



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES

CARRERA DE INGENIERIA AGRONOMICA

EFICIENCIA DE APLICACIÓN DE TRES MÉTODOS DE RIEGO EN EL CULTIVO DE PAPA (*Solanum tuberosum*. L) EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL TUNSHI.

Trabajo de titulación

Tipo: Proyecto de investigación

Presentado para optar el grado académico de:

INGENIERO AGRÓNOMO

AUTOR:

CRISTHIAM ALFREDO LEMA ASITIMBAY

Riobamba – Ecuador

2021



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES

CARRERA DE INGENIERIA AGRONOMICA

EFICIENCIA DE APLICACIÓN DE TRES MÉTODOS DE RIEGO EN EL CULTIVO DE PAPA (*Solanum tuberosum*. L) EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL TUNSHI.

Trabajo de titulación

Tipo: Proyecto de investigación

Presentado para optar el grado académico de:

INGENIERO AGRÓNOMO

AUTOR: CRISTHIAM ALFREDO LEMA ASITIMBAY

DIRECTOR: Ing. JUAN EDUARDO LEÓN RUIZ Ph.D

Riobamba – Ecuador

2021

© 2021, **Cristhiam Alfredo Lema Asitimbay**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho del Autor.

Yo, Cristhiam Alfredo Lema Asitimbay, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 28 de enero de 2021.



Cristhiam Alfredo Lema Asitimbay

060376518-1

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES

CARRERA DE INGENIERIA AGRONOMICA

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de titulación: Tipo: Proyecto de investigación, EFICIENCIA DE APLICACIÓN DE TRES MÉTODOS DE RIEGO EN EL CULTIVO DE PAPA (*Solanum tuberosum*. L) EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL TUNSHI, realizado por el señor: CRISTHIAM ALFREDO LEMA ASITIMBAY, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

FIRMA

FECHA

NORMA
SOLEDAD
ERAZO
SANDOVAL

Firmado digitalmente por
NORMA SOLEDAD
ERAZO SANDOVAL
Fecha: 2021.04.19
14:48:05 -05'00'

Ing. Norma Erazo Sandoval

28-01-2021

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

JUAN
EDUARDO
O LEON
RUIZ


Firmado digitalmente por JUAN
EDUARDO LEON RUIZ
DN: cn=JUAN EDUARDO LEON
RUIZ, o=EC o=SECURITY DATA
S.A. i=ENTIDAD DE
CERTIFICACION DE
INFORMACION
Motivo Soy el autor de este
documento
Ubicacion:
Fecha: 2021-04-19 23:14-05:00

Ing. Juan Eduardo León Ruiz. Ph.D

28-01-2021

DIRECTOR DE TRABAJO DE

TITULACIÓN



Firmado electrónicamente por:
ROQUE ORLANDO
GARCIA ZANABRIA

Ing. Roque Orlando García Zanabria. Dr

28-01-2021

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

DEDICATORIA

A Dios, por el tiempo que me ha otorgado y permitirme recorrer este camino, a mis padres que me han apoyado a lo largo de estos años de carrera universitaria.

Cristhiam Alfredo Lema Asitimbay.

AGRADECIMIENTO

Un agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica De Chimborazo, a la Facultad De Recursos Naturales, A sus docentes, así como también a los que conforman el cuerpo administrativo de la Carrera de Ingeniería Agronómica por permitirme obtener conocimientos aplicables en la rama de la agronomía y conocer la importancia de su misión a lo largo de estos años de esfuerzo.

Cristhiam Alfredo Lema Asitimbay

TABLA DE CONTENIDO

INDICE DE TABLAS.....	xii
INDICE DE GRÁFICOS.....	xv
INDICE DE ANEXOS.....	xvii
RESUMEN.....	xviii
ABSTRACT.....	xix
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPITULO I

1. MARCO TEORICO.....	3
1.1 Riego.....	3
1.1.1 <i>Generalidades</i>	3
1.1.2 <i>Riego tecnificado</i>	3
1.2 Métodos de riego.....	4
1.3 Eficiencia de los métodos de riego.....	4
1.3.1 <i>Eficiencia de aplicación (Ea)</i>	4
1.4 Riego por gravedad (por surcos).....	5
1.4.1 <i>Calculo de eficiencia</i>	6
1.5 Riego por goteo.....	7
1.5.1 <i>Especificaciones técnicas de los goteros autocompensados.</i>	8
1.5.2 <i>Cálculo de la eficiencia</i>	8
1.6 Riego por aspersión.....	9
1.6.1 <i>Cálculo de eficiencia</i>	11
1.7 El agua en el suelo.....	11
1.8 Necesidades hídricas de un cultivo.....	12
1.8.1 <i>Agua útil</i>	12
1.8.2 <i>Coefficiente del cultivo (Kc)</i>	13

1.8.3	<i>Evapotranspiración de referencia (ET_o)</i>	13
1.8.4	<i>Evapotranspiración del cultivo (ET_c)</i>	15
1.8.5	<i>Frecuencia de riego</i>	15
1.8.6	<i>Lámina neta</i>	15
1.8.7	<i>Medición del estado hídrico de la planta</i>	16
1.8.8	<i>Volumen de riego</i>	16
1.8.9	<i>Huella hídrica</i>	17
1.9	Cultivo de papa	18
1.9.1	<i>Importancia</i>	18
1.9.2	<i>Clasificación botánica</i>	18
1.9.3	<i>Etapas fenológicas</i>	19
1.9.4	<i>Manejo</i>	20
1.9.5	<i>Clasificación del tubérculo.</i>	21
1.9.6	<i>Requerimientos edafoclimáticos</i>	21
1.9.7	<i>Requerimiento hídrico</i>	22

CAPITULO II

2.	MATERIALES Y MÉTODOS	23
2.1	Características del sitio de estudio	23
2.1.1	<i>Localización</i>	23
2.1.2	<i>Ubicación geográfica</i>	23
2.1.3	<i>Clasificación ecológica</i>	23
2.1.4	<i>Características del suelo</i>	23
2.1.5	<i>Características meteorológicas</i>	24
2.2	Materiales y equipos	24
2.2.1	<i>Material vegetativo</i>	24
2.2.2	<i>Material y equipos de campo</i>	24
2.2.3	<i>Material y equipos de laboratorio</i>	24

2.2.4	<i>Materiales de oficina</i>	25
2.3	Metodología	25
2.3.1	<i>Diseño experimental</i>	25
2.3.2	<i>Análisis funcional</i>	25
2.3.3	<i>Esquema de análisis de varianza</i>	25
2.3.4	<i>Especificaciones del campo experimental</i>	26
2.4	Parámetros hídricos	27
2.4.1	<i>Velocidad de infiltración</i>	27
2.4.2	<i>Densidad aparente</i>	27
2.4.3	<i>Capacidad de campo y punto de marchitez permanente.</i>	27
2.4.4	<i>Agua disponible</i>	28
2.5	Parámetros a evaluar	28
2.5.1	<i>Eficiencia de riego por gravedad.</i>	28
2.5.2	<i>Eficiencia de riego por goteo</i>	29
2.5.3	<i>Eficiencia de riego por Aspersión</i>	30
2.5.4	<i>Parámetros biométricos</i>	30
2.5.5	<i>Contenido relativo de agua (CRA)</i>	31
2.5.6	<i>Conductancia estomática</i>	32
2.5.7	<i>Potencial hídrico</i>	33
2.5.8	<i>Materia seca del tubérculo</i>	33
2.5.9	<i>Volumen de riego</i>	33
2.5.10	<i>Huella Hídrica</i>	34
2.5.11	<i>Rendimiento por categoría</i>	34
2.5.12	<i>Relación costo/ beneficio</i>	35
2.6	Manejo del ensayo	35
2.6.1	<i>Delimitación de parcelas</i>	35
2.6.2	<i>Siembra y preparación de suelo</i>	35
2.6.3	<i>Control de maleza</i>	35
2.6.4	<i>Medio aporque y aporque</i>	35

2.6.5	<i>Fertilización</i>	36
2.6.6	<i>Control de enfermedades</i>	36
2.7	<i>Aplicación de riegos en los ensayos</i>	36

CAPITULO III

3.	RESULTADOS	39
3.1	Condiciones climáticas	39
3.1.1	<i>Temperatura y humedad relativa</i>	39
3.1.2	<i>Precipitación efectiva y velocidad del viento.</i>	40
3.2	Parámetros hídricos	40
3.3	Coefficiente de cultivo (Kc)	41
3.4	Humedad del suelo	43
3.5	Etapas fenológicas	43
3.6	Eficiencia de riego	45
3.7	Volumen de riego	47
3.8	Parámetros biométricos	48
3.8.1	<i>Número de tallos a los 30 días.</i>	48
3.8.2	<i>Número de tallos a los 75 días</i>	49
3.8.3	<i>Número de tallos a los 120 días</i>	50
3.8.4	<i>Número de tallos a los 135 días</i>	51
3.8.5	<i>Número de hojas a los 30 días</i>	53
3.8.6	<i>Numero de hojas a los 75 días</i>	54
3.8.7	<i>Número de hojas a los 120 días</i>	55
3.8.8	<i>Número de hojas a los 135 días</i>	56
3.8.9	<i>Altura del a planta a los 30 días</i>	60
3.8.10	<i>Altura de la planta a los 75 días</i>	62
3.8.11	<i>Altura de la planta a los 120 días</i>	63
3.8.12	<i>Altura de la planta a los 135 días</i>	64

3.8.13	<i>Diámetro de tallo a los 30 días</i>	68
3.8.14	<i>Diámetro de tallos a los 75 días</i>	69
3.8.15	<i>Diámetro de tallo a los 120 días</i>	70
3.8.16	<i>Diámetro de tallo a los 135 días</i>	71
3.9	Huella hídrica	75
3.10	Porcentaje de materia seca del tubérculo y contenido relativo de agua	77
3.11	Estado hídrico de la planta	78
3.11.1	<i>Cámara de Scholander PMS</i>	78
3.11.2	<i>Conductancia estomática (Porómetro de hoja)</i>	81
3.12	Rendimiento	83
3.12.1	<i>Rendimiento por planta categoría primera.</i>	83
3.12.2	<i>Rendimiento por planta categoría segunda</i>	85
3.12.3	<i>Rendimiento por planta categoría tercera</i>	86
3.12.4	<i>Rendimiento por parcela neta</i>	88
3.13	Relación costo - beneficio	90
	CONCLUSIONES	91
	RECOMENDACIONES	92
	GLOSARIO	
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

INDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	Eficiencia de aplicación de tres métodos de riego.....	5
Tabla 2-1:	Especificaciones de goteros y longitud de laterales en suelo llano.	8
Tabla 3-1:	Especificación de aspersores.	10
Tabla 4-1 :	Coeficientes del tanque evaporímetro (Kp) para el tanque Clase A para varios valores de velocidad media de viento y de humedad relativa.	14
Tabla 5-1:	Información correspondiente al cultivo de papa.....	19
Tabla 6-1:	Clasificación de los tubérculos según el peso.	21
Tabla 1-2:	Estructura experimental del ensayo.....	25
Tabla 2-2:	Análisis de varianza.....	25
Tabla 3-2:	Características del campo experimental.	26
Tabla 4-2:	Referencia general para interpretación de niveles de conductancia estomática. ..	32
Tabla 5-2 :	Interpretación de las presiones en la cámara de Scholander PMS.....	33
Tabla 6-2:	Clasificación por peso del tubérculo.	34
Tabla 7-2 :	Productos usados para el control de plagas y enfermedades.	36
Tabla 8-2:	Fórmulas para cálculos de riego.	37
Tabla 1-3:	Parametros hídricos del suelo.....	41
Tabla 2-3:	Duración de las etapas fenológicas por tratamiento (días)	43
Tabla 3-3 :	Análisis de varianza para eficiencia de riego.	45
Tabla 4-3:	Prueba se Tukey al 5% para eficiencia de riego.....	45
Tabla 5-3:	Análisis de varianza para el número de tallos por planta a los 30 días.....	48
Tabla 6-3:	Análisis de varianza para el número de tallos por planta a los 75 días.....	49
Tabla 7-3 :	Análisis de varianza para el número de tallos por planta a los 120 días.....	50
Tabla 8-3:	Análisis e variancia para el numero de tallos a os 135 días.....	51
Tabla 9-3:	Analisis de varianza para el número de tallos entre tratamientos.....	52
Tabla 10-3:	Análisis de varianza para el numero de hojas por planta a los 30 días.....	53
Tabla 11-3:	Análisis de varianza para el número de hojas por planta a los 75 días.....	54
Tabla 12-3:	Análisis de varianza para el numero de hojas por planta a los 120 días.....	55

Tabla 13-3: Prueba de Tukey al 5% para el numero de hojas a los 120 días.....	56
Tabla 14-3: Análisis de variancia para el número de hojas a los 135 días.....	57
Tabla 15-3: Prueba de Tukey al 5 % para el número de hojas a los 135 días.....	57
Tabla 16-3: Analisis de varianza para número de hojas.....	58
Tabla 17-3: Análisis de varianza para la altura de la planta a los 30 días.....	61
Tabla 18-3: Prueba de Tukey al 5% para el número de hojas a los 30 días.....	61
Tabla 19-3: Análisis de varianza para la altura de la planta a los 75 días.....	62
Tabla 20-3: Análisis de varianza para la altura de la planta a los 120 días.....	63
Tabla 21-3: Prueba de Tukey al 5% para la altura de la planta a los 120 días.....	63
Tabla 22-3: Análisis de varianza para la altura del a planta a los 135 días.....	64
Tabla 23-3: Prueba de Tukey al 5 % para la altura de la planta a los 135 días.....	65
Tabla 24-3: Analisis de varianza de altura de planta entre tratamientos.....	66
Tabla 25-3: Análisis de varianza para el diámetro de tallo a los 30 días.....	69
Tabla 26-3: Análisis de varianza para el diámetro de tallo a los 75 días.....	70
Tabla 27-3: Análisis de varianza para el diámetro de tallo a los 120 días.....	71
Tabla 28-3: Análisis de varianza para el diámetro de tallo a los 135 días.....	72
Tabla 29-3: Prueba de Tukey al 5 % para el diámetro de tallos a los 135 días.....	72
Tabla 30-3: Analisis de varianza para diámetro de tallo entre tratamientos.....	73
Tabla 31-3: Huella hídrica por tratamiento.....	76
Tabla 32-3: Análisis de varianza para materia seca del tubérculo (%).	77
Tabla 33-3: Análisis de varianza para contenido relativo de agua (%).	77
Tabla 34-3: Análisis de varianza para estado hídrico de la planta medido por la cámara de Scholander.....	79
Tabla 35-3: Análisis de varianza para estado hídrico medido a través de la conductancia estomática (porometro de hoja).....	81
Tabla 36-3: Análisis de varianza para el rendimiento por planta y categoría primera.....	84
Tabla 37-3: Prueba de Tukey al 5 % y comparación de medias para el rendimiento por planta, categoría primera.	84
Tabla 38-3: Análisis de varianza para el rendimiento por planta, categoría segunda.....	85

Tabla 39-3: Prueba de Tukey al 5 % y comparación de medias para rendimiento por planta, categoría segunda.....	85
Tabla 40-3: Análisis de varianza para el rendimiento por planta, categoría tercera.	86
Tabla 41-3: Prueba de Tukey al 5 % y comparación de medias para rendimiento por planta, categoría tercera.....	87
Tabla 42-3: Análisis de varianza para el rendimiento en parcela neta.....	89
Tabla 43-3: Promedio y prueba de Tukey 5% para rendimientos por parcela neta.	89
Tabla 44-3: Relación costo - beneficio	90

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3:	Registro de humedad relativa y temperatura mensuales.	39
Gráfico 2-3:	Registro de velocidad del viento y precipitación efectiva mensuales.	40
Gráfico 3-3:	Coeficiente de cultivo (K_c) por etapa fenológica del tratamiento gravedad.	41
Gráfico 4-3:	Coeficiente de cultivo (K_c) por etapa fenológica para tratamiento goteo.	42
Gráfico 5-3:	Coeficiente de cultivo (K_c) por etapa fenológica para el tratamiento aspersión.	42
Gráfico 6-3:	Niveles de humedad durante el ciclo de cultivo por tratamiento	43
Gráfico 7-3:	Comparación de la duración de las etapas fenológica entre tratamientos.	44
Gráfico 8-3:	Duración total del ciclo de cultivo por tratamiento.	44
Gráfico 9-3:	Eficiencia de aplicación en los tres métodos de riego.	46
Gráfico 10-3:	Volumen de riego aplicado por ciclo en cada método de riego.	47
Gráfico 11-3:	Eficiencia de aplicación y lámina aplicada por ciclo.	47
Gráfico 12-3:	Número de tallos a los 30 días.	49
Gráfico 13-3:	Número de tallos a los 75 días.	50
Gráfico 14-3:	Número de tallos a los 120 días.	51
Gráfico 15-3:	Número de tallos a los 135 días.	52
Gráfico 16-3:	Desarrollo de tallos en los tratamientos.	52
Gráfico 17-3:	Número de hojas a los 30 días.	54
Gráfico 18-3:	Número de hojas a los 75 días.	55
Gráfico 19-3:	Número de hojas a los 120 días.	56
Gráfico 20-3:	Número de hojas a los 135 días.	57
Gráfico 21-3:	Desarrollo de hojas.	58
Gráfico 22-3:	Número de hojas durante el ciclo del cultivo tratamiento gravedad.	59
Gráfico 23-3:	Número de hojas durante el ciclo del cultivo tratamiento goteo	59
Gráfico 24-3:	Número de hojas durante el ciclo del cultivo tratamiento aspersión.	60
Gráfico 25-3:	Altura de la planta a los 30 días.	61
Gráfico 26-3:	Altura de la planta a los 75 días.	62
Gráfico 27-3:	Altura de la planta a los 120 días.	64

Gráfico 28-3: Altura de la planta a los 135 días.....	65
Gráfico 29-3: Desarrollo de altura de la planta durante el ciclo de cultivo.	66
Gráfico 30-3: Altura de la planta durante el ciclo de cultivo tratamiento gravedad.	67
Gráfico 31-3: Altura de la planta durante el ciclo de cultivo tratamiento goteo.....	67
Gráfico 32-3: Altura de la planta durante el ciclo de cultivo tratamiento aspersión.....	68
Gráfico 33-3: Diámetro del tallo a los 30 días.....	69
Gráfico 34-3: Diámetro del tallo a los 75 días.....	70
Gráfico 35-3: Diámetro del tallo a los 120 días.....	71
Gráfico 36-3: Diámetro del tallo a los 135 días.....	72
Gráfico 37-3: Desarrollo del diámetro de tallo durante el ciclo del cultivo.....	73
Gráfico 38-3: Diámetro de tallo durante el ciclo de cultivo tratamiento gravedad.....	74
Gráfico 39-3: Diámetro de tallo durante el ciclo de cultivo tratamiento goteo.....	74
Gráfico 40-3: Diámetro de tallo durante el ciclo de cultivo tratamiento aspersión.	75
Gráfico 41-3: Comparación de huella hídrica entre tratamientos.	76
Gráfico 42-3: Materia seca del tubérculo y contenido relativo de agua por tratamiento.	78
Gráfico 43-3: Estado hídrico de la planta mediante presión de Cámara de Scholander	79
Gráfico 44-3: Niveles de humedad del suelo y presión de cámara de Scholander.	80
Gráfico 45-3: Cámara de Scholander y contenido relativo de agua entre tratamientos.	80
Gráfico 46-3: Estado hídrico mediante porómetro de hoja.....	81
Gráfico 47-3: Estado hídrico medido por Porómetro de hoja y Cámara de Scholander.....	82
Gráfico 48-3: Contenido relativo de agua y porómetro de hoja.....	83
Gráfico 49-3: Rendimiento por planta entre tratamientos, categoría primera.....	84
Gráfico 50-3: Rendimiento por planta entre tratamientos, categoría segunda.....	86
Gráfico 51-3: Rendimiento por planta entre tratamiento, categoría tercera.....	87
Gráfico 52-3: Rendimiento por planta por categoría.	88
Gráfico 53-3: Rendimiento por parcela neta, lámina aplicada y eficiencia por tratamiento.....	89

INDICE DE ANEXOS

Anexo A: Análisis de suelo

Anexo B: Distribución de tratamientos en el campo

Anexo C: Materiales del sistema de riego

RESUMEN

En la presente investigación se determinó la eficiencia de aplicación de tres métodos de riego (gravedad, goteo y aspersión) en el cultivo de papa *Solanum tuberosum*. L, mediante el establecimiento de un ensayo en campo con un diseño de bloques completos al azar de tres tratamientos con tres repeticiones, donde se evaluó la eficiencia de aplicación de los tres métodos de riego en base a los cálculos de la uniformidad de distribución sobre el cultivo, parámetros biométricos en 10 plantas por repetición cada 15 días en relación a la duración del ciclo productivo del cultivo, además se monitoreó el estado hídrico de la planta y contenido de humedad del suelo, al final del ciclo productivo se determinó la lámina total aplicada y la huella hídrica, se obtuvo el nivel de eficiencia de los tratamientos en el cultivo de papa *Solanum tuberosum*. L mediante el rendimiento por planta, por categoría y por hectárea. Los resultados obtenidos en eficiencia de aplicación fueron: goteo 93%, aspersión 85 % y gravedad con 46 %, con requerimiento de riego de 218 mm, 254 mm y 431 mm respectivamente, el rendimiento fue para goteo 28 ton/ha, aspersión 26 ton/ha y gravedad 23 ton/ha; con respecto a los parámetros biométricos el número de hojas para goteo fue 160 hojas, aspersión 158 hojas, y gravedad 112 hojas; la altura de la planta para aspersión fue 83,2cm, seguido del goteo 75,2 cm y la menor altura para el tratamiento gravedad 65,2 cm; el diámetro de tallo en aspersión fue 14,5 mm, goteo 14,2 mm y gravedad de 12,1 mm. En conclusión, el tratamiento goteo es el más eficiente con menor requerimiento hídrico y con altos rendimientos con respecto a los otros tratamientos. Se recomienda realizar evaluaciones de conductividad estomática en relación al tiempo y temperatura ajustados a modelos de curva con lecturas de datos más frecuentes.

Palabras clave: <PAPA (*Solanum tuberosum*. L)> <MÉTODOS DE RIEGO> <PARÁMETROS BIOMÉTRICOS> <CICLO PRODUCTIVO DEL CULTIVO> <HUELLA HÍDRICA>



Firmado electrónicamente por:
HOLGER GERMAN
RAMOS UVIDIA

0705-DBRAI-UPT-2021

2021-03-03

ABSTRACT

In the present investigation, the application efficiency of three gravity, drip and sprinkler irrigation methods in the potato crop *Solanum tuberosum*. L was determined by establishing a field trial with a randomized complete block design of three treatments with three repetitions in order to evaluate the application efficiency of the three irrigation methods based on the calculations of the distribution uniformity on the crop as well as biometric parameters in 10 plants per repetition every 15 days in relation to the duration of the crop production cycle. In addition, the plant water status and soil moisture content were monitored. At the end of crop production cycle, the total applied sheet and water footprint were determined, the level of efficiency of the treatments in the potato crop *Solanum tuberosum*. L was gotten by yield per plant, per category and per hectare. The results were drip 93%, sprinkler 85% and gravity 46%, with an irrigation requirement of 218 mm, 254 mm and 431 mm respectively. The drip yield was 28ton / ha, sprinkler 26 ton / ha and gravity 23 ton / ha; Regarding the biometric parameters, the number of leaves for drip was 160 leaves, sprinkler 158 leaves, and gravity 112 leaves; the height of the plant for sprinkler was 83.2 cm, drip 75.2 cm and the lowest height for the gravity treatment was 65.2 cm; the diameter of the stem was 14.5 mm in sprinkler, drip 14.2 mm and gravity 12.1 mm. In conclusion, the drip treatment is the most efficient with less water requirement and with high yields compared with the other treatments. It is recommended to carry out evaluations on stomatal conductance in relation to time and temperature adjusted to curves with frequent data.

Key words <POTATO (*Solanum tuberosum*. L)> <IRRIGATION METHODS> <BIOMETRIC PARAMETERS> <CROP PRODUCTION CYCLE> <WATER FOOTPRINT>

INTRODUCCIÓN.

La agricultura es la actividad humana de mayor extracción y uso consuntivo del agua, a pesar que se puede conocer los requerimientos de los cultivos para su desarrollo existen pérdidas en su aplicación y distribución que son difíciles o costosos de controlar que hacen que los volúmenes necesarios para el riego sean mayores de los que requiere la planta. (FAO, 2016)

Según (FAO, 2016) en el planeta existen más de 307 millones de hectáreas equipadas con riego y 261 millones con riego efectivo, la cantidad total de agua requerida para las mismas son 1500,464 km³ al año, para satisfacer esta demanda se extrae de fuentes primarias, secundarias, aguas subterráneas fósiles y fuentes hídricas no convencionales alrededor de 2 673 km³ de agua con una eficiencia de los sistemas de riego o ratio de necesidades hídricas del 56 % a nivel mundial, para América del Sur con un 39% y para la zona andina con un 37%.

Según el (INEC, 2017 pág. 8) en la Encuesta De Superficie y Producción Agropecuaria Continua el área dedicada a la actividad agropecuaria en el Ecuador es de 5,46 millones de hectáreas además, de acuerdo a datos del Módulo De Tecnificación Agropecuaria del (INEC, 2017 pág. 10) se estima, que a nivel nacional el 21,38% de la superficie cultivada del Ecuador se encuentra bajo riego (1.088.228,94 ha) en donde uno de los principales cultivos regados es la papa con 10 556 hectáreas (FAO, 2002).

La papa forma gran parte de la dieta del país, por su importancia económica y social, generando ingresos a muchas familias además de ser uno de los 10 productos agrícolas más consumidos con un rendimiento promedio nacional de 16.49 ton/ha (Monteros, 2016 pág. 7). En 2016 se sembró 32 742 ha y en 2017, 32 188 ha; en ese año Chimborazo contó con un 16, 86% de la superficie sembrada según la Encuesta De Superficie y Producción Agropecuaria Continua (INEC, 2017 pág. 21).

La papa posee un desarrollo radicular escaso por ello se debe evitar tanto los excesos como la escasez, además su comportamiento en periodos de déficit hídrico, incluso si estos son leves, ocasiona el cierre de estomas siendo este el factor más relevante en el desarrollo y calidad del tubérculo, se debe tomar en cuenta que como todo cultivo este posee épocas de mayor requerimiento por lo que determinar la fenología del cultivo es obligatorio. (INTA, 2013)

La agricultura actual exige mayor rendimiento con menos recursos esto debido a pronósticos de un futuro de escases, las investigaciones buscan los métodos más eficientes en distintas condiciones de cultivo por lo que existen varios métodos para el suministro de agua utilizados en dependencia de las características del terreno, del cultivo y el costo.

Justificación

La papa forma parte de los productos agrícolas con mayor importancia en el mercado nacional, por ello la necesidad de buscar el aumento en su producción en base al proceso de riego con el fin de conservar los recursos hídricos al tiempo que mejora la calidad de riego siendo este aspecto poco conocido por el productor debido a que están acostumbrados a métodos tradicionales. Al existir varios métodos con los que se puede aplicar el riego se debe determinar cuál de estos es el más eficiente, contribuyendo a la comunidad productora, que tiene como objetivo el desarrollo del sector agrícola en el país además de una mejor calidad de vida para aquellos que se dedican en su totalidad a la agricultura.

Las zonas donde se cultiva papa no poseen alta precipitación, incluso con la ayuda de la lluvia no es suficiente para satisfacer la demanda del cultivo, de modo que un correcto suministro de agua en tiempo y en frecuencia deben estar en relación con las condiciones ambientales y fenológicas, por lo tanto, a través de los sistemas de riego facilitan la tarea y para su manejo es importante conocer sus ventajas y desventajas.

Objetivos

Generales

Determinar la eficiencia de aplicación de tres métodos de riego en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*. L)

Específicos

- a. Determinar la eficiencia de aplicación de los métodos de riego: gravedad, aspersión y goteo.
- b. Ajustar el coeficiente de cultivo (Kc).
- c. Determinar la relación costo /beneficio.

CAPITULO I

1. MARCO TEORICO

1.1 Riego

1.1.1 Generalidades

El riego es el aporte artificial del agua al medio edáfico para satisfacer las necesidades hídricas del cultivo, la aplicación puede ser mediante el flujo superficial por el suelo; también por medio de sistemas que presurizan el agua sobre el terreno y la aplicación localizada en cada planta (FAO, 2014).

Las necesidades hídricas de los cultivos suelen ser satisfechas de manera natural por la precipitación, aunque depende del lugar, por tanto, cuando existe escases se requiere suministrar el agua de manera artificial mediante el riego (Cisneros, 2003 pág. 7).

La agricultura en toda su historia ha presentado limitantes que afectan la calidad y rendimiento, se busca atenuar estas limitantes desarrollando tecnologías que permitan aprovechar los recursos, en este caso el recurso hídrico según (Cisneros, 2003 pág. 7) estas tecnologías traen consigo los conceptos de grandes y pequeñas obras de riego dependiendo de la magnitud y la economía siendo posible una agricultura de continua y alta productividad.

1.1.2 Riego tecnificado

El riego tecnificado conlleva la aplicación de tecnologías que ayudan a proporcionar el agua de riego de manera eficiente a los cultivos, solo el 13,8 % del territorio ecuatoriano cuenta con esta tecnología. (Banco Mundial, 2017).

Cuando se habla de riego tecnificado no refiere únicamente al equipo especializado en la dotación del agua, si no en un conjunto de prácticas metodológicas que parten de un entendimiento de las variantes que tienen relación directa o indirecta en el aprovechamiento del agua por parte de la planta, como ejemplo tenemos según (Antúnez, A. et al., 2010 pág. 1) incluso cuando las eficiencias son altas, (90% a 95 % en riego por goteo) un mal manejo del sistema puede provocar una merma significativa de la eficiencia por pérdidas de agua.

1.2 Métodos de riego

El método de riego responde a la pregunta de ¿cómo regar?, según (Cisneros, 2003 pág. 77) los métodos de riego son la forma en la que el agua de riego es aplicada al suelo para el desarrollo de un cultivo.

Estos pueden ser: (Cisneros, 2003 págs. 77-78)

- a. Riego superficial o gravedad.
- b. Riego por aspersión.
- c. Riego por goteo.
- d. Riego subterráneo.

1.3 Eficiencia de los métodos de riego.

Al momento de la aplicación del agua existen pérdidas al suministrarlo al suelo o en la conducción hacia el cultivo, su eficiencia en primer término va a depender del manejo del sistema por parte del responsable o propietario. (FAO, 2006 pág. 1)

Según, (MINAGRI, 2015 pág. 7) la eficiencia de riego se expresa en forma general en base a la cantidad de agua que aprovecha el cultivo y aquella que es sustraída del reservorio; nos menciona además que, la eficiencia de riego de un sistema está dada por el producto de tres eficiencias que son: la eficiencia de conducción (canal principal), eficiencia de distribución (canales laterales) y la eficiencia de aplicación (en parcela). (MINAGRI, 2015)

La **eficiencia de conducción** resultado de cuantificar las pérdidas de agua que se efectúan a partir de la bocatoma hasta el final del canal principal (MINAGRI, 2015 pág. 9).

La **eficiencia de distribución** se obtiene de todos los canales de distribución de 1er, 2do, 3er, etc, orden, que sirven para la repartición del agua hacia las parcelas de los usuarios. Mide la pérdida que se produce entre la toma lateral del canal principal, hasta la zona de riego. (MINAGRI, 2015 pág. 10)

1.3.1 Eficiencia de aplicación (*Ea*)

La eficiencia de aplicación de riego es la cantidad de agua útil para el cultivo que queda en el suelo después de un riego, en relación al total del agua que se aplicó. Generalmente se mide en porcentaje o litros de agua útil en el suelo por cada 100 litros aplicados. (MINAGRI, 2015 pág. 11)

Dependiendo del método de riego, se pueden producir grandes o pequeñas pérdidas durante la aplicación del agua al suelo. La E_a se define como la relación entre el volumen de agua almacenado en la zona de la raíz para uso consuntivo y el volumen total aplicado, es decir, la E_a indica el porcentaje de agua aprovechado por el cultivo. (FAO, 2006 pág. 3)

De las tres eficiencias citadas la más difícil de evaluar es la eficiencia de aplicación (E_a). Según el método de riego se requiere utilizar diferentes metodologías. El grado de complejidad de estas técnicas aumenta cuando más tradicional es el método de riego. (IFAPA, 2009 pág. 6)

También se puede expresar en términos de lámina: lámina almacenada en zona de raíces (LZR) versus lámina total aplicada (LTA); ó lámina neta (L_n) respecto de lámina bruta (L_b).

Se tiene la siguiente fórmula: (FAO, 2006 pág. 3)

$$E_a = \frac{L_n}{L_b}$$

Tabla 1-1: Eficiencia de aplicación de tres métodos de riego.

Método de riego	Rango de eficiencia de aplicación en porcentaje
Riego por surcos	40 - 85
Riego por aspersión	50 - 90
Riego por goteo	65 - 95

Fuente: (MINAGRI, 2015)

Elaborado por: Lema, C.

1.4 Riego por gravedad (por surcos)

El riego superficial por surcos se caracteriza por distribuir el agua en la superficie del suelo mediante surcos debido a la acción de la fuerza gravitacional, el agua fluye mojando sólo una parte del terreno, conduciendo un caudal que puede variar entre 0.3 y 3 l/s, según pendiente y textura del suelo. (FAO, 2001 pág. 1)

La eficiencia de riego en condiciones tradicionales puede ir de 55% a 70%. (García, 2009 pág. 18)

Para usar este método el suelo debe estar nivelado ya que el agua se puede empozar y destruir los surcos, además la distancia entre surcos varía con la textura del suelo, en suelos arcillosos pueden ser más largos debido al movimiento del agua de forma lateral que en los suelos arenosos, se debe considerar el tipo de estructura radicular del cultivo a sembrar. (agricultores, 2017)

Las variantes que condicionan al método de riego por surcos son las condiciones topográficas, donde un suelo plano y con una pendiente baja se puede trazar surcos rectos a diferencias de pendientes más pronunciadas donde se debe realizar trazado de surcos en contorno. (FAO, 2001 pág. 1)

Algunas de las ventajas que posee el uso de este método de riego son para aquellas plantas susceptibles a enfermedades de cuello ya que evita el contacto directo con la planta, además de evitar el contagio de enfermedades infecciosas al hombre, se puede aprovechar el agua escurrida, y evita la evaporación de la superficie del suelo siempre que se respete las normas del diseño. Entre las desventajas se encuentra la baja eficiencia por la pérdida de agua y provoca erosión al suelo además con una mala distribución del agua se pueden ver afectados los rendimientos al final del surco. (INIA, 1982 pág. 1)

1.4.1 Cálculo de eficiencia.

En el riego por gravedad son inevitables las pérdidas de agua por percolación profunda, quedando fuera de la zona radicular y también por escurrimiento superficial al pie del surco. (FAO, 2006 pág. 3)

Según (IFAPA, 2009 pág. 6) para determinar la eficiencia de aplicación es necesario conocer las características del suelo, se debe evaluar el comportamiento de la infiltración a lo largo del surco para ello se usa el método propuesto por la FAO.

