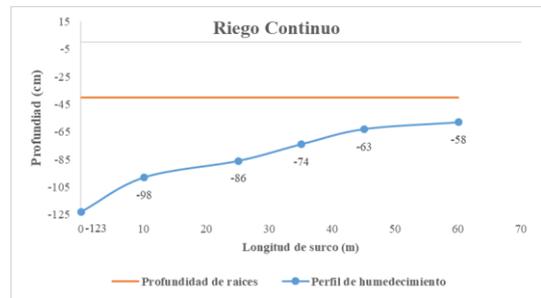
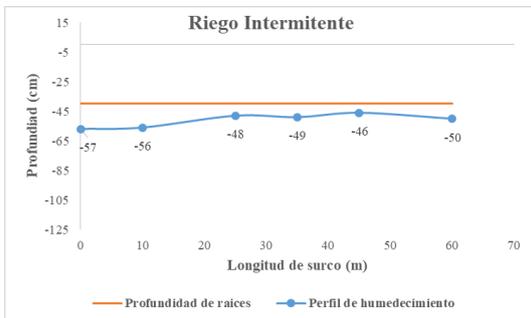
- Riegos del 19/08/2017



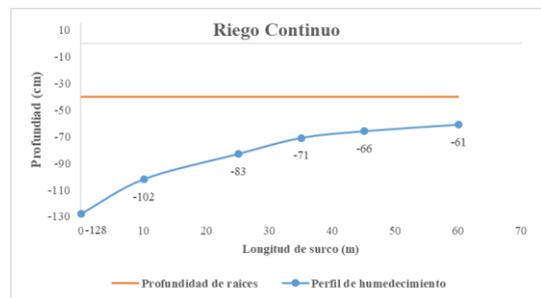
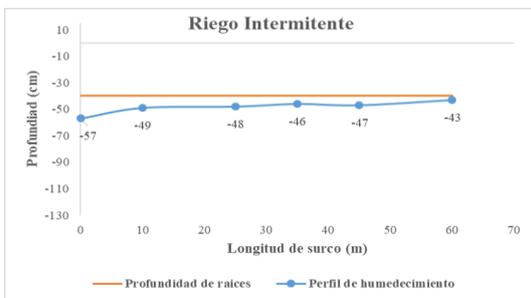
- Riegos del 26/08/2017



- Riegos del 02/09/2017

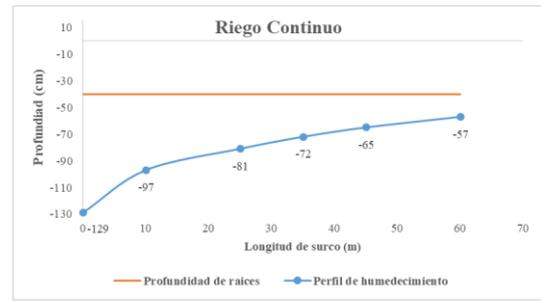
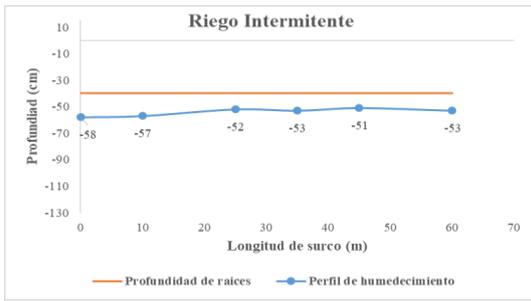


- Riegos del 09/09/2017

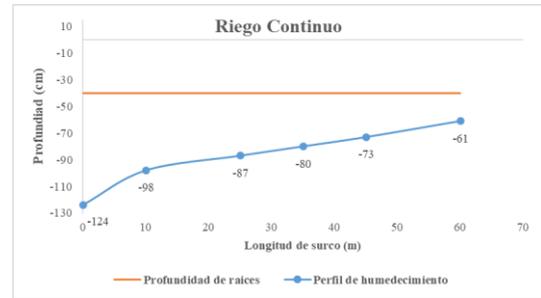
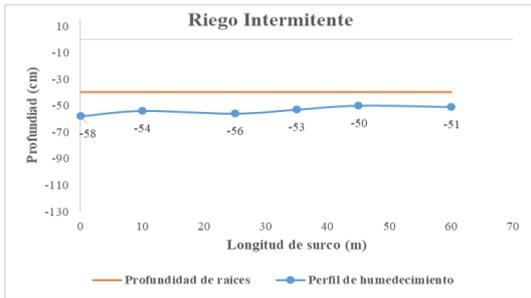


FUENTE: Elaboración propia.

