

**UNIVERSIDAD NACIONAL
“SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO”**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**



**EVALUACIÓN DE TRES CAUDALES COMPARATIVOS DE RIEGO
POR PULSO PARA ESTIMAR LA EFICIENCIA DE APLICACIÓN EN
EL CULTIVO DE PALTO CIE CAÑASBAMBA 2019**

**Tesis para optar el título profesional
de Ingeniero Agrícola**

LÓPEZ RAMÍREZ, Liver Alfredo

ASESOR:

Mag. Ing. REYES ROQUE, Esteban Pedro

Huaraz - Ancash - Perú

2021



FORMATO DE AUTORIZACIÓN PARA LA PUBLICACIÓN DE TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN, CONDUCENTES A
OPTAR TÍTULOS PROFESIONALES Y GRADOS ACADÉMICOS EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

1. Datos del autor:

Apellidos y Nombres: _____

Código de alumno: _____

Teléfono: _____

E-mail: _____

D.N.I. n°: _____

(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)

2. Tipo de trabajo de investigación:

Tesis

Trabajo de Suficiencia Profesional

Trabajo Académico

Trabajo de Investigación

Tesinas (presentadas antes de la publicación de la Nueva Ley Universitaria 30220 – 2014)

3. Para optar el Título Profesional de:

4. Título del trabajo de investigación:

5. Facultad de: _____

6. Escuela o Carrera: _____

7. Línea de Investigación (*): _____

8. Sub-línea de Investigación (*): _____

() Según resolución de aprobación del proyecto de tesis*

9. Asesor:

Apellidos y nombres _____ D.N.I n°: _____

E-mail: _____ ID ORCID: _____

10. Referencia bibliográfica: _____

11. Tipo de acceso al Documento:

Acceso público* al contenido completo.

Acceso restringido** al contenido completo

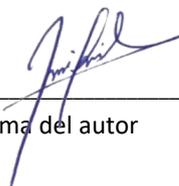
Si el autor eligió el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Santiago Antúnez de Mayolo una licencia no exclusiva, para que se pueda hacer arreglos de forma en la obra y difundirlo en el Repositorio Institucional, respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.

En caso de que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indique el sustento correspondiente:



12. Originalidad del archivo digital

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad, como parte del proceso conducente a obtener el título profesional o grado académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado.



Firma del autor

13. Otorgamiento de una licencia *CREATIVE COMMONS*

Para las investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia Creative Commons, con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica.



El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Institucional, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.

Según el inciso 12.2, del artículo 12º del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI "Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Recolector Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA".

14. Para ser verificado por la Dirección del Repositorio Institucional

Seleccione la
Fecha de Acto de sustentación:

Huaraz,

Firma:



Varillas Wiliam Eduardo
Asistente en Informática y Sistemas
- UNASAM -

***Acceso abierto:** uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

**** Acceso restringido:** el documento no se visualizará en el Repositorio.



UNIVERSIDAD NACIONAL
SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO

"Una Nueva Universidad para el Desarrollo"

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

CIUDAD UNIVERSITARIA DE SHANCAYÁN TELEFAX 043 426 588 - HUARAZ - ANCASH - PERÚ



ACTA DE SUSTENTACIÓN VIRTUAL DE TESIS

Los miembros del Jurado de Tesis que suscriben, se reunieron a través de la plataforma virtual Microsoft Teams, para escuchar y evaluar la sustentación de la Tesis presentado por el Bachiller en Ciencias de Ingeniería Agrícola, **LIVER ALFREDO LOPEZ RAMIREZ**, titulado: "**EVALUACION DE TRES CAUDALES COMPARATIVOS DE RIEGO POR PULSO PARA ESTIMAR LA EFICIENCIA DE APLICACION EN EL CULTIVO DE PALTO CIE CAÑASBAMBA 2019**", Escuchada la sustentación, virtual y las respuestas a las preguntas y observaciones formuladas, la declaramos:

APROBADA

CON EL CALIFICATIVO (*)

CATORCE (14)

En consecuencia, queda en condición de ser calificado **APTO** por el Consejo de Facultad de Ciencias Agrarias y por el Consejo Universitario de la Universidad Nacional "Santiago Antúnez de Mayolo" y recibir el Título de **INGENIERO AGRÍCOLA**, de conformidad con la Ley Universitaria y el Estatuto de la Universidad.

Huaraz, 27 de Agosto de 2021.

Dr. TEOFANEZ MEJIA ANAYA

PRESIDENTE

Dr. TITO MONER MAYHUAY

SECRETARIO

Dr. WALTER JUAN VASQUEZ CRUZ

VOCAL

Mag. ESTEBAN PEDRO REYES ROQUE

PATROCINADOR

(*) De acuerdo con el Reglamento de Tesis, éstas deben ser calificadas con términos de: APROBADO CON EXCELENCIA (19 - 20), APROBADO CON DISTINCIÓN (17 - 18), APROBADO (14 - 16), DESAPROBADO (00 - 13).



UNIVERSIDAD NACIONAL
SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO

"Una Nueva Universidad para el Desarrollo"

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

CIUDAD UNIVERSITARIA DE SHANCAYÁN TELEFAX 043 426 588 - HUARAZ - ANCASH - PERÚ



ACTA DE CONFORMIDAD VIRTUAL DE TESIS

Los miembros del jurado, luego de evaluar la tesis titulada: **"EVALUACION DE TRES CAUDALES COMPARATIVOS DE RIEGO POR PULSO PARA ESTIMAR LA EFICIENCIA DE APLICACION EN EL CULTIVO DE PALTO CIE CAÑASBAMBA 2019"**, presentado por el Bachiller en Ciencias de Ingeniería Agrícola **LIVER ALFREDO LOPEZ RAMIREZ**, y sustentado el día 27 de Agosto del 2021, por Resolución Decanatural N° 317 -2021 - UNASAM - FCA, la declaramos **CONFORME**.

Huaraz, 27 de Agosto de 2021.

Dr. TEOFÁNEZ MEJIA ANAYA

PRESIDENTE

Dr. TITO MONER MAYHUAY

SECRETARIO

Dr. WALTER JUAN VASQUEZ CRUZ

VOCAL

Mag. ESTEBAN PEDRO REYES ROQUE

PATROCINADOR



Asesor

Mag. Ing. REYES ROQUE, Esteban Pedro.



Agradecimiento

A mi alma mater Universidad Nacional “Santiago Antúnez de Mayolo”, de manera especial a mi escuela de Ingeniería Agrícola.

A mi asesor. Mag. Ing. REYES ROQUE, Esteban Pedro, por sus motivaciones y orientaciones para que esta tesis se ejecute. Un gran maestro en el área de la Ingeniería de Recursos Hídricos y en Riego. Un ejemplar a seguir.

A mis jurados.

Al Dr. MEJÍA ANAYA, Teófanos, en su calidad de presidente. Un gran profesional.

Al Dr. TINOCO MEYHUAY, Tito, en su calidad de secretario. Un gran profesional.

Al Dr. VÁSQUEZ CRUZ, Walter, en su calidad de vocal.

DEDICATORIA

A Dios,

A mis padres,

A mis hermanos.



ÍNDICE DE CONTENIDO

ASESOR ii
AGRADECIMIENTOiii
DEDICATORIAiv
ÍNDICE DE CONTENIDOv
ÍNDICE DE TABLAS.....	..viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	..x
ÍNDICE DE ANEXOxii
RESUMEN.....	..xiii
ABSTRAC.xiv
I. INTRODUCCIÓN.....	15
1.1. Objetivos	16
1.1.1. Objetivo general.....	16
1.1.2. Objetivos específicos.....	16
II. MARCO TEÓRICO.....	17
2.1. Antecedentes de investigación.....	17
2.2. Bases teóricas.....	18
2.2.1. La eficiencia en el uso del agua.....	18
2.2.2. El movimiento del agua en el suelo.....	18
2.2.3. Riego por gravedad.....	18
2.2.4. Área de superficie de Riego	20
2.2.5. Longitud de los surcos.....	20
2.2.6. Sistema de raíces.....	22
2.2.7. Fases y tiempos del riego superficial.....	22
2.2.8. Riego por surcos mediante pulsos de agua.....	23
2.2.9. Procesos físicos durante el riego por pulso.....	23
2.2.10.El diseño de riego, tiempo de avance.....	23
2.2.11.La lámina total derivada en riego por pulsos (discontinuo) (dd).....	24
2.2.12.Eficiencia de aplicación de agua (Efa)	24
2.2.13.Eficiencia de aplicación del cuarto inferior (Efaci).....	25
2.2.14.Lámina neta (Ln).....	25



2.2.15. Eficiencia de almacenaje (Efalm)	25
2.2.16. Eficiencia de distribución (Efd)	26
2.2.17. Eficiencia de uniformidad (Efu)	26
2.2.18. Propiedades físicas del suelo.....	27
2.2.19. Parámetros hidráulicos del suelo.....	31
2.2.20. El caudal que optimiza el riego	33
2.2.21. Avance del flujo en los surcos.	35
2.2.22. Calibración del modelo del caudal máximo no erosivo de Criddle (1956)..	35
2.3. Definición de términos	35
III. MATERIALES Y METODOS	37
3.1. Tipo de investigación	37
3.2. Descripción de la zona de estudio	37
3.2.1. Ubicación política.....	37
3.2.2. Ubicación geográfica	38
3.3. Diseño de investigación	38
3.4. Población y muestra	38
3.4.1. Población.....	38
3.4.2. Muestra	38
3.4.3. Tamaño de la muestra.....	38
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	39
3.5.1. Técnicas de recolección de datos.....	39
3.5.2. Materiales, herramientas, equipos de recolección de datos.....	39
3.6. Procesamiento de la información.	40
3.6.1. Parámetros físicos del suelo.....	40
3.6.2. Los parámetros hidráulicos del suelo	43
3.6.3. Diseño del manejo de riego por pulso en el cultivo de palto	44
3.6.4. El caudal que optimiza la eficiencia de aplicación de agua en el riego.....	49
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	53
4.1. Resultados	53
4.1.1. Parámetros físicos e hidráulicos del suelo	53
4.1.2. Diseño del manejo de riego por pulso en el cultivo de palto	57
4.1.3. Cálculo de caudales que optimizan la eficiencia de aplicación de agua en el riego.....	78
4.2. Discusión.....	88

4.2.1.	Medir y calcular los parámetros físicos e hidráulicos del suelo en la parcela experimental del cultivo de Paltos.....	88
4.2.2.	Diseño y el manejo de riego por pulso en el cultivo de palto según la parcela experimental del CIE Cañasbamba.	89
4.2.3.	Cálculo del caudal que optimizó la eficiencia de aplicación del uso del agua del riego a pulsos en el cultivo del Palto en el CIE. Cañasbamba.....	90
V.	CONCLUSIONES	91
VI.	RECOMENDACIONES.....	93
VII.	REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.....	94
VIII.	ANEXO	98



ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1	Características de los suelos en función de su clase textural.	30
Tabla 2	Pendiente longitudinal del surco de cada tratamiento.	44
Tabla 3	El valor del coeficiente r de Pearson	52
Tabla 4	La lámina de infiltración, velocidad de infiltración, infiltración básica.	55
Tabla 5	Caudal máximo no erosivo teórico.	57
Tabla 6	Resultados de la prueba de campo, tiempo de avance para el caudal continuo del tratamiento(T1).	59
Tabla 7	Lámina total derivada(dd) para el caudal continuo, del tratamiento(T1).	60
Tabla 8	Ecuación de la curva de avance del tratamiento(T1).	62
Tabla 9	Resultados de la prueba de campo, tiempo de avance aplicados en dos pulsos, del tratamiento(T2).	64
Tabla 10	Lámina total derivada(dd) (mm) para los caudales aplicados en dos pulsos, del tratamiento(T2).	67
Tabla 11	Ecuación de la curva de avance para el tratamiento T2	69
Tabla 12	Resultados de la prueba de campo, tiempo de avance aplicados con seis pulsos, del tratamiento (T3).	71
Tabla 13	Lámina total derivada(dd) (mm) para caudales aplicados en seis pulsos, del tratamiento(T3).	74
Tabla 14	Ecuación de la curva para caudales aplicados en seis pulsos, del tratamiento(T3).	76
Tabla 15	Ecuación de número de pulsos del caudal óptimo, del tratamiento(T3).	77
Tabla 16	Tiempo de avance calculado para cada caudal y determinado en el campo.	78
Tabla 17	Humedad volumétrica (Wv%) antes y después de riego, para el caudal óptimo Q=0.154L/s del tratamiento T1.	79
Tabla 18	Lámina almacenada en la zona radicular, para el caudal óptimo Q=0.154L/s del tratamiento T1.....	79
Tabla 19	Eficiencias de riego, para el caudal óptimo Q=0.154L/s del tratamiento T1.....	80
Tabla 20	Volumen de agua, para el caudal óptimo Q=0.154L/s del tratamiento T1.	80
Tabla 21	Humedad volumétrica medidas antes y después de riego aplicados en dos pulsos, para el caudal óptimo Q=0.165 L/s del tratamiento T2	81
Tabla 22	Lámina almacenada en la zona radicular, para el caudal óptimo Q=0.165 L/s del tratamiento T2.....	82

Tabla 23	Eficiencias de riego para caudales aplicados en dos pulsos, para el caudal óptimo $Q=0.165$ L/s del tratamiento T2.	83
Tabla 24	Volumen de agua, para el caudal óptimo $Q=0.165$ L/s del tratamiento T2.	83
Tabla 25	Humedad volumétrica antes y después del riego aplicados con seis pulsos, para el caudal óptimo $Q=0.130$ L/s del tratamiento T3.....	84
Tabla 26	Lámina almacenada en la zona radicular aplicados con seis pulsos, para el caudal óptimo $Q=0.130$ L/s del tratamiento T3.....	84
Tabla 27	Eficiencias de riego aplicados con seis pulsos, para el caudal óptimo $Q=0.130$ L/s del tratamiento T3.	85
Tabla 28	Volumen de agua, para el caudal óptimo $Q=0.130$ L/s del tratamiento T3.	85
Tabla 29	Comparación de la eficiencia de aplicación de riego.	86
Tabla 30	Comparación del volumen de agua: con caudal continuo, dos pulsos y con seis pulsos.....	86
Tabla 31	Calibración del modelo del tratamiento T1($Q_2=0.154$ L/s).....	87
Tabla 32	Calibración del modelo del tratamiento T2($Q_3=0.165$ L/s).....	88
Tabla 33	Calibración del modelo del tratamiento T3($Q_4=0.130$ L/s).....	88

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Infiltración del agua en el suelo con respecto a su textura.....	18
Figura 2 Separación entre surcos.....	20
Figura 3 Sección del surco.	20
Figura 4 Medición de la altura y el diámetro de la copa del árbol.	21
Figura 5 Diámetro de la copa de los árboles.....	21
Figura 6. Diagrama de avance-recesión de un riego por superficie.	23
Figura 7 Humedecimiento ideal.....	26
Figura 8 Triángulo textural de USDA.....	27
Figura 9 Principales estructuras en los suelos.	28
Figura 10 Curvas de avance del surco según Criddle	34
Figura 11 Perfil del suelo.....	41
Figura 12 Muestreo del suelo mediante el método de cilindro.....	42
Figura 13 Medición de la muestra para determinar la densidad real.....	42
Figura 14 Ensayo de infiltración de Agua.	43
Figura 15 Nivelación de la pendiente y medición de la longitud del surco.....	44
Figura 16 Medición del diámetro de la copa del palto y sección del surco.....	45
Figura 17 Preparación del surco.....	45
Figura 18 Control de la presión de la carga hidráulica.	46
Figura 19 Control de la presión de la carga hidráulica.	47
Figura 20 Aforo del caudal.....	47
Figura 21 Proporción de arena, limo y arcilla.	53
Figura 22 Determinación de la función de la lámina infiltrada, método gráfico.....	55
Figura 23 Determinación de la función de la Velocidad de Infiltración, Método Grafico.....	56
Figura 24 Humedad aprovechable del suelo.....	57
Figura 25 La curva de avance para el caudal continuo, del tratamiento(T1).....	61
Figura 26 Ensayo de caudales aplicados en dos pulsos, tratamiento(T2), Q1=0.320 L/s.....	65
Figura 27 Ensayo de caudales aplicados en dos pulsos, tratamiento(T2), Q2=0.200 L/s.....	65
Figura 28 Ensayo de caudales aplicados en dos pulsos, tratamiento(T2), Q3=0.165 L/s.....	66

Figura 29 Ensayo de caudales aplicados en dos pulsos, tratamiento(T2), $Q_4=0.130$ L/s.....	66
Figura 30 La curva de avance, para caudales aplicados en dos pulsos, del tratamiento (T2).	68
Figura 31 Ensayo de caudales aplicados con seis pulsos, del tratamiento (T3), $Q_1=0.320$ L/s.....	72
Figura 32 Ensayo de caudales aplicados con seis pulsos, del tratamiento (T3) $Q_2=0.200$ L/s.....	72
Figura 33 Ensayo de caudales aplicados con seis pulsos, del tratamiento (T3), $Q_3=0.165$ L/s.....	73
Figura 34 Ensayo de la curva de avance con seis pulsos, del tratamiento (T3), $Q_4=0.130$ L/s.....	73
Figura 35 La curva de avance para caudales aplicados en seis pulsos, del tratamiento(T3).....	75
Figura 36 Grafica de número de pulsos con seis pulsos (riego discontinuo), del tratamiento(T3).....	77
Figura 37 Lámina almacenada en la zona radicular, para el caudal óptimo $Q=0.154$ L/s del tratamiento T1.	80
figura 38 Lámina almacenada en la zona radicular, para el caudal óptimo $Q=0.165$ L/s del tratamiento T2.	82
Figura 39 Lámina almacenada en la zona radicular aplicados con seis pulsos, para el caudal óptimo $Q=0.130$ L/s del tratamiento T3.	85
Figura 40 Comparación de la eficiencia de aplicación de riego. T1: caudal continuo, T2: dos pulsos, T3: seis pulsos (riego discontinuo).....	86
Figura 41 Comparación del volumen de agua: con caudal continuo, dos pulsos y con seis pulsos.....	87

ÍNDICE DE ANEXO

Anexo A. Clasificación del suelo según el triángulo textural.....	98
Anexo B. Densidad aparente de cada estrato.....	99
Anexo C. Densidad real(dr).....	99
Anexo D. Función de lámina infiltración acumulada.....	99
Anexo E. Función de velocidad de infiltración.....	102
Anexo F. Pendiente de la longitud del surco de cada tratamiento.....	104
Anexo G. Altura de nivel de agua entre tambores.....	105
Anexo H. Aforos del caudal continuo para el tratamiento (T1).....	107
Anexo I. Ensayo de la prueba de tiempo de avance, para el tratamiento(T1).....	109
Anexo J. Aforos del caudal para tratamiento (T2), aplicados en dos pulsos,.....	116
Anexo K. Ensayo de la prueba del tiempo de avance, para el tratamiento (T2) ..	119
Anexo L. Determinar el avance del flujo en los surcos, por el método de mínimos cuadrados regresión no lineal, para el tratamiento (T2).....	120
Anexo M. Ensayo de aforos de caudales por el método volumétrica, para el tratamiento (T3).....	124
Anexo N. Ensayo de avance del flujo en los surcos, para el Tratamiento (T3).....	126
Anexo O. Análisis de curva de avance del flujo, por el método de mínimos cuadrados, regresión no lineal. para el tratamiento (T3).....	127
Anexo P. Número de pulsos de riego, para el T3, aplicados en seis pulsos(discontinuo).....	131
Anexo Q. Los puntos de muestreo edáfico en cada intervalo de 10m, antes y después del riego, para el T1, (Q=0.154L/s).....	131
Anexo R. Determinar la lámina total derivada para el caudal continuo óptimo no erosivo, para el T1, (Q=0.154L/s).....	132
Anexo S. Los puntos de muestreo edáfico, antes y después del riego, en cada intervalo de 10 metros de la longitud del surco, T1, (Q=0.154L/s).....	133
Anexo T. Los puntos de muestreo edáfico, antes y después del riego, en cada intervalo de 10 metros de la longitud del surco, T2, (Q=0.165L/s).....	135
Anexo U. Los puntos de muestreo edáfico, antes y después de riego, en cada intervalo de 10 metros de la longitud del surco, T3, (Q=0.130L/s).....	137
Anexo V. fotografías.....	139

RESUMEN

El sistema de riego por gravedad presenta baja eficiencia de aplicación de agua de 30 a 45%. En esta investigación se busca optimizar el recurso agua en las plantaciones de palto. El objetivo fue evaluar tres caudales comparativos en el riego por pulso para estimar la eficiencia de aplicación de agua en el cultivo de palto. Se desarrolló en el CIE Cañasbamba de la UNASAM, se realizó en tres tratamientos en cuatro surcos cada uno. El tratamiento (T1) consistió en la aplicación de un caudal continuo (un pulso), el tratamiento (T2) consistió en la aplicación del caudal en dos pulsos, en el tratamiento (T3) se aplicó el caudal en seis pulsos (discontinuo). Se determinaron los caudales máximos no erosivos (QMNE) para los tres tratamientos, utilizando el método de Criddle (1956), obteniéndose para el tratamiento T1, un QMNE=0.184 L/s, para T2, un QMNE=0.200 L/s y para T3, QMNE=0.200 L/s, se usaron cuatro caudales por cada tratamiento, para T1: 0.132 L/s, 0.154 L/s, 0.185 L/s, 0.369 L/s, para T2 y T3: 0.320 L/s, 0.200 L/s, 0.165 L/s, 0.130 L/s. Se determinó el tiempo de avance y tiempo de recesión en tramos de cada 10m de la longitud del surco y se seleccionó caudales óptimos para cada tratamiento QMNE en el campo: T1: Q2=0.154 L/s, T2: Q3=0.165 L/s, T3: Q4=0.130 L/s. Se determinó la eficiencia de aplicación (Efa), eficiencia de aplicación de cuarto inferior (Efaci), eficiencia de almacenaje (Efalm), eficiencia de distribución (Efd), coeficiente de uniformidad (CU). Resultados: Efa de T3 (74.43%), T2 (59.11%), T1 (36.55%), Efaci de T3 (62.99%), T2 (34.40%), T1 (26.90%), Efalm de T3 (71.42%), T2 (40.06%), T1(37.74%), Efd de T3 (84.63%), T2 (58.20%), T1 (73.59%), CU para T3 (84.11%), T2 (64.17%) y T1 (75.94%). Conclusión: se observa que el tratamiento T3 aplicados en seis pulsos (discontinuo), da los mejores resultados de la eficiencia de aplicación del riego, la uniformidad de riego, recomendándose para un suelo de textura franco arenoso y pendientes similares.

Palabra clave: Riego por gravedad en surcos aplicados por pulsos, tres caudales, eficiencia de aplicación, uniformidad del riego.

ABSTRAC.

The gravity irrigation system has low water application efficiency of 30 to 45%. This research seeks to optimize the water resource in avocado plantations. The objective was to evaluate three comparative flow rates in pulse irrigation to estimate the efficiency of water application in the avocado crop. It was developed at the CIE Cañasbamba of UNASAM, it was carried out in three treatments in four rows each. Treatment (T1) consisted of applying a continuous flow (one pulse), treatment (T2) consisted of applying the flow in two pulses, in treatment (T3) the flow was applied in six pulses (discontinuous). The maximum non-erosive flow rates (QMNE) were determined for the three treatments, using the Criddle method (1956), obtaining for treatment T1, a QMNE = 0.184 L / s, for T2, a QMNE = 0.200 L / s and for T3 , QMNE = 0.200 L / s, four flow rates were used for each treatment, for T1: 0.132 L / s, 0.154 L / s, 0.185 L / s, 0.369 L / s, for T2 and T3: 0.320 L / s, 0.200 L / s, 0.165 L / s, 0.130 L / s. The advance time and recession time were determined in sections of each 10m of the furrow length and optimal flow rates were selected for each QMNE treatment in the field: T1: Q2 = 0.154 L / s, T2: Q3 = 0.165 L / s, T3: Q4 = 0.130 L / s. The application efficiency (Efa), lower room application efficiency (Efaci), storage efficiency (Efal), distribution efficiency (Efd), uniformity coefficient (CU) were determined. Results: Efa of T3 (74.43%), T2 (59.11%), T1 (36.55%), Efaci of T3 (62.99%), T2 (34.40%), T1 (26.90%), Efal of T3 (71.42%), T2 (40.06%), T1 (37.74%), Efd of T3 (84.63%), T2 (58.20%), T1 (73.59%), CU for T3 (84.11%), T2 (64.17%) and T1 (75.94%). Conclusion: it is observed that the T3 treatment applied in six pulses (discontinuous), gives the best results of the irrigation application efficiency, the irrigation uniformity, being recommended for a soil with a sandy loam texture and similar slopes.

Key word: Gravity irrigation in pulsed furrows, three flow rates, application efficiency, irrigation uniformity.

I. INTRODUCCIÓN

El área superficial bajo riego por gravedad en el mundo es aproximadamente de 1527 millones de hectáreas (Flores et al., 2014, p. 242), que ocupa más del 95% el riego por gravedad a nivel mundial. En los Estados Unidos el riego por gravedad ocupa el 70% de las áreas bajo riego, en Cuba hasta el 2010 ocupa el 75%, con una eficiencia del uso del agua de 50%. (Tornés et al., 2016, p. 23), en el Perú ocupa el 88% (MINAGRI, 2013, p. 3).

En los Estados Unidos en la década de los 70, inicia el riego por pulsos y a principios de la década de los 80, Centro de Investigación Agrícola junto con universidades, perfeccionaron esta metodología (Antúnez et al., 2015, p. 28). La técnica del riego a pulsos está en crecimiento en diversos países, dando los mejores aportes en el riego superficial, enfocados fundamentalmente en riego por surcos mediante pulsos; consiste en la aplicación del mismo caudal repetidas veces, en periodos alternados de humectación y de secado sobre la superficie regada. A cada una de esas aplicaciones que se realiza discontinuamente se le denomina pulso. (Monserrat et al., 1997, p. 29). La diferencia entre los tiempos de contacto agua-suelo que se da entre los extremos aguas arriba y aguas bajo entre los intervalos de riego, aumenta la uniformidad. Además, como disminuye la infiltración, las pérdidas por percolación pueden controlarse mejor, y aumenta la eficiencia de aplicación. (Monserrat et al., 1997, p. 29)

La presente tesis, pretende contribuir al logro exitoso del diseño de riego por gravedad mediante el riego por pulsos, buscando optimizar el recurso agua en las plantaciones de palto.

El riego por gravedad es el método más manejado a nivel mundial. En el transcurso del tiempo a venido siendo sustituido por sistemas de mejor eficiencia. El riego presurizado tiene una eficiencia de aplicación mayor a 70%, en el riego por goteo la eficiencia de aplicación es de 90%, estos sistemas de riego son de “altos costos de inversión y operativos que no es rentable para un productor agrícola” (Puppo et al., 2018, p. 2). El riego por gravedad en surcos es de baja eficiencia de aplicación de agua (30-45%); por ello, tenemos la necesidad de tecnificar el sistema de riego por gravedad a una eficiencia de aplicación de agua mayor a 70% que sea rentable y económico para el agricultor.

La investigación se desarrolló en el Centro de Investigación y Experimentación, Cañabamba – UNASAM.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo general.

Evaluar tres caudales comparativos en el riego por pulso para estimar la eficiencia de aplicación de agua en el cultivo de palto en el CIE. Cañasbamba 2019.

1.1.2. Objetivos específicos.

- Medir y calcular los parámetros físicos e hidráulicos del suelo en la parcela experimental del cultivo de palto en el CIE Cañasbamba.
- Diseñar el manejo de riego por pulso en el cultivo de palto según la parcela experimental en el CIE Cañasbamba.
- Calcular el caudal que optimiza la eficiencia de aplicación del uso del agua del riego por pulsos en el cultivo del palto en el CIE Cañasbamba.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de investigación

Génova et al., (2015), en su artículo científico titulado: “*Desempeño de tres métodos de riego por surcos: caudal único, dos caudales y caudal discontinuo en un cultivo de maíz*”, desarrolla el siguiente objetivo: evaluar tres métodos de riego por surcos: caudal único, dos caudales y caudal discontinuo en un cultivo de maíz. El método desarrollado es: el sector del lote regado por pulsos presentó una pendiente longitudinal de 0.34%, con la cual se estimó el $QMNE=1.79$ L/s con el modelo de Criddle (1956). El ensayo de caudales con 6 caudales de 0.90, 1.10, 1.30; 1.50, 1.70 y 1.90 L/s. Se seleccionó el $QMNE=1.30$ L/s, se determinó la eficiencia de aplicación (Efa), eficiencia de aplicación del cuarto inferior (Efaci), eficiencia de almacenaje (Efalm), eficiencia de distribución (Efd) y coeficiente de uniformidad (CU) para el caudal óptimo seleccionado. Los ensayos de caudales de avance se diseñaron, operaron y evaluaron para los siguientes tratamientos: riego con caudal único tratamiento (T1), riego con dos caudales tratamiento (T2) y riego por pulsos tratamiento (T3). Resultados: Las Efa para T3 (76.1%), T2 (71.8%) y T1 (49.4%). Las Efaci alcanzaron T3 (71.9%), T2 (54.8%) y T1 (32.1%). CU para T3 (95.2%), T2 (81.5%) y T1 (70.9%). Llegó a la siguiente conclusión: muestra que el tratamiento T3 superó a T2 y T1 en todos los indicadores.(p. 174)

Giraldo (2019), en su tesis titulada: “*Efecto del riego intermitente en el rendimiento del cultivo de papa (solanum tuberosum l.) variedad única*”. El objetivo: evaluar el rendimiento y la eficiencia de aplicación de riego en el cultivo de papa variedad única abastecido con un sistema de riego intermitente en comparación al sistema tradicional de riego continuo. El método empleado: sistema tradicional de riego continuo, los tratamientos se distribuyeron en dos parcelas de diez bloques cada una. El riego intermitente consta de dos fases, la primera es el de avance, donde se humedece el surco mediante pulsos de agua por tramos, saturando el suelo de manera uniforme y rápida, para luego entrar a la fase de remojo, donde se abrieron las compuertas por lapsos de tiempo hasta terminar la aplicación de la lámina necesaria para el cultivo; en el riego continuo se abren las compuertas y se espera a que termina el tiempo de riego. Los resultados fueron: la eficiencia de aplicación con riego continuo fue 37.22% y con riego intermitente fue de 72.71%. En conclusión: hay un mejor aprovechamiento de agua con el sistema de riego intermitente.(p.1)

2.2. Bases teóricas

2.2.1. La eficiencia en el uso del agua

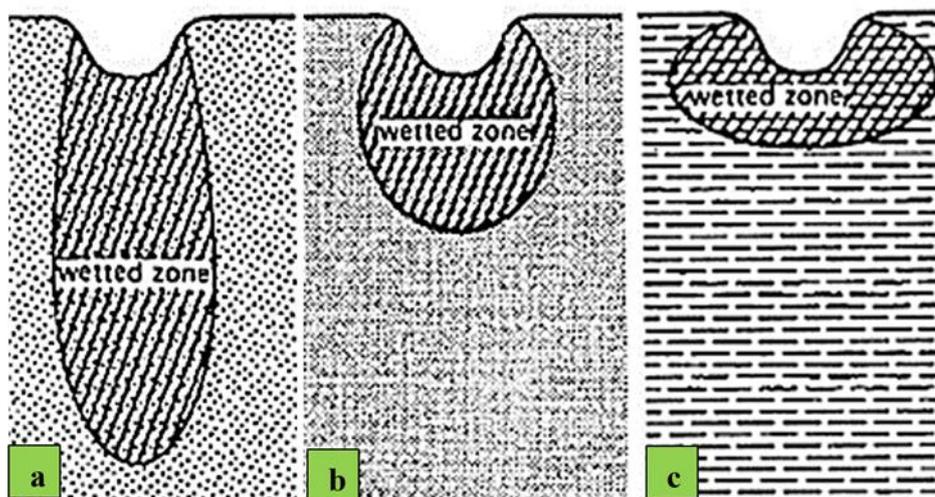
Salazar et al., (2014), dicen que: la eficiencia en el uso del agua, es la relación existente entre la biomasa presente en un cultivo por unidad de agua utilizada en un determinado momento. Cuando se pretende enfocar el empleo del agua por un componente meramente productivo y económico, se recurre a sustituir la biomasa por el rendimiento en kg, de producto por m³ de agua utilizada.(p. 177)

2.2.2. El movimiento del agua en el suelo

Fernández et al., (2010), dicen que: el movimiento del agua en el suelo, depende sobre todo de la textura y estructura del suelo. Se puede observar en la figura 1, el suelos arcillosos el agua se expande hacia los laterales con mayor facilidad, en los suelos arenosos el agua tiende a desplazarse en profundidad, pérdidas de agua que se producen en suelos arenosos.(p. 23)

Figura 1

Infiltración del agua en el suelo con respecto a su textura.



Nota: a) Suelo arenoso, b) Suelo franco, c) Suelo arcilloso.

Fuente: (Salas & Urrestarazu, 2008)

2.2.3. Riego por gravedad

En el método de riego gravitacional, la gravedad es la fuerza motriz encargada de mover el agua desde un punto más elevado a otro punto más bajo, a favor de la pendiente. Dentro de este sistema existen dos grandes grupos que son: riego por inundación y riego por surco. (López, 2016, p. 21)

2.2.3.1. Riego por surcos.

El agua es conducida a través de surcos de riego, desde la cabecera hasta la cola. Este sistema se adapta muy bien a cultivos en hilera y en menor grado a frutales. Este método presenta una mejor eficiencia de aplicación, según las mejoras y manejos empleados. (López, 2016, p. 24)

El tipo de riego donde el agua se distribuye por surcos paralelos, de forma que se infiltra por el fondo y costados, es muy aconsejable para algunos cultivos que son muy sensibles al encharcamiento, se evita mojar el cuello de la planta y que se produzcan ciertas enfermedades. (Fernández et al., 2010, p. 23)

2.2.3.2. Separación de los surcos.

La separación de los surcos es asegurar que el movimiento lateral de agua entre dos surcos consecutivos moje la totalidad de la zona radicular de la planta, antes de que alcance profundidades superiores a las previstas en el riego y existan pérdidas de agua por percolación profunda. El movimiento horizontal y vertical del agua en el suelo depende fundamentalmente de su textura. (Fuentes, 1999, p. 202), ver la figura 2.

En suelos arenosos el agua desplaza más en profundidad que lateralmente. En estos suelos la separación máxima de los surcos será de 50cm.

En los suelos de textura media se produce una infiltración compensada en sentido vertical y en sentido horizontal. Los surcos pueden tener una separación de 0.50 a 1.00 m.

En suelos arcillosos el agua expande con más rapidez en sentido horizontal que en sentido vertical; por lo cual, los surcos pueden tener una separación de hasta 1.50m.

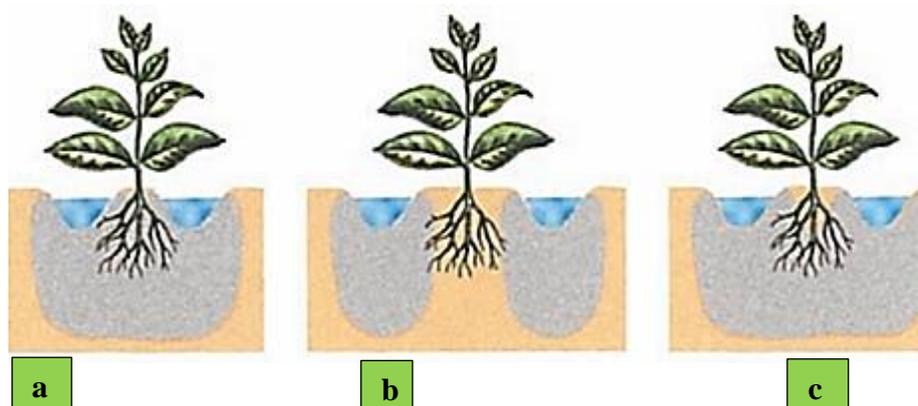
2.2.3.3. Sección del surco.

La sección transversal del surco ha de ser suficientemente amplia para conducir el caudal necesario.

El perímetro del surco en forma de “U”, con una anchura del fondeo de 20-40cm en hortalizas y hasta 60cm en frutales, tienen la ventaja sobre los de sección en “V”, la infiltración es más uniforme (Salas & Urrestarazu, 2008, p. 1). Ver la figura 3.

Figura 2

Separación entre surcos.



Nota: a). Poca separación; b) Mucha separación.; c) Separación adecuada

Fuente: (Fernández et al., 2010, p. 23)

Figura 3

Sección del surco.



Nota: En el surco en forma de “U” el perímetro mojado varía poco con la altura del agua, mientras que en el surco en forma de “V” varía mucho.

Fuente:(Fuentes, 1999, p. 202)

2.2.4. Área de superficie de Riego

La medición de la proyección del diámetro de la copa (d_c), en dos direcciones fundamentales, norte-sur y este-oeste, tomando como referencia la proyección de los extremos de la misma sobre el suelo (Pérez Bravo et al., 2019, p. 33). Ver la figura 4, la medición vertical. Ver la figura 5, la medición horizontal.

2.2.5. Longitud de los surcos

En la construcción se busca un equilibrio, los surcos largos (más económicos), surcos cortos (mayor eficiencia de riego). Como regla general se puede aconsejar hacer los surcos

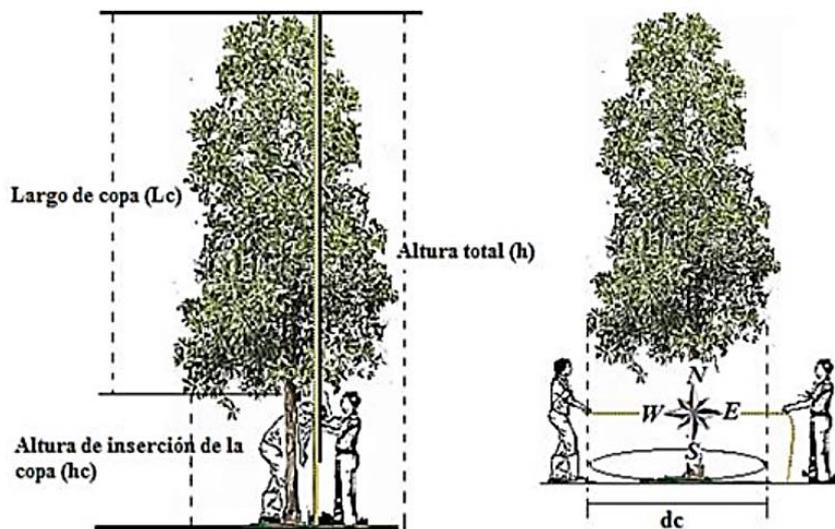
que se tenga controlada la erosión y haya una eficiencia de riego razonable (Fuentes, 1999, p. 205).

Textura del suelo. En suelos de textura arenosa hay que limitar la longitud de los surcos, para evitar las pérdidas por percolación profunda en los primeros tramos del surco.

Cultivo. Las plantas de raíces profundas necesitan mayor dosis de riego que las de raíces someras; por tanto, en aquéllas se puede aumentar la longitud de los surcos, con el fin de incrementar la permanencia del agua (Fuentes, 1999, p. 205).

Figura 4

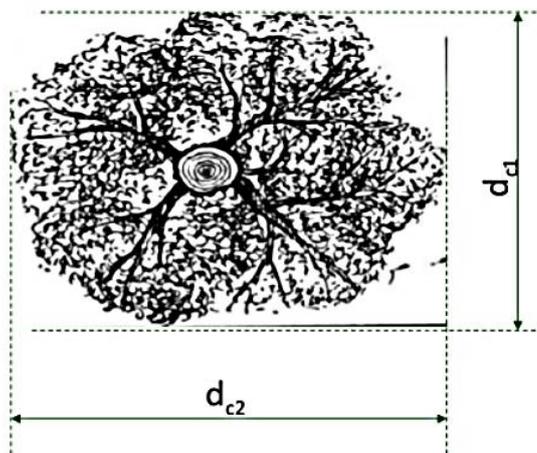
Medición de la altura y el diámetro de la copa del árbol.



