

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA



TESIS DE GRADO

**EVALUACIÓN DEL RIEGO TRADICIONAL POR SUPERFICIE A
TRAVES DEL PROGRAMA WINSRFR EN CULTIVOS DE HABA (*Vicia
faba*) Y ARVEJA (*Pisum sativum*) EN EL MUNICIPIO DE PALCA**

CESAR ANTONIO MAMANI APAZA

LA PAZ – BOLIVIA

2018

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

EVALUACIÓN DEL RIEGO TRADICIONAL POR SUPERFICIE A TRAVES DEL PROGRAMA WINSRFR EN CULTIVOS DE HABA (*Vicia faba*) Y ARVEJA (*Pisum sativum*) EN EL MUNICIPIO DE PALCA.

Tesis de Grado presentado como requisito
parcial para optar el título de
Ingeniero Agrónomo

CESAR ANTONIO MAMANI APAZA

ASESORES:

Ing. Ph.D. Rene N. Chipana Rivera

Ing. M.Sc. Marcelo Tarqui Delgado

TRIBUNAL REVISOR:

Ing. M.Sc. Fanny Bertha Arragan Tancara

Ing. M.Sc. Carlos López Blanco

Ing. M.Sc. Wily Marco Flores Mancilla

APROBADO

Presidente Tribunal Examinador

2018

DEDICATORIA

Con amor, cariño y el agradecimiento infinito por el apoyo incondicional y esfuerzo constante que me brindaron durante toda mi vida a mis padres Néstor y Jovita.

A mis hermanos Edwin, María por su constante apoyo y a mi sobrina Jhazmin que llegó para alegrar nuestras vidas.

AGRADECIMIENTOS

- A la Facultad de Agronomía de la Universidad Mayor de San Andrés por haberme acogido en sus predios durante mi formación profesional.
- A todo el plantel docente de la Facultad de Agronomía de la carrera Ingeniera Agronómica.
- Un eterno agradecimiento a mis padres por el esfuerzo y sacrificio para mi formación Académica.
- A los señores asesores: Ing. Ph.D. Rene N. Chipana Rivera, Ing M.Sc. Marcelo Tarqui Delgado por las observaciones y correcciones realizadas durante el periodo de elaboración del presente trabajo.
- A los Tribunales revisores: Ing. M.Sc. Fanny Bertha Arragan Tancara, Ing. M.Sc. Wily Marco Flores Mancilla e Ing. M.Sc. Carlos López Blanco, quienes con sus sugerencias y correcciones me apoyaron para la conclusión del presente trabajo.
- A la Cooperación Suiza en Bolivia (COSUDE) junto a la Universidad Mayor de San Simón y la Universidad Mayor de San Andrés, que actualmente se prosigue con el Proyecto de Investigación Aplicada para la Adaptación al Cambio Climático (PIA-ACC) por hacerme parte del mencionado proyecto.
- A los Ingenieros Paulino Ruiz H., Victoria Luna C. por su apoyo y motivación para que se efectuó el presente trabajo y la Ing. Gladys Chipana por sus consejos respecto al software winSRFR.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
ÍNDICE DE GENERAL.....	i
ÍNDICE DE CUADROS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
RESUMEN.....	xii
1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS.....	2
2.1 Objetivo general	2
2.2 Objetivos específicos	2
3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	3
3.1 Recursos hídricos.....	3
3.2 Hidrología.....	3
3.3 Riego.....	4
3.3.1 Historia del riego	5
3.4 Método de riego por superficie	5
3.4.1 Riego por superficie	6
3.4.1.1 Riego por surcos	7
3.4.1.2 Fases de avance y receso del riego por superficie	8
3.4.1.3 Evaluación del riego por superficie.....	9
3.4.1.3.1 Eficiencia de aplicación	10
3.4.1.4 Ventajas y desventajas del riego por superficie	10
3.4.1.4.1 Ventajas	10
3.4.1.4.2 Desventajas.....	11
3.5 Cultivos.....	11
3.5.1 Cultivo haba	11
3.5.2 Cultivo arveja.....	12
3.6 Descripción del programa winSRFR.	12

3.7 Aforador RBC	14
4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	16
4.1 Localización.....	16
4.1.1 Fisiografía.....	17
4.1.2 Vegetación	17
5.1.3 Suelos	17
4.1.4 Clima	18
4.1.4.1 Temperatura.....	18
4.1.4.2 Precipitación.....	18
4.2 Materiales y equipos	18
4.2.1 Materiales de campo	18
4.2.2 Materiales de gabinete	18
4.2.3 Material biológico	19
4.3 Método	19
4.3.1 Análisis de suelos.....	19
4.3.1.1 Muestreo del suelo	19
4.3.1.2 Muestreo del agua.....	20
4.3.2 Determinación del área de estudio	20
4.3.3 Manejo del agua para riego.....	20
4.3.4 Determinación de la velocidad de infiltración del agua en el suelo	20
4.3.5 Lamina requerida por los cultivos haba y arveja	21
4.3.6 Diseño de los surcos en las parcelas de investigación	22
4.3.7 Aforo del caudal de oferta en parcela.....	22
4.3.8 Preparación y siembra de los cultivos	22
4.3.8.1 Preparación del terreno	22
4.3.8.2 Siembra de los cultivos.....	22
4.3.9 Labores culturales	23
4.3.9.1 Aporque y deshierbe	23
4.3.9.2 Riego de los cultivos.....	23
4.3.10 Evaluaciones de los riegos.....	23

4.3.10.1 Procedimiento para las evaluaciones de los riegos.....	24
4.3.11 Fases de avance y receso del agua.....	28
4.3.11.1 Fases de avance del agua	28
4.3.11.2 Fases de receso del agua	28
4.3.12 Empleo del programa winSRFR en la evaluación y simulación de los riegos	29
4.3.12.1 Evaluación del riego con el programa winSRFR	29
4.3.12.2 Simulación del riego con el programa winSRFR	29
4.3.13 Variables de respuesta.....	29
4.3.13.1 Parámetros de evaluación de riego por superficie	29
- Eficiencia de aplicación.....	29
- Percolación profunda.....	30
- Índice de escorrentía	30
4.3.13.2 Parámetros de avance y receso del agua en el surco.....	30
- Curva de avance.....	30
- Curva de receso	30
4.3.13.3 Simulación del riego por surcos a través del programa winSRFR.....	30
- Simulación de los riegos en los cultivos haba y arveja	30
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	31
5.1 Calidad del agua de riego.....	31
5.2 Características físicas y químicas del suelo	32
5.3 Infiltración del agua en el suelo	33
5.4 Evaluación del riego por surcos	35
5.4.1 Evaluación del riego por surcos en el cultivo haba y arveja	35
5.4.1.1 Calculo del requerimiento de agua de los cultivos haba y arveja	35
5.4.2 Evaluaciones realizadas en campo cultivo haba y arveja.....	37
5.4.2.1 Evaluaciones del riego cultivo haba	38
5.4.2.1.1 Caudales de ingreso y salida en el surco cultivo haba.....	38
5.4.2.1.2 Fases de avance y receso del agua	39
5.4.2.1.3 Sección transversal al inicio del surco.....	41
5.4.2.1.4 Parámetros de la ecuación de Kostiaikov - Lewis	41

5.4.2.1.5	Contenidos volumétricos de agua en el suelo a cc y pmp	42
5.4.2.1.6	Volumen total de agua infiltrado en el surco	42
5.4.2.1.7	Volumen aplicado	42
5.4.2.1.8	Eficiencia de aplicación	43
5.4.2.1.9	Perdidas por percolación profunda	43
5.4.2.1.10	Perdidas por escorrentía superficial	43
5.4.2.1.11	Eficiencia de almacenamiento	43
5.4.2.1.12	Resumen de las evaluaciones realizadas en el cultivo haba	44
5.4.2.2	Evaluaciones del riego cultivo arveja	44
5.4.2.2.1	Caudales de ingreso y salida en el surco cultivo arveja	44
5.4.2.2.2	Fases de avance y receso del agua	45
5.4.2.2.3	Sección transversal al inicio del surco	47
5.4.2.2.4	Parámetros de la ecuación de Kostiaikov - Lewis	48
5.4.2.2.5	Contenidos volumétricos de agua en el suelo a cc y pmp	48
5.4.2.2.6	Volumen total de agua infiltrado en el surco	49
5.4.2.2.7	Volumen aplicado	49
5.4.2.2.8	Eficiencia de aplicación	49
5.4.2.2.9	Perdidas por percolación profunda	50
5.4.2.2.10	Perdidas por escorrentía superficial	50
5.4.2.2.11	Eficiencia de almacenamiento	50
5.4.2.2.12	Resumen de las evaluaciones realizadas en el cultivo arveja	50
5.4.3	Evaluaciones realizadas con el programa winSRFR en el cultivo haba y arveja	52
5.4.3.1	Evaluación de los riegos en el cultivo haba con el programa winSRFR	52
5.4.3.1.1	Start Event (Comienzo del evento)	52
5.4.3.1.2	System Geometry (Geometría del sistema)	53
5.4.3.1.4	Inflow/Runnoff (Entrada y salida del caudal)	56
5.4.3.1.5	Field Measurements (Mediciones de campo)	59
5.4.3.1.6	Execution (Ejecución)	59
5.4.3.2	Evaluación de los riegos en el cultivo arveja con el programa winSRFR	61
5.4.3.2.1	Start Event (Comienzo del evento)	61
5.4.3.2.2	System Geometry (Geometría del sistema)	62

5.4.3.2.3 Soil Crop Properties (propiedades del cultivo de suelo)	64
5.4.3.2.4 Inflow/Runnoff (Entrada y salida del caudal)	65
5.4.3.2.5 Field Measurements (Mediciones de campo).....	67
5.4.3.2.6 Execution (Ejecución).....	68
5.4.4 Simulaciones realizadas con el programa winSRFR en el cultivo haba y arveja...70	
5.4.4.1 Simulaciones de los tres riegos realizados en el cultivo haba.....	70
5.4.4.1.1 Start Simulation (Iniciar la simulación).....	70
5.4.4.1.2 System Geometry (Geometría del sistema)	71
5.4.4.1.3 Soil Crop Properties (propiedades del cultivo de suelo)	73
5.4.4.1.4 Inflow/Runnoff (Entrada y salida del caudal)	73
5.4.4.1.5 Data Summary (Resumen de datos)	74
5.4.4.1.6 Execution (Ejecución).....	74
5.4.4.1.7 Results (Resultados)	75
5.4.4.2 Simulaciones de los tres riegos realizados en el cultivo arveja	76
5.4.4.2.1 Start Simulation (Iniciar la simulación).....	76
5.4.4.2.2 System Geometry (Geometría del sistema)	76
5.4.4.2.3 Soil Crop Properties (propiedades del cultivo de suelo)	78
5.4.4.2.4 Inflow/Runnoff (Entrada y salida del caudal)	78
5.4.4.2.5 Data Summary (Resumen de datos)	79
5.4.4.2.6 Execution (Ejecución).....	79
5.4.4.2.7 Results (Resultados)	80
5.5 Propuesta de mejora del riego por surcos con el programa winSRFR en los cultivos haba y arveja.....	81
5.5.1 Propuesta de mejora del riego con el programa winSRFR en el cultivo de la haba	81
5.5.1.1 Primera propuesta de simulación en la mejora del riego cultivo haba.....	81
5.5.1.2 Segunda propuesta de simulación en la mejora del riego cultivo haba	84
5.5.1.3 Tercera propuesta de simulación en la mejora del riego cultivo haba.....	86
5.5.2 Propuesta de mejora del riego con el programa winSRFR en el cultivo de la arveja	89
5.5.2.1 Primera propuesta de simulación en la mejora del riego cultivo arveja	89
5.5.2.2 Segunda propuesta de simulación en la mejora del riego cultivo arveja	92

5.5.2.3 Tercera propuesta de simulación en la mejora del riego cultivo arveja	94
6. CONCLUSIONES	97
7. RECOMENDACIONES	99
8. BIBLIOGRAFÍA	100

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Características del agua de riego	31
Cuadro 2. Características del suelo	33
Cuadro 3. Lamina de riego a reponer en cada evento de riego cultivo haba.	36
Cuadro 4. Lamina de riego a reponer en cada evento de riego cultivo arveja	37
Cuadro 5. Variables obtenidas en campo in situ	38
Cuadro 6. Variación de las alturas hidráulicas, los gastos y Zn	39
Cuadro 7. Datos registrados tiempo de avance y recesión	39
Cuadro 8. Tiempo de avance a la mitad del surco y al final.	40
Cuadro 9. Profundidades y anchos parciales del surco al inicio.....	41
Cuadro 10. Lámina de agua infiltrada en cada estación	42
Cuadro 11. Resumen del proceso de evaluaciones realizadas en el cultivo haba	44
Cuadro 12. Variables obtenidas en campo (in situ).....	45
Cuadro 13. Variación de las alturas hidráulicas, los gastos y Zn	45
Cuadro 14. Datos registrados tiempo de avance y recesión	46
Cuadro 15. Tiempo de avance a la mitad del surco y al final cultivo arveja.	47
Cuadro 16. Profundidades y anchos parciales del surco al inicio.....	48
Cuadro 17. Lámina de agua infiltrada en cada estación	49
Cuadro 18. Resumen del proceso de evaluaciones realizadas en el cultivo arveja	51
Cuadro 19. Profundidades alternativas	54
Cuadro 20. Caudales de entrada al inicio del surco	57
Cuadro 21. Caudales de salida al final del surco	57
Cuadro 22. Parámetros de evaluación emitidos por el programa winSRFR	60
Cuadro 23. Profundidades alternativas	63
Cuadro 24. Caudales de entrada al inicio del surco	65
Cuadro 25. Caudales de salida al final del surco	66
Cuadro 26. Parámetros de evaluación emitidos por el programa winSRFR	68
Cuadro 27. Eficiencias de aplicación de agua de acuerdo al tipo de suelo.....	70
Cuadro 28. Parámetros de evaluación óptimos 1ra propuesta de simulación del riego haba	82

Cuadro 29. Tiempos de avance y receso del agua emitidos por el programa winSRFR	
1ra propuesta del riego cultivo haba	83
Cuadro 30. Parámetros de evaluación óptimos 2da propuesta de simulación del riego Haba.....	84
Cuadro 31. Tiempos de avance y receso del agua emitidos por el programa winSRFR	
2da propuesta del riego cultivo haba.....	86
Cuadro 32. Parámetros de evaluación óptimos 3ra propuesta de simulación del riego cultivo haba	87
Cuadro 33. Tiempos de avance y receso del agua emitidos por el programa winSRFR	
3ra propuesta del riego cultivo haba	88
Cuadro 34. Parámetros de evaluación óptimos 1ra propuesta de simulación del riego arveja	90
Cuadro 35. Tiempos de avance y receso del agua emitidos por el programa winSRFR	
1ra propuesta del riego cultivo arveja.....	91
Cuadro 36. Parámetros de evaluación óptimos 2da propuesta de simulación del riego arveja	92
Cuadro 37. Tiempos de avance y receso del agua emitidos por el programa winSRFR	
2da propuesta del riego cultivo arveja.....	93
Cuadro 38. Parámetros de evaluación óptimos 3ra propuesta de simulación del riego arveja	94
Cuadro 39. Tiempos de avance y receso del agua emitidos por el programa winSRFR	
3ra propuesta del riego cultivo arveja.....	96

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 interfaz del programa winSRFR	14
Figura 2. Ubicación geográfica del sitio de investigación	16
Figura 3. Velocidad de infiltración instantánea del agua en el suelo	34
Figura 4. Infiltración acumulada del agua en el suelo	34
Figura 5. Curvas de avance y receso de las 3 evaluaciones cultivo del haba.....	40
Figura 6. Curvas de avance y receso de las 3 evaluaciones cultivo de la arveja.	47
Figura 7. Pestaña de trabajo Start Event	53
Figura 8. Pestaña de trabajo System Geometry.....	54
Figura 9. Pestaña de trabajo Edit Data	55
Figura 10. Pestaña de trabajo Soil Crop Properties	56
Figura 11. Hidrogramas de ingreso y salida del agua en las 3 evaluaciones del riego cultivo haba	58
Figura 12. Pestaña de trabajo Inflow/Runnoff	58
Figura 13. Pestaña de trabajo Field Measurements.....	59
Figura 14. Movimiento del agua e infiltración en el perfil del suelo	60
Figura 15. Hidrogramas de los caudales emitidos por el programa winSRFR	61
Figura 16. Pestaña de trabajo Start Event	62
Figura 17. Pestaña de trabajo System Geometry.....	63
Figura 18. Pestaña de trabajo Edit Data	64
Figura 19. Pestaña de trabajo Soil Crop Properties	65
Figura 20. Hidrogramas de ingreso y salida del agua de las evaluaciones cultivo arveja	66
Figura 21. Pestaña de trabajo Inflow/Runnoff	67
Figura 22. Pestaña de trabajo Field Measurements.....	68
Figura 23. Movimiento del agua e infiltración en del perfil del suelo	69
Figura 24. Hidrogramas de los caudales con el programa winSRFR	69
Figura 25. Pestaña de trabajo Start Simulation	71
Figura 26. Pestaña de trabajo System Geometry.....	72
Figura 27. Pestaña de trabajo Edit Data	72