Los conceptos de distribución del agua y los parámetros de funcionamiento del sistema ayudan a entender y describir la distribución del agua de riego.

Fórmula para uniformidad de distribución: (Leon, 2011)

$$UD = \frac{\text{Lámina promedio infiltrada en el cuarto inferior}}{\text{Lámina promedio infiltrada}} * 100$$

Otra forma aceptada para el cálculo de uniformidad es la propuesta por Christiansens en 1942.

Fórmula para el Coeficiente de Christiansen (CUC): (Leon, 2011 pág. 4)

$$CUC = 1 - \frac{\text{Desviación promedio de la lámina Prom. Aplicada}}{\text{Lámina promedio aplicada}} * 100$$

1.5 Riego por goteo

Los sistemas de riego presurizado como el riego por goteo conducen el agua al cultivo a través de un sistema de tuberías y emisores que aportan mediante pequeños caudales el agua de forma periódica logrando una distribución localizada de alta frecuencia. Desde el enfoque agronómico se los llama riegos localizados por humedecer una zona específica del suelo también se lo denomina de alta frecuencia ya que permite el riego dos o una vez por día dependiendo de la evapotranspiración del cultivo lo que ayuda a que la planta evite entrar en estrés hídrico. (Liotta, 2015 pág. 5)

En la actualidad es el método de riego más eficiente con respecto a su conducción, uniformidad de distribución y emisión por lo que es de usos extendido en la horticultura y en el cultivo de frutales. Para llevarla a cabo es fundamental su correcta planificación y diseño ya que de esto dependerá su correcta instalación y operación, consta de tres partes fundamentales que son el diseño agronómico, diseño geométrico y diseño hidráulico. Siendo el principal el diseño agronómico ya que de este dependerá la cantidad de agua que debe soportar el sistema dependiendo del cultivo y las condiciones climáticas, su planificación afecta en el diseño hidráulico donde puede haber repercusiones económicas. resultando en bajo rendimiento. (INTAGRI, 2019)

Entre las ventajas que ofrece este tipo de método está el poder controlar mejor la calidad del agua, se puede lograr hacer líneas de riego de mayor longitud sin perder uniformidad en el riego (mundoriego, S F).

Este sistema consta de los siguientes elementos:

La fuente de abastecimiento

Cabezal principal

Tuberías de conducción principal

Cabezales de campo

Tuberías terciarias

Laterales de riego con emisores (Liotta, 2015 pág. 7).

La cantidad de agua se ajusta en cantidad y oportunidad a la evapotranspiración de los cultivos, se evita la pérdida por conducción ya que el agua se deposita de forma directa en la planta alcanzando una eficiencia de 90% a 95%. Al igual que el riego por gravedad, para el diseño del riego goteo se debe considerar las características del suelo, tipo de cultivo y distancia de siembra para determinar los caudales, frecuencias, tiempo de riego etc. (Liotta, 2015 pág. 23)

Entre las ventajas que ofrece este tipo de método está el poder controlar mejor la calidad del agua, se puede lograr hacer líneas de riego de mayor longitud sin perder uniformidad en el riego.

1.5.1 Especificaciones técnicas de los goteros autocompensados.

Los goteros autocompensados mantienen un caudal uniforme aunque la presión varíe el flujo sea turbulento, en su interior posee una membrana que es de silicona (diafragma) que se deforma por la diferencia de presión ante y después de la misma modificando el conducto de paso y manteniendo el caudal constante; estos goteros están espaciados normalmente a 20 o 60 cm. (Liotta, 2015 pág. 21)

El diseño del gotero autocompensante clásico satisface todas las necesidades básicas del riego por goteo autorregulado.

Tabla 2-1: Especificaciones de goteros y longitud de laterales en suelo llano.

CAUDAL (l/h)	PRESIÓN (mca) max - min	Tubería 16 x 13 mm DISTANCIA ENTRE GOTERO (m)				
		0.25	0.5	0.75	1	1.25
2	30-10	107- 183- 246 -301- 351				
	25-10	97- 165 -222- 272 -316				
	20-10	84- 143 -192- 235 -273				
4	30-10	68 -117 -157- 193 -225				
	25-10	62 -106 -142- 174 -203				
	20-10	53- 92 -123- 151- 176				
8	30-10	43- 75- 101- 124- 145				
	25-10	38 -65 -87 -108 -126				
	20-10	34- 59 -79- 97- 113				

Fuente: (Regaber, 2002)

Elaborado por: Lema, C. 2020

1.5.2 Cálculo de la eficiencia

La metodología es similar al del riego por aspersión ya que se puede determinar de forma directa la uniformidad de distribución.

Según (Leon, 2011) en el riego por goteo no presenta problemas de escorrentía sin embargo un factor importante es la uniformidad de la aplicación del riego, las diferencias de presión pueden provocar percolación profunda; por ello es preciso evaluar los parámetros que permitir cuantificar la calidad del riego.

Fórmula para la uniformidad de distribución o coeficiente de uniformidad de distribución: (Vargas, 2008 pág. 4)

$$UD = \frac{Lp_{25\%}}{X} * 100$$

UD: Uniformidad de la distribución, (%).

Lp 25%: Promedio de los caudales del 25% de los goteros con la menor descarga.

X: Promedio de todos los goteros aforados.

Otra forma aceptada para el cálculo de uniformidad es la propuesta por Christiansens en 1942.

Fórmula para el Coeficiente de Christiansen (CUC): (Leon, 2011 pág. 4)

$$CUC = \frac{\text{desviacion del promedio de la lamina prom. aplicada}}{\text{lamina promedio aplicada}} * 100$$

1.6 Riego por aspersión

El riego por aspersión distribuye el agua a manera de lluvia sobre la superficie del suelo usando un sistema de tuberías y aspersores que permite la conducción del agua a presión hasta el cultivo, por ello la cantidad de agua infiltrada en el terreno será más o menos uniforme según sean las condiciones del suelo y las especificaciones del aspersor. (Fernández, R. et al., 2010 pág. 19)

Con este método se pueden lograr eficiencia de aplicación de 80% hasta 85 aunque para ello se requiere de una alta inversión en los sistemas de tuberías y accesorios además de la mano de obra y el mantenimiento (Cenicña, 2015).

Los aspectos a tener en cuenta para el método de riego aspersión son las condiciones de viento en la zona, no se recomienda cuando existen vientos de 5 m/s donde se debe agregar mayor traslape lo que aumenta el costo de inversión (Carrazón, 2007 pág. 94).

En este método se requiere mayor cantidad de presión para funcionar en comparación con los métodos anteriores por lo que se necesita de energía ya sea dada por una bomba eléctrica o a combustible, para llegar a las presiones necesarias para un eficiente riego por parte de los aspersores, además la velocidad aportada al suelo debe ser menor a la velocidad infiltración del suelo para evitar el proceso de escurrimiento. (Demin, 2014 pág. 16)

Características:

Diseño de contrabalanceo

Una sola parte móvil

Tamaños de entradas M NPT " ó "

Caudales: 0.78 á 6.97 gpm [177 á 1583 L/hr]

Baja deriva por viento y baja pérdida por evaporación a bajas presiones (Seninger, 2012 pág. 1).

Tabla 3-1: Especificación de aspersores.

[bar]	0.69	1.03	1.38	1.72
Boquilla #6 - Dorada [2.38mm]				
Caudal [L/hr]	177	216	250	279
HA Diám. a 0.46m alt [m]	11.1	12.5	13.7	14
MA Diám. a 0.46m alt [m]	9.8	10.7	11.7	12.5
Boquilla #7 - Lima [2.78mm]				
Caudal [L/hr]	241	295	341	382
HA Diám. a 0.46m alt [m]	12.2	14.2	14.3	15.4
MA Diám. a 0.46m alt [m]	10.1	11.1	12.4	12.5
Boquilla #8 - Lavanda [3.18mm]				
Caudal [L/hr]	318	388	450	502
HA Diám. a 0.46m alt [m]	12.8	14.2	14.3	15.7
MA Diám. a 0.46m alt [m]	10.4	11.7	12.5	13
Boquilla #9 - Gris [3.57mm]				
Caudal [L/hr]	409	500	577	645
HA Diám. a 0.46m alt [m]	13.4	14.3	15.4	16
MA Diám. a 0.46m alt [m]	10.5	12.4	12.8	13.1
Boquilla #10 - Turquesa [3.97mm]				
Caudal [L/hr]	504	618	713	797
HA Diám. a 0.46m alt [m]	13.6	14.9	15.4	16.3
MA Diám. a 0.46m alt [m]	11	12.5	13	13.4
Boquilla #11 - Amarilla [4.37mm]				
Caudal [L/hr]	611	749	865	968
HA Diám. a 0.46m alt [m]	13.6	15.4	15.7	16.5
MA Diám. a 0.46m alt [m]	11	12.7	13.1	13.4
Boquilla #12 - Roja [4.76mm]				
Caudal [L/hr]	734	899	1038	1161
HA Diám. a 0.46m alt [m]	14	15.4	15.9	16.6
MA Diám. a 0.46m alt [m]	11.1	12.7	13.6	13.6
Boquilla #13 - Blanca [5.16mm]				
Caudal [L/hr]	863	1056	1222	1365
HA Diám. a 0.46m alt [m]	14.2	15.6	16	16.9
MA Diám. a 0.46m alt [m]	11.1	12.7	13.6	13.7
Boquilla #14 - Azul [5.56mm]				
Caudal [L/hr]	999	1224	1415	1583
HA Diám. a 0.46m alt [m]	14.3	15.6	16.2	16.9
MA Diám. a 0.46m alt [m]	11.3	13	13.7	14.2

Fuente: (Seninger, 2012)

1.6.1 Cálculo de eficiencia

Para el cálculo de eficiencia del riego basado en criterios de uniformidad de distribución del agua aplicada en el terreno, según (Leon, 2011 pág. 3) la uniformidad con la que el agua llega al cultivo ayudan a cuantificar si el riego es aplicado de forma correcta y conocer el funcionamiento de los sistemas de riego permitiendo su evaluación y mejoramiento.

Fórmula para la uniformidad de distribución o coeficiente de distribución: (Vargas, 2008 pág. 4)

$$UD = \frac{Lp_{25\%}}{X} * 100$$

UD = Uniformidad de la distribución, en %.

Lp 25% = Promedio de los caudales del 25% de los goteros con la menor descarga.

X = Promedio de todos los goteros aforados.

Otra forma de calcular la uniformidad de distribución es a través de la fórmula del Coeficiente de Christiansen (CUC): (Leon, 2011 pág. 4)

$$CUC = \frac{\text{desviacion del promedio de la lamina prom. aplicada}}{\text{lamina promedio aplicada}} * 100$$

1.7 El agua en el suelo

El agua retenida en las capas de suelo no siempre se encuentra en cantidades aprovechables para la planta, es por ello que se recomienda regarlos para obtener buenos rendimientos.

Cuando el suelo se humedece por efecto de la lluvia o riego abundante, el agua llenara todos los espacios porosos creando una película gruesa alrededor de las partículas. Bajo estas condiciones se establece un estado de saturación y por ello el agua no está fuertemente retenida a las partículas del suelo. (León, 2012 pág. 28)

El contenido de humedad o cantidad de agua que tiene o retiene una muestra de suelo se puede expresar en términos de masa o peso, volumen o lámina de agua.

Capacidad de campo: Cuando se dan las condiciones adecuadas para que se efectúe un desagüe, comenzaran a vaciarse el agua contenida en los macroporos, pero los poros capilares continuaran llenos, este estado se denomina capacidad de campo. (León, 2012 pág. 28)

Marchitez permanente: este nivel de humedad se da cuando en el suelo el contenido de agua baja a tal punto que las hojas de la planta no se recuperan del estrés hídrico aun cuando se la coloque en un ambiente con humedad este punto se considera una constante del suelo y varia ligeramente con la capacidad de la planta para absorber agua. (León, 2012 pág. 29)

Agua disponible: la presión: el rango entre capacidad de campo (0.33 atm) y punto de marchitez (15 atm) se lo denomina agua aprovechable. (León, 2012 pág. 29)

1.8 Necesidades hídricas de un cultivo

Las plantas pierden agua a través de las estomas en forma de vapor de agua cuando estos abren sus estomas, este proceso es conocido como transpiración dejando a la planta en estado de demanda hídrica por consiguiente esta extrae el agua del suelo para satisfacer la demanda, esta cantidad de agua extraída por la planta del suelo y la evaporada de la misma por efecto de la energía solar, se denominan evapotranspiración del cultivo (ETc) la cual debe ser repuesta mediante el riego. (Linares, 2012 pág. 159)

1.8.1 Agua útil

Para el cálculo del agua útil se utiliza la siguiente formula: (León, 2012 pág. 49)

$$Au = (CC - PMP) * DA * Z$$

AU: Agua útil o lámina total de agua disponible en la zona radicular. (mm)

Z: profundidad de la zona radicular. (mm).

CC: contenido de humedad a capacidad de campo (m/m³).

PMP: contenido de humedad a punto de marchitez permanente (m³/m³)

Da: densidad aparente del suelo (gr/cm³).

1.8.2 Coeficiente del cultivo (K_c)

Según la (FAO, 2006 pág. 99) el factor K_c nos indica los cambios en la vegetación y el nivel de cobertura del suelo, las diferentes variaciones del K_c que experimenta el cultivo a lo largo del ciclo se expresan en la curva del coeficiente de cultivo (K_c).

Para crear la curva del coeficiente de cultivo se requiere de tres valores de K_c : inicial, intermedia y la etapa final. (FAO, 2006 pág. 109)

Los coeficiente de cultivo dependen de las características propias es por ello que son específicos para cada cultivo, estando influenciadas por el desarrollo del cultivo y sus etapas fenológicas y por tanto son valores a lo largo del tiempo, también varían con las características del suelo, de la humedad del mismo y del manejo agronómico del cultivo, los datos de K_c empiezan siendo pequeños a inicio de ciclo y a medida que crece el área foliar cubriendo la superficie del suelo este ira aumentando. (Fernández, 2010 pág. 15)

1.8.2.1 Cálculos De coeficiente de cultivo

El K_c lo determinamos mediante la fórmula de Hargreaves que es:

$$K_c = 0.01335 + 0.04099 * (\text{etapa del cultivo}) - 0.0004 * (\text{etapa de cultivo})^2$$

Para la aplicación de la formula se necesita determinar la duración en días de cada uno de las etapas fenológicas del cultivo. (León , J. & Trezza, R., 1998 pág. 13)

1.8.3 Evapotranspiración de referencia (E_{To})

La E_{To} depende de las condiciones del medio ambiente y se lo puede determinar por el método del tanque evaporímetro con la siguiente fórmula: (FAO, 2006 pág. 79)

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

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

K_p : coeficiente del tanque evaporímetro

Epan: evaporación del tanque evaporímetro (mm/día)

Tabla 4-1 : Coeficientes del tanque evaporímetro (K_p) para el tanque Clase A para varios valores de velocidad media de viento y de humedad relativa.

TANQUE CLASE A	Caso A: tanque situado en una superficie cultivada			Caso B: tanque situado en suelo desnudo				
	Baja < 40	Media 40 – 70	Alta > 70	Baja < 40	Media 40 – 70	Alta > 70		
HR media								
Velocidad viento (m/s)	Distancia del cultivo a barlovento (m)			Distancia del cultivo a barlovento (m)				
Baja <2	1	0,55	0,65	0,75	1	0,7	0,8	0,85
	10	0,65	0,75	0,85	10	0,6	0,7	0,8
	100	0,7	0,8	0,85	100	0,55	0,65	0,75
	1000	0,75	0,85	0,85	1000	0,5	0,6	0,7
Moderada 2 – 5	1	0,5	0,6	0,65	1	0,65	0,75	0,8
	10	0,6	0,7	0,75	10	0,55	0,65	0,7
	100	0,65	0,75	0,8	100	0,5	0,6	0,65
	1000	0,7	0,8	0,8	1000	0,45	0,55	0,6
Alta 5 – 8	1	0,45	0,5	0,6	1	0,6	0,65	0,7
	10	0,55	0,6	0,65	10	0,5	0,55	0,65
	100	0,6	0,65	0,7	100	0,45	0,5	0,6
	1000	0,65	0,7	0,75	1000	0,4	0,45	0,55
Muy alta >8	1	0,4	0,45	0,5	1	0,5	0,6	0,65
	10	0,45	0,55	0,6	10	0,45	0,5	0,55
	100	0,5	0,6	0,65	100	0,4	0,45	0,5
	<u>1000</u>	<u>0,55</u>	<u>0,6</u>	<u>0,65</u>	<u>1000</u>	<u>0,35</u>	<u>0,4</u>	<u>0,45</u>

Fuente: (FAO, 2006)

Elaborado por: Lema, C. 2020

La mayoría de cultivos anuales y frutales en sus etapas de mayor requerimiento hídrico presentan un consumo similar a la cantidad de agua evaporada de la bandeja de evaporación clase A de acuerdo a los estudios realizados, excluyendo al arroz que requiere de un 30 % más de agua para su producción. (Cisneros, 2003 pág. 55)

1.8.4 Evapotranspiración del cultivo (ETc)

El valor de ETc es calculado a través del coeficiente del cultivo, donde los efectos de las condiciones del tiempo atmosférico son incorporados en ETo y las características del cultivo son incorporadas en el coeficiente Kc como se muestra en la siguiente formula: (FAO, 2006 pág. 56)

$$ETc = Kc * ETo$$

1.8.5 Frecuencia de riego

Conocida como lámina de agua que el suelo puede retener y definió como umbral de riego según el tiempo de cultivo, se procede a calcular la frecuencia de riego máxima a través de la siguiente ecuación: (León, 2012 pág. 50)

$$FR_{max} = \frac{Ln}{ETc}$$

FR_{max}: frecuencia de riego máxima (días).

Ln: lámina neta (mm).

ETc: evaporación del cultivo (mm/día).

1.8.6 Lámina neta

Con el fin de considerar la cantidad de agua disponible para la planta, que puede ser fácilmente extraída por la planta se calcula la denominada lámina neta, a través de la siguiente expresión: (León, 2012 pág. 50)

$$Ln = umbral * Au$$

Au: agua útil disponible para las plantas en la zona radicular. (mm).

Umbral: umbral de riego (fracción)

Ln: Lámina neta. (mm)

1.8.7 Medición del estado hídrico de la planta

1.8.7.1 Conductancia estomática

Mediante el porómetro de hoja se mide la conductancia estomática de las hojas dada por la apertura de las estomas, esta es una respuesta que está relacionada con la variación de disponibilidad de agua en suelo, por lo que es usado como una forma indirecta de conocer el estado hídrico de una planta, los equipos usados para su medición son relativamente costosos, pero realizan mediciones de forma rápida. (Gurovich, 2017)

La conductividad estomática puede estimarse, aunque no es recomendable, existen pocas formas de medirla por ello es recomendado el usar el porómetro de hoja para su medición. (LabFerrer, 2020)

1.8.7.2 Potencial hídrico

Mediante la cámara de presión Scholander podemos medir el estado hídrico de la planta, define directamente el potencial del agua de la hoja, la presión creada por la cámara equivale a la tensión a la cual está el agua de la hoja en la planta. (MMMTECH, S F)

Las plantas se encuentran formadas por una red de conductos, al cortar una rama, tallo u hoja el agua queda retenida en dicha red con una presión, dicha presión puede ser medida por la cámara de Scholander, al agregar la muestra en el equipo se inyecta presión, la cual hace que el agua retenida en la hoja o tallo salga, en ese momento se registra la presión que marca el manómetro de la cámara de Scholander permitiéndonos conocer el estado hídrico de la planta. (CITRA, 2017)

1.8.8 Volumen de riego

El volumen de riego se calcula con la siguiente fórmula: (León, 2012 pág. 51)

$$VR = Lb * Area$$

VR: Volumen de riego

Lb: lámina bruta de riego

Área: cultivada (m²)

1.8.9 Huella hídrica

La huella hídrica determina la cantidad de agua necesaria o utilizada para la creación de un servicio o producto que son consumidos por la comunidad; calcula el consumo de agua, agua evaporada o contaminada del inicio hasta el final del proceso productivo. La huella hídrica es un indicador que mide el volumen total de agua dulce consumido por unidad específica en estudio, que puede ser un individuo, un cultivo, un área geográficamente definida, un país, entre otros. Se subdivide en tres componentes: el componente azul, que corresponde al consumo de agua proveniente de fuentes superficiales y acuíferos; el componente verde, que es el volumen total de agua consumida proveniente de las lluvias, y finalmente el componente gris, que se refiere a la cantidad de agua necesaria para diluir algún agente contaminante en el agua usada en el proceso de producción de un producto (Aclimatecolombia, 2014)

1.8.9.1 Factores generales que incrementan la huella hídrica

Los factores socio económicos de un país afectan en la huella hídrica ya que a mayor PIB mayor consumo por parte de la población. Como se es de esperar los países industrializados y aquellos que poseen un alto consumo de carne poseen una huella hídrica alta manifestando una relación con la huella hídrica. En cuanto a la agricultura los sistemas poco eficientes y la lenta adopción de nuevas tecnologías ha llevado a países pobres a tener una baja producción por metro cubico de agua, el clima también tiene su efecto, zonas de alta evaporación ven incrementados los niveles de agua requeridos. (Tolón, A. et al., 2013)

En la agricultura es importante la huella hídrica, nos permite conocer el impacto que tiene cada uno de los cultivos en cuanto a consumo y contaminación de agua para un pertinente monitoreo y mejora continua en el aprovechamiento del recurso. (Aclimatecolombia, 2014)

1.8.9.2 Estimaciones de huella hídrica

Una de las formas de estimar la huella hídrica es definir un área de estudio y los cultivos a evaluar se puede lograr mediante el programa CROWAT 8.0 para la estimación de los requerimientos hídricos de cada cultivo en estudio para la aplicación del riego (hh azul), además de la precipitación efectiva usada por el cultivo en su ciclo (hh verde) y finalmente para la estimación del componente gris esta depende de la tasa de aplicación de los productos químicos por hectárea, la parte lixiviada, el rendimiento, concentración máxima permisible y concentración natural de los contaminantes en el cuerpo de agua receptor. (Higuera, C. & Jaimés, O., 2019 págs. 46-49)

1.9 Cultivo de papa

1.9.1 Importancia

En los últimos 30 años América Latina ha experimentado un aumento en la producción por área en lugar de un incremento de superficie dedicada al cultivo de papa. El crecimiento de la producción regional durante este período fue aproximadamente, del 2% (INIAP, 2002 pág. 24).

En Ecuador, alrededor de 42 000 familias están dedicadas a la producción de papa, estos números son similar al de familias que cultivan maíz suave. Existen 66 000 hectáreas que están dedicadas al cultivo de papa con una producción de 480 000 toneladas y con un rendimiento de 7,7 ton/ha, en otros estudios muestran rendimientos de 14 ton/ha, con 60 millones de dólares al año de valor total bruto por lo cual es una importante fuente de ingreso para las poblaciones rurales y un componente fundamental de la economía del país. (INIAP, 2002 pág. 24)

El consumo de papa per cápita se divide de la siguiente manera: 122 kg en Quito, 80 kg en Cuenca y 50 kg en Guayaquil siendo el alimento principal para las zonas de altura. Los restaurantes de Quito y Guayaquil consume aproximadamente 16. 294 t/año, esto de forma frita. El 90% de la papa a nivel nacional se consume en estado fresco. En la industria también tienen relevancia al ser materia prima de muchos productos, esto acompañado del crecimiento del consumo en comida rápida representando el 10 % de la producción del país. (INIAP, 2002 pág. 24)

1.9.2 Clasificación botánica

REINO: Plantae

DIVISIÓN: Magnoliophyta

CLASE: Magnoliopsida

ORDEN: Solanales

FAMILIA: Solanaceae

GÉNERO: Solanum L., 1753

ESPECIE: tuberosum L., 1753 (CANABIO, 2008 pág. 1)

1.9.3 Etapas fenológicas

La fenología es el estudio de las etapas de los seres vivos y su relación con los factores climáticos. Existen etapas en los cultivos donde estos presentan mayor sensibilidad a determinados factores, por ello los cambios en las condiciones climáticas repercuten en el desarrollo y rendimiento, esto será variante dependiendo del cultivo, tales factores deben estar dentro de los límites de utilidad, siendo los excesos como las carencias circunstancias que afecten de forma negativa, como en el caso de la temperatura. La fenología de los cultivos toma gran importancia cuando se relaciona con el momento del riego, ya que la sensibilidad al estrés hídrico varía con la etapa fenológica del cultivo. (Flores, 2014)

Etapa inicial. Es un período después de siembra o trasplante, en que las plantas crecen lentamente, cubriendo hasta un 10 % de la superficie. Para cultivos anuales, la ET en esta etapa corresponde exclusivamente a la evaporación directa del suelo, por lo que el valor del Kc está determinado por la frecuencia de riego o lluvia. (León, 2012 pág. 17)

Etapa de Desarrollo: desde el 10 % de cobertura y durante el crecimiento activo de la planta, hasta la emisión de la primera flor. (León, 2012 pág. 17)

Etapa media: entre floración y fructificación, correspondiente en la mayoría de los casos al 70-80 % de cobertura máxima de cada cultivo. (León, 2012 pág. 17)

Etapa Final: etapa que comprende entre la maduración y la senescencia. (León, 2012 pág. 18)

Tabla 5-1: Información correspondiente al cultivo de papa.

Etapa	Inicial	Desarrollo	Intermedia	Final
Longitud (días)	45	30	70	20
Tempo desde día de siembra	45	75	145	165
Kc	0,49		1,18	0,76

Fuente: (León, 2012)

Elaborado por: Lema, C. 2020

1.9.4 Manejo

1.9.4.1 Siembra y preparación de suelo

El suelo debe estar bien fragmentado facilitando el aireado para favorecer la emergencia y desarrollo radicular, con un arado a más de 25 cm de profundidad mediante el arado y la rastra, también se recomienda añadir materia orgánica al suelo esto, mejora las condiciones físicas del suelo y por tanto el correcto desarrollo de los tubérculos. (Morales, 2015)

La distancia de siembra de los tubérculos va de 90 cm a 1,30 m entre surcos y con una distancia de 30 a 50 cm entre tubérculo, esto se debe cubrir con una altura de tierra de 5 a 10 cm, esto dependerá de la humedad del suelo. La cantidad de semilla es de 25 a 30 qq/Ha y la época de siembra pueden ser en octubre a diciembre y abril a junio. (Morales, 2015)

1.9.4.2 Fertilización

La papa extrae del suelo cantidades de N (80 a 120 kg/ha) y K (100-180 kg/ha, La papa requiere N, P, K y Ca. Para corregir deficiencia de micronutrientes: abonos foliares de preferencia quelatados al inicio floración. Otra alternativa es aplicar 5 t/ha de abono orgánico y fertilizantes químicos en menor cantidad de la recomendada. (Morales, 2015 pág. 116)

1.9.4.3 Rascadillo

Es la primera labor realizada en la papa que tiene como objetivo la remoción del suelo para mejorar la aireación y facilitar el desarrollo radicular y la eliminación de malezas que compiten con el cultivo, esta labor se la realiza después de 30 o 35 días después de la siembra cuando la planta tiene de 10 a 15 cm de altura. (INIAP, 2002 pág. 81)

1.9.4.4 Medio aporque y aporque

Se coloca la tierra de los laterales en la parte inferior y alrededor de la planta para facilitar el desarrollo de los estolones, se lo realiza dos veces en variedades de ciclo largo y una vez en las de ciclo corto, esta actividad generalmente se lo realiza a los 50 o 60 días en el medio aporque y en el aporque de 70 a 80 días (INIAP, 2002 pág. 81).

1.9.4.5 Cosecha

En Ecuador normalmente los agricultores esperan hasta que las hojas de las papas estén amarillas y con los tallos inclinados hacia el suelo o hasta cuando la cascara del tubérculo es lo suficientemente resistente como para no pelarse con solo frotar el dedo. A pesar de ello se recomienda tener en cuenta las preferencias del mercado local o de destino ya sea en su tamaño como en su apariencia final. (INIAP, 2002 pág. 82)

1.9.5 Clasificación del tubérculo.

Según (INIAP, 2002 pág. 82) los tubérculos no deben estar expuestos demasiado tiempo al ambiente para protegerlos de cualquier ataque de plagas, del ambiente y de las enfermedades, por ello la clasificación y empaquetado debe ser realizado sin demora realizándolo según los siguientes criterios:

Tabla 6-1: Clasificación de los tubérculos según el peso.

Clases	Peso (g)
Primera o gruesa	>121
Segunda o rojoja	71 a 120
Tercera o rojojilla	51 a 70
Cuarta o fina	< 50

Fuente: INIAP 2002

Elaborado Por: Lema, C. 2020.

1.9.6 Requerimientos edafoclimáticos

Altitud: 2600 – 3000 msnm.

Temperatura: La temperatura óptima para la producción de papas es aproximadamente entre 20 - 25 °C durante el día y alrededor de 10-12 °C por la noche. Con temperaturas nocturnas más bajas respecto a las diurnas (INIA, 2013 pág. 16).

Suelo: Francos, bien drenados, profundos (30-35 cm), con buen contenido de materia orgánica.

pH: El cultivo tiene un adecuado desarrollo en un rango de pH de 5.0 a 7.0 (INTAGRI, 2017).

1.9.7 Requerimiento hídrico

La papa es un cultivo sensible al estrés hídrico, sobre todo en sus periodos críticos que son entre el inicio de la estolonización y tuberización , esto afecta directamente al rendimiento, un periodo menos critico es su fase inicial y en su fase de senescencia, esto se hace evidente por la estrecha relación con el agua en la planta y sus procesos fisiológicos reconociéndose 4 estados fenológicos, inicial, desarrollo o vegetativo, formación de tubérculos o tuberización y la maduración o senescencia. (INIA, 2017 pág. 77)

Las necesidades hídricas van a variar de los 600 a los 1000 mm por ciclo, esto dependerá de las condiciones de ambientales propias de la zona, del suelo y de la variedad.

Las mayor demanda de agua se ubican en las etapas de estolonización y tuberización por ello es aconsejable la aplicación de algunos riegos extra en los periodos críticos del cultivo. (INTAGRI, 2017)

CAPITULO II

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Características del sitio de estudio

2.1.1 Localización

La investigación se llevó a cabo en la Estación Experimental Tunshi. Parroquia Licto. Cantón Riobamba. Provincia de Chimborazo perteneciente a la ESPOCH.

2.1.2 Ubicación geográfica

Altitud: 2. 750. m.s.n.m.

Latitud: 1° 65' S

Longitud: 79° 40' O (GOOGLE HEARTH, 2018)

2.1.3 Clasificación ecológica

Según (Holdrige, 1992) la localidad se encuentra clasificada como estepa espinosa Montano Bajo (EEMB)

2.1.4 Características del suelo

Según el análisis de suelo realizado en las condiciones edáficas de la estación experimental Tunshi son: (INIAP, 2019)

Textura: Franco limoso

pH: 7.5

Nivel de materia orgánica: bajo

Conductividad eléctrica: no salino

Características generales de la zona según (Espin, 2011):

Estructura: Suelta

Drenaje: Regular

Permeabilidad: Bueno

2.1.5 Características meteorológicas

Según (Espin, 2011):

Temperatura: 13,10 °C

Precipitación: 558.6 mm/año

Humedad relativa: 71%

2.2 Materiales y equipos

2.2.1 Material vegetativo

Tubérculos de papa (*Solanum tuberosum*. L). variedad fripapa.

2.2.2 Material y equipos de campo

Materiales: rótulos, piolas, fundas plásticas, sacos, estacas, recipientes metálicos

Herramientas: azadones, baldes, palas, calibrador, rastrillo, flexómetro, cinta métrica, regla

Equipos: tractor, bloques de yeso, cámara fotográfica. estación meteorológica, porómetro de hoja SC-1, cámara de Scholander PMS.

2.2.3 Material y equipos de laboratorio

Materiales: fundas de aluminio, fundas plásticas, agua destilada, recipientes plásticos,

Equipos: estufa, balanza analítica, balanza digital.

2.2.4 *Materiales de oficina*

Calculadora, computadora, impresora, cuaderno de campo.

2.3 Metodología

2.3.1 *Diseño experimental*

Se utilizará un Diseño de bloques Completos al azar con 3 tratamientos (riego por gravedad, goteo y aspersión) y 3 repeticiones.

Tabla 1-2: Estructura experimental del ensayo.

MÉTODO DE RIEGO (TRATAMIENTO)	CÓDIGO	REPETICIONES
Gravedad	T1	3
Goteo	T2	3
Aspersión	T3	3

Elaboración: Lema, C. 2020

2.3.2 *Análisis funcional.*

Prueba de TUKEY al 5% cuando exista diferencia significativa entre los tratamientos.

2.3.3 *Esquema de análisis varianza*

Tabla 2-2: Análisis de varianza

F de V	FORMULA	GL
Bloques	$r - 1$	2
Tratamientos	$a - 1$	2
Error	$(a-1)(r-1)$	4
Total	$a(n-1)$	8

Elaborado por: Lema, C.2020

2.3.4 Especificaciones del campo experimental

Tabla 3-2: Características del campo experimental.

DESCRIPCIÓN	UNIDAD
Forma de la parcela	Rectangular
Área total cultivada	3465 m ²
Numero de tratamientos	3
Numero de repeticiones	3
Largo de la parcela	120 m
Ancho de la parcela	35 m
Área por tratamiento	1155 m ²
Área de las repeticiones	385 m ²
Área de parcela neta	96 m ²
Número de unidades experimentales	9
Número de plantas a evaluar por repetición	10
Número de plantas a evaluar por tratamiento	30
Número de plantas a evaluar en el ensayo	90
Distancia de siembra entre surcos	1 m
Distancia de siembra entre planta	0,3 m
Número total de plantas	14 000 plantas

Elaborado por: Lema, C. 2020.