Fuente: (Pérez Bravo et al., 2019, p. 33)

Figura 5

Diámetro de la copa de los árboles.



Fuente: (Miguel Ángel Cogolludo Agustín, s/f, p. 4)

$$d_{\text{copa}} = \frac{d_{c1} + d_{c2}}{2} \quad [1]$$

Donde:

d_{copa} : Diámetro promedio de la copa.

d_{c1}, d_{c2} : Diámetros de la copa.

$$A. s_{\text{copa}} = \frac{\pi}{4} * d_{\text{copa}}^2 \quad [2]$$

$A. s_{\text{copa}}$:Área de la superficie de la copa.

En el riego por surco, el agua avanza por el surco, conecta entre área de superficie de copa del cultivo de palto.

2.2.6. Sistema de raíces

El cultivo de palto posee un sistema radicular superficial, el 80% de raíces se concentra en primeros 40 a 60cm de suelo, sistema radicular sensible a asfixia 1m de profundidad: 60cm para raíces y 40cm para drenaje (Gil, 2004, p. 9)

2.2.7. Fases y tiempos del riego superficial

Las fases de riego están separadas entre tiempos, estos tiempos son:

Tiempo de inicio del riego (t_i). Es el tiempo en el que comienza a entrar agua al surco.

Tiempo de avance (t_a). Es el tiempo en el que el agua cubre la totalidad del surco.

Tiempo de corte (t_c). Es el tiempo en el que deja de entrar agua al surco.

Tiempo de vaciado (t_v). Es el tiempo en el que una parte del surco queda al descubierto después de infiltrarse toda el agua o desplazarse hacia otras zonas.

Tiempo de receso (t_r). Es el tiempo en que desaparece el agua de toda la superficie del surco.

La duración entre estos tiempos característicos define las fases típicas del riego por superficie:

Fase de avance: Diferencia entre t_a y t_i .

Fase de llenado: Diferencia entre t_c y t_a .

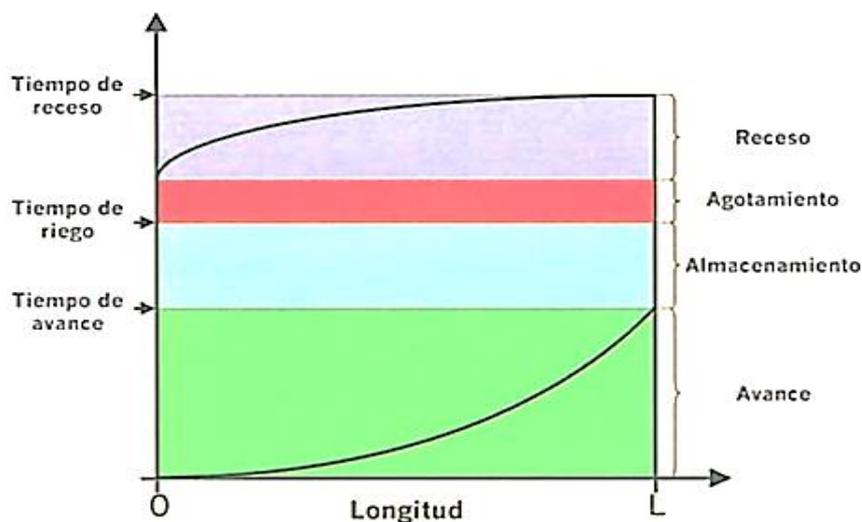
Fase de vaciado: Diferencia entre t_v y t_c .

Fase de receso: Diferencia entre t_r y t_v .

La figura 6. Representa características de los tiempos y las fases del riego por superficie.

Figura 6.

Diagrama de avance-recesión de un riego por superficie.



Fuente: (Fernández Gómez, 2010, p. 13)

2.2.8. Riego por surcos mediante pulsos de agua.

Fue desarrollada en los Estados Unidos a los inicios de la década de los 70. Se denomina riego por pulsos a la técnica de riego por surcos, para el control de la percolación del agua de riego. A principios de la década de los 80, Centros de Investigación Agrícola junto con universidades, perfeccionaron esta metodología conocida en inglés como surge flow. (Antúnez et al., 2015, p. 28)

2.2.9. Procesos físicos durante el riego por pulso.

La explicación del fenómeno de riego por pulsos se debe a que entre un pulso y otro se produce un disgregamiento de terrones, un reacomodamiento de partículas y una migración de sedimentos que sellan la base del surco. Por otra parte, al haber una interrupción de suministro de agua queda aire atrapado en los poros del suelo. (Giraldo, 2019, p. 8)

2.2.10. El diseño de riego, tiempo de avance.

El diseño de riego por surcos, se realizó utilizando la ecuación.[3] (Génova et al., 2015, p. 178)

$$QMNE * t_a = L_n * A \quad [3]$$

Donde:

t_a : Tiempo de avance, en segundos.

$QMNE$: Caudal máximo no erosivo, en m^3/s

A : Área superficial del surco, en m^2

L_n : Lámina neta, en mm.

2.2.11. La lámina total derivada en riego por pulsos (discontinuo) (dd)

“El diseño del riego por surcos con caudal discontinuo se basó en un ensayo de avance, que proporcionó el dato del tiempo de avance, la evaluación del riego por pulsos” (Génova et al., 2015, p. 178). La lámina total derivada (dd), en mm. Ver la ecuación [4].

$$dd = \frac{\sum((QMNE * T_{pi})}{A} * 1000 \quad [4]$$

Donde:

T_{pi} : Tiempo de cada pulso de riego, en segundos.

$QMNE$: Caudal máximo no erosivo, en m^3/s .

A : Área superficial del surco, en m^2

dd : Lámina total derivada en mm.

2.2.12. Eficiencia de aplicación de agua (Efa)

Flórez et al.(2013), dicen que “la eficiencia de aplicación de agua irrigada es un parámetro que cuantifica cuanto de agua aplicada es realmente utilizada”(p. 107). También se puede expresar en términos de lámina: lámina media almacenada en la zona de raíces en mm, con respecto la lámina total derivado en mm (Génova et al., 2015, p. 178). Ver la ecuación [5], con la ecuación [6], donde se calculó el volumen de pérdida de agua por percolación profunda en el perfil longitudinal del surco.

$$Efa = \frac{dm}{dd} * 100 \quad [5]$$

ó

$$Efa = \frac{VTA - (V_{perc} + V_{esc})}{VTA} * 100 \quad [6]$$

Donde:

dd : Lámina total derivada en mm.

dm : Lámina media almacenada en la zona de raíces en mm.

Efa : Eficiencia de aplicación de agua en %.

VTA : Volumen total del agua aplicado.

V_{perc} : Volumen de pérdida de agua por percolación profunda.

V_{esc} : Volumen de pérdida de agua por escurrimiento superficial en el surco.

2.2.13. Eficiencia de aplicación del cuarto inferior (*Efaci*)

“Lámina promedio almacenada en la zona de raíces correspondientes al 25% de los menores valores de la longitud del surco, en mm, con respecto lámina total derivada, en mm”.(Génova et al., 2015, p. 179), ver la ecuación [7]

$$Efaci = \frac{dmci}{dd} * 100 \quad [7]$$

Donde:

Efaci: Eficiencia de aplicación del cuarto inferior, en %.

dmci: Lámina promedio almacenada en la zona de raíces correspondientes al 25% de los menores valores, en mm.

dd : Lámina total derivada, en mm.

2.2.14. Lámina neta (*Ln*)

“La lámina neta es la cantidad de agua que debe ser aplicada durante el riego con el fin de cubrir el agua utilizado por el cultivo durante la evapotranspiración”. (Mario, 2009, p. 1), ver la ecuación [8]

$$Ln = \frac{(CC\% - PM\%)}{100} * \left(\frac{Dap}{Da}\right) * Pr * UH \quad [8]$$

Donde:

CC% : Capacidad de campo.

PMP% : Punto de marchitez permanente.

Dap : Densidad aparente del suelo.

Da : Densidad de agua.

UH : Umbral de riego.

Pr : Profundidad radicular de palto.

2.2.15. Eficiencia de almacenaje (*Efalm*)

La eficiencia de almacenamiento es la relación de lámina media almacenada en la zona de raíces en mm, entre la lámina neta en mm. Ver la ecuación [9]

$$Efalm = \frac{dm}{Ln} * 100 \quad [9]$$

Donde:

Efalm : Eficiencia de almacenaje, en %.

Ln : Lámina neta, en mm.

dm : Lámina media almacenada en la zona de raíces en mm.

2.2.16. Eficiencia de distribución (Efd)

Génova et al. (2015), citan a Merriam y Keller (1978) que la uniformidad de distribución como la relación del promedio de la lámina infiltrada en el cuarto más perjudicial con respecto, lámina media almacenada en la zona de raíces en mm. Ver la ecuación [10].

$$Efd = \frac{dmci}{dm} * 100 \quad [10]$$

Donde:

Efd : Eficiencia de distribución, en %.

dm : Lámina media almacenada en la zona de raíces, en mm.

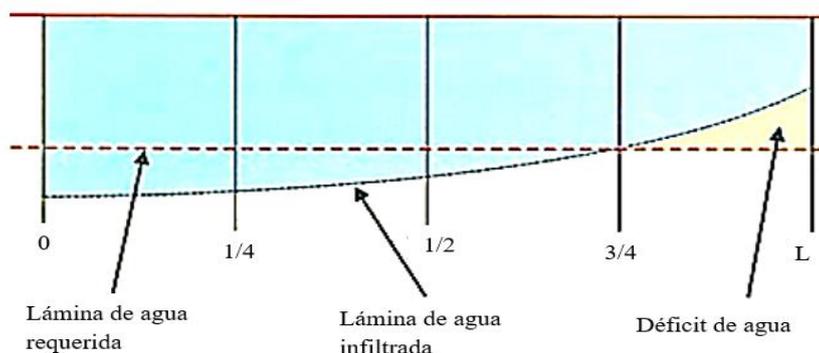
dmci : Lámina media almacenada en la zona de raíces en el cuarto inferior en mm.

2.2.17. Eficiencia de uniformidad (Efu)

La eficiencia está relacionada con el grado de uniformidad en la aplicación del agua sobre el área irrigada. Cuando se aplica el agua de riego, 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. (Rojas, 2001, p. 47), ver la ecuación [11].

Figura 7

Humedecimiento ideal.



Fuente: (Fernández et al., 2010, p. 34)

$$Efu = \left[1 - \frac{(|\bar{y}|)}{d} \right] * 100 \quad [11]$$

$$|\bar{Y}| = \frac{\sum_i^n |y_i - \bar{d}|}{n} \quad [12]$$

$$\bar{d} = \frac{(\sum_i^n y_i)}{n} \quad [13]$$

Donde:

Efu : Coeficiente de uniformidad, en %.

Yi : Datos individuales de los caudales puntos de muestreo.

\bar{Y} : Promedio de las desviaciones de las láminas de agua aplicadas.

\bar{d} : Promedio de la lámina de agua aplicada durante el riego.

n : Número de muestras.

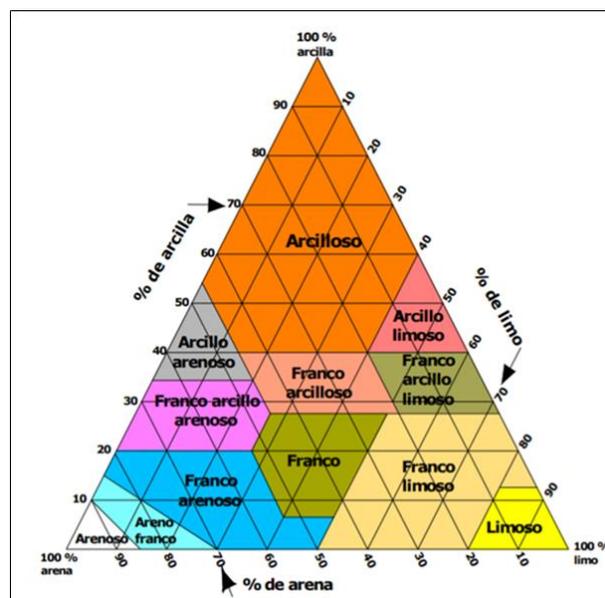
2.2.18. Propiedades físicas del suelo

2.2.18.1. Textura del suelo.

La textura indica el contenido relativo de partículas de diferente tamaño, como la arena, limo, arcilla, la textura tiene que ver con la facilidad con que se puede trabajar el suelo, la cantidad de agua y aire que retiene y la velocidad con que el agua penetra en el suelo. Esta propiedad influye considerablemente en la infiltración del agua. En términos generales se puede decir que, a mayor diámetro de las partículas de suelo, mayor infiltración, tamaño de las partículas, establecida por la USDA, diámetro (\emptyset): Arena: $2\text{mm} > \emptyset > 0.05\text{ mm}$, Limo: $0.05\text{ mm} > \emptyset > 0.002\text{ mm}$ Arcilla $\emptyset < 0.002\text{mm}$.

Figura 8

Triángulo textural de USDA.



Fuente: (Olguín et al., 2018)

2.2.18.2. Estructura del suelo.

El suelo presenta diferentes tipos de estructuras de suelos.

Estructuras granulares y migajosas. Las partículas son individuales arena, limo y arcilla agrupadas en granos pequeños casi esféricos. El agua circula muy fácilmente a través de esos suelos. Por lo general, se encuentran en el horizonte “A” de los perfiles de suelos.(Fao, s/f).

Estructuras en bloques o bloques subangulares. Son partículas de suelo que se agrupan en bloques casi cuadrados o angulares con los bordes más o menos pronunciados. Los bloques relativamente grandes indican que el suelo resiste la penetración y el movimiento del agua. Suelen encontrarse en el horizonte “B” cuando hay acumulación de arcilla.(Fao, s/f)

Estructuras prismáticas y columnares. Son partículas de suelo que han formado columnas o pilares verticales separados por fisuras verticales diminutas, pero definidas. El agua circula con mayor dificultad y el drenaje es deficiente, normalmente se encuentran en el horizonte “B” cuando hay acumulación de arcilla.(Fao, s/f)

Estructura laminar. Se compone de partículas de suelo agregadas en láminas o capas finas que se acumulan horizontalmente una sobre otra. A menudo las láminas se traslapan, lo que dificulta notablemente la circulación del agua. Esta estructura se encuentra casi siempre en los suelos boscosos, en parte del horizonte “A” y en los suelos formados por capas de arcilla.(Fao, s/f)

Figura 9

Principales estructuras en los suelos.



Fuente: (Fao, s/f)

2.2.18.3. Perfil del suelo.

El perfil de un suelo es la ordenación vertical de todos sus horizontes hasta la roca madre. Los horizontes o niveles son capas que se desarrollan en el seno del suelo, en un suelo maduro se pueden distinguir bien los niveles u horizontes que permiten su clasificación y estudio, los principales horizontes son.

Horizonte A. Contiene pocas sales minerales, ya que son arrastradas hacia abajo por las aguas al infiltrarse, en él se encuentran las raíces de la mayoría de las plantas y se divide, a su vez, en varios estratos, suele ser oscuro y rico en humus.

Horizonte B. Tiene color claro por su pobreza en humus, presenta una acumulación de sales de calcio, aluminio o hierro procedentes de los niveles superiores.

Horizonte C. Formado por fragmentos procedentes de la meteorización mecánica y/o química de la roca madre subyacente.

Roca madre. Material original sobre el que se desarrolla el suelo. La roca madre puede ser una roca dura, compacta e impermeable, una roca blanda o materiales sueltos.

2.2.18.4. Densidad aparente (d_{ap}).

Representa la relación que existe entre el peso de suelo seco (P_s) y el volumen total, expresado en (g/cm^3). Ver la ecuación [14].

$$D_{ap} = \frac{P_s}{V_T} \quad [14]$$

Donde:

D_{ap} : Densidad aparente (g/cm^3).

P_s : Peso seco(g).

V_t : Volumen total(cm^3).

2.2.18.5. Densidad real (d_r).

Representación la relación que existe entre el peso sólido y volumen de las partículas sólidas (g/cm^3). Ver la ecuación [15].

$$d_r = \frac{P_s}{V_s} \quad [15]$$

Donde:

d_r : Densidad real (g/cm^3).

P_s : Peso seco(g).

V_s : Volumen seco, en (cm³).

$$P_s = (w_2 - w_1)$$

W1: Peso de un matraz vacío de 50ml.

W2: Peso de un matraz más suelo seco.

$$V_s = ((w_4 - w_1) - (w_3 - w_2))$$

W3: Peso de matraz con suelo seco más agua hasta la marca de 20ml
luego se agitar durante 5 minutos, para desalojar el aire.

W4: Peso de matraz lleno de agua hasta la marca de 20ml.

2.2.18.6. Porosidad del suelo (P).

Es el volumen ocupado por los poros expresado normalmente como porcentaje del volumen total del suelo, ver la ecuación [16].

$$P = \frac{d_r - D_{ap}}{d_r} \quad [16]$$

Donde:

P : Porosidad.

d_r : Densidad real (g/cm³).

D_{ap} : Densidad aparente (g/cm³).

2.2.18.7. Relación de vacíos (e).

$$e = \frac{P}{1 - P} \quad [17]$$

Donde:

P : Porosidad.

e : Relación de vacíos.

Tabla 1

Características de los suelos en función de su clase textural.

Textura	Conductividad hidráulica (cm/hr)	Porosidad (%)	Densidad aparente (Mg/cm ³)	CC (%)	PMP (%)	CRAD (%)
Arenoso	5(2.5-25)	38(32-42)	1.65(1.55-1.8)	9(5-16)	4(2-6)	8(6-10)
Franco arenoso	2.5(1.3-7.6)	43(40-47)	1.5(1.4-1.6)	14(10-20)	6(4-8)	12(9-15)
Franco	1.3(0.8-2.0)	47(43-49)	1.4(1.35-1.5)	22(15-30)	10(8-12)	17(14-20)
Franco arcilloso	0.8(0.25-1.5)	49(47-54)	1.35(1.3-1.4)	27(25-35)	13(11-15)	19(16-22)
Arcillo limoso	0.25(0.03-0.5)	51(49-53)	1.3(1.3-1.4)	31(27-40)	15(13-17)	21(18-23)
Arcilloso	0.05(0.01-1.0)	53(51-55)	1.25(1.2-1.3)	35(30-70)	17(15-19)	23(20-25)

Fuente:(L. Flores & Alcalá, 2010, p. 20)

2.2.19. Parámetros hidráulicos del suelo

En el proceso de infiltración de agua procedente de algún evento de lluvia o riego, el agua penetra en el suelo. La capacidad de campo (máxima cantidad de agua que el suelo puede retener), el agua desciende por la acción conjunta de las fuerzas capilares y de la gravedad.(Durán, 2015, p. 20)

2.2.19.1. Velocidad de infiltración.

Modelo de Kostiakov. En 1932 propuso las siguientes ecuaciones de carácter empírico para estimar la tasa de infiltración y la infiltración acumulada.(Rodríguez et al., 2008, p. 62), ver la ecuación [18]

$$I = k * t^n \quad [18]$$

Donde:

I : Velocidad de infiltración, en cm/h.

K : Factor numérico adimensional, es el parámetro del ajuste de los datos de campo al modelo.

n : Exponente que varía entre 0 y -1.

t : Tiempo de infiltración, en minutos, o tiempo de contacto del agua con el suelo.

2.2.19.2. La infiltración acumulada.

Llamada también lámina de infiltración acumulada es la integral de la velocidad de infiltración.

$$I_{ACUM} = \int_{t_0}^t k t^n * dt$$

“t” en minutos, hay que afectar el cociente por el factor 60 atendiendo a que 1h = 60 min. Ver la ecuación. [19]

$$I_{ac} = \frac{k}{60(n+1)} * t^{n+1} \quad [19]$$

$$I_{ac} = A * t^B \quad [20]$$

Donde:

I_{ac} : Infiltración acumulada, en cm.

A : Factor parámetro de la ecuación, $A = \frac{K}{60*(n+1)}$

B : Exponente parámetro, calculado en la integración como, $B = n + 1$, representa la tasa de cambio de la variable dependiente “Iac” respecto del “t”, explica el crecimiento de “Iac” con el tiempo, a medida de continua el proceso de infiltración. t = tiempo, en minutos.

2.2.19.3. Velocidad infiltración básica.

$$I = aT_0^b \quad [21]$$

$$I = a(-10b)^b \quad [22]$$

Donde:

To: en horas

2.2.19.4. Contenido de agua en el suelo.

Es la cantidad de agua que se encuentra en un suelo en un momento determinado, podemos expresarlos como masa(g) y en lámina(mm), depende principal de la textura y estructura.

2.2.19.5. Humedad gravimétrica.

Es la masa de agua en relación al peso de suelo seco, secado en estufa 105°C-110°C durante 24 horas a 48 horas, ver la ecuación [23].

$$W = \frac{W_t - W_s}{W_s - W_{cap}} \quad [23]$$

$$W_{\%} = \frac{W_t - W_s}{W_s - W_{cap}} * 100 \quad [24]$$

Donde:

W_t : Peso total del suelo húmedo(g)

W_s : Peso del suelo seco(g)

W_{cap} : Peso capsula(g)

W : Humedad gravimétrica

$W_{\%}$: Humedad gravimétrica (%)

2.2.19.6. Humedad volumétrica.

Es la relación del volumen del agua entre el volumen total del suelo. Ver la ecuación [25]

$$W_V = W * \left(\frac{D_{ap}}{D_a} \right) \quad [25]$$

$$W_{V\%} = W * \left(\frac{D_{ap}}{D_a} \right) * 100 \quad [26]$$

Donde:

D_{ap} : Densidad aparente(g/cm³)

D_a : Densidad agua(g/cm³)

W_V : Humedad Volumétrica

W : Humedad gravimétrica

$W_{V\%}$: Humedad Volumétrica (%)

2.2.19.7. Humedad del suelo expresado en altura o lámina de agua.

El valor contenido de agua del suelo es importante calcular la cantidad de agua a complementar con el riego, la profundidad que alcanza en el perfil de suelo una determinada cantidad de agua, se mide en función de la altura de la lámina de agua que cae por unidad de área. Si $h_p=1\text{mm}$, entonces volumen = 0,001 m³ o igual a 1 litro.(Hernández, 2015, p. 17), ver la ecuación [27].

$$L = W_V * h \quad [27]$$

Donde:

L : Lámina de agua (mm).

h : Profundidad de la muestra.

W_V : Humedad Volumétrica.

2.2.20. El caudal que optimiza el riego

2.2.20.1. Caudal máximo no erosivo.

“Criddle (1956) establece una ecuación para calcular el caudal máximo no erosivo (QMNE), en L/s, en función de la pendiente (S_o %)” (Holzapfel H, 1993, p. 54), ver la ecuación [28].

$$Q_{max} = \frac{C}{S\%} \quad [28]$$

Donde:

- Qmax: Caudal máximo no erosivo
- C : 0.57 para suelos arenosos
- C : 0.63 para suelos francos
- C : 0.96 para suelo arcillosos

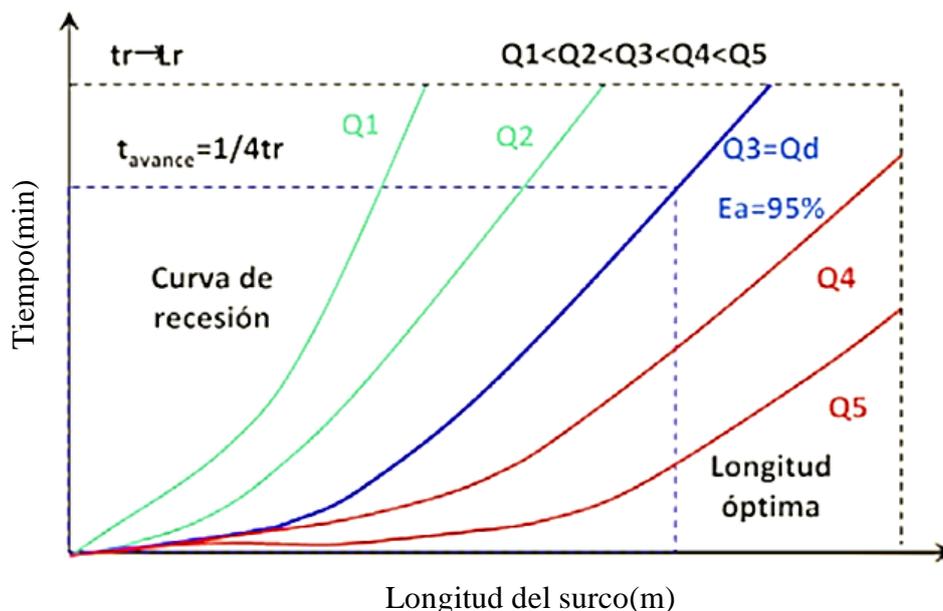
“Para suelo con pendientes menores al 0.3% es recomendable utilizar la ecuación para calcular el caudal”.(Holzapfel H, 1993, p. 54)

2.2.20.2. Selección de caudal de ingreso al surco.

La mejor manera de evaluar el riego por surco y mejorar su diseño, es mediante ensayo directo en el terreno, con diferentes caudales. “El comportamiento del avance del agua sobre un suelo bajo riego depende principalmente del tiempo, caudal unitario, pendiente, velocidad de infiltración, rugosidad de la superficie de avance y la geometría del surco”(Tornés et al., 2016, p. 25). La curva de avance es fundamental para determinar a partir del caudal de diseño la longitud del surco y la función de infiltración entre otros parámetros se representa la curva de avance del flujo superficial(Tornés et al., 2016, p. 24). Ver la figura 10.

Figura 10

Curvas de avance del surco según Criddle



Nota: Curvas de avance para determinar la máxima longitud de los surcos según Criddle

Fuente:(Lázaro et al., 2010)

2.2.21. Avance del flujo en los surcos

Se marcaron estaciones con intervalos de 10m a lo largo del surco para investigar los tiempos de avance y recesión del agua de cada caudal. Los parámetros “a” y “X” de la ecuación de la curva de avance fueron computados para cada caudal mediante técnicas de regresión no lineal. (Tornés et al., 2016, p. 24), ver la ecuación [29].

$$L = a * t^x \quad [29]$$

Dónde:

L : Longitud de avance, en metros.

a y x : Parámetros.

t : Tiempo de avance, en minutos.

2.2.22. Calibración del modelo del caudal máximo no erosivo de Criddle (1956)

Calibración del modelo mediante el método numérico de Newton Raphson este método presenta mejor eficiencia de optimización de solucionar. La utilización del modelo la ecuación lineal llevar a una ecuación no lineal, llevar la ecuación a la serie de Taylor de la función f(x). y realizar un número de iteraciones.

$$f(x) \cong f(x_n) + f'(x_n) * (x - x_n).$$

Ahora bien, se busca el valor de $x=x_r$, tal que $f(x_r)=0$, por lo tanto:

$$X_r = X_n - \frac{f(X_n)}{f'(X_n)}$$

De donde se obtiene la fórmula de recurrencia del modelo de Newton- Raphson.

$$X_{n+1} = X_n - \frac{f(X_n)}{f'(X_n)} \quad [30]$$

2.3. Definición de términos

Suelo saturado. Un suelo está saturado cuando todos sus poros están ocupados por el agua, se presenta después de mucho riego.

Capacidad de campo. Un suelo saturado de agua cuando deja drenar, los poros que estén parcialmente lleno de agua y aire por lo tanto las raíces de las plantas pueden tanto absorber agua y como respirar perfectamente capacidad óptima del suelo es el punto de equilibrio entre fuerza de gravedad ase que las partículas de agua drenen.

Punto de marchitez permanente. Las plantas llegan a sufrir marchitez, en este punto la planta ya no transpira, más las estomas se cierra y se marchitan.

Potencial mátrico. El agua en el suelo está en movimiento o retenida por las fuerzas de retención, adhesión y cohesión, constituyen el potencial mátrico.

Adhesión. Son las fuerzas que ejercen las partículas sólidas sobre las moléculas de agua.

Agua disponible o humedad aprovechable. Es la diferencia entre la capacidad de campo con respecto al punto de marchitez permanente, para el diseño no se debe permitir que el agua se acerque al punto de marchitez permanente porque es muy riesgoso que las plantas disminuyen su producción.

Umbral de riego. Es el punto medio para definir nuestro sistema de riego como umbral de riego entre 50% entre capacidad de campo y el punto de marchitez permanente.

Agua no disponible. Porción de agua retenida por el suelo con tanta fuerza que las plantas no pueden absorberla con suficiente rapidez para compensar las pérdidas por transpiración. Es el agua que permanece en el suelo a partir del punto de marchitamiento.

Riego por pulso. El riego por pulsos consiste en aplicar el caudal de repetidas veces entre periodos de tiempo.

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

Eficiencia de aplicación de agua. Cuanto, de agua aplicada durante el riego, es realmente almacenada en la zona radicular para su aprovechamiento de la planta.

Textura del suelo. La textura del suelo se refiere a la cantidad y tamaño de las sustancias inorgánicas que posee: arena, limo y arcilla.

Lámina de infiltración. Es la altura de agua infiltrada.

Caudal máximo no erosivo. El caudal que puede ser conducido por un surco dependiendo de la textura del suelo, longitud de los surcos, de sus condiciones hidráulicas de la sección.

III. MATERIALES Y METODOS

3.1. Tipo de investigación

Sanca (2011), dice que la investigación es un proceso que incluye técnicas de observación, reglas para el razonamiento, predicción y procura obtener información que tenga un fundamento sólido ya sea teórico o experimental; todo esto, para entender, verificar, corregir o aplicar el conocimiento.(p. 621)

De acuerdo a su propósito: aplicada de nivel descriptiva. La investigación aplicada recibe el nombre de “investigación práctica o empírica”, que se caracteriza porque busca la aplicación o utilización de los conocimientos adquiridos, a la vez que se adquieren otros, después de implementar y sistematizar la práctica basada en investigación. El uso del conocimiento y los resultados de investigación que da como resultado una forma rigurosa, organizada y sistemática de conocer la realidad.(Vargas, 2009, p. 159)

Según el tiempo en que se efectúan: es transversal. “Los diseños de investigación transversal recolectan datos en un solo momento, en un tiempo único, su propósito es describir variables y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado”. (Hernández Sampieri et al., 2014, p. 154)

Según la naturaleza de la información que se recoge para responder el problema de investigación: es cuantitativo. Al respecto, Hernández Sampieri et al.(2014), explica que “el método cuantitativo busca cuantificar un fenómeno” usa una recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico para establecer patrones de comportamiento”(p. 25).

Según su objetivo general: es evaluativa.

3.2. Descripción de la zona de estudio

3.2.1. Ubicación política

La investigación se realizó en el CIE de la UNASAM.

Lugar : Cañasbamba.

Distrito : Yungay.

Provincia : Yungay.

Departamento : Ancash.

3.2.2. Ubicación geográfica

Teniendo como Coordenadas UTM (Zona 18)

Latitud. : 09° 05' 50.76" S.

Longitud. : 77° 46' 13.14" W

Altitud. : 2324.00 m.s.n.m.

3.3. Diseño de investigación

Nivel tipo pre experimental.

3.4. Población y muestra

3.4.1. Población

Cultivos de paltos instaladas en el CIE de la UNASAM, Cañasbamba

3.4.2. Muestra

3.4.2.1. No probabilístico.

“Es la elección de los elementos no depende de la probabilidad, sino de causas relacionadas con las características de la investigación o los propósitos del investigador” (Hernández Sampieri et al., 2014).

Número de surcos 12, con 15 plantas por cada surco, distanciadas a 4 metros entre plantas.

3.4.2.2. Por juicio.

Hernández Sampieri et al., (2014), confirman que: el método de muestreo no probabilístico por juicio. Los sujetos se seleccionan a base del conocimiento del investigador. El investigador selecciona a los individuos a través de su criterio profesional, puede basarse en la experiencia de otros estudios anteriores o en su conocimiento sobre la población, el comportamiento de esta frente a las características que se estudian.

3.4.3. Tamaño de la muestra

El ensayo se realizó en tres tratamientos, tratamiento (T1), tratamiento (T2), tratamiento (T3), cada tratamiento con cuatro surcos, en una longitud de surco de 60 metros.

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.5.1. Técnicas de recolección de datos

Análisis de documentos. Se consultó libros, tesis, revistas, artículos de investigación relacionado al tema de investigación.

Observación. En la investigación realizada se han medido las magnitudes físicas como las variables de la investigación.

Descripción de la parcela.

Número total del surco: 12.

Longitud total de cada surco: 60m.

Ancho total de la sub parcela: 48m.

Distancia entre hileras: 4m.

Distancia entre plantas: 4m.

Descripción de la sub parcela.

Número de tratamientos: 3.

Número de surcos por tratamiento: 4 surcos por cada tratamiento.

Tratamientos.

Tratamiento (T1). Caudal continuo (un pulso), en cuatro surcos de palto.

Tratamiento (T2). Caudales aplicados en dos pulsos, en cuatro surcos de palto.

Tratamiento (T3). Caudales aplicados en seis pulsos, en cuatro surcos de palto.

Contenido de humedad. El muestreo edáfico se realizó con un barreno antes y después de riego en cinco profundidades (0 a -10, -10 a -20, -20 a -30, -30 a -40, -40 a -50) cm, desde la cabecera hacia pie del surco en cada 10 metros de la longitud del surco. Se peso la muestra húmeda, se dejó secar las 24 horas en la estufa y se calculó el contenido de humedad con la ecuación [23] de la página 32.

3.5.2. Materiales, herramientas, equipos de recolección de datos

Materiales y equipos que se han empleado en la investigación:

Herramientas

Pala y pico.

Barreno muestreador de suelo.

Cordel.

Infiltrómetro.
Nivel de mano.
Wincha de 60m y de 5m.

Materiales

Manguera de polietileno de 6".
Dos tambores rompe cargas.
Compuerta BG.
Pegamento de PVC.
Balde de 5litros y de 18 litros.

Equipos.

Balanza.
Cronometro.
Nivel de ingeniero.
Cámara fotográfica.

3.6. *Procesamiento de la información*

3.6.1. *Parámetros físicos del suelo*

Con la información obtenida y observada en el campo se realizó el procesamiento para la estimación de los parámetros físicos del suelo como:

3.6.1.1. *La textura de suelo.*

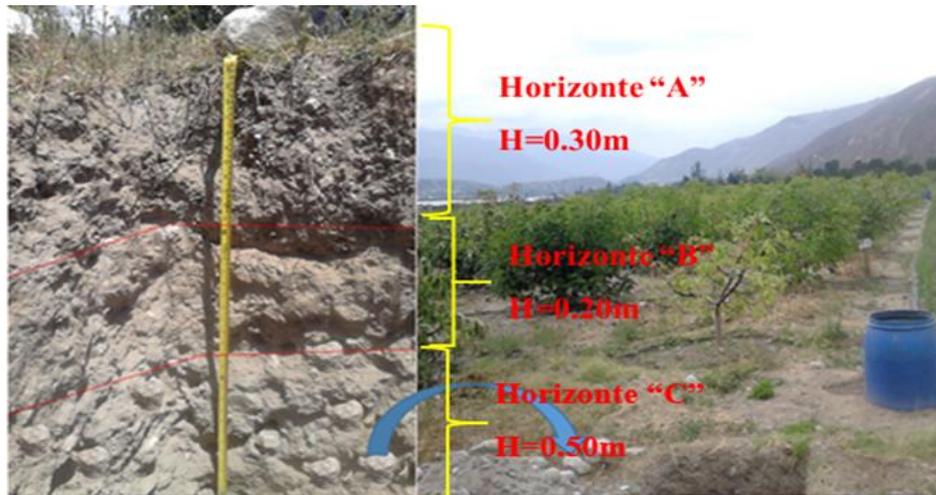
Para la estimación de la textura del suelo se tomó la muestra representativa de la parcela de una profundidad del perfil del suelo de 1m, se uniformizó y se realizó el cuarteo de la muestra en una bandeja, se tomó una pequeña cantidad de 1kg de muestra para ensayo en el laboratorio. El contenido de arena, limo, arcilla se determinó mediante el método de Bouyoucos, se clasificó en el triángulo textural de USDA, ver la figura 8 en la página 27.

3.6.1.2. *Perfil del suelo.*

Se realizó el excavado de un metro de ancho por un metro de largo a una profundidad de un metro, se identificó los distintos horizontes que presenta el perfil del suelo, ver la figura 11.

Figura 11

Perfil del suelo.



Fuente: Elaboración propia.

El horizonte A. Representa suelo oscuro rico en humus.

El horizonte B. Representa suelo color claro pobre en humus.

El horizonte C. Representa depósitos cuaternarios conformado por clastos heterogéneos y heterométricos de formas sub angulosas a sub redondeado en una matriz de suelo franco arenosa.

3.6.1.3. Estructura del suelo.

En la estructura del suelo, ver la figura 11 en la página 41, se identificó según la figura 9 de la página 28. Observándose estructura subangular en bloques.

3.6.1.4. Densidad aparente (*dap*).

Se realizó la saturación de suelo mediante la prueba de infiltración con el infiltrómetro. Pasado las 24 horas se realizó el muestreo de suelo, se determinó mediante el método de cilindro con un volumen conocido de 10cm de altura, se tomó de tres profundidades (0 a -10, -10 a -20, -20 a -30) cm, cada profundidad de 10cm. Se enrazo el volumen del cilindro para poder determinar su volumen de la muestra. Ver la figura 12. Se secó en la estufa a una temperatura de 105°C hasta alcanzar un peso constante, se pesó la muestra seca, se calculó la densidad aparente con la ecuación [14] de la página 29.

Figura 12

Muestreo del suelo mediante el método de cilindro.



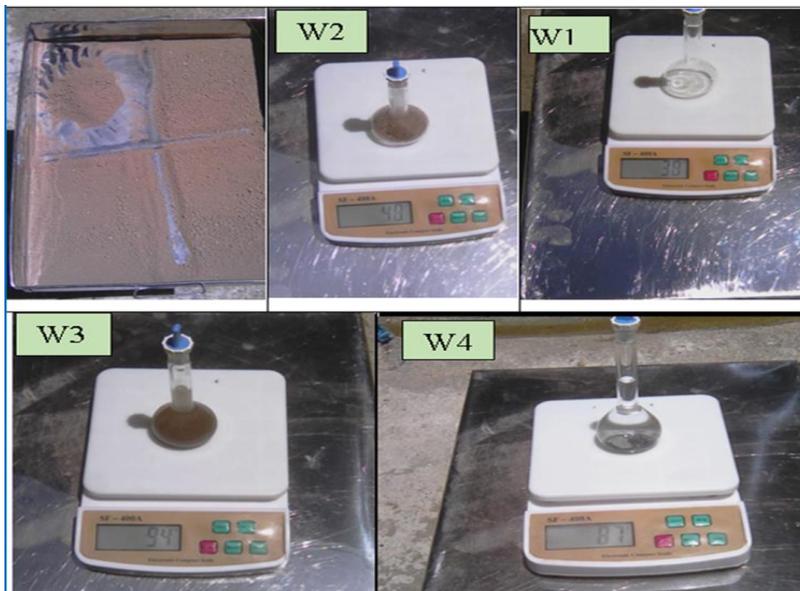
Fuente: Elaboración propia.

3.6.1.5. Densidad real (d_r).

Se determinó la densidad real de una profundidad de perfil del suelo de 30cm, se realizó el cuarteo de la muestra y se tomó la cuarta parte de la muestra de 10gramos. Ver la figura 13. Se calculó utilizando la ecuación [15] de la página 29.