Figura 28. Pestaña de trabajo Soil Crop Properties	73
Figura 29. Pestaña de trabajo Inflow/Runnoff	74
Figura 30. Pestaña de trabajo Data Summary	74
Figura 31. Pestaña de trabajo Execution	75
Figura 32. Movimiento del agua e infiltración en el perfil del suelo	75
Figura 33. Pestaña de trabajo Start Simulation	76
Figura 34. Pestaña de trabajo System Geometry.....	77
Figura 35. Pestaña de trabajo Edit Data	77
Figura 36. Pestaña de trabajo Soil Crop Properties	78
Figura 37. Pestaña de trabajo Inflow/Runnoff	79
Figura 38. Pestaña de trabajo Data Summary	79
Figura 39. Pestaña de trabajo Execution	80
Figura 40. Movimiento del agua e infiltración en el perfil del suelo	80
Figura 41. Primera propuesta de mejora de las variables de proyecto y los parámetros de evaluación cultivo haba	82
Figura 42. Curvas de avance y receso obtenidas en la evaluación del riego en campo y con el programa winSRFR (1ra propuesta de riego) en el cultivo de la haba	84
Figura 43. Segunda propuesta de mejora de las variables de proyecto y los parámetros de evaluación cultivo haba	85
Figura 44. Curvas de avance y receso obtenidas en la evaluación del riego en campo y con el programa winSRFR (2da propuesta de riego) en el cultivo de la haba.....	86
Figura 45. Tercera propuesta de mejora de las variables de proyecto y los parámetros de evaluación cultivo haba	87
Figura 46. Curvas de avance y receso obtenidas en la evaluación del riego en campo y con el programa winSRFR (3ra propuesta de riego) en el cultivo de la haba	89
Figura 47. Primera propuesta de mejora de las variables de proyecto y los parámetros de evaluación cultivo arveja	90
Figura 48. Curvas de avance y receso obtenidas en la evaluación del riego en campo y con el programa winSRFR (1ra propuesta de riego) en el cultivo de la arveja.....	92
Figura 49. Segunda propuesta de mejora de las variables de proyecto y los parámetros de evaluación cultivo arveja	93
Figura 50. Curvas de avance y receso obtenidas en la evaluación del riego en campo y con el programa winSRFR (2da propuesta de riego) en el cultivo de la arveja	94

Figura 51. Tercera propuesta de mejora de las variables de proyecto y los parámetros de evaluación cultivo arveja95

Figura 52. Curvas de avance y receso obtenidas en la evaluación del riego en campo y con el programa winSRFR (3ra propuesta de riego) en el cultivo de la arveja.....96

RESUMEN

El presente trabajo se realizó en la Comunidad Huancapampa del Municipio de Palca del Departamento de La Paz en la gestión agrícola 2017. El recurso hídrico (agua) es fundamental en la agricultura así como el recurso suelo, con la alteración de las condiciones climáticas que se están presentando en la comunidad en consecuencia la disminución del caudal del agua empleado para el riego. La presente investigación consistió en proponer variables de proyecto (caudal y tiempo de riego) adecuados o ideales para un riego completo para los cultivos haba (*Vicia faba*) y arveja (*Pisum sativum*). Se realizó la evaluación del riego por surcos in situ dividiendo la longitud total del surco (62,5 m haba y 45,6 m arveja) en 6 estaciones equidistantes, en la parcela de la haba fue de 12,5 m y en el de la arveja fue de 9,12 m en las cuales se registró los tiempos de avance y recesión en cada estación, al inicio y al final de surco se empotro dos aforadores RBC con las cuales se determinó los caudales de ingreso y salida respectivamente, los tiempos de riego fueron 50 minutos para la haba y 45 minutos para arveja, con un perfilómetro se determinó la sección transversal del surco perpendicular al flujo, en función a estas variables se determinó los parámetros de evaluación, eficiencia de aplicación como se realizó 3 evaluaciones los modulo fueron (79,07, 74,89 y 72,14) % respectivamente en el cultivo de la haba y (57,74, 59,44 y 51,79) % en el cultivo de la arveja, índice de escorrentía (20,26, 20,98 y 17,95) % para la haba y (22,42, 19,92 y 17,84) % para la arveja e índice de percolación (0,67, 4,12 y 9,91) % para la haba y (19,85, 20,64 y 30,36) % para la arveja. La evaluación también se la realizó con el programa winSRFR que es un software que evalúa y simula el riego por superficie, los datos de entrada de este programa son los obtenidos de la evaluación en campo y nos proporciona los parámetros de evaluación del riego eficiencia de aplicación (78, 73 y 72) % , índice de escorrentía (12, 12 y 9) % e índice de percolación (10, 15 y 19) % en el cultivo de la haba y eficiencia de aplicación (58, 59 y 51) % , índice de escorrentía (20, 12 y 12) % e índice de percolación (22, 29 y 37) % en el cultivo de la arveja. Una vez evaluado el riego con el programa, se realizó las simulaciones haciendo variar las variables de proyecto (caudal y tiempo de riego) hasta obtener estas variables ideales que nos proporcionen eficiencias de aplicación próximos a 60 %. Es así que después de realizar varias simulaciones se concluyó que los tiempos y caudales de riego ideales para

cada evaluación determinadas fueron, primera evaluación el tiempo y caudal de riego (80 minutos y 1,848 l/s), segunda evaluación el tiempo y caudal de riego (90 minutos y 1,785 l/s) y tercera evaluación el tiempo y caudal de riego (80 minutos y 2,089 l/s) en el cultivo de la haba y primera evaluación el tiempo y caudal de riego (65 minutos y 1,812 l/s), segunda evaluación el tiempo y caudal de riego (60 minutos y 2,158 l/s) y tercera evaluación el tiempo y caudal de riego (50 minutos y 2,258 l/s) en el cultivo de la arveja, con estas variables de proyecto la eficiencia de aplicación en todos los casos fue próximo a 60 %.

1. INTRODUCCIÓN

El riego agrícola es una de las prácticas más antiguas utilizadas por el hombre para producir sus alimentos, el agua que requieren los cultivos es aportada en forma natural por las precipitaciones, pero cuando ésta es escasa o su distribución no coincide con los períodos de máxima demanda de las plantas, es necesario aportarla artificialmente, es decir a través del riego. Por otra parte, es sabido que las actividades agropecuarias son la base de la alimentación y de sobrevivencia para el hombre, por esta razón cada una de sus áreas o disciplinas de estudio e investigación, deben fortalecerse para producir más con menos recursos y a un menor costo. El riego agrícola, por su estrecha relación con el uso, el manejo y la conservación del agua, es una de estas áreas dentro de la agricultura que requiere de mayores estudios, avances tecnológicos y de la aplicación de los mismos sin deteriorar el medio ambiente.

El riego como un factor de producción es importante para el desarrollo normal de los cultivos, permitiendo rendimientos óptimos y más aún en una agricultura rentable, donde el riego es un factor de producción de importancia primordial y en especial en zonas áridas, semiáridas y aun subhúmedas donde la precipitación pluvial en volumen es suficiente, pero la distribución en el tiempo es desuniforme la influencia del riego en el medio ambiente, en forma general, es más favorable que negativo y así como también la seguridad alimentaria.

Los cultivos para satisfacer sus necesidades fisiológicas en especial el de la transpiración, hacen circular a través de sus partes, el agua que absorben del suelo, así, durante el periodo de desarrollo vegetativo, un cultivo utiliza aproximadamente 99.8 % de agua en la transpiración y solamente 0.2 % en la formación de sus partes. Por tanto, se hace necesario agregar agua al suelo para tener una agricultura productiva (Amurrio, 1997).

La práctica del riego, no solo consiste en abastecer de agua al cultivo; si no de entregar la cantidad adecuada y en el momento oportuno de acuerdo a las necesidades de la planta y las condiciones del suelo. La cantidad de agua que se entrega a través del riego, debe ser tal que cumpla con los requerimientos de las plantas y no provoque erosión en

el suelo; así que asegura un incremento en la producción, se minimizan los costos de operación, y aumenta notablemente los beneficios del productor.

Vásquez *et al.* (2017), indica que en la actualidad, solamente alrededor del 17 % del área total bajo cultivo en el mundo está bajo riego. Por otro lado, el 40 % de la producción total de los alimentos en el mundo se obtiene de las áreas bajo riego, y se estima que el 10 % de las áreas bajo riego están afectadas con problemas de drenaje y salinidad. Además, anualmente se van salinizando unas 2 millones de hectáreas de tierra bajo cultivo que en la mayor parte de los casos se debe a la aplicación excesiva de agua en el riego, es decir a las bajas eficiencias de riego especialmente a nivel parcelario.

Rodrigues (1994), menciona que el programa de computador winSRFR desarrollado por STRELKOFF (1990) para el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) y basado en las ecuaciones hidráulicas del riego por superficie (particularmente en el modelo cero – inercia), este programa es empleado para realizar evaluaciones y simulaciones de los riegos, ya sea por surcos, melgas, bancales, etc.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

- Evaluar el riego tradicional por superficie a través del método por surcos empleando el programa winSRFR, en dos cultivos haba (*Vicia faba*), arveja (*Pisum sativum*) en la comunidad Huancapampa, del Municipio de Palca.

2.2 Objetivos específicos

- Evaluar el riego tradicional por superficie in situ.
- Analizar los parámetros de avance y receso del agua
- Realizar simulaciones del riego por superficie con el programa winSRFR.

3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

3.1 Recursos hídricos

Según da Silva *et al.* (2011), el uso irracional de los recursos naturales tórnese una preocupación de orden planetaria. El agua, como elemento esencial de la vida en la tierra tal como la conocemos, ha sido, desde siempre, una constante en la vida del hombre, formando ríos, lagos y océanos, el agua sirve como medio de transporte, fuente de alimento.

Los desafíos emblemáticos y urgentes para la gestión sustentable de los recursos hídricos están, actualmente, encarados en función de demandas crecientes para el abastecimiento humano y para la conservación de la calidad ambiental, factores fundamentales para la salud y la calidad de vida de zonas populosas urbanas y rurales.

3.2 Hidrología

Aplicaciones prácticas de la hidrología se encuentran en labores tales como diseño y operación de estructuras hidráulicas, abastecimiento de agua, tratamiento y disposición de aguas residuales, irrigación, drenaje, generación hidroeléctrica, control de inundaciones, navegación, erosión y control de sedimentos, control de salinidad, disminución de la contaminación, uso recreacional del agua y protección de la vida terrestre acuática. El papel de la hidrología aplicada es ayudar a analizar los problemas relacionadas con estas labores y proveer una guía para el planeamiento y el manejo de los recursos hidráulicos (Chow *et al.*, 1994).

Para Villón (2002), la hidrología es la ciencia natural que estudia al agua, su ocurrencia, circulación y distribución en la superficie terrestre, sus propiedades químicas y físicas y su relación con el medio ambiente, incluyendo a los seres vivos.

Según el Ministerio de Transporte y comunicaciones (2008) hidrología es la ciencia geográfica que se dedica al estudio de la distribución, espacial y temporal, y las propiedades del agua presente en la atmósfera y en la corteza terrestre. Esto incluye las precipitaciones, la escorrentía, la humedad del suelo, la evapotranspiración y el equilibrio de las masas glaciares.

Los estudios hidrológicos son fundamentales para:

El diseño de obras hidráulicas, para efectuar estos estudios se utilizan frecuentemente modelos matemáticos que representan el comportamiento de toda la cuenca en estudio.

El correcto conocimiento del comportamiento hidrológico de un río, arroyo, o de un lago es fundamental para poder establecer las áreas vulnerables a los eventos hidrometeorológicos extremos; así como para prever un correcto diseño de obras de infraestructura vial.

3.3 Riego

El riego es la aplicación del agua al suelo con el propósito básico de suministrar a las plantas el agua conforme la necesitan, de tal modo de mantener un nivel de agua aprovechable en la zona de las raíces, que permitan obtener el óptimo rendimiento y calidad de aquella parte o constituyente de la planta deseada al momento de la cosecha (Benites, 2010).

Moya (2009), informa que las plantas tienen necesidad de agua para vivir y desarrollarse, por ser el componente esencial de sus tejidos y el único medio o vehículo para su nutrición. Esta necesidad es satisfecha por medios naturales como la lluvia y otros fenómenos atmosféricos, y por medios artificiales como el riego. La cantidad útil de agua que por medios artificiales se debe poner a disposición de las plantas, debe cubrir la diferencia entre las necesidades de los cultivos y la precipitación pluvial. El volumen total comprende la cantidad útil anterior necesaria, y el agua que se pierde en la aplicación y operaciones del sistema empleado.

Chipana (1996), indica que el riego es básicamente una tentativa del hombre de alterar el ciclo hidrológico a nivel local y promover el incremento de la producción agrícola. En otras palabras el riego es el suministro oportuno de la cantidad adecuada de agua a los cultivos de tal manera que estos no sufran disminución en sus rendimientos y sin causar daños al medio ambiente. La práctica del riego combina elementos de la ciencia del suelo, agronomía, ciencias sociales, hidráulica, hidrología y economía.

La cantidad de agua aplicada al suelo está determinada por el tipo y manejo del sistema, generalmente cuando se trabaja con sistemas de riego por superficie, se requieren

mayores cantidades comparadas con los sistemas de riego por aspersión y localizado. Sin embargo actualmente los “sistemas modernos de riego por superficie” pueden trabajar con eficiencias similares a los de riego a presión.

3.3.1 Historia del riego

El agua que requieren los cultivos es aportada en forma natural por las precipitaciones, pero cuando ésta es escasa o su distribución no coincide con los períodos de máxima demanda de las plantas, es necesario aportarla artificialmente, es decir a través del riego. El riego, se considera como una ciencia milenaria, en algunos países el riego se estableció como una actividad de vital importancia, entre los casos de pueblos con vocación en la irrigación se tienen a los antiguos egipcios, chinos, babilonios e hindúes (Cisneros, 2003).

Gurovich (1995), menciona que el riego agrícola es una de las prácticas más antiguas utilizadas por el hombre para producir sus alimentos, de acuerdo a la biblia el riego se originó al mismo tiempo que el hombre y en el mismo lugar. Durante la Edad de Bronce, iniciada alrededor de 3500 a.C., las primeras grandes obras de riego se desarrollaron en Egipto y Mesopotamia. Cuando el hombre descubrió algunos métodos para producir alimentos se hizo necesario su establecimiento en un lugar, por lo menos durante el tiempo que demora el desarrollo completo de un cultivo desde el momento de la siembra hasta la cosecha.

El riego es una práctica que se viene aplicando desde tiempos inmemoriales, el desarrollo antiguo de las civilizaciones dependía en gran parte de las prácticas de riego que en ese entonces utilizaban. Los incas, han demostrado pericia y eficiencia en el buen manejo del agua de riego, con la construcción de obras de infraestructura que todavía perduran, realizadas en laderas y topografías agrestes, que actualmente son difíciles de construir, en zonas en que el recurso agua es escaso (Benites, 2010).

3.4 Método de riego por superficie

Existen varios métodos para aplicar el agua en el suelo variando su eficiencia unos de otros de acuerdo al manejo que se le da a cada método.

3.4.1 Riego por superficie

Benites (2010), informa que en este sistema el agua fluye por la superficie del campo y se infiltra en el humedeciéndolo. El movimiento del agua se debe a la pendiente del terreno y a la carga o tirante de agua. También recibe el nombre de riego por gravedad, porque el movimiento es debido a las fuerzas de gravedad existentes de un punto a otro. El objeto principal (como en todo sistema), es buscar la aplicación del agua en cantidad y momento oportuno, cuidando que su distribución sea lo más uniforme en el área regada. Para ello es necesario considerar las siguientes variables comprendidas en la hidráulica de riego:

- ~ Cantidad de agua disponible.
- ~ Velocidad de Infiltración.
- ~ Forma del cauce.
- ~ Rugosidad.
- ~ Pendiente.

Como se puede observar tiene la complejidad del flujo en canales más la variabilidad de la infiltración del agua en el suelo.

Según Chipana (1996), la práctica del riego por superficie es milenaria y cubre aproximadamente 95 % del área irrigada en el mundo. Por lo tanto la sostenibilidad de la agricultura bajo riego depende de los mejoramientos e innovaciones a ser realizados en el riego por superficie.