2.4 Parámetros hídricos

2.4.1 *Velocidad de infiltración*

Se llevó a cabo la prueba de infiltración usando la metodología de doble anillo. Se deben introducir el doble anillo en el suelo a una profundidad de 10 cm y este debe permanecer a nivel y ambos anillos tanto el exterior como interior deben ser llenados con agua; posteriormente se toman lecturas del descenso del agua en el anillo interior, cuando la tasa de infiltración es constante se debe finalizar la prueba. (Coello, 2005 pág. 12)

2.4.2 *Densidad aparente*

Se empleó el método del cubo el cual consiste en obtener una muestra de suelo realizando un hoyo de 20 cm x 20cm y 30 cm de profundidad se procede a cubrir el fondo y paredes del agujero con plástico de forma que al agregar el agua este no se infiltre; se midió el volumen de agua que ocupó el agujero, luego la tierra extraída del agujero es pesada en su totalidad, de esta se extrajo una muestra representativa para secarla en el horno a 105 °C por 24 horas y mediante una relación se obtiene el peso seco total. Posteriormente se usa la siguiente fórmula para calcular la densidad aparente. (García, M. et al., 2012 págs. 5-8)

$$Da = \frac{\text{peso seco total (g)}}{\text{volumen no perturbado (cm}^3\text{)}}$$

2.4.3 *Capacidad de campo y punto de marchitez permanente.*

Se delimitó la zona de prueba 1 m x 1 m, se construye un borde de tierra de 10 cm de altura, en el interior del cuadrado se agregó agua procurando para saturarla, si el suelo está muy seco se puede llegar a necesitar 140 L de agua para saturar el suelo; después de ello se cubre toda la zona con plástico para evitar la evaporación, se debe esperar de 48 a 72 horas para retirar el plástico y tomar muestras con un barreno, se debe pesarlas, luego secarlas a 105 °C y pesarlas nuevamente, se lo realizó de manera continua hasta que el peso no presente variación. (García, M. et al., 2012 págs. 1-4)

Para el calcular el contenido de humedad a capacidad de campo se usa la siguiente formula: (García, M. et al., 2012 pág. 4)

$$HP\%CC = \frac{\text{peso fresco} - \text{peso suelo seco}}{\text{peso suelo seco}} \times 100$$

Para el cálculo de punto de marchitez permanente se usa la fórmula de Silva citado por (García, M. et al., 2012 pág. 5).

$$H\%PMP = H\%CC * 0.74 - 5$$

Dónde:

H%PMP = Porcentaje de Humedad en punto de marchitez permanente.

H%CC = Porcentaje de Humedad en Capacidad de Campo.

0,74 y 5 = Constantes establecidas por el modelo matemático dado por Silva.

2.4.4 Agua disponible

La cantidad máxima de agua que puede aprovechar un cultivo es la diferencia entre el contenido de agua a capacidad de campo y el punto de marchitez permanente. (García, M. et al., 2012 pág. 9)

2.5 Parámetros a evaluar

2.5.1 Eficiencia de riego por gravedad.

Para la evaluación del riego por gravedad se lo realizó en base a la uniformidad de distribución, determinada mediante la fórmula de uniformidad o coeficiente de Christiansens, además de requerir datos de infiltración a lo largo del surco.

La fórmula para la uniformidad de distribución: (Leon, 2011)

$$UD = \frac{\text{Lámina promedio infiltrada en el cuarto inferior}}{\text{Lámina promedio infiltrada}} * 100$$

$$CUC = \left(1 - \frac{\text{Desviación promedio de la lámina Prom. Aplicada}}{\text{Lámina aplicada}}\right) * 100$$

Para determinar la lámina aplicada se calcula en base a la ecuación de infiltración acumulada que surge de la integración de la ecuación de la velocidad de infiltración, cabe mencionar que las constantes (9.4 y 0.5) se obtuvieron en campo por regresión lineal simple, la cual al integrar la ecuación de velocidad de infiltración se expresa de la siguiente forma: (FAO, 2006 pág. 3)

$$\text{lam. aplicada} = 9.4t^{0.5}$$

T: tiempo efectivo (min)

Proceso: Se colocan estacas a una separación de 5 metros a lo largo del surco para determinar el tiempo de llegada del agua y el tiempo en que este desaparece, con el tiempo efectivo podemos calcular la lámina infiltrada en las secciones del surco y poder encontrar las desviaciones con respecto a las láminas infiltradas en dichas secciones, para así aplicar la fórmula anteriormente mencionadas.

Se debe resaltar que el tiempo efectivo es aquel que va desde que el agua llega a la estaca hasta cuando este desaparece.

2.5.2 Eficiencia de riego por goteo

El método de goteo se fundamenta en la ecuación de uniformidad y de coeficiente de Christiansen que parten de los conceptos de distribución de agua de manera uniforme a lo largo del terreno.

Se delimita un área significativa para tal propósito donde se colocan vasos en cada gotero del cual se mide la cantidad de agua obtenida en un periodo de tiempo dado y con ello se distinguen las diferencias entre los caudales obtenidos en cada uno de los vasos para determinar la uniformidad con la que el agua es dotada al área del cultivo.

Se usan las siguientes formulas: (Leon, 2011)

$$UD = \frac{\text{Lámina promedio infiltrada en el cuarto inferior}}{\text{Lámina promedio infiltrada}} * 100$$

$$CUC = 1 - \frac{\text{Desviación promedio de la lámina Prom. Aplicada}}{\text{Lámina aplicada}} * 100$$

2.5.3 Eficiencia de riego por Aspersión

El método para la determinación de la eficiencia del riego por aspersión es similar al de goteo, se delimitó un área representativa del terreno para la evaluación, se colocaron vasos separados a una distancia de un metro entre sí, con el sistema en funcionamiento y un tiempo dado, se midió la cantidad de agua en los vasos, se determina el caudal de cada uno de ellos y se determinó mediante las fórmulas de uniformidad y de coeficiente de Christiansen la distribución de agua en el área del cultivo.

Se usaron las siguientes fórmulas: (Leon, 2011)

$$UD = \frac{\text{Lámina promedio infiltrada en el cuarto inferior}}{\text{Lámina promedio infiltrada}} * 100$$

$$CUC = 1 - \frac{\text{Desviación promedio de la lámina Prom. Aplicada}}{\text{Lámina aplicada}} * 100$$

2.5.4 Parámetros biométricos

2.5.4.1 Etapas fenológicas (días)

Se determinó las etapas fenológicas en días en cada tratamiento, para ello se basó en las características propias de cada etapa. Para determinar el inicio y final de cada etapa en campo se usó la metodología propuesta por (Gutierrez, J. et al., 1979) para el cultivo de papa.

Inicial o emergencia: Desde la fecha de siembra hasta cuando el cultivo de estudio alcanza el 50 % de emergencia.

Desarrollo: Desde el 50 % de emergencia hasta el 50 % de plantas con flor.

Intermedia: Desde el 50% de floración hasta el 50 % de plantas maduras, considerándose plantas maduras al cambio de color de verde a amarillo verdoso.

Final: Desde el 50 % de plantas maduras hasta la cosecha.

2.5.4.2 Altura de la planta

Se midió la altura desde el cuello hasta el ápice del tallo de 10 plantas tomadas al azar de la parcela neta de cada repetición, cada 15 días; 30 plantas por tratamiento, en donde cada planta evaluada fue marcada con un rotulo numerado.

2.5.4.3 Diámetro del tallo

Se midió el diámetro de los tallos con la ayuda del calibrador, la medición se lo realizó en la base del tallo siempre en el mismo lugar y en la misma dirección para evitar variaciones en las mediciones, se lo realizará a 10 plantas tomadas al azar de la parcela neta de cada repetición cada 15 días.

2.5.4.4 Número de tallos

Se contabilizó el número de tallos de 10 plantas tomadas al azar de la parcela neta de cada repetición, esto se lo realizó cada 15 días.

2.5.4.5 Número de hojas

El número de hojas se los contabilizó de 10 plantas tomadas al azar de la parcela neta de cada repetición, se los realizó cada 15 días.

2.5.5 Contenido relativo de agua (CRA)

Se determinó el contenido relativo de agua. (CRA) a lo largo de la etapa intermedio y senescencia para su evaluación se tomó una hoja al azar en la parte media de la planta y se determinó el peso

fresco, posteriormente se introdujo la muestra en agua destilada por 24 horas para pesar y obtener el peso turgente, a continuación, se somete la muestra al horno a una temperatura de 65 °C por 48 horas o hasta alcanzar un peso constante, al finalizar obtenemos el peso seco.

Con los datos obtenidos se procede a hacer uso de la siguiente formula: (Villalobos, E. et al., 1990 pág. 2)

$$CRA = \frac{(PF - PS)}{(PT - PS)} \times 100$$

PF: peso fresco (g)

PS: peso seco (g)

PT: peso turgente (g)

2.5.6 Conductancia estomática

Con el porómetro de hoja se midió la conductancia estomática, al seleccionar una hoja de la planta in situ de cada repetición, se midió después de haber aplicado el riego.

Tabla 4-2: Referencia general para interpretación de niveles de conductancia estomática.

Valores de conductancia estomática (mmol/m ² s)	Interpretación de resultados
300 - 500	Traspiración excesiva (disminuir riego)
200 - 300	Rango promedio (normal)
150 - 200	Estrés hídrico leve
100 - 150	Estrés hídrico moderado
50 - 100	Estrés hídrico
0 - 50	Estrés hídrico severo

Fuente: (Calderón, 2013)

Elaborado por: Lema, C. 2020.

2.5.7 *Potencial hídrico*

Con la cámara de Scholander se midió el estado hídrico de la planta, se tomaron muestras de hoja de cada repetición después de efectuar el riego.

Tabla 5-2 : Interpretación de las presiones en la cámara de Scholander PMS.

RANGO DE PRESIÓN (BARES)	INTERPRETACIÓN
7 – 9	Libre de estrés
10 - 13	Estrés ligero
>14	Estrés severo

Fuente: (Oregon State University Extension Service, 2018)

Elaborado por: Lema, C. 2020

2.5.8 *Materia seca del tubérculo*

Para la determinación de la materia seca se usaron muestras picadas de 5 tubérculos (total 500 g aproximadamente) en cubos pequeños de 1 o 2 cm, mezclar bien y tomar sub muestras de 200 g cada una que correspondan a todas la partes de los tubérculos, y registrar los datos como peso fresco de la muestra; colocamos la muestra en una bolsa de papel o un recipiente abierto y ponemos en una estufa a 80°C por 72 horas controlando el peso de las muestras a intervalos regulares hasta que tengan peso constante y se registra. (De la Rosa, B. et al, 2002 pág. 4)

Se aplicó la siguiente fórmula para conocer el porcentaje de materia seca: (Bonierbale, M. et al., 2007 pág. 25)

$$\% \text{ Materia seca} = \frac{\text{Peso materia seca}}{\text{Peso materia humeda}} * 100$$

2.5.9 *Volumen de riego*

El volumen de riego se determinó en base a la lámina bruta diaria, considerando la eficiencia de aplicación, como se muestra en las fórmulas, para el volumen de riego y superficie de cada tratamiento manteniendo al suelo en un nivel de humedad de capacidad de campo. Para obtener

el volumen total usado durante el ciclo productivo se sumó los riegos dados desde la siembra hasta la cosecha.

2.5.10 Huella Hídrica

Para la determinación de la huella hídrica verde se requirió de la cantidad de incorporada por parte de la precipitación efectiva obtenida de la estación meteorológica durante el ciclo de cultivo; para la huella hídrica azul se requirió la cantidad de agua usada en el riego a lo largo del ciclo productivo en cada tratamiento.

Se uso las siguientes fórmulas para encontrar la huella hídrica del cultivo: (Higuera, C. & Jaimes, O., 2019 págs. 46-49)

$$HHVERDE = \frac{\text{vol. precipitacion efectiva (L)}}{\text{rendimiento (kg)}}$$

$$HH AZUL = \frac{\text{vol. requerimeinto de riego(L)}}{\text{rendimiento (kg)}}$$

$$HH TOTAL = HH VERDE + HH AZUL$$

2.5.11 Rendimiento por categoría

En la etapa final del cultivo, en el proceso de cosecha, la parcela neta se clasificó los tubérculos de 10 plantas previamente etiquetadas distinguiendo 3 categorías, además se registró los rendimientos en peso de la parcela neta que consta de una superficie de 96 m².

Tabla 6-2: Clasificación por peso del tubérculo.

CLASES	PESO (g)
Primera o gruesa	>121
Segunda o redroja	71 a 120
Tercera o redrojilla	<70

Fuente: (FAO, 2006)

Elaborado por: Lema, C. 2020

2.5.12 Relación costo/ beneficio

Se realizó la relación costo - beneficio mediante la sumatoria de los gastos totales incurridos en la producción de cada tratamiento y la sumatoria de los ingresos totales por tratamiento, se dividió el ingreso total para el gasto total.

2.6 Manejo del ensayo

2.6.1 Delimitación de parcelas

Se delimitó las parcelas con piolas según la distribución de los tratamientos, al igual que se determinó la parcela neta; se seleccionó 10 plantas al azar de la parcela neta como individuos de estudio para las mediciones pertinentes.

2.6.2 Siembra y preparación de suelo

Se realizó la siembra de la papa variedad Fripapa a una distancia de 1 m x 0,30 m, el suelo se lo preparó mediante el tractor usando el arado para remover el suelo y la rastra para el surcado, el total de semilla usado fue de 15 quintales.

2.6.3 Control de maleza

Se realizó el rascadillo a los 29 días desde la siembra de manera manual.

2.6.4 Medio aporque y aporque

Se realizó el medio aporque a los 55 días y aporque a los 82 después de la siembra.

2.6.5 Fertilización

Se realizó una fertilización uniforme a todos los tratamientos con aporca papa, además se lo complemento con una fertilización foliar en base a nitrógeno en la etapa inicial, en la etapa desarrollo e intermedia en base a potasio nitrógeno y fosforo. En relación a los quintales de semilla y fertilizante fue de 3x1.

2.6.6 Control de enfermedades

Se realizó los respectivos controles para el tizón tardío (*Phytophthora infestans*) con ingrediente activos: metalaxil, mancozeb, Dimetomorph y fosetil de aluminio en dosis recomendadas, acompañado de un oportuno horario de riego dependiendo del método.

Para el control de *Epitrix spp* se usó cipermetrin y clorpirifos en dosis recomendadas.

Tabla 7-2: Productos usados para el control de plagas y enfermedades.

PROBLEMA	ETAPA	INGREDIENTE ACTIVO	PRODUCTO COMERCIAL	DOSIS
<i>Phytophthora infestans</i>	Desarrollo e intermedia	Metalaxil -mancozeb	Ridomil gold	2.5 g/l
		Dimetomorph -mancozeb	Patron	4 g/l
		Fosetil de aluminio	Fosetyl aluminio	2 g/l
<i>Epitrix spp</i>	Inicial, desarrollo e intermedia	Cipermetrin-Clorpirifos	Bala 55	0.75 ml/l
		acefato	Acefate	1 g/l

Elaborado por: Lema, C. 2020

2.7 Aplicación de riegos en los ensayos

Para determinar el volumen y las láminas a aplicar se ajustó el coeficiente de cultivo (Kc) y se determinó la evapotranspiración con el método del tanque de evaporación clase A, las fórmulas usadas se expresan en la siguiente tabla.

Tabla 8-2: Fórmulas para cálculos de riego.

PARÁMETRO	ECUACIÓN	DESCRIPCIÓN
Agua útil	$AU = (CC - PMP) * DA * Z$	<p>AU: Agua útil o lámina total de agua disponible en la zona radicular. (mm)</p> <p>Z: profundidad de la zona radicular. (mm).</p> <p>CC: contenido de humedad a capacidad de campo (m/m³).</p> <p>PMP: contenido de humedad a punto de marchitez permanente (m³/m³)</p> <p>Da: densidad aparente del suelo (gr/cm³).</p>
Lámina neta	$Ln = umbral * Au$	<p>Au: agua útil disponible para las plantas en la zona radicular. (mm).</p> <p>Umbral: umbral de riego (fracción)</p> <p>Ln: Lámina neta. (mm)</p>
Evapotranspiración de referencia	$ET_o = K_p * evap$	<p>Kp: coeficiente del tanque evaporímetro clase A</p> <p>Evap: evaporación del tanque clase A (mm/día)</p>
Evapotranspiración de cultivo	$ET_c = ET_o * K_c$	<p>ETc: evapotranspiración de cultivo (mm/día)</p> <p>ETo: evapotranspiración de referencia (mm/día)</p> <p>Kc: coeficiente de cultivo</p>
Frecuencia de riego	$FR_{max} = \frac{Ln}{ET_c}$	<p>FR_{mzx}: frecuencia de riego máxima (días).</p> <p>Ln: lámina neta (mm).</p>

		ETc: evaporación del cultivo (mm/día).
Lámina bruta	$Lb = \frac{ETc * FR}{Ef}$	Lb: lámina bruta. ETc: evaporación del cultivo (mm/día) FR: frecuencia d riego (días). Ef: eficiencia de aplicación del agua (fracción).
Volumen de riego	$VR = Lb * Area$	VR: Volumen de riego Lb: lámina bruta de riego Área cultivada (m ²)

Fuente: (León, 2012)

Elaboración: Lema, C. 2020.

2.8 Recopilación de información de la estación meteorológica

Se recopiló información sobre la precipitación, evaporación, humedad relativa y velocidad del viento, datos obtenidos de la estación agrometeorológica automatizada de la Estación Experimental Tunshi la cual facilita datos de los diferentes parámetros meteorológicos.

La estación meteorológica cuenta con el tanque clase A para mediciones de evaporación, de la cual se obtuvo datos registrados de forma diaria a la misma hora.

2.9 Instalación de bloques de yeso

Se instalaron bloques de yeso a 30 cm de profundidad junto a una planta al azar en la parcela neta en cada unidad experimental para determinar el contenido de humedad del suelo. Las lecturas de humedad se lo realizaron de forma semanal.

CAPITULO III

3. RESULTADOS

3.1 Condiciones climáticas

3.1.1 Temperatura y humedad relativa

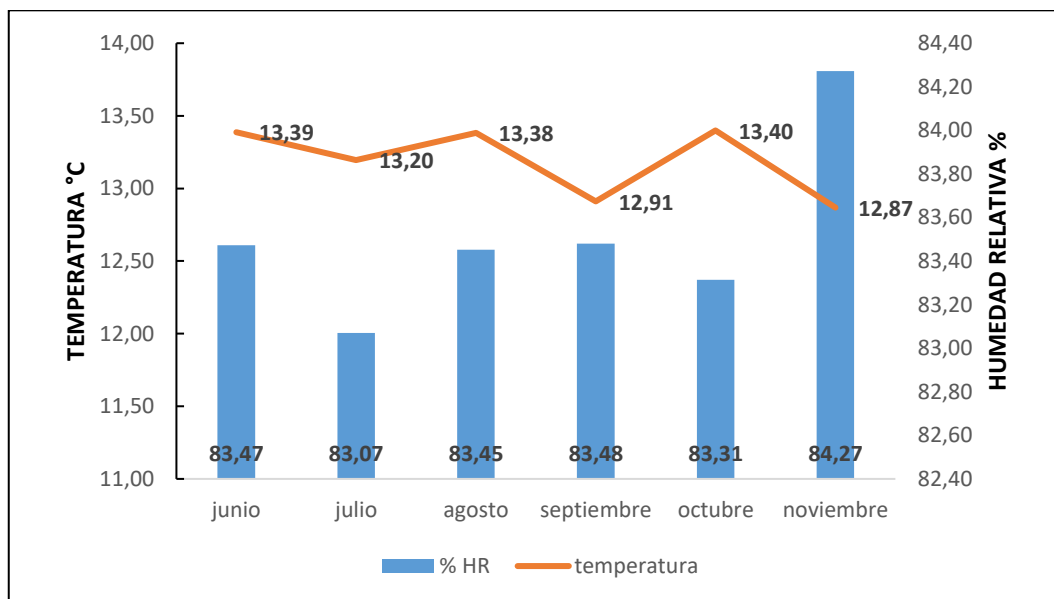


Gráfico 1-3: Registro de humedad relativa y temperatura mensuales.

Elaborado por: Lema, C. 2020

En el **Gráfico 1-3** se observan las variables meteorológicas de temperatura y humedad relativa obtenidas de la estación meteorológica de la Estación Experimental Tunshi, se obtuvieron datos promedios por mes donde se experimentó un incremento significativo de ambas variables en el mes de noviembre.

3.1.2 Precipitación efectiva y velocidad del viento.

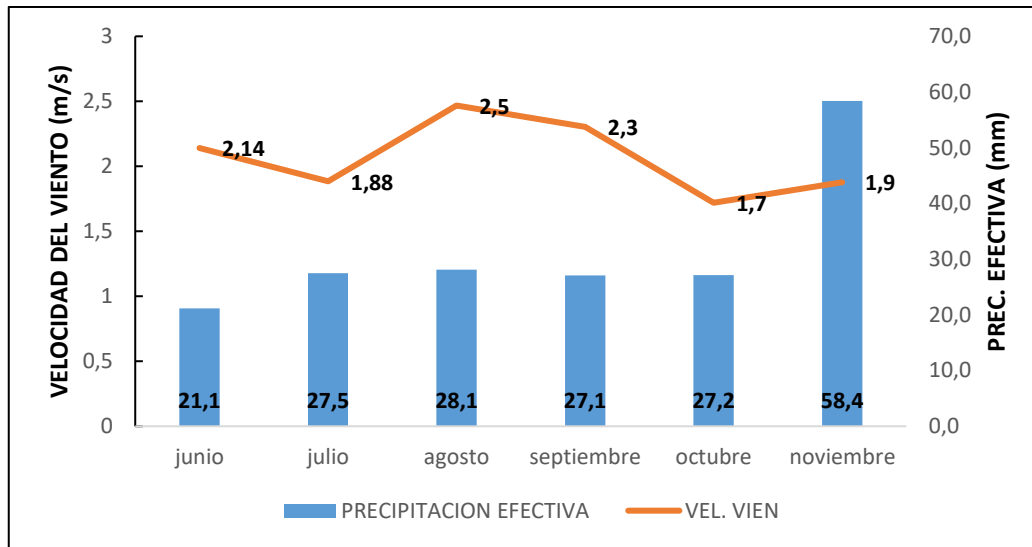


Gráfico 2-3: Registro de velocidad del viento y precipitación efectiva mensuales.

Elaborado por: Lema, C. 2020

En el **Gráfico 2-3** se observan las variables meteorológicas de velocidad del viento y precipitación efectiva por mes; junio, julio, agosto, septiembre y octubre fueron meses de baja precipitación, en noviembre se experimentó mayor frecuencia e intensidad en sus precipitaciones según los datos obtenidos por la estación meteorológica de la Estación Experimental Tunshi.

3.2 Parámetros hídricos

En la **Tabla 1-3** podemos observar los parámetros hídricos del suelo donde se realizó el ensayo, el punto de marchitez permanente y agua aprovechable se calcularon en base al valor de capacidad de campo. Los valores para cada parámetro son típicos de un suelo de textura media, específicamente franco limoso (**Ver anexo c**), contrastando con lo mencionado por (Cisneros, 2003 págs. 21-42), los suelos de textura media poseen densidades de 1,3 a 1,4 gr/cm³ llegando a capacidad de campo a niveles de humedad de 11 % a 22% en suelos del tipo franco o migajón con velocidades de infiltración de 17 a 25 mm/hr.

Tabla 1-3: Parametros hídricos del suelo.

PARAMETRO	VALOR	UNIDADES
Densidad aparente	1.4	gr/cm ³
Capacidad de campo	16.35	%
Punto de marchitez permanente	7.11	%
Agua aprovechable	9.24	%
Velocidad de infiltración	23	mm/h

Elaborado por: Lema, C. 2020

3.3 Coeficiente de cultivo (Kc)

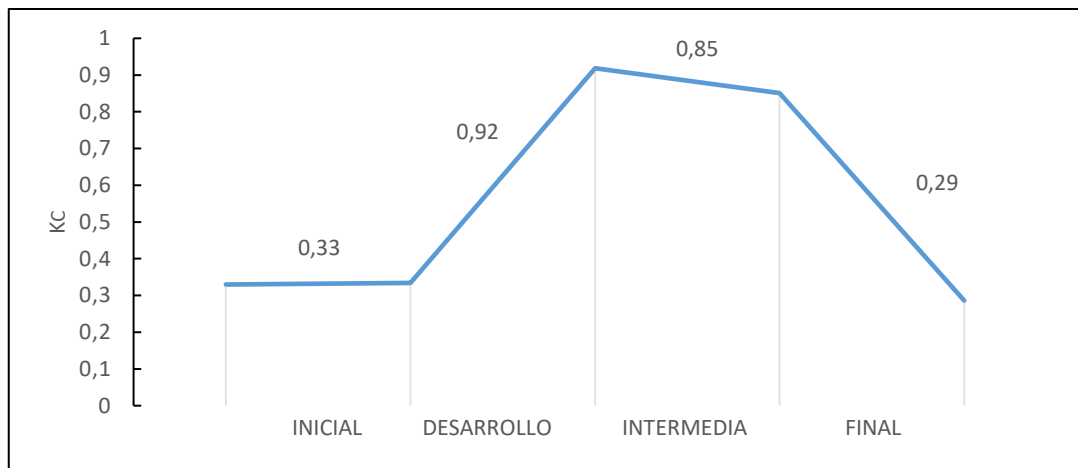


Gráfico 3-3: Coeficiente de cultivo (Kc) por etapa fenológica del tratamiento gravedad.

Elaborado por: Lema, C. 2020

En el **Gráfico 3-3** se observa el coeficiente del cultivo de la papa por etapa fenológica, el Kc inicial de 0,33 para el Kc desarrollo 0,92; Kc intermedio 0,85 y para el Kc final 0,29.

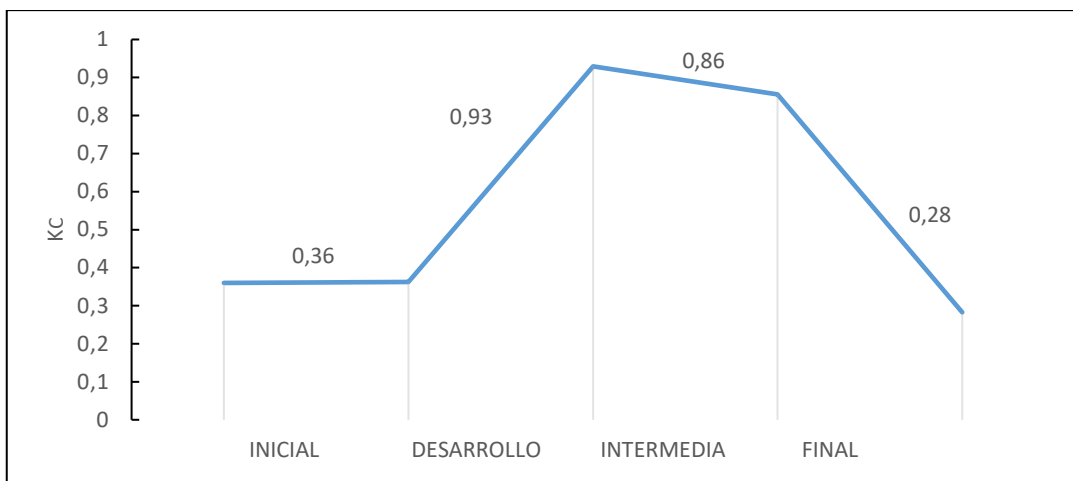


Gráfico 4-3: Coeficiente de cultivo (Kc) por etapa fenológica para tratamiento goteo.

Elaborado por: Lema, C. 2020

En el **gráfico 4-3** se observa el coeficiente del cultivo de la papa por etapa fenológica, el Kc inicial de 0,36 para el Kc desarrollo 0,93; Kc intermedio 0,86 y para el Kc final 0,28.

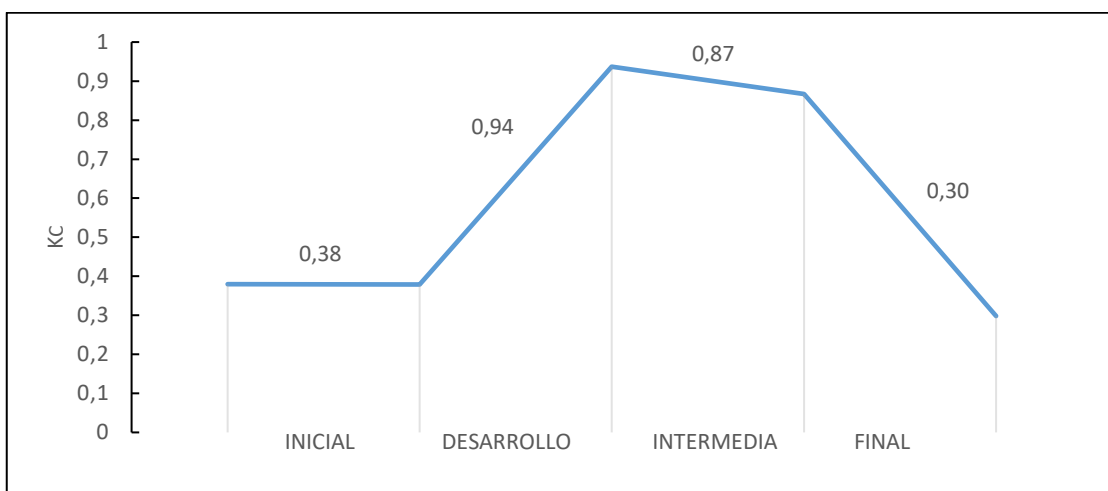


Gráfico 5-3: Coeficiente de cultivo (Kc) por etapa fenológica para el tratamiento aspersion.

Elaborado por: Lema, C. 2020

En el **Gráfico 5-3** se observa el coeficiente del cultivo de la papa por etapa fenológica; Kc inicial de 0,38 para el Kc desarrollo 0,94; Kc intermedio 0,87 y para el Kc final 0,3.

De acuerdo a las **Gráficas 3-3, 4-3 y 5-3** el coeficiente de cultivo en los tres tratamientos presentan un comportamiento similar, mismas que se correlacionan con lo mencionado por la (FAO, 2006), la variación en los valores del Kc está dada por las características propias de cada cultivo y en una proporción menor a las condiciones climáticas de la zona.

3.4 Humedad del suelo

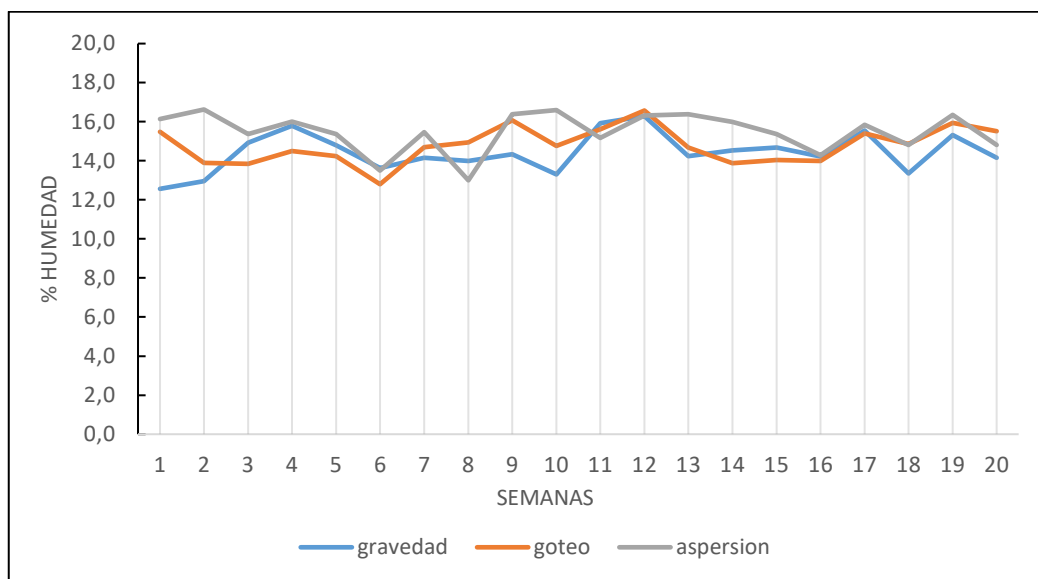


Gráfico 6-3: Niveles de humedad durante el ciclo de cultivo por tratamiento

Elaborado por: Lema, C. 2020

Se mantuvo la frecuencia de riego y se monitoreo el efecto del método y eficiencia del riego en los niveles de humedad durante el ciclo productivo. En el **Gráfico 6-3** se observa los mínimos y máximos de humedad, valores que se mantienen dentro de los niveles de agua aprovechable para este tipo de suelos. Los máximos de humedad registrados están aproximadamente a 16 %, considerando que las mediciones se realizaron dos días posteriores al riego momento al cual se alcanza capacidad de campo en suelos de textura media de acuerdo a (Cisneros, 2003). Según (Zotarelli, L. et al., 2013) el rango para texturas medias va de 15 a 30 % para valores de capacidad de campo siendo suelos que poseen un amplio almacenamiento de agua.

3.5 Etapas fenológicas

Tabla 2-3: Duración de las etapas fenológicas por tratamiento (días)

Tratamiento	Inicial	Desarrollo	Intermedia	Final	Total
Gravedad	23	49	50	14	136
Goteo	26	46	53	14	139
Aspersion	29	46	55	16	146

Elaborado Por: Lema, C. 2020

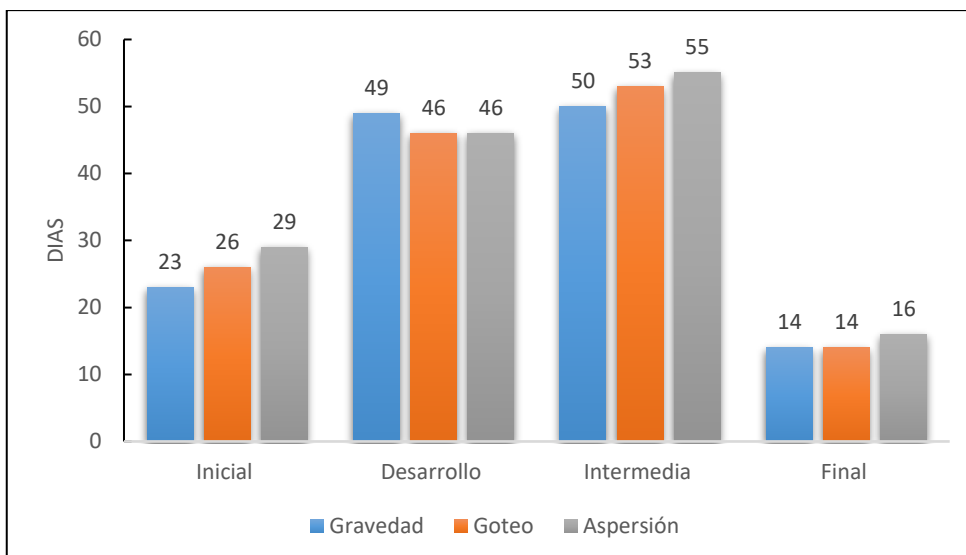


Gráfico 7-3: Comparación de la duración de las etapas fenológica entre tratamientos.