Figura 13

Medición de la muestra para determinar la densidad real.



Nota: a) El cuarteo de la muestra, w1) Peso del matraz vacío de 50ml, w2) Peso del matraz + 10gramos de suelo, w3) Peso del matraz con suelo y agua, se agitar durante 5 minutos donde un movimiento pueda desalojar el aire agregar el agua hasta aforar, pesar y registrar el dato obtenido, w4) peso de matraz aforar con agua

Fuente: Elaboración propia.

3.6.1.6. Porosidad del suelo.

Se calculó utilizando la ecuación [16] de la página 30, la porosidad del suelo.

3.6.1.7. Relación de poros(e).

Se calculó utilizando la ecuación [17] de la página 30, la relación de poros.

3.6.2. Los parámetros hidráulicos del suelo

3.6.2.1. Infiltración.

Se eligió un lugar representativo, sin alteración física del suelo, se niveló el terreno luego se colocó el cilindro infiltrómetro en el lugar determinado, se golpeó el cilindro haciendo penetrar a 5cm de profundidad del nivel del terreno, se niveló con un nivel de mano, se llenó de agua al cilindro infiltrómetro. Ver la figura 14. Se midió el nivel del agua y se realizó mediciones periódicas cada 5 minutos, se registró los datos en la planilla.

Velocidad de infiltración. Se determinó los parámetros de “K”, “n” de la ecuación [18] de la página 31, mediante el método de regresión simple por mínimos cuadrados, función potencial.

Lámina de infiltración acumulada. Se determinó los parámetros “A” y “B” de la ecuación [20] de la página 31, mediante el método de regresión simple por mínimos cuadrados, función potencial.

Velocidad infiltración básica (I_b). Se determinó la velocidad de infiltración básica (I_b), en (mm/hr). utilizando la ecuación [22] de la página 32.

Figura 14

Ensayo de infiltración de Agua.



Fuente: Elaboración propia.

3.6.3. Diseño del manejo de riego por pulso en el cultivo de palto

3.6.3.1. Pendiente longitudinal del surco.

Se determinó la pendiente longitudinal del surco de cada tratamiento, utilizando el equipo de nivel de Ingeniero. Se midió la longitud del surco con wincha métrica como se puede apreciar en la figura 15, en la tabla 2. Ver la pendiente longitudinal del surco.

Figura 15

Nivelación de la pendiente y medición de la longitud del surco.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2

Pendiente longitudinal del surco de cada tratamiento.

Pendiente longitudinal del surco	
Surco	S%
T1	3.43
T2	3.15
T3	3.15

Fuente: Elaboración propia.

3.6.3.2. Caudal máximo no erosivo teórico (QMNE).

Se determinó el caudal máximo no erosivo teórico según el modelo de Criddle (1956). Se empleó la ecuación [28] de la página 33, el valor de la constante ($C=0.63$) se consideró según la textura del suelo de la parcela (franco-arenoso), pendiente longitudinal (S%) del surco de cada tratamiento. Ver la tabla 2, en la página 44.

3.6.3.3. Área de superficie de riego.

El diámetro promedio de la copa del palto (dcopa), ver la figura 16. Se calculó utilizando la ecuación [1] de la página 22.

Área de la superficie de copa (As-copa) se calculó según la ecuación [2] de la página 22, número de paltos en el surco 15 plantas.

Figura 16

Medición del diámetro de la copa del palto y sección del surco.



Nota: a) Medición del diámetro de la copa del palto, b) Medición de la sección del surco

Fuente: Elaboración propia.

Figura 17

Preparación del surco.



Fuente: Elaboración propia.

3.6.3.4. *La lámina neta (Ln).*

Es la cantidad de agua que debe ser aplicada durante el riego. Para obtener los datos se realizó la prueba de infiltración, llenando el agua en un infiltrómetro. Después de 24 horas se realizó el muestreo edáfico de suelo, se realizó ensayo de capacidad de campo (CC%) y de punto de marchitez permanente (PMP%) en el laboratorio de suelos y aguas de la Facultad de Ciencias Agrarias de la UNASAM. Se determinó la lámina neta (Ln) utilizando la ecuación [8] de la página 25, para una profundidad radicular ($p_r=60\text{cm}$), umbral de riego ($UH=50\%$).

3.6.3.5. *El diseño de riego por surcos.*

El tiempo de avance del diseño de riego por surcos se calculó utilizando la ecuación. [3] de la página 23.

3.6.3.6. *La carga hidráulica de agua entre tambores.*

El tambor N° 1, cumple una función de romper la carga hidráulica del caudal de entrada y derivar el caudal por la manguera de polietileno. La altura de la carga es de 0.38m del nivel de agua. El tambor N° 2, cumple una función de eliminar las burbujas de aire de la manguera polietileno. La carga de agua 0.52m, se controló el desnivel de altura de carga dinámica del caudal entre los dos tambores. Los tambores cumplen una función de regular la altura de la carga de agua y romper la presión de carga para que las velocidades de caudal de salida por las compuertas hacia los surcos mantengan constante. Ver la figura 18 y la figura 19.

Figura 18

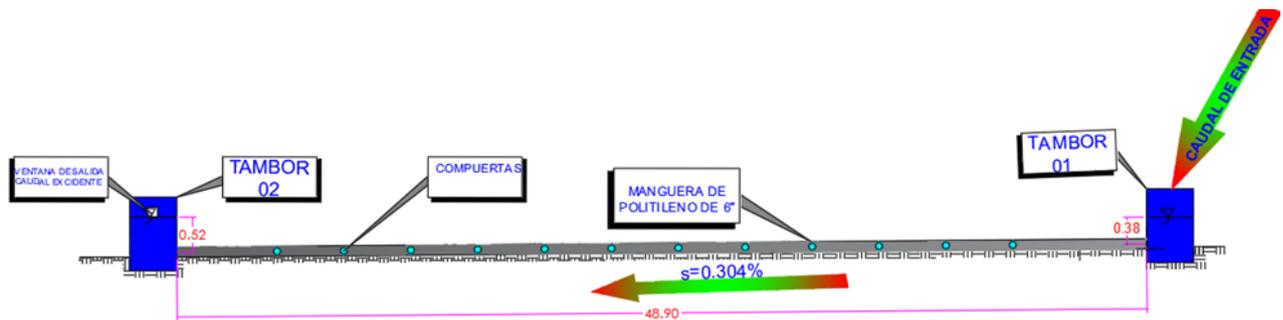
Control de la presión de la carga hidráulica.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 19

Control de la presión de la carga hidráulica.



Fuente: Elaboración propia.

3.6.3.7. Control de caudal con multicompuertas.

El caudal máximo no erosivo teórico se determinó con el modelo de Criddle (1956), dicho caudal se ensayó controlando con las compuertas con medida. Para su evaluación del caudal máximo no erosivo en el surco, se asignó un caudal mayor que caudal máximo no erosivo (QMNE) y dos caudales menores, para cada tratamiento. Ver la figura 20.

Figura 20

Aforo del caudal.



Nota: a) Se controló con una compuerta con medidas, b) Se estimó el QMNE teórico mediante el aforo volumétrico.

Fuente: Elaboración propia.

3.6.3.8. *Ensayo del caudal.*

El caudal máximo no erosión teórica (QMNE), se ensayó mediante el aforo por el método de medición volumétrico. Ver la figura 20 en la página 47. Se realizó tres mediciones de repetidas y se promedió las tres mediciones del caudal máximo no erosivo.

El Volumen del caudal de salida del agua por escurrimiento del surco en litros (L), se recolecto en baldes, luego se realizó la medición del peso mediante una balanza, sabiendo que, un litro de agua pesa aproximadamente un kilogramo (su densidad es aproximada de un kg/L).

El peso de sólido erosivo, se pesó en gramos y se convertido en kilogramo (kg), las partículas sólidas son transporta por el agua de toda la longitud del surco. El volumen del caudal de salida del agua por escurrimiento superficial del surco, recolectada en baldes, se dejó decantar la separación de sólido de agua por la acción de la gravedad. Luego se separó los sólidos erosivos del agua, dejándose secar al sol y finalmente se determinó el peso del sólido.

3.6.3.9. *Pulsos de riego.*

Tratamiento (T1). Caudal continuo (un pulso), se realizó ensayo en una longitud del surco de 60 metros, en un solo periodo de tiempo de riego.

Tratamiento (T2). Caudales aplicados en dos pulsos, se realizó el ensayo, el primer pulso de riego recorre los 30 primeros metros de la longitud del surco, desde la cabecera, se cierra la compuerta hasta finales del tiempo de receso del primer pulso, se apertura la compuerta el mismo caudal del primer pulso para el segundo pulso, que recorre los 60 metros de la longitud del surco desde la cabecera.

Tratamiento (T3). Caudales aplicados en seis pulsos(discontinuos), se realizó el ensayo en una longitud del surco de 60 metros. El primer pulso cubre el tiempo de avance los 10 primeros metros, se cierra la compuerta hasta finales del tiempo de receso del primer pulso. Apertura de la compuerta para segundo pulso que cubre el tiempo de avance los 20 metros, se cierra la compuerta hasta finales del tiempo de receso del segundo pulso. Apertura de la compuerta para tercer pulso que cubre el tiempo de avance los 30 metros, se cierra la compuerta hasta finales del tiempo de receso del tercer pulso. Apertura de la compuerta para cuarta pulso que cubre el tiempo de avance los 40

metros, se cierra la compuerta hasta finales del tiempo de receso del cuarto pulso. Apertura de la compuerta para quinto pulso de riego que cubre el tiempo de avance los 50 metros, se cierra la compuerta hasta finales del tiempo de receso del quinta pulso. Apertura de la compuerta para sexta pulso que cubre el tiempo de avance los 60 metros, se cierra la compuerta hasta finales del tiempo de receso del sexta pulso. Se realizó el riego en seis periodos de tiempo.

Se encontró una relación potencial entre número de pulsos y el periodo del tiempo de cada pulso, mediante el método de regresión simple por mínimos cuadrados, función potencial.

El número de pulsos de riego se determinó para el caudal óptimo.

3.6.3.10. Avance del flujo en los surcos.

Para su evaluación del tiempo de avance del flujo en los surcos, se instalaron estacas entre intervalos de cada 10 m de la longitud del surco para controlar el tiempo de avance y la recesión del caudal; asimismo, para calcular la máxima longitud de avance utilizando la ecuación [29] de la página 35, se determinó los valores de los parámetros. “a” y “x”.

3.6.4. El caudal que optimiza la eficiencia de aplicación de agua en el riego

3.6.4.1. Selección de caudal óptimo.

El caudal óptimo es aquel caudal que alcanza una lámina requerida por la planta, que satisface la necesidad hídrica en la zona radicular de la planta de palto. La lámina total derivada (dd) debe ser igual ó menor que lámina neta (Ln).

La lámina total derivada (dd). Se calculó en mm, utilizando la ecuación [4] de la página 24, se verificó que el resultado sea menor igual que la lámina neta.

Selección del caudal óptimo no erosivo de los caudales designados, que la lámina total derivada(dd) que sea menor igual que la lámina neta, para una caudal no erosivo en el surco.

3.6.4.2. Contenido de humedad en el perfil longitudinal del surco.

Ensayo del caudal óptimo seleccionado. El contenido de humedad, en el perfil del surco, para cada tratamiento, se realizó el muestreo edáfico, con un barreno de 5 profundidades (0 a -10, -10 a -20, -20 a -30, -30 a -40, -40 a -50) cm de una profundidad

total de 50cm en cada 10m de la longitud del surco, el contenido de humedad de suelo antes y después de riego.

Humedad gravimétrica(W). Se calculó utilizando la ecuación [23] de la página 32.

Humedad gravimétrica(W%). Se calculó utilizó la ecuación [24] de la página 32.

Para determinar el contenido de humedad volumétrica (W_v) se utilizó la ecuación [25] de la página 33.

Para determinar el contenido de humedad volumétrica porcentaje ($W_v\%$) se utilizó la ecuación [26] de la página 33.

3.6.4.3. La lámina media almacenada en la zona de raíces(dm).

La lámina media almacenada en la zona radicular de la planta del palto (dm), es el promedio de la altura de agua en la longitud del surco, esta altura de la lámina de agua se calculó mediante la ecuación [27] de la página 33, para cada tratamiento T1, T2, T3.

3.6.4.4. Lámina promedio almacenada en la zona de raíces correspondientes al 25% menores valores (dmci).

Es la altura de la lámina promedio almacenada en la zona de raíces en los últimos L/4 de la longitud del surco.

3.6.4.5. Eficiencia de riego.

La eficiencia de aplicación de agua (Efa), se calculó utilizando la ecuación [5].

El volumen de agua por percolación profunda, se calculó con la ecuación [6]

La eficiencia de aplicación del cuarto inferior (Efaci), se calculó con la ecuación [7].

La eficiencia de almacenaje (Efalm), se calculó con la ecuación [9].

La eficiencia de distribución (Efd), se calculó con la ecuación [10].

El coeficiente de uniformidad (CU), se calculó con la ecuación [11].

3.6.4.6. Calibración del modelo del caudal máximo no erosivo de Criddle (1956).

Se calibró el modelo mediante el método numérico de Newton Raphson, la ecuación [30] de la página 35.

$$X_{n+1} = X_n - \frac{f(X_n)}{f'(X_n)}$$

La ecuación del caudal máximo no erosivo de Criddle (1956), la ecuación [28] de la página 33.

$$Q_{MNE} = \frac{C}{S\%}$$

Caudal máximo no erosivo del campo = Q_{MNEE} .

Igualar la ecuación de caudal máximo no erosivo de Criddle (1956) \cong Caudal máximo no erosivo del campo $Q_{MNE} \cong Q_{MNEE}$ reemplazamos los valores.

$$\frac{C}{S\%} \cong Q_{MNEE}$$

Valor a calibrar el valor “X” el factor que se quiere determinar.

$$Q_{MNEE} = X * \frac{C}{S\%} \quad [31]$$

Transformamos en la función de f(x) convirtiendo en una función lineal.

$$Q_{MNE} * S\% = X * C \quad \rightarrow \quad X = \frac{Q_{MNE} * S\%}{C}$$

$$f(X) = X - \frac{Q_{MNE} * S\%}{C} \quad [32]$$

Derivando la función f(x) de la ecuación [32]

$$f'(X) = 1 \quad [33]$$

3.6.4.7. Análisis estadístico

Método de regresión potencial. El modelo de regresión no lineal donde “a” y “b” son dos parámetros que se determinó por el método de mínimos cuadrados. (Luna Sandoval et al., 2016, p. 771), mediante esta metodología se desarrolló: la lámina de infiltración acumulada (cm), velocidad de infiltración (mm/hora), la curva de avance del caudal continuo (un pulso) del tratamiento (T1), la curva de avance para caudales aplicados en dos pulsos del tratamiento (T2), la curva de avance del aplicado en seis pulsos (riego discontinuo) del tratamiento (T3), la ecuación de número de pulso aplicado en seis (riego discontinuo) del tratamiento (T3). Se representa con la ecuación [34].

$$y = a * x^b \quad [34]$$

Coefficiente de determinación(R^2).

Sirve para reflejar la bondad de ajuste de un modelo a la variable que se pretende explicar que $0 \leq R^2 \leq 1$, entonces $-1 \leq r \leq 1$ el valor del coeficiente r de Pearson

Tabla 3

El valor del coeficiente r de Pearson

Rango (r)	Relación
-0.91 a -1.00	Correlación negativa perfecta
-0.76 a -0.9	Correlación negativa muy fuerte
-0.51 a -0.75	Correlación negativa considerable
-0.11 a -0.50	Correlación negativa media
-0.01 a -0.10	Correlación negativa débil
0.00	No existe correlación
0.01 a 0.10	Correlación positiva débil
+0.11 a 0.50	Correlación positiva media
0.51 a 0.75	Correlación positiva considerable
0.76 a 0.90	Correlación positiva muy fuerte
0.91 a 1.00	Correlación positiva perfecta

Fuente: (Velásquez & Leal, 2019, p. 96)

Para determinar la correlación entre las variables se utilizó la fórmula del coeficiente de correlación de Pearson. Se representa con la ecuación [35]

$$r = \frac{N \sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{[N \sum X^2 - (\sum X)^2][N \sum Y^2 - (\sum Y)^2]}} \quad [35]$$

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

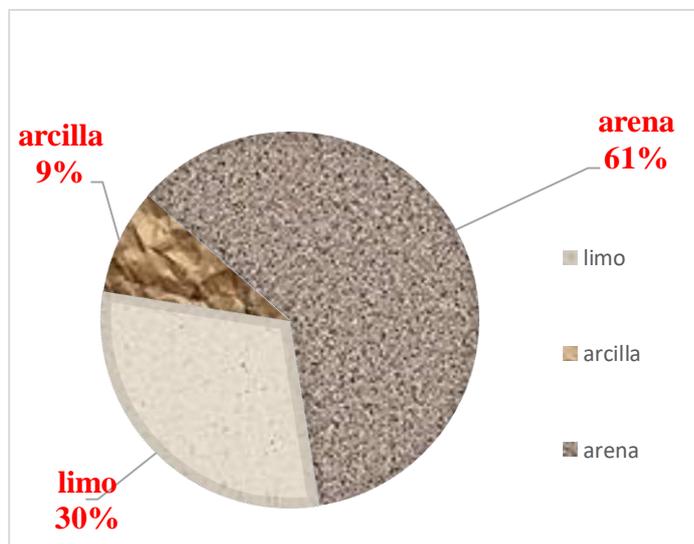
4.1.1. Parámetros físicos e hidráulicos del suelo

Conocer los parámetros físicos e hidráulico del suelo es importante y necesario para un mejor riego eficiente.

La textura del suelo. Se realizó ensayo en el laboratorio de suelos y aguas de la Facultad de Ciencias Agrarias de la UNASAM (ver en el anexo A).

Figura 21

Proporción de arena, limo y arcilla.



Fuente: Elaboración propia.

Clasificación del suelo según el triángulo textural: Suelo franco arenoso.

Perfil del suelo. Está conformado entre capas se le denomina horizontes, se observó y se evaluó por medio de la calicata de 1mx1m de una profundidad de 1m. Ver la figura 11 en la página 41.

Horizonte “A” del nivel de la superficie de 0 a -0.30 metros de profundidad, con presencia de material orgánica tierra oscura.

Horizonte “B” de -0.30 a -0.50 metros de profundidad, suelo claro.

Horizonte “C” de -0.50 a -1.00 metros de profundidad, presenta depósitos cuaternarios conformado por clastos heterogéneos y heterométricos de formas sub angulosas a sub redondeado en una matriz de suelo franco arenoso.

Estructura del suelo. Se evaluó la estructura en el perfil del suelo se observó terrones formado por las partículas unidos entre sí: Textura angular y con presencia de rocas.

Densidad aparente (*dap*). Se determinó la densidad aparente promedio 1.58g/cm³ (ver en el anexo B. tabla B1).

Densidad real (*dr*). Se determinó la densidad real 2.86g/cm³ (ver en el anexo C. tabla C1).

Porosidad del suelo. Se determinó el porcentaje de la porosidad del suelo, donde la densidad aparente promedio 1.58g/cm³, la densidad real 2.86g/cm³.

$$P = \frac{2.86 - 1.58}{2.86} = 0.446$$

$$P = 44.60\%$$

El 44.60% de volumen no ocupado por la partícula sólida.

Relación de vacío. Se determinó

$$e = \frac{0.446}{1 - 0.446} = \mathbf{0.80}$$

La relación de vacío e=0.80, quiere decir que el volumen de vacíos (Vv) es 0.80 veces del volumen de sólido.

Prueba de infiltración. El resultado de la prueba de infiltración. Ver la tabla 4, en la página 55.

La lámina de infiltración acumulada tiene un coeficiente de determinación (R²=0.9990), donde se interpreta que el modelo tiene una aceptación de 99.90%, con un error de 0.10%. La interpretación, según el coeficiente de correlación de Pearson (r=0.9999), pertenece a una correlación positiva perfecta, según la tabla 3 de la página 52. Asimismo, en la figura 22, se observa la gráfica de la lámina infiltrada acumulada, su procesamiento de cálculo (ver en el anexo D).

La velocidad de infiltración instantánea tiene un coeficiente de determinación (R²=0.6579), donde se puede interpretar que tiene una aceptación 65.79%, con un error de 34.21%. La interpretación, según el coeficiente de correlación de Pearson (r=-0.811) pertenece a una correlación negativa muy fuerte, según la tabla 3 de la página 52. En la figura 23 se observa la gráfica de la velocidad de infiltración, su procesamiento de cálculo (ver en el anexo E.).

En la velocidad de infiltración básica, el agua inicia con una velocidad alta en base en que se incrementa la altura de lámina de agua. La velocidad de infiltración va disminuyendo hasta llegar a un punto constante $I_b = 13.00\text{mm/h}$.

Tabla 4

La lámina de infiltración, velocidad de infiltración, infiltración básica.

Función	Ecuación	R²
Lámina infiltración acumulada	$I_{acum} = 0.36 * T_o^{0.61}$	99.90%
Velocidad de infiltración instantánea	$V_{inf} = 19.298 * T_o^{-0.477}$	65.79%
Velocidad de infiltración básica	$I_b = 13.0\text{mm/h}$	

Fuente: Elaboración propia.

Donde:

I_{acum} : Lámina infiltración acumulada(cm).

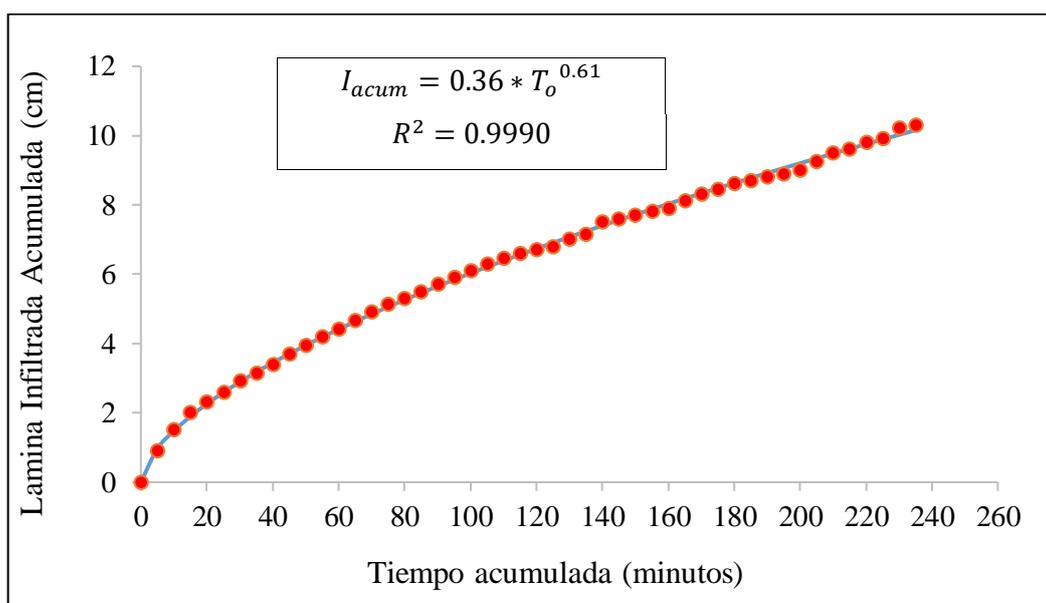
V_{inf} : Velocidad de infiltración instantánea (mm/h).

I_b : Velocidad de infiltración básica(mm/hora).

T_o : Tiempo, en minutos.

Figura 22

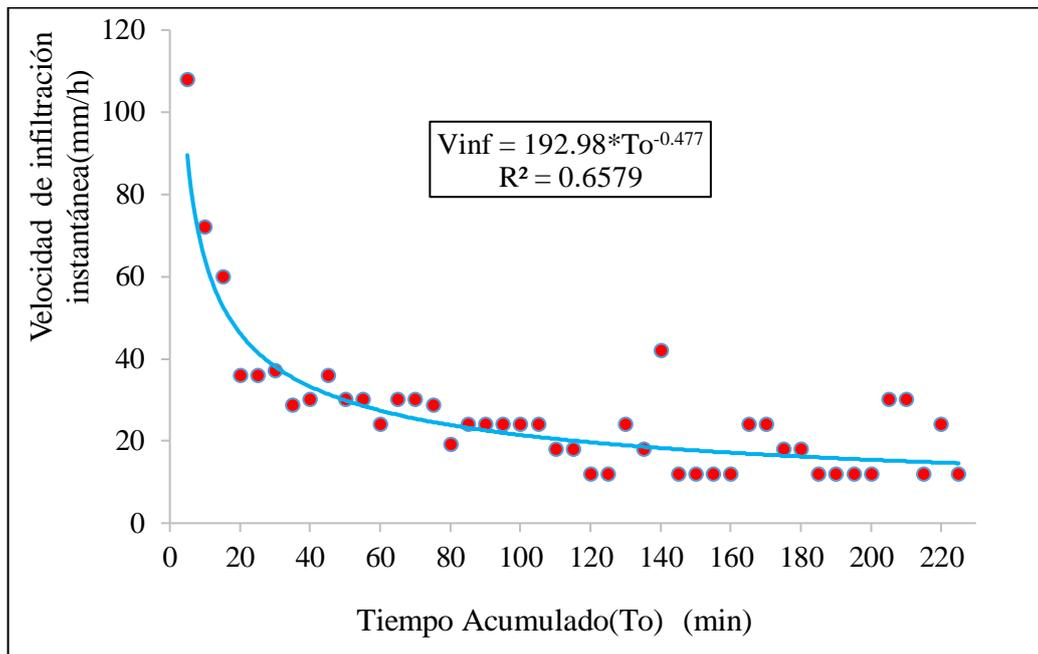
Determinación de la función de la lámina infiltrada, método gráfico.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 23

Determinación de la función de la Velocidad de Infiltración, Método Grafico.



Fuente: Elaboración propia.

Lámina neta (Ln). Es la altura de agua que se requiere depositar durante el riego, para que las plantas puedan satisfacer sus necesidades hídricas. Se calculó con los datos obtenidos de laboratorio: la capacidad de campo (CC%=16), punto de marchitez permanente (PMP%=5.5), densidad aparente ($d_{ap}=1.58\text{g/cm}^3$), densidad de agua ($d_a=1\text{g/cm}^3$), umbral de riego (UH=50%) y profundidad radicular de palto ($pr=60\text{cm}$).

$$Ln = \frac{(CC\% - PM\%)}{100} * \left(\frac{D_{ap}}{D_a}\right) * Pr * UH$$

$$Ln = \frac{(16\% - 5.5\%)}{100} * \left(\frac{1.58}{1}\right) * 60 * 50\%$$

$$Ln = 4.977\text{cm}$$

$$Ln = 49.77\text{mm}$$

El cultivo de palto requiere de una lámina de 49.77mm de altura de agua, para satisfacer sus necesidades hídricas. Ver la figura 24.

HA: Humedad aprovechable.

Hd: Humedad disponible.

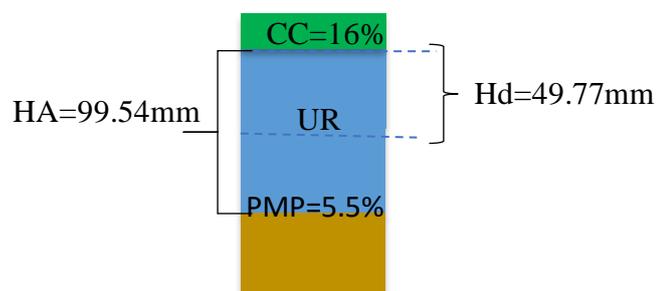
PMP: Punto de marchitez permanente.

UR: Umbral de riego.

CC: Capacidad de campo.

Figura 24

Humedad aprovechable del suelo.



Fuente: Elaboración propia.

4.1.2. Diseño del manejo de riego por pulso en el cultivo de palto

Para el diseño y el manejo del riego se requiere conocer la pendiente del terreno, características físicas e hidráulicas del suelo.

4.1.2.1. Pendiente longitudinal del surco.

Se determinó la pendiente longitudinal del surco, para cada tratamiento; para T1: 3.43%, para T2: 3.15%, para T3: 3.15% (ver en el anexo F.).

4.1.2.2. Caudal máximo no erosivo teórico (QMNE).

Según la ecuación de Criddle (1956), el caudal máximo no erosivo teórico, se determinó según su textura del suelo de la parcela, para suelo franco-arenoso el valor de la constante ($C=0.63$), pendiente longitudinal del surco ($S\%$), ver la tabla 5.

Tabla 5

Caudal máximo no erosivo teórico.

Surco	C	Pendiente(S%)	QMNE (L/s.)
T1	0.63	3.43	0.184
T2	0.63	3.15	0.200
T3	0.63	3.15	0.200

Fuente: Elaboración propia.

4.1.2.3. Área de superficie de riego.

El diámetro de la copa(dc) del palto 1.60m, área de la superficie de la copa del palto 2.01m² por planta, número de paltos en el surco 15 plantas, área total de la superficie de copa 30.15m². Área del surco que conecta entre planta en planta sección mojado 0.39m para una longitud de 34.30m, sección mojado 0.30m en el último tramo para una longitud de 1.30m, área total de surcos que conecta entre planta en planta 13.89m². El área total del surco 44.04m²(ver en el anexo V. En el plano general).

4.1.2.4. Altura de nivel de agua entre tambores.

El tambor N° 1, cumple una función de romper la carga hidráulica de entrada y derivar el caudal por la manguera de polietileno, la altura de la carga de agua es de 0.38m de nivel de agua. El tambor N° 2, cumple una función de eliminar las burbujas de aire de la manguera polietileno y regula la altura del nivel de agua favoreciendo que mantenga en constante la altura de la energía con respecto a las compuertas de salida del caudal, hacia los surcos, la carga de agua 0.52m. El caudal excedente se deriva por la ventana de excedente, y así mantener la altura de la carga, para que las velocidades del caudal de salida por las compuertas hacia los surcos mantengan constante (ver en el anexo G. Altura de nivel de agua entre tambores).

4.1.2.5. Ensayo con caudal continuo, del tratamiento(T1).

El caudal máximo no erosión teórico $QMNE=0.184$ L/s para el tratamiento T1, ver la tabla 5 en la página 57. Dicho caudal se ensayó mediante el aforo por el método de mediciones volumétricas, se determinó el caudal promedio 0.185 L/s. Se asignó un caudal mayor $Q4=0.369$ L/s y dos caudales menores como $Q1=0.132$ L/s, $Q2=0.154$ L/s, los datos medidos (ver en el anexo H.).

Se evaluó el caudal máximo no erosivo en el campo con los caudales asignados $Q1=0.132$ L/s, $Q2=0.154$ L/s, $Q3=0.185$ L/s, $Q4=0.369$ L/s, ver la tabla 6 en la página 59. Los resultados de la prueba de campo, ver la figura 25 en la página 61, se observa $Q1 < Q2 < Q3 < Q4$, ver la tabla 7 en la página 60 se evalúa que:

Mayor caudal produce mayor erosión del suelo y mayor pérdida de agua por escurrimiento superficial, el tiempo de avance y recesión en menor tiempo, menor almacenamiento de agua en el perfil longitudinal del surco.

Menor caudal, mayor tiempo de avance y recesión y genera menor erosión del suelo, menor pérdida de agua por escurrimiento superficial, mayor volumen de agua se almacena en el perfil longitudinal del surco en la zona radicular del palto.

Lámina total derivada es la altura de agua, aplicada durante en el tiempo de riego, se puede apreciar la altura de la lámina total derivada de agua, para cada caudal asignado en el riego, ver la tabla 7 en la página 60, su procesamiento de cálculo (ver en el anexo I. tabla II). El caudal $Q2=0.154$ L/s, es un caudal no erosivo con mínima cantidad de peso de solidos erosivo, presenta mejor altura de lámina total derivada ($dd = 29.87$ mm) que aproxima mejor a la lámina neta ($Ln=49.77$ mm).

Tabla 6

Resultados de la prueba de campo, tiempo de avance para el caudal continuo del tratamiento(T1).

Q entrada (L/s)	Longitud del surco (m), tiempo de avance(min)							Tiempo de receso en longitud del surco 60m (min)	Salida del agua por escurrimiento del surco		Observación
	0.00m	10m	20m	30m	40m	50m	60m		Volumen de agua (L)	Peso de sólido erosivo (kg)	
Q1=0.132 L/s	0	8.50	18.30	30.50	52.47	83.30	159.20	171.08	1.633	0.003	No Erosivo
Q2=0.154L/s	0	6.08	18.18	27.51	45.45	78.20	142.22	149.58	1.708	0.005	No Erosivo
Q3=0.185L/s	0	4.10	12.25	19.20	29.30	44.30	77.30	91.3	7.17	0.240	Erosivo
Q4=0.369L/s	0	4.14	8.51	11.45	14.23	16.51	20.20	30.52	40.42	0.720	Erosivo

Fuente: Elaboración propia.



Tabla 7

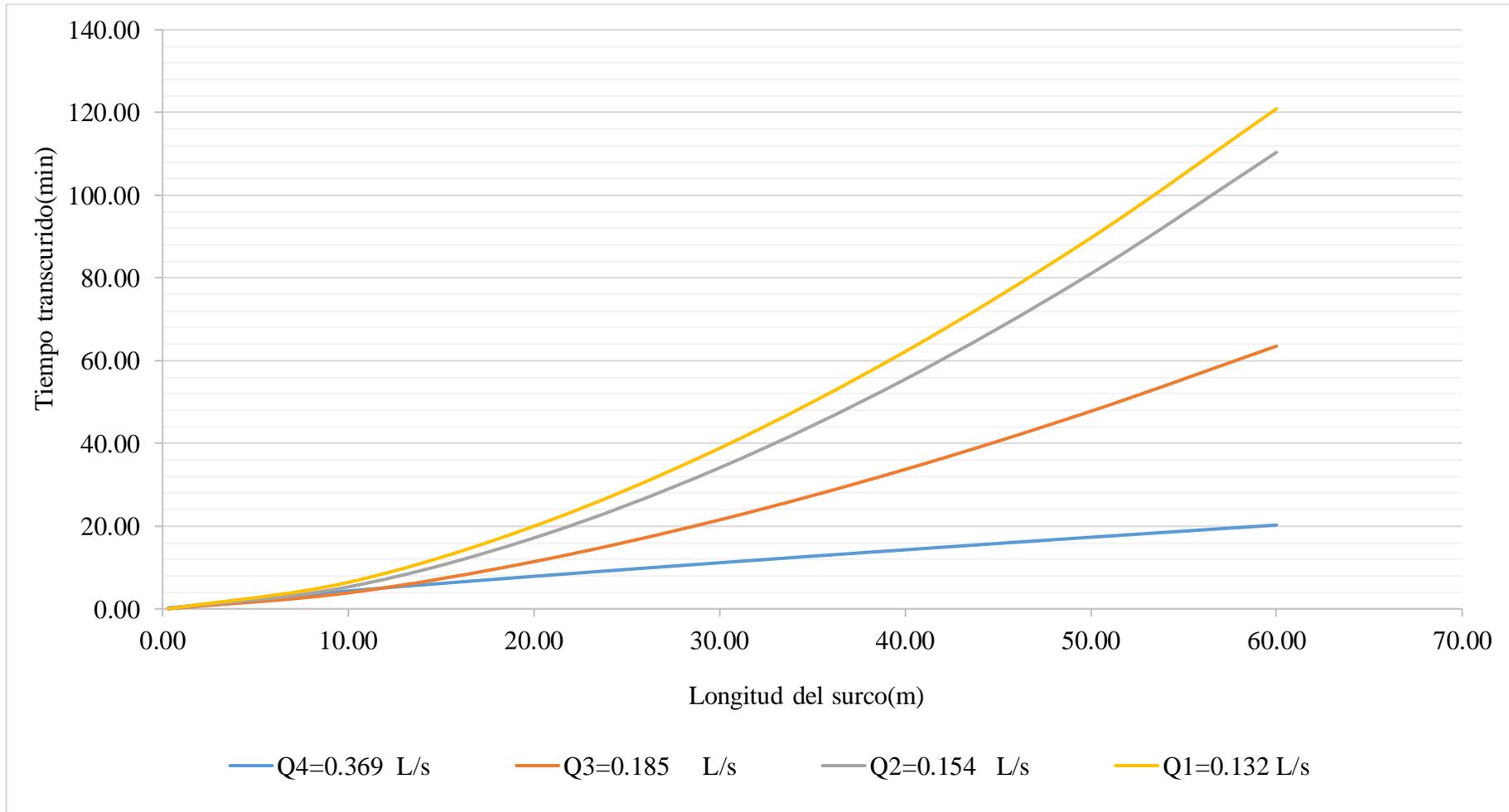
Lámina total derivada(dd) para el caudal continuo, del tratamiento(T1).

Q entrada (L/s)	Longitud del surco (m)	Fase de avance (min)	Fase de receso (min)	Caudal de salida (L)	Volumen de sólido erosivo (kg)	Observación	Área del surco(m²)	Lámina total derivada(dd) (mm)	Lámina neta (Ln) (mm)
Q1=0.132 L/s	60	159.20	12.28	1.633	0.003	No Erosivo	44.04	28.69	49.77
Q2=0.154L/s	60	142.22	7.36	1.708	0.005	No Erosivo	44.04	29.87	49.77
Q3=0.185L/s	60	77.30	14	7.170	0.240	Erosivo	44.04	19.51	49.77
Q4=0.369L/s	60	20.20	10.32	40.420	0.720	Erosivo	44.04	10.16	49.77

Fuente: Elaboración propia.

Figura 25

La curva de avance para el caudal continuo, del tratamiento(T1).



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8*Ecuación de la curva de avance del tratamiento(T1).*

Caudales (L/s.)	Ecuación de avance	R ²
Q4=0.369	$L_o = 1.830 * T_t^{1.160}$	R ² = 0.9931
Q3=0.185	$L_o = 4.21 * T_t^{0.640}$	R ² = 0.984
Q2=0.154	$L_o = 3.740 * T_t^{0.590}$	R ² = 0.9725
Q1=0.132	$L_o = 3.220 * T_t^{0.610}$	R ² = 0.9567

Nota: L_o :Longitud del surco en metros, T_t :Tiempo transcurrido de avance, en minutos.

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 8, la ecuación de la curva de avance de la figura 25 el coeficiente de determinación (R²):

Para el caudal Q1=0.132 L/s, (R²= 0.9567) se interpreta que el modelo tiene una aceptación de 95.67%, con un error de 4.33%. La interpretación, según el coeficiente de correlación de Pearson (r = 0.9781), pertenece a una correlación positiva perfecta, según la tabla 3 de la página 52, su proceso de cálculo (ver en el anexo I, tabla I2).

Para el caudal Q2=0.154 L/s, (R²= 0.9725) se interpreta que el modelo tiene una aceptación de 97.25%, con un error de 2.75%. La interpretación según el coeficiente de correlación de Pearson (r = 0.9861), pertenece a una correlación positiva perfecta, según la tabla 3 de la página 52, su proceso de cálculo (ver en el anexo I, tabla I3).

Para el caudal Q3=0.185 L/s, (R²= 0.984) se interpreta que el modelo tiene una aceptación de 98.40%, con un error de 1.60%. La interpretación según el coeficiente de correlación de Pearson (r = 0.9919), pertenece a una correlación positiva perfecta, según la tabla 3 de la página 52, su proceso de cálculo (ver en el anexo I, tabla I4).

Para el caudal Q4=0.369 L/s, (R²= 0.9931) se interpreta que el modelo tiene una aceptación de 99.31%, con un error de 0.69%. La interpretación según el coeficiente de correlación de Pearson (r = 0.9965), pertenece a una correlación positiva perfecta, según la tabla 3 de la página 52, su proceso de cálculo (ver en el anexo I. tabla I5).