De acuerdo a Santos *et al.* (2010), el riego por superficie (o de gravedad) continúa teniendo una importancia relevante en el desarrollo del regadío, no solo porque corresponde aproximadamente al 80 % de las áreas regadas del mundo, sino porque continúa siendo el método más apropiado, técnicamente, para suelos llanos y pesados, y, económicamente, para muchos cultivos y sistemas de producción. Los sistemas de riego de gravedad son muchos, en correspondencia con los procesos de la aplicación del agua a las parcelas regadas. Estos se resumen esencialmente a los sistemas de surcos, canteros, fajas, surcos a nivel y riego de esparcimiento.

Un módulo de riego (presa o hila de agua) es desviado a los tablares mediante una toma abierta en la red de distribución y, una vez soltada el agua en la cabeza de un cantero, el regante la cierra y el modulo distribuido pasa a ser esparcido sobre un cantero vecino. La existencia de un declive que active el avance superficial del agua, que corre al tiempo que se va infiltrando, bien sobre canteros planos bien sobre surcos, justifica que este método de riego sea denominado por escurrimiento, para diferenciarlo de los que se denominan riegos por inundación, que se dan a suelos sin pendiente. Para controlar los riegos, la tierra de cultivo debe haber sido estructurada en tablares con canteros delimitados por lomos, caballones, o arbadillas. La función de estos pequeños diques es contener el agua durmiente (en los riegos por inundación) o, simplemente, servir de guías al avance del agua (en los riegos por escurrimiento) (Losada, 2005).

3.4.1.1 Riego por surcos

Faci *et al* (1994), informa que este tipo de riego se diferencia únicamente del riego por escurrimiento en que la superficie del suelo está ondulada formando pequeños canales a lo largo de los que circula el agua de forma independiente. Una característica importante del riego por surcos es que la parcela puede tener una pendiente lateral.

Según Fernández *et al* (2010), constituye un tipo de riego donde el agua se distribuye por surcos paralelos, de forma que se filtra por el fondo y costados de los mismos. Agronómicamente, es muy aconsejable para algunos cultivos que son muy sensibles al encharcamiento, ya que al sembrarse sobre los caballones (parte superior de los surcos) se evita mojar el cuello de la planta y que se produzcan ciertas enfermedades. También lo es en los casos en que no se desee que la zona en que se desarrollan las raíces se compacte en exceso (patatas, ajos, zanahorias, etc.) La separación entre los surcos debe ser tal que quede asegurado el mojado de todo el suelo ocupado por las raíces. El movimiento del agua en el suelo depende, sobre todo, de la textura: en suelos arcillosos el agua se expande lateralmente con mayor facilidad que en los arenosos, en los que el agua tiende a desplazarse en profundidad, por lo que los surcos pueden estar más separados en el primer caso. Las pérdidas de agua que se producen en suelos arenosos pueden condicionar la utilización de surcos en este tipo de suelos. En ocasiones puede haber dificultades a la hora de acomodar la separación de los surcos a la textura del

suelo, ya que es necesario tener en cuenta el marco requerido por el cultivo y la maquinaria a utilizar en otras operaciones. Los surcos deben tener la misma pendiente en toda su longitud. En caso contrario se originan zonas con falta de agua y otras con exceso, pudiendo dar lugar a encharcamientos o desbordamientos del agua de un surco a otro. La pendiente más adecuada está comprendida entre el 0,2 y 1%. Se puede aumentar ligeramente la pendiente en surcos más cortos, con caudales pequeños y siempre que se cuente con mano de obra experimentada.

Sandoval *et al* (1989), indica el método de riego por surcos, consiste en hacer correr el agua desde una acequia madre, por pequeños regueros desde los puntos más altos hacia a los más bajos, el agua penetra en el suelo por el fondo y los costados del surco, facilitando un mojamiento uniforme del suelo. Este humedecimiento del suelo es de vital importancia en la eficiencia del riego, puesto que un riego que llegue a la zona de las raíces y además moje el suelo entre la hilera de las plantas, es un riego “muy eficiente”.

3.4.1.2 Fases de avance y receso del riego por superficie

En el riego por gravedad pueden considerarse cuatro fases: entre estas son avance, almacenamiento, consumo y recesión.

La fase de avance inicia con la introducción del agua en el surco o en la melga y termina cuando termina el extremo final. La fase de almacenamiento comienza a partir de que el agua llega al extremo del surco o de la melga y culmina cuando se “corta” la aplicación del riego. La fase de consumo se define como el tiempo que transcurre entre el “corte” de la aplicación del riego y la desaparición del tirante de agua en el inicio del surco o de la melga. La fase de recesión comienza a partir de que el tirante de agua desaparece en el inicio del surco o de la melga y termina cuando el tirante desaparece en el otro extremo de los mismos (Lázaro *et al*, 2010).

De acuerdo a Fuentes (2001), desde que el agua entra al cantero o en el surco, una parte de su volumen discurre por estos y el resto se va infiltrando progresivamente a lo largo de los mismos. Para comprender mejor el movimiento del agua en el suelo regado por superficie, cuyo proceso hidráulico es sumamente complejo, conviene dividir el tiempo de riego en distintas fases separadas por unos momentos singulares:

- *Momento de inicio del riego (Ma1)*: Cuando el agua empieza a entrar en el cantero o en el surco.
- *Momento de avance (Ma)*: Cuando el agua cubre todo el cantero o llega al final del surco.
- *Momento de corte (Mc)*: Cuando deja de entrar agua en el cantero o en el surco.
- *Momento de vaciado (Mv1)*: Cuando en la parte inicial del cantero o del surco se ha infiltrado toda el agua.
- *Momento de receso (Mv2)*: Cuando en la parte final del cantero o del surco se ha infiltrado toda el agua.

Las fases delimitadas por estos momentos son las siguientes:

- ~ *Fase de avance*: Compreendida entre el momento de avance y el momento de inicio del riego.
- ~ *Fase de receso*: Compreendida entre el momento de receso y el momento de vaciado.

Para representar gráficamente el avance y el receso se llevan al eje de ordenadas los tiempos transcurridos desde el inicio del riego, y al eje de abscisas las longitudes mojadas. El avance es mucho más rápido al principio que al final del cantero o del surco, debido a que conforme avanza el riego hay más superficie de suelo infiltrando agua, lo que se refleja en la forma de la curva de avance.

Faci *et al* (1994), indica que el riego por superficie se divide en fases que separan procesos hidráulicos distintos y que ayudan a la comprensión y el análisis del movimiento del agua sobre la superficie del tablar. Las fases del riego están separadas por los tiempos característicos, en los que se producen ciertas singularidades del riego.

3.4.1.3 Evaluación del riego por superficie

De acuerdo a Chipana (1996), para saber cómo está operando cualquier sistema de riego, este debe ser evaluado empleando los parámetros adecuados para ello.

La evaluación de los sistemas de riego fue consolidada por Merriam y Keller (1978) indicando que esta tiene cuatro objetivos: a) determinar la eficiencia del sistema bajo

condiciones reales de operación; b) determinar cuan efectivamente el sistema puede ser operado y si el mismo puede ser mejorado; c) obtener datos que ayuden al proyectista en el diseño de otros sistemas; y d) obtener información que permita comparar varios métodos, sistemas y procedimientos operacionales como base para las decisiones económicas.

No existe un único parámetro para evaluar el desempeño de un sistema de riego, por lo tanto además del aspecto relacionado con la eficiencia, cualquier sistema de riego de tender a aplicar cantidades de agua preestablecidas de la manera más uniforme posible. Por lo tanto esos dos parámetros (uniformidad y eficiencia) expresan la calidad del riego.

3.4.1.3.1 Eficiencia de aplicación

Fuentes (2001), define como eficiencia de aplicación del agua en un sistema de riego a la proporción entre la cantidad de agua almacenada en la zona del sistema radical (disponible para la planta) y la cantidad de agua aplicada por el sistema de riego.

Eficiencia de aplicación (E_a) es la relación entre la norma parcial neta de riego y la lámina total aplicada, esta variable se expresa en % (Fontova y García, 2001).

Chipana (1996), expresa las relaciones entre el volumen de agua almacenado en la zona radicular y el volumen aplicado. Este término representa el porcentaje total de agua aplicada en el riego que es almacenado en la zona de las raíces y que pueda ser considerado útil para los cultivos

3.4.1.4 Ventajas y desventajas del riego por superficie

De acuerdo a Fontova y García (2001), mencionan:

3.4.1.4.1 Ventajas

- No requiere una alta inversión inicial de materiales de importación.
- Demanda bastante mano de obra, pero sin alta calificación. Puede ser una fuente de empleo importante.
- En alguna de sus técnicas no humedece la parte externa de la planta, lo cual es de suma importancia para algunos cultivos.
- No se afecta por la velocidad del viento.

- La altura del cultivo no influye en el sistema.
- Se pueden lograr altas eficiencias de aplicación, aunque para ello se requiera alta tecnología.
- Se puede emplear en la mayoría de suelos y cultivos.
- Mejora el drenaje del suelo.

3.4.1.4.2 Desventajas

- Para obtener buena eficiencia se requieren trabajos de nivelación de buena calidad.
- Se pierde una parte del terreno por el trazado de los canales.
- Los costos de mantenimiento son altos.
- Se requiere una gran cantidad de pruebas de campo para un diseño confiable y gran experiencia del proyectista.
- Tiene limitaciones en suelos muy sueltos y terrenos con topografía ondulada.

3.5 Cultivos

3.5.1 Cultivo haba

El cultivo de haba (*Vicia faba*) en la zona andina de Bolivia, es uno de los más, importantes entre las leguminosas; esta importancia radica en diversos factores.

- Su rol en los sistemas agrícolas productivos (rotación, abono verde y fijador de nitrógeno).
- Suplemento alimenticio para los diferentes tipos de ganado.
- Fuente proteica en la alimentación de las familias del área rural.
- Fuente de ingresos por su comercialización en mercados de consumo interno (haba verde y seca) y externo (haba seca).

Por cuanto este cultivo es de importancia para la economía de los productores, como así también se trata de un cultivo imprescindible para la seguridad alimentaria de los productores del área rural.

El haba se adapta a diversos tipos de suelo, aunque rinde mejor en suelos sueltos, profundos y ricos en materia orgánica. El cultivo de haba es poco exigente en suelo,

aunque prefiere suelos arcillosos o silíceos y arcillosos, ricos en humus profundos y frescos; perjudican el normal desarrollo del cultivo los suelos húmedos y mal drenados (Iniaf, 2006).

3.5.2 Cultivo arveja

La Arveja (*Pisum sativum*) es una leguminosa de la familia *Fabaceae*, el hábito de crecimiento de las variedades cultivables es indeterminado, con respuesta fotoperiódica cuantitativa a días largos. Las variedades de arveja cultivadas son de ciclo corto, sembrándose desde principios de julio hasta mediados de agosto como fecha límite. La arveja es muy sensible a las bajas temperaturas en la etapa de germinación, por lo que es recomendable de alguna manera evitar sembrar con pronóstico cercano de lluvias excesivo frío.

Una vez emergida, tolera el frío, aun con temperaturas de 0°C. En el caso de suelos con alto nivel de cobertura, las fuertes heladas suelen afectar a las hojas más tiernas, pero luego rebrotan normalmente. Por otro lado, en la etapa posterior a la floración, cuando se fija el número de granos, es muy sensible tanto a las altas temperaturas como a las heladas, fenómenos ambos que producen abortos de semillas y caída de frutos, especialmente en condiciones de escasa humedad (Prieto, 2003).

3.6 Descripción del programa winSRFR.

El programa SRFR es una herramienta para la simulación de riego en surcos y canchales, el paquete incorpora ejemplos típicos de riego, con datos de entrada que, tras su análisis, el usuario podrá modificar para adaptarlos a su conveniencia.

Los modelos de simulación pueden ser usados como ayuda a la evaluación de los riegos. La cuantificación de las evaluaciones de campo es extremadamente compleja por comparación con lo que ocurre en las simulaciones, donde prácticamente todo está cuantificado. Por ello si se consigue que una simulación reproduzca fielmente las observaciones realizadas en la evaluación, cabe esperar que los parámetros aplicados en la simulación sean una buena estimación de los que conviene al campo. Una vez caracterizado el tablar o calibrado el modelo, de cara a la adopción de modificaciones que mejoren los riegos es necesario valorar la capacidad de predicción del modelo. Esta

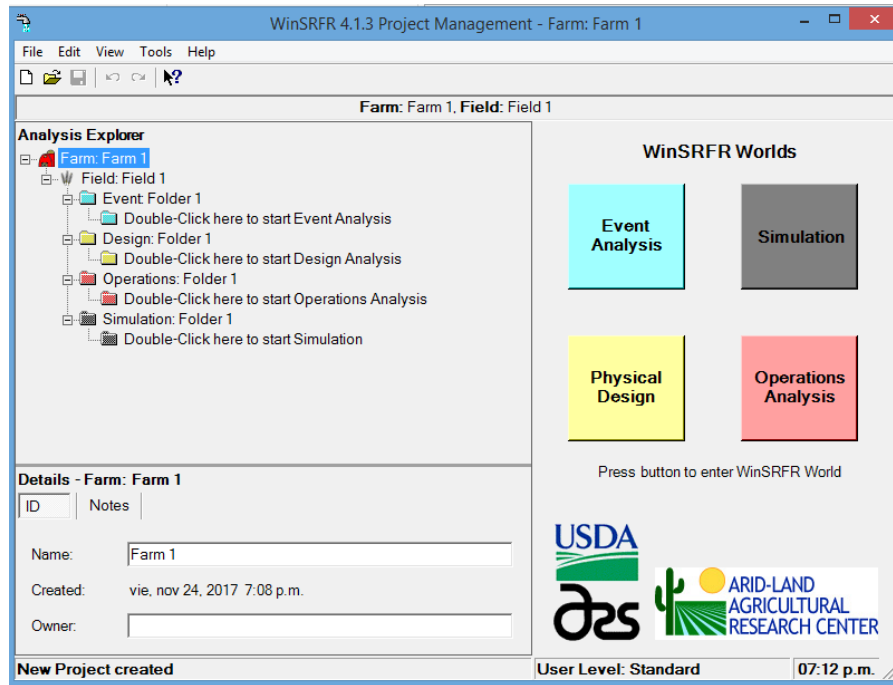
se ve en general limitada por las variaciones e incertidumbre ligadas fundamentalmente a las características que determinan la infiltración (Losada, 2005).

Martínez *et al* (2007), informan que como en otras materias de estudio, es importante el aporte de los modelos de simulación al riego por superficie. Los modelos de simulación, aun siendo simplificaciones de la situación real, son herramientas muy útiles para facilitar el análisis de problemas complejos, aunque la fiabilidad de los resultados dependerá de las buenas mediciones de las variables de entrada. La variabilidad espacial de algunas propiedades del suelo que afectan al desempeño del riego no está totalmente contemplada aún en estos modelos, por lo que es muy importante la validación con experimentos a campo. Entre los modelos disponibles podemos mencionar el SIRMOD, de la universidad de Utah y el WinSRFR del USDA.

El funcionamiento de estos programas requiere el ingreso de los siguientes datos: longitud de la parcela de riego, ancho de riego, caudal, tiempo de riego, parámetros de infiltración, rugosidad del terreno, pendiente, lámina de riego objetivo, y si el riego es con o sin desagüe al pie, etc. A partir de esa información se generan la curva de avance, de receso, un diagrama de la lámina infiltrada, así como información de pérdidas por percolación, de escurrimiento superficial (si el riego es con desagüe al pie), eficiencia de aplicación, uniformidades de distribución, altura de tirante de agua en los surcos o melgas, etc.

La pantalla inicial del WinSRFR muestra una organización en cuatro herramientas. 1) **Event Analysis** (Análisis de eventos), que se basa en la evaluación real de un riego que permite ajustar y correr el modelo en un sitio con características determinadas. 2) **Simulation** (Simulación), que permite realizar una simulación una vez que se conocen todas las variables del riego 3) **Physical Design** (Diseño físico), cuando el objetivo es la optimización del diseño y 4) **Operations Analysis** (Análisis de la operación) que permite optimizar parámetros de manejo, de manera que a partir de la simulación, con un modelo definido, se puedan cambiar variables y definir cuál sería el manejo óptimo con la modificación de determinadas condiciones (por ejemplo cambiando el caudal de entrada y el tiempo de riego), lo que permitiría mejorar valores de eficiencia de aplicación, uniformidad, etc.

La versión del programa con el cual se trabajo es el winSRFR 4.1.3, en la Figura 1 se puede apreciar la interfaz del programa con las cuatro herramientas que presenta.