Elaborado por: Lema, C. 2020

En la **Tabla 2-3** y **Gráfico 7-3** se presenta la comparación de la duración de cada etapa fenológica en cada tratamiento. Donde el ciclo de cultivo para el tratamiento por gravedad fue de 136 días, para el tratamiento por goteo 139 días y el tratamiento aspersión con 146 días siendo el más tardío, lo que se correlaciona con lo mencionado por (INIAP, 1995), determina que la variedad fripapa tiene un ciclo de cultivo de 171 días considerándose de ciclo semitardío en zonas ubicadas a 3000 msnm, la zona de estudio se encuentra a 2.750 msnm lo que influye en la duración del ciclo.

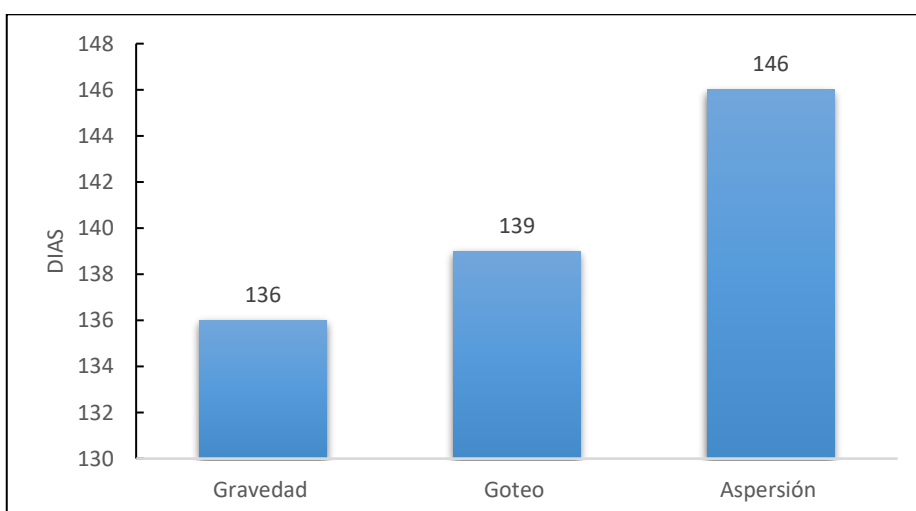


Gráfico 8-3: Duración total del ciclo de cultivo por tratamiento.

Elaborado por: Lema, C. 2020

Las condiciones climáticas son un factor importante para la duración de las etapas fenológicas, cabe mencionar que no es el único factor a tener en cuenta, según (García, 2006) se debe tener precaución al analizar los datos fenológicos ya que el estado de humedad del suelo y su topografía

también influyen; la humedad del suelo existente entre cada método puede verse reflejado en la duración del ciclo como se observa en la **Gráfica 8-3**.

3.6 Eficiencia de riego

Por medio del análisis de varianza se determinó que existen diferencias altamente significativas entre los tratamientos, con un coeficiente de variación de 3,52 % y con un promedio general de 74,70 %.

Tabla 3-3 : Análisis de varianza para eficiencia de riego.

F.V.	SC	GL	CM	F	P-VALOR
Modelo	3895,34	4	973,83	85,13	0,0004
Repeticiones	24,57	2	12,29	1,07	0,4233
Tratamientos	3870,76	2	1935,38	169,18	0,0001**
Error	45,76	4	11,44		
Total	3941,09	8			
Cv %: 3,52					
Promedio: 74,70%					

Elaborado por: Lema, C. 2020

Mediante la prueba de Tukey al 5% para la eficiencia de riego se determinó las siguientes categorías, tratamiento goteo con 93.03% en la categoría A, el tratamiento aspersión en la categoría B con 84.87 %, el tratamiento gravedad se ubicó en la categoría C con un 46.2 % de eficiencia.

Tabla 4-3: Prueba se Tukey al 5% para eficiencia de riego.

Tratamientos	Medias	n	E.E.	
Goteo	93,03	3	1,52	A
Aspersión	84,87	3	1,52	B
Gravedad	46,20	3	1,52	C

Elaborado por: Lema, C. 2020

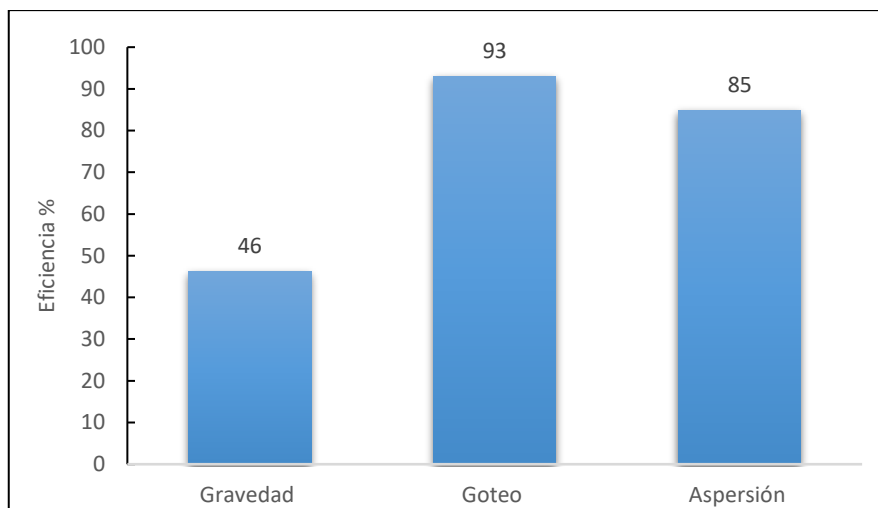


Gráfico 9-3: Eficiencia de aplicación en los tres métodos de riego.

Elaborado por: Lema, C. 2020

En el **Gráfico 9-3** y **Tabla 4-3** se observa la eficiencia de aplicación de los métodos de riego siendo estadísticamente diferentes entre sí, el tratamiento goteo fue 50,5 % más eficiente que gravedad, y 8,6 % más eficiente que aspersión. Según la (FAO, 2006) en el riego gravitacional son inevitables las pérdidas por escorrentía superficial y percolación profunda, en efecto la baja eficiencia del método gravedad puede deberse a irregularidades en el terreno que propician estos fenómenos, influyendo negativamente la uniformidad de distribución reflejado en los resultados obtenidos.

El tratamiento goteo presentó mayor eficiencia, por lo tanto según (Liotta, 2015 pág. 23) la alta uniformidad con la que el agua es distribuida resulta en eficiencias de 90 % al 95 % , (Antuñez, A. et al., S F) lo que genera un ahorro por la reducción del consumo hídrico para satisfacer la demanda del cultivo posibilitando cubrir un área mayor con la misma cantidad de agua, esta podría ser una respuesta a la limitante de tiempo y disponibilidad en contraste con otros métodos, además (Comina, 2008 pág. 8) concluye que el método de riego por goteo es el más eficiente en el uso del agua con respecto a gravedad afectando al crecimiento; el riego por aspersión alcanza eficiencias de 60% a 85 %, según lo mencionado por la (FAO, 2006) el valor de eficiencia obtenido muestra una eficiencia muy alta, cercana al método goteo.

3.7 Volumen de riego

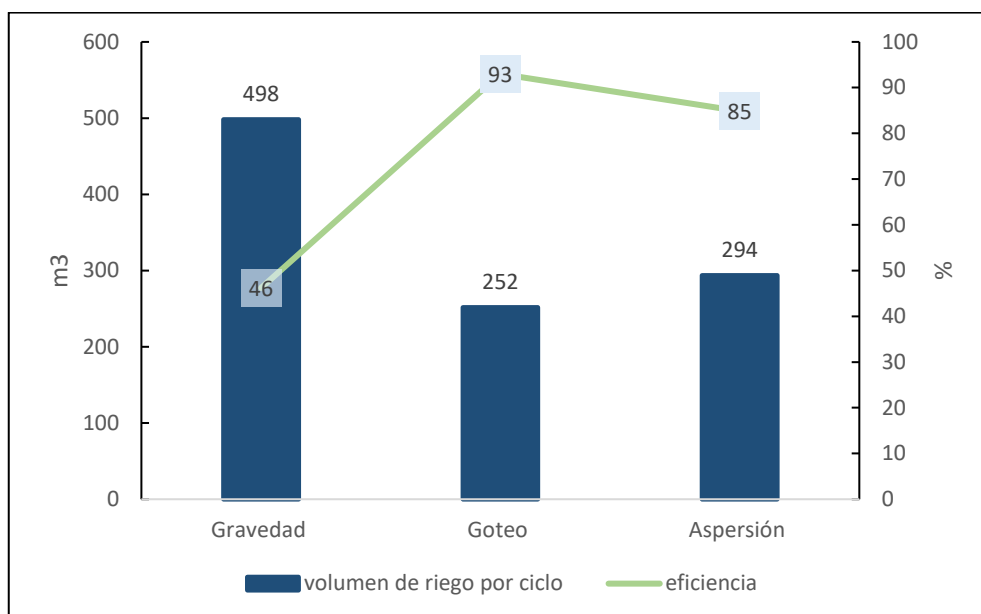


Gráfico 10-3: Volumen de riego aplicado por ciclo en cada método de riego.

Elaborado por: Lema, C. 2020

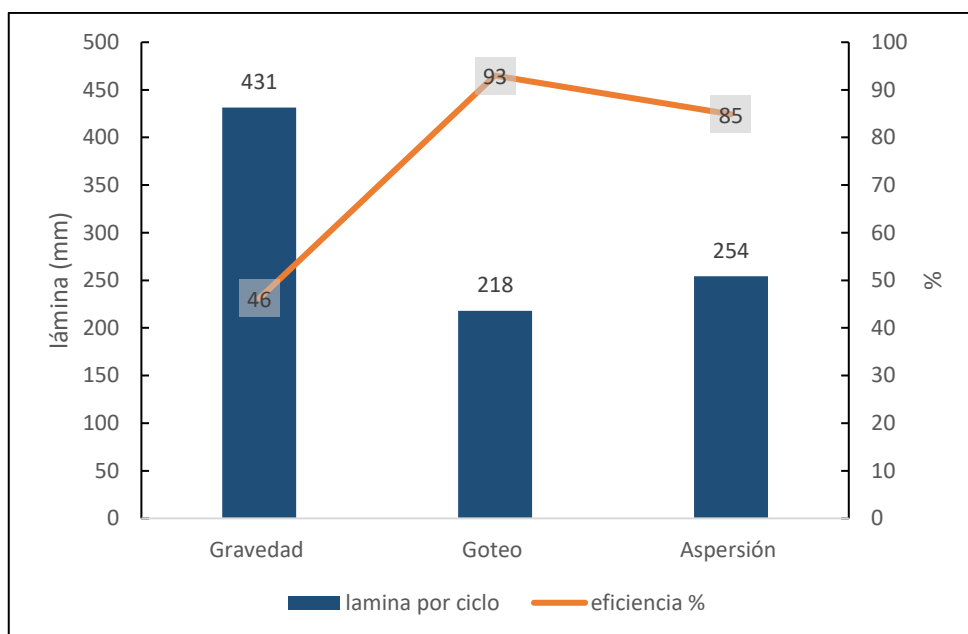


Gráfico 11-3: Eficiencia de aplicación y lámina aplicada por ciclo.

Elaborado por: Lema, C. 200

Durante el ciclo de cultivo de la papa, se calculó los volúmenes y láminas considerando la eficiencia de riego obtenida mediante la uniformidad de dotación de agua al cultivo, además en

el **Gráfico 10-3** y **Gráfico 11-3** se observa la lámina y el volumen total de riego obtenidas al final del periodo productivo de la papa con la eficiencia de cada tratamiento.

En el **Gráfico 11-3** se muestra las diferencias de lámina aplicada por tratamientos obtenidas en el ciclo productivo, donde el tratamiento gravedad muestra la mayor lámina con 431 mm con respecto a los tratamientos goteo con 218 mm y aspersión con 254 mm. El método de riego goteo logra un ahorro de 49,4 % y el método aspersión un 41,06 % con respecto al método gravedad. En contraste con lo mencionado por (Miguel, A. et al., 2015 pág. 25) el ahorro hídrico en goteo fue de 43,70 % con respecto a los métodos tradicionales, por ello, en comparación con los sistemas modernos presurizados según (Cueva, K. & Groten, U., 2010 pág. 8) los sistemas de riego por gravedad requieren una cantidad mucho mayor en relación al requerimiento real del cultivo usando normalmente para el cultivo de papa siendo según la (FAO, 2008) entre 500 a 700 mm por 120 a 150 días siembra cosecha, por requerir un riego frecuente y superficial.

3.8 Parámetros biométricos

3.8.1 Número de tallos a los 30 días.

El análisis de varianza para el número de tallos a los 30 días de la siembra no presentó diferencias significativas entre tratamientos, se obtuvo un promedio general de 2,5 tallos y un coeficiente de variación de 26,19 %.

Tabla 5-3: Análisis de varianza para el número de tallos por planta a los 30 días.

F.V.	SC	GL	CM	F	P-VALOR
Modelo	0,84	4	0,21	0,49	0,7488
Repeticiones	0,11	2	0,05	0,12	0,8873
Tratamientos	0,74	2	0,37	0,85	0,4926
Error	1,74	4	0,43		
Total	2,58	8			
Cv %: 26,19					
Promedio: 2,5					

Elaborado por: Lema, C. 2020

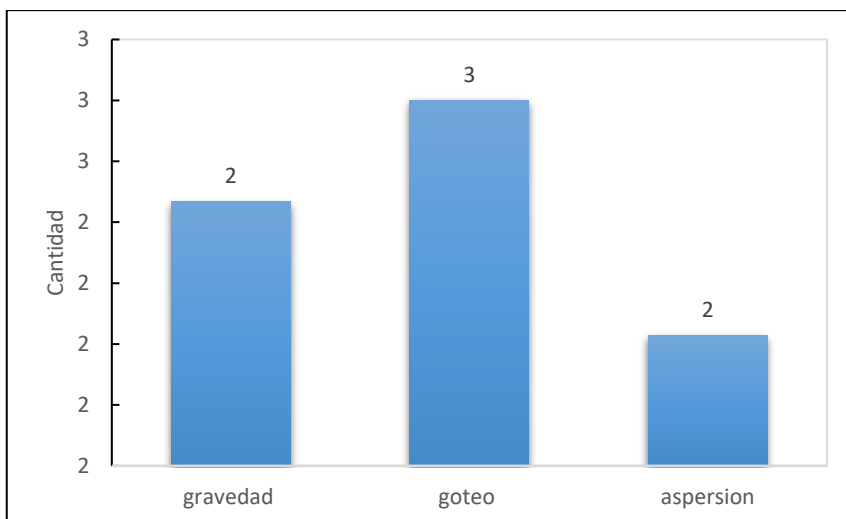


Gráfico 12-3: Número de tallos a los 30 días.

Elaborado por: Lema, C. 2020

A los 30 días se observó que el tratamiento goteo posee en promedio 3 tallos, gravedad y aspersión 2 tallos, a pesar que existió diferencias numéricas en los promedios estas no tuvieron diferencias significativas según el análisis de varianza. El método de riego no influyo a los 30 días en el desarrollo del número de tallos.

3.8.2 Número de tallos a los 75 días

El análisis de varianza para el número de tallos a los 75 días no presentó diferencias significativas entre los tratamientos, se obtuvo como promedio general 2,5 tallos por planta y un coeficiente de variación de 13,57 %.

Tabla 6-3: Análisis de varianza para el número de tallos por planta a los 75 días.

F.V.	SC	GL	CM	F	P-VALOR
Modelo	0,28	4	0,07	0,61	0,6768
Repeticiones	0,25	2	0,12	1,07	0,4239
Tratamientos	0,04	2	0,02	0,15	0,8628
Error	0,46	4	0,12		
Total	0,75	8			
Cv (%): 13,57					
Promedio: 2.5					

Elaborado por: Lema, C. 2020

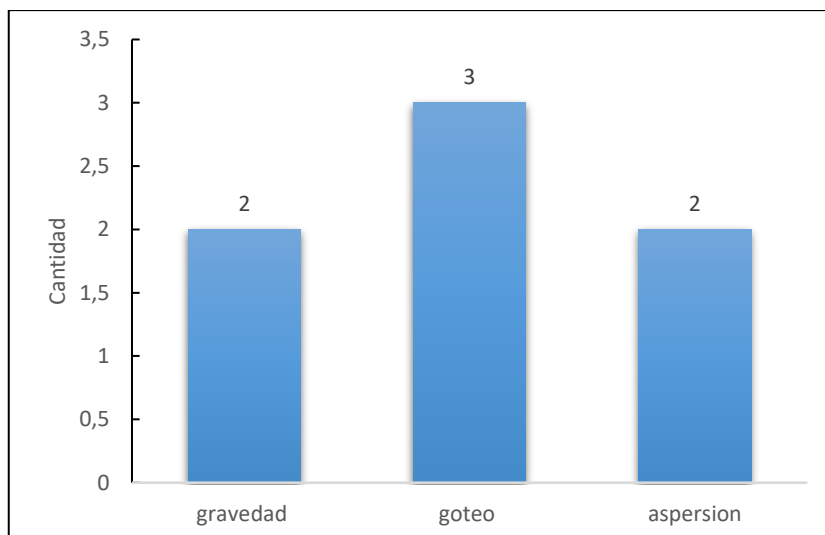


Gráfico 13-3: Número de tallos a los 75 días.

Elaborado por: Lema, C. 2020

A los 75 días como se ve en la siguiente gráfica los promedios de tallos son para goteo 3 y para aspersion y gravedad son de 2 tallos, no hubo diferencias significativas entre los tratamientos, por ello podemos decir que no hubo efecto por parte de los métodos de riego en el desarrollo de tallos a los 75 días.

3.8.3 Número de tallos a los 120 días

El análisis de varianza para el número de tallos a los 120 días no presentó diferencias significativas entre tratamientos, en este punto se muestra que no existió variación en la cantidad de tallos desde el muestreo anterior por lo que mantiene el mismo promedio de 2.5 tallos por planta y un coeficiente de variación de 13.57 %.

Tabla 7-3 : Análisis de varianza para el número de tallos por planta a los 120 días.

F.V.	SC	GL	CM	F	P-VALOR
Modelo	0,28	4	0,07	0,61	0,6768
Repeticiones	0,25	2	0,12	1,07	0,4239
Tratamientos	0,04	2	0,02	0,15	0,8628
Error	0,46	4	0,12		
Total	0,75	8			
Cv %: 13,57					
Promedio: 2.5					

Elaborado por: Lema, C. 2020

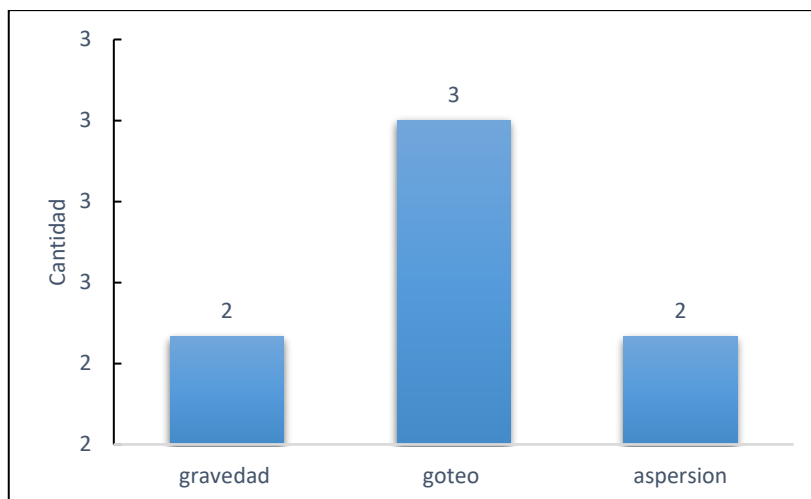


Gráfico 14-3: Número de tallos a los 120 días.

Elaborado por: Lema, C. 2020

A los 120 días el número de tallos se mantuvo sin incremento en el mismo, con promedios de 3 para goteo y 2 para aspersión y gravedad. La cantidad de tallos es invariable, a partir de los 75 días, observándose también que a los 120 días no existió influencia en el número de tallos por parte de los tratamientos.

3.8.4 Número de tallos a los 135 días

Análisis de variancia para el número de tallos a los 135 días no presentó diferencias significativas entre los tratamientos, con un promedio general de 2,5 tallos y un coeficiente de variación de 13,57 %.

Tabla 8-3: Análisis e variancia para el numero de tallos a os 135 días.

F.V.	SC	GI	CM	F	P-VALOR
Modelo	0,28	4	0,07	0,61	0,6768
Repeticiones	0,25	2	0,12	1,07	0,4239
Tratamientos	0,04	2	0,02	0,15	0,8628
Error	0,46	4	0,12		
Total	0,75	8			
CV %: 13,57					
Promedio: 2,5					

Elaborado por: Lema. 2020

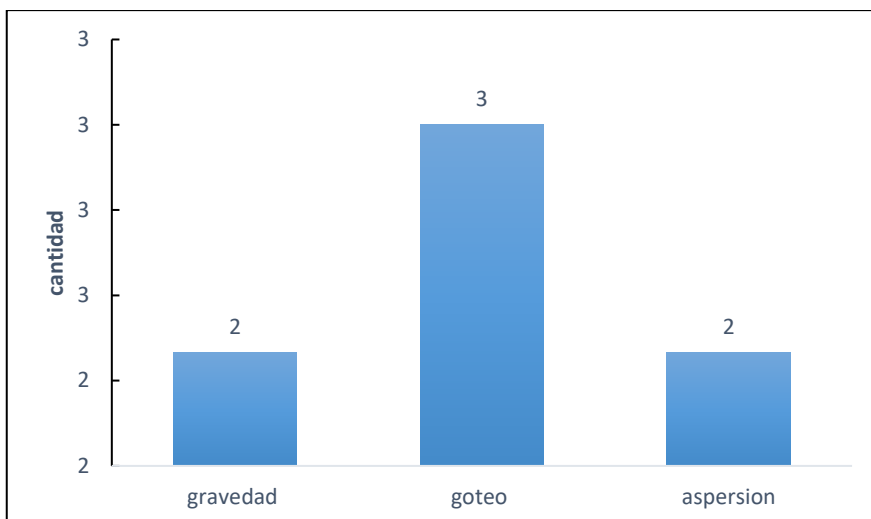


Gráfico 15-3: Número de tallos a los 135 días.

Elaborado por: Lema, C. 2020

Al final se obtiene el número de tallos siendo el goteo con mayor número de tallos con respecto a aspersion y gravedad de acuerdo a los promedios obtenidos, sin embargo no presentaron diferencias significativas. En el parámetro número de tallos el método de riego no presenta efectos relevantes en su desarrollo a lo largo del ciclo de cultivo.

Tabla 9-3: Analisis de varianza para el número de tallos entre tratamientos

	30 DDS (NS)	75 DDS (NS)	120 DDS (NS)	135 DDS (NS)
gravedad	2	2	2	2
goteo	3	3	3	3
aspersion	2	2	2	2

Elaborado por: Lema, C. 2020

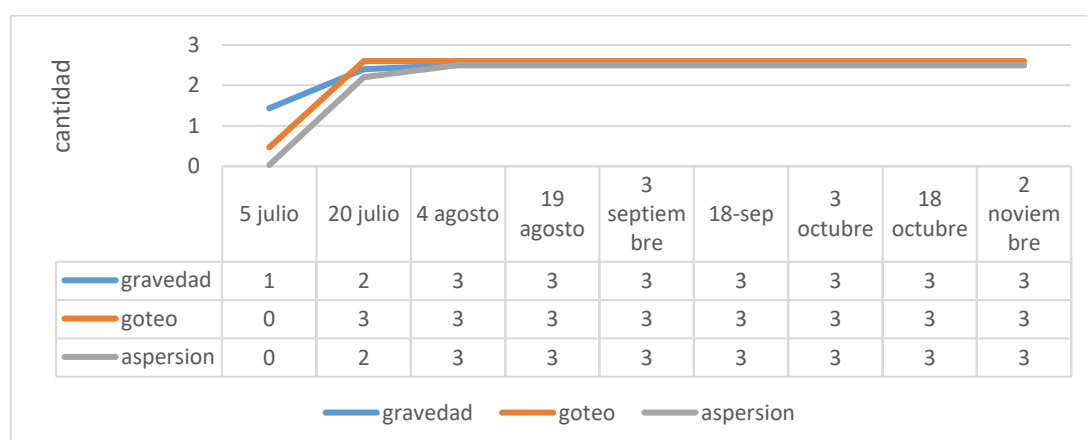


Gráfico 16-3: Desarrollo de tallos en los tratamientos.

Elaborado por: Lema, C. 2020

El número de tallos no presentó diferencias significativas entre los tratamientos, como se observa en la **Tabla 9-3**. En la **Gráfica 16-3** el comportamiento desde el inicio del ciclo del cultivo hasta la etapa final donde se tiene el número máximo de tallos obtenido en cada tratamiento, en promedio general los tratamientos alcanzaron un número de tallos totales de 3, según (INIA, 2017 pág. 2) el número de tallos esperados es de 2 a 3 tallos por tubérculo sembrado con un diámetro ecuatorial de la semilla de 35 a 45 mm.

El desarrollo del número de tallos en los tratamientos tuvo un comportamiento similar como se ven en la **Gráfica 16-3** en los tres tratamientos, para el tratamiento gravedad el número máximo de tallos se alcanzaron a los 45 días en la tercera lectura de datos, donde este número de tallos se mantuvo en las posteriores lecturas como se ve en las **Gráfica 16-3**, el tratamiento goteo el número máximo de tallos se alcanzó a los 30 días (**Gráfico 16-3**), y en aspersión a los 45 días de acuerdo a los datos registrados; según (INIA, 2017 pág. 51) el desarrollo del número de tallos no solo se ve afectado por el tamaño de la semilla sino también por características físicas del suelo, humedad y tipo de siembra, puede deberse a estos factores a que el número de tallos alcanzo su máximo en distinto número de días.

3.8.5 Número de hojas a los 30 días

El análisis de varianza del número de hojas a los 30 días no presentó diferencias significativas entre tratamientos, el promedio general es de 17 hojas y un coeficiente de variación de 16,38 %.

Tabla 10-3: Análisis de varianza para el numero de hojas por planta a los 30 días.

F.V.	SC	GL	CM	F	P-VALOR
Modelo	84,10	4	21,03	2,71	0,1785
Repeticiones	24,85	2	12,42	1,60	0,3080
Tratamientos	59,25	2	29,63	3,82	0,1180
Error	30,99	4	7,75		
Total	115,10	8			
Cv (%): 16,38					
Promedio: 17					

Elaborado por: Lema, C. 2020

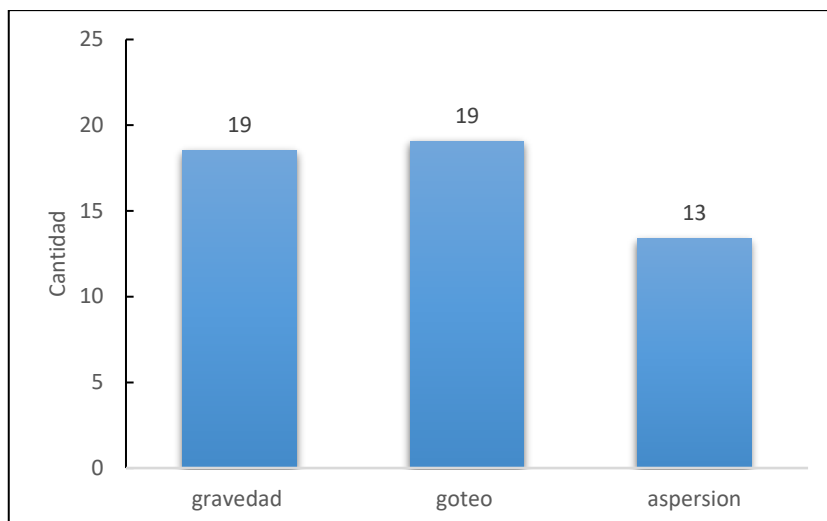


Gráfico 17-3: Número de hojas a los 30 días.

Elaborado por: Lema, C. 2020

En el **Gráfico 17-3** se observa la diferencia entre el número de hojas de los tratamientos a los 30 días, para goteo y gravedad 19 hojas y para aspersión 13 hojas, a pesar de existir diferencias en los promedios en el número de hojas, estadísticamente las diferencias entre los tratamientos no fueron significativas.

3.8.6 *Numero de hojas a los 75 días*

El análisis de varianza para el número de hojas a los 75 días no presentó diferencias significativas entre tratamiento; el promedio general es de 103 hojas y el coeficiente de variación de 16.32 %.

Tabla 11-3: Análisis de varianza para el número de hojas por planta a los 75 días.

F.V.	SC	GL	CM	F	P-VALOR
Modelo	3269,78	4	817,44	2,89	0,1646
Repeticiones	40,22	2	20,11	0,07	0,9326
Tratamientos	3229,56	2	1614,78	5,70	0,0675
Error	1133,11	4	283,28		
Total	4402,89	8			
Cv(%): 16.32					
Promedio: 103					

Elaborado por: Lema, C. 2020

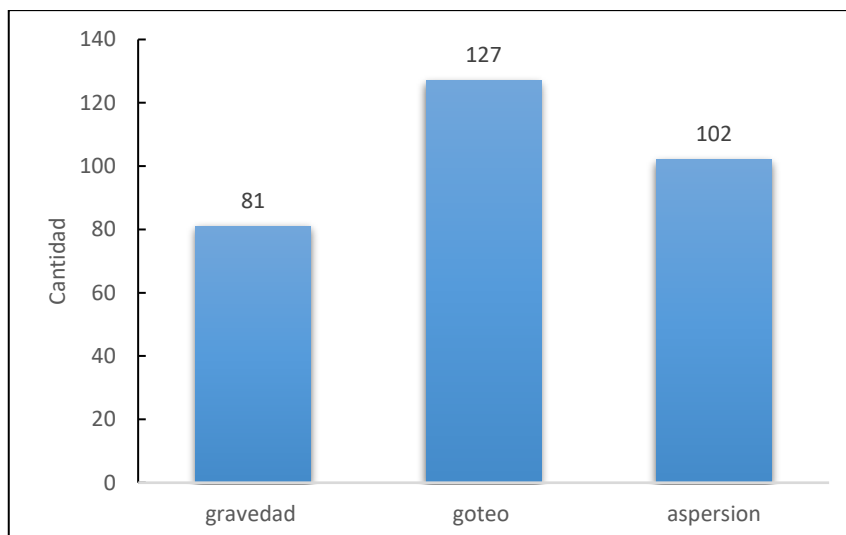


Gráfico 18-3: Número de hojas a los 75 días.

Elaborado por: Lema, C. 2020

En el **Gráfico 18-3** podemos observar los promedios del número de hojas a los 75 días, para gravedad 81 hojas, goteo con 127 y para aspersion 102 hojas, el desarrollo del número de hojas no se ve influenciada por los métodos de riego, ya que en el análisis de varianza no se obtuvo diferencias significativas.

3.8.7 Número de hojas a los 120 días

El análisis de varianza para el número de hojas a los 120 presentó diferencias altamente significativas entre tratamientos, el promedio general es de 143 hojas y el coeficiente de variación de 6,87 %.

Tabla 12-3: Análisis de varianza para el numero de hojas por planta a los 120 días.

F.V.	SC	GL	CM	F	P-VALOR
Modelo	4645,78	4	1161,44	12,00	0,0168
Repeticiones	188,22	2	94,11	0,97	0,4527
Tratamientos	4457,56	2	2228,78	23,03	0,0064**
Error	387,11	4	96,78		
Total	5032,89	8			
Cv (%): 6,87					
Promedio:143					

Elaborado por: Lema, C. 2020

El tratamiento goteo con una media de 160 hojas en el rango A así como el tratamiento aspersión con una media de 157,67 hojas y el tratamiento gravedad con una media de 111,67 hojas en el rango B a los 120 días según la prueba de Tukey al 5%.

Tabla 13-3: Prueba de Tukey al 5% para el número de hojas a los 120 días.

Tratamientos	Medias	n	E.E.	
Goteo	160,00	3	5,68	A
Aspersión	157,67	3	5,68	A
Gravedad	111,67	3	5,68	B

Elaborado por: Lema, C. 2020

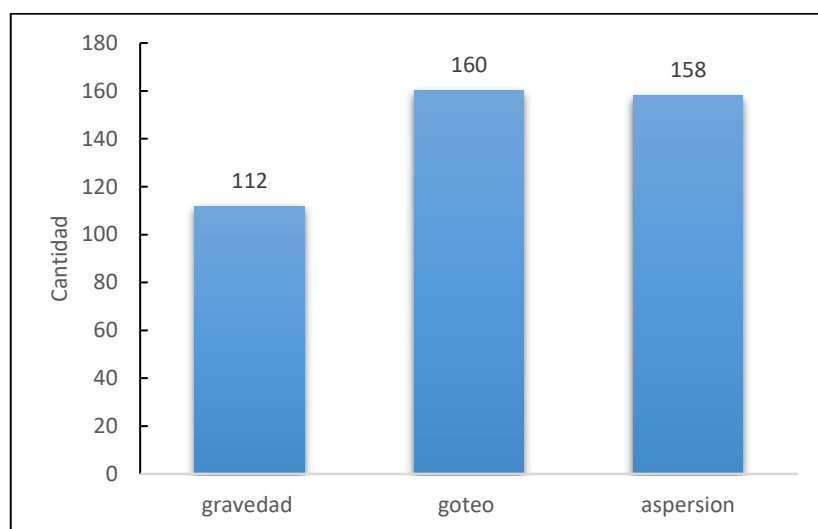


Gráfico 19-3: Número de hojas a los 120 días.

Elaborado por: Lema, C. 2020

En el **Gráfico 19-3** se observa el número de hojas entre los tratamientos, para el tratamiento goteo fue 160 hojas, aspersión con 158 hojas siendo estadísticamente similares entre sí, y diferentes del tratamiento gravedad con 112, según, (MINAGRI, 2016 págs. 22-25) debido a la baja eficiencia del método gravedad y que gran parte del agua se desperdicia en el escurrimiento, lo que termina disminuyendo el desarrollo de la planta a diferencia de los métodos presurizados con mayores eficiencias, por ello los métodos goteo y aspersión mostraron valores en número de hoja mayores a gravedad.

3.8.8 Número de hojas a los 135 días

Según el análisis de variancia para el número de hojas a los 135 días si presentó diferencias estadísticas entre los tratamientos con un promedio general de 107,57 hojas y un coeficiente de variación de 9,02 %.

Tabla 14-3: Análisis de variancia para el número de hojas a los 135 días.