4.1.2.6. *Ensayo de caudales aplicados en dos pulsos de riego, del tratamiento (T2).*

El caudal máximo no erosión teórico QMNE (Q2=0.200 L/s) para el tratamiento T2, ver la tabla 5 en la página 57. Dicho caudal se ensayó mediante el aforo por el método de mediciones volumétricas, se determinó el caudal promedio Q2=0.200 L/s.

Se asignó un caudal mayor $Q_1=0.320$ L/s y dos caudales menores como $Q_3=0.165$ L/s, $Q_4=0.130$ L/s, los datos medidos (ver en el Anexo J.).

Se evaluó el caudal máximo no erosivo en el campo, se puede observar los resultados de la prueba del campo, ver la tabla 9 en la página 64. Los caudales asignados para cada surco del tratamiento T2: $Q_1=0.320$ L/s, $Q_2=0.200$ L/s, $Q_3=0.165$ L/s, $Q_4=0.130$ L/s, en la figura 30 en la página 68, se puede observar la gráfica de la curva de avance para cada caudal designado $Q_4 < Q_3 < Q_2 < Q_1$.

La curva de avance para caudales aplicados en dos pulsos, el primer pulso de riego recorre los 30 metros contacto agua-suelo, los poros se saturan y se sellan con sedimentos en la base del surco; la apertura del segundo pulso de riego recorre los 60 metros, los 30 metros primeros mojados con el primer pulso del riego, recorre con mayor velocidad por el surco mojado y disminuye la velocidad de la infiltración:

Para el caudal $Q_1=0.320$ L/s, en la figura 26 en la página 65, se puede observar la gráfica de la curva de avance para cada pulso del riego.

Para el caudal $Q_2=0.200$ L/s, en la figura 27 en la página 65, se puede observar la gráfica de la curva de avance para cada pulso de riego.

Para el caudal $Q_3=0.165$ L/s, en la figura 28 en la página 66, se puede observar la gráfica de la curva de avance para cada pulso de riego.

Para el caudal $Q_4=0.130$ L/s, ver la figura 29 en la página 66, se puede observar la gráfica de la curva de avance para cada pulso de riego.

Se evalúa la tabla 10 de la página 67, lo siguiente:

A mayor caudal, mayor erosión del suelo y mayor pérdida de agua por escurrimiento superficial. Esto se produce en un menor tiempo de avance y recesión.

A menor caudal, mayor tiempo de avance. Esto genera menor erosión del suelo, menor pérdida de agua por escurrimiento superficial.

Lámina total derivada es la altura de agua, aplicada durante en el tiempo de riego, ver la tabla 10 en la página 67. Se puede apreciar la altura de la lámina total derivada de agua para cada caudal asignado, su procesamiento de cálculo (ver en el anexo K, tabla K1). El caudal $Q_2=0.165$ L/s, es un caudal no erosivo con mínima cantidad de peso de solidos erosivo, presenta mejor altura de lámina total derivada($dd=33.73$ mm) que optimiza mejor.

Tabla 9

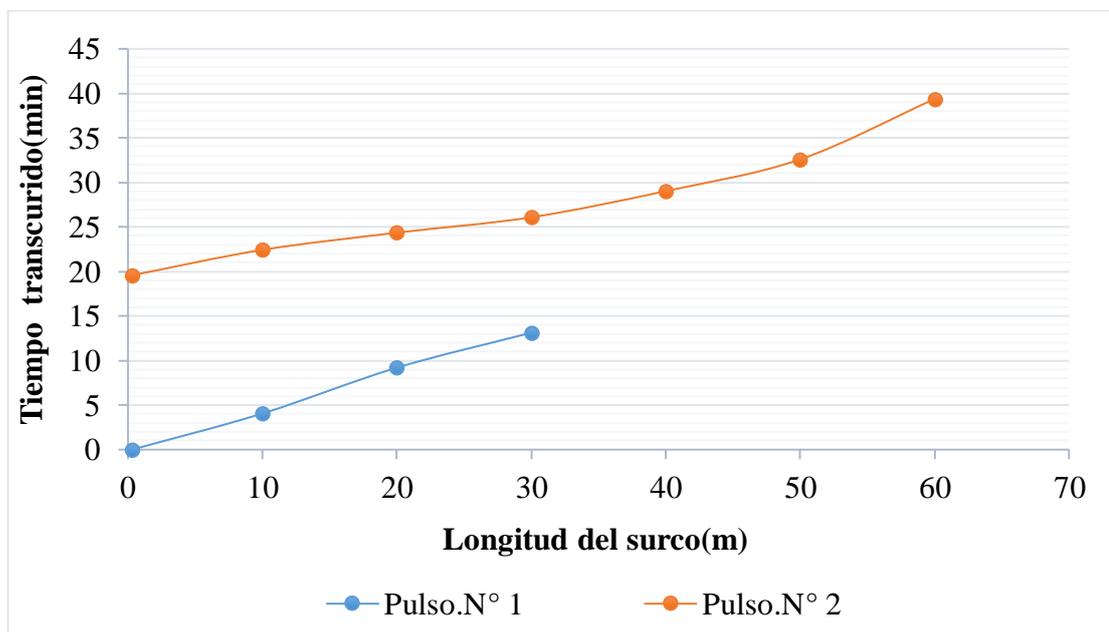
Resultados de la prueba de campo, tiempo de avance aplicados en dos pulsos, del tratamiento(T2).

Q entrada (L/s)	Pulsos de riego	Longitud del surco (m), tiempo de avance(min)							Tiempo de receso en longitud del surco 60m(min)	Salida del agua por escurrimiento del surco		Observación
		0.00m	10m	20m	30m	40m	50m	60m		Volumen (L)	Volumen de sólido erosivo (kg)	
Q1=0.320	Pulso. N° 1	0	4.06	9.20	13.13				19.58	22.124	0.780	Erosivo
	Pulso. N° 2	19.58	22.43	24.36	26.09	29.03	32.59	39.37	49.52	29.279	0.940	
Tiempo de avance(min)		0	4.06	9.20	13.13	29.03	32.59	39.37	49.52	51.403	1.720	Erosivo
Q2=0.200	Pulso. N° 1	0	8.07	19.36	34.40				41.56	11.4	0.243	Erosivo
	Pulso. N° 2	41.56	45.11	48.54	52.34	60.44	77.45	112.18	124.08	8.084	0.132	
Tiempo de avance(min)		0	8.07	19.36	34.40	60.44	77.45	112.18	124.08	19.484	0.375	Erosivo
Q3=0.165	Pulso. N° 1	0	12.10	27.46	47.30				55.29	7.6	0.050	No Erosivo
	Pulso. N° 2	55.29	59.31	65.09	72.43	87.49	111.54	158.28	166.45	3.946	0.020	
Tiempo de avance(min)		0	12.10	27.46	47.30	87.49	111.54	158.28	166.45	11.546	0.070	No Erosivo
Q4=0.130	Pulso. N° 1	0	16.50	32.00	54.00				60.26	4.5	0.008	No Erosivo
	Pulso. N° 2	60.26	64.44	70.28	78.05	93.15	120.50	175.05	184.15	2.697	0.005	
Tiempo de avance(min)		0	16.50	32.00	54.00	93.15	120.50	175.05	184.15	7.197	0.013	No Erosivo

Fuente: Elaboración propia.

Figura 26

Ensayo de caudales aplicados en dos pulsos, tratamiento(T2), $Q1=0.320$ L/s.

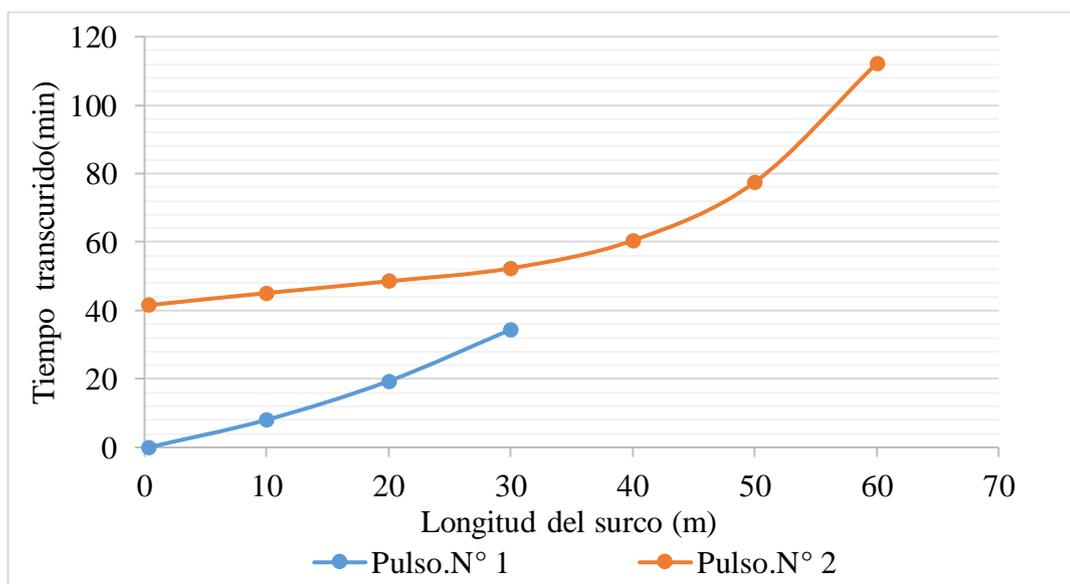


Nota: Pulso N°1 recorre los 30 metros primero se considera como caudal de remoje, pulso N°2 recorre los 60 metros de la longitud del surco.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 27

Ensayo de caudales aplicados en dos pulsos, tratamiento(T2), $Q2=0.200$ L/s.

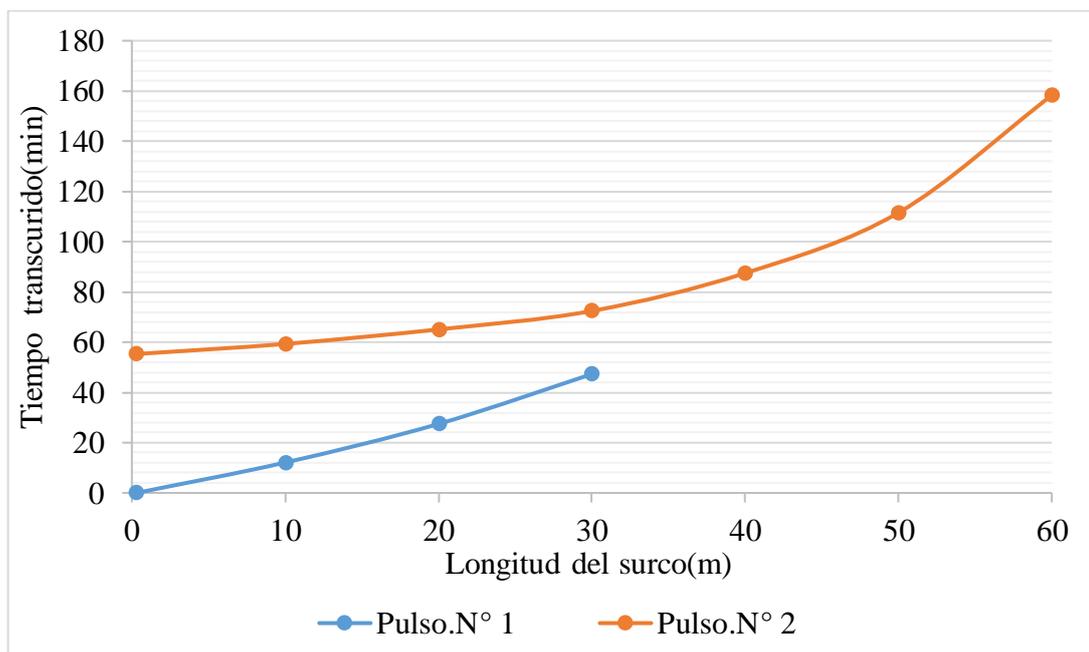


Nota: Pulso N°1 recorre los 30 metros primero, pulso N°2 recorre los 60 metros de la longitud del surco.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 28

Ensayo de caudales aplicados en dos pulsos, tratamiento(T2), $Q3=0.165$ L/s.

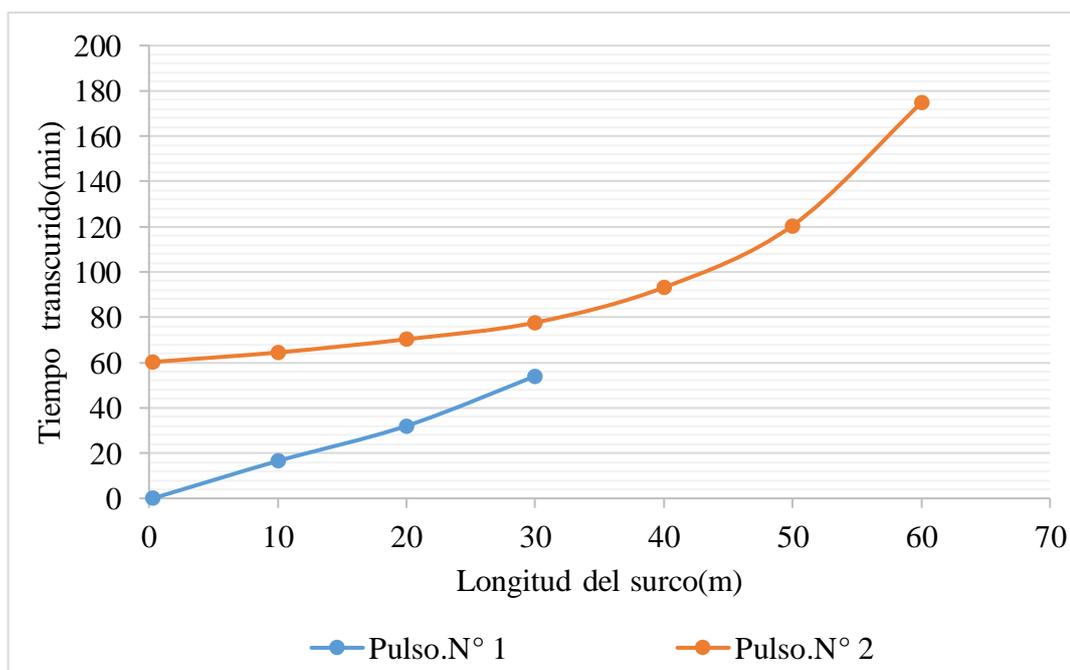


Nota: Pulso N°1 recorre los 30 metros primero, Pulso N°2 recorre los 60 metros de la longitud del surco.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 29

Ensayo de caudales aplicados en dos pulsos, tratamiento(T2), $Q4=0.130$ L/s.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 10

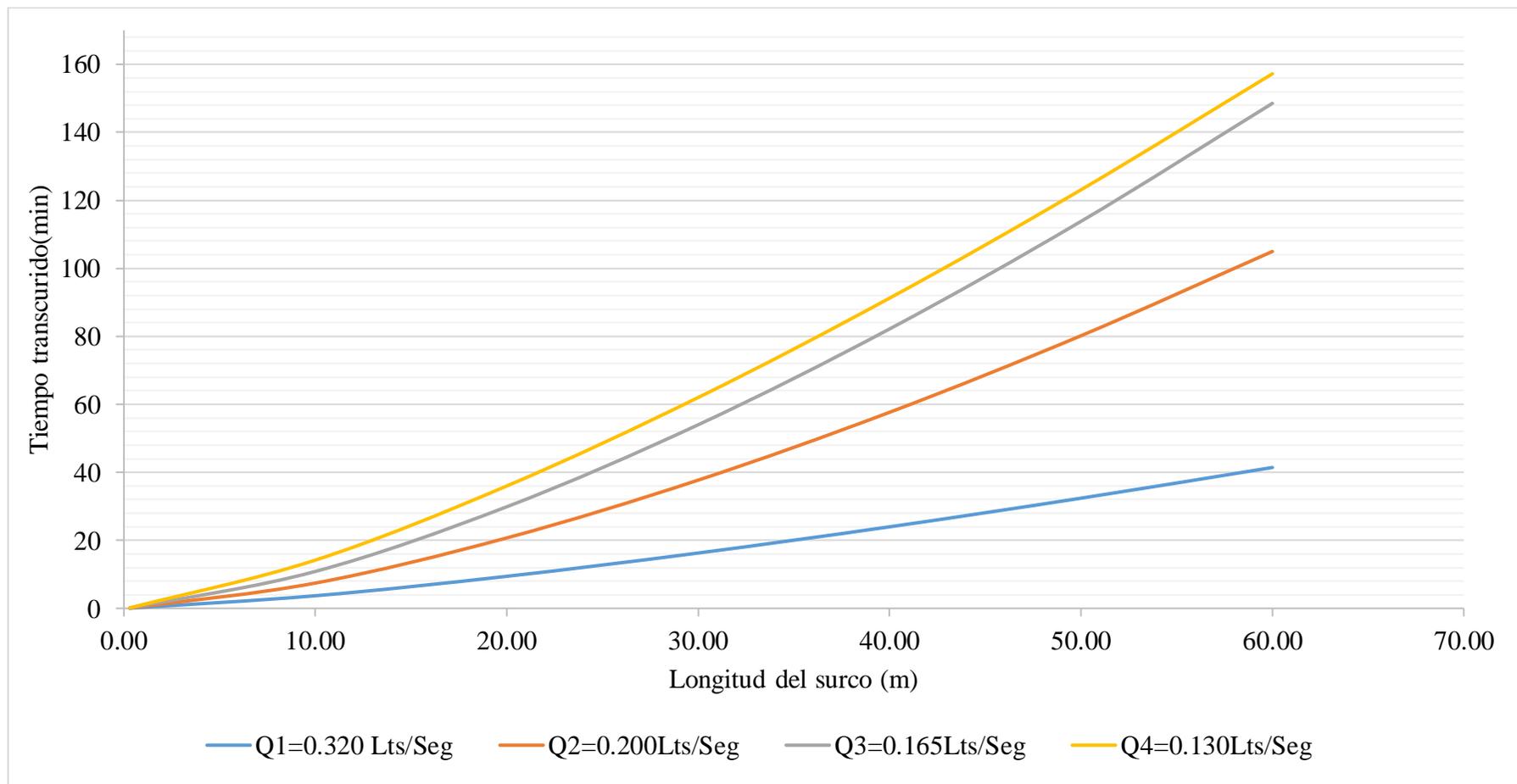
Lámina total derivada(dd) (mm) para los caudales aplicados en dos pulsos, del tratamiento(T2).

Q entra (L/s)	N° de pulsos	Fase de avance (minutos)	Fase de receso (min)	Caudal que sale del surco (L)	Volumen de sólido erosivo (kg)	Observación	Lámina total derivada(dd) (mm)	Lámina neta (Ln) (mm)
Q1=0.320	Pulso. N° 1	13.13	6.45	51.403	1.720	Erosivo	14.35	49.77
	Pulso. N° 2	20.19	10.15					
Q2=0.200	Pulso. N° 1	34.40	7.16	19.484	0.375	Erosivo	28.69	49.77
	Pulso. N° 2	71.02	11.90					
Q3=0.165	Pulso. N° 1	47.30	7.99	11.546	0.070	No Erosivo	33.73	49.77
	Pulso. N° 2	103.39	8.17					
Q4=0.130	Pulso. N° 1	54.00	6.26	7.197	0.013	No Erosivo	29.86	49.77
	Pulso. N° 2	115.19	9.10					

Fuente: Elaboración propia.

Figura 30

La curva de avance, para caudales aplicados en dos pulsos, del tratamiento (T2).



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 11

Ecuación de la curva de avance para el tratamiento T2

Caudales (L/s.)	Ecuación de avance	R²
Q1=0.320	$L_o = 3.79 * T_t^{0.74}$	0.9931
Q2=0.200	$L_o = 2.570 * T_t^{0.677}$	0.9943
Q3=0.165	$L_o = 1.952 * T_t^{0.685}$	0.9904
Q4=0.130	$L_o = 1.386 * T_t^{0.745}$	0.9829

Nota: L_o : Longitud del surco en metros, T_t : Tiempo transcurrido de avance, en minutos.

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 11, la ecuación de la curva de avance de la figura 32 el coeficiente de determinación (R^2):

Para el caudal $Q1=0.320$ L/s, ($R^2= 0.9931$) se interpreta que el modelo tiene una aceptación de 99.31%, con un error de 0.69%. La interpretación según el coeficiente de correlación de Pearson ($r = 0.9965$) es una correlación positiva perfecta, según la tabla 3 de la página 52, su proceso de cálculo (ver en el anexo L, tabla L1).

Para el caudal $Q2=0.200$ L/s, ($R^2= 0.9943$) se interpreta que el modelo tiene una aceptación de 99.43%, con un error de 0.57%. La interpretación según el coeficiente de correlación de Pearson ($r = 0.9971$) es una correlación positiva perfecta, según la tabla 3 de la página 52, su proceso de cálculo (ver en el anexo L, tabla L2).

Para el caudal $Q3=0.165$ L/s, ($R^2= 0.9904$) se interpreta que el modelo tiene una aceptación de 99.04%, con un error de 0.96%. La interpretación según el coeficiente de correlación de Pearson ($r = 0.9951$) es una correlación positiva perfecta, según la tabla 3 de la página 52, su proceso de cálculo (ver en el anexo L, tabla L3).

Para el caudal $Q4=0.130$ L/s, ($R^2= 0.9829$) se interpreta que el modelo tiene una aceptación de 98.29%, con un error de 1.71%. La interpretación según el coeficiente de correlación de Pearson ($r = 0.9914$) es una correlación positiva perfecta, según la tabla 3 de la página 52, su proceso de cálculo (ver en el anexo L, tabla L4).

El caudal $Q3=0.165$ L/s, presenta ser un caudal máximo no erosivo. Tiene mejor optimización, la lámina total derivada ($dd=33.73$ mm), que aproxima ala lamina neta requerida por el cultivo ($Ln=49.77$ mm)

4.1.2.7. Ensayo de caudales con seis pulsos (riego discontinuo), del tratamiento (T3).

El caudal máximo no erosivo teórico QMNE ($Q_2=0.200$ L/s), del tratamiento (T3), ver la tabla 5 en la página 56, dicho caudal se ensayó mediante el aforo por el método de mediciones volumétricas, se determinó el caudal promedio $Q_2=0.200$ L/s. Se asignó un caudal mayor $Q_1=0.320$ L/s, y dos caudales menores $Q_3=0.165$ L/s, $Q_4=0.130$ L/s, los datos medidos (ver en el anexo M).

Se evaluó el caudal máximo no erosivo en el campo ensayados con seis aplicaciones de pulsos. Los caudales asignados $Q_1=0.320$ L/s, $Q_2=0.200$ L/s, $Q_3=0.165$ L/s, $Q_4=0.130$ L/s, para cada surco del tratamiento T3, los resultados de la prueba de campo, ver la tabla 12, en la figura 35 en la página 75, se observa $Q_4 < Q_3 < Q_2 < Q_1$. En la figura 31, figura 32, figura 33, figura 34, se observa la gráfica de la curva de avance para cada pulso de riego aplicados.

Los primeros pulsos avanzan contacto agua-suelo. Los poros se saturan y se sellan con sedimentos en la base del surco. La apertura del segundo pulso del riego aguas arriba del anterior pulso el agua recorre con mayor velocidad sobre la superficie del surco y disminuye la velocidad de la infiltración de agua y aguas abajo contacto agua-suelo se humedece y se genera un disgregamiento de partículas y se sellan con sedimentos en la base del surco.

Lámina total derivada es la altura de agua, aplicada durante en el tiempo de riego, ver la tabla 13, en la página 74, la altura de lámina total derivada para cada caudal asignado, su procesamiento de cálculo (ver en el anexo N, tabla N1).

El caudal $Q_4=0.130$ L/s, optimiza mejor que lo demás caudales es un caudal no erosivo con mínima cantidad de peso de sólidos erosivo, presenta mejor altura de lámina total derivada ($dd=47.75$ mm) que aproxima a la lámina neta ($Ln=49.77$ mm) requerida por la planta.

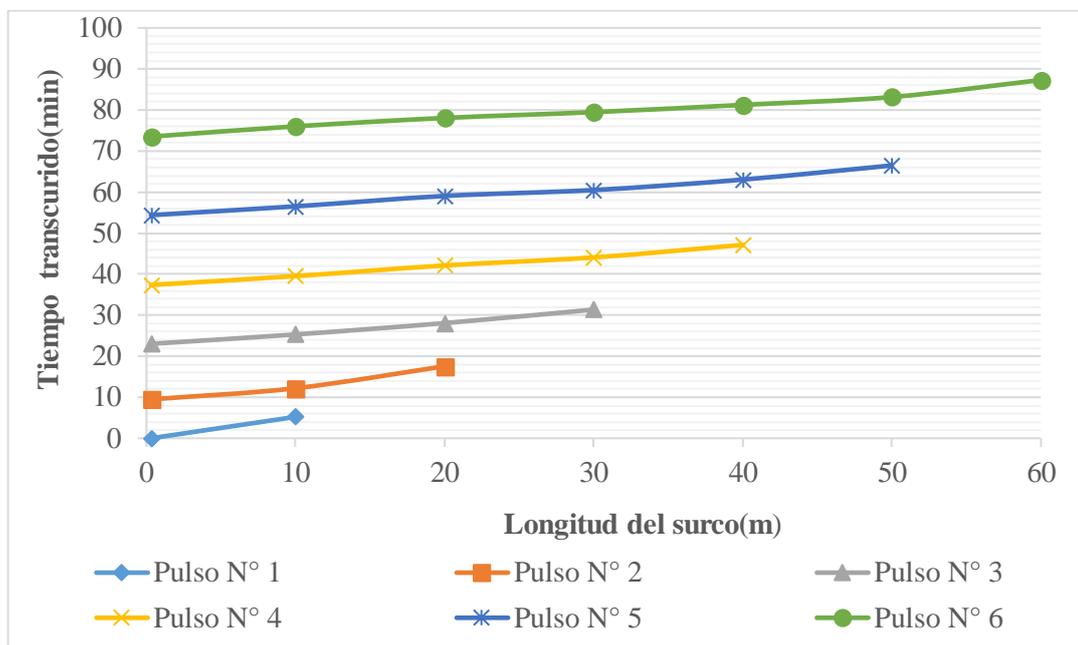
Tabla 12

Resultados de la prueba de campo, tiempo de avance aplicados con seis pulsos, del tratamiento (T3).

Q entrada (L/s)	Pulsos de riego	Longitud del surco (m), tiempo de avance(min)							Tiempo de receso en longitud del surco 60m (min)	Salida del agua por escurrimiento del surco		Observación
		0.00m	10m	20m	30m	40m	50m	60m		Volumen (L)	Volumen de sólido erosivo (kg)	
Q1=0.320L/s	Pulso N° 1	0.00	5.22						9.48	14.97	0.076	Erosión
	Pulso N° 2	9.48	12.20	17.56					23.02	18.65	0.049	
	Pulso N° 3	23.02	25.30	28.07	31.36				37.35	32.02	0.020	
	Pulso N° 4	37.35	39.52	42.11	44.07	47.13			54.38	31.93	0.046	
	Pulso N° 5	54.38	56.52	59.05	60.49	63.04	66.48		73.50	38.05	0.045	
	Pulso N° 6	73.50	76.01	78.06	79.47	81.24	83.16	87.30	96.17	19.10	0.035	
Tiempo de avance(min)		0	5.22	17.56	31.36	47.13	66.48	87.30	96.17	154.722	0.271	Erosión
Q2=0.200L/s	Pulso N° 1	0.00	5.43						9.05	9.59	0.040	Erosión
	Pulso N° 2	9.05	11.48	25.00					29.01	10.04	0.020	
	Pulso N° 3	29.01	31.34	34.47	44.24				48.57	12.61	0.029	
	Pulso N° 4	48.57	51.25	54.17	57.30	73.00			79.56	7.84	0.012	
	Pulso N° 5	79.56	82.21	84.59	87.51	91.24	110.29		116.08	5.40	0.005	
	Pulso N° 6	116.08	118.34	120.03	123.37	126.45	131.08	174.00	181.16	3.13	0.005	
Tiempo de avance(min)		0	5.43	25.00	44.24	73.00	110.29	174.00	181.16	48.605	0.111	Erosión
Q3=0.165L/s	Pulso N° 1	0.00	8.24						14.14	6.89	0.011	No Erosión
	Pulso N° 2	14.14	18.22	35.20					40.30	5.11	0.008	
	Pulso N° 3	40.30	43.45	48.28	64.00				73.40	9.91	0.005	
	Pulso N° 4	73.40	82.42	89.52	92.14	114.00			125.10	11.64	0.005	
	Pulso N° 5	125.10	128.08	132.08	136.29	141.56	160.24		169.26	8.63	0.003	
	Pulso N° 6	169.26	172.24	176.22	180.29	186.03	195.22	246.16	267.22	1.67	0.004	
Tiempo de avance(min)		0	8.24	35.20	64.00	114.00	160.24	246.16	267.22	43.85	0.036	No Erosión
Q4=0.130L/s	Pulso N° 1	0.00	9.50						13.50	5.48	0.009	No Erosión
	Pulso N° 2	13.50	17.50	32.12					38.01	5.62	0.007	
	Pulso N° 3	38.01	41.38	46.04	64.00				70.21	7.20	0.006	
	Pulso N° 4	70.21	73.28	77.23	82.22	118.06			126.12	8.20	0.005	
	Pulso N° 5	126.12	129.30	133.20	137.27	142.21	196.08		205.10	4.20	0.005	
	Pulso N° 6	205.10	208.25	212.09	215.56	220.18	227.38	303.10	318.10	1.22	0.005	
Tiempo de avance(min)		0	9.50	32.12	64.00	118.06	196.08	303.10	318.10	31.92	0.037	No Erosión

Figura 31

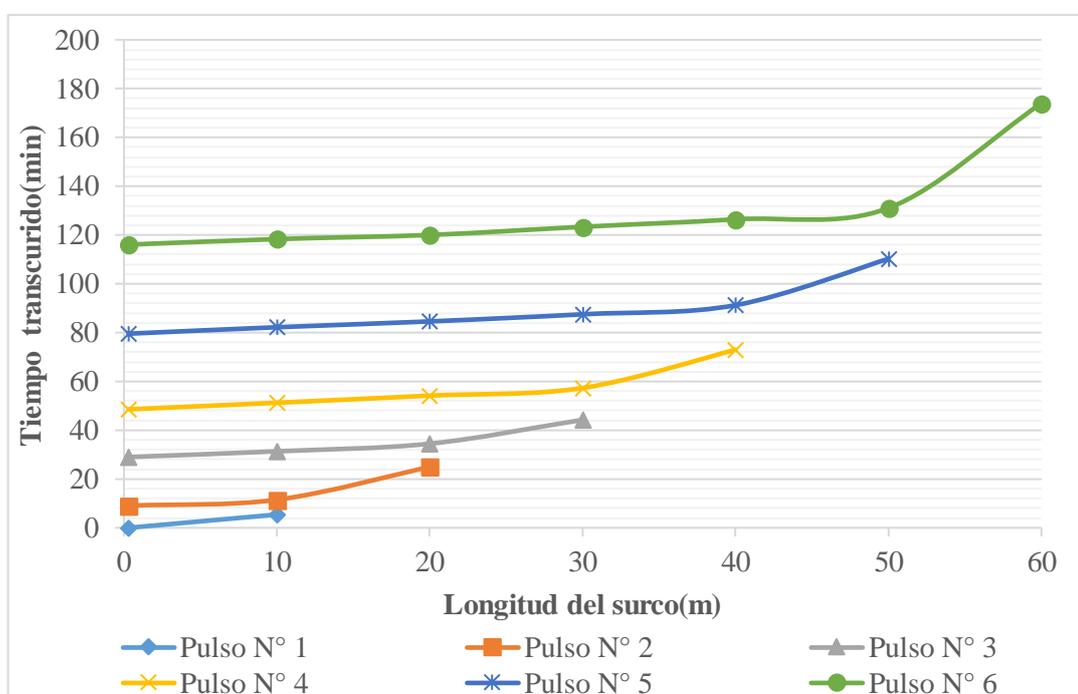
Ensayo de caudales aplicados con seis pulsos, del tratamiento (T3), $Q1=0.320$ L/s.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 32

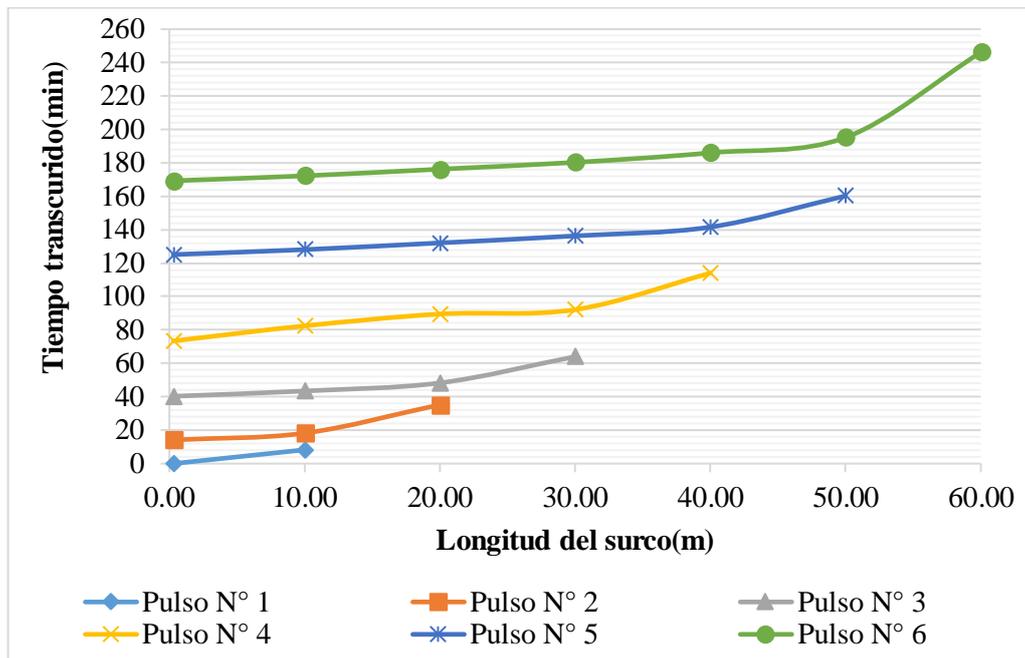
Ensayo de caudales aplicados con seis pulsos, del tratamiento (T3) $Q2=0.200$ L/s.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 33

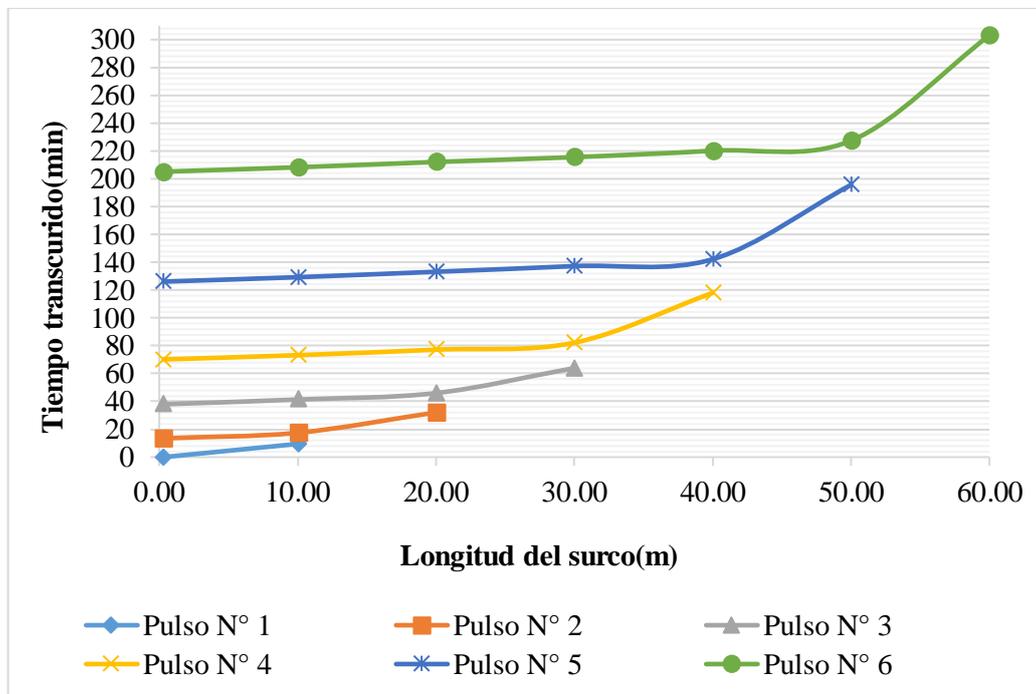
Ensayo de caudales aplicados con seis pulsos, del tratamiento (T3), $Q3=0.165$ L/s.



Fuente: Elaboración propia.

Figura34

Ensayo de la curva de avance con seis pulsos, del tratamiento (T3), $Q4=0.130$ L/s.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 13

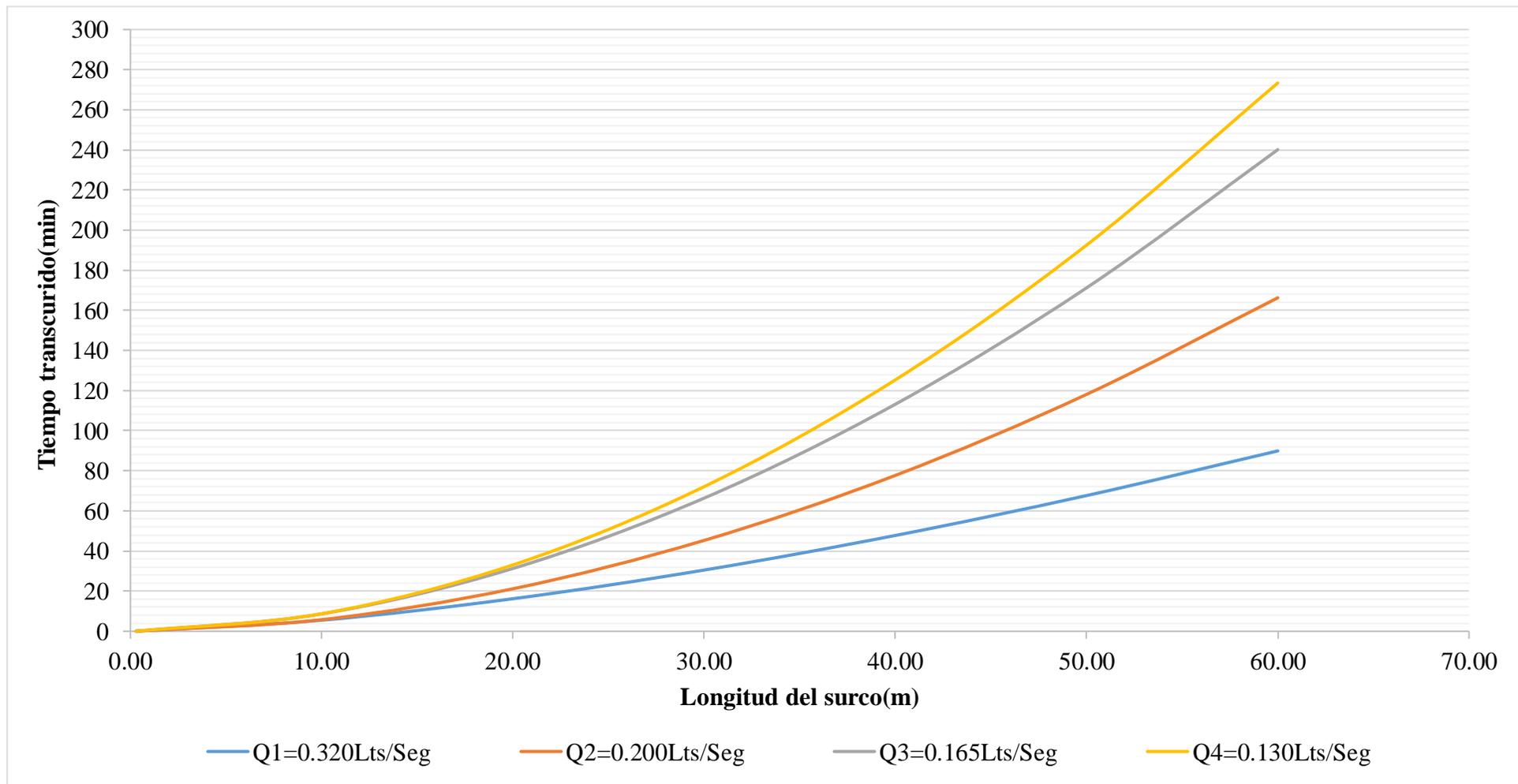
Lámina total derivada(dd) (mm) para caudales aplicados en seis pulsos, del tratamiento(T3).