Fuente: Programa winSRFR

Figura 1 interfaz del programa winSRFR

3.7 Aforador RBC

De acuerdo a Bos *et al* (2003), para trabajos de campo es conveniente utilizar las versiones portátiles de los aforadores, pueden emplearse para medir el caudal de agua que entra en una explotación de tamaño medio, en un grupo de parcelas, en una parcela o en un surco; igualmente, son utilizables para conocer el agua que sale de una parcela en riego. Su tamaño y peso están limitados, como es obvio, por la condición de que debe ser transportable por una o dos personas a, o desde, el lugar donde se realiza la medida en un momento dado. En consecuencia, también queda limitado el máximo caudal de agua que pueden medir.

Se diseñaron cinco aforadores portátiles, denominados RBC para emplearlos en surcos de riego y en pequeños canales de tierra. Estos aforadores son modelos a escala de aquellos en que la anchura de la solera en la sección de control, bc , va desde 50 hasta 200 mm. Dado que todas las demás dimensiones del aforador son proporcionales a bc ,

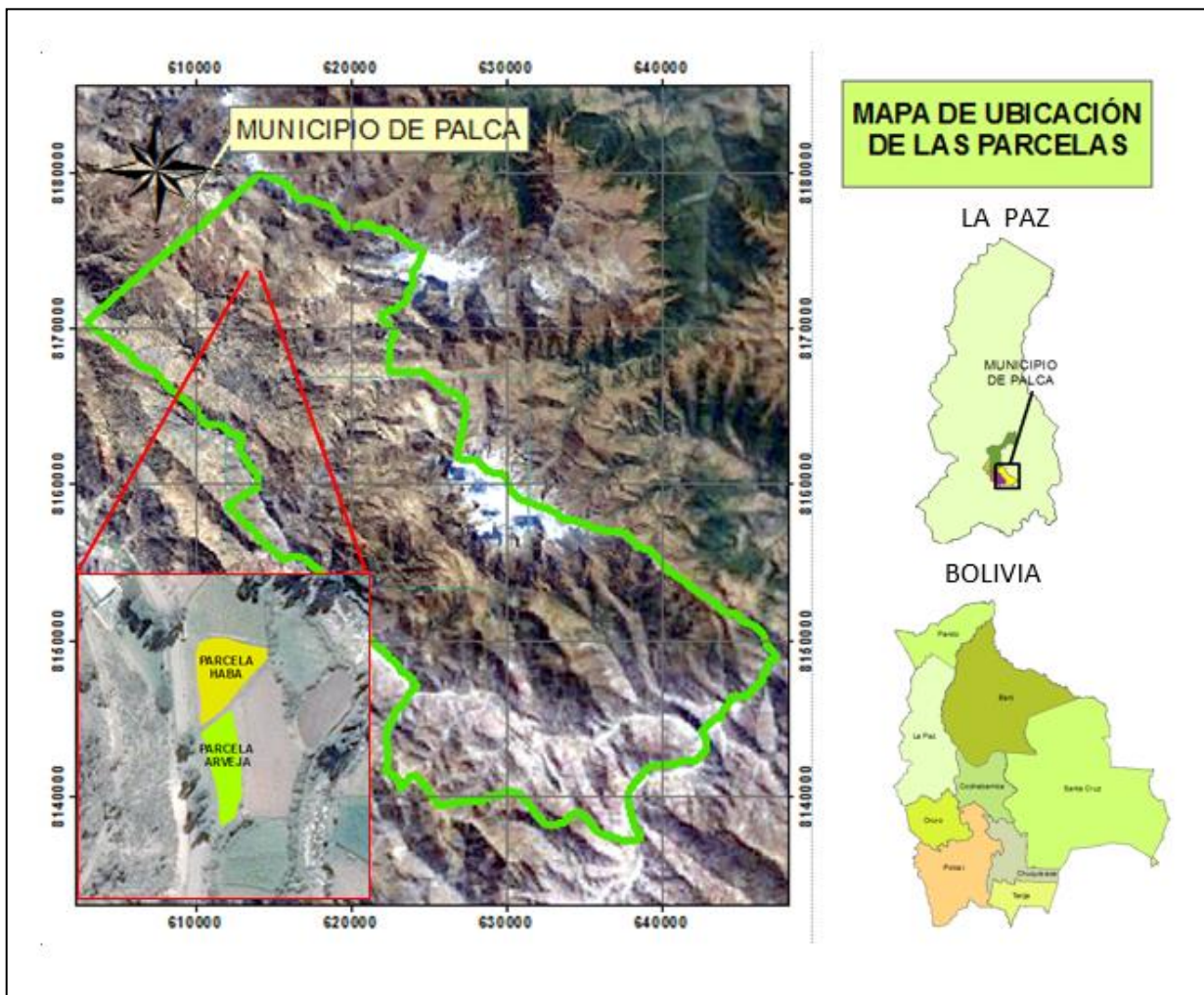
cada estructura sirve para medir una gama de caudales que, lógicamente, se solapa con las de otras.

La carga hidráulica, h_i , se mide en un pozo remansador desplazado, que se coloca lo más cerca posible de la sección de control, con lo que se pretende minimizar la influencia de una instalación ligeramente defectuosa (no perfectamente nivelada) en el valor de h_i , medido en el citado pozo. La nivelación transversal se facilita manteniendo el borde de aguas arriba de la plancha de cierre paralelo a la superficie del agua. La nivelación longitudinal puede hacerse con un nivel de albañil, si bien los usuarios experimentados pueden estimar rápidamente si se ha conseguido una nivelación adecuada y no necesitarán nivel.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Localización

La presente investigación se realizó en la comunidad de Huancapampa perteneciente a la Subcentral Huancapampa del Municipio de Palca provincia Murillo del Departamento de La Paz, ubicada a una altitud de 3454 msnm, geográficamente se halla $16^{\circ}33'09.19''$ Latitud Sur y $67^{\circ}57'07.88''$ Longitud Oeste y a una distancia de 68 km de la ciudad de La Paz ver Figura 2.



Fuente: Elaboración propia programa Arcgis

Figura 2. Ubicación geográfica del sitio de investigación

4.1.1 Fisiografía

Montes de Oca (1992), indica que se trata de un valle estrecho, rodeado de colinas y montañas, presenta laderas de pendiente variable con terrazas de formación natural, con escasa cobertura vegetal. El relieve topográfico del sector se caracteriza por presentar pendientes fuertes en la parte superior de la sub-cuenca (entre 50 y 100%) y pendientes bajas en el lecho de deyección del curso de agua que la conforma (entre 2,5 y 8%) siendo estas, terrazas bajas aledañas al río La Paz.

4.1.2 Vegetación

La vegetación predominante en el sector varía de acuerdo con los pisos ecológicos existentes. Así, en la parte superior de la cuenca se observa una vegetación arbustiva con predominancia de paja brava, tolares y pastura seca de acuerdo a la estación, en tanto que en la parte media baja de la cuenca, que constituye la mayor parte del Municipio, se aprecia una vegetación herbácea, con presencia de arbustos nativos y eucaliptos introducidos.

5.1.3 Suelos

La mayoría de los suelos del municipio son de textura franco limo arcillosa a arcillosa, con bloques angulares a subangulares, de pH neutro.

Los suelos agrícolas del municipio cuentan con una buena fertilidad en los primeros 30 centímetros de profundidad de la capa arable del suelo, debido al abonamiento orgánico practicado antes de cada siembra, ayudando de gran manera a las propiedades físicas, químicas y biológicas.

La fertilidad en suelos no agrícolas, es mínima, esto debido al material parental del lugar, es decir presencia de rocas, teniendo suelos descubiertos, debido a las elevadas pendientes del terreno, con climas fríos.

4.1.4 Clima

4.1.4.1 Temperatura

De acuerdo al PDM municipio Palca (2006), la temperatura, juntamente con la precipitación, es uno de los factores importantes que influye directamente en la producción agrícola de cualquier rubro, ya que a mayor temperatura los cultivos tienden a un mejor desarrollo y a menores temperaturas las plantas tienen un menor desarrollo con tendencia a morir debido a climas adversos, la temperatura máxima media es de 19,63°C registrándose datos de 20,69°C la más alta el año 2010 y la más baja 18,58°C el año 2002, la temperatura mínima media es 5,49°C y la temperatura mínima mayor registrada tuvo suceso en el año 2005 con 7,89°C y el menor dato estuvo en el año 2008 con 3,09°C.

4.1.4.2 Precipitación

En el municipio se registra precipitaciones variables cada año con una media de la precipitación total, de los últimos once años, de 457,3 mm, debido a que la ubicación del municipio es a las faldas del cerro Murarata influyendo esto en la variación de la precipitación, así como en los demás factores climáticos como ser los granizos y las heladas respectivamente.

4.2 Materiales y equipos

Se emplearon los siguientes materiales y equipos durante la investigación:

4.2.1 Materiales de campo

- GPS.
- Juego de cilindros infiltrómetros.
- Aforadores RBC.
- Wincha 50 m.

4.2.2 Materiales de gabinete

- Hojas.
- Computadora.

- Maquina calculadora.
- Datos climáticos SENAMHI.
- Programa winSRFR.

4.2.3 Material biológico

En el presente trabajo de investigación se empleó los siguientes cultivos:

- Haba (*Vicia faba*).
- Arveja (*Pisum sativum*).

4.3 Método

Los métodos empleados en el estudio fueron el descriptivo y analítico, el primero para una descripción del riego en los cultivos haba y arveja, y en el segundo para organizar, sistematizar y realizar un análisis de los resultados generados durante la investigación, estos métodos siguieron un orden secuencial en dicha evaluación del sistema de riego.

4.3.1 Análisis de suelos

De acuerdo a Robinson (2008), el propósito general del análisis de los suelos es dar una expresión cuantitativa de la constitución y propiedades de los mismos. Es el complemento de la descripción de la morfología del suelo en campo, en el sentido de que da mayor precisión a la especificación de ciertas propiedades tales como la textura y la reacción; también tiene un valor complementario, debido a que revela y expresa ciertas propiedades tales como la composición de la fracción arcilla que no puede ser estimada en el examen de campo. El análisis de suelos es esencialmente el examen en el laboratorio de los suelos y es, por tanto, distinto del examen en el campo.

4.3.1.1 Muestreo del suelo

Con la recomendación de Bernier (2007), el muestreo de suelo se define como aquella cantidad de tierra compuesta por varias porciones de igual tamaño (submuestras), obtenidas de diversos puntos del área que se desea analizar y mezcladas en forma homogénea.

Una vez establecida la unidad de muestreo y de manera aleatoria, se procedió a recolectar las submuestras recorriendo la unidad establecida en zigzag cada cierta distancia, a una profundidad de 20 -25 cm para su posterior cuarteo, se tomó una muestra de 1 kg, la cual se llevó al laboratorio de Física de Suelos, de la facultad de Agronomía de la Universidad Mayor de San Andrés para un análisis físico – químico detallados en el anexo 1.

4.3.1.2 Muestreo del agua

Se procedió a tomar la muestra de agua del canal de riego que ingresa a las parcelas experimentales, un volumen de 1 litro, en un envase plástico que posteriormente fue remitido al laboratorio del Instituto Boliviano de Ciencia y Tecnología Nuclear (IBTEN) dependiente del Ministerio de Hidrocarburos, para su análisis físico – químico cuyo detalle está adscrito en el anexo 2.

4.3.2 Determinación del área de estudio

Las superficies de las áreas de estudio se determinaron con un flexómetro de 50 m de longitud, la parcela de haba presento una superficie de 990 m² y la de arveja 784 m², la pendiente con dirección al movimiento del flujo sobre los surcos aguas abajo fue de 1,80% en el cultivo de haba y de 1,80% en el cultivo de arveja.

4.3.3 Manejo del agua para riego

El agua empleada para todos los eventos de riego en las campañas agrícolas pasadas proviene de las aguas de deshielo del nevado Mururata, estas aguas son compartidas con la comunidad Tacapaya, el caudal del rio denominado Tacapaya es relativamente alta, abasteciendo así a varias parcelas en toda la gestión agrícola, el movimiento del flujo del agua sobre el canal de riego es netamente gravitacional con una sección transversal al flujo irregular ya que la acequia es de tierra.

4.3.4 Determinación de la velocidad de infiltración del agua en el suelo

Con la recomendación de Fuentes (2001), donde indica que la infiltración es el proceso por el cual el agua penetra el suelo a través de la superficie. La infiltración es el factor más importante que afecta al riego, la facultad de un suelo para permitir el paso del agua

recibe el nombre de permeabilidad, que depende del porcentaje de poros, así como de su tamaño y continuidad. Un gran número de poros y unos poros grandes y continuos favorecen la permeabilidad.

Para determinar la velocidad de infiltración del agua en el suelo se empleó el método de los cilindros infiltrómetros concéntricos, con diámetros de 60 cm y 30 cm respectivamente, y una altura de ambos cilindros de 30 cm, incrustándose al suelo 1/3 de su altura, aplicándoseles una lámina de 10 cm durante un tiempo de 2 horas, en intervalos de tiempo ascendentes progresivos cada 5, 10, 20, 30, 45, 60 minutos hasta que la lámina infiltrada sea constante.

4.3.5 Lamina requerida por los cultivos haba y arveja

Para el cálculo de la lámina requerida se utilizó la relación descrita por Chipana (1996), que es la siguiente:

$$Z_{req} = Z_n * w \dots \dots \dots \quad \mathbf{1}$$

$$Z_n = (U_{cc} - U_{pmp}) * \frac{\rho_{ap}}{\rho_w} * Pr * f \dots \dots \dots \quad \mathbf{2}$$

Donde:

Z_{req} = Lamina requerida m³/m

Z_n = Lamina neta mm.

w = Distancia entre surcos cm.

U_{cc} = Humedad gravimétrica a capacidad de campo %.

U_{pmp} = Humedad gravimétrica a punto de marchites permanente %.

ρ_{ap} = Densidad aparente gr/cm³.

ρ_w = Densidad del agua gr/cm³

Pr = Profundidad radicular cm.

f = Grado de absorción del agua por los cultivos.

4.3.6 Diseño de los surcos en las parcelas de investigación

Los surcos de las parcelas de haba y arveja fueron aperturados de manera tradicional con yunta (par de toros que jalan el arado), estos fueron abiertos con dirección a las curvas de nivel con un desnivel de 1,80% para que el agua se mueva sin acción erosiva del suelo y evitar el lavado de nutrientes esenciales para la planta.

4.3.7 Aforo del caudal de oferta en parcela

Para determinar la cantidad de agua que atraviesa una sección transversal cualquiera en un intervalo de tiempo, se empleó el aforador RBC, el cual se instaló al inicio y final del surco nivelándose estos aforadores con un nivel de mano, para garantizar la buena toma de datos, en función al ancho de solera 7,50 cm y la carga hidráulica tomada en la garganta (ancho de solera) con la ayuda de tablas ver anexo 4, se determinó el caudal al inicio y final del surco respectivamente.

4.3.8 Preparación y siembra de los cultivos

4.3.8.1 Preparación del terreno

Se inició con el arado y mullido del suelo tanto para el haba como para la arveja, esto con la ayuda de un tractor agrícola la capa arable removida fue de 0,40 m de profundidad, la parcela de haba removida fue de 990 m² y la de arveja fue de 784 m².

4.3.8.2 Siembra de los cultivos

La siembra de los cultivos haba y arveja se realizó el 07 de Julio del 2017, empleando la tracción animal (yunta) las que aperturaron los surcos en sentido de las líneas maestras marcadas por el abono en dirección a las curvas de nivel con el desnivel establecido de 1,80%. Se sembró la semilla de haba y arveja a cada 15 cm entre plantas con una distancia entre surcos de 0,42 m y 0,30 m respectivamente.

4.3.9 Labores culturales

4.3.9.1 Aporque y deshierbe

En las parcelas de los cultivos establecidos se realizaron el aporque después de los 28 días y con la aparición de las hierbas el desmalezado de las mismas, de manera manual con la ayuda de una chontilla, entre las malezas que se encontraron fueron:

- ~ Pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*)
- ~ Trebol carretilla (*Medicago polymorpha* L.)
- ~ Reloj reloj (*Erodium cicutarium*)
- ~ Bolsa de pastor (*Capsella bursa – pastoris*)
- ~ Mostasilla (*Brassica campestris* L.)

4.3.9.2 Riego de los cultivos

El agua aplicada en cada evento de riego es en función a la precipitación y al contenido de humedad del suelo, en la investigación se realizó tres evaluaciones del riego una por semana en el periodo fenológico de desarrollo en los cultivos de haba y arveja después de realizar el aporque de los cultivos.