F.V.	SC	GL	CM	F	P-VALOR
Modelo	2866,67	4	716,67	7,60	0,0374
Repeticiones	580,67	2	290,33	3,08	0,1551
Tratamientos	2286,00	2	1143,00	12,12	0,0201*
Error	377,33	4	94,33		
Total	3244,00	8			

Cv %: 9,02
Promedio: 107,57
hojas

Elaborado por: Lema, C. 2020

En el rango A se encuentra el tratamiento aspersion con 126,67 hojas siendo el mayor número de hojas, el tratamiento goteo en el rango AB con 108,67 hojas, y en la última categoría con el menor número de hojas el tratamiento gravedad con 87,67 hojas.

Tabla 15-3: Prueba de Tukey al 5 % para el número de hojas a los 135 días.

Tratamientos	Medias	n	E.E.		
Aspersion	126,67	3	5,61	A	
Goteo	108,67	3	5,61	A	B
Gravedad	87,67	3	5,61		B

Elaborado por: Lema, C. 2020

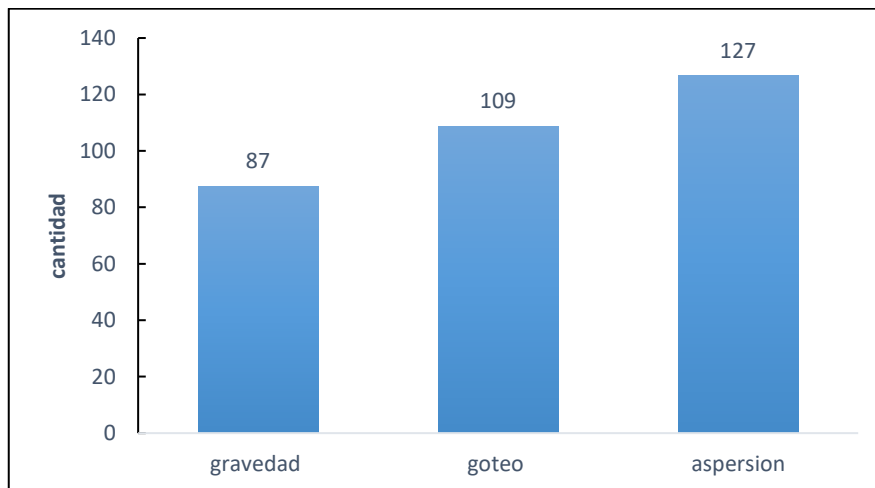


Gráfico 20-3: Número de hojas a los 135 días.

Elaborado por: Lema, C. 2020

En el **Gráfico 20-3** se observa los promedios del número de hojas a los 135 días mostrando diferencias significativas, el tratamiento aspersion con el mayor número de hojas fue de 127 hojas,

seguido de goteo con 109 hojas, el tratamiento gravedad con el menor número de hojas con 87 hojas. A los 135 días se experimentó una disminución en el número de hojas con respecto a los 120 días, esto debido a que las hojas empiezan a translocar los nutrientes al tubérculo secándose haciendo que estén caigan anunciando la finalización del ciclo productivo del cultivo (Almeida, J. et al., 2013 pág. 6).

Tabla 16-3: Analisis de varianza para número de hojas.

	30 DDS (NS)	75 DDS (NS)	120 DDS	135 DDS
Gravedad	19	81	112 B	87 B
Goteo	19	127	160 A	109 AB
Aspersión	13	102	158 A	127 A

Elaborado por: Lema, C. 2020

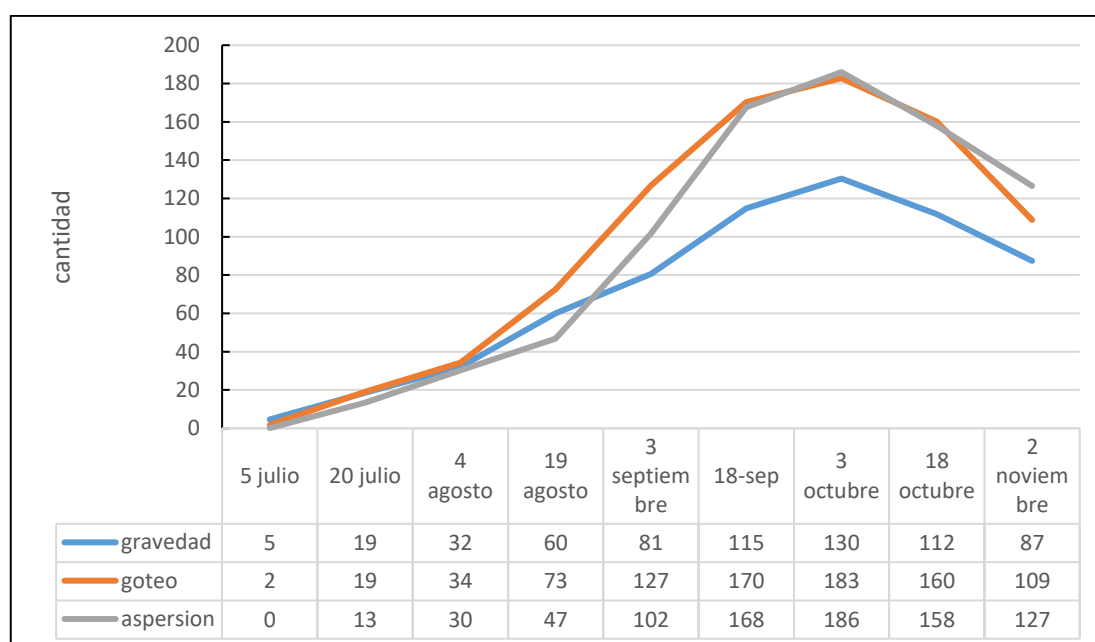


Gráfico 21-3: Desarrollo de hojas.

Elaborado por: Lema, C. 2020

Según el análisis estadístico no presentaron diferencias significativas a los 30 y 75 días (**Tabla 16-3**); esto puede deberse a que en la primera etapa del cultivo no es tan sensible a los cambios de humedad del suelo y al método de riego, por ende su respuesta en el desarrollo es menos visible como se puede ver en la (**Gráfico 21-3**) donde la diferencia entre los tratamiento es más notoria conforme la planta entra en etapa intermedia o tuberización en adelante, según (MINAGRI, 2016 pág. 21) en las primeras etapas (inicial – desarrollo) el cultivo de papa no es tan sensible a los cambios de humedad del suelo requiriendo riegos ligeros y más espaciados entre sí. A los 120 y 135 días se obtuvo diferencias significativas donde se registró el mayor número de hojas para los tratamientos goteo y aspersion y el menor número de hojas para el tratamiento gravedad

(Tabla 16-3) y se observa al final del ciclo del cultivo (Gráfico 21-3) la caída del número de hojas, según (Almeida, J. et al., 2013 pág. 44) las hojas se marchitan y se ven reducidas al final de temporada por la movilización de nutrientes a los tubérculos lo que da una caída en el número de hojas.

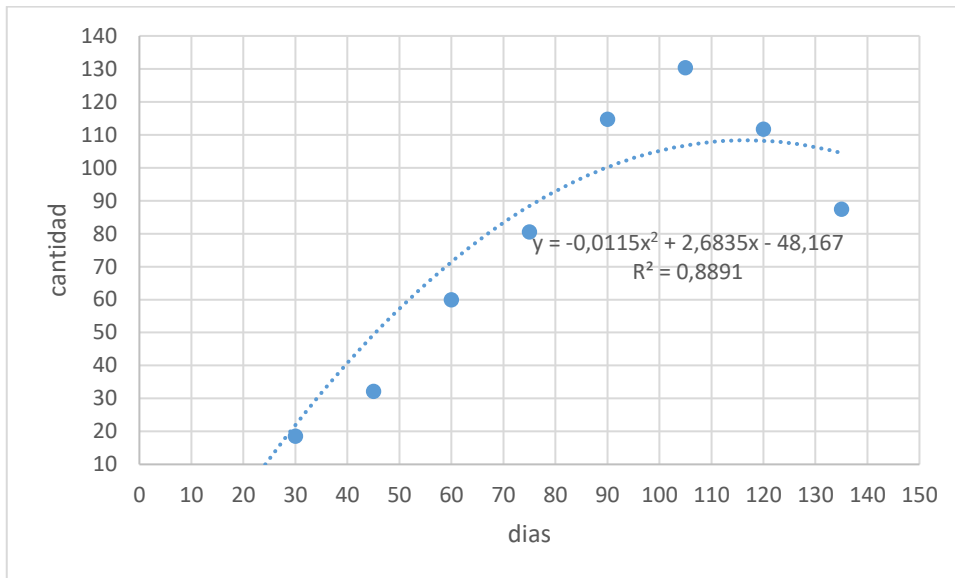


Gráfico 22-3: Número de hojas durante el ciclo del cultivo tratamiento gravedad.

Elaborado por: Lema, C. 2020

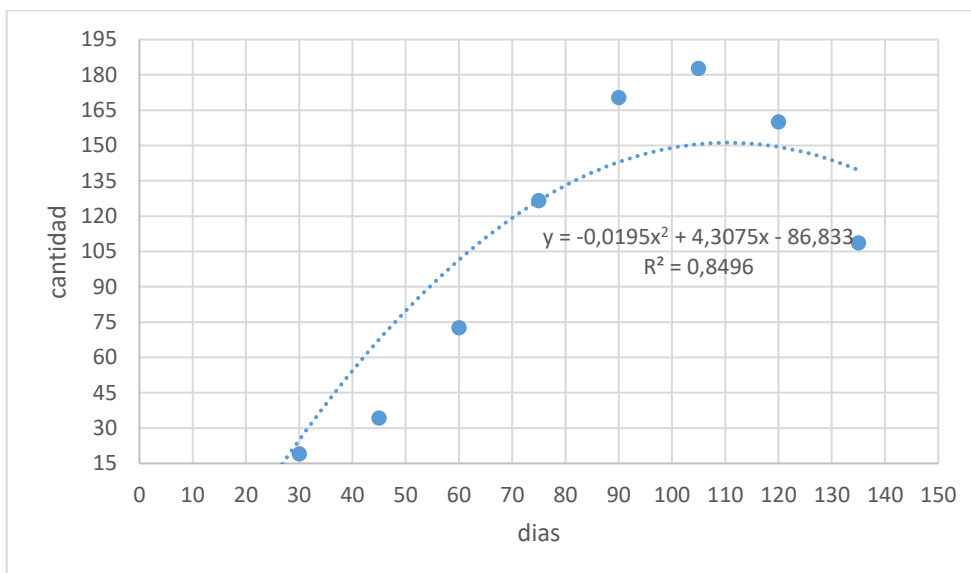


Gráfico 23-3: Número de hojas durante el ciclo del cultivo tratamiento goteo

Elaborado por: Lema, C. 2020

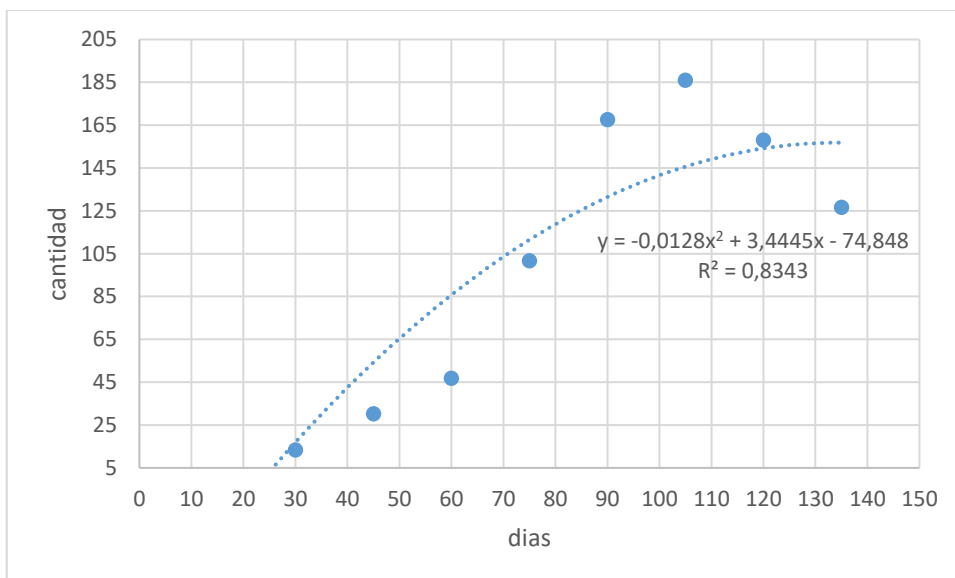


Gráfico 24-3: Número de hojas durante el ciclo del cultivo tratamiento aspersión.

Elaborado por: Lema, C. 2020

En los **Gráficos 22-3, 23-3 y 24-3** la línea de tendencia para los tres tratamientos determinó un comportamiento creciente en las primeras etapas de su desarrollo, se observa la caída en el número de hojas al final del ciclo, tendencia visible en los tres tratamientos. A inicio de etapa existe un crecimiento más sostenido hasta llegar a la etapa intermedia donde se detiene y tiende a bajar, comportamiento debido a que la tasa de crecimiento de hojas baja conforme la planta se acerca a la etapa intermedia de acuerdo a (Jerez, E. & Martín,R., 2012 pág. 4). Los coeficientes de determinación r^2 muestran un buen ajuste a la nube de datos y al comportamiento fisiológico de las hojas, según (Falco, J. et al, 2001 pág. 3) en estudios realizados en plantas, la curva de regresión usada debe obedecer al coeficiente de determinación y al comportamiento biológico siguiendo un criterio lógico del mismo.

3.8.9 *Altura del a planta a los 30 días*

El análisis de varianza para la altura de la planta a los 30 días presentó diferencias significativas entre los tratamientos; el promedio general fue de 9,3 cm, el coeficiente de variación fue de 10,39 %.

Tabla 17-3: Análisis de varianza para la altura de la planta a los 30 días.

F.V.	SC	GL	CM	F	P-VALOR
Modelo	44,36	4	11,09	11,86	0,0172
Repeticiones	10,69	2	5,35	5,72	0,0671
Tratamientos	33,67	2	16,83	18,01	0,0100*
Error	3,74	4	0,93		
Total	48,10	8			
Cv (%): 10,39					
Promedio: 9.3 cm					

Elaborado por: Lema, C. 2020

El tratamiento gravedad con una media de 11,17 hojas y goteo con una media de 10,10 hojas en la categoría A y el tratamiento aspersion en la categoría B con 6,64 hojas.

Tabla 18-3: Prueba de Tukey al 5% para el número de hojas a los 30 días.

Tratamientos	Medias	n	E.E.	
Gravedad	11,17	3	0,56	A
Goteo	10,10	3	0,56	A
Aspersion	6,64	3	0,56	B

Elaborado por: Lema, C. 2020

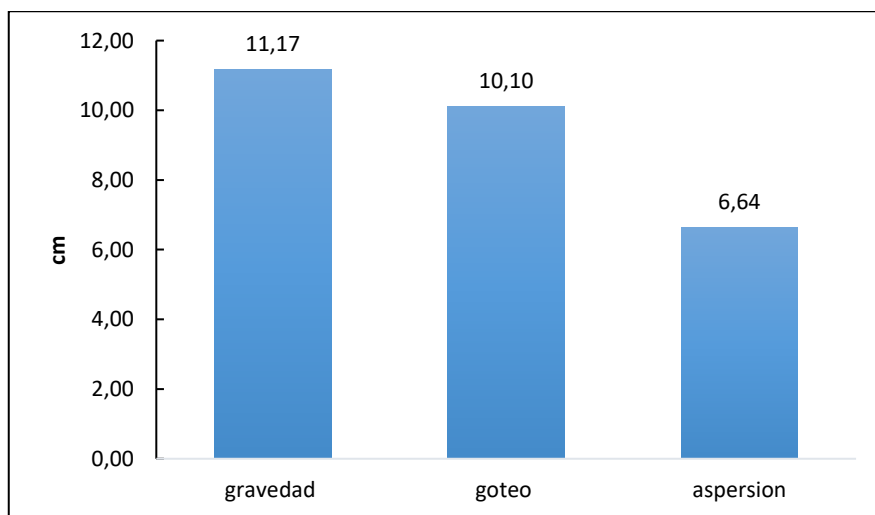


Gráfico 25-3: Altura de la planta a los 30 días.

Elaborado por: Lema, C. 2020

En el **Gráfico 25-3** se presentan los promedios entre los tratamientos, el método aspersion posee la menor altura de 6,64 cm a los 30 días y siendo esta distinta estadísticamente de gravedad con

11,17 cm y goteo con y 10,10 cm, el comportamiento es similar al número de hojas en el tratamiento aspersión en los mismos días por la relación del crecimiento del tallo y hojas (CENTA, 2002).

3.8.10 Altura de la planta a los 75 días

El análisis de varianza para la altura de la planta a los 75 días no presentó diferencias significativas entre tratamientos; el promedio general es de 67,2 cm con un coeficiente de variación de 11,31 %.

Tabla 19-3: Análisis de varianza para la altura de la planta a los 75 días.

F.V.	SC	GL	CM	F	P-VALOR
Modelo	157,45	4	39,36	0,68	0,6399
Repeticiones	28,43	2	14,22	0,25	0,7926
Tratamientos	129,02	2	64,51	1,12	0,4113
Error	230,72	4	57,68		
Total	388,17	8			
Cv(%): 11.31					
Promedio: 67.2 cm					

Elaborado por: Lema, C. 2020

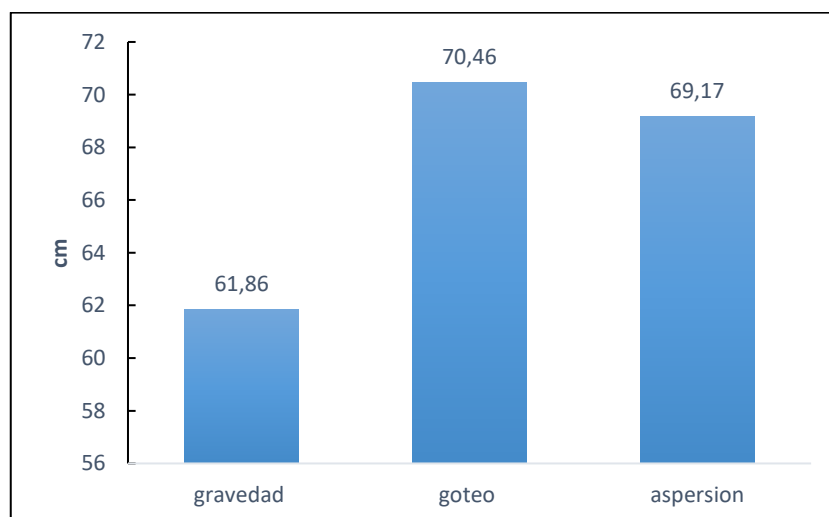


Gráfico 26-3: Altura de la planta a los 75 días.

Elaborado por: Lema, C. 2020

En el **Gráfico 26-3** se observa los promedios de los tratamientos de la altura de la planta a los 75 días, para el tratamiento gravedad 61,86 cm, el tratamiento goteo 70,46 cm y el tratamiento

aspersión con 69,17 cm, para la altura de planta no hubo efecto por parte de los tratamientos según el análisis de varianza dando como resultado no significativo.

3.8.11 *Altura de la planta a los 120 días*

El análisis de variancia para la altura a los 120 días presentó diferencias significativas entre tratamientos; el promedio general es de 73,94 cm y el coeficiente de variación de 4.88 %.

Tabla 20-3: Análisis de varianza para la altura de la planta a los 120 días.

F.V.	SC	GL	CM	F	P-VALOR
Modelo	365,73	4	91,43	7,01	0,0429
Repeticiones	4,22	2	2,11	0,16	0,8559
Tratamientos	361,51	2	180,75	13,86	0,0159*
Error	52,18	4	13,04		
Total	417,91	8			
Cv(%): 4,88					
Promedio: 73,94 cm					

Elaborado por: Lema, C. 2020

Mediante la prueba de Tukey al 5% para la altura de la planta se determinó que el tratamiento aspersión se ubica en el rango A con una media de 80.22 cm, el tratamiento goteo en el rango A con una media de 76.32 cm y el tratamiento gravedad en el rango B con una media de 65.26 cm.

Tabla 21-3: Prueba de Tukey al 5% para la altura de la planta a los 120 días.

Tratamientos	Medias	n	E.E.	
Aspersión	80,22	3	2,09	A
Goteo	76,32	3	2,09	A
Gravedad	65,26	3	2,09	B

Elaborado por: Lema, C. 2020

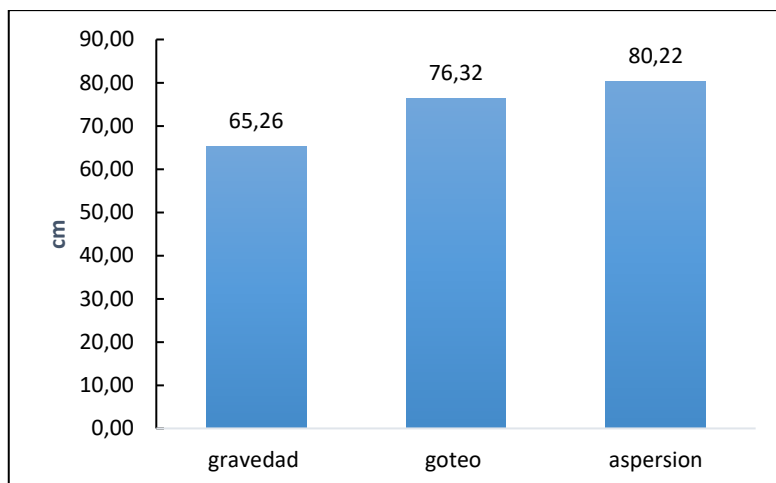


Gráfico 27-3: Altura de la planta a los 120 días.

Elaborado por: Lema, C. 2020

En el **Gráfico 27-3** se observa los promedios de altura de planta a los 120 días, los tratamientos goteo con 76,32 cm y aspersion con 81,22 cm son similares estadísticamente con los mayores promedios de altura de planta y siendo diferentes de gravedad con 65,26 cm, siendo este último de menor altura de planta. La baja eficiencia de la aplicación del riego por gravedad pudo afectar al correcto desarrollo de la planta sobre todo en los periodos críticos como en los procesos de tuberización y días posteriores según (Pacheco, J. & Pérez, A., 2010 pág. 2).

3.8.12 *Altura de la planta a los 135 días.*

El análisis de varianza para la altura de la planta a los 135 días presentó diferencias altamente significativas entre los tratamientos, con un promedio general de 74,69 cm y un coeficiente de variación de 3,21 %.

Tabla 22-3: Análisis de varianza para la altura de la planta a los 135 días.

F.V.	SC	GL	CM	F	P-VALOR
Modelo	509,30	4	127,32	22,17	0,0054
Repeticiones	22,46	2	11,23	1,96	0,2557
Tratamientos	486,84	2	243,42	42,38	0,0020**
Error	22,98	4	5,74		
Total	532,28	8			
Cv %: 3,21					
Promedio: 74.69 cm					

Elaborado por: Lema, C. 2020

Mediante la prueba de Tukey al 5 % se tiene que tratamiento aspersión en la categoría A con la mayor altura de planta con 83,18 cm, el tratamiento goteo en la categoría B con 75,67 cm y en la categoría C con la menor altura el tratamiento gravedad con 65,24.

Tabla 23-3: Prueba de Tukey al 5 % para la altura de la planta a los 135 días.

Tratamientos	Medias	n	E.E.	
Aspersión	83,18	3	1,38	A
Goteo	75,67	3	1,38	B
Gravedad	65,24	3	1,38	C

Elaborado por: Lema, C. 2020

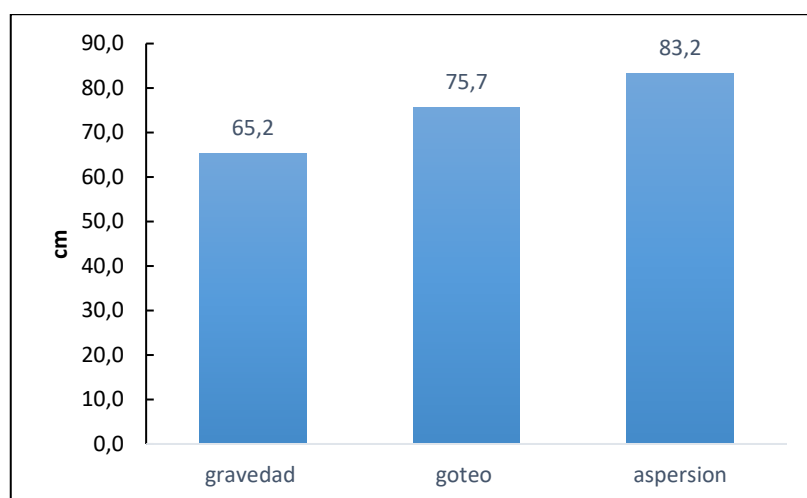


Gráfico 28-3: Altura de la planta a los 135 días.

Elaborado por: Lema, C. 2020

En el **Gráfico 28-3** se observa las diferencias de promedios entre tratamientos siendo estadísticamente diferentes entre sí, donde el tratamiento aspersión con 83,2 cm obtuvo la mayor altura seguido de goteo con 75,7 cm y con el menor promedio de altura el tratamiento gravedad con 65,2 cm, una vez alcanzada la máxima altura de planta en la etapa final es donde se expresaron las diferencias entre los tratamientos como se observa en el análisis estadístico (**Tabla 23-3**) según (Calderón, J. et al., 2016 pág. 9) concluye que los métodos de riego influyen en el desarrollo de la altura de planta y entre otros factores del cultivo así como en el número de hojas y número de tallos.

Tabla 24-3: Analisis de varianza de altura de planta entre tratamientos.

	30 DDS	75 DDS (NS)	120 DDS	135 DDS
Gravedad	11,17 A	61,86	65,26 B	65,2 C
Goteo	10,1 A	70,46	76,32 A	75,7 B
Aspersión	6,64 B	69,17	80,22 A	83,2 A

Elaborado por: Lema, C. 2020

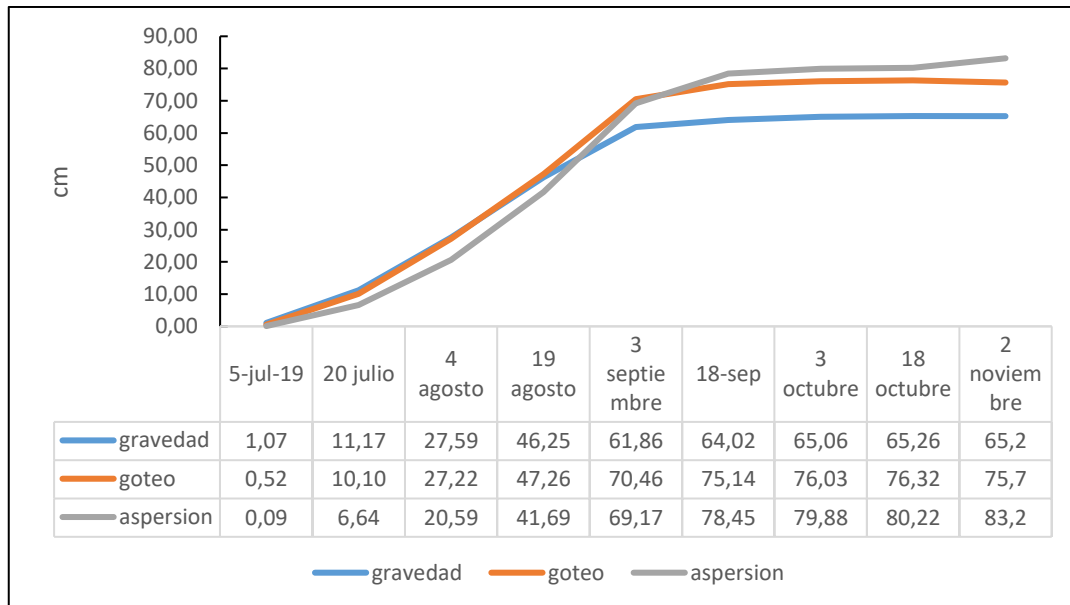


Gráfico 29-3: Desarrollo de altura de la planta durante el ciclo de cultivo.

Elaborado por: Lema, C. 2020

Con respecto a la altura del tallo se observa un comportamiento similar en los tres tratamientos en cuanto a su desarrollo en las primeras etapas del cultivo (**Gráfico 29-3**) donde el efecto de los tratamientos se intensifica conforme avanzó en las etapas intermedia y final.

En la altura de planta no presentaron diferencias significativas a los 75 días (**Tabla 24-3**). Según el análisis de varianza a los 120 y 135 días presentó diferencias significativas donde el método gravedad en ambas lecturas obtuvo el menor promedio de altura de planta con respecto a goteo y aspersión manifestando estos últimos los mayores promedios de alturas de planta. Esto puede deberse a al método con la que el agua es distribuida en el suelo siendo el método gravedad el de menor eficiencia, según (Jimenez, 2015) lo métodos de riego presurizados dotan agua al suelo de una forma más uniforme con respecto a aquellos métodos que requieren de carga adicional de agua.

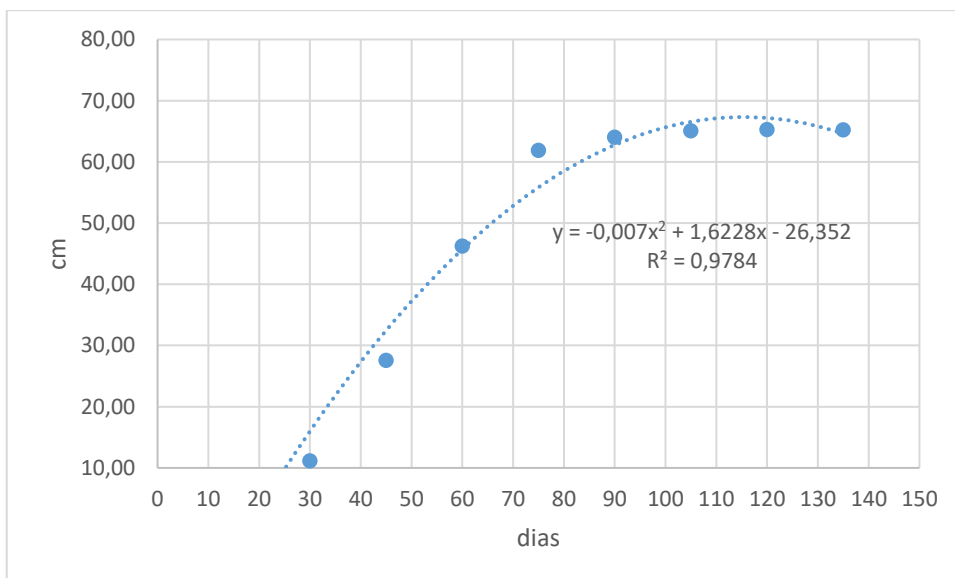


Gráfico 30-3: Altura de la planta durante el ciclo de cultivo tratamiento gravedad.

Elaborado por: Lema, C.2020

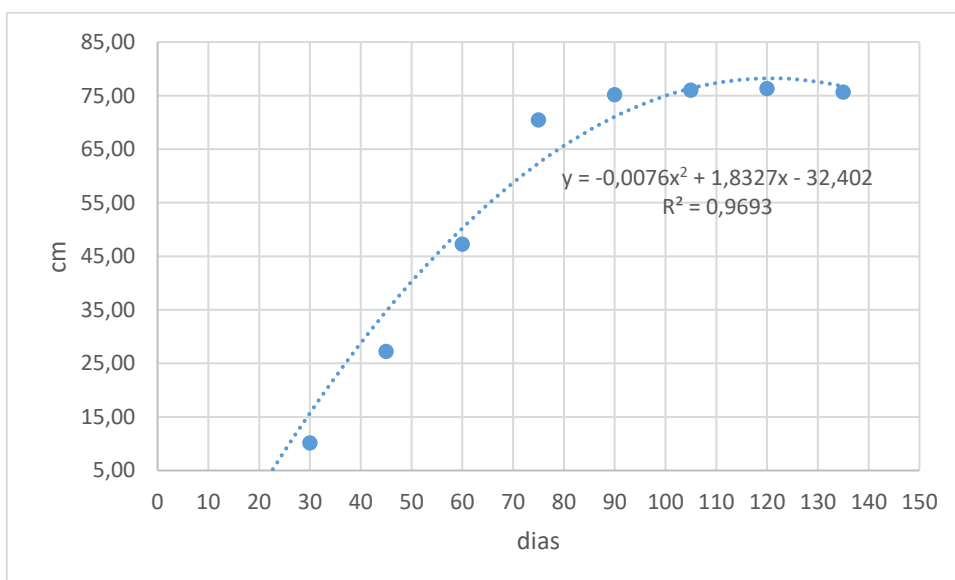


Gráfico 31-3: Altura de la planta durante el ciclo de cultivo tratamiento goteo.

Elaborado por: Lema, C. 2020

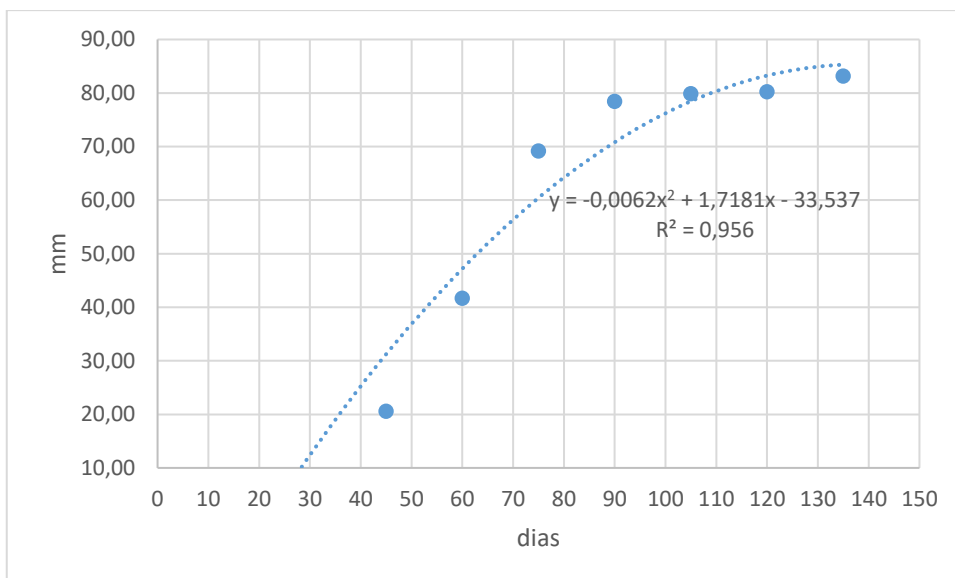


Gráfico 32-3: Altura de la planta durante el ciclo de cultivo tratamiento aspersion.