Q entrada (L/s)	N° de pulsos	Fase de avance (min)	Fase de receso (min)	Caudal que sale del surco (L)	Volumen de sólido erosivo en el surco (kg)	Observación	Lámina total derivada (dd)(mm)	Lámina neta (Ln) (mm)
Q1=0.320	Pulso. N° 1	5.22	4.26	154.722	0.271	Erosión	24.97	49.77
	Pulso N° 2	8.08	5.46					
	Pulso N° 3	8.34	6.39					
	Pulso N° 4	10.18	7.25					
	Pulso N° 5	12.10	7.02					
	Pulso N° 6	14.20	9.27					
Q2=0.200	Pulso. N° 1	5.43	4.02	48.605	0.111	Erosión	40.92	49.77
	Pulso N° 2	16.35	4.02					
	Pulso N° 3	15.23	4.33					
	Pulso N° 4	24.43	6.56					
	Pulso N° 5	31.13	6.19					
	Pulso N° 6	58.32	7.16					
Q3=0.165	Pulso. N° 1	8.24	6.30	43.850	0.036	No Erosión	46.28	49.77
	Pulso N° 2	21.06	5.10					
	Pulso N° 3	24.10	9.40					
	Pulso N° 4	40.60	11.10					
	Pulso N° 5	35.14	9.02					
	Pulso N° 6	77.30	21.06					
Q4=0.130	Pulso. N° 1	9.50	4.00	31.920	0.037	No Erosión	47.75	49.77
	Pulso N° 2	19.02	6.29					
	Pulso N° 3	26.39	6.21					
	Pulso N° 4	48.25	8.06					
	Pulso N° 5	69.56	9.42					
	Pulso N° 6	98.00	15.00					

Fuente: Elaboración propia.

Figura 35

La curva de avance para caudales aplicados en seis pulsos, del tratamiento(T3).



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 14*Ecuación de la curva para caudales aplicados en seis pulsos, del tratamiento(T3).*

Caudales (L/s.)	Ecuación de Avance	R²
Q1=0.320	$L_o = 3.356 * T_t^{0.641}$	0.9979
Q2=0.200	$L_o = 3.931 * T_t^{0.533}$	0.9945
Q3=0.165	$L_o = 3.127 * T_t^{0.539}$	0.9970
Q4=0.130	$L_o = 3.244 * T_t^{0.52}$	0.9955

Nota: L_o :Longitud del surco en metros, T_t :Tiempo transcurrido de avance, en minutos.

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 14, la ecuación de la curva de avance de la figura 38 el coeficiente de determinación (R^2):

Para el caudal Q1=0.320 L/s, ($R^2= 0.9979$) se interpreta que el modelo tiene una aceptación de 99.79%, con un error de 0.21%. La interpretación según el coeficiente de correlación de Pearson ($r = 0.9989$) pertenece a una correlación positiva perfecta, según la tabla 3 de la página 52, su proceso de cálculo (ver en el anexo O, tabla O1).

Para el caudal Q2=0.200 L/s, ($R^2= 0.9945$) se interpreta que el modelo tiene una aceptación de 99.45%, con un error de 0.55%. La interpretación según el coeficiente de correlación de Pearson ($r = 0.9972$) pertenece a una correlación positiva perfecta, según la tabla 3 de la página 52, su proceso de cálculo (ver en el anexo O, tabla O2).

Para el caudal Q3=0.165 L/s, ($R^2= 0.9970$) se interpreta que el modelo tiene una aceptación de 99.70%, con un error de 0.30%. La interpretación según el coeficiente de correlación de Pearson ($r = 0.9985$) pertenece a una correlación positiva perfecta, según la tabla 3 de la página 52, su proceso de cálculo (ver en el anexo O, tabla O3).

Para el caudal Q4=0.130 L/s, ($R^2= 0.9955$) se interpreta que el modelo tiene una aceptación de 99.55%, con un error de 0.45%. La interpretación según el coeficiente de correlación de Pearson ($r = 0.9977$) pertenece a una correlación positiva perfecta, según la tabla 3 de la página 52, su proceso de cálculo (ver en el anexo O, tabla O4).

El caudal Q4=0.130 L/s tiene mejor tiempo de avance en el surco, presenta mayor tiempo de avance que de los demás caudales y presenta un caudal máximo no erosivo.

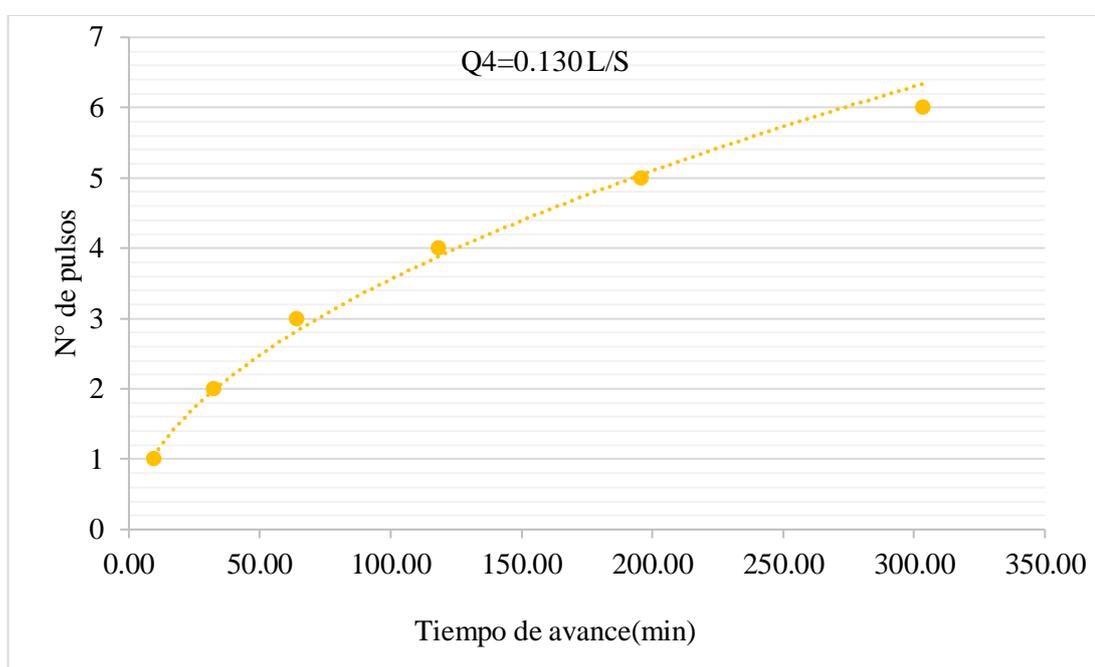
4.1.2.8. Número de pulsos para el tratamiento(T3).

El número de pulsos de riego se encontró mediante una relación potencial entre número de pulsos y el periodo del tiempo de cada pulso aplicado, utilizando la correlación potencial, ver la figura 36

La ecuación de número de pulsos de riego del caudal óptimo, ver la tabla 15, su procesamiento de cálculo (ver en el anexo P.).

Figura 36

Gráfica de número de pulsos con seis pulsos (riego discontinuo), del tratamiento(T3).



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 15

Ecuación de número de pulsos del caudal óptimo, del tratamiento(T3).

Caudal (L/s)	Ecuación de número de pulsos de riego	R ²
Q4=0.130	Nº pulsos = 0.3242(Tt) ^{0.5202}	0.9955

Nota: Tt: tiempo de riego, en minutos.

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 15, la ecuación de número de pulsos para Q4=0.130 L/s, de la figura 39, el coeficiente de determinación (R²=99.55%) se interpreta que el modelo tiene una aceptación de 99.55%, con un error de 0.45%. La interpretación según el coeficiente de

correlación de Pearson ($r = 0.9977$) pertenece a una correlación positiva perfecta, según la tabla 3 de la página 52.

4.1.2.9. Longitud de intervalos para caudal óptimo del tratamiento(T3).

El número de pulsos de riego se determinó para el caudal óptimo.

La longitud de intervalo de tramos, ver la ecuación [36]

$$L_{INTERV.} = \frac{L_o}{N^\circ \text{ de pulsos}} \quad [36]$$

Donde:

$L_{INTERV.}$: Longitud de intervalos(metros).

L_o : Longitud total del surco(metros).

$N^\circ \text{ de pulsos}$: Número de pulsos de riego.

4.1.3. Cálculo de caudales que optimizan la eficiencia de aplicación de agua en el riego

4.1.3.1. El diseño de riego, tiempo aplicado(t_a).

$$Q_{MNE} * t_a = L_n * A; \quad t_a = \frac{L_n * A}{Q_{MNE}}$$

Tabla 16

Tiempo de avance calculado para cada caudal y determinado en el campo.

Aplicados	Q(L/s)	Ln(mm)	Área(m ²)	Ta (min) calculado	Ta (min) en el campo
Riego continuo	0.154	49.77	44.04	237.21	238
Dos pulsos	0.165	49.77	44.04	221.40	158.28
Seis pulsos	0.13	49.77	44.04	281.00	303.1

Nota: Ln(mm): Lámina neta; Ta(minutos): Tiempo de avance de riego. El tiempo de avance (Ta(min) calculado), comparación con el tiempo de avance (Ta (min) en el campo), para el tratamiento T3 aplicados en seis pulsos, presenta mejor tiempo de avance que son casi próximos con el tiempo calculado.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.3.2. Caudal óptimo, para caudal continuo del tratamiento(T1).

La optimización del manejo del riego por surco del tratamiento(T1), ver la tabla 7 en la página 60. Se seleccionó el $Q_2=0.154$ L/s, como el caudal óptimo, se realizó el ensayo del riego para un tiempo de avance de riego óptimo $t_a = 238$ minutos, el tiempo de avance (véase en el anexo R, tabla R1), la lámina total derivada ($dd=51.40$ mm), (ver en el anexo R, tabla R2). La ecuación de la curva de avance que optimizó la ecuación [37], ver la tabla 8 en la página 62, para el $Q_2=0.154$ L/s.

$$L_o = 3.740 * T_t^{0.590} \quad [37]$$

Contenido de humedad volumétrica para el tratamiento T1, ($Q=0.154$ L/s). Se realizó el muestreo edáfico con un barreno de 5 profundidades (0 a -10, -10 a -20, -20 a -30, -30 a -40, -40 a -50) cm, en total de una profundidad de 50cm, el contenido de humedad gravimétrico antes de riego (ver en el anexo S, tabla S1), después de riego (ver en el anexo S, tabla S2), el contenido de la humedad volumétrica ($W_v\%$) antes y después de riego, ver la tabla 17.

Tabla 17

Humedad volumétrica ($W_v\%$) antes y después de riego, para el caudal óptimo $Q=0.154$ L/s del tratamiento T1.

Longitud de surco (m)	Profundidad de muestra (cm)									
	0-10		10-20.		20-30.		30-40.		40-50.	
	W _v % antes	W _v % después	W _v % antes	W _v % después	W _v % antes	W _v % después	W _v % antes	W _v % después	W _v % antes	W _v % después
0.3	15.87	22.61	17.41	25.65	15.59	22.96	15.23	19.58	15.58	18.72
10	15.91	22.15	17.81	24.57	17.54	21.49	16.24	20.00	15.74	18.47
20	15.79	20.56	17.50	22.50	17.54	20.08	16.28	19.44	15.01	18.43
30	16.19	20.38	17.41	23.03	17.40	21.02	15.87	18.37	15.04	16.96
40	15.87	18.65	17.37	21.02	17.40	20.25	15.06	18.47	15.05	17.35
50	15.87	19.44	17.37	20.13	17.31	19.84	16.16	19.20	15.26	18.02
60	15.79	19.04	17.46	20.18	15.79	18.11	15.04	16.79	15.03	16.80
Promedio	15.90	20.41	17.48	22.44	16.94	20.54	15.70	18.84	15.25	17.82

Fuente: Elaboración propia.

La lámina media almacenada en la zona de raíces(dm). La lámina media almacenada en la zona radicular de la planta del palto (dm=18.78mm), ver la tabla 18 y ver la figura 37.

Tabla 18

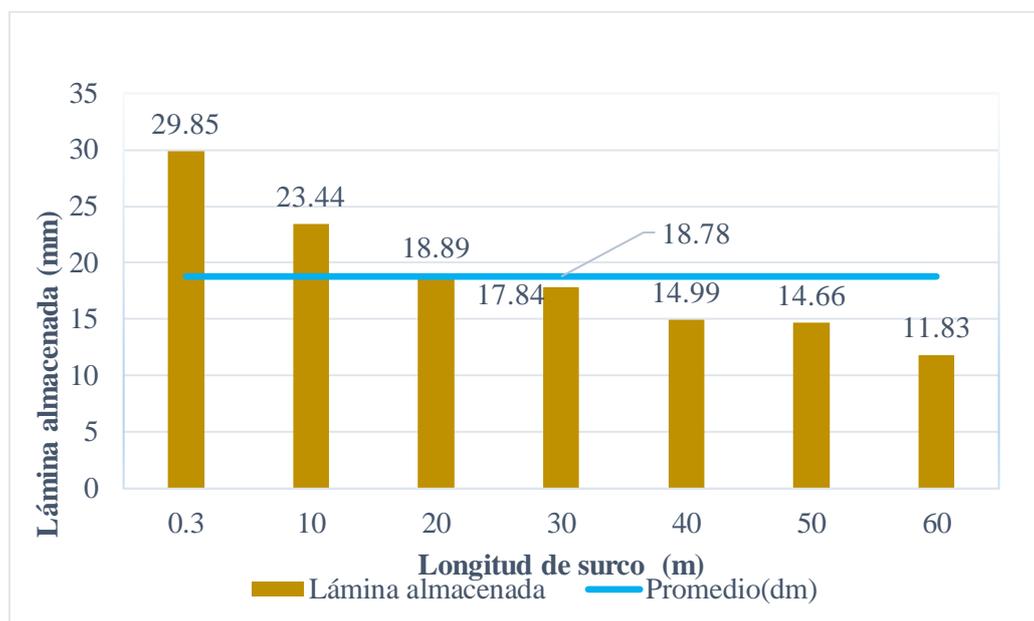
Lámina almacenada en la zona radicular, para el caudal óptimo $Q=0.154$ L/s del tratamiento T1.

Longitud de surco (m)	Profundidad de muestra (cm)					
	0-10	10-20.	20-30.	30-40.	40-50.	0.00 -50.
	Lámina almacenada					
	mm	mm	mm	mm	mm	mm
0.3	6.74	8.24	7.37	4.35	3.14	29.85
10	6.24	6.76	3.95	3.76	2.72	23.44
20	4.77	5.00	2.54	3.16	3.41	18.89
30	4.19	5.62	3.62	2.49	1.92	17.84
40	2.78	3.65	2.85	3.41	2.29	14.99
50	3.57	2.76	2.53	3.04	2.75	14.66
60	3.25	2.73	2.33	1.75	1.77	11.83
	Promedio(dm)					18.78

Fuente: Elaboración propia.

Figura 37

Lámina almacenada en la zona radicular, para el caudal óptimo $Q=0.154L/s$ del tratamiento T1.



Fuente: Elaboración propia.

Eficiencia de riego para caudal continuo, para el tratamiento T1. Los resultados de la eficiencia de aplicación de riego, ver la tabla 19.

Tabla 19

Eficiencias de riego, para el caudal óptimo $Q=0.154L/s$ del tratamiento T1.

Eficiencia de aplicación (Efa) %.	Eficiencia de aplicación del 1/4 inferior (Efaci) %.	Eficiencia de almacenaje (Efal) %.	Eficiencia de distribución (Efd) %.	Coefficiente de uniformidad (CU) %.
36.55	26.90	37.74	73.59	75.94

Fuente: Elaboración propia.

Volumen de agua calculado, para el tratamiento T1. Los resultados, ver la tabla 20.

Tabla 20

Volumen de agua, para el caudal óptimo $Q=0.154L/s$ del tratamiento T1.

Volumen total de agua aplicado (m^3)	Volumen total de agua escurrido (m^3)	Volumen de agua percolado (m^3)	Volumen de agua almacenado en la zona de raíces (m^3)
2.19	0.378	1.01	0.80

Fuente: Elaboración propia.

4.1.3.3. Caudal óptimo, aplicado en dos pulsos de riego, del tratamiento(T2).

El manejo del riego por surco aplicados en dos pulsos de riego del tratamiento T2, se seleccionó el caudal óptimo máximo no erosivo ($Q_3=0.165$ L/s). La lámina total derivada ($dd=33.73$ mm) es mayor que los demás laminas que aproxima a la lámina neta ($L_n=49.77$ mm). La ecuación de la curva de avance que optimizó la ecuación [38], ver la tabla 11 en la página 69.

$$L_o = 1.952 * T_t^{0.685} \quad [38]$$

La humedad del suelo para caudales aplicados en dos pulsos de riego ($Q=0.165$ L/s). Se realizó el muestreo edáfico con un barreno de 5 profundidades (0 a -10, -10 a -20, -20 a -30, -30 a -40, -40 a -50) cm, tomada de una profundidad total de 50cm, en cada intervalo de 10m. El contenido de humedad gravimétrica antes de riego fue (ver en el anexo T, tabla T1), después de riego (ver en el anexo T, tabla T2). La humedad volumétrica ($W_v\%$) antes y después de riego, ver la tabla 21.

Tabla 21

Humedad volumétrica medidas antes y después de riego aplicados en dos pulsos, para el caudal óptimo $Q=0.165$ L/s del tratamiento T2

Longitud del Surco(m)	Profundidad de Muestra(cm)									
	0-10		10-20.		20-30.		30-40.		40-50.	
	Wv% antes	Wv% después	Wv% antes	Wv% después	Wv% antes	Wv% después	Wv% antes	Wv% después	Wv% antes	Wv% después
0.30	15.83	24.20	17.40	25.67	16.57	23.72	15.58	20.13	15.58	16.58
10	15.87	23.74	17.90	25.30	17.49	23.38	15.87	20.57	15.70	16.17
20	16.11	23.70	17.59	24.86	17.54	22.55	15.92	20.27	14.99	15.43
30	16.15	22.90	17.83	25.29	17.03	22.56	15.87	19.79	15.01	15.78
40	16.31	21.44	17.77	23.65	16.96	20.57	15.03	17.39	15.08	15.60
50	15.87	20.19	17.36	21.47	17.29	18.60	15.43	17.39	14.92	15.56
60	16.07	17.85	17.64	19.00	15.79	16.84	15.01	15.19	14.63	15.25
Promedio	16.03	22.00	17.64	23.61	16.95	21.17	15.53	18.67	15.13	15.77

Fuente: Elaboración propia

La lámina media almacenada en la zona de raíces(dm). La lámina media almacenada en la zona radicular de la planta $dm=19.94$ mm, ver la tabla 22, y la figura 38, en la página 82.

Tabla 22

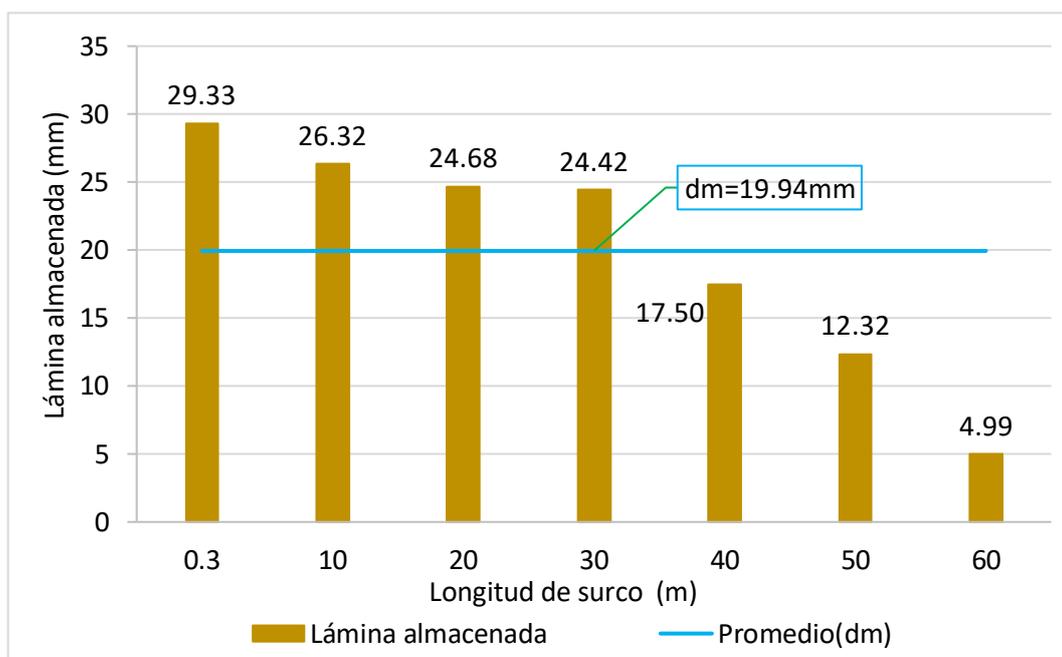
Lámina almacenada en la zona radicular, para el caudal óptimo $Q=0.165$ L/s del tratamiento T2.

Longitud del surco(m)	Profundidad de muestra(cm)					
	0-10	10-20.	20-30.	30-40.	40-50.	0.00 -50.
	Lámina almacenada					
	mm	mm	mm	mm	mm	mm
0.30	8.37	8.27	7.15	4.55	1.00	29.33
10	7.88	7.40	5.88	4.70	0.47	26.32
20	7.59	7.27	5.01	4.36	0.44	24.68
30	6.75	7.46	5.52	3.91	0.77	24.42
40	5.13	5.88	3.61	2.36	0.52	17.50
50	4.32	4.11	1.31	1.95	0.64	12.32
60	1.78	1.36	1.05	0.17	0.62	4.99
Promedio(dm)						19.94

Fuente: Elaboración propia.

figura 38

Lámina almacenada en la zona radicular, para el caudal óptimo $Q=0.165$ L/s del tratamiento T2.



Fuente: Elaboración propia.

Eficiencia de riego aplicados, en dos pulsos de riego (Q=0.165L/s). Los resultados de la eficiencia de riego, ver la tabla 23.

Tabla 23

Eficiencias de riego para caudales aplicados en dos pulsos, para el caudal óptimo Q=0.165 L/s del tratamiento T2.

Eficiencia de aplicación, en (Efa) %.	Eficiencia de aplicación del 1/4 inferior (Efaci) %.	Eficiencia de almacenaje (Efalm) %.	Eficiencia de distribución (Efd) %.	Coefficiente de uniformidad (CU)%.
59.11	34.40	40.06	58.20	64.17

Fuente: Elaboración propia.

Volumen de agua calculado, para el tratamiento T2. Los resultados, ver la tabla 24.

Tabla 24

Volumen de agua, para el caudal óptimo Q=0.165 L/s del tratamiento T2.

Volumen total de agua aplicado(m³)	Volumen total de agua escurrido(m³)	Volumen de agua percolado(m³)	Volumen de agua almacenado en la zona de raíces(m³)
1.49	0.012	0.60	0.87

Fuente: Elaboración propia.

4.1.3.4. *Caudal óptimo, aplicados con seis pulsos de riego (riego discontinuo) del tratamiento(T3).*

El manejo del riego por surco aplicados en seis pulsos para el tratamiento T3, se seleccionó el caudal óptimo máximo no erosivo Q4=0.130 L/s. La lámina total derivada (dd=47.75mm) es mayor que los demás laminas que aproxima a la lámina neta (Ln=49.77mm). La ecuación de la curva de avance que optimizó la ecuación [39], ver la tabla 14 en la página 76.

$$L_o = 3.244 * T_t^{0.52} \quad [39]$$

La ecuación de número de pulsos de riego para el caudal óptimo la ecuación [40], ver la tabla 15 en la página 77, para el Q4=0.130 L/s.

$$N^\circ \text{ pulsos} = 0.3242(Tt)^{0.5202} \quad [40]$$

La humedad del suelo para caudales aplicados con seis pulsos de riego (riego discontinuo) (Q=0.130 l/s). Se realizó el muestreo edáfico en cada intervalo de 10m con

un barreno, de 5 profundidades (0 a -10, -10 a -20, -20 a -30, -30 a -40, -40 a -50) cm. La humedad gravimétrica antes de riego (véase en el anexo U, tabla U1), después de riego (ver en el anexo U, tabla U2). La humedad volumétrica (Wv%) antes y después de riego, ver la tabla 25.

Tabla 25

Humedad volumétrica antes y después del riego aplicados con seis pulsos, para el caudal óptimo $Q=0.130L/s$ del tratamiento T3.

Longitud de surco (m)	Profundidad de muestra (cm)									
	0-10		10-20.		20-30.		30-40.		40-50.	
	Wv% antes	Wv% después	Wv% antes	Wv% después	Wv% antes	Wv% después	Wv% antes	Wv% después	Wv% antes	Wv% después
0.3	15.83	25.33	17.36	26.72	16.53	26.11	15.56	24.08	15.57	21.02
10	15.91	25.30	17.89	26.32	17.45	26.31	15.78	22.68	15.66	20.99
20	16.08	25.28	17.54	26.32	17.09	25.35	15.91	24.14	14.98	19.73
30	16.11	25.31	17.54	26.31	16.96	24.69	15.47	21.63	14.63	20.25
40	16.27	24.91	17.35	26.31	16.93	25.46	15.01	22.91	15.06	19.07
50	15.87	23.30	17.14	26.31	17.19	26.31	15.01	22.68	14.89	18.50
60	15.75	20.49	17.50	20.99	15.79	19.73	15.01	17.04	14.63	16.20
Promedio	15.97	24.27	17.48	25.61	16.85	24.85	15.39	22.16	15.06	19.39

Fuente: Elaboración propia

La lámina media almacenada en la zona de raíces(dm). La lámina media almacenada en la zona radicular de la planta $dm=35.55mm$, ver la tabla 26, ver la figura 39.

Tabla 26

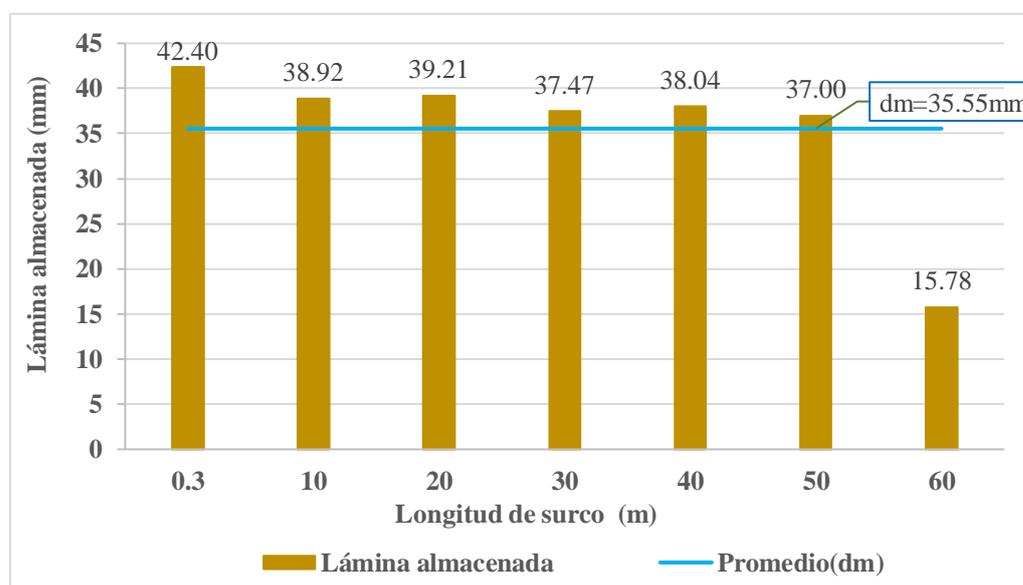
Lámina almacenada en la zona radicular aplicados con seis pulsos, para el caudal óptimo $Q=0.130L/s$ del tratamiento T3.

Longitud de surco (m)	profundidad de muestra (cm)					
	0-10	10-20.	20-30.	30-40.	40-50.	0.00 -50.
	Lámina almacenada					
	mm	mm	mm	mm	mm	mm
0.30	9.50	9.35	9.58	8.52	5.45	42.40
10	9.39	8.43	8.87	6.89	5.34	38.92
20	9.20	8.78	8.26	8.23	4.75	39.21
30	9.20	8.76	7.73	6.16	5.62	37.47
40	8.64	8.96	8.53	7.90	4.01	38.04
50	7.43	9.18	9.12	7.66	3.60	37.00
60	4.74	3.49	3.94	2.03	1.57	15.78
Promedio(dm)	8.30	8.14	8.00	6.77	4.34	35.55

Fuente: Elaboración propia.

Figura 39

Lámina almacenada en la zona radicular aplicados con seis pulsos, para el caudal óptimo $Q=0.130L/s$ del tratamiento T3.



Fuente: Elaboración propia.

Eficiencia de aplicación de riego para el tratamiento T3, ver la tabla 27,

Tabla 27

Eficiencias de riego aplicados con seis pulsos, para el caudal óptimo $Q=0.130L/s$ del tratamiento T3.

Eficiencia de aplicación, en (Efa) %.	Eficiencia de aplicación del 1/4 inferior (Efaci) %.	Eficiencia de almacenaje (Efalm) %.	Eficiencia de distribución (Efd) %.	Coefficiente de uniformidad (CU) %.
74.43	62.99	71.419	84.63	84.11

Fuente: Elaboración propia.

Volumen de agua calculado, para el tratamiento T3. Los resultados, ver la tabla 28.

Tabla 28

Volumen de agua, para el caudal óptimo $Q=0.130L/s$ del tratamiento T3.

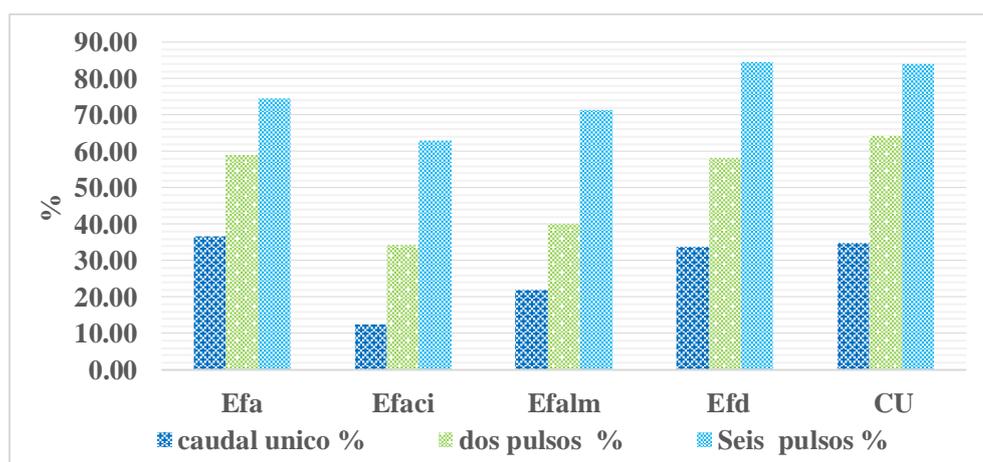
volumen total de agua aplicado(m ³)	volumen total de agua escurrido(m ³)	volumen de agua percolado(m ³)	volumen de agua almacenado en la zona de raíces(m ³)
2.10	0.032	0.50	1.57

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 29*Comparación de la eficiencia de aplicación de riego.*

Eficiencia	Símbolo	Caudal continuo (T1)	Dos pulsos(T2)	Seis pulsos(T3)
Caudal óptimo	L/s	0.154	0.165	0.130
Longitud del surco de aplicación	L(m)	60	60	60
de aplicación del 1/4 inferior	Efa (%)	36.55	59.11	74.43
de almacenaje	Efaci (%)	26.90	34.40	62.99
de distribución	Efalm (%)	37.74	40.06	71.42
Coeficiente de uniformidad	Efd (%)	73.59	58.20	84.63
	CU (%)	75.94	64.17	84.11

Fuente: Elaboración propia.

Figura 40*Comparación de la eficiencia de aplicación de riego. T1: caudal continuo, T2: dos pulsos, T3: seis pulsos (riego discontinuo).*

Fuente: Elaboración propia.

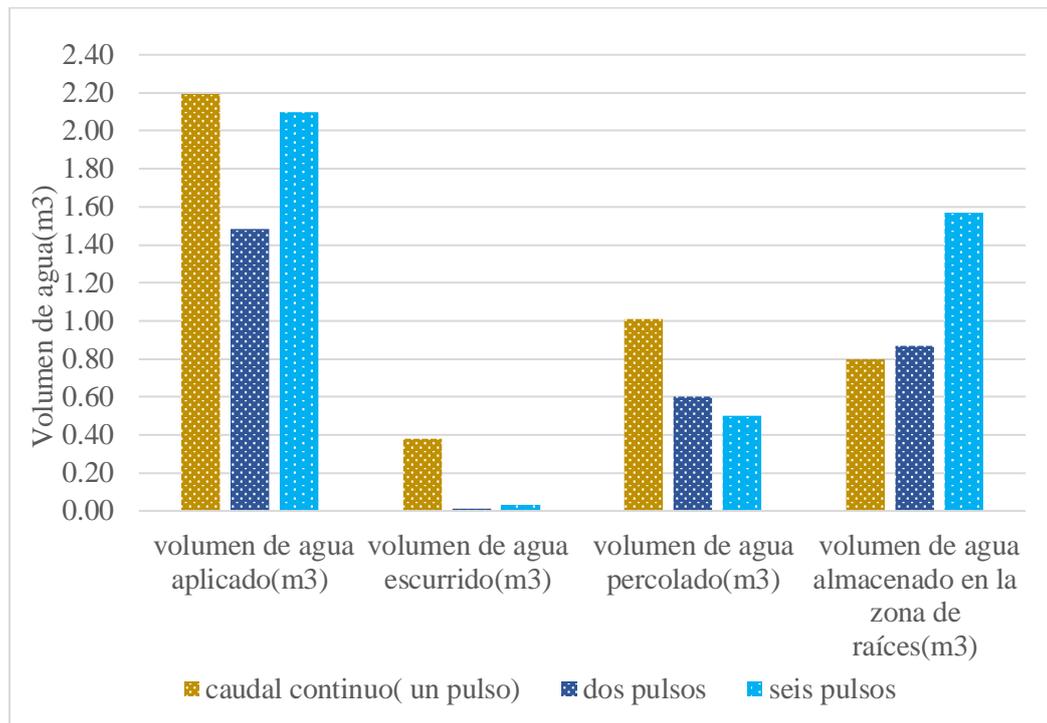
Tabla 30*Comparación del volumen de agua: con caudal continuo, dos pulsos y con seis pulsos.*

Volumen de agua (m ³)	Caudal continuo (T1)	Dos pulsos(T2)	Seis pulsos(T3)
Volumen de agua aplicado(m ³)	2.192	1.486	2.100
Volumen de agua escurrido(m ³)	0.378	0.012	0.032
Volumen de agua percolado(m ³)	1.010	0.600	0.500
Volumen de agua almacenado en la zona de raíces(m ³)	0.800	0.870	1.570

Fuente: Elaboración propia.

Figura 41

Comparación del volumen de agua: con caudal continuo, dos pulsos y con seis pulsos.



Fuente: Elaboración propia.

4.1.3.5. Calibración del modelo mediante el método numérico de Newton Raphson.

Se calibra el modelo de Criddle (1956), el valor de “X” remplazamos en la ecuación [31].

El caudal óptimo para el riego continuo (un pulso), T1 (Q2=0.154L/s), pendiente del surco (S=3.43%), ver la tabla 31, el valor de “X =0.84”, la ecuación [41] calibrada para riego continuo del tratamiento T1.

Tabla 31

Calibración del modelo del tratamiento T1(Q2=0.154 L/s)

Método de Newton - Raphson			
Xn	f(n)	f'(n)	Xn+1
0	-0.84	1	0.84
0.84	0	1	0.84

Fuente: Elaboración propia.

$$Q_{MNEE} = 0.84 * \frac{C}{S\%} \quad [41]$$

El caudal óptimo para riego aplicados con dos pulsos, T2 (Q3=0.165L/s), pendiente del surco (S=3.15%), ver la tabla 32, el valor de “X=0.83”, la ecuación [42] calibrada para riego aplicados en dos pulsos, del tratamiento T2.

Tabla 32

Calibración del modelo del tratamiento T2(Q3=0.165L/s)

Método de Newton - Raphson			
Xn	f(n)	f'(n)	Xn+1
0	-0.83	1	0.83
0.83	0	1	0.83

Fuente: Elaboración propia.

$$Q_{MNEE} = 0.83 * \frac{C}{S\%} \quad [42]$$

El caudal óptimo para riego aplicados con seis pulsos, T3(Q4=0.130 L/s), pendiente del surco (S=3.15%), ver la tabla 33, el valor de “X=0.65”, la ecuación [43] calibrada para riego por pulsos del tratamiento T3.

Tabla 33

Calibración del modelo del tratamiento T3(Q4=0.130 L/s)

Método de Newton - Raphson			
Xn	f(n)	f'(n)	Xn+1
0	-0.65	1	0.65
0.65	0	1	0.65

Fuente: Elaboración propia.

$$Q_{MNEE} = 0.65 * \frac{C}{S\%} \quad [43]$$

4.2. Discusión

4.2.1. Medir y calcular los parámetros físicos e hidráulicos del suelo en la parcela experimental del cultivo de Paltos

Se midió y se calculó los parámetros físicos e hidráulicos del suelo, los resultados obtenidos son: la textura del suelo contenido de Arena 61%, Limo 30% y Arcilla 9%, suelo franco arenoso; el perfil del suelo presenta horizonte “A” del nivel de la superficie de 0 a -0.30m presencia de material orgánica tierra oscura, horizonte “B” de -0.30 a -0.50m suelo claro, horizonte “C” de -0.50 a -1.00m presenta depósitos cuaternarios

conformado por clastos heterogéneos y heterométricos de formas sub angulosas a sub redondeado, estructura del suelo textura angular y con presencia de rocas, densidad aparente promedio ($d_{ap}=1.58\text{g/cm}^3$), densidad real ($d_r=2.86\text{g/cm}^3$), relación de vacío 0.80, la porosidad del suelo 44.60%, capacidad de campo ($CC\%=16$), punto de marchitez permanente ($PMP\%=5.5$), umbral de riego ($UH=50\%$), profundidad radicular de palto ($pr=60\text{cm}$), lámina neta ($L_n=49.77\text{mm}$), prueba de la lámina de infiltración acumulada se obtuvo un buen coeficiente de determinación ($R^2=99.90\%$), función de velocidad de infiltración ($R^2=65.79\%$), velocidad de infiltración básica 13.00mm/hora. Comparando los resultados obtenidos por los autores. Flores L.& Alcalá (2010), en su manual de “procedimientos analíticos del laboratorio de física de suelos, de la Universidad Nacional Autónoma de México”, ver la tabla 1 en la página 30, presenta los rangos de las características físicas de los suelos en función a su clase textural para suelo franco arenoso, conductividad hidráulica (cm/hr) (1.3-7.6), porosidad (%) (40-47), densidad aparente (gr/m^3) (1.4-1.6), CC (%) (10-20), pmp (%) (4-8). Los análisis de los resultados obtenidos se asemejan entre los rangos citados en la tabla 1, para un suelo franco arenoso.