4.3.10 Evaluaciones de los riegos

Las evaluaciones de los riegos se realizaron en tres eventos de riego, de acuerdo a Chipana (1996), indica que para proceder a la evaluación de los sistemas de riego por superficie deberá seguirse los siguientes pasos:

- Seleccionar un sector representativo del área del proyecto. En el caso de surcos se elegirán 3 surcos, realizándose las mediciones en el del centro y los laterales servirán como “*buffers*”.
- Extraer muestras de suelo para la determinación de la humedad del suelo antes del riego.
- Disponer estacas en diferentes estaciones a distancias equidistantes de 10 o 20 m dependiendo de la longitud del surco.

- Suministrar agua a las parcelas, tratando siempre de mantener constante el caudal, de lo contrario deberá registrarse este a diferentes tiempos, en las evaluaciones no se mantuvieron caudales constantes.
- Registrar el tiempo que el frente de agua lleva en alcanzar las diferentes estaciones (tiempo de avance).
- Determinar la sección transversal al flujo en el inicio del surco.
- Una vez que el agua llega al final del surco deberá registrarse el caudal de salida “runoff” a diferentes tiempos.
- Dotar de agua a la parcela durante el tiempo de riego preestablecido (*tiempo de corte*).
- Registrar los tiempos de depleción y recesión. Cabe indicar que en estas determinaciones deberá procederse con un buen sentido, puesto que existe casos en que el tiempo de recesión en algunas estaciones asume valores muy altos, por ejemplo en depresiones (debido al mal emparejamiento del suelo) o donde el suelo está demasiado compactado.

Con la ayuda de un perfilometro se determinó la sección transversal al flujo al inicio del surco.

4.3.10.1 Procedimiento para las evaluaciones de los riegos

Con la recomendación de Chipana (1996), las evaluaciones de los riegos se realizaron bajo el siguiente procedimiento.

$$a2 = \frac{\log(T_T/T_{0.5})}{\log(Y_T/Y_{0.5})} \dots \dots \dots \quad \mathbf{3}$$

$$a1 = \frac{T_T}{Y_T^{a2}} \dots \dots \dots \quad \mathbf{4}$$

$$\sigma1 = \frac{a1}{a2 + 1} \dots \dots \dots \quad \mathbf{5}$$

$$\sigma2 = a2 + 1 \dots \dots \dots \quad \mathbf{6}$$

$$P_{0.5|n/2} = \sum_{i=0}^{n/2} \{2[(Y_i - Y_{i-1})^2 + [0.5(T_i - T_{i-1})]^2]^{0.5}\} \dots \dots \dots \quad \mathbf{7}$$

Adecuando la ecuación 7 y 9 con las consideraciones del surco resulta la ecuación 8 y 10 respectivamente.

$$P_{0.5|3} = \sum_{i=0}^3 \{2[(Y_i - Y_{i-1})^2 + [0.5(T_i - T_{i-1})]^2]^{0.5}\} \dots \dots \dots \quad \mathbf{8}$$

$$P_T|n = \sum_{i=0}^n \{2[(Y_i - Y_{i-1})^2 + [0.5(T_i - T_{i-1})]^2]^{0.5}\} \dots \dots \dots \quad \mathbf{9}$$

$$P_T|6 = \sum_{i=0}^6 \{2[(Y_i - Y_{i-1})^2 + [0.5(T_i - T_{i-1})]^2]^{0.5}\} \dots \dots \dots \quad \mathbf{10}$$

$$\gamma_2 = \frac{\log(P_T/P_{0.5})}{\log(Y_T/Y_{0.5})} \dots \dots \dots \quad \mathbf{11}$$

$$\gamma_1 = \frac{P_T}{Y_T \gamma_2} \dots \dots \dots \quad \mathbf{12}$$

$$C_2 = \frac{3\sigma_2}{5\sigma_2 - 2\gamma_2} \dots \dots \dots \quad \mathbf{13}$$

$$C_1 = \sigma_1 * \left(\frac{\gamma_1^{0.67}}{\sigma_1^{1.67}}\right)^{C_2} \dots \dots \dots \quad \mathbf{14}$$

Determinando la sección transversal al flujo al inicio del surco:

$$A_0 = C_1 * \left(\frac{Q_0 * n}{60 * S_0^{0.5}}\right)^{C_2} \dots \dots \dots \quad \mathbf{15}$$

Calculando el coeficiente r:

$$r = \frac{\ln(L/L_{0.5})}{\ln(Tav/Tav_{0.5})} \dots \dots \dots \quad \mathbf{16}$$

Determinando los parámetros de la ecuación de Kostiakov – Lewis:

$$f_0 = \frac{Q_0 - Q_{se}}{L} \dots \dots \dots \quad \mathbf{17}$$

$$VL = \frac{Q_0 * Tav}{L} - \sigma y * A_0 - \frac{f_0 * Tav}{1 + r} \dots \dots \dots \quad \mathbf{18}$$

$$VL_{0.5} = \frac{Q_0 * Tav_{0.5}}{L_{0.5}} - \sigma y * A_0 - \frac{f_0 * Tav_{0.5}}{1 + r} \dots \dots \dots \quad \mathbf{19}$$

$$a = \frac{\ln(VL/VL_{0.5})}{\ln(Tav/Tav_{0.5})} \dots \dots \dots \quad \mathbf{20}$$

$$\sigma z = \frac{a + r(1 - a) + 1}{(1 + a)(1 + r)} \dots \dots \dots \quad \mathbf{21}$$

$$K = \frac{VL}{\sigma z * Tav^a} \dots \dots \dots \quad \mathbf{22}$$

Calculando la lámina infiltrada en cada estación:

$$Z_i = k(Trec - Tav)^a + f_0(Trec - Tav) \dots \dots \dots \quad \mathbf{23}$$

Calculo del volumen aplicado:

$$Vol\ apl = Q_0 * Tco \dots \dots \dots \quad \mathbf{24}$$

Walker y Skogerboe (1987) proponen la siguiente relación para determinar el volumen infiltrado.

$$Vinf = \frac{L}{2 * n} * (Z_0 + 2Z_1 + 2Z_2 + \dots + Z_n) \dots \dots \dots \quad \mathbf{25}$$

Donde:

V_{inf} = Volumen infiltrado (m^3)

L = Longitud del surco (m).

Z_i = Lámina de agua Infiltrada o volumen de agua infiltrada por unidad de área en la estación i (m^3/m).

n = Número de incrementos empleados para subdividir el surco.

Z_i se estimara con la siguiente ecuación de acuerdo a Chipana (1996):

$$Z_i = k(T_{rec} - T_{av})^a + f_o(T_{rec} - T_{av}) \dots \dots \dots \quad \mathbf{26}$$

~ Eficiencia de aplicación (E_a)

De acuerdo a Grassi (1998) citado por Choque (2015), la eficiencia de aplicación puede ser determinada con la siguiente relación:

$$E_a = \frac{\text{Volumen de agua infiltrada y almacenada}}{\text{Volumen de agua aplicada}} \dots \dots \dots \quad \mathbf{27}$$

Chipana (1996), informa que la eficiencia de aplicación también puede determinarse con la siguiente relación:

$$E_a = \frac{Z_{req} * L}{Q_o * T_{co}} * 100 \dots \dots \dots \quad \mathbf{28}$$

~ Perdidas por percolación profunda

$$DPR = \frac{(V_{inf} - Z_{req} * L)}{Q_o * T_{co}} * 100 \dots \dots \dots \quad \mathbf{29}$$

~ Perdidas por escorrentía superficial

$$TWR = 100 - E_a - DPR \dots \dots \dots \quad \mathbf{30}$$

$$TWR = \frac{Q_o * T_{co} - V_{inf}}{Q_o * T_{co}} * 100 \dots \dots \dots \quad \mathbf{31}$$

Donde:

k y a = Constantes empíricas.

f_o = Velocidad de infiltración básica $\left(m^3 / (min * m)\right)$

T_{rec} = Tiempo de receso (min)

T_{av} = Tiempo de avance (min)

Z_{req} = Lamina requerida (m^3/m)

Q_o = Caudal de entrada al surco (m^3/min)

T_{co} = Tiempo de riego o de corte (min)

4.3.11 Fases de avance y receso del agua

Se seleccionó tres surcos en la parcela de haba y arveja con características que difieren en un grado mínimo, se realizó las evaluaciones y determinación de las fases de avance y receso del agua en el surco central, ya que los otros dos surcos laterales cumplen con la función “*buffers*”.

4.3.11.1 Fases de avance del agua

En la parcela de haba la longitud más larga de los surcos fue de 62,50 m para determinar las fases de avance del agua, el surco, se dividió en 6 estaciones, cada estación presenta una distancia equidistante de 12,50 m.

En la parcela de arveja la longitud más larga de los surcos fue de 45,60 m para determinar las fases de avance del agua, el surco, se dividió en 6 estaciones, cada estación presenta una distancia equidistante de 9,12 m.

En ambos cultivos para determinar esta fase en las diferentes estaciones inició con el ingreso del agua al surco, y se registró el tiempo en el cual el frente de agua llegó a cada estación marcada por estacas, hasta que llegó al final del surco.

4.3.11.2 Fases de receso del agua

En ambos cultivos después de haber registrado los tiempos de avance del frente de avance del agua, se suprimió el caudal de entrada del agua al inicio del surco, esto en función al tiempo de riego de cada cultivo, haba 0,83 horas (50 minutos), arveja 0,75

horas (45 minutos), una vez que se suprimió el caudal al inicio del surco se registró los tiempos en la cual el agua desaparecía de la superficie del suelo en cada estación.

Se suministró agua a las parcelas con un caudal cuyo modulo no se mantuvo constante, esta variable se la midió en un intervalo progresivo de tiempo es decir cada 5 minutos, se aforó al inicio y final del surco tanto en las parcelas de haba y arveja.

4.3.12 Empleo del programa winSRFR en la evaluación y simulación de los riegos

4.3.12.1 Evaluación del riego con el programa winSRFR

Como el interfaz del programa presenta las herramientas **Event Analysis** (Análisis de eventos), **Simulation** (Simulación), **Physical Design** (Diseño físico), **Operations Analysis** (Análisis de operaciones). De manera inicial se trabajó con la opción **Event Analysis** (Análisis de eventos) encargada de realizar la evaluación del riego con datos provenientes de una evaluación real en campo, en este caso las evaluaciones realizadas en las parcelas de haba y arveja.

4.3.12.2 Simulación del riego con el programa winSRFR

Realizada las evaluaciones del riego con el programa winSRFR, se procedió con las simulaciones de los riegos, con variación en modulo del caudal y tiempo de riego, ya que estas dos variables son consideradas **como variables de proyecto** es decir después de haber sido implementado el riego en el método por superficie, esas variables de proyecto pueden ser modificadas con el fin de optimizar el uso del agua de riego y elevar la eficiencia de aplicación.

4.3.13 Variables de respuesta

4.3.13.1 Parámetros de evaluación de riego por superficie

- **Eficiencia de aplicación**

Es un indicador del agua útil almacenada y disponible en la zona radicular del cultivo se determinó en los cultivos de haba y arveja.

- **Percolación profunda**

Indicé que cuantifica el volumen o la masa de agua perdida debida a la infiltración desde la superficie del suelo, con la ecuación 29 se determinó los módulos en los cultivos considerados.

- **Indicé de escorrentía**

Índice que cuantifica la cantidad de agua ya sea en volumen o en masa que se pierde en el surco debido escurrimiento debido principalmente al desnivel entre sus extremos 1,80 % en ambos cultivos.

4.3.13.2 Parámetros de avance y receso del agua en el surco

- **Curva de avance**

La longitud del surco de cada cultivo se dividió en 6 distancias equidistantes (estaciones), en las cuales en cada estación se determinó el tiempo de llegada del frente de avance del agua.

- **Curva de receso**

En ambos cultivos en cada estación con un cronometro se determinó el tiempo en el cual el agua desapareció de la superficie del suelo.

4.3.13.3 Simulación del riego por surcos a través del programa winSRFR

- **Simulación de los riegos en los cultivos haba y arveja**

En esta sección se hizo variar solo las variables de proyecto (caudal y tiempo de riego) con el fin de obtener estas mismas variables ideales de acuerdo a la eficiencia de aplicación establecida 60 % de acuerdo a serrano (2014).

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Calidad del agua de riego

El análisis del agua de riego empleado para regar las parcelas experimentales de haba y arveja, realizado en el laboratorio del Instituto Boliviano de Ciencia y Tecnología Nuclear (IBTEN), emitieron los siguientes resultados el pH de la muestra fue de 6,80 cuyo modulo está entre los rangos permisibles, de acuerdo a Fuentes (2001) el rango permitido esta entre 6 – 8,50 las cuales son considerados como neutros y ligeramente básicos, la conductividad eléctrica de la muestra de agua fue de 424,00 $\mu\text{S}/\text{cm}$ cuyo equivalente 0,42 dS/m , fuentes (2001) indica que los rangos admisibles están entre 0 – 3 dS/m , la cual indica que el agua de riego no presenta salinidad o si existe es relativamente baja, en el Cuadro 1 podemos observar el detalle del análisis del agua de riego.

El RAS = 0,89 y la CE= 424 micromhos/cm, de la muestra de agua, y de acuerdo a las normas Riverside (U.S. Soil Salinity Laboratory), el agua empleada para riego pertenece a la clase C2-S1, se clasifica como *aguas de buena calidad aptos para el riego*.

Cuadro 1. Características del agua de riego

DETALLE DEL ANALISIS DE AGUA	Resultado	Unidades
pH	6,8	
Conductividad eléctrica	424	$\mu\text{S}/\text{cm}$
Sodio	5,42	mg/L
Potasio	1,54	mg/L
Calcio	61,61	mg/L
Magnesio	12,01	mg/L
Cloruros	3,87	mg/L
Carbonatos	0	mg/L
Bicarbonato	159,92	mg/L
Sulfatos	73,37	mg/L
Sólidos Suspendidos	7	mg/L
Sólidos Totales	341,15	mg/L
Solidos Disueltos	334,67	mg/L
Boro	0,23	mg/L

Fuente: laboratorio del Instituto Boliviano de Ciencia y Tecnología Nuclear (IBTEN), 2017.

5.2 Características físicas y químicas del suelo

Los resultados que proporcionaron postanálisis de la muestra de suelo en el laboratorio de la Facultad de Agronomía en Suelos y Agua (LAFASA), presenta una clase textural franco, con proporciones relativas de Arena 20,80%, Limo 51,60% y Arcilla 27,60%. Por otro lado la densidad aparente del suelo es de $1,46 \text{ g/cm}^3$ la cual indica que el suelo no presenta compactación, Miranda (2004), menciona que el módulo de la densidad aparente de la clase textural Franco tendente a limoso está entre los rangos de $1,3 - 1,5 \text{ g/cm}^3$.

El pH de la muestra de suelo es de 7,52 Orsag (2010), menciona que un suelo que se encuentra en los rangos de $7,4 - 7,8$ son considerados como suelos medianamente básicos, con una relación de análisis de 1:5 de suelo:agua, de acuerdo a Robinson (2008), en general el pH tiende a disminuir a medida que la relación suelo:agua de manera proporcional también disminuye.

La materia orgánica del suelo es de 5,99 % la cual indica que este presenta buena fertilidad ya que Orsag (2010) indica que los suelos que presentan una MO menor al 2 % presentan una fertilidad baja natural. La conductividad eléctrica es de $0,34 \text{ mmho/cm}$ o lo que es lo mismo $0,34 \text{ dS/m}$, la presencia de sales en exceso en el suelo, particularmente por encima de 4 dS/m , perjudica el crecimiento de las plantas en muchos casos su calidad, por su incidencia directa sobre el metabolismo de las mismas, entonces la muestra de suelo no presenta problemas de sales que puedan causar daños al cultivo.

La presencia de Nitrógeno en el suelo es de 0,16 %, Potasio intercambiable $0,68 \text{ meq/100 g S}$, calcio intercambiable $12,08 \text{ meq/100 g S}$, Magnesio intercambiable $2,83 \text{ meq/100 g S}$, Capacidad de intercambio catiónico $28,03 \text{ meq/100 g S}$. En el cuadro 2 se puede observar a detalle los datos adjuntos.