Elaborado por: Lema, C. 2020

En los **Gráficos 30-3, 31-3 y 32-3**, se observa la tendencia en aumento de la altura de planta, así como en el número de hojas, se muestra una tendencia al incremento en la parte inicial del cultivo y con una disminución en el crecimiento en las etapas intermedias del cultivo hasta casi detenerse en la etapa de senescencia, un comportamiento que comparten los tres tratamientos. El coeficiente de determinación r^2 es similar en las tres curvas ajustándose a los datos obtenidos según (Barrera, J. et al., S F) el grado del coeficiente de determinación es un parámetro para la selección del modelo de curva adecuado, siendo los modelos más usados aquellos no lineales en cuanto a los parámetros de crecimiento.

3.8.13 *Diámetro de tallo a los 30 días*

El análisis de varianza para el diámetro de tallo a los 30 días no presentó diferencias significativas entre tratamientos, el promedio general es de 7,23 mm y el coeficiente de variación es de 13,66 %.

Tabla 25-3: Análisis de varianza para el diámetro de tallo a los 30 días.

F.V.	SC	GL	CM	F	P-VALOR
Modelo	1,43	4	0,36	0,37	0,8221
Repeticiones	0,75	2	0,38	0,39	0,7024
Tratamientos	0,68	2	0,34	0,35	0,7251
Error	3,90	4	0,98		
Total	5,33	8			

Cv (%): 13,66

Promedio: 7,23 mm

Elaborado por: Lema, C. 2020

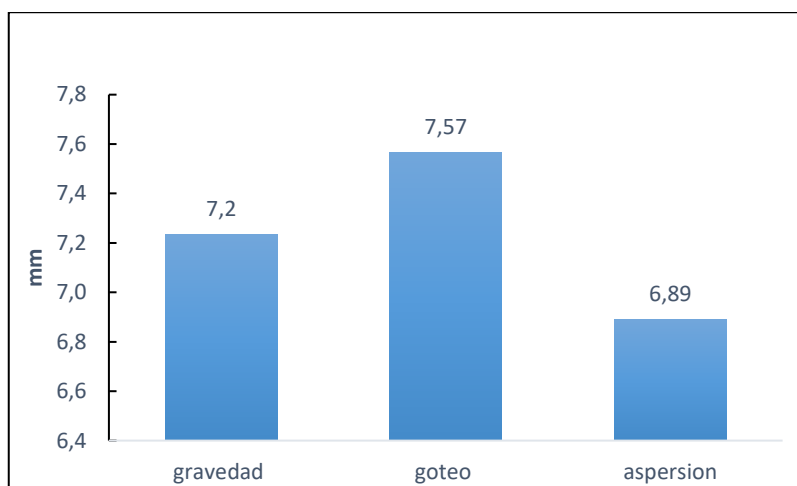


Gráfico 33-3: Diámetro del tallo a los 30 días.

Elaborado por: Lema, C. 2020

No presentaron diferencias significativas en diámetro de tallo a los 30 días, en el **Gráfico 33-3** siguiente se observa los promedios obtenidos en cada tratamiento, para gravedad 7,2 mm, goteo 7,57 y aspersion con 6,89 mm; los tratamientos no tienen efecto sobre el desarrollo del diámetro de tallos a los 30 días.

3.8.14 Diámetro de tallos a los 75 días

El análisis de varianza para el diámetro de tallo a los 75 días no presentó diferencias significativas entre tratamientos; el promedio general es de 13.4 mm y el coeficiente de variación de 11,98 %.

Tabla 26-3: Análisis de varianza para el diámetro de tallo a los 75 días

F.V.	SC	GL	CM	F	P-VALOR
Modelo	5,06	4	1,26	0,49	0,7458
Repeticiones	0,22	2	0,11	0,04	0,9594
Tratamientos	4,84	2	2,42	0,94	0,4624
Error	10,29	4	2,57		
Total	15,35	8			
Cv (%): 11.98					
Promedio: 13.4 mm					

Elaborado por: Lema, C. 2020

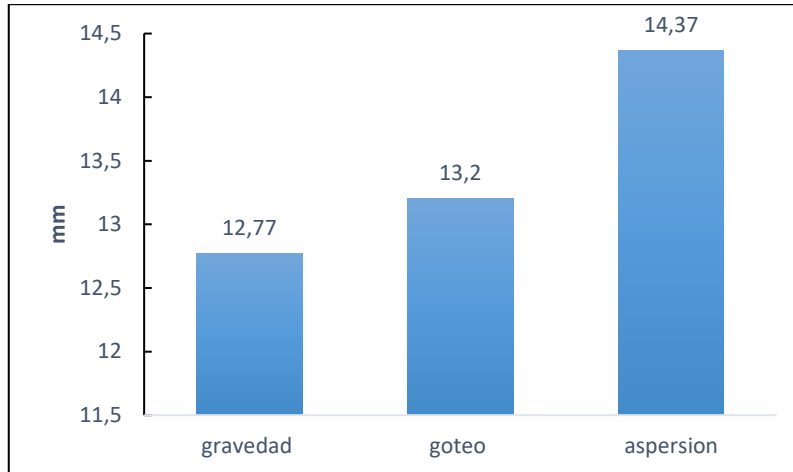


Gráfico 34-3: Diámetro del tallo a los 75 días.

Elaborado por: Lema, C. 2020

El diámetro de tallo a los 75 días no presentó diferencias significativas entre los tratamientos, en el **Gráfico 34-3** se observa los promedios obtenidos por tratamiento, para gravedad 12,77 mm, goteo 13,2 mm y para aspersion 14,37 mm.

3.8.15 Diámetro de tallo a los 120 días

El análisis de varianza para el diámetro de tallo a los 120 días no presentó diferencias significativas entre tratamientos, el promedio general es de 14,12 mm con un coeficiente de variación de 6,32 %.

Tabla 27-3: Análisis de varianza para el diámetro de tallo a los 120 días.

F.V.	SC	GL	CM	F	P-VALOR
Modelo	9,36	4	2,34	2,93	0,1610
Repeticiones	0,96	2	0,48	0,60	0,5903
Tratamientos	8,40	2	4,20	5,27	0,0758
Error	3,19	4	0,80		
Total	<u>12,56</u>	<u>8</u>			
Cv (%): 6,32					
Promedio: 14.12 mm					

Elaborado por: Lema, C. 2020

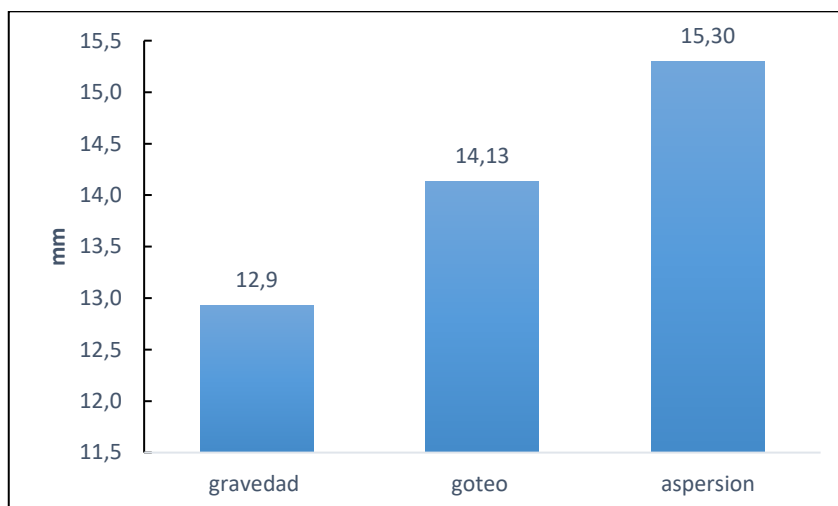


Gráfico 35-3: Diámetro del tallo a los 120 días.

Elaborado por: Lema, C. 2020

En el diámetro de tallo a los 120 días no presentó diferencias significativas entre los tratamientos, en el **Gráfico 35-3** se observa los promedios obtenidos por tratamiento, para gravedad 12,9 mm, goteo 14,13 mm y para aspersión con 15,3 mm.

3.8.16 Diámetro de tallo a los 135 días

El análisis de varianza para el diámetro de tallos a los 135 días presentó diferencias altamente significativas entre los tratamientos con un promedio general de 13,64 mm y un coeficiente de variación de 2,37 %.

Tabla 28-3: Análisis de varianza para el diámetro de tallo a los 135 días.

F.V.	SC	GL	CM	F	P-VALOR
Modelo	10,52	4	2,63	25,19	0,0043
Repeticiones	0,62	2	0,31	2,95	0,1635
Tratamientos	9,91	2	4,95	47,44	0,0016**
Error	0,42	4	0,10		
Total	10,94	8			
Cv %:2,37					
Promedio: 13,64 mm					

Elaborado por: Lema, C. 2020

Según la prueba de Tukey al 5 % donde los tratamientos aspersión y goteo en la categoría A 14,5 mm y 14,27 mm respectivamente con los mayores diámetros de tallos, y en la categoría B el tratamiento gravedad con 12,17 mm

Tabla 29-3: Prueba de Tukey al 5 % para el diámetro de tallos a los 135 días.

Tratamientos	Medias	n	E.E.	
Aspersión	14,50	3	0,19	A
Goteo	14,27	3	0,19	A
Gravedad	12,17	3	0,19	B

Elaborado por: Lema, C. 2020

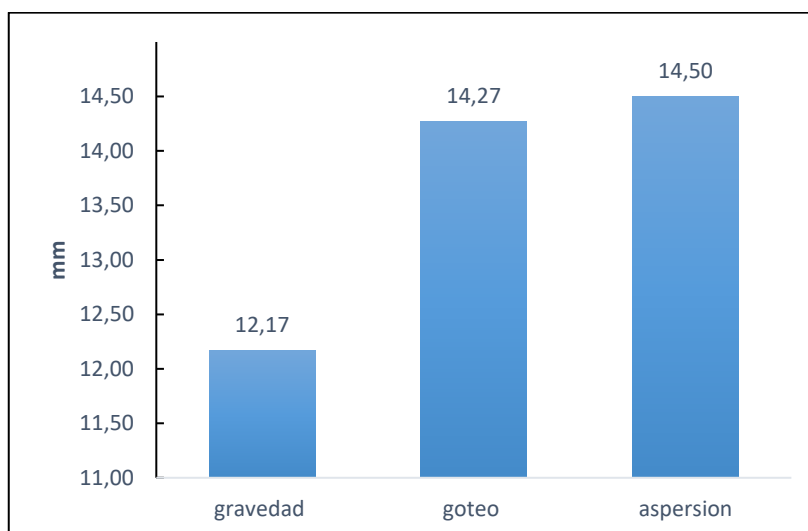


Gráfico 36-3: Diámetro del tallo a los 135 días.

Elaborado por: Lema, C. 2020

En el diámetro de tallo a los 135 días presentó diferencias altamente significativas, como se observa en el **Gráfico 36-3**, los tratamientos aspersión con 14,5 mm y goteo con 14,27 mm

mostraron un mayor desarrollo del diámetro de tallo siendo estadísticamente similares entre sí, pero diferentes del tratamiento gravedad con el menor diámetro de tallo de 12,17 mm. Según (Franco, 2018 pág. 2) se observó que los métodos de riegos presurizados con alto uniformidad de distribución, tienen un efecto positivo en los parámetros de crecimiento de la planta.

Tabla 30-3: Analisis de varianza para diámetro de tallo entre tratamientos.

	30 DDS (NS)	75 DDS (NS)	120 DDS (NS)	135 DSS
Gravedad	7,2	12,77	12,9	12,17 B
Goteo	7,57	13,2	14,13	14,27 A
Aspersión	6,89	14,37	15,3	14,5 A

Elaborado por: Lema, C. 2020

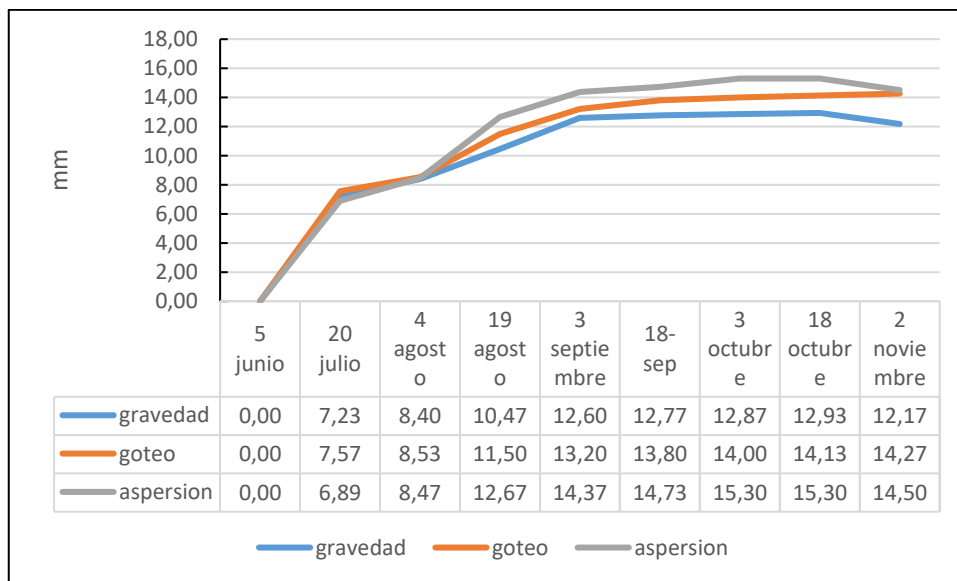


Gráfico 37-3: Desarrollo del diámetro de tallo durante el ciclo del cultivo.

Elaborado por: Lema, C. 2020

Podemos observar en el **Gráfico 37-3** el comportamiento de cada método de riego en cuanto al diámetro del tallo, se observa que el tratamiento aspersión se ubica por encima de goteo y gravedad, siendo gravedad el cual obtuvo menor diámetro de tallos. Gran parte del ciclo de desarrollo de la papa el diámetro de tallo se mantiene con leves aumentos y un leve descenso en la última semana de medición, de acuerdo al análisis estadísticos no presento diferencias significativas entre los tratamientos a los 30, 75, y 120 días (**Tabla 30-3**), se obtuvo diferencias significativas a los 135 días el tratamiento goteo y aspersión obtuvieron el mayor promedio de diámetro de tallo, y el tratamiento gravedad el menor promedio de diámetro de tallo, siendo estadísticamente diferente de goteo y aspersión en contraste con ello, (Morales, A. et al., 2016 pág. 31) manifiesta que para plantas con un número de tallos de 1 a 3 el diámetro de tallos es de 13 mm. Además, resalta (Franco, 2018 pág. 2) que los sistemas presurizados de riego gracias a la alta

uniformidad en sus aplicación y eficiencia tiene un efecto positivo en factores de crecimiento de la planta; se explicaría la similitud en el diámetro de tallo a los 135 días alcanzado por los tratamientos aspersión y goteo siendo mayor con respecto al tratamiento gravedad.

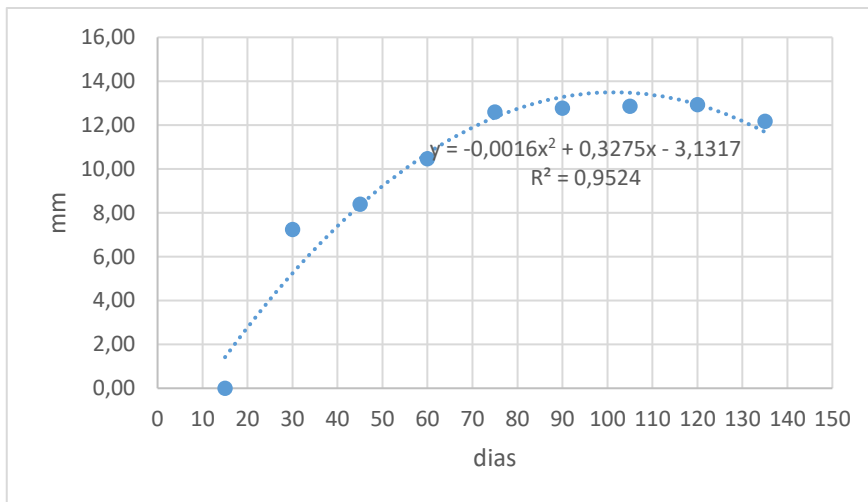


Gráfico 38-3: Diámetro de tallo durante el ciclo de cultivo tratamiento gravedad.

Elaborado por: Lema, C. 2020

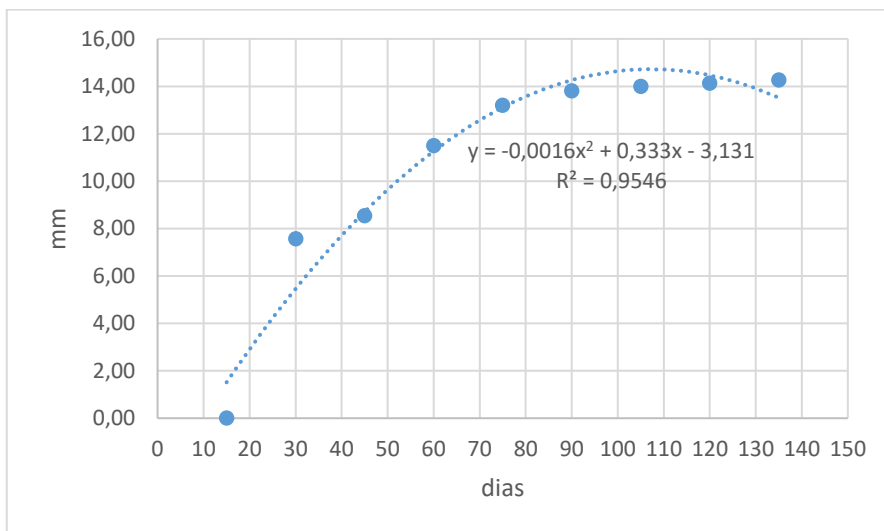


Gráfico 39-3: Diámetro de tallo durante el ciclo de cultivo tratamiento goteo.

Elaborado por: Lema, C. 2020

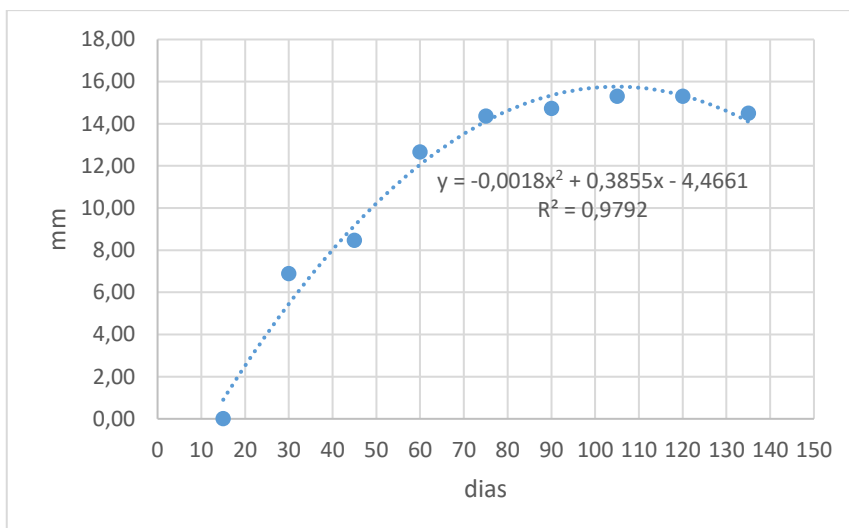


Gráfico 40-3: Diámetro de tallo durante el ciclo de cultivo tratamiento aspersión.

Elaborado por: Lema, C. 2020

En los **Gráficos 38-3, 39-3 y 40-3**, se observan las curvas del diámetro de tallo donde la tendencia es creciente en cada tratamiento durante el ciclo de cultivo. Compartiendo este comportamiento en los tres tratamientos, podemos observar la inclinación que sigue el desarrollo del diámetro del tallo al largo del ciclo de cultivo sin presentar una diferencia relevante en su coeficiente de determinación (r^2) al ajuste de los datos por parte de la línea polinomial. Para estudios de crecimiento vegetal según (Barrera, J. et al., S F pág. 6) se debe considerar curvas que se ajustan a modelos no lineales de tipo exponencial, sigmoideal, logístico y polinomial, modelo adecuado está determinado por el grado de ajuste del modelo (r^2).

3.9 Huella hídrica

El tratamiento goteo tiene la menor cantidad de consumo de agua por kg producido con 115 L/kg, seguido por el tratamiento aspersión con 143 L/kg, el tratamiento gravedad con el mayor consumo de agua por kg de papa, con 228 L/kg.

Existió similitud entre el consumo de agua del tratamiento aspersión y goteo, el tratamiento gravedad mostró casi el doble de consumo por kg producido con respecto a los demás tratamientos.

Tabla 31-3: Huella hídrica por tratamiento.

Método	Huella hídrica azul (L/kg)	Huella hídrica verde (L/kg)	Huella hídrica total (L/kg)
Gravedad	180	47	228
Goteo	75	39	115
Aspersión	95	47	143

Elaborado por: Lema, C. 2020

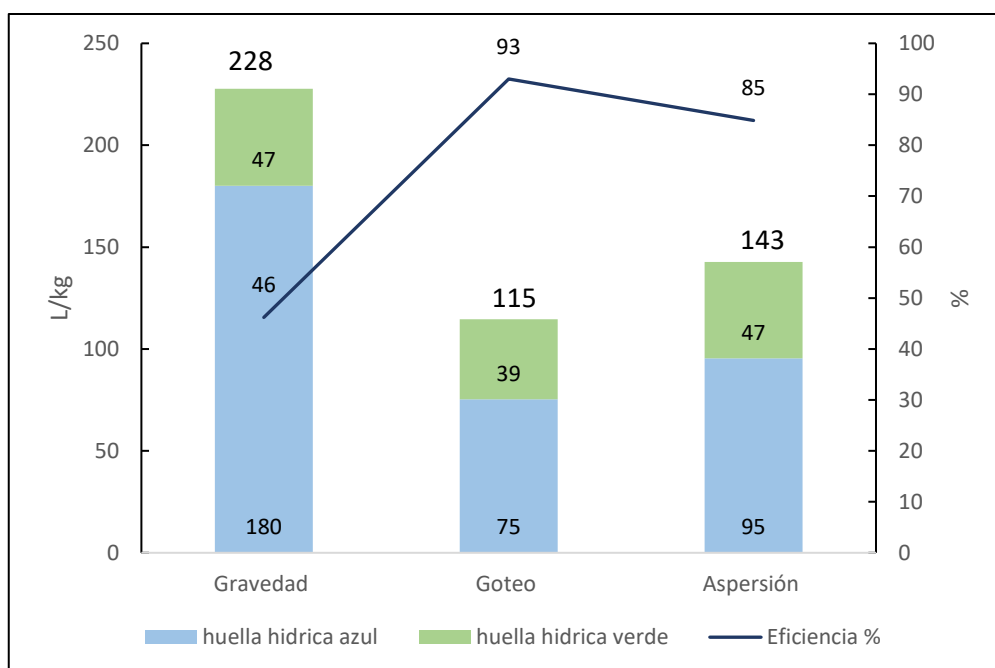


Gráfico 41-3: Comparación de huella hídrica entre tratamientos.

Elaborado por: Lema, C. 2020

Según estudios realizados en Ecuador, (Silva, 2015 pág. 78) en promedio nacional el cultivo de papa requiere 564 L/kg teniendo en cuenta el volumen aportado por el riego y por la precipitación efectiva, esta última siendo el 70 % del aporte total; si tomamos los aportes de riego (HH azul: 169,5L/kg) en contraste con la presente investigación muestra similitud con los datos obtenidos en la huella hídrica por gravedad como se ve en la **Gráfica 41-3** y **Tabla 31-3** ya que la precipitación en este caso aporta solo el 20% del total del volumen usado en el ciclo. La variabilidad de las condiciones climáticas como años secos y años húmedos has llevado justamente a que se considere la huella hídrica una herramienta para el estudio del efecto de estas variaciones según (Novoa, V. & Rojas, O., 2016).

La huella hídrica refleja la cantidad de agua usada y el rendimiento, por ello en el método goteo y aspersión obtuvieron una menor huella hídrica en referencia con el método gravedad tal como se ve en la **Gráfica 41-3**; de acuerdo con la investigación realizada por (Civit, B. et al., 2012 pág. 7), donde la huella hídrica por goteo es inferior al método gravedad y aspersión con eficiencias alcanzadas de 35% gravedad, 70 aspersión y 95 % en goteo, en efecto la eficiencia de los sistemas de riego son un factor importante con el cual posee relación directa, la cantidad de agua requerida por kilogramo producido determina la sostenibilidad con la que se manejan los recursos en situaciones locales, siendo el riego por goteo el de menor huella hídrica, concluye (Civit, B. et al., 2012 pág. 7).

3.10 Porcentaje de materia seca del tubérculo y contenido relativo de agua

Análisis de varianza para materia seca del tubérculo, no presentó diferencias significativas entre tratamientos. El promedio general de materia seca es de 24,05 % y un coeficiente de variación de 5,01 %

Tabla 32-3: Análisis de varianza para materia seca del tubérculo (%).

F.V.	SC	GL	CM	F	P-VALOR
Modelo	10,18	4	2,54	1,75	0,2999
Repeticiones	9,47	2	4,73	3,26	0,1445
Tratamientos	0,71	2	0,36	0,25	0,7931
Error	5,81	4	1,45		
Total	15,99	8			
Cv (%): 5,01					
Promedio: 24,05 %					

Elaborado por: Lema, C. 2020

El análisis de varianza no presentó diferencias significativas para el contenido relativo de agua, con un coeficiente de variación de 1.4 % y con un promedio de 77.18 %.

Tabla 33-3: Análisis de varianza para contenido relativo de agua (%).

F.V.	SC	GL	CM	F	P-VALOR
Modelo	18,86	4	4,72	4,04	0,1024
Repeticiones	11,76	2	5,88	5,04	0,0806
Tratamientos	7,10	2	3,55	3,04	0,1572
Error	4,66	4	1,17		
Total	23,53	8			
Cv(%): 1,4					
Promedio:77,18 %					

Elaborado por: Lema, C. 2020

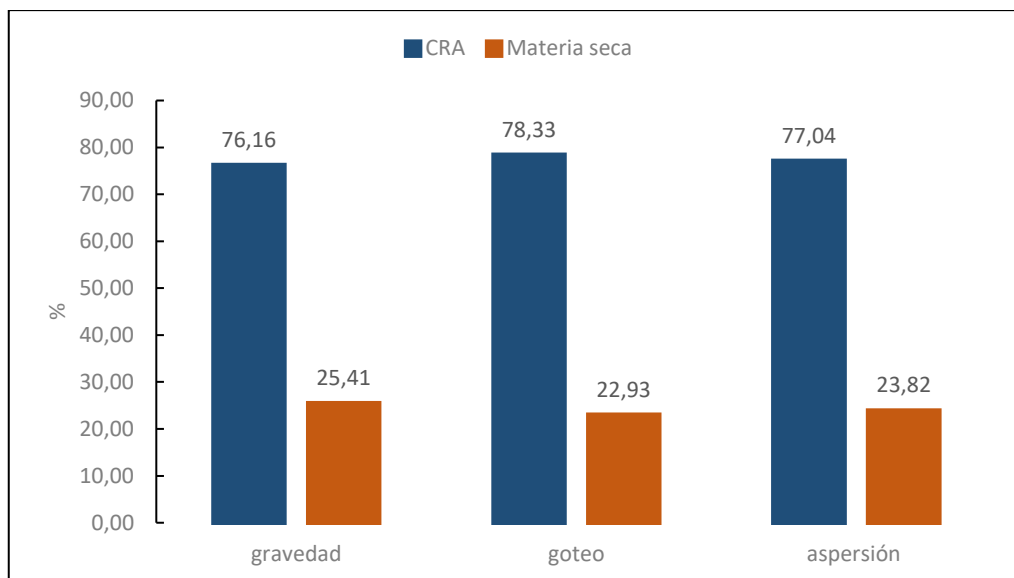


Gráfico 42-3: Materia seca del tubérculo y contenido relativo de agua por tratamiento.

Elaborado por: Lema, C. 2020

Según (INIAP, S F pág. 3) el nivel de materia seca que posee la variedad Fripapa es de 23,9 %, con respecto a esta característica los tres métodos de riego no mostraron diferencias estadísticas, con porcentajes de materia seca en promedio general de 24 ,05% como se ve en el **Grafico 42-3** , con respecto al contenido relativo de agua según (Isla, 2015 pág. 33) las plantas sin estrés hídrico poseen niveles alrededor 75 % y cuando son sometida a estrés bajan hasta un 57 % , siendo los resultados obtenidos un tanto superiores a los obtenidos en esta investigación con respecto al contenido relativo de agua de plantas sin estrés.

3.11 Estado hídrico de la planta

3.11.1 Cámara de Scholander PMS

En análisis de varianza muestra que para el estado hídrico de la planta mediante la cámara de Scholander no presentó diferencias significativas entre tratamientos, posee un coeficiente de variación de 5,56 % y el promedio general es de 7,28 bares.

Tabla 34-3: Análisis de varianza para estado hídrico de la planta medido por la cámara de Scholander.

F.V.	SC	GL	CM	F	P-VALOR
Modelo	1,43	4	0,36	2,18	0,2350
Repeticiones	0,46	2	0,23	1,41	0,3449
Tratamientos	0,97	2	0,48	2,95	0,1635
Error	0,66	4	0,16		
Total	<u>2,09</u>	<u>8</u>			
Cv(%): 5,56					
Promedio: 7,28 bar					

Elaborado por: Lema, C. 2020

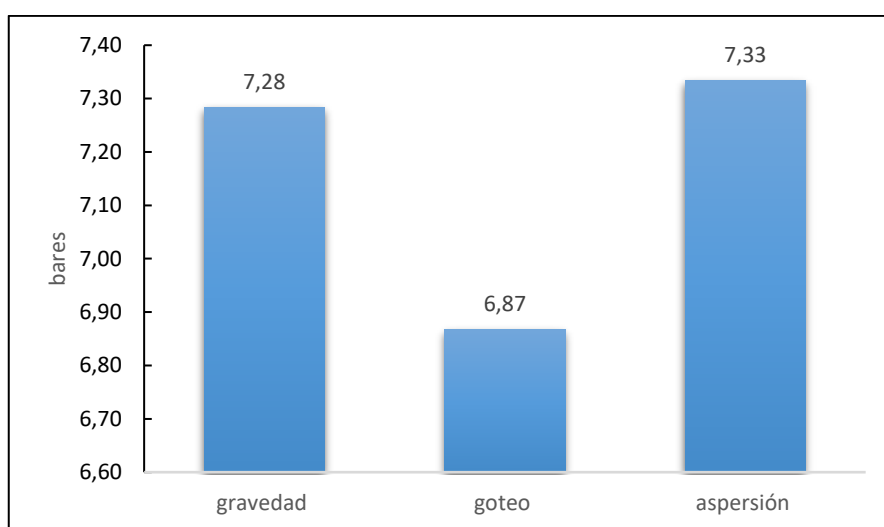


Gráfico 43-3: Estado hídrico de la planta mediante presión de Cámara de Scholander

Elaborado por: Lema, C. 2020

Como se observa en el **Gráfico 43-3** no existió una variación relevante en los datos de presión de la cámara de Scholander e interpretándolos (**ver Tabla 5-2**) se determina que la planta en los tres métodos de riego no experimentó estrés. Según (Figueredo, F. et al., 2018 pág. 6) en riego normal el estado hídrico de la planta de papa medido con la cámara de Scholander puede variar de 5,3 a 8,8 bares. Estos valores de presión si reflejan el estado hídrico de la planta, para interpretarlo como un estado perjudicial debe estar por encima de 14 bares en las lecturas de la cámara, según (Diaz, 2016 pág. 63) este parámetro es determinante en plantas sometidas a estrés, a mayor estrés el valor de potencial hídrico es mayor y dichos valores pueden ser diferentes entre variedades de papa.

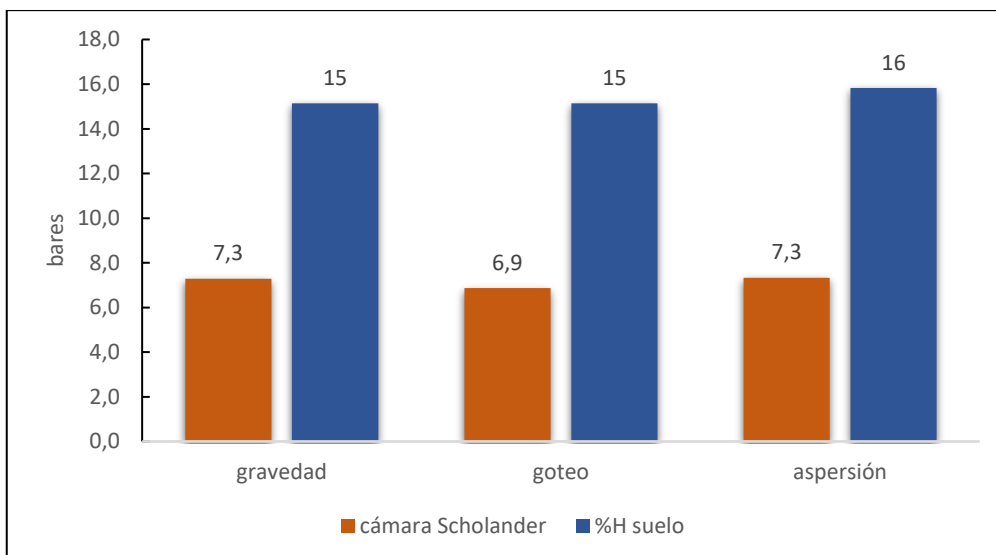


Gráfico 44-3: Niveles de humedad del suelo y presión de cámara de Scholander.

Elaborado por: Lema, C. 2020

En relación con la humedad del suelo las mediciones a través de la cámara de Scholander del potencial hídrico de las hojas determinó que no existió estrés hídrico, observamos el nivel de humedad del suelo que se mantiene a capacidad de campo y la respuesta de la cámara de Scholander a estos niveles de humedad manteniéndose alrededor de 7 bares como se observa en el **Gráfico 44-3**. Según (Mirras Avalos, J. et al., S F pág. 5) la existe una relación entre el contenido de humedad del suelo y en potencial hídrico de las hojas al menos hasta una profundidad de 60 cm, puede ser una buena alternativa para la gestión del riego.