4.2.2. *Diseño y el manejo de riego por pulso en el cultivo de palto según la parcela experimental del CIE Cañasbamba*

El diseño y el manejo de riego por pulso en el cultivo de palto, el área de superficie del surco es 44.04m^2 . El caudal máximo no erosivo se determinó con la ecuación de Criddle (1956), donde se calculó para los siguientes tratamientos: para tratamiento T1 $QMNE=0.184\text{ L/s}$, para tratamiento T2 $QMNE=0.200\text{ L/s}$, para tratamiento T3 $QMNE=0.200\text{L/s}$, se usaron cuatro caudales en cada tratamiento, para tratamiento T1: 0.132 L/s, 0.154 L/s, 0.185 L/s, 0.369 L/s, para tratamiento T2 y T3: 0.320 L/s, 0.200 L/s, 0.165L/s, 0.130 L/s. Se seleccionó el caudal de diseño óptimo no erosivo, para cada tratamiento: para tratamiento T1: $Q_2=0.154\text{ L/s}$, para tratamiento T2: $Q_3=0.165\text{ L/s}$, para tratamiento T3: $Q_4=0.130\text{ L/s}$. Comparando los resultados obtenidos por los autores. (Génova et al., 2015), en su artículo científico titulado: “Desempeño de tres métodos de riego por surcos: caudal único, dos caudales y caudal discontinuo en un cultivo de maíz”. La pendiente longitudinal del surco 0.34%, se obtuvieron el caudal máximo no erosivo con el modelo de Criddle (1956) $QMNE=1,79\text{ L/s}$, se realizaron el ensayo con 6 caudales 0.9, 1.1, 1.3, 1.5, 1.7, 1.9 L/s, se seleccionó el $QMNE=1.30\text{ L/s}$ que dio los mejores resultados de la eficiencia de aplicación de agua en riego a pulsos.

El diseño del caudal depende de la pendiente longitudinal del surco y de la textura del suelo.

4.2.3. Cálculo del caudal que optimizó la eficiencia de aplicación del uso del agua del riego a pulsos en el cultivo del Palto en el CIE. Cañasbamba.

Los resultados de la eficiencia de riego obtenidos con los caudales optimizado de cada tratamiento, ver la siguiente tabla.

Eficiencia	Símbolo	T1	T2	T3
Caudal óptimo	L/S	0.154	0.165	0.130
de aplicación	Efa (%)	36.55	59.11	74.43
de aplicación del 1/4 inferior	Efaci (%)	26.90	34.40	62.99
de distribución	Efd (%)	73.59	58.20	84.63
Coefficiente de uniformidad	CU (%)	75.94	64.17	84.11

Comparando los resultados obtenidos por los autores.(Génova et al., 2015, p. 1), en su artículo científico titulado “Desempeño de tres métodos de riego por surcos: caudal único, dos caudales y caudal discontinuo en un cultivo de maíz”, concluyeron que obtuvieron los sientes resultados ver siguiente tabla.

Eficiencia	Símbolo	T1	T2	T3
Caudal óptimo	L/S	1.3	1.3	1.3
de aplicación	Efa (%)	49.40	71.60	76.10
de aplicación del 1/4 inferior	Efaci (%)	32.10	54.80	71.90
de distribución	Efd (%)	76.90	86.50	96.00
Coefficiente de uniformidad	CU (%)	65.00	76.50	94.40

Hay un buen acercamiento de los de resultados.

V. CONCLUSIONES

Se evaluó tres caudales comparativos en el riego por pulsos se estimó la eficiencia de aplicación de agua en el cultivo de palto. Las eficiencias de aplicación de agua (Efa) son: para el tratamiento T3 (aplicados en seis pulsos): 74.43%, para el tratamiento T2 (aplicados en dos pulsos): 59.11%, para el tratamiento T1 (un pulso): 36.55%. Las eficiencias de aplicación de un cuarto inferior (Efaci), para el tratamiento T3 (aplicados en seis pulsos): 62.99%, para T2 (aplicados en dos pulsos): 34.40%, para T1 (un pulso): 26.90%. Las eficiencias de almacenaje (Efalm), para el tratamiento T3 (aplicados en seis pulsos): 71.42%, para T2 (aplicados en dos pulsos): 40.06%, para T1: 37.74%, las eficiencias de distribución (Efd), para tratamientos T3: 84.63%, para T2: 58.20%, para T1 (un pulso): 73.59%. El coeficiente de uniformidad (CU), para tratamientos T3 (aplicados en seis pulsos): 84.11%, para T2 (aplicados en dos pulsos): 64.17%, para T1 (un pulso): 75.94%. El tratamiento T3 (aplicados en seis pulsos) superó a los demás tratamientos, la eficiencia de aplicación de agua alcanzó 74.43%, con un coeficiente de uniformidad de 84.11%, es aceptable el riego gravitacional por surco mediante el sistema de pulsos del tratamiento T3 (discontinuo) en las plantaciones de palto.

Se midió y se calculó los parámetros físicos e hidráulicos del suelo. La textura del suelo presenta el porcentaje de arena 61%, limo 30%, arcilla 9%, según el triángulo textural se clasifica suelo franco arenoso, el perfil del suelo presenta horizonte "A" del nivel de la superficie de 0 a -0.30m presencia de material orgánica tierra oscura, horizonte "B" de -0.30 a -0.50m suelo claro, horizonte "C" de -0.50 a -1.00m, la estructura del perfil del suelo presenta terrones formado por las partículas unidos entre sí: textura angular y con presencia de rocas, la densidad aparente 1.58g/cm^3 , la densidad real 2.86g/cm^3 , la porosidad del suelo 44.60%, relación de vacío 0.80. Los parámetros hidráulicos del suelo, en la prueba de la lámina de infiltración acumulada se obtuvo un buen coeficiente de determinación ($R^2=99.90\%$), para la velocidad de infiltración se obtuvo un coeficiente de determinación ($R^2=65.79\%$), la velocidad de infiltración básica 13.00mm/hora, la lámina neta requerida para cada evento de riego a almacenar ($L_n=49.77\text{mm}$), umbral de riego 50% para satisfacer las necesidades hídricas de la planta.

Se diseñó el manejo de riego por pulso en el cultivo de palto. La pendiente del surco para tratamientos fue: para el tratamiento T1: 3.43%, para el tratamiento T2: 3.15%, para el tratamiento T3: 3.15%. El área de superficie del surco 44.04m^2 . La selección del caudal de diseño óptimo para cada tratamiento: para el tratamiento T1 (aplicados a un pulso): $Q_2=0.154\text{L/s}$, para el tratamiento T2 (aplicados en dos pulsos): $Q_3=0.165\text{L/s}$, para el tratamiento T3

(aplicados en seis pulsos): $Q_4=0.130$ L/s. Los caudales se calibro por el método de Newton Raphson para el tratamiento T1 la ecuación [41], para el tratamiento T2 la ecuación [42], para el tratamiento T3 la ecuación [43]. La ecuación de la curva de avance para los tratamientos: para el tratamiento T1 la ecuación [37], para el tratamiento T2 la ecuación [38], para tratamiento T3 la ecuación [39]. La ecuación de número de pulsos de riego para el tratamiento T3 ver la ecuación [40], longitud de intervalos para el tratamiento T3 la ecuación [36].

El caudal que optimizó la eficiencia de aplicación del uso del agua del riego a pulsos en el cultivo del palto, para el tratamiento T1: $Q_2=0.154$ L/s, para el tratamiento T2: $Q_3=0.165$ L/s, para el tratamiento T3: $Q_4=0.130$ L/s.

VI. RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar investigaciones de riego por pulsos en sistemas de riego a gravedad para mejorar la eficiencia de aplicación en diversos cultivos y con fertirrigación para aprovechar mejor el recurso agua que en la actualidad es más escaso.

Usar en el riego a pulsos (discontinuos) del tratamiento T3, para un suelo franco arenoso y pendiente del surco 3.15%, las siguientes ecuaciones:

Caudal máximo no erosivo (QMNE).

$$Q_{MNE} = 0.65 * \frac{C}{S\%}$$

Ecuación de la curva de avance.

$$L_o = 3.244 * T_t^{0.52}$$

Número de pulsos de riego del caudal óptimo.

$$N^\circ \text{ pulsos} = 0.3242(Tt)^{0.5202}$$

Longitud de intervalos, para caudal óptimo.

$$L_{INTERV.} = \frac{L_o}{N^\circ \text{ de pulsos}}$$

Donde:

C : Textura del suelo para suelo franco arenoso($C=0.63$)

$S\%$: Pendiente del surco, en %.

L_o : Longitud del surco, en metros.

T_t : Tiempo de avance, en minutos.

N° pulsos: Número de pulsos de riego.

$L_{INTERV.}$: Longitud de intervalos, en metros.

VII. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.

- Antúnez, A., Sellés van, G., Felmer, S., & Vidal, M. (2015). *Riego por Pulsos en Maíz regado por Surcos*. <http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/ta/NR38871.pdf>
<http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/ta/NR38871.pdf>
- Durán, E. (2015). *Análisis del Potencial de Infiltración en Suelos de la Región de Linares-Hualahuises, Nuevo León*. Universidad Autónoma de Nuevo León Facultad de Ciencias de la Tierra.
- Fao. (s/f). *Estructura del suelo*.
http://www.fao.org/tempref/FI/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s07.htm
- Fernández Gómez, R. & Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera. (2010). *Manual de riego para agricultores Módulo 2*. Junta de Andalucía, Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera.
- Fernández, R., Ávila, R., López, M., Gavilán, P., Oyonarte, N., Milla, M., Berengena, J., García, J., & Yruela, M. (2010). *Manual de riego para Agricultores (Pdf Descargable)* (Vol. 1-92). <https://agriculturaweb.es/documentos/manual-de-riego-para-agricultores/>
- Flores, H., Sifuentes, E., Flores M., H., & Ojeda, W. (2014). *Técnicas de conservación del agua en riego por gravedad a nivel parcelario Water conservation techniques in surface irrigation at plantation level*. 5, 241-252.
- Flores, L., & Alcalá, J. (2010). *Manual de procedimientos analíticos laboratorio de física de suelos*. Universidad Nacional Autónoma de México.
<https://www.geologia.unam.mx/igl/deptos/edafo/lfs/MANUAL%20DEL%20LABORATORIO%20DE%20FISICA%20DE%20SUELOS1.pdf>
- Flórez, N., Zution, I., Rodrigues, D., Agnellos, E. A., Ponciano, F., Ribeiro, M., & Eiji, E. (2013). Eficiencia de aplicación de agua en la superficie y en el perfil del suelo en un sistema de riego por aspersión. *Agrociencia*, 47(2), 107-119.
- Fuentes, J. (1999). *Técnicas de Riego* (Primera). Aedos, S.A.
- Génova, L., Andreau, R., & Etchevers, P. (2015). Desempeño de tres métodos de riego de maíz por surcos: Caudal único, dos caudales y caudal discontinuo. *Revista de la*

Facultad de Agronomía, La Plata, 113(2), 174-191-191.

<http://revista.agro.unlp.edu.ar/index.php/revagro/article/view/25/159>

- Gil, P. (2004). *Proyecto de validación y transferencia en tecnología de riego y alternativas productivas en áreas regadas. Provaltt Quillota*. INIA.
<https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/123456789/32725/NR30873.pdf?sequence=1#:~:text=Palto%20posee%20un%20sistema%20radicular,a%2060%20cm%20de%20suelo.&text=Sistema%20radicular%20sensible%20a%20asfixia,se%20pierde%20por%20escurrimiento%20superficial>.
- Giraldo, E. (2019). *Efecto del riego intermitente en el rendimiento del cultivo de papa (Solanum tuberosum L.) variedad Unica* [Universidad Nacional Agraria la Molina Facultad de Ingeniería Agrícola].
<http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/4120>
- Hernández, J. (2015). *Agua en el Suelo* [Educación].
https://es.slideshare.net/JuanPabloHernandez8/agua-en-el-suelo-60960624?from_action=save
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., Baptista Lucio, P., Méndez Valencia, S., & Mendoza Torres, C. P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.ª ed.). McGraw-Hill Education. <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>
- Holzapfel H, E. (1993). *Riego gravitacional*.
<https://biblioteca.inia.cl/handle/123456789/37956>
- López, R. (2016). *Manejo y uso eficiente del agua de riego intrapredial para el Sur de Chile: Conceptos y consideraciones básicas en métodos y programación de riego para optimizar el recurso hídrico* (Boletín N.º 340). Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA. Centro Regional de Investigación INIA Carillanca.
<http://bibliotecadigital.ciren.cl/handle/123456789/31618>
- Luna Sandoval, M. del R. O., Ruiz Ascencio, J., Luna Sandoval, M. del R. O., & Ruiz Ascencio, J. (2016). MUREM: Un método multiplicativo de regresión para estimar el esfuerzo de desarrollo de software. *Computación y Sistemas*, 20(4), 763-787.
<https://doi.org/10.13053/cys-20-4-2378>

- Mario, C. C. (2009, febrero 9). Lámina neta de aplicación de agua. *Artículos Varios (Knols)*.
<https://elknol.wordpress.com/article/lamina-neta-ln-de-aplicación-de-agua-li29ptfum49sf-20/>
- Miguel Ángel Cogolludo Agustín. (s/f). *Medición de Diámetros y Alturas. Parte I* [Educación]. <https://es.slideshare.net/macogo520/medicin-de-dimetros-y-alturas-parte-i>
- MINAGRI. (2013). *El Ministerio de Agricultura y Riego al PDF Free Download*.
<https://docplayer.es/23051386-El-ministerio-de-agricultura-y-riego-al-2016.html>
- Monserrat, J., Casali Sarasibar, J., Tilló, J., Cots i Rubió, Ll., & Barragán, J. (1997).
Aplicabilidad del riego a pulsos en tablares. *Ingeniería del agua*, 4(2).
<https://doi.org/10.4995/ia.1997.2720>
- Olguín, I., Ríos, A., Ruiz, A., Rodríguez, J., & Zacarías, B. (2018). Ciencia del Suelo: Trabajo de laboratorio. *Ciencia del Suelo*. <http://ctsuelos.blogspot.com/2018/12/trabajo-de-laboratorio.html>
- P Lázaro, Saucedo, H., & Zataráin, F. (2010). *Riego por gravedad*. 32.
<https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2017/11/Riego-por-gravedad.pdf>
- Pérez Bravo, Y. L., Ríos Albuerno, C., & Díaz Hernández, I. (2019). Relaciones morfométricas en plantaciones jóvenes de Acacia mangium Willd en dos regiones de Villa Clara. *Centro Agrícola*, 46(3), 30-38.
- Puppo, L., Aguerre, M., Camio, G., Hayashi, R., & Morales, P. (2018). Evaluación del riego por melgas en los suelos del sur del Uruguay. Uso del modelo WinSRFR, resultados preliminares. *Agrociencia Uruguay*, 22(2). <https://doi.org/10.31285/AGRO.22.2.12>
- Rodríguez, A., Aristizábal, A., & Camacho, J. (2008). Variabilidad espacial de los modelos de infiltración de Philip y Kostiakov en un suelo Ândico. *Engenharia Agrícola*, 28(1), 64-75. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162008000100007>
- Rojas, T. M. (2001). *Manual de Riego Parcelario*.
- Salas, A., & Urrestarazu, L. (2008). *Riego por superficie* [Http://ocwus.us.es/]. ocwus.
http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos/temario/Tema%208.Riego%20por%20superficie/page_17.htm/skinless_view

- Salazar, R., Rojano, A., & López, I. (2014). *La eficiencia en el uso del agua en la agricultura controlada*. Tecnología y Ciencias del Agua, vol. V, núm. 2, pp. 177-183.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-24222014000200012&script=sci_arttext
- Sanca, M. (2011). *Tipos de investigación científica*. 12, 621.
- Tornés, N., Brown, O., Gómez, Y., & Guerrero, A. M. (2016). *Eficiencia de aplicación máxima del agua y longitud del surco en función de los caudales* (N.º 1). 25(1), 5.
- Vargas, Z. (2009). La Investigación aplicada: Una forma de conocer las realidades con evidencia científica. *Revista Educación*, 33(1), 155.
<https://doi.org/10.15517/revedu.v33i1.538>
- Velásquez, Z. R. C., & Leal, P. R. (2019). *Comparación de métodos utilizados en la valoración del riesgo biológico*. 28, 18.

VIII. ANEXO

Anexo A. Clasificación del suelo según el triángulo textural.



UNIVERSIDAD NACIONAL
“Santiago Antúnez de Mayolo”
“Una Nueva Universidad para el Desarrollo”
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CIUDAD UNIVERSITARIA – SHANCAYAN
Telefax. 043-426588 - 106
HUARAZ – REGIÓN ANCASH



RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE FÍSICOS

SOLICITANTE : Bach. López Ramírez Liver Alfredo - Tesista.

PARCELA : M- 01

UBICACIÓN : CIE. Cañasbamba – Yungay – Ancash.

Muestra N°	Profundidad m.	Textura (%)			Clase Textural
		Arena	Limo	Arcilla	
037	00- 1.00	61	30	09	Franco arenoso

Muestra N°	Profundidad m.	C.C. %	P. M. %
037	0.0 -0.30	16.00	5.50

Huaraz, 22 de Marzo del 2021.



Guillermo Castillo Romero
M.Sc. Guillermo Castillo Romero
JEFE DEL LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS Y AGUAS

Anexo B. Densidad aparente de cada estrato

Tabla B1

Datos tomados en el campo.

Muestra	Profundidad (cm)	Peso Suelo (g)		Volumen total (cm ³)	Densidad (gr/cm ³)	Densidad Promedio (gr/cm ³)
		húmedo	Seco			
M1	0 -10	476.00	406	255.18	1.59	
M2	-10 -20	474.50	405	255.18	1.59	1.58
M3	-20 -30	460.79	400.83	255.18	1.57	

Nota: Ensayo del campo fue realizado el día 2 de octubre del 2020.

Fuente: Elaboración propia.

Anexo C. Densidad real(dr).

Tabla C1

Densidad real

Ensayos	Peso	Unidad
peso de un matraz aforado vacío de 50ml (W1)	38	g
peso de un matraz + 10gramos de suelo(W2)	48	g
peso de matraz aforado con suelo y agua(W3)	94	g
peso de matraz aforar con agua (W4)	87.5	g
densidad real (dr)	2.86	g/cm ³

Fuente: Elaboración propia.

Anexo D. Función de lámina infiltración acumulada.

Tabla D1

Datos tomados en el campo, ensayo de infiltración con el infiltrometro.

Lectura Nº hora	Tiempo de oportunidad(min)		Lectura (cm)	Enrase (cm)	Láminas Infiltrada(cm)	
	Parcial	Acumulado			Parciales	Acumuladas
9:25	0	0		14.6	0.00	0.00
9:30	5	5	13.70		0.90	0.90
9:35	5	10	13.10		0.60	1.50
9:40	5	15	12.60		0.50	2.00
9:45	5	20	12.30		0.30	2.30
9:50	5	25	12.00		0.30	2.60
9:55	5	30	11.69		0.31	2.91

10:00	5	35	11.45	0.24	3.15
10:05	5	40	11.20	0.25	3.40
10:10	5	45	10.90	0.30	3.70
10:15	5	50	10.65	0.25	3.95
10:20	5	55	10.40	0.25	4.20
10:25	5	60	10.20	0.20	4.40
10:30	5	65	9.95	0.25	4.65
10:35	5	70	9.70	0.25	4.90
10:40	5	75	9.46	0.24	5.14
10:45	5	80	9.30	0.16	5.30
10:50	9	85	9.10	0.20	5.50
10:55	5	90	8.90	0.20	5.70
11:00	5	95	8.70	0.20	5.90
11:05	5	100	8.50	0.20	6.10
11:10	5	105	8.30	0.20	6.30
11:15	5	110	8.15	0.15	6.45
11:20	5	115	8.00	0.15	6.60
11:25	5	120	7.90	0.10	6.70
11:30	5	125	7.80	0.10	6.80
11:35	5	130	7.60	0.20	7.00
11:40	5	135	7.45	0.15	7.15
11:45	5	140	7.10	0.35	7.50
11:50	5	145	7.00	0.10	7.60
11:55	5	150	6.90	0.10	7.70
12:00	5	155	6.80	0.10	7.80
12:05	5	160	6.70	0.10	7.90
12:10	5	165	6.50	0.20	8.10
12:15	5	170	6.30	0.20	8.30
12:20	5	175	6.15	0.15	8.45
12:25	5	180	6.00	0.15	8.60
12:30	5	185	5.90	0.10	8.70
12:35	5	190	5.80	0.10	8.80
12:40	5	195	5.70	0.10	8.90
12:45	5	200	5.60	0.10	9.00
12:50	5	205	5.35	0.25	9.25
12:55	5	210	5.10	0.25	9.50
13:00	5	215	5.00	0.10	9.60
13:05	5	220	4.80	0.20	9.80
13:10	5	225	4.70	0.10	9.90

Nota: ensayo de la infiltración se realizó con el infiltrómetro de cilindro simple para calcular los parámetros hidráulica de los suelos. Se realizó ensayo el 1 de octubre del 2020.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla D2*Método de mínimos cuadrados, regresión no lineal.*

Tiempo Acumulado (To) (min)	Lámina Acumulada (Icum) (cm)	X=Log (To)	Y=Log (Icum)	X*Y	X²	Y²
0	0.00	0	0	0	0	0
5	0.90	0.699	-0.046	-0.032	0.489	0.002
10	1.50	1.000	0.176	0.176	1.000	0.031
15	2.00	1.176	0.301	0.354	1.383	0.091
20	2.30	1.301	0.362	0.471	1.693	0.131
25	2.60	1.398	0.415	0.580	1.954	0.172
30	2.91	1.477	0.464	0.685	2.182	0.215
35	3.15	1.544	0.498	0.769	2.384	0.248
40	3.40	1.602	0.531	0.851	2.567	0.282
45	3.70	1.653	0.568	0.939	2.733	0.323
50	3.95	1.699	0.597	1.014	2.886	0.356
55	4.20	1.740	0.623	1.085	3.029	0.388
60	4.40	1.778	0.643	1.144	3.162	0.414
65	4.65	1.813	0.667	1.210	3.287	0.445
70	4.90	1.845	0.690	1.273	3.404	0.476
75	5.14	1.875	0.711	1.333	3.516	0.505
80	5.30	1.903	0.724	1.378	3.622	0.525
85	5.50	1.929	0.740	1.428	3.723	0.548
90	5.70	1.954	0.756	1.477	3.819	0.571
95	5.90	1.978	0.771	1.525	3.911	0.594
100	6.10	2.000	0.785	1.571	4.000	0.617
105	6.30	2.021	0.799	1.616	4.085	0.639
110	6.45	2.041	0.810	1.653	4.167	0.655
115	6.60	2.061	0.820	1.689	4.246	0.672
120	6.70	2.079	0.826	1.718	4.323	0.682
125	6.80	2.097	0.833	1.746	4.397	0.693
130	7.00	2.114	0.845	1.786	4.469	0.714
135	7.15	2.130	0.854	1.820	4.538	0.730
140	7.50	2.146	0.875	1.878	4.606	0.766
145	7.60	2.161	0.881	1.904	4.672	0.776
150	7.70	2.176	0.886	1.929	4.735	0.786
155	7.80	2.190	0.892	1.954	4.798	0.796
160	7.90	2.204	0.898	1.978	4.858	0.806
165	8.10	2.217	0.908	2.015	4.917	0.825
170	8.30	2.230	0.919	2.050	4.975	0.845
175	8.45	2.243	0.927	2.079	5.031	0.859
180	8.60	2.255	0.934	2.108	5.086	0.873

185	8.70	2.267	0.940	2.130	5.140	0.883
190	8.80	2.279	0.944	2.152	5.193	0.892
195	8.90	2.290	0.949	2.174	5.244	0.901
200	9.00	2.301	0.954	2.196	5.295	0.911
205	9.25	2.312	0.966	2.233	5.344	0.933
210	9.50	2.322	0.978	2.270	5.393	0.956
215	9.60	2.332	0.982	2.291	5.440	0.965
220	9.80	2.342	0.991	2.322	5.487	0.983
225	9.90	2.352	0.996	2.342	5.533	0.991
SUMA		87.53	33.59	69.26	176.72	27.47

Fuente: Elaboración propia.

Se determinó los parámetros valores de “A”, “B” se por el método de regresión simple, mínimos cuadrados

$$I_{Acum} = A * T_o^B$$

$$B = 0.61$$

$$A_o = -0.44$$

$$A = 0.36$$

El coeficiente de determinación (R^2) se ha obtenido $R^2=0.9990$. significa que el 99.90% es altamente confiable, aceptable.

I_{acum} : Lámina infiltración acumulada(cm)

T_o : Tiempo, en (min)

Anexo E. Función de velocidad de infiltración.

Tabla E1

Método de mínimos cuadrados, regresión no lineal.

Tiempo Acumulado (T_o) (min)	Velocidad de infiltración (I) (mm/h)	X=Log (T_o)	Y=Log(I)	X*Y	X ²	Y ²
		0	0	0	0	0
5	108.00	0.699	2.033	1.421	0.489	4.135
10	72.00	1.000	1.857	1.857	1.000	3.450
15	60.00	1.176	1.778	2.091	1.383	3.162
20	36.00	1.301	1.556	2.025	1.693	2.422
25	36.00	1.398	1.556	2.176	1.954	2.422
30	37.20	1.477	1.571	2.320	2.182	2.467
35	28.80	1.544	1.459	2.253	2.384	2.130
40	30.00	1.602	1.477	2.366	2.567	2.182
45	36.00	1.653	1.556	2.573	2.733	2.422

50	30.00	1.699	1.477	2.510	2.886	2.182
55	30.00	1.740	1.477	2.571	3.029	2.182
60	24.00	1.778	1.380	2.454	3.162	1.905
65	30.00	1.813	1.477	2.678	3.287	2.182
70	30.00	1.845	1.477	2.725	3.404	2.182
75	28.80	1.875	1.459	2.736	3.516	2.130
80	19.20	1.903	1.283	2.442	3.622	1.647
85	24.00	1.929	1.380	2.663	3.723	1.905
90	24.00	1.954	1.380	2.697	3.819	1.905
95	24.00	1.978	1.380	2.730	3.911	1.905
100	24.00	2.000	1.380	2.760	4.000	1.905
105	24.00	2.021	1.380	2.790	4.085	1.905
110	18.00	2.041	1.255	2.563	4.167	1.576
115	18.00	2.061	1.255	2.587	4.246	1.576
120	12.00	2.079	1.079	2.244	4.323	1.165
125	12.00	2.097	1.079	2.263	4.397	1.165
130	24.00	2.114	1.380	2.918	4.469	1.905
135	18.00	2.130	1.255	2.674	4.538	1.576
140	42.00	2.146	1.623	3.484	4.606	2.635
145	12.00	2.161	1.079	2.333	4.672	1.165
150	12.00	2.176	1.079	2.348	4.735	1.165
155	12.00	2.190	1.079	2.364	4.798	1.165
160	12.00	2.204	1.079	2.379	4.858	1.165
165	24.00	2.217	1.380	3.061	4.917	1.905
170	24.00	2.230	1.380	3.078	4.975	1.905
175	18.00	2.243	1.255	2.816	5.031	1.576
180	18.00	2.255	1.255	2.831	5.086	1.576
185	12.00	2.267	1.079	2.447	5.140	1.165
190	12.00	2.279	1.079	2.459	5.193	1.165
195	12.00	2.290	1.079	2.471	5.244	1.165
200	12.00	2.301	1.079	2.483	5.295	1.165
205	30.00	2.312	1.477	3.415	5.344	2.182
210	30.00	2.322	1.477	3.430	5.393	2.182
215	12.00	2.332	1.079	2.517	5.440	1.165
220	24.00	2.342	1.380	3.233	5.487	1.905
225	12.00	2.352	1.079	2.538	5.533	1.165
SUMA		87.53	61.10	115.77	176.72	85.20

Fuente: Elaboración propia.

Los parámetros “a” y “b” se determinó por el método de regresión simple, mínimos cuadrados

$$V_{inf} = a * T_o^b$$

$$b = -0.477$$

$$A_o = 2.29$$

$$a = 192.98$$

EL coeficiente de determinación (R^2) se ha obtenido $R^2=0.6579$, Significa que el modelo tiene una confiabilidad de 65.79% de la velocidad de infiltrada.

V_{inf} : Velocidad de infiltración(mm/h).

I_b : Velocidad de infiltración básica(mm/h).

Infiltración Básica(mm/h).

$$T_o = -600 * b$$

$$T_o = 286.1520711$$

$$I_b = 13.00 \text{ mm/h.}$$

Anexo F. Pendiente de la longitud del surco de cada tratamiento.

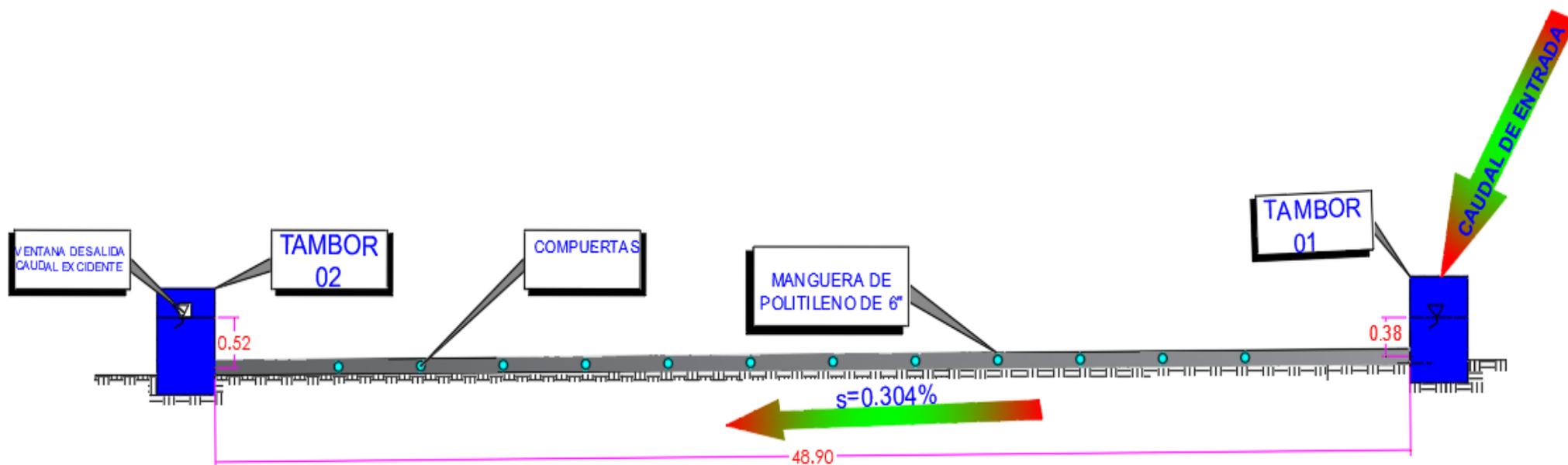
Tabla F1

Datos tomados en campo con el nivel de ingeniero.

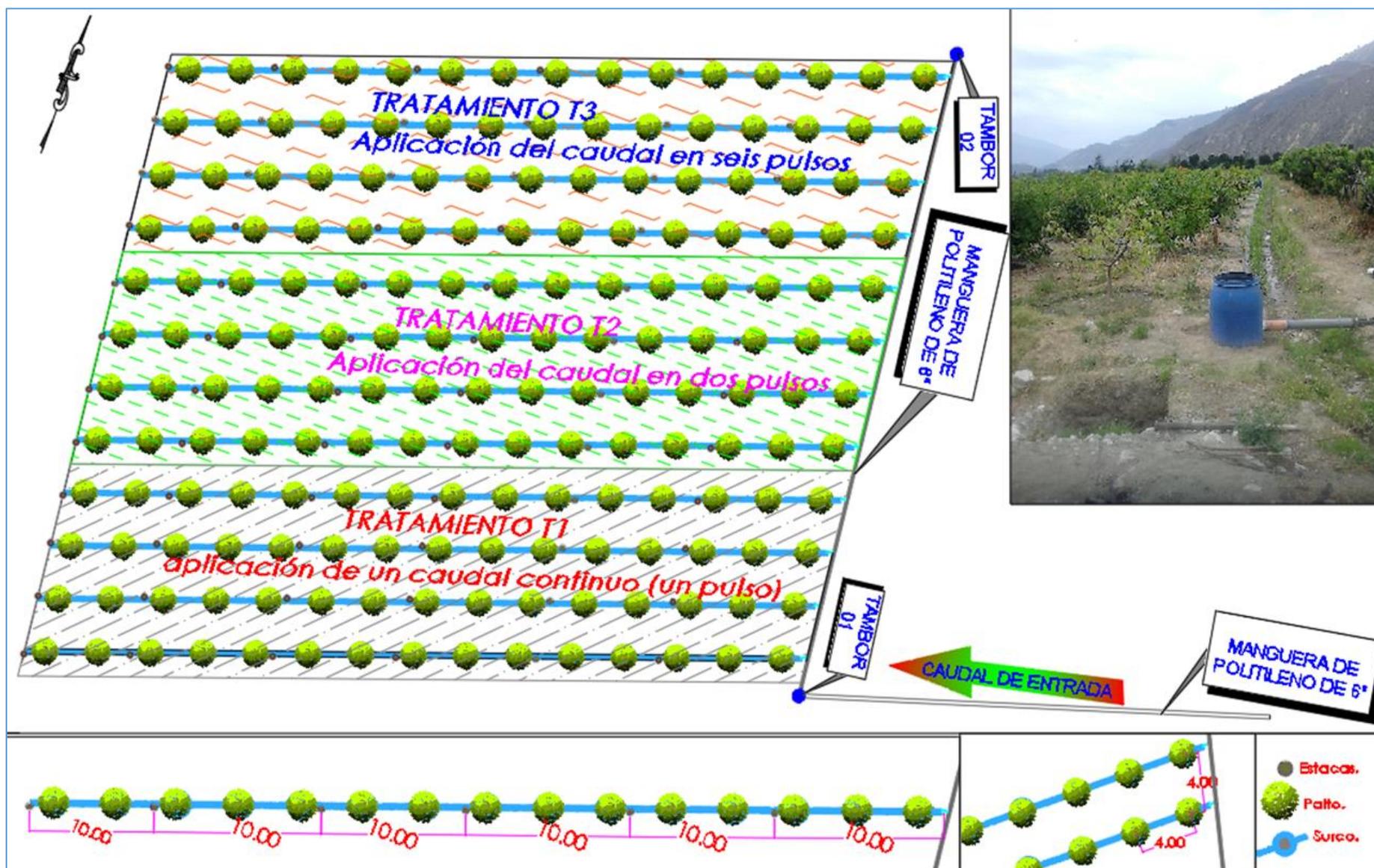
Punto	V(+)	 msnm	V(I)	V(-)	Cota	Longitud del surco (m)	Descrip.	Δh	Dh(m)	S	1/S^(1/2)	S	S%	
BN	1.374	2293.37			2292	0	BM1							
			1.348		2292.03	0.00	T3							
		2.11			2291.26	30.00	T3	0.76	29.99	0.03	6.27	0.0315	3.15	
		3.309			2290.07	30.00	T3	1.20	29.98	0.04	5.00			
		1.298			2292.08	30.00	T3				11.27			
		2.13			2291.24	30.00	T2	0.83	29.99	0.03	6.00			
		3.21			2290.16	30.00	T2	1.08	29.98	0.04	5.27	0.0315	3.15	
		1.485	2293.67		1.19	2292.18	30.00	BM2				11.27		
				1.353		2292.02	30.00	T1						
				2.41		2290.96	30.00	T1	1.06	29.98	0.04	5.33	0.0343	3.43
			3.41		2289.96	30.00	T1	1.00	29.98	0.03	5.48			
											10.80			

Fuente: Elaboración propia

Anexo G. *Altura de nivel de agua entre tambores*



Área de estudio experimental de la investigación.



Anexo H. Aforos del caudal continuo para el tratamiento (T1).

Tabla H1

Medición de caudal por el método volumétrico, para el T1, $Q1=0.132L/s$.

N° de medición	Tiempo (s)	Volumen (L)	Caudal (L/s)	Caudal promedio (L/s)
1	16.2	2.105	0.130	0.132
2	19.2	2.651	0.138	
3	9.5	1.228	0.129	

Fuente: Propia.

Tabla H2

Medición de caudal por el método volumétrico, para el T1, $Q2=0.154L/s$.

N° de medición	Tiempo (s.)	Volumen (L)	Caudal (L/s.)	Caudal promedio (L/s.)
1	15.2	2.360	0.155	0.154
2	16.2	2.520	0.155	
3	22.0	3.348	0.152	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla H3

Medición de caudal por el método volumétrico, para el T1 $Q3=0.185L/s$.

N° de medición	Tiempo (s.)	Volumen (L)	Caudal (L/s.)	Caudal promedio (L/s.)
1	8.7	1.570	0.180	0.185
2	15.2	2.820	0.185	
3	8.8	1.680	0.190	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla H4

Medición de caudal por el método volumétrico, para el T1 $Q4=0.369L/s$.

N° de Medición	Tiempo (s.)	Volumen (L)	Caudal (L/s.)	Caudal promedio (L/s.)
1	6.4	2.281	0.356	0.369
2	6.9	2.498	0.362	
3	4.6	1.792	0.390	

Fuente: Elaboración propia.

Figura H1

Compuerta de control del caudal de salida hacia el surco.



Fuente: Elaboración propia.

Figura H.2.

Ensayo de medición de caudal por el método volumétrico, para el T1



Fuente: Elaboración propia.

Anexo I. Ensayo de la prueba de tiempo de avance, para el tratamiento(T1).

Tabla I1

El cálculo de la lámina total derivada dd(mm), para el (T1), caudal continuo (un pulso)

Descripción	Longitud (m)							
	0.0m	10m	20m	30m	40m	50m	60m	
Q1=0.132L/s	Tiempo de avance(min)	0.00	8.50	18.30	30.50	52.47	83.30	159.20
	Volumen total derivado (m ³)				1.264			
	Volumen almacenado(m ³)				1.262			
	Área de la longitud de Surco(m ²)				44.040			
	Lámina total derivada dd(mm)				28.693			
Q2=0.154L/s	Tiempo de avance(min)	0.00	6.08	18.18	27.51	45.45	78.20	142.22
	Volumen total derivado (m ³)				1.32			
	Volumen almacenado(m ³)				1.31			
	Área de la longitud de Surco(m ²)				44.04			
	Lámina total derivada dd(mm)				29.87			
Q3=0.185L/s	Tiempo de avance(min)	0.00	4.10	12.25	19.20	29.30	44.30	77.30
	Volumen total derivado (m ³)				0.859			
	Volumen almacenado(m ³)				0.852			
	Área de la longitud de Surco(m ²)				44.040			
	Lámina total derivada dd(mm)				19.512			
Q4=0.369L/s	Tiempo de avance(min)	0.00	4.14	8.51	11.45	14.23	16.51	20.20
	Volumen total derivado (m ³)				0.448			
	Volumen almacenado(m ³)				0.407			
	Área de la longitud de Surco(m ²)				44.040			
	Lámina total derivada dd(mm)				10.164			

Fuente: Elaboración propia.

Figura I1

El volumen de agua de escurrimiento y la carga de sedimento, para el T1, $Q1=0.132L/s$.