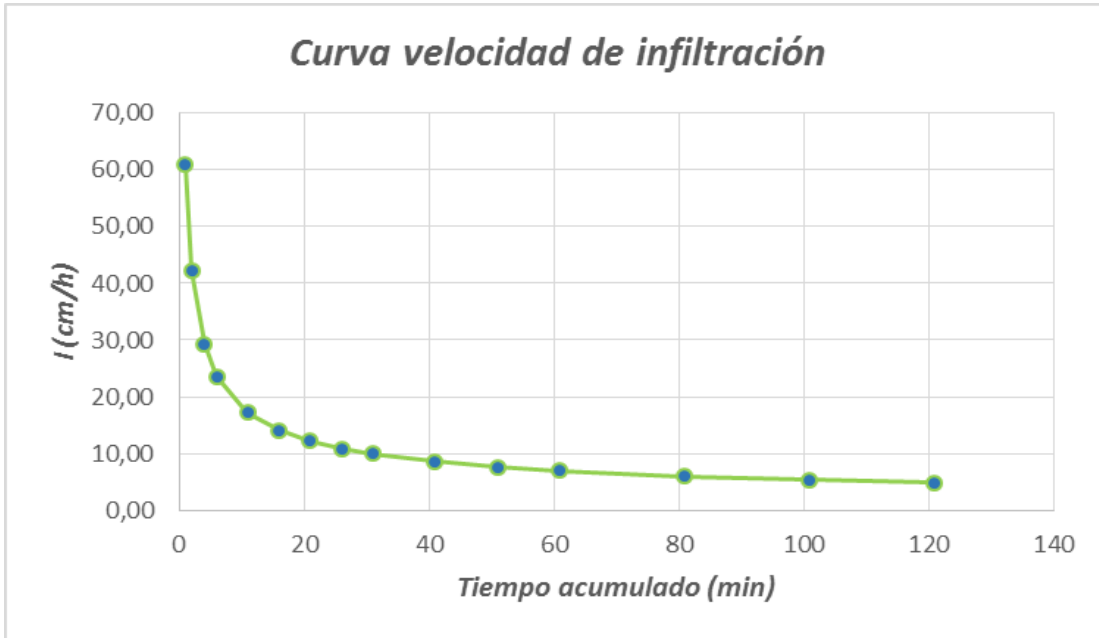
Cuadro 2. Características del suelo

DETALLE DEL ANALISIS DEL SUELO	RESULTADO
Textura	Franco (F)
ARCILLA (Y)	27,60%
LIMO (L)	51,60%
ARENA (A)	20,80%
Densidad aparente (Da)	1,46 g/cm ³
pH	7,52%
Conductividad eléctrica	0,34 mmho/cm
Materia orgánica	5,99%
Nitrógeno	0,16%
Fosforo disponible	0,00 ppm
Potasio intercambiable	0,68 meq/100 g S
Calcio intercambiable	12,08 meq/100 g S
Magnesio intercambiable	2,83 meq/100 g S
Sodio intercambiable	0,00 meq/100 g S
Capacidad de intercambio catiónico	28,03 meq/100 g S

Fuente: Laboratorio de la Facultad de Agronomía en Suelo y Agua. (LAFASA) 2017.

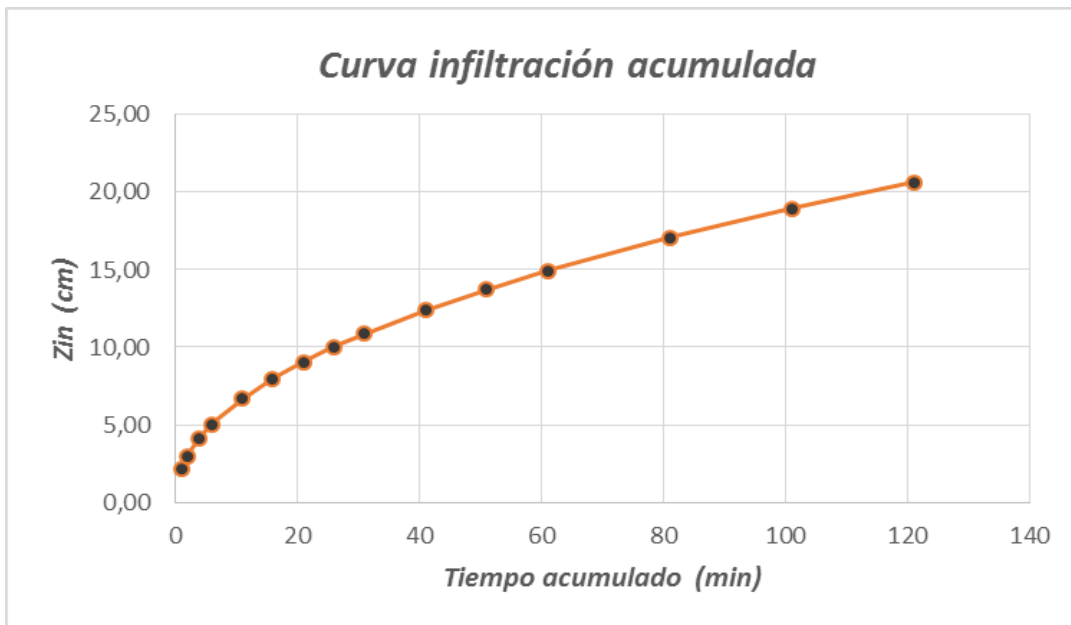
5.3 Infiltración del agua en el suelo

Se determinó la velocidad de infiltración básica en las parcelas de investigación con el método de los cilindros infiltrómetros cuyo módulo de la velocidad de infiltración estabilizada fue 28,93 mm/h, esta variable está en función a la textura del suelo la cual es del tipo Franco. Como se puede apreciar en la Figura 3 para un intervalo de tiempo acumulado al inicio del evento de infiltración, la velocidad de infiltración del agua es alta, a medida que el tiempo transcurre, la velocidad de infiltración del agua tiende a comportarse de manera inversamente proporcional al tiempo acumulado.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3. Velocidad de infiltración instantánea del agua en el suelo



Fuente: Elaboración propia

Figura 4. Infiltración acumulada del agua en el suelo

La infiltración acumulada del agua en el suelo como se observa en la figura 4, se comporta directamente proporcional al tiempo acumulado, es decir a medida que el tiempo transcurre de manera progresiva ascendente, la infiltración acumulada del agua por el suelo también tiende a incrementarse de manera progresiva y en ascenso en un grado menor al comportamiento del tiempo.

5.4 Evaluación del riego por surcos

5.4.1 Evaluación del riego por surcos en el cultivo haba y arveja

No existe un método único para la evaluación del riego por superficie, el orden y la secuencia que se siguió en el presente trabajo para determinar las variables que indican la calidad del riego es de acuerdo a Chipana (1996).

Inicialmente se procedió a determinar la lámina requerida a reponer en cada riego

5.4.1.1 Calculo del requerimiento de agua de los cultivos haba y arveja

Empleando el software CROPWAT 8.0 se determinó la lámina a reponer en los diferentes eventos de riego en la Cuadro 3 se puede observar los detalles del mismo:

Cuadro 3. Lamina de riego a reponer en cada evento de riego cultivo haba.

Estación Eto <i>Palca_LP</i>			Cultivo <i>Haba</i>				
Est. de lluvia <i>Palca</i>			Fecha de siembra <i>07/07/17</i>				
Mes	Década	Etapa	Kc	ETc	ETc	Prec. efec	Req.Riego
			coef	mm/día	mm/dec	mm/dec	mm/dec
Jul	1	Inic	0.50	1.57	6.3	0.1	6.1
Jul	2	Inic	0.50	1.63	16.3	0.0	16.3
Jul	3	Inic	0.50	1.72	18.9	0.6	18.4
Ago	1	Inic	0.50	1.81	18.1	4.4	13.7
Ago	2	Des	0.56	2.14	21.4	6.5	14.9
Ago	3	Des	0.68	2.69	29.6	5.5	24.1
Sep	1	Des	0.80	3.27	32.7	3.0	29.7
Sep	2	Med	0.91	3.86	38.6	1.8	36.8
Sep	3	Med	0.96	4.13	41.3	5.5	35.8
Oct	1	Med	0.96	4.22	42.2	11.4	30.8
Oct	2	Med	0.96	4.32	43.2	15.4	27.8
Oct	3	Med	0.96	4.53	49.8	12.1	37.7
Nov	1	Fin	0.93	4.62	46.2	7.0	39.2
Nov	2	Fin	0.89	4.60	46.0	3.9	42.0
Nov	3	Fin	0.84	4.35	43.5	5.9	37.6
Dic	1	Fin	0.80	4.10	41.0	7.7	33.3
Dic	2	Fin	0.77	3.91	19.6	4.4	15.2
					554.6	95.0	459.6

Fuente: Software CROPWAT

El requerimiento de riego del cultivo haba en todo su ciclo es de 459,6 mm las cuales se debe reponer en 17 eventos de riego, la precipitación efectiva fue determinado a través del criterio USDA.

Para el cultivo de la arveja los requerimientos hídricos empleando el software CROPWAT 8.0 son de acuerdo al Cuadro adjunto 4.

Cuadro 4. Lamina de riego a reponer en cada evento de riego cultivo arveja

Estación Eto *Palca_LP*

Cultivo *Arveja*

Est. de lluvia *Palca*

Fecha de siembra *07/07/17*

Mes	Década	Etapa	Kc	ETc	ETc	Prec. efec	Req.Riego
			coef	mm/día	mm/dec	mm/dec	mm/dec
Jul	1	Inic	0.50	1.57	6.3	0.1	6.1
Jul	2	Inic	0.50	1.63	16.3	0.0	16.3
Jul	3	Inic	0.50	1.72	18.9	0.6	18.4
Ago	1	Inic	0.50	1.81	18.1	4.4	13.7
Ago	2	Des	0.56	2.14	21.4	6.5	14.9
Ago	3	Des	0.68	2.68	29.5	5.5	24.0
Sep	1	Des	0.80	3.26	32.6	3.0	29.5
Sep	2	Med	0.91	3.84	38.4	1.8	36.6
Sep	3	Med	0.95	4.10	41.0	5.5	35.5
Oct	1	Med	0.95	4.20	42.0	11.4	30.6
Oct	2	Med	0.95	4.29	42.9	15.4	27.5
Oct	3	Med	0.95	4.50	49.5	12.1	37.4
Nov	1	Fin	0.95	4.69	46.9	7.0	40.0
Nov	2	Fin	0.92	4.76	47.6	3.9	43.7
Nov	3	Fin	0.89	4.57	45.7	5.9	39.8
Dic	1	Fin	0.86	4.42	26.5	4.6	22.7
					523.6	87.6	436.7

Fuente: Software CROPWAT

El requerimiento de riego del cultivo arveja en todo su ciclo es de 436,7 mm las cuales se debe reponer en 16 eventos de riego, la precipitación efectiva fue determinado a través del criterio USDA.

En ambos cultivos los coeficientes de los cultivos (kc) se extrajeron del boletín 56 de la FAO.

5.4.2 Evaluaciones realizadas en campo cultivos haba y arveja

Se realizó tres evaluaciones del riego en cada cultivo de acuerdo a la metodología propuestas en la sección 4.3.10.1.

5.4.2.1 Evaluaciones del riego cultivo haba

5.4.2.1.1 Caudales de ingreso y salida en el surco cultivo haba

De acuerdo a los datos obtenidos en campo en la evaluación del riego, al inicio del surco y al final del mismo se empotraron dos aforadores RBC, de ancho de solera $bc = 7,50$ cm, cuya carga hidráulica en promedio h_1 al inicio del surco fueron (0,053 m) primera evaluación, (0,058 m) segunda evaluación y (0,061 m) tercera evaluación, los caudales promedio para estas cargas hidráulicas y en función al ancho de solera del aforador de acuerdo a Bos *et al*, (1986) fueron Q_0 (0,135, 0,155 y 0,167) m^3/min respectivamente, el aforador instalado al final del surco tuvo las mismas características en cuanto al ancho de garganta, y los tirantes hidráulicos (h_2) registrados fueron (0,048 m, 0,051 m y 0,053 m) respectivamente para cada evaluación, y los caudales de salida Q_{se} fueron (0,112, 0,119 y 0,129) m^3/min para cada evaluación, como se puede observar en los Cuadros 5 y 6.

Cuadro 5. Variables obtenidas en campo *in situ*

<i>Todas las evaluaciones</i>		
<i>Variables</i>	<i>Módulo</i>	<i>Unidades</i>
<i>L</i>	62,5	m
<i>n</i>	6	-
<i>Li</i>	12,5	m
<i>w</i>	0,42	m
<i>bc</i>	7,5	cm
<i>S</i>	0,018	-
<i>tco</i>	50	min

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 6. Variación de las alturas hidráulicas, los gastos y Zn

Variables	Módulo			Unidades
	1ra evaluación	2da evaluación	3ra evaluación	
<i>h1</i>	0,053	0,058	0,061	m
<i>Qo</i>	0,135	0,155	0,167	m ³ /min
<i>h2</i>	0,048	0,051	0,053	m
<i>Qse</i>	0,112	0,119	0,129	m ³ /min
<i>Zn</i>	0,204	0,222	0,230	m

Fuente: Elaboración propia

5.4.2.1.2 Fases de avance y receso del agua

Los tiempos del frente de avance del agua que llegó a cada estación fueron registrados con un cronómetro y los tiempos en el cual el agua desapareció del surco en cada estación (tiempo de receso) del mismo modo, fueron registrados con un cronómetro, una vez que se suprimió el caudal de ingreso a la entrada del surco, el Cuadro 7 muestra los datos registrados en campo, de las 3 evaluaciones realizadas en el cultivo haba.

El tiempo de riego empleado en cada una de las evaluaciones fue de 0,83 h o 50 min.

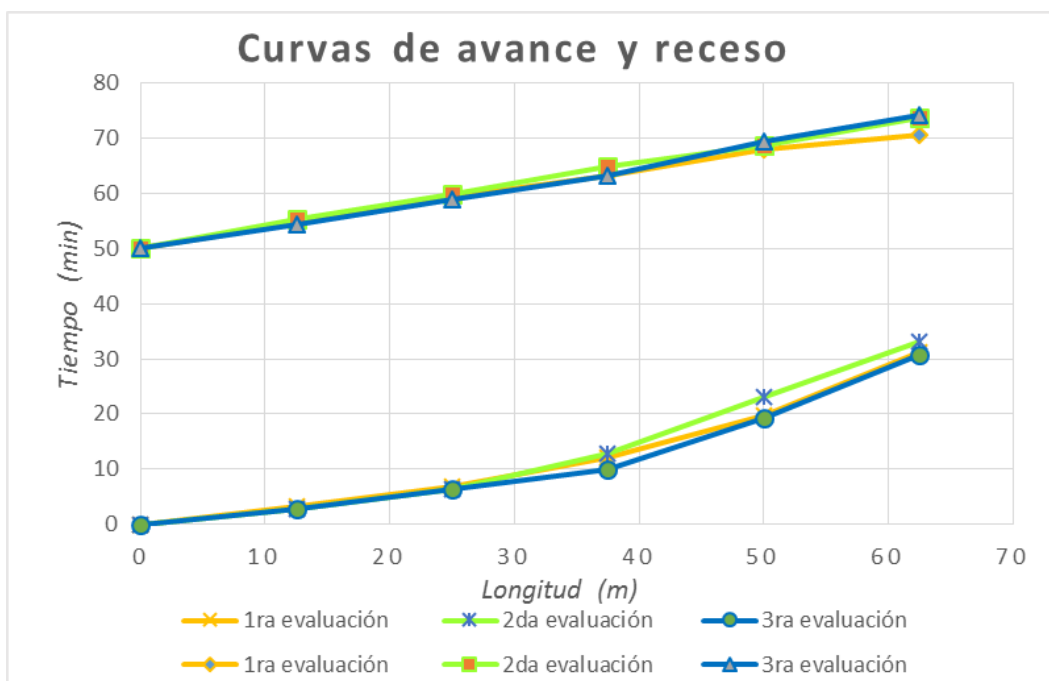
Cuadro 7. Datos registrados tiempo de avance y recesión

ESTACIÓN	LONGITUD (m)	PRIMERA EVALUACIÓN		SEGUNDA EVALUACIÓN		TERCERA EVALUACIÓN	
		TIEMPO DE AVANCE (min)	TIEMPO DE RECESO (min)	TIEMPO DE AVANCE (min)	TIEMPO DE RECESO (min)	TIEMPO DE AVANCE (min)	TIEMPO DE RECESO (min)
0	0	0	50	0	50	0	50
1	12,5	3,3	54,6	2,9	55,3	2,7	54,3
2	25	6,9	59,3	6,3	59,8	6,3	58,8
3	37,5	12,1	63,2	12,7	64,8	9,9	63,2
4	50	19,8	67,9	23,1	68,7	19,3	69,3
5	62,5	31,1	70,5	33,2	73,6	30,8	74,2

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 5 se puede apreciar el comportamiento del agua de las curvas de avance y las curvas de receso de las tres evaluaciones realizadas en el mismo surco, los tiempos que emplean en llegar a una determinada estación estas se asemejan entre cada

evaluación debido a la baja variación en modulo del caudal que ingresa al surco entre cada riego de la evaluación, una vez consumada los 50 minutos que es el tiempo de riego, se suprimió el caudal de ingreso al surco, a partir de ese momento con un cronometro se registró los tiempos en la cual el agua desaparecía del surco en cada estación. Estas curvas son muy parecidas unas a otras debido a que las evaluaciones se las realizo en el mismo surco, y la proximidad en módulo de los caudales empleados en cada evaluación



Fuente: Elaboración propia

Figura 5. Curvas de avance y receso de las 3 evaluaciones cultivo del haba.