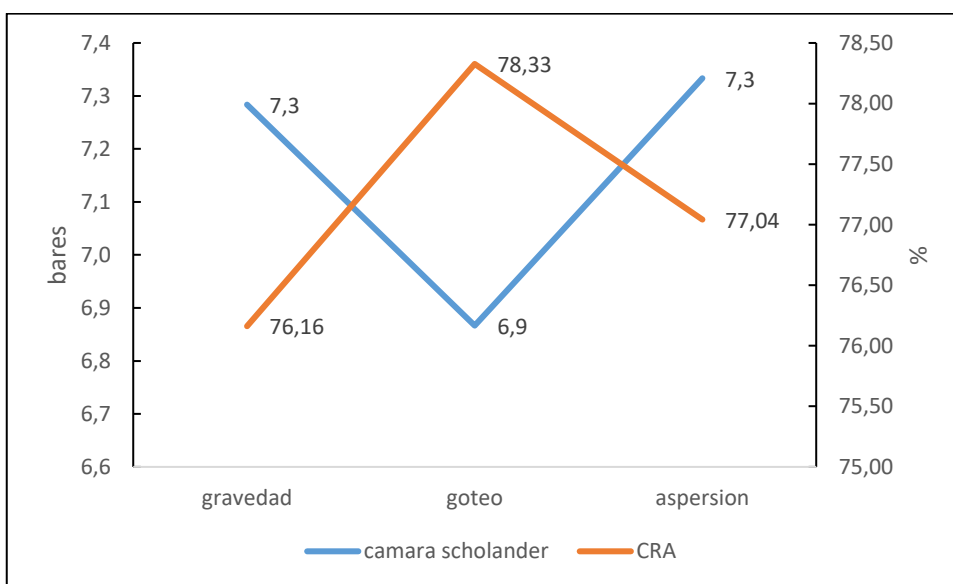


Gráfico 45-3: Cámara de Scholander y contenido relativo de agua entre tratamientos.

Elaborado por: Lema, C. 2020

En el **Gráfico 45-3** se observa la respuesta de la cámara de Scholander al contenido relativo de agua entre los tratamientos, donde a mayor contenido relativo de agua menor la presión dada por la cámara de Scholander marcando conforme aumenta y baja, un nivel del estado hídrico de la planta, (Argente, L. et al., 2006 pág. 3) nos menciona que el contenido relativo de agua se relaciona con el potencial hídrico porque este y sus componentes (potencial de presión y de solutos) son función del volumen de agua contenido en el protoplasma.

3.11.2 Conductancia estomática (Porómetro de hoja)

El análisis de varianza por la conductancia estomática no presentó diferencias estadísticas entre tratamientos, el promedio general de 505,57 mmol/m² s con un coeficiente de variación de 9,44 %.

Tabla 35-3: Análisis de varianza para estado hídrico medido a través de la conductancia estomática (porómetro de hoja).

F.V.	SC	GL	CM	F	P-VALOR
Modelo	3872,75	4	968,19	0,42	0,7901
Repeticiones	2315,43	2	1157,71	0,50	0,6397
Tratamientos	1557,33	2	778,66	0,34	0,7326
Error	9249,98	4	2312,50		
Total	13122,74	8			
Cv %: 9,44					
Promedio: 509,57					
mmol/m² s					

Elaborado por: Lema, C. 2020

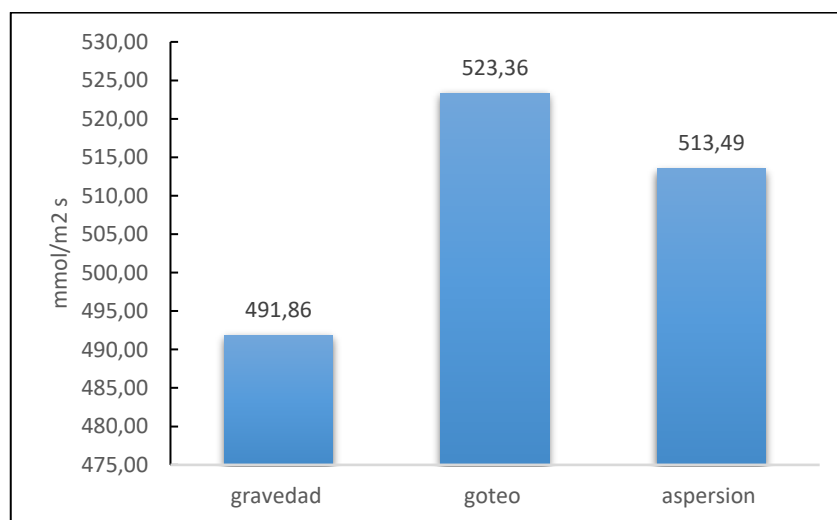


Gráfico 46-3: Estado hídrico mediante porómetro de hoja.

Elaborado por: Lema, C. 2020

Las mediciones realizadas en la investigación no presentó diferencias estadísticas entre los tratamientos con respecto al porómetro de hoja al igual que las evaluaciones realizadas con la cámara de Scholander, además de los valores medios obtenidos en cada tratamiento como se observa en la **Gráfica 46-3**, según (INIAP, 2018 págs. 118-122) los niveles de conductancia estomática determinados en 4 variedades distintas de papa donde los cultivos libre de estrés presentan conductancia de 730 mmol/ m² s a 995 mmol/ m² s concluyendo que cada variedad tiene una respuesta estomática distinta a las condiciones de humedad. Estos valores están por encima de los datos obtenidos en la investigación sin embargo puede deberse a la variedad y condiciones climáticas de la zona de estudio, ratificando esta mención al compararlos con la cámara de Scholander esta muestra un estado hídrico normal (**Ver Tabla 11-2**) siendo la cámara de Scholander una medición menos variable, según (Calderón, 2013) las medición de conductancia estomática está influenciada por el ambiente lo que le da cierto nivel de incertidumbre y se recomienda generar datos locales para obtener patrones de estados hídricos de la zona.

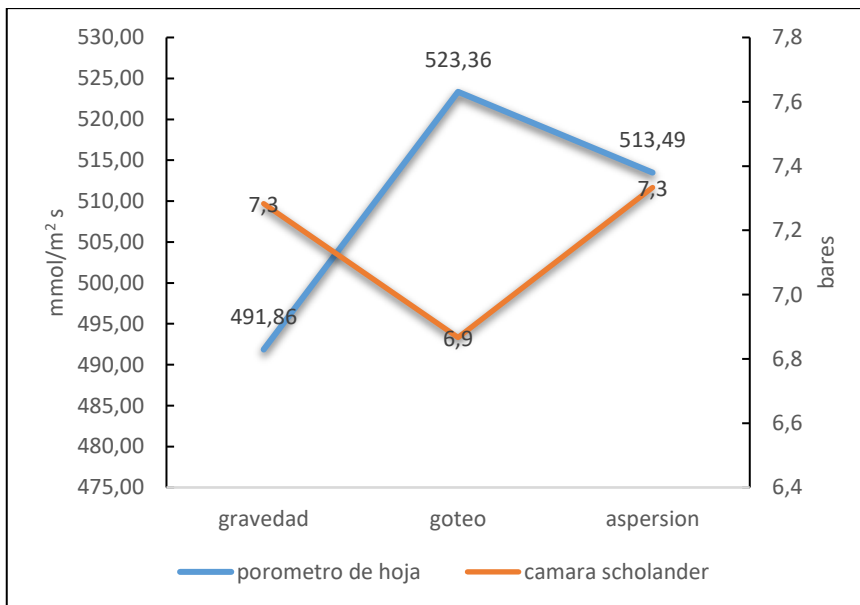


Gráfico 47-3: Estado hídrico medido por Porómetro de hoja y Cámara de Scholander.

Elaborado por: Lema, C. 2020

En el **Gráfico 47-3** se observa las medias obtenidas en las lecturas con el porómetro de hoja y con la cámara de Scholander entre los tratamientos. La conductancia estomática se presenta como un indicador de estrés hídrico, según (Calderón, 2013) junto a la cámara de Scholander son herramientas que determinan el estado hídrico de la planta, aunque las mediciones del porómetro de hoja son más rápidas y sencillas de llevar a cabo.

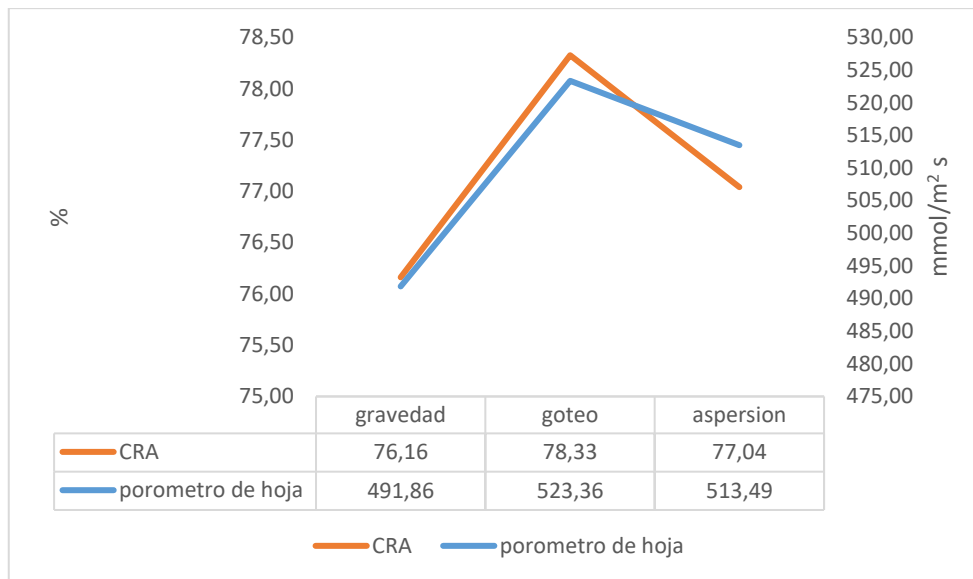


Gráfico 48-3: Contenido relativo de agua y porómetro de hoja.

Elaborado por: Lema, C. 2020

En el **Gráfico 48-3** se observa los niveles de conductividad estomática y el contenido relativo de agua entre los tratamientos estableciendo una comparación entre las lecturas dadas con notable similitud entre ambas con respecto al estado hídrico de la planta de los tratamientos. Según (Petillo, 2008 pág. 14) el porómetro de hoja presenta cierta incertidumbre en la veracidad de datos por la influencia del entorno en las mismas, y no es usado directamente para decisiones de riego; esta puede ser una alternativa viable si se lo usa en conjunto con otras técnicas de medición de estado hídrico para su corroboración y calibración en aspectos investigativos y de campo.

3.12 Rendimiento

3.12.1 Rendimiento por planta categoría primera.

Mediante el análisis de varianza para el rendimiento por planta, categoría primera mostró diferencias significativas entre tratamientos con un coeficiente de variación de 17,04 % y un promedio general de 0,76 kg.

Tabla 36-3: Análisis de varianza para el rendimiento por planta y categoría primera.

F.V.	SC	GL	CM	F	P-VALOR
Modelo	0,28	4	0,07	4,15	0,0985
Tratamientos	0,25	2	0,12	7,41	0,0452*
Repeticiones	0,03	2	0,01	0,89	0,4791
Error	0,07	4	0,02		
Total	0,34	8			
Cv(%): 17,04					
Promedio:0.76 kg					

Elaborado por: Lema, C. 2020

En la prueba de Tukey al 5 % el tratamiento goteo se ubica en el rango A, con mayor rendimiento por planta, categoría primera, con 0,97 kg, el método aspersión en rango AB con un rendimiento por planta de 0,74 kg y el método gravedad con 0,56 kg en la categoría B siendo la de menor rendimiento por planta.

Tabla 37-3: Prueba de Tukey al 5 % y comparación de medias para el rendimiento por planta, categoría primera.

Tratamientos	Medias	n	E.E.		
Goteo	0,97	3	0,07	A	
Aspersión	0,74	3	0,07	A	B
Gravedad	0,56	3	0,07		B

Elaborado por: Lema, C. 2020

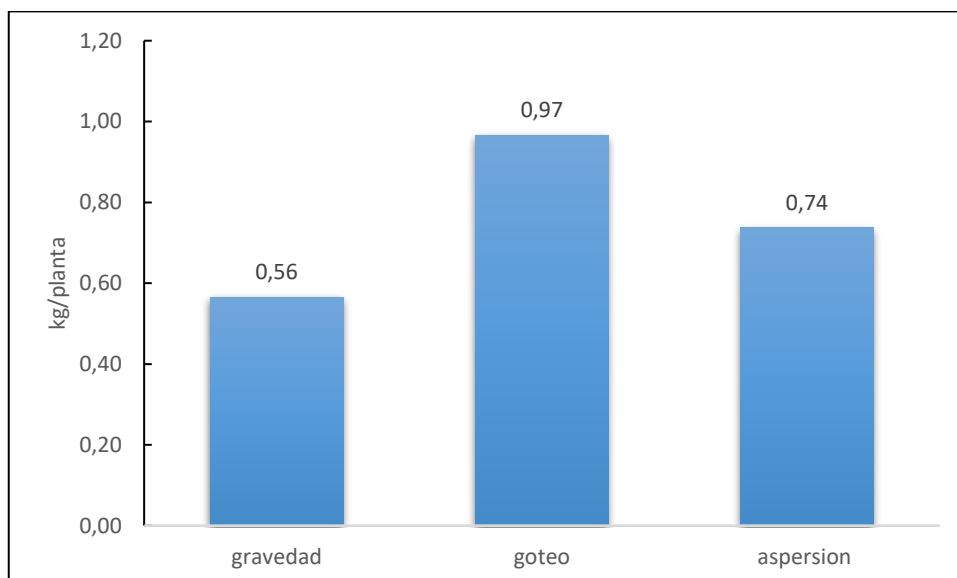


Gráfico 49-3: Rendimiento por planta entre tratamientos, categoría primera

Elaborado por: Lema, C. 2020

En el **Gráfico 49-3** observamos los rendimientos por planta por tratamiento en la categoría primera con diferencias significativas entre los tratamientos, para el tratamiento goteo 0,97 kg/planta con el mayor rendimiento en esta categoría seguida de aspersión con 0,74 kg/planta y con el menor rendimiento para gravedad con 0,56 kg/planta, los métodos y sus eficiencias de riego han demostrado tener efecto en el rendimiento por planta en esta categoría, sobre todo con respecto al tratamiento goteo y aspersión según (Berdugo, 2018) es importante la buena uniformidad en la humedad del suelo del cultivo ya que puede generar un problemas en el llenado del tubérculo ya que este periodo es crítico con respecto a las necesidades del cultivo de papa.

3.12.2 Rendimiento por planta categoría segunda

Mediante el análisis de varianza para el rendimiento por planta, categoría segunda presentó diferencias significativas entre tratamientos, con un coeficiente de variación de 19,75 % y un promedio de 0,52 kg.

Tabla 38-3: Análisis de varianza para el rendimiento por planta, categoría segunda.

F.V.	SC	GL	CM	F	P-VALOR
Modelo	0,23	4	0,06	5,45	0,0647
Tratamientos	0,21	2	0,11	10,33	0,0263*
Repeticiones	0,01	2	0,01	0,57	0,6060
Error	0,04	4	0,01		
Total	0,27	8			
Cv (%): 19,75					
Promedio:0,52 kg					

Elaborado por: Lema, C. 2020

En la prueba de Tukey al 5% se observa al método aspersión con el mayor rendimiento por planta en categoría segunda, con 0,73 kg en la categoría A, siendo diferente estadísticamente del tratamiento goteo con 0,43 kg y aspersión con 0,38 kg en la categoría B.

Tabla 39-3: Prueba de Tukey al 5 % y comparación de medias para rendimiento por planta, categoría segunda.

Tratamientos	Medias	n	E.E.	
Aspersión	0,73	3	0,06	A
Goteo	0,43	3	0,06	B
Gravedad	0,38	3	0,06	B

Elaborado por: Lema, C. 2020

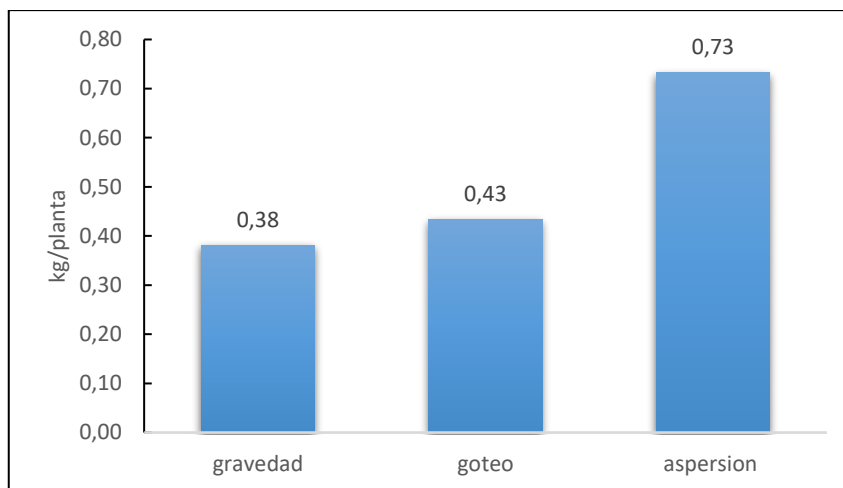


Gráfico 50-3: Rendimiento por planta entre tratamientos, categoría segunda.

Elaborado por: Lema, C. 2020

En el **Gráfico 50-3** observamos los rendimientos por planta en la categoría segunda, el mayor rendimiento es para aspersión con 0,73 kg/planta, siendo estadísticamente diferente de gravedad y goteo que obtuvieron un rendimiento similar de 0,38 kg/planta y 0,43 kg/planta respectivamente, como se observa en el gráfico anterior, los tratamientos aspersión seguido de goteo genera mayor rendimiento en categoría segunda por la mejor uniformidad y manejo que ambos métodos han demostrado tener al suministrar el agua al suelo del cultivo según (FAO, 2014 pág. 194) el rendimiento económico depende de la calidad del tubérculo y estos pueden ser afectados por un mal manejo del riego en su aplicación.

3.12.3 Rendimiento por planta categoría tercera

Mediante el análisis de varianza para el rendimiento, categoría tercera mostró diferencias estadísticas entre tratamientos con un coeficiente de variación de 22,09 % y un promedio general de 0,17 kg.

Tabla 40-3: Análisis de varianza para el rendimiento por planta, categoría tercera.

F.V.	SC	GL	CM	F	P-VALOR
Modelo	0,05	4	0,01	8,24	0,0326
Tratamientos	0,05	2	0,02	16,45	0,0117*
Repeticiones	6,7E-05	2	3,3E-05	0,02	0,9777
Error	0,01	4	1,5E-03		
Total	0,05	8			
Cv (%): 22,09					
Promedio: 0.17 kg					

Elaborado por: Lema, C. 2020

Según la prueba de Tukey al 5 % el método aspersión posee 0,27 kg ubicados en el rango A y siendo diferente estadísticamente de los métodos gravedad y aspersión, estos en la categoría B con 0,10 kg y 0,15 kg respectivamente.

Tabla 41-3: Prueba de Tukey al 5 % y comparación de medias para rendimiento por planta, categoría tercera.

Tratamientos	Medias	n	E.E.	
Aspersión	0,27	3	0,02	A
Gravedad	0,15	3	0,02	B
Goteo	0,10	3	0,02	B

Elaborado por: Lema, C. 2020

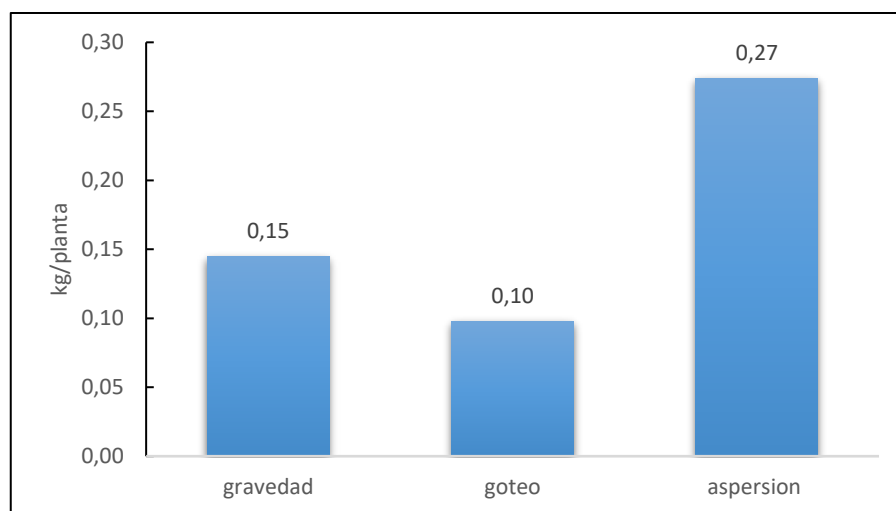


Gráfico 51-3: Rendimiento por planta entre tratamiento, categoría tercera.

Elaborado por: Lema, C. 2020

En el **Gráfico 51-3** se observan los rendimientos por planta para la categoría tercera, el tratamiento aspersión con el mayor rendimiento por planta y los menores rendimientos para gravedad y goteo, los rendimientos en esta categoría son de por sí bajos con respecto a las categorías primera y segunda, según lo mencionado por (INIAP, 1995 pág. 4) el rendimiento por planta de la variedad fripapa puede alcanzar hasta 2,3 kg/planta, gran fracción de ese rendimiento represente en las primeras categorías y una pequeña porción para la categoría tercera.

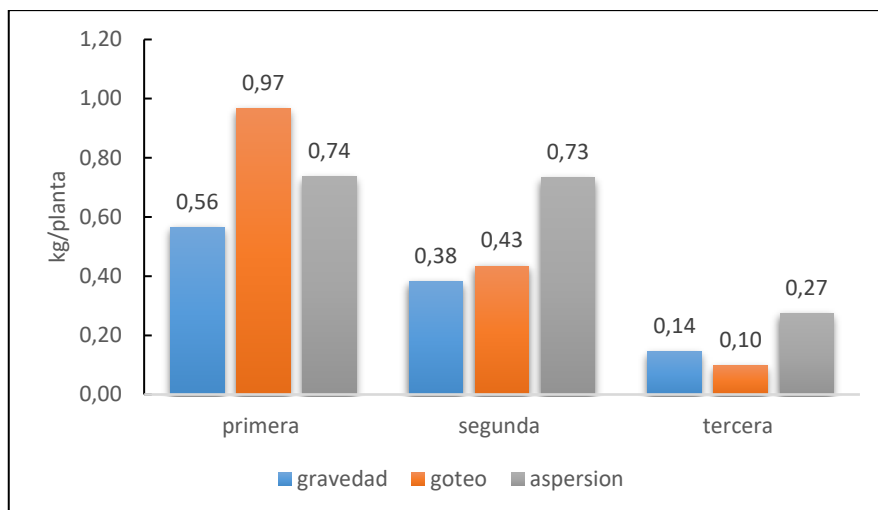


Gráfico 52-3: Rendimiento por planta por categoría.

Elaborado por: Lema, C.

En el **Gráfico 52-3** se observa los rendimientos en peso alcanzados en cada una de las categorías y en cada método de riego, en las tres categorías evaluadas se obtuvo diferencias significativas, obteniendo en la categoría primera el mejor rendimiento por planta para el tratamiento goteo. En la categoría segunda el tratamiento aspersion obtuvo el mejor rendimiento con respecto a goteo y gravedad ; en la categoría tercera el tratamiento aspersion obtuvo también el mejor rendimiento por planta con respecto a goteo y gravedad, obteniendo resultados similares a (Alvarez, 2013 pág. 40) en sus observaciones el método goteo obtiene mejores rendimiento seguido del método aspersion y el método gravedad con los menores rendimiento por planta.

En todos los casos si observamos la **Gráfica 52-3** los mayores rendimientos se obtienen en las primeras categorías, siendo la categoría tercera menor parte del rendimiento de la planta. Según (INIAP, 1995 pág. 4) en promedio la fripapa puede alcanzar hasta 2,3 kg por planta de rendimiento donde aproximadamente gran parte de este peso van a estar en las categorías primera y segunda.

3.12.4 Rendimiento por parcela neta

En el análisis de varianza para el rendimiento en parcela neta mostró diferencias significativas entre tratamientos con un coeficiente de variación de 4,01 y un promedio general de 249,14 kg.

Tabla 42-3: Análisis de varianza para el rendimiento en parcela neta.

F.V.	SC	GL	CM	F	P-VALOR
Modelo	3398,22	4	849,56	8,52	0,0308
Repeticiones	58,11	2	29,05	0,29	0,7619
Tratamientos	3340,12	2	1670,06	16,74	0,0114*
Error	398,99	4	99,75		
Total	3797,22	8			
Cv(%): 4,01					
Promedio: 249,14 kg					

Elaborado por: Lema, C. 2020

En la prueba de Tukey 5% para el rendimiento por parcela neta en el tratamiento goteo se encuentra en el rango A con un rendimiento de 272,17 kg el tratamiento gravedad se encuentra en el rango B con rendimiento 225,02 kg y compartiendo categorías A Y B el tratamiento aspersión con 250,24 kg.

Tabla 43-3: Promedio y prueba de Tukey 5% para rendimientos por parcela neta.

Tratamientos	Medias(kg)	n	E.E.		
Goteo	272,17	3	5,77	A	
Aspersión	250,24	3	5,77	A	B
Gravedad	225,02	3	5,77		B

Elaborado por: Lema, C. 2020

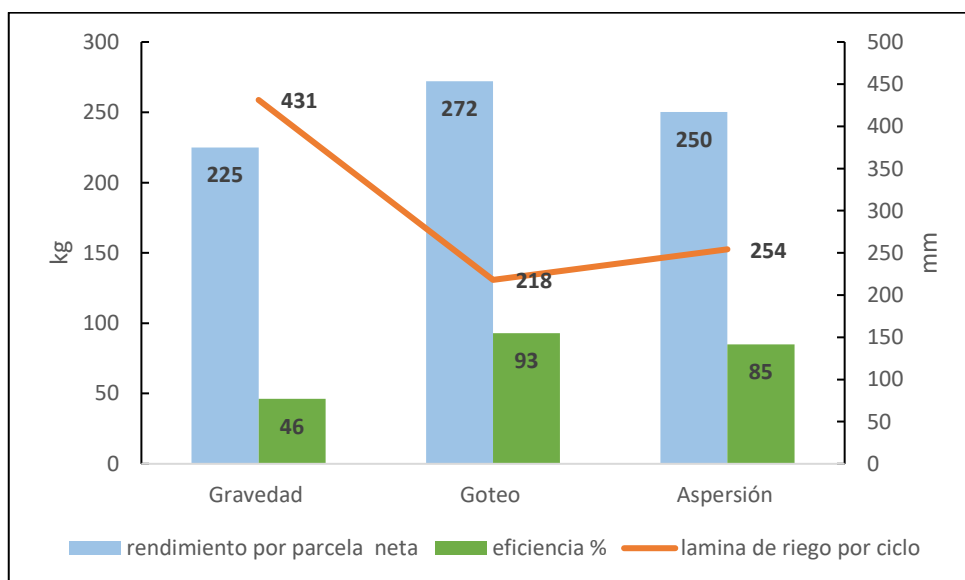


Gráfico 53-3: Rendimiento por parcela neta, lámina aplicada y eficiencia por tratamiento.

Elaborado por: Lema, C. 2020

Como se observa en el **Gráfico 53-3** el tratamiento goteo obtuvo el mayor rendimiento además del menor gasto de agua para la producción a lo largo del ciclo. La diferencia entre el tratamiento gravedad que presentó un 17,3 % por debajo del rendimiento del tratamiento goteo, en contraste con (Alvarez, 2013 pág. 53) donde la diferencia de rendimiento entre gravedad y goteo fue de 23.8 % teniendo un rendimiento mucho menor el método gravedad, y entre los método aspersión y gravedad no presentó diferencias significativas, posiblemente por las diferencias climáticas sin embargo remarca la significativa diferencia de rendimiento en el método goteo.

Con el tratamiento aspersión se obtiene un 8 % menos que el método goteo. Según (Calderón, J. et al., 2016 pág. 36), donde se investigó numerosas variedades de papa incluida la variedad fripapa dieron como resultado una diferencia global de rendimiento entre goteo y aspersión de 9.5 % favorable al método goteo.

3.13 Relación costo - beneficio.

De acuerdo a la relación costo/beneficio el método gravedad 1,10 obteniendo 0,10 dólares por cada dólar invertido, en el caso del método goteo se tiene que se recupera 0,85 dólares de un dólar invertido, en el método aspersión se tiene una recuperación de 0,85 dólares del dólar invertido.

Como se muestra en la **Tabla 44-3** en términos de rentabilidad el método gravedad obtiene una devolución del a inversión más un 10 % de ganancia, los demás métodos no obtienen ganancias por cada dólar invertido, determinándose como no rentable. Los ingresos se los realizaron con los precios actuales del mercado, pudiendo ser rentable a precios de venta más elevados para una recuperación de capital en una primera venta.

Tabla 44-3: Relación costo - beneficio

	Gasto total \$	Ingreso total \$	Índice neto de rentabilidad
Gravedad	1063,506	1168	1,10
Goteo	1685,75	1430	0,85
Aspersión	1446,15	1227	0,85

Elaborado por: Lema, C. 2020

CONCLUSIONES

- La eficiencia de aplicación de riego en goteo fue de 93 %, aspersión 85 % y gravedad 46 %.
- El coeficiente de cultivo (K_c) presentó similitud en sus valores de K_c entre los métodos de riego.
- Las láminas de riego obtenidas al finalizar el ciclo productivo de la papa en los tratamientos goteo, aspersión y gravedad fueron de 218 mm; 254 mm y 431 mm respectivamente, en consecuencia, el método goteo obtiene un ahorro hídrico de 49,4 % con respecto a gravedad y un ahorro del 14.2 % con respecto a aspersión.
- En los parámetros biométricos se presentó un mayor desarrollo en el número de hojas en los tratamientos goteo y aspersión, y un mayor desarrollo en la altura de planta en el tratamiento aspersión seguida de goteo, lo mismo para el diámetro de tallo siendo el tratamiento aspersión y goteo los que obtuvieron mayor desarrollo, en general los métodos de riego presurizados fueron los que presentaron los mejores resultados en los parámetros de crecimiento estudiados.
- Los métodos de riego no presentaron diferencias estadísticas en el estado hídrico de la planta en ninguna de las formas de medición estudiadas (conductancia estomática, potencial hídrico, contenido relativo de agua).
- En el contenido de materia seca, no presentaron diferencias estadísticas obteniendo valores similares para los tres tratamientos.
- El mayor rendimiento en la categoría primera fue de 0,97 kg/planta en el tratamiento goteo, en la categoría segunda y tercera el mayor rendimiento fue de 0,73 kg/ y 0,27 kg/planta respectivamente en el tratamiento aspersión.
- El mayor rendimiento por parcela neta fue para goteo fue de 17,3 % mayor a gravedad y un 8 % mayor a aspersión, con 28 ton/ha goteo, 26 ton/ha aspersión y 23 ton/ha gravedad.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar evaluaciones de conductividad estomática en relación al tiempo y temperatura ajustados a modelos de curva con lecturas de datos más frecuentes.