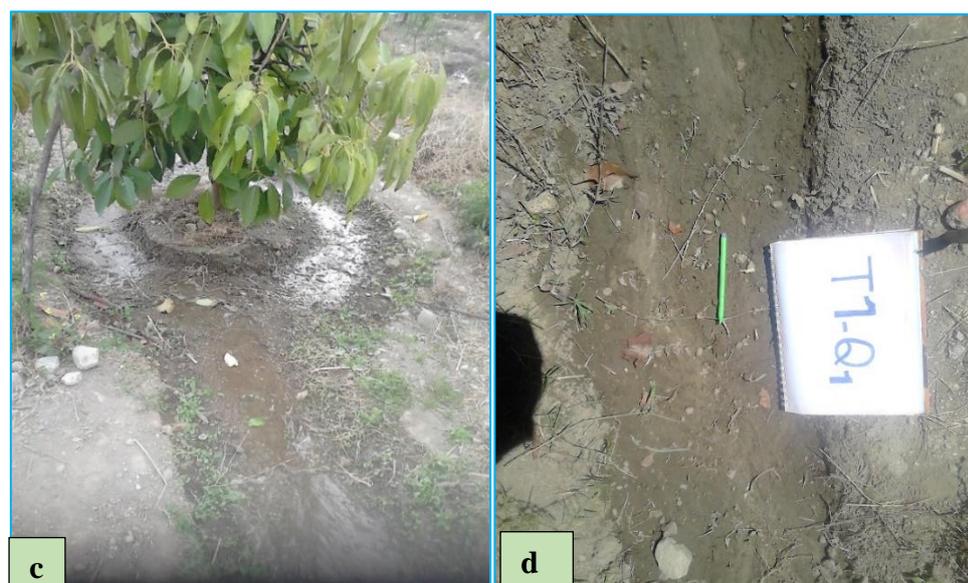


Nota: a). La medición de la pérdida del volumen de agua por escorrentía. b). La medición del peso del sedimento.

Fuente: Elaboración propia.

Figura I2

Evaluación de riego en él surco, para el T1, $Q1=0.132 L/s$.



Nota: c) El riego continuo, d). Análisis y observación del surco del T1, Q1 se observa no erosivo con mínima cantidad de sedimento.

Fuente: Elaboración propia.

Figura I3

Evaluación de riego en el surco, para el T1, $Q_2=0.154L/s$.

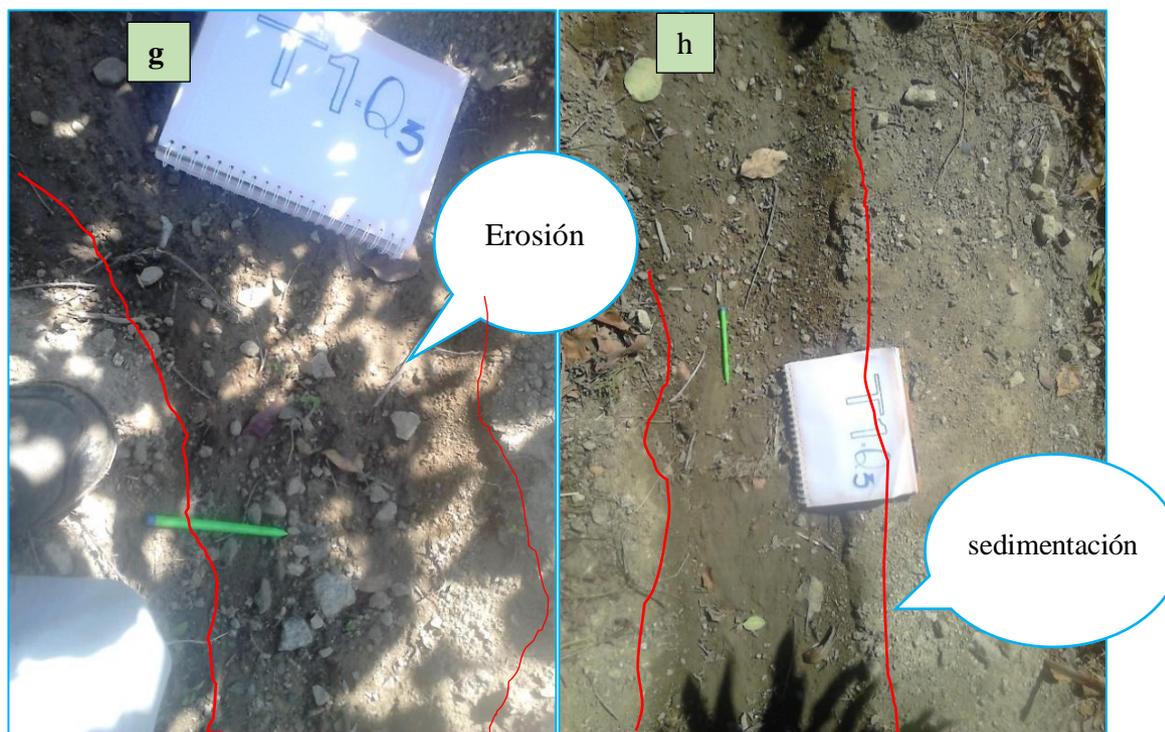


Nota: f) el riego continuo, e) la medición del volumen de agua de escorrentía en el pie del surco para el T1, Q2 se observa no erosivo.

Fuente: Elaboración propia.

Figura I4

Evaluación de riego en el surco, para el T1, $Q_3=0.185L/s$



Nota: g). Se observa erosión en el surco para el $Q_3=0.185L/s$, h). se observa sedimentación en el surco para el $Q_3=0.185L/s$.

Fuente: Elaboración propia.

Figura I5

La evaluación del T1, para el Q4=0.369L/s, produjo mayor carga de sedimento.



Nota: i). La medición de la pérdida del volumen de escurrimiento superficial, j) el volumen de sedimento concentrado en el pie del surco.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla I2

Determinación de la curva de avance del flujo, por el método de mínimos cuadrados, regresión no lineal. Para el T1, (Q1=0.132 L/s).

Tiempo transcurrido (Tt) Minutos	Longitud del surco (Lo) Metros	X=Log (Tt)	Y=Log (Lo)	X*Y	X ²	Y ²
0	0.00	0	0	0	0	0
8.50	10	0.929	1.000	0.929	0.864	1.000
18.30	20	1.262	1.301	1.642	1.594	1.693
30.50	30	1.484	1.477	2.192	2.203	2.182
52.47	40	1.720	1.602	2.755	2.958	2.567
83.30	50	1.921	1.699	3.263	3.689	2.886
159.20	60	2.202	1.778	3.915	4.849	3.162
SUMA		9.519	8.857	14.698	16.156	13.489

Fuente: Elaboración propia.

Los parámetros “a” y “x” se determinó por el método de mínimos cuadrados

$$L_o = a * T_t^x$$

L_o =longitud del surco(m)

x= 0.610

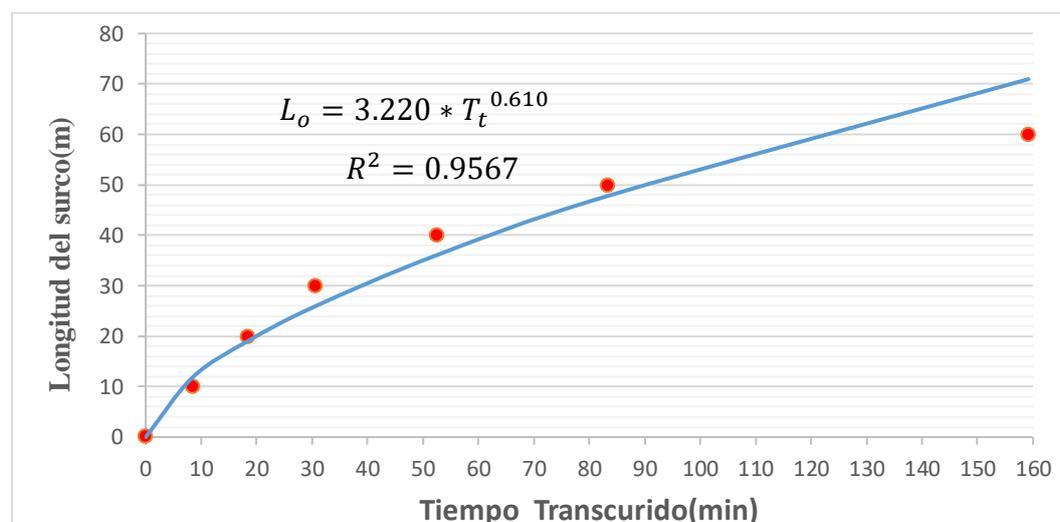
Ao= 0.5

a= 3.220

EL coeficiente de determinación (R²) se ha obtenido = 0.9567, significa que el modelo tiene una confiabilidad de 95.67%

Figura I6

Curva de avance, para el T1, caudal continuo (un pulso), ($Q1=0.132$ L/s)



Fuente: Elaboración propia.

Tabla I3

Determinación de la curva de avance del flujo, por el método de mínimos cuadrados, regresión no lineal. Para el T1, caudal continuo (un pulso), ($Q2=0.154$ L/s)

Tiempo transcurido (tt) min	Longitud del surco (Lo) m	X=Log (Tt)	Y=Log(Lo)	X*Y	X ²	Y ²
0	0.00	0	0	0	0	0
6.08	10	0.784	1.000	0.784	0.615	1.000
18.18	20	1.260	1.301	1.639	1.587	1.693
27.51	30	1.439	1.477	2.126	2.072	2.182
45.45	40	1.658	1.602	2.655	2.747	2.567
78.20	50	1.893	1.699	3.217	3.584	2.886
142.22	60	2.153	1.778	3.828	4.635	3.162
SUMA		9.187	8.857	14.249	15.240	13.489

Fuente: Elaboración propia.

Los parámetros “a” y “x” se determinó por el método de mínimos cuadrados

$$L_o = a * T_t^x$$

L_o =longitud del surco(m)

x= 0.590

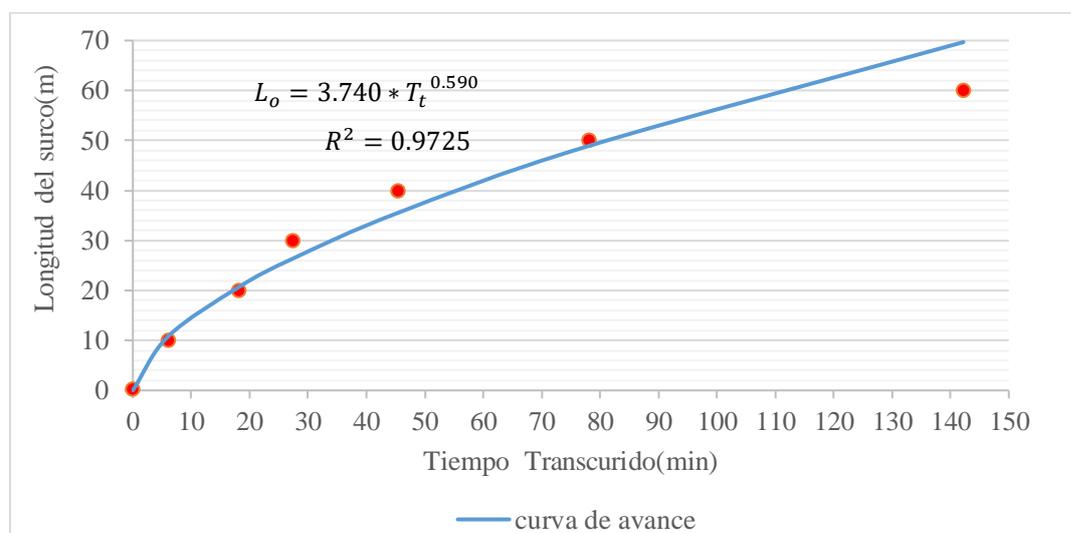
Ao 0.57

a= 3.7400

EL coeficiente de determinación (R^2) se ha obtenido = 0.9725, significa que el modelo tiene una confiabilidad de 97.25%

Figura I7

Curva de avance, para el T1, caudal continuo (un pulso), ($Q2=0.154L/s$)



Fuente: Elaboración propia.

Tabla I4

Determinación de la curva de avance del flujo, por el método de mínimos cuadrados, regresión no lineal. para T1, caudal continuo (un pulso), ($Q3=0.185L/s$).

Tiempo transcurido (Tt) min	Longitud del surco (Lo) m	X=Log (Tt)	Y=Log(Lo)	X*Y	X ²	Y ²
0.00	0.00	0	0	0	0	0
4.10	10	0.613	1.000	0.613	0.376	1.000
12.25	20	1.088	1.301	1.416	1.184	1.693
19.20	30	1.283	1.477	1.896	1.647	2.182
29.30	40	1.467	1.602	2.350	2.152	2.567
44.30	50	1.646	1.699	2.797	2.711	2.886
77.30	60	1.888	1.778	3.357	3.565	3.162
SUMA		7.986	8.857	12.429	11.634	13.489

Fuente: Elaboración propia.

Los parámetros “a” y “x” se determinó por el método de mínimos cuadrados

$$L_o = a * T_t^x$$

L_o =longitud del surco(m)

x= 0.640

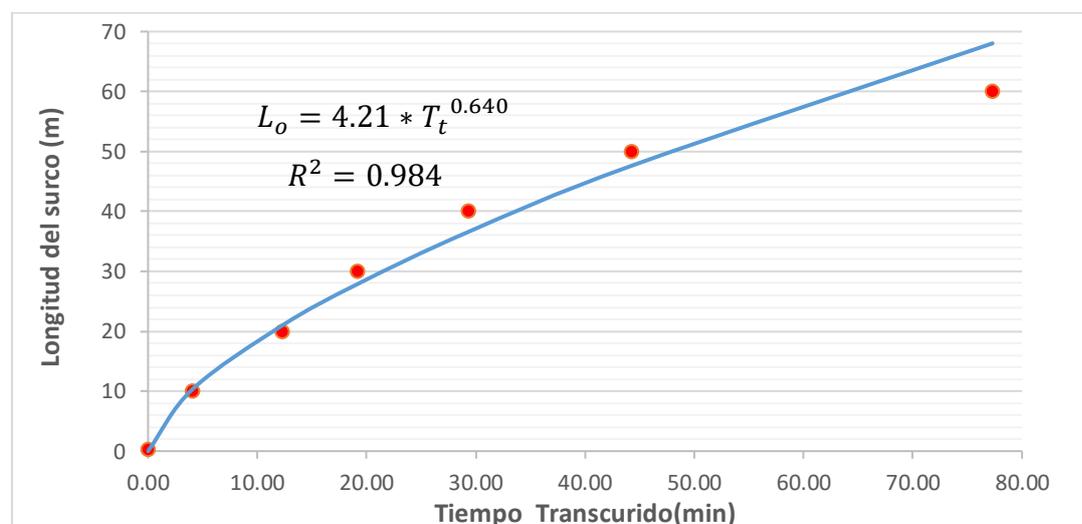
Ao 0.62

a= 4.2100

EL coeficiente de determinación ($R^2= 0.9841$), significa que el modelo tiene una confiabilidad de 98.41%.

Figura I8

Curva de avance, para el T1, caudal continuo (un pulso), ($Q3=0.185L/s$).



Fuente: Elaboración propia.

Tabla I5

Determinación de la curva de avance del flujo, por el método de mínimos cuadrados, regresión no lineal, para el T1, caudal continuo (un pulso), ($Q4=0.369L/s$)

Tiempo transcurido (Tt) min	Longitud del surco (Lo) m	X=Log(Tt)	Y=Log(Lo)	X*Y	X ²	Y ²
0.00	0.00	0	0	0	0	0
4.14	10	0.617	1.000	0.617	0.381	1.000
8.51	20	0.930	1.301	1.210	0.865	1.693
11.45	30	1.059	1.477	1.564	1.121	2.182
14.23	40	1.153	1.602	1.848	1.330	2.567
16.51	50	1.218	1.699	2.069	1.483	2.886
20.20	60	1.305	1.778	2.321	1.704	3.162
SUMA		6.282	8.857	9.628	6.883	13.489

Fuente: Elaboración propia.

Los parámetros “a” y “x” se determinó por el método de mínimos cuadrados

$$L_o = a * T_t^x$$

L_o =longitud del surco(m)

x= 1.160

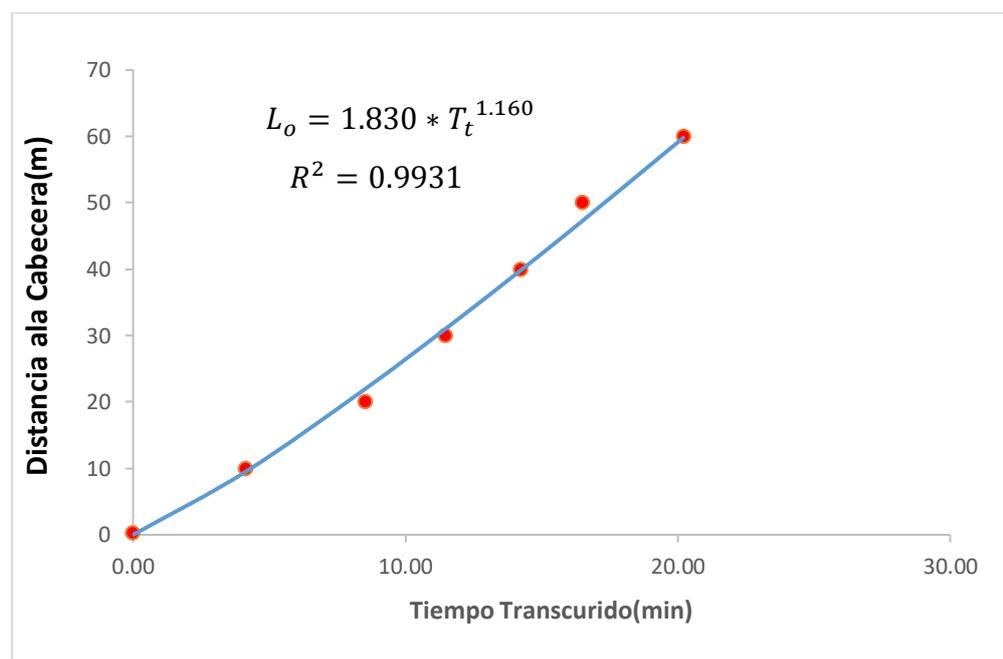
Ao 0.262

a= 1.8300

EL coeficiente de determinación ($R^2=0.9931$), significa que el modelo tiene una confiabilidad de 99.31%.

Figura I9

Curva de avance, para el T1, caudal continuo (un pulso), ($Q4=0.369L/s$).



Fuente: Elaboración propia.

Anexo J. Aforos del caudal para tratamiento (T2), aplicados en dos pulsos,

Tabla J1

Ensayo de medición de caudal por el método volumétrico, para el T2, ($Q1=0.320L/s$).

Caudal con dos pulsos	Nº de medición	Tiempo (s)	Volumen (L)	Caudal (L/s)	Caudal promedio (L/s)
Pulso 01	1	9.5	3.047	0.321	0.320
	2	10.5	3.354	0.319	
	3	10.2	3.269	0.320	
Pulso 02	1	11.3	3.518	0.323	
	2	10.1	3.174	0.314	
	3	10.2	3.129	0.323	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla J2*Ensayo de medición de caudal por el método volumétrico, para el T2,**(Q2=0.200L/s)*

Caudal con dos pulsos	N° de medición	Tiempo (s)	Volumen (L)	Caudal (L/s)	Caudal Promedio (L/s)
Pulso 01	1	12.2	2.244	0.184	0.200
	2	13.5	2.835	0.210	
	3	12.3	2.480	0.202	
Pulso 02	1	11.1	2.600	0.220	
	2	12.4	2.471	0.199	
	3	14.1	2.648	0.188	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla J3*Ensayo de medición de caudal por el método volumétrico, para el T2, (Q3=0.165L/s)*

Caudal con dos pulsos	N° de medición	Tiempo (s)	Volumen (L)	Caudal (L/s)	Caudal promedio (L/s)
Pulso 01	1	14.1	2.374	0.168	0.165
	2	15.2	2.471	0.163	
	3	14.2	2.401	0.169	
Pulso 02	1	13.4	2.177	0.162	
	2	16.1	2.594	0.161	
	3	14.6	2.407	0.165	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla J4*Ensayo de medición de caudal por el método volumétrico, para el T2, (Q4=0.130L/s)*

Caudal con dos pulsos	N° de medición	Tiempo (s)	Volumen (L)	Caudal (L/s)	Caudal promedio (L/s)
Pulso 01	1	16.6	2.160	0.130	0.130
	2	18.6	2.428	0.131	
	3	20	2.600	0.130	
Pulso 02	1	16.4	2.140	0.130	
	2	17.5	2.291	0.131	
	3	19	2.450	0.129	

Fuente: Elaboración propia.

Figura J1

Ensayo de medición de caudal por el método volumétrico, para el T2.



Fuente: Elaboración propia.

Anexo K. Ensayo de la prueba del tiempo de avance, para el tratamiento (T2).

Tabla K1

El cálculo de la lámina total derivada $dd(mm)$, para el T2, aplicados en dos pulsos.

Qentr (L/s)	Descripción	Longitud del surco(m)						
		0.0m	10m	20m	30m	40m	50m	60m
Q1=0.320	Tiempo de avance(min)	0.00	4.06	9.20	13.13	29.03	32.59	39.37
	Volumen total derivado (m ³)				0.632			
	Volumen almacenado(m ³)				0.581			
	Área de la longitud de Surco(m ²)				44.040			
	Lámina total derivada $dd(mm)$				14.354			
Q2=0.200	Tiempo de avance(min)	0.00	8.07	19.36	34.40	60.44	77.45	112.18
	Volumen total derivado (m ³)				1.263			
	Volumen almacenado(m ³)				1.244			
	Área de la longitud de Surco(m ²)				44.040			
	Lámina total derivada $dd(mm)$				28.687			
Q3=0.165	Tiempo de avance(min)	0.00	12.10	27.46	47.30	87.49	111.54	158.28
	Volumen total derivado (m ³)				1.486			
	Volumen almacenado(m ³)				1.474			
	Área de la longitud de Surco(m ²)				44.040			
	Lámina total derivada $dd(mm)$				33.732			
Q4=0.130	Tiempo de avance(min)	0.00	16.50	32.00	54.00	93.15	120.50	175.05
	Volumen total derivado (m ³)				1.315			
	Volumen almacenado(m ³)				1.308			
	Área de la longitud de surco(m ²)				44.040			
	Lámina total derivada $dd(mm)$				29.862			

Anexo L. Determinar el avance del flujo en los surcos, por el método de mínimos cuadrados regresión no lineal, para el tratamiento (T2).

Tabla L1

Determinación de la curva de avance del flujo, por el método de mínimos cuadrados, regresión no lineal, para el T2, aplicados en dos pulsos, (Q1=0.320L/s)

Tiempo transcurrido (Tt) min	Longitud del surco (Lo) m	X=Log (Tt)	Y=Log (Lo)	X*Y	X ²	Y ²
0	0.00	0	0	0	0	0
4.06	10.00	0.609	1.000	0.609	0.370	1.000
9.20	20.00	0.964	1.301	1.254	0.929	1.693
13.13	30.00	1.118	1.477	1.652	1.251	2.182
29.03	40.00	1.463	1.602	2.344	2.140	2.567
32.59	50.00	1.513	1.699	2.571	2.289	2.886
39.37	60.00	1.595	1.778	2.836	2.545	3.162
	SUMA	7.262	8.857	11.265	9.524	13.489

Fuente: Elaboración propia.

Los parámetros “a” y “x” se determinó por el método de mínimos cuadrados

$$L_o = a * T_t^x$$

L_o =longitud del surco(m)

x= 0.742

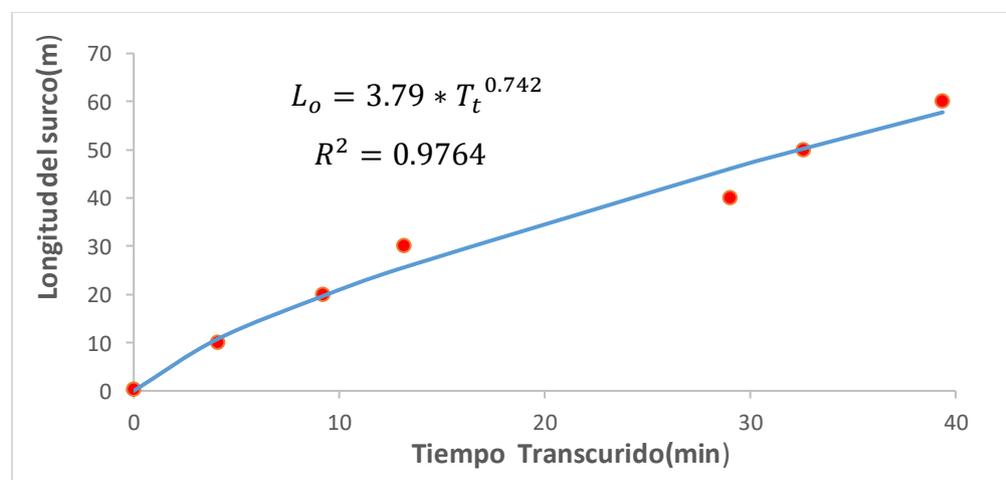
Ao= 0.58

a= 3.7860

EL coeficiente de determinación ($r^2=0.976$), significa que el modelo tiene una confiabilidad de 97.60%.

Figura L1

Curva de avance, para el T2, aplicados en dos pulsos, (Q1=0.320L/s).



Fuente: Elaboración propia.

Tabla L2

Determinación de la curva de avance del flujo, por el método de mínimos cuadrados, regresión no lineal, para el T2, aplicados en dos pulsos, (Q2=0.200L/s).

Tiempo transcurrido (Tt) min	Longitud del surco (Lo) m	X=Log (Tt)	Y=Log (Lo)	X*Y	X ²	Y ²
0	0.00	0	0	0	0	0
8.07	10.00	0.907	1.000	0.907	0.822	1.000
19.36	20.00	1.287	1.301	1.674	1.656	1.693
34.4	30.00	1.537	1.477	2.270	2.361	2.182
60.44	40.00	1.781	1.602	2.854	3.173	2.567
77.45	50.00	1.889	1.699	3.209	3.568	2.886
112.18	60.00	2.050	1.778	3.645	4.202	3.162
SUMA		9.451	8.857	14.559	15.783	13.489

Fuente: Elaboración propia.

Los parámetros “a” y “x” se determinó por el método de mínimos cuadrados

$$L_o = a * T_t^X$$

L_o =longitud del surco(m)

$$X= 0.677$$

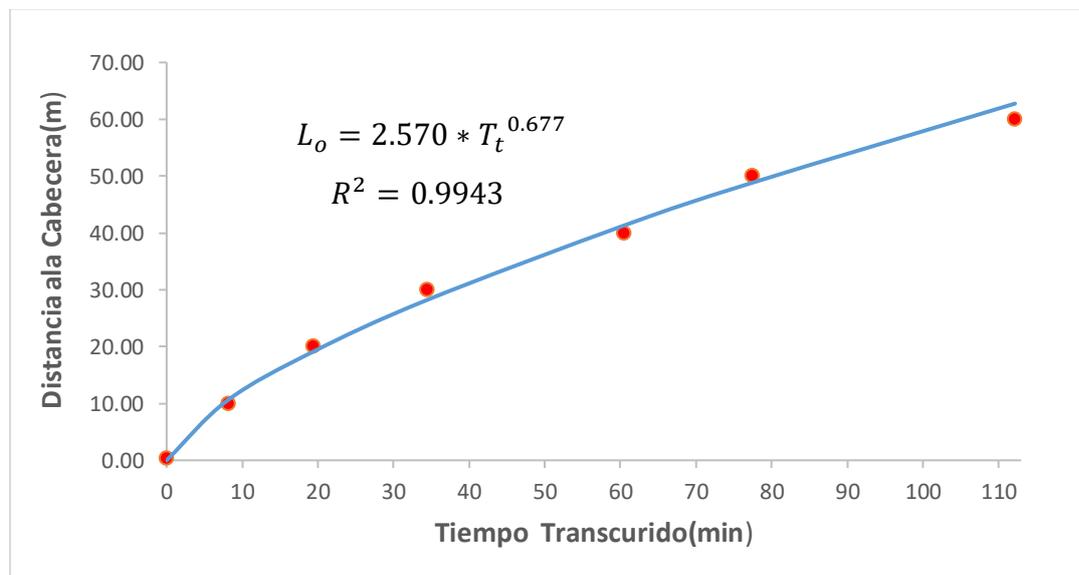
$$A_o= 0.41$$

$$a= 2.5700$$

EL coeficiente de determinación ($R^2=0.9943$), significa que el modelo tiene una confiable 99.43%

Figura L2

Curva de avance, para el T2, aplicados en dos pulsos, (Q2=0.200L/s)



Fuente: Elaboración propia.

Tabla L3

Determinación de la curva de avance del flujo, por el método de mínimos cuadrados, regresión no lineal, para el T2, aplicados en dos pulsos, (Q3=0.165L/s)

Tiempo transcurrido (Tt) min	Longitud del surco (Lo) m	X=Log (Tt)	Y=Log (Lo)	X*Y	X ²	Y ²
0	0.00	0	0	0	0	0
12.10	10.00	1.083	1.000	1.083	1.172	1.000
27.46	20.00	1.439	1.301	1.872	2.070	1.693
47.30	30.00	1.675	1.477	2.474	2.805	2.182
87.49	40.00	1.942	1.602	3.111	3.771	2.567
111.54	50.00	2.047	1.699	3.479	4.192	2.886
158.28	60.00	2.199	1.778	3.911	4.837	3.162
SUMA		10.385	8.857	15.929	18.848	13.489

Fuente: Elaboración propia.

Los parámetros “a” y “x” se determinó por el método de mínimos cuadrados

$$L_o = a * T_t^x$$

L_o =longitud del surco(m)

$$x = 0.685$$

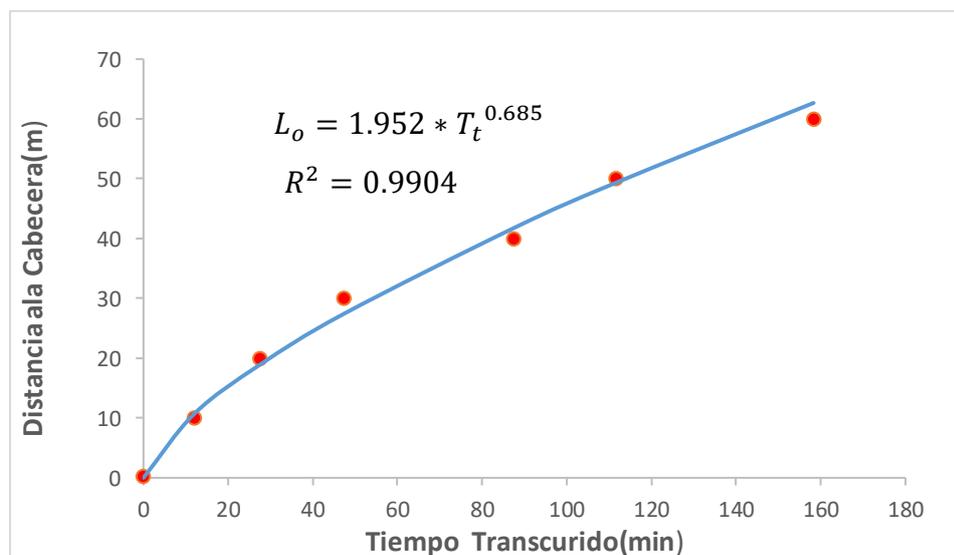
$$A_o = 0.29$$

$$a = 1.9520$$

EL coeficiente de determinación ($R^2=0.9904$), Significa que el modelo tiene una confiabilidad de 99.04%.

Figura L3

Curva de avance, para el T2, aplicados en dos pulsos, (Q3=0.165L/s).



Fuente: Elaboración propia.

Tabla L4

Determinación de la curva de avance del flujo, por el método de mínimos cuadrados, regresión no lineal, para el T2, aplicados en dos pulsos. (Q4=0.130L/s).

Tiempo transcurrido (Tt) min	Longitud del surco (Lo) m	X=Log (Tt)	Y=Log (Lo)	X*Y	X ²	Y ²
0	0.00	0	0	0	0	0
16.50	10.00	1.217	1.000	1.217	1.482	1.000
32	20.00	1.505	1.301	1.958	2.265	1.693
54	30.00	1.732	1.477	2.559	3.001	2.182
93.15	40.00	1.969	1.602	3.155	3.878	2.567
120.5	50.00	2.081	1.699	3.536	4.331	2.886
175.05	60.00	2.242	1.778	3.987	5.027	3.162
SUMA		10.747	8.857	16.412	19.984	13.489

Fuente: Elaboración propia.

Los parámetros “a” y “x” se determinó por el método de mínimos cuadrados

$$L_o = a * T_t^x$$

L_o :longitud del surco(m)

$$x = 0.745$$

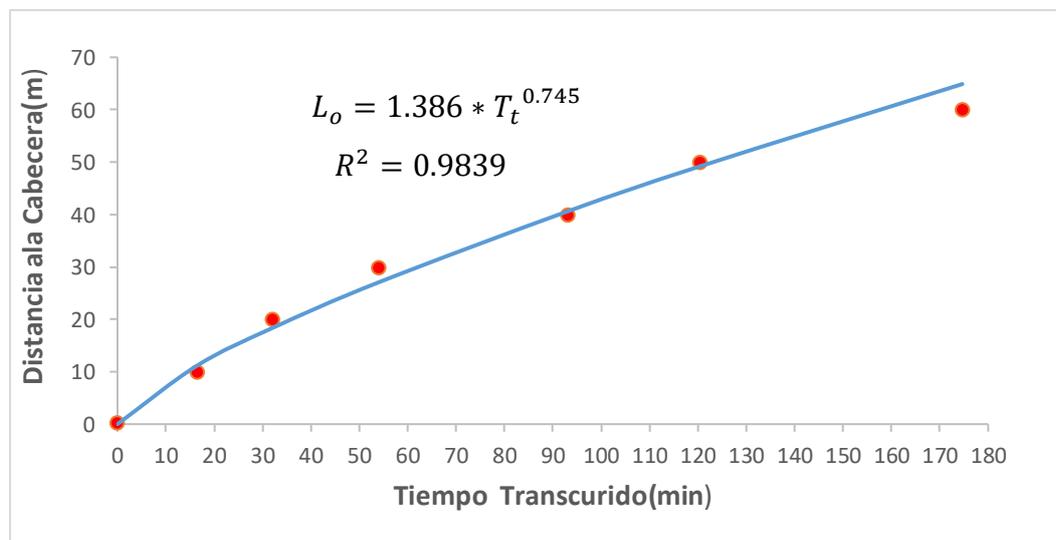
$$A_o = 0.14$$

$$a = 1.3860$$

EL coeficiente de determinación ($R^2=0.9829$), significa que el modelo tiene una confiabilidad de 98.29%.

Figura L4

Curva de avance, para el T2, aplicados en dos pulsos, (Q4=0.130L/s).



Fuente: Elaboración propia.

Anexo M. Ensayo de aforos de caudales por el método volumétrica, para el tratamiento (T3)

Tabla M1

Ensayo de medición de caudal por el método volumétrico, para el T3, (Q1=0.320L/s).

Caudal por pulsos	N° de medición	Tiempo (s)	Volumen (L)	Caudal (L/s)	Caudal promedio (L/s)
Pulso 01	1	6.8	2.18	0.321	0.320
	2	6.2	2.01	0.324	
Pulso 02	1	6.5	2.09	0.322	
	2	5.6	1.75	0.313	
Pulso 03	1	7.5	2.39	0.319	
	2	8.2	2.62	0.320	
Pulso 04	1	7.6	2.41	0.317	
	2	8.3	2.67	0.321	
Pulso 05	1	8.9	2.86	0.321	
	2	9.1	2.90	0.318	
Pulso 06	1	7.2	2.33	0.323	
	2	6.9	2.20	0.318	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla M2

Ensayo de medición de caudal por el método volumétrico, para el T3, (Q2=0.200L/s).

Caudal con dos pulsos	N° de medición	Tiempo (s)	Volumen (L)	Caudal (L/s)	Caudal Promedio (L/s)
Pulso 01	1	12.3	2.28	0.185	0.20
	2	7.7	1.62	0.210	
Pulso 02	1	10.6	2.21	0.209	
	2	12.0	2.38	0.198	
Pulso 03	1	10.1	2.11	0.209	
	2	12.9	2.51	0.194	
Pulso 04	1	12.0	2.40	0.200	
	2	11.2	2.20	0.197	
Pulso 05	1	10.2	2.10	0.206	
	2	12.2	2.33	0.191	
Pulso 06	1	11.1	2.31	0.208	
	2	11.6	2.30	0.199	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla M3

Ensayo de medición de caudal por el método volumétrico, para el T3, (Q3=0.165L/s).

Caudal con dos pulsos	N° de medición	Tiempo (s)	Volumen (L)	Caudal (L/s)	Caudal promedio (L/s)
Pulso 01	1	9.6	1.56	0.163	0.165
	2	13.2	2.22	0.168	
Pulso 02	1	9.6	1.56	0.162	
	2	14.4	2.36	0.164	
Pulso 03	1	10.1	1.62	0.161	
	2	11.1	1.85	0.167	
Pulso 04	1	13.5	2.22	0.164	
	2	14.3	2.33	0.163	
Pulso 05	1	16.2	2.68	0.165	
	2	18.2	2.98	0.164	
Pulso 06	1	15.3	2.57	0.168	
	2	13.2	2.30	0.174	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla M4

Ensayo de medición de caudal por el método volumétrico, para el T3, (Q4=0.130L/s)

Caudal con dos pulsos	N° de medición	Tiempo (s)	Volumen (L)	Caudal (L/s)	Caudal promedio (L/s)
Pulso 01	1	18.1	2.38	0.131	0.130
	2	18.5	2.39	0.129	
Pulso 02	1	18.1	2.42	0.134	
	2	19.0	2.46	0.129	
Pulso 03	1	17.3	2.19	0.127	
	2	16.4	2.16	0.132	
Pulso 04	1	17.1	2.26	0.132	
	2	18.1	2.32	0.128	
Pulso 05	1	17.2	2.19	0.127	
	2	18.1	2.37	0.131	
Pulso 06	1	18.3	2.43	0.133	
	2	18.1	2.32	0.128	

Fuente: Elaboración propia.

Anexo N. Ensayo de avance del flujo en los surcos, para el Tratamiento (T3).

Tabla N1

El cálculo de la lámina total derivada dd(mm), para el T3, aplicados en seis pulsos(discontinuo).

Qentr (L/s)	Descripción	Longitud del surco(m)						
		0m	10m	20m	30m	40m	50m	60m
Q1=0.320L/s	Tiempo de avance(min)	0.00	5.22	17.56	31.36	47.13	66.48	87.30
	Volumen total derivado (m ³)				1.10			
	Volumen almacenado(m ³)				0.95			
	Área de la longitud de Surco(m ²)				44.04			
	Lámina total derivada dd(mm)				24.97			
Q2=0.200L/s	Tiempo de avance(min)	0.00	5.43	25.00	44.24	73.00	110.29	174.00
	Volumen total derivado (m ³)				1.80			
	Volumen almacenado(m ³)				1.75			
	Área de la longitud de surco(m ²)				44.04			
	Lámina total derivada dd(mm)				40.92			
Q3=0.165L/s	Tiempo de avance(min)	0.00	8.24	35.20	64.00	114.00	160.24	246.16
	Volumen total derivado (m ³)				2.038			
	Volumen almacenado(m ³)				1.994			
	Área de la longitud de Surco(m ²)				44.040			
	Lámina total derivada dd(mm)				46.278			
Q4=0.130L/s	Tiempo de avance(min)	0.00	9.50	32.12	64.00	118.06	196.08	303.10
	Volumen total derivado (m ³)				2.10			
	Volumen almacenado(m ³)				2.07			
	Área de la longitud de Surco(m ²)				44.04			
	Lámina total derivada dd(mm)				47.75			

Anexo O. Análisis de curva de avance del flujo, por el método de mínimos cuadrados, regresión no lineal. para el tratamiento (T3).