Considerando el método de los dos puntos se determinó el tiempo de avance a la mitad del surco y al final del mismo en las 3 evaluaciones de riego como se puede apreciar en la cuadro 8.

Cuadro 8. Tiempo de avance a la mitad del surco y al final.

Longitud (m)		Tiempos de avance (min)	1ra evaluación	2da evaluación	3ra evaluación
L	62,5	Tav	31,1	33,2	30,8
L _{0.5}	31,25	Tav _{0.5}	9,2	10,1	7,9

Fuente: Elaboración propia

5.4.2.1.3 Sección transversal al inicio del surco

Se determinó las dimensiones del surco al inicio del mismo en las tres evaluaciones del riego como se detalla en el Cuadro 9.

Cuadro 9. Profundidades y anchos parciales del surco al inicio

1ra evaluación		2da evaluación		3ra evaluación	
Y (m)	T (m)	Y (m)	T (m)	Y (m)	T (m)
0	0	0	0	0	0
0,01	0,009	0,01	0,008	0,01	0,005
0,02	0,019	0,02	0,014	0,02	0,012
0,03	0,028	0,03	0,028	0,03	0,025
0,04	0,038	0,04	0,033	0,04	0,033
0,05	0,046	0,05	0,045	0,05	0,041
0,06	0,055	0,06	0,052	0,06	0,059

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a las ecuaciones ya descritas de manera previa procedemos a determinar las secciones transversales perpendiculares al flujo en las tres evaluaciones para el cultivo haba, donde en función a los datos del Cuadro 9, se determinó todas las variables descritas en el apartado 4.3.10.1 tal como se muestra resumido en el Cuadro 11.

5.4.2.1.4 Parámetros de la ecuación de Kostikov - Lewis

En función a los caudales de entrada y salida del surco se determinó las velocidades de infiltración básica de acuerdo a la ecuación 17, cuyos módulos fueron (0,000370, 0,000582 y 0,000606) $m^3/(min * m)$ en las tres evaluaciones respectivamente, el volumen almacenado en la superficie de toda la longitud del surco VL en cada evaluación fue (0,0544, 0,0566 y 0,0571) m^3/m respectivamente, y el volumen almacenado en la superficie a la mitad de la longitud del surco $VL_{0,5}$ en las tres evaluaciones fue (0,0321, 0,0328 y 0,0261) m^3/m , los parámetros a y K determinadas, fueron a (0,4338, 0,4589 y 0,5735) y k (0,0157, 0,0148 y 0,0106) para las tres evaluaciones respectivamente.

5.4.2.1.5 Contenidos volumétricos de agua en el suelo a cc y pmp

De acuerdo a los resultados emitidos del análisis de suelos en el Laboratorio de la Facultad de Agronomía en Suelo y Agua. (LAFASA) 2017 Cuadro 2, en función a la textura del suelo (Arena y arcilla) y la materia orgánica, se pudo determinar la humedad volumétrica a capacidad de campo y punto de marchites permanente con el programa Soil water:

$$\theta_{cc} = 34,50 \%$$

$$\theta_{pmp} = 17,90 \%$$

5.4.2.1.6 Volumen total de agua infiltrado en el surco

De manera previa se determinó la lámina infiltrada en cada estación en las tres evaluaciones del riego, estos valores se adjuntan en el Cuadro 10.

Cuadro 10. Lámina de agua infiltrada en cada estación

Zin m ³ /m		
1ra evaluación	2da evaluación	3ra evaluación
0,104	0,118	0,130
0,106	0,122	0,133
0,107	0,123	0,135
0,105	0,121	0,136
0,102	0,112	0,130
0,092	0,104	0,118

Fuente: Elaboración propia

En función a la ecuación 25, se determinó el volumen de agua total infiltrado en cada evaluación en el surco, cuyos módulos fueron V_{inf} (5,39, 6,13 y 6,85) m³.

5.4.2.1.7 Volumen aplicado

El volumen de agua aplicado al surco en cada una de las evaluaciones realizadas, determinado a través de la ecuación 24, la cual está en función al caudal que ingresa al

surco y el tiempo de riego, cuyos módulos fueron $Vol\ apl$ (6,76, 7,76 y 8,35) m^3 respectivamente.

5.4.2.1.8 Eficiencia de aplicación

Este parámetro se lo determino a través de la ecuación 28, la lámina neta que se empleó en cada evaluación del riego fue de (20,40, 22,20 y 23,00) cm respectivamente, cuyas laminas requeridas fue Z_{req} (0,086, 0,093 y 0,096) m^3/m , como la ecuación 28 está en función a la lámina requerida caudal de ingreso al surco y el tiempo de riego, las eficiencias de aplicación obtenidas fueron Ea (79,07, 74,89 y 72,14) % para cada evaluación. La cual nos indica que de 100 litros de agua aplicada solo (79,07, 74,89 y 72,14) litros es disponible para el cultivo es decir volumen de agua que se infiltro hasta la zona radicular, y el resto que se perdió por percolación profunda o por escorrentía superficial.

5.4.2.1.9 Perdidas por percolación profunda

Otro indicador de la calidad del riego calculado por la ecuación 29, cuyos módulos fueron $IDPR$ (0,672, 4,128 y 9,912) % lo que indica que de 100 litros aplicados de agua, (0,672, 4,128 y 9,912) litros se pierden por percolación profunda, es decir que el agua atravesó la zona del perfil del suelo conocida como agua disponible total entre los límites superior capacidad de campo e inferior punto de marchites permanente.

5.4.2.1.10 Perdidas por escorrentía superficial

Esta variable se la determino con la ecuación 30, cuyos valores fueron $ITWR$ (20,26, 20,98 y 17,95) % como en los anteriores casos de 100 litros de agua aplicada (20,26, 20,98 y 17,95) litros se pierde por escurrimiento superficial en nuestro caso debido a la ligera pendiente que presentan los surcos, cuyo valor es de 1,80 %.

5.4.2.1.11 Eficiencia de almacenamiento

En nuestro caso la eficiencia de almacenamiento es del 100 %, ya que es un riego completo.

5.4.2.1.12 Resumen de las evaluaciones realizadas en el cultivo haba.

En el Cuadro 11 se muestra todas las variables determinadas en las tres evaluaciones realizadas en este trabajo de investigación.

Cuadro 11. Resumen del proceso de evaluaciones realizadas en el cultivo haba

Variable	Módulo			Unidades
	1ra evaluación	2da evaluación	3ra evaluación	
a2	0,974	0,893	1,239	-
a1	0,852	0,642	1,925	-
σ_1	0,432	0,339	0,860	-
σ_2	1,974	1,893	2,239	-
$P_{0,5 _3}$	0,066	0,087	0,087	-
$P_{7 _6}$	0,110	0,263	0,269	-
γ_2	0,734	1,587	1,627	-
γ_1	1,168	22,844	26,213	-
C2	0,705	0,903	0,846	-
C1	1,249	11,491	6,777	-
Ao	0,007	0,018	0,017	m ²
r	0,569	0,582	0,509	-
fo	0,00037	0,00058	0,00061	m ³ /(min * m)
VL	0,054	0,057	0,057	m ³ /m
VL _{0,5}	0,032	0,033	0,026	m ³ /m
a	0,434	0,459	0,574	-
σ_z	0,781	0,768	0,754	-
K	0,016	0,015	0,011	-
Zreq	0,086	0,093	0,096	m ³ /m
Vinf	5,395	6,135	6,855	m ³
Vol apl	6,766	7,764	8,355	m ³
Ea	79,069	74,889	72,136	%
IDPR	0,672	4,128	9,912	%
ITWR	20,258	20,983	17,952	%
fo	52,841	83,109	86,537	mm/h

Fuente: Elaboración propia

5.4.2.2 Evaluaciones del riego cultivo arveja

5.4.2.2.1 Caudales de ingreso y salida en el surco cultivo arveja

De acuerdo a los datos obtenidos en campo en la evaluación del riego, al inicio del surco y al final del mismo se empotraron dos aforadores RBC, de ancho de solera bc = 7,50 cm, cuya altura hidráulica en promedio h₁ al inicio del surco fueron (0,060, 0,061 y 0,061)

m en las tres evaluaciones respectivamente, los caudales promedio para estas cargas hidráulicas y en función al ancho de solera del aforador de acuerdo a Bos *et al*, (1986) fueron Q_o (0,165, 0,171 y 0,174) m^3/min respectivamente, el aforador instalado al final del surco tuvo las mismas características en cuanto al ancho de garganta, y los tirantes hidráulicos (h_2) registrados fueron (0,055, 0,057 y 0,057) m respectivamente para cada evaluación, y los caudales de salida Q_{se} fueron (0,144, 0,151 y 0,153) m^3/min para cada evaluación, como se puede observar en los Cuadros 12 y 13.

Cuadro 12. Variables obtenidas en campo (*in situ*)

Todas las evaluaciones		
VARIABLES	Módulo	unidades
L	45,6	m
n	6	-
L_i	9,12	m
w	0,302	m
bc	7,5	cm
S	0,018	-
tco	45	min

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 13. Variación de las alturas hidráulicas, los gastos y Z_n

Variables	Módulo			Unidades
	1ra evaluación	2da evaluación	3ra evaluación	
h_1	0,060	0,061	0,061	m
Q_o	0,165	0,171	0,174	m^3/min
h_2	0,055	0,057	0,057	m
Q_{se}	0,144	0,151	0,153	m^3/min
Z_n	0,312	0,332	0,294	m

Fuente: Elaboración propia

5.4.2.2.2 Fases de avance y receso del agua

Los tiempos del frente de avance del agua que llego a cada estación fueron registrados con un cronometro y los tiempos en el cual el agua desapareció del surco en cada estación (tiempo de receso) del mismo modo fueron registrados con un cronometro, una vez que se suprimió el caudal de ingreso a la entrada del surco, el Cuadro 14 muestra los datos registrados en campo, de las 3 evaluaciones realizadas en el cultivo de la arveja.

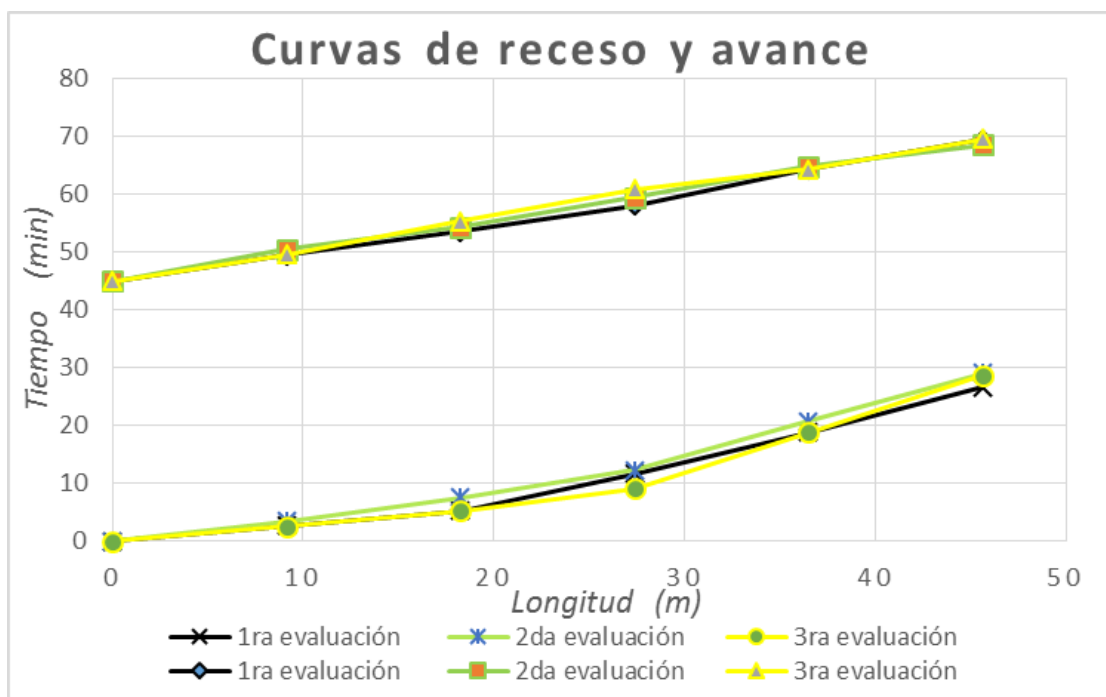
El tiempo de riego empleado en cada una de las evaluaciones fue de 0,75 h o 45 min.

Cuadro 14. Datos registrados tiempo de avance y recesión

ESTACIÓN	LONGITUD (m)	PRIMERA EVALUACIÓN		SEGUNDA EVALUACIÓN		TERCERA EVALUACIÓN	
		TIEMPO DE AVANCE (min)	TIEMPO DE RECESO (min)	TIEMPO DE AVANCE (min)	TIEMPO DE RECESO (min)	TIEMPO DE AVANCE (min)	TIEMPO DE RECESO (min)
0	0	0	45	0	45	0	45
1	9,12	2,7	49,5	3,5	50,5	2,6	49,6
2	18,24	5,3	53,6	7,6	54,3	5,3	55,3
3	27,36	11,7	58,1	12,3	59,5	9,1	60,8
4	36,48	18,8	64,3	20,8	64,8	18,9	64,3
5	45,6	26,7	69,5	29,1	68,6	28,7	69,6

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 6 se puede apreciar el comportamiento del agua de las curvas de avance y las curvas de receso de las tres evaluaciones realizadas, los tiempos que emplean en llegar a una determinada estación estas se asemejan entre cada evaluación debido a la baja variación en modulo del caudal que ingresa al surco entre cada riego de la evaluación, una vez consumada los 45 minutos que es el tiempo de riego, se suprimió el caudal de ingreso al surco, a partir de ese momento con un cronometro se registró los tiempos en la cual el agua desaparecía del surco en cada estación, estas curvas son muy parecidas unas a otras debido a que las evaluaciones se las realizo en el mismo surco.



Fuente: Elaboración propia

Figura 6. Curvas de avance y receso de las 3 evaluaciones cultivo de la arveja.

Considerando el método de los dos puntos se determinó el tiempo de avance a la mitad del surco y al final del mismo en las 3 evaluaciones de riego del cultivo arveja como se puede apreciar en la Cuadro 15.

Cuadro 15. Tiempo de avance a la mitad del surco y al final cultivo arveja.

Longitud (m)		Tiempos de avance (min)	1ra evaluación	2da evaluación	3ra evaluación
L	45,6	Tav	26,7	29,1	28,7
L _{0.5}	22,8	Tav _{0.5}	9,2	8,7	8,2

Fuente: Elaboración propia

5.4.2.2.3 Sección transversal al inicio del surco

Se determinó las dimensiones del surco al inicio del mismo en las tres evaluaciones del riego como se detalla en el cuadro 16.

Cuadro 16. Profundidades y anchos parciales del surco al inicio.

1ra evaluación		2da evaluación		3ra evaluación	
Y (m)	T (m)	Y (m)	T (m)	Y (m)	T (m)
0	0	0	0	0	0
0,01	0,012	0,01	0,009	0,01	0,011
0,02	0,017	0,02	0,018	0,02	0,021
0,03	0,025	0,03	0,022	0,03	0,035
0,04	0,032	0,04	0,034	0,04	0,042
0,05	0,044	0,05	0,047	0,05	0,053
0,06	0,059	0,06	0,06	0,06	0,06

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a las ecuaciones ya descritas de manera previa procedemos a determinar las secciones transversales perpendiculares al flujo en las tres evaluaciones para el cultivo de arveja, donde en función a los datos del Cuadro 16, se determinó todas las variables descritas en la sección 4.3.10.1 tal como se muestra en el Cuadro 18.

5.4.2.2.4 Parámetros de la ecuación de Kostiakov - Lewis

En función a los caudales de entrada y salida del surco se determinó las velocidades de infiltración básica de acuerdo a la ecuación 17, cuyos módulos fueron (0,00048, 0,00044 y 0,00045) $m^3/(min * m)$ en las tres evaluaciones del riego en el cultivo arveja respectivamente, el volumen de agua almacenado en la superficie de toda la longitud del surco VL en cada evaluación fue (0,076, 0,089 y 0,086) m^3/m respectivamente, y el volumen almacenado en la superficie a la mitad de la longitud del surco $VL_{0,5}$ en las tres evaluaciones fue (0,051, 0,050 y 0,045) m^3/m , los parámetros a y K determinadas, fueron a (0,374, 0,467 y 0,513) y k (0,028, 0,024 y 0,020) para las tres evaluaciones respectivamente.