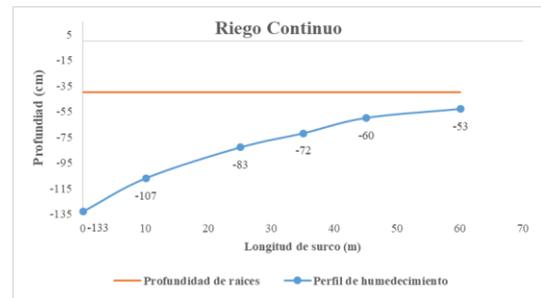
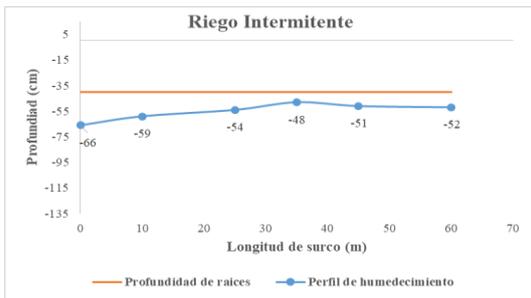
- Riegos del 16/09/2017



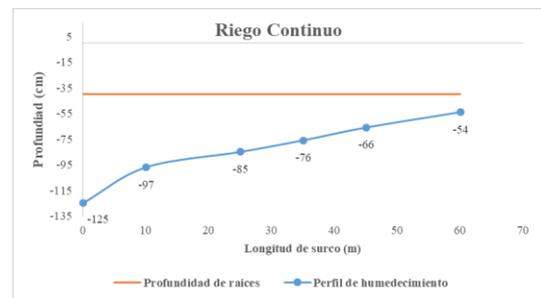
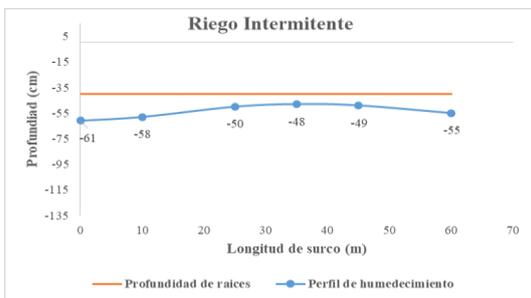
- Riegos del 23/09/2017



- Riegos del 30/09/2017

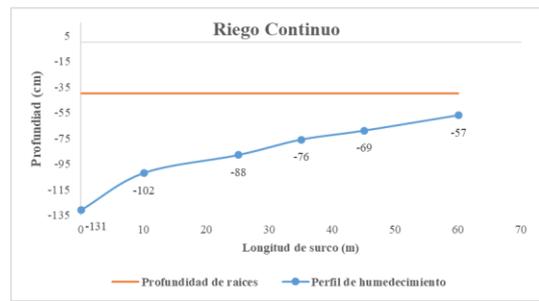
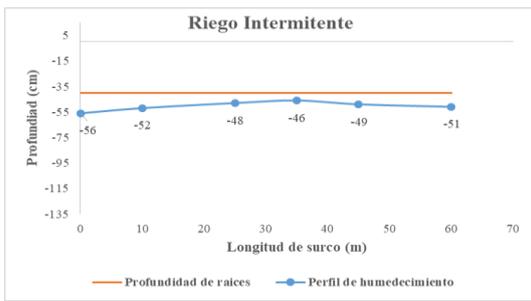


- Riegos del 07/10/2017



FUENTE: Elaboración propia.

- Riegos del 14/10/2017



FUENTE: Elaboración propia.