Tabla O1

Análisis de curva de avance del flujo, por el método de mínimos cuadrados, regresión no lineal, para el T3, aplicados en seis pulsos(discontinuo), (Q1=0.320L/S).

Tiempo transcurrido (Tt) min	Longitud del surco (Lo) m	X=Log(Tt)	Y=Log (Lo)	X*Y	X ²	Y ²
0	0.00	0	0	0	0	0
5.22	10.00	0.718	1.000	0.718	0.515	1.000
17.56	20.00	1.245	1.301	1.619	1.549	1.693
31.36	30.00	1.496	1.477	2.210	2.239	2.182
47.13	40.00	1.673	1.602	2.681	2.800	2.567
66.48	50.00	1.823	1.699	3.097	3.322	2.886
87.30	60.00	1.941	1.778	3.451	3.768	3.162
SUMA		8.896	8.857	13.776	14.193	13.489

Fuente: Elaboración propia.

Los parámetros “a” y “x” se determinó por el método de mínimos cuadrados

$$L_o = a * T_t^x$$

L_o =longitud del surco(m)

x= 0.641

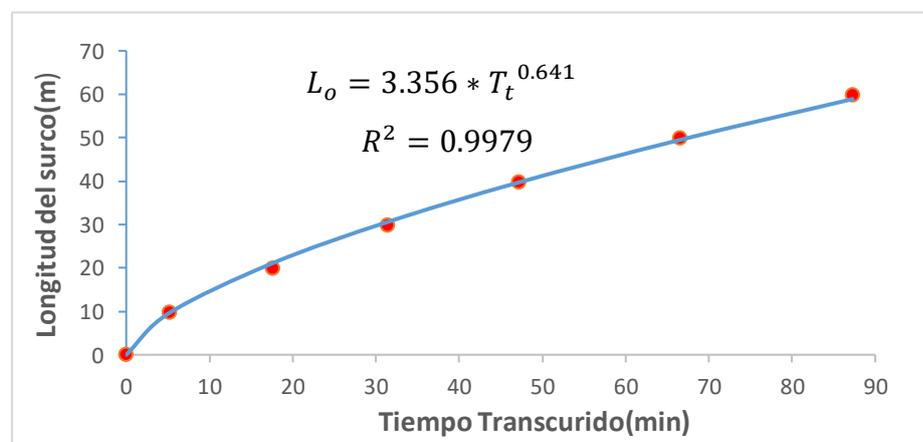
Ao= 0.53

a= 3.3560

EL coeficiente de determinación ($r^2=0.9979$), significa que el modelo tiene una confiabilidad de 99.79%.

Figura O1

Curva de avance, para el T3, aplicados en seis pulsos(discontinuo), (Q1=0.320L/s).



Fuente: Elaboración propia.

Tabla O2

Análisis de curva de avance del flujo, por el método de mínimos cuadrados, regresión no lineal, para el T3, aplicados en seis pulsos(discontinuo), ($Q_2=0.200L/s$).

Tiempo transcurrido (Tt) min	Longitud del surco (Lo) m	X=Log (Tt)	Y=Log (Lo)	X*Y	X^2	Y^2
0	0.00	0	0	0	0	0
5.43	10.00	0.735	1.000	0.735	0.540	1.000
25.00	20.00	1.398	1.301	1.819	1.954	1.693
44.24	30.00	1.646	1.477	2.431	2.709	2.182
73.00	40.00	1.863	1.602	2.985	3.472	2.567
110.29	50.00	2.043	1.699	3.470	4.172	2.886
174.00	60.00	2.241	1.778	3.984	5.020	3.162
SUMA		9.925	8.857	15.424	17.867	13.489

Fuente: Elaboración propia.

Los parámetros “a” y “x” se determinó por el método de mínimos cuadrados

$$L_o = a * T_t^X$$

L_o =longitud del surco(m)

X= 0.533

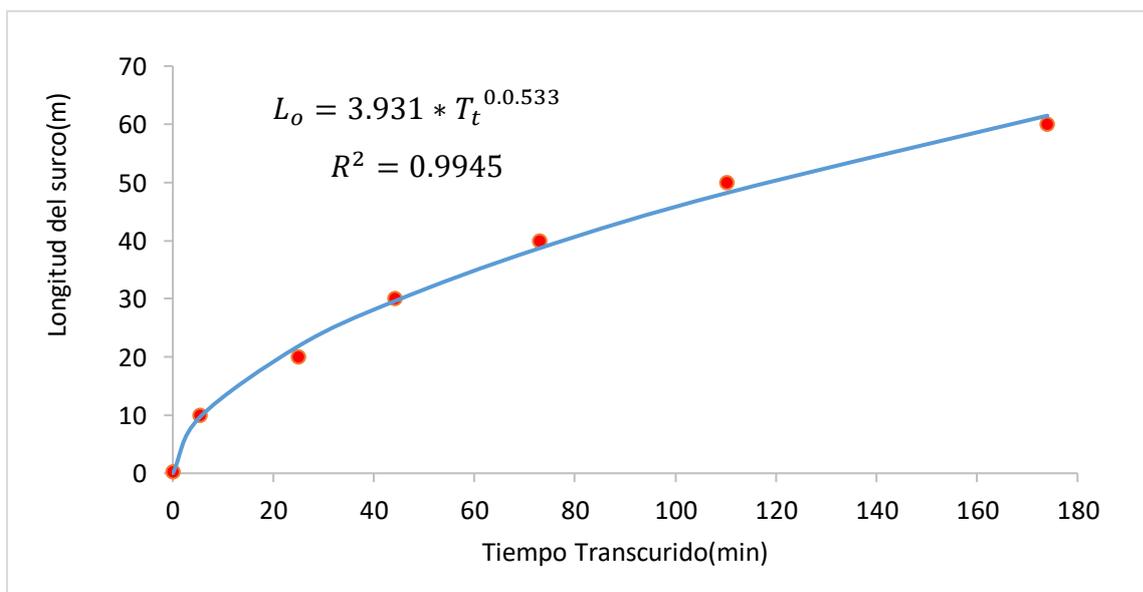
Ao= 0.59

a= 3.9310

EL coeficiente de determinación ($r^2=0.9945$), Significa que el modelo tiene una confiabilidad de 99.45%.

Figura O2

Curva de avance, para el T3, aplicados en seis pulsos(discontinuo), ($Q_1=0.320L/s$).



Fuente: Elaboración propia.

Tabla O3

Análisis de curva de avance del flujo, por el método de mínimos cuadrados, regresión no lineal. Para el T3, aplicados en seis pulsos(discontinuo), ($Q3=0.165L/s$).

Tiempo transcurrido (Tt) min	Longitud del surco (Lo) m	X=Log (Tt)	Y=Log (Lo)	X*Y	X^2	Y^2
0	0.00	0	0	0	0	0
8.24	10	0.916	1.000	0.916	0.839	1.000
35.2	20	1.547	1.301	2.012	2.392	1.693
64	30	1.806	1.477	2.668	3.262	2.182
114	40	2.057	1.602	3.295	4.231	2.567
160.24	50	2.205	1.699	3.746	4.861	2.886
246.16	60	2.391	1.778	4.252	5.718	3.162
SUMA		10.922	8.857	16.889	21.303	13.489

Fuente: Elaboración propia.

Los parámetros “a” y “x” se determinó por el método de mínimos cuadrados

$$L_o = a * T_t^x$$

L_o =longitud del surco(m)

x= 0.539

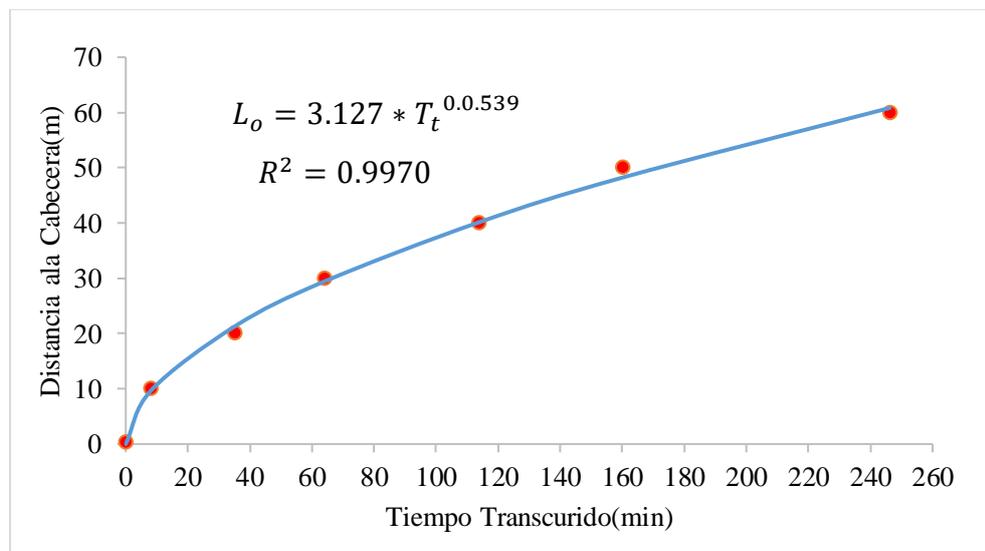
Ao 0.50

a= 3.1270

EL coeficiente de determinación ($r^2=0.9970$), significa que el modelo tiene una confiabilidad de 99.70%.

Figura O3

Curva de avance, para el T3, aplicados en seis pulsos(discontinuo), ($Q3=0.165L/s$)



Fuente: Propia.

Tabla O4

Análisis de curva de avance del flujo, por el método de mínimos cuadrados, regresión no lineal, para el T3, aplicados en seis pulsos(discontinuo), ($Q4=0.130L/s$)

Tiempo transcurrido (Tt) min	Longitud del surco (Lo) m	X=Log(Tt)	Y=Log (Lo)	X*Y	X^2	Y^2
0	0.000	0	0	0	0	0
9.50	10.00	0.978	1.000	0.978	0.956	1.000
32.12	20.00	1.507	1.301	1.960	2.270	1.693
64.00	30.00	1.806	1.477	2.668	3.262	2.182
118.06	40.00	2.072	1.602	3.320	4.294	2.567
196.08	50.00	2.292	1.699	3.893	5.251	2.886
303.10	60.00	2.482	1.778	4.413	6.158	3.162
SUMA		11.136	8.857	17.232	22.192	13.489

Fuente: Elaboración propia.

Los parámetros “a” y “x” se determinó por el método de mínimos cuadrados

$$L_o = a * T_t^x$$

L_o =longitud del surco(m)

$$x = 0.520$$

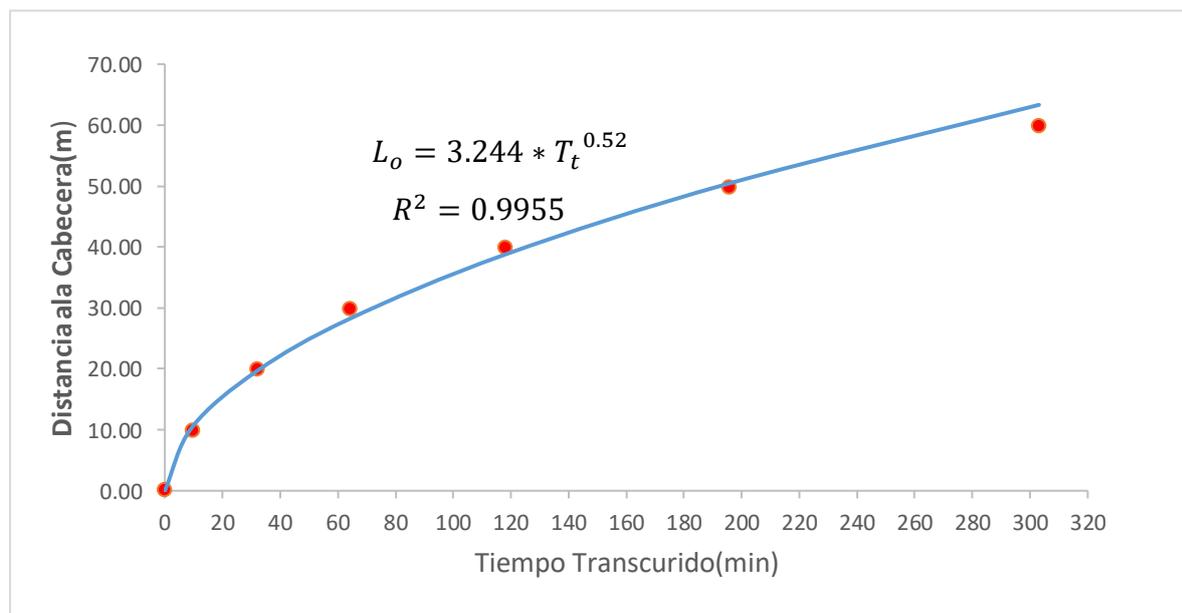
$$A_o = 0.51$$

$$a = 3.2440$$

EL coeficiente de determinación ($r^2=0.9955$), significa que el modelo tiene una confiabilidad de 99.55%.

Figura O4

Curva de avance, para el T3, aplicados en seis pulsos(discontinuo), ($Q4=0.130L/s$).



Fuente: Elaboración propia.

Anexo P. *Número de pulsos de riego, para el T3, aplicados en seis pulsos(discontinuo).*

Número de pulsos	Q4=0.130 L/s
Pulso N° 1	9.50
Pulso N° 2	32.12
Pulso N° 3	64.00
Pulso N° 4	118.06
Pulso N° 5	196.08
Pulso N° 6	303.10

Fuente: Elaboración propia.

Anexo Q. Los puntos de muestreo edáfico en cada intervalo de 10m, antes y después del riego, para el T1, (Q=0.154L/s)

Figura Q1

Los puntos de muestreo edáfico, antes de riego, para el T1, (Q=0.154L/s)



Fuente: Elaboración propia.

Figura Q2

Los puntos de muestreo edáfico después de riego, para el T1, ($Q=0.154L/s$)



Fuente: Elaboración propia.

Anexo R. Determinar la lámina total derivada para el caudal continuo óptimo no erosivo, para el T1, ($Q=0.154L/s$).

Tabla R1

El tiempo avance para el caudal óptimo no erosivo, para el T1, ($Q=0.154L/s$)

Qentr (L/s)	LONGITUD DEL SURCO (m)							Salida del caudal (L)	Salida del caudal acumulado (L)
	0m	10m	20m	30m	40m	50m	60m		
Q2=0.154	0	7.08	18.18	29.52	46.00	82.30	132.45	0	0
							145.15	19.018	19.018
							153.28	19.018	38.036
							159.41	19.018	57.054
							165.41	19.018	76.072
							171.53	19.018	95.09
							177.53	19.018	114.108
							184.03	19.018	133.126
							189.33	19.018	152.144
							194.48	19.018	171.162
						200.13	19.018	190.18	

								205.38	19.018	209.198						
								210.50	19.018	228.216						
								215.50	19.018	247.234						
								220.55	19.018	266.252						
								225.30	19.018	285.27						
								229.55	19.018	304.288						
								234.18	19.018	323.306						
Tiempo de corte(min)								238.43	19.018	342.324						
Tiempo de receso(min)								242.56	246.01	247.09	248.30	249.23	251.29	252.00	35.218	377.542

Fuente: Elaboración propia.

Tabla R2

Determinar la lámina total derivada(dd), para el T1, caudal continuo óptimo no erosivo ($Q=0.154L/s$)

Descripción	Longitud (m)							
	0m	10m	20m	30m	40m	50m	60m	
Tiempo de avance(min)	0.00	7.08	18.18	29.52	46.00	82.30	132.45	
Volumen total derivado (m ³)	2.26							
Área de la longitud de Surco(m ²)	44.04							
Lámina total derivada dd(mm)	51.40							

Fuente: Elaboración propia.

Anexo S. Los puntos de muestreo edáfico, antes y después del riego, en cada intervalo de 10 metros de la longitud del surco, T1, ($Q=0.154L/s$).

Tabla S1

Los puntos de muestreo edáfico, antes del riego, para el T1, ($Q=0.154L/s$)

Antes del riego					
Longitud de surco (m)	Profundidad de muestra (cm)	Peso húmedo (g)	Peso seco (g)	Humedad gravimétrica	Humedad gravimétrica (%)
0.3	0-10	439	399	0.100	10.025
	10-20.	444	400	0.110	11.000
	20-30.	435	396	0.098	9.848
	30-40.	433	395	0.096	9.620
	40-50.	413	376	0.098	9.840
10	0-10	438	398	0.101	10.050
	10-20.	435	391	0.113	11.253
	20-30.	431	388	0.111	11.082
	30-40.	430	390	0.103	10.256

	40-50.	409	372	0.099	9.946
20	0-10	441	401	0.100	9.975
	10-20.	442	398	0.111	11.055
	20-30.	441	397	0.111	11.083
	30-40.	429	389	0.103	10.283
	40-50.	404	369	0.095	9.485
30	0-10	442	401	0.102	10.224
	10-20.	434	391	0.110	10.997
	20-30.	424	382	0.110	10.995
	30-40.	417	379	0.100	10.026
	40-50.	415	379	0.095	9.499
40	0-10	439	399	0.100	10.025
	10-20.	445	401	0.110	10.973
	20-30.	424	382	0.110	10.995
	30-40.	403	368	0.095	9.511
	40-50.	380	347	0.095	9.510
50	0-10	450	409	0.100	10.024
	10-20.	445	401	0.110	10.973
	20-30.	416	375	0.109	10.933
	30-40.	421	382	0.102	10.209
	40-50.	398	363	0.096	9.642
60	0-10	441	401	0.100	9.975
	10-20.	443	399	0.110	11.028
	20-30.	419	381	0.100	9.974
	30-40.	415	379	0.095	9.499
	40-50.	392	358	0.095	9.497

Fuente: Elaboración propia

Tabla S2

Los puntos de muestreo edáfico después de riego, en capacidad de campo, para el T1, ($Q=0.154L/s$)

Después del riego					
Longitud (m)	Profundidad de muestra (cm)	Peso húmedo (g)	Peso seco (g)	Humedad gravimétrica	Humedad gravimétrica (%)
0.3	0-10	456	399	0.143	14.286
	10-20.	459	395	0.162	16.203
	20-30.	450	393	0.145	14.504
	30-40.	436	388	0.124	12.371
	40-50.	435	389	0.118	11.825
10	0-10	448	393	0.140	13.995
	10-20.	454	393	0.155	15.522
	20-30.	435	383	0.136	13.577
	30-40.	419	372	0.126	12.634
	40-50.	402	360	0.117	11.667
20	0-10	461	408	0.130	12.990
	10-20.	458	401	0.142	14.214

	20-30.	453	402	0.127	12.687
	30-40.	448	399	0.123	12.281
	40-50.	422	378	0.116	11.640
30	0-10	456	404	0.129	12.871
	10-20.	441	385	0.145	14.545
	20-30.	435	384	0.133	13.281
	30-40.	404	362	0.116	11.602
	40-50.	403	364	0.107	10.714
40	0-10	446	399	0.118	11.779
	10-20.	435	384	0.133	13.281
	20-30.	432	383	0.128	12.794
	30-40.	402	360	0.117	11.667
	40-50.	405	365	0.110	10.959
50	0-10	448	399	0.123	12.281
	10-20.	452	401	0.127	12.718
	20-30.	449	399	0.125	12.531
	30-40.	416	371	0.121	12.129
	40-50.	411	369	0.114	11.382
60	0-10	447	399	0.120	12.030
	10-20.	451	400	0.128	12.750
	20-30.	448	402	0.114	11.443
	30-40.	438	396	0.106	10.606
	40-50.	396	358	0.106	10.615

Fuente: Elaboración propia.

Anexo T. Los puntos de muestreo edáfico, antes y después del riego, en cada intervalo de 10 metros de la longitud del surco, T2, ($Q=0.165L/s$).

Tabla T1.

Los puntos de muestreo edáfico, antes de riego, para el T2, ($Q=0.165L/s$)

Antes del riego					
Longitud (m)	profundidad de muestra (cm)	Peso húmedo (g)	Peso seco (g)	Humedad gravimétrica	Humedad gravimétrica (%)
0.3	0-10	396	360	0.100	10.000
	10-20.	424	382	0.110	10.995
	20-30.	401	363	0.105	10.468
	30-40.	424	386	0.098	9.845
	40-50.	413	376	0.098	9.840
10	0-10	439	399	0.100	10.025
	10-20.	443	398	0.113	11.307
	20-30.	402	362	0.110	11.050
	30-40.	395	359	0.100	10.028
	40-50.	399	363	0.099	9.917
20	0-10	433	393	0.102	10.178
	10-20.	410	369	0.111	11.111
	20-30.	411	370	0.111	11.081
	30-40.	405	368	0.101	10.054

	40-50.	393	359	0.095	9.471
30	0-10	432	392	0.102	10.204
	10-20.	405	364	0.113	11.264
	20-30.	422	381	0.108	10.761
	30-40.	395	359	0.100	10.028
	40-50.	381	348	0.095	9.483
40	0-10	439	398	0.103	10.302
	10-20.	426	383	0.112	11.227
	20-30.	434	392	0.107	10.714
	30-40.	392	358	0.095	9.497
	40-50.	414	378	0.095	9.524
50	0-10	428	389	0.100	10.026
	10-20.	435	392	0.110	10.969
	20-30.	396	357	0.109	10.924
	30-40.	394	359	0.097	9.749
	40-50.	418	382	0.094	9.424
60	0-10	434	394	0.102	10.152
	10-20.	409	368	0.111	11.141
	20-30.	408	371	0.100	9.973
	30-40.	404	369	0.095	9.485
	40-50.	402	368	0.092	9.239

Fuente: Elaboración propia.

Tabla T2.

Los puntos de muestreo edáfico después de riego, en capacidad de campo, después de riego, para el T2, ($Q=0.165L/s$)

Después del riego					
Longitud (m)	profundidad de muestra (cm)	Peso húmedo(g)	Peso seco (g)	Humedad gravimétrica	Humedad gravimétrica (%)
0.3	0-10	445	386	0.153	15.285
	10-20.	430	370	0.162	16.216
	20-30.	445	387	0.150	14.987
	30-40.	390	346	0.127	12.717
	40-50.	443	401	0.105	10.474
10	0-10	460	400	0.150	15.000
	10-20.	450	388	0.160	15.979
	20-30.	443	386	0.148	14.767
	30-40.	400	354	0.130	12.994
	40-50.	410	372	0.102	10.215
20	0-10	453	394	0.150	14.975
	10-20.	442	382	0.157	15.707
	20-30.	409	358	0.142	14.246
	30-40.	414	367	0.128	12.807
	40-50.	394	359	0.097	9.749
30	0-10	451	394	0.145	14.467
	10-20.	421	363	0.160	15.978
	20-30.	441	386	0.142	14.249
	30-40.	414	368	0.125	12.500
	40-50.	386	351	0.100	9.972

40	0-10	436	384	0.135	13.542
	10-20.	400	348	0.149	14.943
	20-30.	400	354	0.130	12.994
	30-40.	394	355	0.110	10.986
	40-50.	379	345	0.099	9.855
50	0-10	442	392	0.128	12.755
	10-20.	427	376	0.136	13.564
	20-30.	428	383	0.117	11.749
	30-40.	384	346	0.110	10.983
	40-50.	380	346	0.098	9.827
60	0-10	444	399	0.113	11.278
	10-20.	448	400	0.120	12.000
	20-30.	416	376	0.106	10.638
	30-40.	377	344	0.096	9.593
	40-50.	387	353	0.096	9.632

Fuente: Elaboración propia.

Anexo U. Los puntos de muestreo edáfico, antes y después de riego, en cada intervalo de 10 metros de la longitud del surco, T3, (Q=0.130L/s).

Tabla U1

Los puntos de muestreo edáfico antes de riego, para el T3, aplicados en seis pulsos, (Q=0.130L/s)

Antes del riego					
Longitud (m)	profundidad de muestra (cm)	Peso húmedo (g)	Peso seco (g)	Humedad gravimétrica	Humedad gravimétrica (%)
0.30	0-10	396.00	360.00	0.10	10.00
	10-20.	435.00	392.00	0.11	10.97
	20-30.	402.00	364.00	0.10	10.44
	30-40.	380.00	346.00	0.10	9.83
	40-50.	402.00	366.00	0.10	9.84
10.00	0-10	438.00	398.00	0.10	10.05
	10-20.	394.00	354.00	0.11	11.30
	20-30.	413.00	372.00	0.11	11.02
	30-40.	375.00	341.00	0.10	9.97
	40-50.	400.00	364.00	0.10	9.89
20.00	0-10	423.00	384.00	0.10	10.16
	10-20.	401.00	361.00	0.11	11.08
	20-30.	390.00	352.00	0.11	10.80
	30-40.	416.00	378.00	0.10	10.05
	40-50.	428.00	391.00	0.09	9.46
30.00	0-10	433.00	393.00	0.10	10.18
	10-20.	441.00	397.00	0.11	11.08
	20-30.	434.00	392.00	0.11	10.71
	30-40.	382.00	348.00	0.10	9.77
	40-50.	402.00	368.00	0.09	9.24
40.00	0-10	440.00	399.00	0.10	10.28
	10-20.	415.00	374.00	0.11	10.96

	20-30.	383.00	346.00	0.11	10.69
	30-40.	381.00	348.00	0.09	9.48
	40-50.	403.00	368.00	0.10	9.51
50.00	0-10	439.00	399.00	0.10	10.03
	10-20.	430.00	388.00	0.11	10.82
	20-30.	388.00	350.00	0.11	10.86
	30-40.	404.00	369.00	0.09	9.49
	40-50.	407.00	372.00	0.09	9.41
60.00	0-10	420.00	382.00	0.10	9.95
	10-20.	442.00	398.00	0.11	11.06
	20-30.	408.00	371.00	0.10	9.97
	30-40.	404.00	369.00	0.09	9.49
	40-50.	402.00	368.00	0.09	9.24

Fuente: Elaboración propia.

Tabla U2

Los puntos de muestreo edáfico después de riego, en capacidad de campo, para el T3, aplicados en seis pulsos, ($Q=0.130L/s$)

Después del riego					
Longitud (m)	profundidad de muestra (cm)	Peso húmedo (g)	Peso seco (g)	Humedad gravimétrica	Humedad gravimétrica (%)
0.30	0-10	464.00	400.00	0.16	16.00
	10-20.	464.00	397.00	0.17	16.88
	20-30.	445.00	382.00	0.16	16.49
	30-40.	409.00	355.00	0.15	15.21
	40-50.	418.00	369.00	0.13	13.28
10.00	0-10	450.00	388.00	0.16	15.98
	10-20.	463.00	397.00	0.17	16.62
	20-30.	442.00	379.00	0.17	16.62
	30-40.	407.00	356.00	0.14	14.33
	40-50.	427.00	377.00	0.13	13.26
20.00	0-10	443.00	382.00	0.16	15.97
	10-20.	463.00	397.00	0.17	16.62
	20-30.	413.00	356.00	0.16	16.01
	30-40.	393.00	341.00	0.15	15.25
	40-50.	406.00	361.00	0.12	12.47
30.00	0-10	457.00	394.00	0.16	15.99
	10-20.	407.00	349.00	0.17	16.62
	20-30.	378.00	327.00	0.16	15.60
	30-40.	416.00	366.00	0.14	13.66
	40-50.	388.00	344.00	0.13	12.79
40.00	0-10	434.00	375.00	0.16	15.73
	10-20.	428.00	367.00	0.17	16.62
	20-30.	397.00	342.00	0.16	16.08
	30-40.	435.00	380.00	0.14	14.47
	40-50.	400.00	357.00	0.12	12.04
50.00	0-10	452.00	394.00	0.15	14.72
	10-20.	435.00	373.00	0.17	16.62
	20-30.	400.00	343.00	0.17	16.62
	30-40.	399.00	349.00	0.14	14.33

	40-50.	411.00	368.00	0.12	11.68
	0-10	445.00	394.00	0.13	12.94
	10-20.	410.00	362.00	0.13	13.26
60.00	20-30.	388.00	345.00	0.12	12.46
	30-40.	391.00	353.00	0.11	10.76
	40-50.	377.00	342.00	0.10	10.23

Fuente: Elaboración propia.

Anexo V. Fotografías

Figura V1

Preparación del surco.



Fuente: Elaboración propia.

Figura V2

Perfil del suelo bulbo de humedecimiento.



Fuente: Elaboración propia.

Figura V3

Medición del bulbo de humedecimiento del perfil del suelo.



Fuente: Elaboración propia.

Figura V4

Aforo del caudal por el método volumétrico.



Fuente: Elaboración propia.

Figura V5

Instalación de tubería de polietileno de 6", los tambores.



Fuente: Elaboración propia.

Figura V6

Nivel de agua en el tambor N°1.



Fuente: Elaboración propia.

Figura V7

Movimiento del agua en el riego por surco.



Fuente: Elaboración propia.

Figura V8

Medición de la sección del surco.



Fuente: Elaboración propia.

Figura V9

Área humedecida.



Fuente: Elaboración propio.

Figura V10

Medición del caudal de escurrimiento superficial



Fuente: Elaboración propia.

Figura V11

volumen del caudal de escurrimiento superficial de pérdida.



Fuente: Elaboración propia.

Figura V12

Sedimentación en el surco



Fuente: Elaboración propia.

Figura V13

Sedimentación en el surco



Fuente: Elaboración propia.

Figura V14

Evaluación del riego del T2, aplicados en dos pulsos.



Fuente: Elaboración propia.

Figura V15

Volumen del caudal de escurrimiento superficial que sale del surco.



Fuente: Elaboración propia.

Figura V16

Los puntos de muestreo edáfico antes de riego, en cada intervalo de 10 metros de la longitud del surco.



Fuente: Elaboración propia.

Figura V17

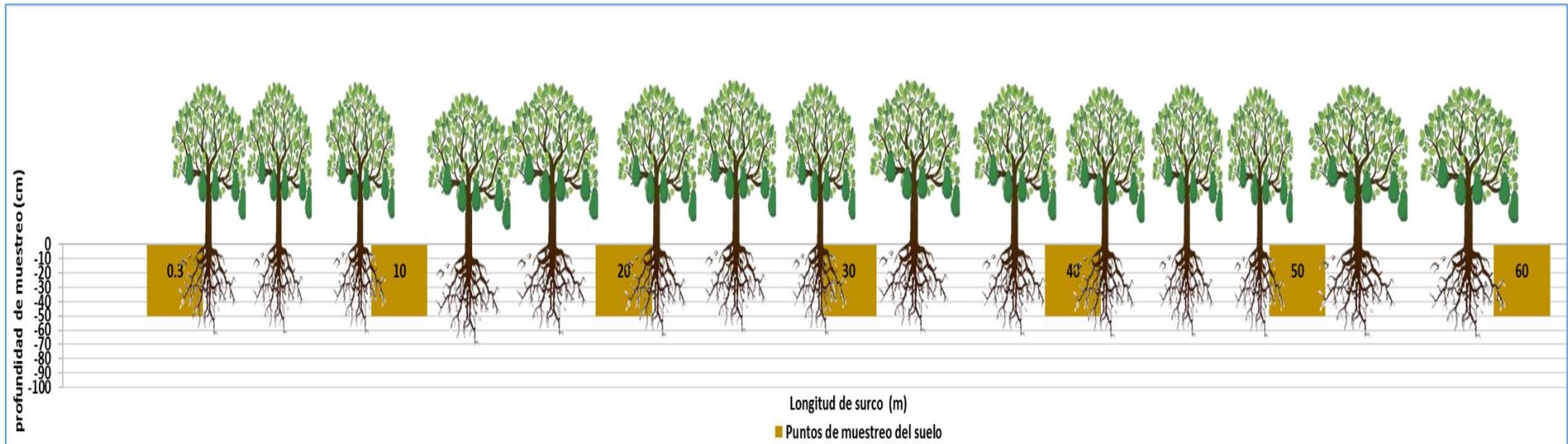
Los puntos de muestreo edáfico después de riego, en capacidad de campo, en cada intervalo de 10 metros de la longitud del surco.



Fuente: Elaboración propia.

Figura V18

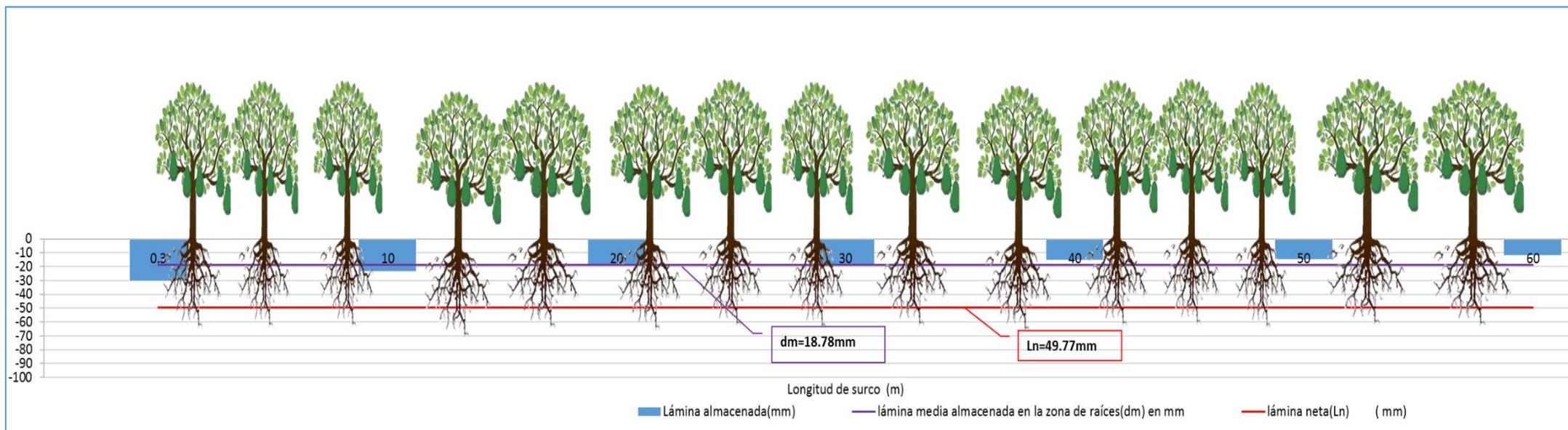
Los puntos de muestreo edáfico, antes y después del riego, en cada intervalo de 10 metros de la longitud del surco.



Fuente: Elaboración propia.

Figura V19

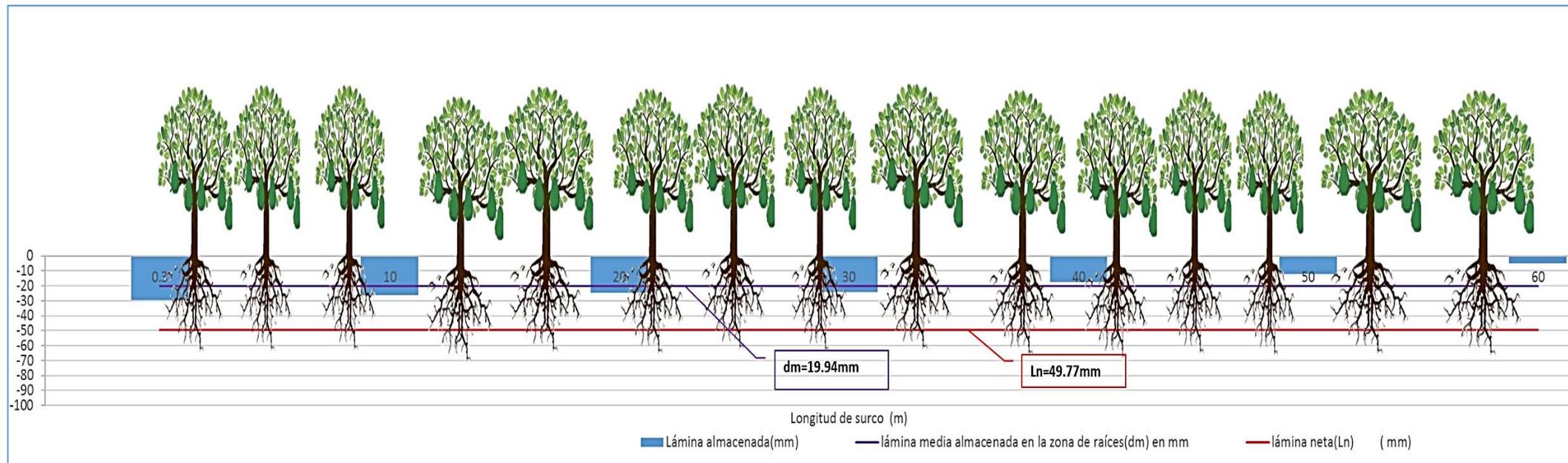
Lámina media($dm=18.78\text{mm}$), lámina neta($ln=49.77\text{mm}$). para el tratamiento (T1), caudal continuo (un pulso), $Q_2=0.154\text{L/s}$



Fuente: Elaboración propia.

Figura V20

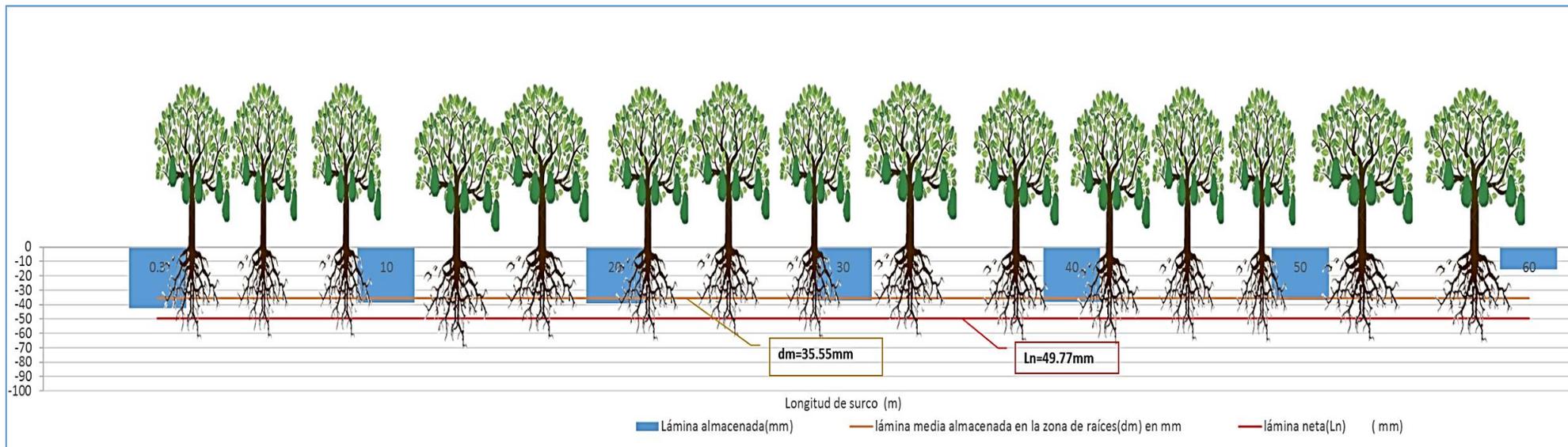
Lámina media(dm=19.94mm), lámina neta(ln=49.77mm). para el tratamiento T2, aplicados en dos pulsos Q3=0.165 L/s



Fuente: Elaboración propia.

Figura V21

Lámina media($dm=35.55\text{mm}$), lámina neta($ln=49.77\text{mm}$). para el tratamiento T3, aplicados en seis pulsos(discontinuo), $Q=0.130\text{L/s}$



Fuente: Elaboración propia.

MAPA DE UBICACIÓN



- ÁREA DE ESTUDIO
 - ÁREA DE CIE_UNASAM
- Google Hybrid

Plano general