GLOSARIO

Lámina de riego: Espesor de la capa de agua con que una superficie de tierra, supuestamente a nivel, quedaría cubierta por un volumen de agua. (Cisneros, 2003)

Agua disponible: El agua disponible para las plantas se considerada aquella retenida entre la capacidad de campo y marchitez permanente. (León, 2012)

Infiltración: Cantidad de agua que penetra en el perfil de suelo en un intervalo dado de tiempo. (León, 2012)

Escorrentía: El agua que queda fuera del área de riego, generalmente cae en los desagües o inunda caminos. (Cisneros, 2003)

Evaporación: Es cuando parte del agua existente en el suelo se pierde por evaporación directa a través de la superficie del suelo. (León, 2012)

Traspiración: Se refiere a la evaporación de agua del suelo a través de los tejidos de la planta. (León, 2012)

Evapotranspiración: Es la cantidad de agua que requieren las plantas para llevar a cabo todas sus funciones de transpiración además del agua que se evapora de la superficie del suelo. (Cisneros, 2003)

Eficiencia de riego: Es la cantidad de agua para el cultivo que queda en el suelo después de un riego, en relación al total del agua que se aplicó. (Cisneros, 2003)

Uniformidad de distribución: Relacionado con el grado de uniformidad en la aplicación del agua sobre el área irrigada, dependiendo del método utilizado, se obtiene una buena o mala distribución del agua en el área regada; lo que significa que cada punto o sitio de dicha área no recibe la misma cantidad de agua. (FAO, 2006)

Conductancia estomática: Es el nivel de traspiración de la planta relacionado con la apertura de las estomas. (Calderón, 2013)

Potencial hídrico: Potencial de agua de la hoja, siendo la presión con la que el agua se encuentra en la xilema de la hoja. (MMMTECH, S F)

BIBLIOGRAFÍA

Aclimatecolombia. *Que es la huella hídrica* [blog]. Colombia, 2014. [Citado el: 10 de marzo de 2020] disponible en: <http://www.aclimatecolombia.org/huella-hidrica/>

Agriculturers. *Riego por surcos* [blog]. 2017. [Citado el: 14 de agosto de 2020.]. Disponible en: <https://agriculturers.com/riego-por-surcos/>

Almeida, J. et al. "Comparación de la biomasa de dos cultivares de papa (*Solanum tuberosum* L.) de distintos orígenes, plantados en chirgua, estado carabobo, venezuela". *UDO Agrícola* [En línea], 2013, (Venezuela) 13 (1), pp 39-49. [Citado el: 25 de marzo de 2020]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6055497.pdf>

Alvarez, J. "Producción de papa (*Solanum tuberosum* L) variedad fripapa bajo tres sistemas de riego" [En línea] (Trabajo de titulación). Universidad Técnica Estatal De Quevedo, Ecuador. 2013. [Citado el: 11 de junio de 2020]. Disponible en: <http://repositorio.uteq.edu.ec/jspui/bitstream/43000/549/1/T-UTEQ-0084.pdf>

Antúñez, A. et al. "Eficiencia en sistema de riego por goteo en secano". *INIA Tierra Adentro* [En línea], 2010, (Chile) 1, pp. 40-43. [Citado el: 25 de marzo de 2019]. Disponible en: https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2014/06/EFICIENCIA_EN_SISTEMAS_DE_RIEGO.pdf

Antuñez, A. et al. "Eficiencia de riego en sistemas localizados". [En línea]. [Citado el: 25 de marzo de 2020.] <http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR36474.pdf>

Argente, L. et al. 2006. "Comportamiento del contenido relativo de agua y la concentración de pigmentos fotosintéticos de variedades de trigo cultivadas en condiciones de salinidad". *Cultivos Tropicales* [En línea], 2006, (Cuba) 13(3), pp. 49-53. [Citado el: 14 de marzo de 2019]. ISSN 0258-5936. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/237028256_COMPORTAMIENTO_DEL_CONTENIDO_RELATIVO_DE_AGUA_Y_LA_CONCENTRACION_DE_PIGMENTOS_FOTOSINTETICOS_DE_VARIEDADES_DE_TRIGO_CULTIVADAS_EN_CONDICIONES_DE_SALINIDAD

Banco Mundial. *El riego tecnificado, una opción que mejora la calidad de vida de los pequeños y medianos agricultores en Ecuador* [blog]. Ecuador 2017. [Citado el: 25 de marzo de 2019.] <http://www.bancomundial.org/es/news/feature/2017/05/04/riego-tecnificado-ecuador>

Barrera, J. et al. "Análisis de crecimiento en plantas". *Experimentos De Fisiología Y Bioquímica Vegetal* [En línea]. 2010, (Colombia) pp. 25-38. [Citado el: 22 de agosto de 2020]. ISSN 9587196686. Disponible en:

https://www.researchgate.net/publication/258627338_ANALISIS_DE_CRECIMIENTO_EN_PLANTAS

Berdugo, F. *Las 5 claves de éxito en el cultivo de la papa* [blog]. Colombia, 18 de agosto, 2018. [Citado el: 11 de agosto de 2020]. Disponible en: <https://www.argenpapa.com.ar/noticia/6300-colombia-las-5-claves-de-exito-en-el-cultivo-de-la-papa>

Bonierbale, M. et al. *Procedimientos para ensayos de evaluación estándar de clones avanzados de papa* [En línea]. Lima-Peru: CIP, 2007. [citado el: 11 de agosto de 2020]. ISBN 9789290603818 Disponible en: <https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/73221>

Calderón, A. *Uso del porómetro para medir estrés hídrico en vides* [blog]. Portal Fritícola, 13 de mayo, 2013. [Citado el: 22 de junio de 2020]. Disponible en: <https://www.portalfruticola.com/noticias/2013/05/13/columna-uso-del-porometro-para-medir-estres-hidrico-en-vides/>

Calderón, J. et al. "Evaluación de métodos de riego tecnificado en variedades industriales de papa en el centro de innovación iniaf, municipio zudañez, departamento chuquisaca". INFO-INIAF [En línea], 2016, (Bolivia) 1(7), pp. 30-39. [Citado el: 4 de agosto de 2020]. ISSN 2308-250X. Disponible en: http://www.revistasbolivianas.org.bo/scielo.php?pid=S2308-250X2016000100006&script=sci_arttext

CANABIO. "Solanum tuberosum". *Edible Medicinal and Non-Medicinal Plants* [En línea], 2008, (México) pp. 12-93. [Citado el: 1 agosto de 2020]. http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/bioseguridad/pdf/20914_sg7.pdf

Carrazón, A. "Manual práctico para el diseño de sistemas miniriego". *Programa Especial para la Seguridad Alimentaria* [En línea], 2007, (Honduras). [Citado el: 5 de agosto de 2020]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-at787s.pdf>

Cenicaña. *Riego por aspersión* [blog], 17 de marzo, 2015. Disponible en: <https://www.cenicana.org/riego-por-aspersion/>

CENTA. *Guía técnica: cultivo de papa* [En línea]. Arce-El salvador, 2002. [Citado el: 15 de octubre de 2019]. Disponible en: <http://www.centa.gob.sv/docs/guias/hortalizas/Guia%20Papa.pdf>

Cisneros, R. *Apuntes de la materia de riegos y drenajes*. [En línea]. San Luis Potosi-Mexico: Universidad Autónoma De San Luis Potosi, 2003. [Citado el: 27 de marzo de 2019.] <http://www.ingenieria.uaslp.mx/Documents/Apuntes/Riego%20y%20Drenaje.pdf>

CITRA. "Cámara de presión". *Proyecto SEPOR* [En línea], (Chile) 2017. [citado el: 3 noviembre de 2020]. Disponible en: <http://agriculturers.com/wp->

content/uploads/2017/11/S116_Cartilla_Uso_de_la_cAmara_de_presiOn_para_el_monitoreo_d
el_estado_hIdrico_de_plantas.pdf

Civit, B. et al. "Indicadores de sostenibilidad, huella de carbono y huella hídrica de un viñedo considerando distintos métodos de riego en Mendoza , Argentina". *Enoviticultura* [En línea], 2012. (Argentina) 14, pp. 2-9 [Citado el: 15 de marzo de 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/282015490_Indicadores_de_sostenibilidad_Huella_de_carbono_y_huella_hidrica_de_un_vinedo

Coello, C. Analisis de métodos de estimación de la conductividad hidráulica saturada en los suelos degradados [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad De Cuenca, Cuenca, Ecuador. 2005. pp. 12. [citado el: 15 marzo de 2020]. Disponible en: <http://www.secsuelo.org/wp-content/uploads/2015/06/8.-Analisis-de-etodos.pdf>

Comina, P. & Montesdeoca, F. "Evaluación de dos métodos de riego y dos niveles de fertilización química en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) para la producción de tubérculo-semilla a partir de brotes". *Revista Informativa INIAP* [En línea], 2008, (Ecuador) pp. 1-9, [Citado el: 2 junio de 2020]. Disponible en: <http://www.secsuelo.org/wp-content/uploads/2015/06/11.-Paul-Comina.-Riego.pdf>

Cueva, K. & Groten, U. "Saberes y prácticas andinas". *Ecociencia* [En línea], 2010, (Ecuador) pp. 1-12 [Citado el: 8 de marzo de 2020]. ISBN 9942-9984-0. Disponible en: <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/49509.pdf>

De la Rosa, B. et al. "Determinación de materia seca en pastos y forrajes a partir de la temperatura de secado". *Pastos* [En línea], 2002, (España) 32 (1), pp. 91-104. [citado el: 5 de marzo del 2020]. ISSN 0210-1270. Disponible en: <http://polired.upm.es/index.php/pastos/article/download/1308/1312>

Demin, P. "Aportes para el mejoramiento del manejo de los sistemas de riego". *INTA* [En línea], 2014, (Argentina) pp. 1-24. [citado el: 2 de noviembre del 2019]. ISBN 978-987-521-512-2. Disponible en: https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_aportes_para_el_mejoramiento_del_manejo_de_los_sistemas_de_riego.pdf

Diaz, P. Evaluación de la tolerancia al estrés hídrico en genotipos de papa criolla (*Solanum phureja* Juz et Buk) [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad De Colombia, Facultad De Ciencias Agrarias, Departamento De Ciencias Agronomicas. (Medellin-Colombia). 2016. pp. 63. [Citado el: 14 de junio de 2020]. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/77278378.pdf>

Edmundo, A. "Riego por goteo". *CENTA* [En línea], 2013, (El Salvador) [Citado el: 12 noviembre del 2019]. Disponible en: <http://www.centa.gob.sv/docs/guias/riego/Riego%20por%20goteo.pdf>

Espin, R.. Evaluación de diferentes niveles de fertilización foliar agro hormonas en la producción de primaria forrajera de alfalfa en la estación experimental Tunshi [En línea] (Trabajo de titulación). Escuela Superior Politécnica De Chimborazo, Facultad De Recursos Naturales, Escuela Ingeniería Agronómica. (Riobamba-Ecuador). 2011. pp. 41-42. [citado el: 25 agosto del 2019]. Disponible en: <http://dspace.espech.edu.ec/bitstream/123456789/1559/1/17T01060.pdf>.

Falco, J. et al. "Ley de crecimiento de un árbol. Análisis gráfico de resultados experimentales". *Universidad De San Andres* [En línea], 2001, (Argentina) pp. 1-4. [Citado el: 25 de marzo de 2020]. disponible en: <http://profesores.dcb.unam.mx/users/gustavorb/Ley%20Crecimiento%20Arbol.pdf>

FAO. *Uso de agua en riego* [blog]. Italia: AQUASAT, 2016. [Citado el: 20 de marzo de 2019]. Disponible en: http://www.fao.org/nr/water/aquastat/water_use_agr/indexesp.stm

FAO. *El agua y la agricultura*. [blog]. Italia: 13 de junio, 2002. [Citado el: 20 de marzo de 2019]. Disponible en: <http://www.fao.org/WorldFoodSummit/sideevents/papers/Y6899S.htm>

FAO. "Agua en las nubes". *AQUASAT* [En línea], 2014, pp. 1-6. [Citado el: 25 de marzo de 2019]. Disponible en: <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/didyouknow/indexesp3.stm>

FAO. "Diseño de metodos de riego". [En línea], 2006, (Italia) pp. 1-15. [Citado el: 1 de abril de 2019]. Disponible en: http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP_FaoRlc/old/prior/recnat/pdf/MR_cap3.PDF.FA

FAO. "Manual de riego parcelario". [En línea] 2001, (Chile) pp. 1-12 [Citado el: 2 de abril de 2019]. Disponible en: http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP_FaoRlc/old/prior/recnat/pdf/MR_cap2.PDF

FAO. "Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua". [En línea] 2014, (Italia) 66, pp. 194. [Citado el: 22 de junio de 2020]. ISSN 0254-5284. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i2800s.pdf>

FAO. *Año internacional de la papa: La papa y los recursos hidricos* [blog]. Italia: 2008. [Citado el: 27 de febrero de 2020]. Disponible en: <http://www.fao.org/potato-2008/es/lapapa/agua.html>

FAO Evapotranspiración de cultivo. [En línea] 2006, (Italia) 56, pp. 56-109. [Citado el: 23 de noviembre de 2020]. ISSN 0254-5293. Disponible en: <http://www.fao.org/3/x0490s/x0490s00.htm>

Fernández, D. et al. 2010. "Estimacion Demandas Consumo de agua". Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación [En línea], 2010, (Mexico) pp. 15. [Citado el: 19 23 de noviembre de 2020]. Disponible en: <http://www.campopotosino.gob.mx/index.php/biblioteca-digital/category/240-archivos?download=3889:estimacion-demandas-consumo-de-agua>

Fernández, R. et al. *Manual de Riego para Agricultores* [En línea]. Sevilla-España: Signatura Ediciones de Andalucía S.L., 2010. [citado el: 3 de noviembre 2019]. ISBN 978-84-8474-134-3. Disponible en: https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/1337160240Riego_por_aspersixn.pdf

Figueredo, F. et al. "Riego deficitario controlado mediante sensores en tres variedades de papa (*solanum tuberosum*) en la estación experimental choquenaira". *Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales* [En línea], 2018, (Bolivia) 5(2), pp. 7-15. [Citado el: 4 de agosto de 2020]. ISSN: 2518-6868. Disponible en: http://www.scielo.org.bo/pdf/rriarn/v5n2/v5n2_a03.pdf

Flores, H. et al. "Predicción fenológica del cultivo de papa mediante tiempo térmico". *Revista Fitotecnia Mexicana* [En línea], 2014, (Mexico) 37 (2), pp. 149-157. [Citado el: 5 de marzo de 2019]. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802014000200006

Franco, V. Evaluación de la eficiencia del método de riego por goteo [En línea] (Trabajo de titulación). Universidad Técnica De Ambato, Facultad De Ciencias Agropecuarias, Carrera De Ingeniería Agronómica, Cevallos-Ecuador. 2018. pp. 1-2 [Citado el: 24 de agosto de 2020]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/27290/1/Tesis-191%20%20Ingenier%C3%ADa%20Agron%C3%B3mica%20-CD%20563.pdf>

García, J. 2006. *La observación fenológica en agrometeorología y climatología* [blog]. España: Meteored, 14 de noviembre, 2006. [citado el: 22 octubre 2020]. Disponible en: <https://www.tiempo.com/ram/2764/la-observacin-fenolgica-en-agrometeorologa-y-climatologa/>.

García, M. "Eficiencia del riego". *Universidad De La Republica* [En línea], (Uruguay) 2009, pp. 1-35. [Citado el: 2 de abril de 2019]. Disponible en: <http://www.fagro.edu.uy/~hidrologia/riego/EFICIENCIA.pdf>

García, M. et al. "Metodología para determinar los parámetros hídricos de un suelo a campo". *Universidad De La Republica* [En línea], (Uruguay) 2012, pp. 1-10. [Citado el: 2 de abril de 2019]. Disponible en: <http://www.fagro.edu.uy/~hidrologia/riego/Metodologia%20para%20determinar%20los%20parámetros%20hidricos%20de%20un%20suelo%20a%20campo.pdf>

Gurovich, L. 2017. *Sondas de conductancia estomática en tiempo real* [blog]. Chile: *Redagricola*, febrero, 2017. [Citado el: 22 de octubre de 2020]. Disponible en: <https://www.redagricola.com/cl/sondas-conductancia-estomatica-tiempo-real/>

Gutierrez, J. et al. "Fenología de la papa (*Solanum tuberosum* L.) y su relación con la temperatura en lipingue (decima region, chile)". *Ciencia e Investigación Agraria* [En línea], 1979, (Chile) 12 (2), pp. 137-142. [citado el: 20 octubre de 2020]. ISSN 2452-5731. Disponible en: <https://ecolyma.cl/documentos/fenologia-papa-temperatura-1985.pdf>

hidroponia mx. *Riego tecnificado* [blog]. 9 de abril, 2015. [Citado el: 2 abril 2019]. Disponible en: hidroponia.mx/que-es-el-riego-tecnificado/

Higuera, C. & Jaimes, O. Evaluación de indicadores de huella hídrica en la producción de un cultivo de cebolla de bulbo y papa en los municipios de Duitama y Samacá Boyacá (Trabajo de titulación. [En línea]. Universidad Católica De Colombia, Facultad De Ingeniería, Bogotá-Colombia. 2019. pp. 46-49. [Citado el: 3 de abril de 2019]. Disponible en: https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/24084/1/1.%20Trabajo%20de%20Grado%20Higuera_Jaimes.pdf

IFAPA. "Boletín Trimestral de información al regante n 10". *Sistema de Asistencia al Regante de Andalucía* [En línea], 2009, (España) 10, pp. 1-12 [Citado el: 3 de enero de 2020]. ISSN 1886-3906. Disponible en: <https://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/ifapa/-/action/90004fc0-93fe-11df-8d8b-f26108bf46ad/e5747030-1bb8-11df-b7e2-35c8dbbe5a83/es/02f9e190-faff-11e0-929f-f77205134944/alfrescoDocument?i3pn=contenidoAlf&i3pt=S&i3l=es&i3d=e5747030-1bb8-11df-b7e2>

INEC. "Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua". *INEC* [En línea], 2017, (Ecuador) pp. 8-21. [Citado el: 20 de marzo de 2019]. Disponible en: http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac_2017/Presentacion_Principales_Resultados_ESPA_C_2017.pdf

INEC. "Módulo de Tecnificación Agropecuaria". *INEC* [En línea], 2017, (Ecuador) pp. 10 [Citado el: 29 de marzo de 2019]. Disponible en: http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Informacion_ambiental_en_la_agricultura/2017/Principales_resultados_2017.pdf

INIA. "Riego por surcos". *La Platina* [En línea], 1982, (Chile) 14, pp. 45-47. [Citado el: 2 de abril de 2019]. Disponible en: <http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/IPA/NR11857.pdf>

INIA. "Convenio INIA - indap: pauta de chequeo n° 10 - año 2017". [En línea], 2017, (Chile) 10, pp.1-4. [Citado el: 15 de marzo de 2020]. Disponible en: <https://www.inia.cl/wp-content/uploads/PautasdeChequeo/10.%20Pauta%20de%20chequeo%20Papa.pdf>

INIA. "Manual del cultivo de papa en Chile". [En línea], 2017, (Chile) 10, pp. 51-77 [Citado el: 26 de marzo de 2020]. ISSN 0717-4829. Disponible en: <http://www.inia.cl/wp-content/uploads/ManualesdeProduccion/10%20Manual%20Papa.pdf>

INIA. "Antecedentes tecnicos para el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) en la region de Aysen". [En línea], 2013, (Chile) 272, pp. 16. [Citado el: 2 de abril de 2019]. ISSN 0717-4829. Disponible en: <https://biblioteca.inia.cl/handle/123456789/7669>

INIAP. *Cultivo de papa en el Ecuador*. [En línea]. Quito-Ecuador: INIAP-CIP, 2002. [Citado el: 5 de marzo de 2019]. Disponible en: <http://cipotato.org/wp-content/uploads/Documentacion%20PDF/Pumisacho%20y%20Sherwood%20Cultivo%20de%20Papa%20en%20Ecuador.pdf>

INIAP. *1 congreso ciencia y tecnologia agropecuaria* [En línea]. Quito-Ecuador: INIAP, Estación Experimental Santa Catalina, 2018. [Citado el: 15 de marzo de 2019]. ISSN 978-9942-22-285-5. Disponible en: <https://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5573>

INIAP. "Fripapa 99". *INIAP-COTESU-CIP* [En línea], 1995, (Ecuador) 153, pp. 1-8. [Citado el: 22 de junio de 2020]. Disponible en: <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/2573/1/iniapscpl153.pdf>

INIAP. "Informacion tecnica de la variedad de papa INIAP - FRIPAPA 99". *INIAP* [En línea], (Ecuador) pp. 3 [Citado el: 15 de marzo de 2020]. Disponible en: <https://cipotato.org/wp-content/uploads/Documentacion%20PDF/Fripapa1.pdf>

INIAP. *Repote de analisis de suelo*. Quito : s.n., 2019.

INTA. *Riego en papa: un complemento imprescindible para estabilizar rindes* [blog]. Argentina, 21 de enero, 2013. [Citado el: 21 de marzo de 2019]. Disponible en: <https://intainforma.inta.gob.ar/riego-en-papa-un-complemento-imprescindible-para-estabilizar-los-rindes/>

INTAGRI. *Diseño agronómico de sistemas de riego por goteo* [blog]. México. 2019. [Citado el: 22 de octubre de 2020]. Disponible en: <https://www.intagri.com/articulos/agua-riego/diseno-agronomico-del-sistema-de-riego-por-goteo>

INTAGRI. *Requerimientos de Clima y Suelo para el Cultivo de la Papa* [blog]. México, 2017. [citado el: 22 octubre de 2020]. Disponible en: <https://www.intagri.com/articulos/hortalizas/requerimientos-de-clima-y-suelo-para-el-cultivo-de-la-papa>

- Isla, Flavio Lozano. 2015.** Eficiencia de uso de agua en quince genotipos de papa (*Solanum tuberosum* L.) bajo condiciones de estrés hídrico por sequía [En línea] (Trabajo de titulación). Universidad Nacional Agraria La Molina, Facultad De Agronomía. Lima-Peru. 2015. pp. 33 [Citado el: 15 de marzo de 2020] Disponible en: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/2093/F06-L69-T.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Jerez, E. & Martín,R.** "Comportamiento del crecimiento y el rendimiento de la variedad de papa (*Solanum tuberosum* L.) spunta". *Cultivos Tropicales* [En línea], 2012, (Cuba) 33 (4), pp. 53-58. [Citado el: 25 de marzo de 2020]. ISSN: 0258-5936. Disponible en: <https://pdfs.semanticscholar.org/b55c/3eb9a5ccfb21ea1868d2ddb5e1f263b38c1c.pdf>
- Jimenez, S.** *Ventajas de los sistemas de riego presurizados* [blog]. México, 20 de agosto, 2015. [Citado el: 19 de agosto de 2020]. Disponible en: <https://www.hidraulicafacil.com/2015/08/VSRP.html>
- LabFerrer.** *Conductancia estomatica* [blog]. España: 3 de junio, 2020. [Citado el: 22 de octubre de 2020]. Disponible en: <https://blog.biofisicaambiental.com/tag/conductancia-estomatica/>
- León , J. & Trezza, R. 1998.** *Determinación de evapotranspiración del cultivo y Kc*. Utah : s.n., 1998.
- Leon, J. 2011.** *Planificación, Producción Agropecuaria y Diseño de Métodos de Riego y Drenaje*. Riobamba : s.n., 2011.
- León, Juan. 2012.** *Riegos y drenajes*. Riobamba-Ecuador: E-COPYCENTER, 2012.
- Linares, R.** *Necesidades hídricas del cultivo* [En línea]. España: Universidad De Almeria, 2012. [Citado el: 20 de marzo de 2019]. Disponible en: <http://repositorio.ual.es/bitstream/handle/10835/872/Anejo%20.%20Necesidades%20hidricas%20del%20cultivo.pdf?sequence=10&isAllowed=y>
- Liotta, M. et al.** "Riego por goteo". *INTA* [En línea], 2015, (Argentina) pp. 23. [Citado el: 25 de marzo de 2019]. ISBN 978-987-33-8776-0. Disponible en: https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_manual_riego_por_goteo.pdf
- Miguel, A. et al.** "Evaluación del rendimiento del cultivo de papa bajo la aplicación del riego deficitario (prd) utilizando cintas de riego". *Anales Científicos* [En línea], 2015, (Peru) 76 (1), pp. 21-28. [Citado el: 15 de marzo de 2020]. ISSN 2519-7398. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6171079.pdf>
- MINAGRI. 2016.** "Eficiencia del usos del agua en el cultivo de papa". *Ministerio De Agricultura* [En línea], 2016, (Peru) pp. 22-25. [Citado el: 25 de marzo de 2020]. Disponible en:

<http://www.psi.gob.pe/wp-content/uploads/2016/03/Eficiencia-del-Uso-del-Agua-en-el-Cultivo-de-la-papa.pdf>.

MINAGRI. *Manual de cálculo de eficiencia para sistema de riego* [En línea]. Lima-Peru: Ministerio De Agricultura Y Riego, 2015. [Citado el: 25 de marzo de 2019]. Disponible en : http://www.minagri.gob.pe/portal/download/pdf/manual-riego/manual_determinacion_eficiencia_riego.pdf

Mirras Avalos, J. et al. "Relación entre humedad del suelo y estado hídrico de albariño bajo condiciones de riego y seco". *Estudios en la Zona no Saturada del Suelo* [En línea], 2013. (España) 11, pp. 85-90. ([Citado el: 14 de marzo de 2020]. ISBN 978-84-616-6234-0. Disponible en: http://zonanosaturada.com/zns13/publications_files/2.2.pdf

MMMTECH. *Cámara de Scholander* [blog]. [Citado el: 22 de octubre de 2020]. Disponible en: <https://www.mmm-tech.de/es/scholanderchamber>

Monteros, A. "Rendimientos de papa en el Ecuador primer ciclo 2016". *ministerio de agricultura, ganaderia, acuacultura y pesca* [En línea], 2016, (Ecuador) pp. 1-8. [Citado el: 21 de marzo de 2019]. Disponible en: http://sipa.agricultura.gob.ec/descargas/estudios/rendimientos/papa/rendimiento_papa_2016.pdf

Morales, A. et al. "Influencia del número de tallos por planta en el crecimiento de la papa (*solanum tuberosum* l.), variedad ‘atlas’". *Agricultura Tropical* [En línea], 2016, (Cuba), 2 (1), pp. 29-40. [Citado el: 24 de agosto de 2020]. Disponible en: http://ojs.inivit.cu/index.php?journal=inivit&page=article&op=download&path%5B%5D=43&path%5B%5D=AT02012016_3

Morales, E. *Manejo de cultivos andinos del Ecuador* [En línea]. Salgolqui-Ecuador: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, 2015. [Citado el: 21 de marzo de 2019]. Disponible en: <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/10163/4/Manejo%20Cultivos%20Ecuador.pdf>

mundoriego. S F. *Diferencias entre los goteros autocompensantes y los turbulentos* [blog]. S F. [citado el: 21 de marzo de 2019]. Disponible en: <https://mundoriego.es/diferencias-entre-los-goteros-autocompensantes-y-los-turbulentos/>

Novoa, V. & Rojas, O. "Variabilidad de la huella hídrica del cultivo de cereales, río Cachapoal, Chile". *Tecnol. cienc. agua* [En línea], 2016, (Chile) 7 (2), pp. 35-50. [Citado el: 8 de marzo de 2020]. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222016000200035

Oregon State University Extension Service. youtube. [En línea] 2018. <https://www.youtube.com/watch?v=s1GJUgvx7t4>

Pacheco, J. & Pérez, A. "Evaluación del manejo del riego de la papa en la Empresa de Cultivos Varios "Valle del Yabú", Santa Clara, Cuba". *Ciencias Técnicas Agropecuarias* [En línea], 2010, (Cuba) 19 (3), pp. 47-52. [Citado el: 19 de agosto de 2020]. ISSN: 1010-2760. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/932/93218514009.pdf>

Petillo, M. "Manejo del riego: uso de instrumentos de medición de agua del suelo y del estado hídrico de los cultivos, presentación de casos de estudio incluso en riego deficitario". *Red Riegos* [En línea], 2008, (Guatemala) pp. 14. [Citado el: 22 de junio de 2020]. Disponible en: <http://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/Metodosdemedicionestadohidricoplantas.pdf>

Regaber. Gotero autocompensante. [En línea] 2002, (España). [Citado el 3 de noviembre de 2019]. Disponible en: https://previa.uclm.es/area/ing_rural/Catalogos/HidraulicaRiegos/RegaberGoterosAutocompensantes.pdf

Seninger. *xcel wobbler*. [En línea] 2012. [Citado el 3 de noviembre de 2019]. Disponible en: http://fabianisrl.com.ar/wp-content/uploads/2012/06/XcelWob_Span.pdf

Silva, Andres. 2015. Gestión Hídrica y Metabolismo Hídrico en la producción agrícola Ecuatoriana: análisis de la huella hídrica en el año 2010 (Trabajo de titulación) [En línea]. Pontificia Universidad Católica Del Ecuador, Facultad De Economía, Quito-Ecuador. 2015. [Citado el: 8 de marzo de 2020]. Disponible en: <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/10512>

Tolón, A. et al. "Huella hídrica y sostenibilidad del uso de los recursos hídricos". *Medio Ambiente* [En línea], 2013, (España) 14 (1), pp.56-86. [Citado el: 12 de agosto de 2020.]. ISSN 1886-3329. Disponible en: <https://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag-41205/61articulo.pdf>

Vargas, J. Evaluación de la uniformidad de distribución del agua de seis cintas de goteo en condiciones de El Zamorano [En línea] (Trabajo de titulación). Universidad Zamorano, Carrera De Ciencia Y Producción Agropecuaria, San Antonio de Oriente-Honduras. 2008. pp. 4 <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/5481/1/CPA-2008-T073.pdf>

Villalobos, E. et al. "Determinación del contenido relativo de agua en progenies de palma aceitera (*Elaeis guineensis*)". *Agronomía Costarricense* [En línea], 1990, (Costa Rica) 14 (1), pp. 73-78. [citado el: 23 de octubre de 2020]. Disponible en: https://www.mag.go.cr/rev_agr/v14n01_073.pdf

Zotarelli, L. et al. "Interpretación del contenido de la humedad del suelo para determinar capacidad de campo y evitar riego excesivo en suelos arenosos utilizando sensores de humedad". *Edis* [En línea], 2013, (United State of America), pp. 1-4. [Citado el: 5 de julio de 2020]. Disponible en: <https://edis.ifas.ufl.edu/pdf/FILES/AE/AE49600.pdf>

ANEXOS

Anexo A: Análisis de suelo

 INIAP <small>INSTITUTO NACIONAL AUTÓNOMO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS</small>	ESTACION EXPERIMENTAL "SANTA CATALINA" LABORATORIO DE MANEJO DE SUELOS Y AGUAS Km. 14 1/2 Panamericana Sur, Apdo. 17-01-340 Quito- Ecuador Telf: 690-691/92/93 Fax: 690-693	
--	--	---

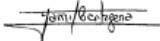
REPORTE DE ANALISIS DE SUELOS

DATOS DEL PROPIETARIO	DATOS DE LA PROPIEDAD	PARA USO DEL LABORATORIO
Nombre : Dr. Juan Leon Dirección : Chimborazo Ciudad : Teléfono : Fax :	Nombre : Tunshi Provincia : Pichincha Cantón : Riobamba Parroquia : Licto Ubicación : Tunshi	Cultivo Actual : Fecha de Muestreo : 21/03/2019 Fecha de Ingreso : 27/03/2019 Fecha de Salida : 26/04/2019

N° Muest. Laborat.	Identificación del Lote	pH	ppm			meq/100ml			ppm				
			NH4	P	S	K	Ca	Mg	Zn	Cu	Fe	Mn	B
004989	L 1-2-3 0-20 cm	7,33 PN	48,00 M	10,00 M	3,90 B	0,24 M	9,80 A	4,60 A	0,4 B	13,3 A	43,0 A	2,1 B	0,60 B
004990	L 1-2-3 20-40 cm	7,59 LAI	41,00 M	7,20 B	2,50 B	0,11 B	9,40 A	4,20 A	0,3 B	13,3 A	35,0 M	1,5 B	0,50 B
004991	L 1-2-3 40-60 cm	7,81 LAI	34,00 M	10,00 M	1,80 B	0,07 B	9,70 A	4,10 A	0,4 B	12,5 A	31,0 M	0,8 B	0,30 B
004992	L 4-5-6 0-20 cm	7,45 PN	40,00 M	14,00 M	10,00 M	0,33 M	9,50 A	4,30 A	0,3 B	11,3 A	51,0 A	2,9 B	0,50 B
004993	L 4-5-6 20-40 cm	7,48 PN	39,00 M	8,00 B	6,60 B	0,16 B	8,90 A	4,30 A	0,3 B	12,1 A	36,0 M	1,4 B	0,30 B
004994	L 4-5-6 40-60 cm	7,78 LAI	43,00 M	7,20 B	4,10 B	0,06 B	9,00 A	4,10 A	0,4 B	12,0 A	33,0 M	0,7 B	0,40 B
004995	L 7 0-20 cm	7,39 PN	57,00 M	11,00 M	2,10 B	0,26 M	9,80 A	4,50 A	0,4 B	12,2 A	48,0 A	2,9 B	0,50 B
004996	L 7 20-40 cm	7,31 PN	41,00 M	10,00 M	1,90 B	0,22 M	9,90 A	4,40 A	0,4 B	12,7 A	43,0 A	1,8 B	0,50 B
004997	L 7 40-60 cm	7,69 LAI	32,00 M	15,00 M	1,70 B	0,07 B	9,80 A	4,00 A	0,3 B	11,4 A	33,0 M	1,2 B	0,60 B

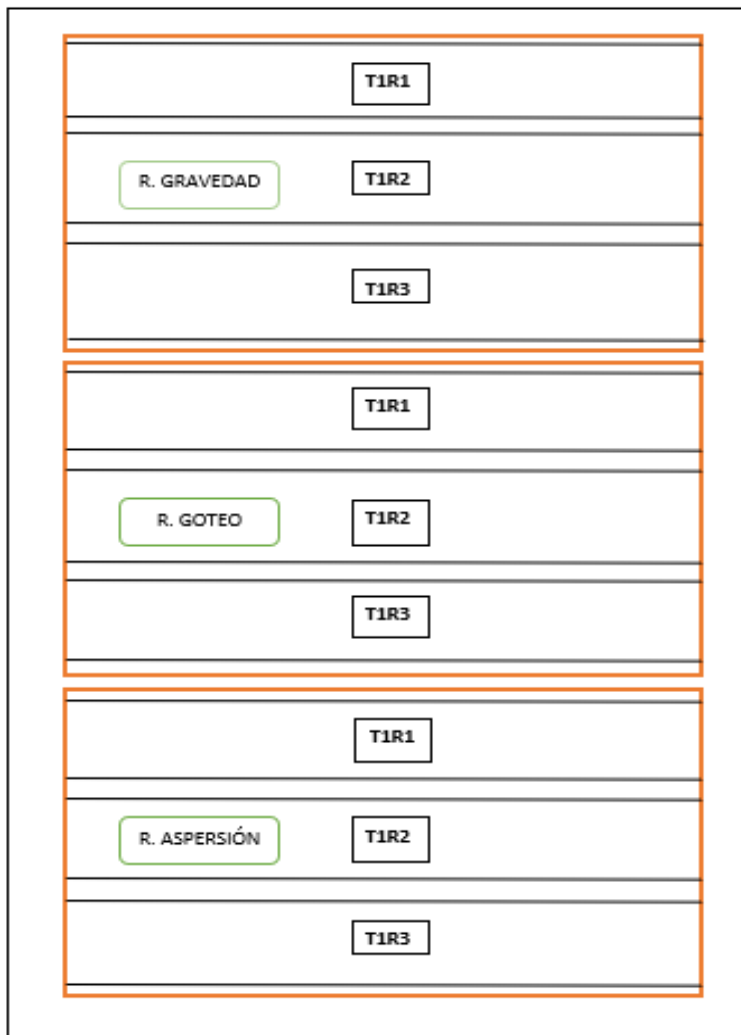
INTERPRETACION		
pH		Elementos
Ac = Acido	N = Neutro	B = Bajo
LAe = Liger. Acido	LAI = Lige. Alcalino	M = Medio
PN = Prac. Neutro	AI = Alcalino	A = Alto
RC = Requieren Cal		T = Tóxico (Boro)

METODOLOGIA USADA		
pH = Suelo: agua (1-2.5)	P K Ca Mg = Oten Modificado	
S, B = Fosfato de Calcio	Cu Fe Mn Zn = Oten Modificado	
	B = Carcumina	


 RESPONSABLE LABORATORIO

LABORATORISTA

Anexo B: Distribución de tratamientos en el campo.



Anexo C: Materiales del sistema de riego

RIEGO POR GRAVEDAD		
Materiales	Cantidad	Unidades
tubería principal	32	m
cinta Flex net con orificio c/50cm	33	m
codos rosca 16 mm	33	Unidades
Manguera lisa 16 mm	6,6	m
Mini Válvulas de riego	33	Unidades
codos	3	Unidades
Te con rosca hembra	1	Unidades

Codo pvc rosca hembra 50 mm	1	Unidades
Llave de paso	1	Unidades
Conector rosca macho para flexnet	2	Unidades
Tapón rosca hembra 50 mm	1	Unidades
GOTEO		
Tubería principal	32	m
Tubería flexnet con orificio c/50 cm	33	m
Cinta autocompensada c/30 cm	1155	m
Fin de cinta	33	Unidades
Adaptador tubería a cinta goteo	33	Unidades
Llave de paso	1	Unidades
Codos	3	Unidades
Codo rosca hembra 50 mm	1	Unidades
Conector rosca macho para flexnet	2	Unidades
Tapón rosa hembra	1	Unidades
ASPERSIÓN		
Tubería principal	32	m
Flex net sin orificio	173	m
Aspersores xcel wobbler	12	unidades
Bastón para aspersores	24	unidades
Bases para aspersores	12	unidades
Llave de paso	1	unidades
Codos	3	unidades
Codo rosca hembra 50 mm	1	
Conector rosca macho para flexnet	5	unidades
Tapón rosca hembra	5	unidades



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO**



**DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS DEL
APRENDIZAJE**

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 27 / 05 / 2021

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: CRISTHIAM ALFREDO LEMA ASITIMBAY
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: RECURSOS NATURALES
Carrera: AGRONOMÍA
Título a optar: INGENIERO AGRÓNOMO
f. Analista de Biblioteca responsable: Lcdo. Holger Ramos, MSc.