5.4.2.2.5 Contenidos volumétricos de agua en el suelo a cc y pmp

Los resultados emitidos del análisis de suelos en el Laboratorio de la Facultad de Agronomía en Suelo y Agua. (LAFASA) 2017 Cuadro 2, y en función a la textura del suelo (Arena y arcilla) y la materia orgánica, se pudo determinar la humedad volumétrica a capacidad de campo y punto de marchites permanente con el programa Soil wáter y estos fueron:

$$\theta_{CC} = 34.5 \%$$

$$\theta_{pmp} = 17.9 \%$$

5.4.2.2.6 Volumen total de agua infiltrado en el surco

De manera previa se determinó la lámina de agua infiltrada en cada estación en las tres evaluaciones del riego en el cultivo de arveja, estos valores se adjuntan en el Cuadro 17.

Cuadro 17. Lámina de agua infiltrada en cada estación

Zin m ³ /m		
1ra evaluación	2da evaluación	3ra evaluación
0,150	0,161	0,164
0,153	0,165	0,168
0,156	0,164	0,175
0,152	0,165	0,178
0,151	0,159	0,165
0,145	0,150	0,155

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la ecuación 25, se determinó el volumen de agua total infiltrado en cada evaluación en el surco, cuyos módulos fueron V_{inf} (5,777, 6,156 y 6,426) m³.

5.4.2.2.7 Volumen aplicado

El volumen de agua aplicado al surco en cada una de las evaluaciones realizadas, determinado a través de la ecuación 24, la cual está en función al caudal que ingresa al surco y el tiempo de riego, cuyos módulos fueron Vol_{apl} (7,447, 7,687 y 7,822) m³ respectivamente.

5.4.2.2.8 Eficiencia de aplicación

Este parámetro se lo determino a través de la ecuación 28, la lámina neta que se empleó en cada evaluación del riego fue de (0,312, 0,332 y 0,294) cm respectivamente, en consecuencia las láminas requeridas fueron Z_{req} (0,094, 0,100 y 0,089) m³/m, como la ecuación 28 está en función a la lámina requerida caudal de ingreso al surco y el tiempo

de riego, las eficiencias de aplicación obtenidas en las evaluaciones realizadas en el cultivo de la arveja fueron Ea (57,74, 59,44 y 51,78) % respectivamente. Las cuales indican que de 100 litros de agua aplicada solo (57,74, 59,44 y 51,78) litros es disponible para el cultivo es decir volumen de agua que se infiltró hasta la zona radicular, y el resto que se perdió por percolación profunda o por escorrentía superficial.

5.4.2.2.9 Perdidas por percolación profunda

Otro indicador de la calidad del riego calculado por la ecuación 29, cuyos módulos fueron $IDPR$ (19,85, 20,64 y 30,36) % las cuales nos indican que de 100 litros aplicados de agua, (19,85, 20,64 y 30,36) litros se pierden por percolación profunda, es decir que el agua atravesó la zona del perfil del suelo conocida como agua disponible total entre los límites superior capacidad de campo e inferior punto de marchites permanente.

5.4.2.2.10 Perdidas por escorrentía superficial

Esta variable se la determinó con la ecuación 30, cuyos valores fueron $ITWR$ (22,42, 19,92 y 17,84) % como en los anteriores casos de 100 litros de agua aplicada (22,42, 19,92 y 17,84) litros se pierde por escurrimiento superficial en nuestro caso debido a la ligera pendiente que presentan los surcos, cuyo valor es de 1,80 %.

5.4.2.2.11 Eficiencia de almacenamiento

En nuestro caso la eficiencia de almacenamiento es del 100 %, ya que es un riego completo.

5.4.2.2.12 Resumen de las evaluaciones realizadas en el cultivo arveja.

En el cuadro 18 se muestra todas las variables obtenidas en las tres evaluaciones realizadas.

Cuadro 18. Resumen del proceso de evaluaciones realizadas en el cultivo arveja

Variables	Módulo			Unidades
	1ra evaluación	2da evaluación	3ra evaluación	
a2	1,239	1,447	0,778	-
a1	1,925	3,521	0,535	-
σ_1	0,860	1,439	0,301	-
σ_2	2,239	2,447	1,778	-
$P_{0.5 _3}$	0,087	0,088	0,091	-
$P_T _6$	0,269	0,269	0,269	-
γ_2	1,632	1,621	1,567	-
γ_1	26,541	25,792	22,088	-
C2	0,847	0,816	0,927	-
C1	6,844	5,183	13,190	-
Ao	0,017	0,016	0,019	m ²
r	0,651	0,574	0,553	-
fo	0,00048	0,00044	0,00045	m ³ /(min * m)
VL	0,076	0,089	0,086	m ³ /m
VL _{0.5}	0,051	0,050	0,045	m ³ /m
a	0,374	0,467	0,513	-
σ_z	0,786	0,768	0,758	-
K	0,028	0,024	0,020	-
Zreq	0,094	0,100	0,089	m ³ /m
Vinf	5,777	6,156	6,426	m ³
Vol apl	7,447	7,687	7,822	m ³
Ea	57,736	59,442	51,797	%
IDPR	19,847	20,640	30,361	%
ITWR	22,417	19,918	17,842	%
fo	94,606	86,790	88,620	mm/h

Fuente: Elaboración propia

Como puede observarse en el Cuadro 11 y 18 los parámetros de evaluación realizadas en el cultivo del haba y arveja respectivamente, la eficiencia de aplicación en los tres riegos difieren unos de otros esto debido a que están en función a la lámina requerida, al caudal y tiempo de riego. Esta variación se debe principalmente a que los caudales y la lámina de riego requerida fueron diferentes para cada evaluación.

5.4.3 Evaluaciones realizadas con el programa winSRFR en el cultivo haba y arveja

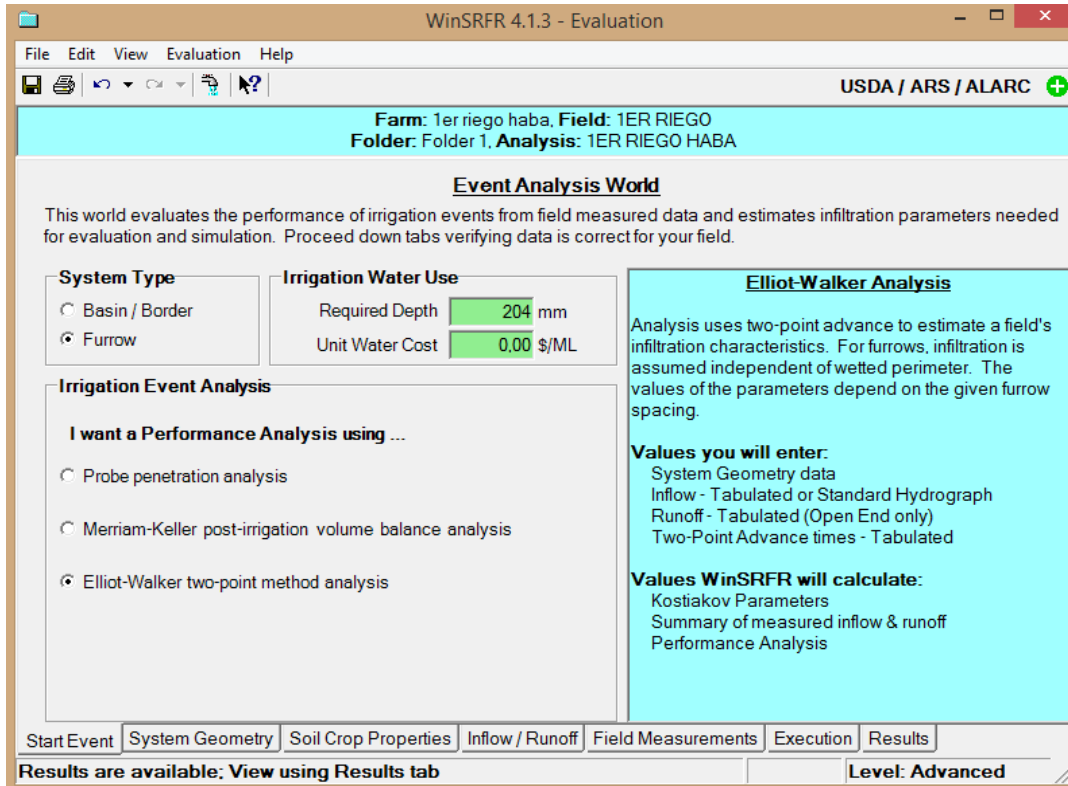
Para poder realizar la evaluación del riego con el programa winSRFR, se requieren de manera previa datos de una evaluación realizada en campo en este trabajo se realizaron tres evaluaciones en campo en las parcelas experimentales de haba y arveja, la evaluación se la realizo del siguiente modo secuencial.

5.4.3.1 Evaluación de los riegos en el cultivo haba con el programa winSRFR

Como se mencionó en párrafos anteriores en el interfaz del software winSRFR presenta varias herramientas en las cuales se puede trabajar de acuerdo al objetivo que se esté persiguiendo, en este caso específico en la evaluación, se empleó la pestaña *Event Analysis* (análisis de eventos), a la cual de manera secuencial y ordenada se le introdujo las variables correspondientes, se mostrara a detalle el análisis de la evaluación de la primera evaluación del riego en el cultivo del haba, ya que el procedimiento para las demás evaluaciones es el mismo para ambos cultivos.

5.4.3.1.1 Start Event (Comienzo del evento)

En el caso concreto en la opción *System type*, se eligió *furrow* (surcos) ya que la evaluación se la realizó en este tipo de estructura, en la opción *Required Depht* (Lamina requerida) esta se la determino con el software CROPWAT 8.0, en este caso fueron (20,4, 22,2 y 23,0) cm, respectivamente para las 3 evaluaciones realizadas, en el caso de *Irrigation Event Analisis* como se puede apreciar en la Figura 7, presenta tres alternativas de acuerdo al criterio de evaluación del investigador, en el caso en cuestión se optó por la *tercera Elliot – Walker two – point method analysis*, debido a que después de haber realizado varias pruebas los investigadores (*Elliot – Walker*) , recomiendan que es el mejor método para realizar una evaluación.

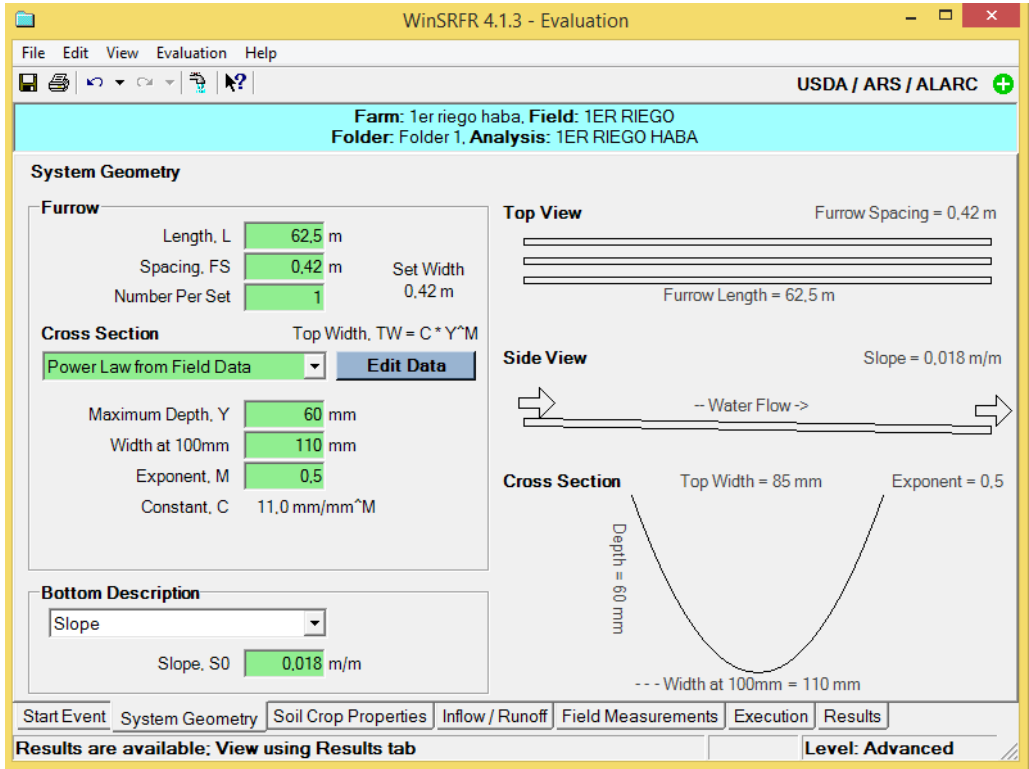


Fuente: Programa winSRFR

Figura 7. Pestaña de trabajo *Start Event*

5.4.3.1.2 System Geometry (Geometría del sistema)

En la Figura 8 se observa las características de esta pestaña, la opción *System Geometry* (Geometría del sistema) en el caso *Furrow* (Surcos) se le introduce los datos de campo como ser la longitud del surco en este caso 62,5 m, el espacio entre surcos que fue de 0,42 m, en la pestaña *Cross Section* (sección transversal) de acuerdo al cuadro 9, la profundidad máxima del surco en todos los casos fue 60 mm, y el espejo de agua total del surco para cada riego (evaluación) fue de (110, 104 y 118) mm, se empleó un perfilómetro para determinar las profundidades alternativas del surco para posteriormente determinar la sección transversal perpendicular al flujo al inicio del surco como indica el cuadro 19.



Fuente: Programa winSRFR

Figura 8. Pestaña de trabajo *System Geometry*

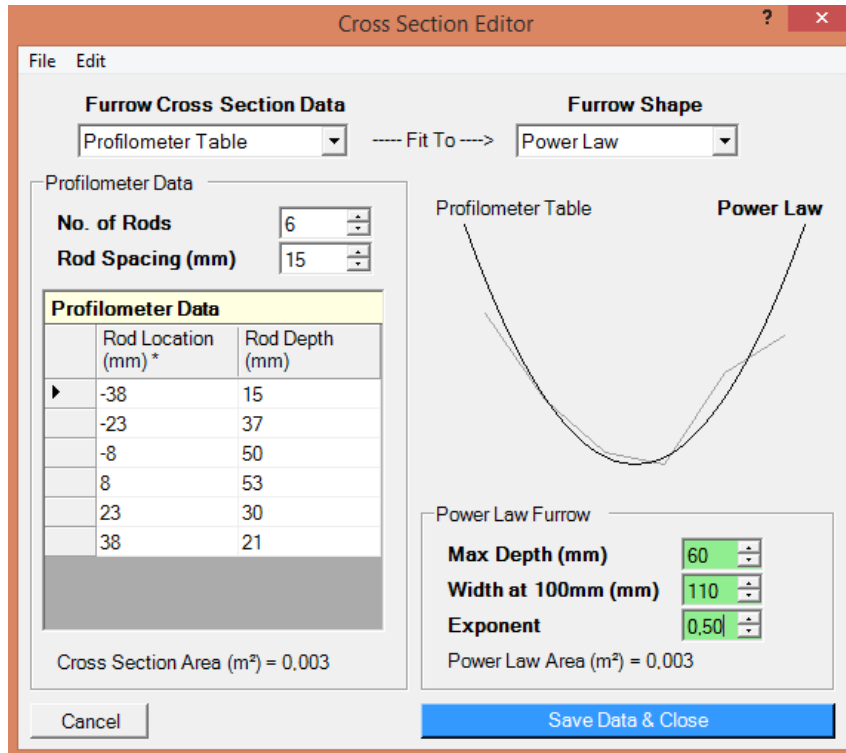
Cuadro 19. Profundidades alternativas

Cultivo Haba (PERFILÓMETRO)			
Profundidades	1ra evaluación	2da evaluación	3ra evaluación
h1 (mm)	15,3	11,8	14,3
h2 (mm)	37,2	22,4	31,2
h3 (mm)	49,8	45,9	57,3
h4 (mm)	53,2	57,3	36,2
h5 (mm)	30,3	27,6	22,8
h6 (mm)	20,9	13,8	12,1

Fuente: Elaboración propia

En la opción *Cross Section* (sección transversal) la pestaña *Edit Data* (Editar datos) como muestra la Figura 9, se introdujo los datos que están adjuntos en el cuadro 19.

Se empleó 6 varillas del perfilómetro cuya distancia entre cada varilla fue de 15 mm, una vez introduciendo los datos correspondientes se presiona el botón *Save Data & Close* para que se guarde lo introducido.



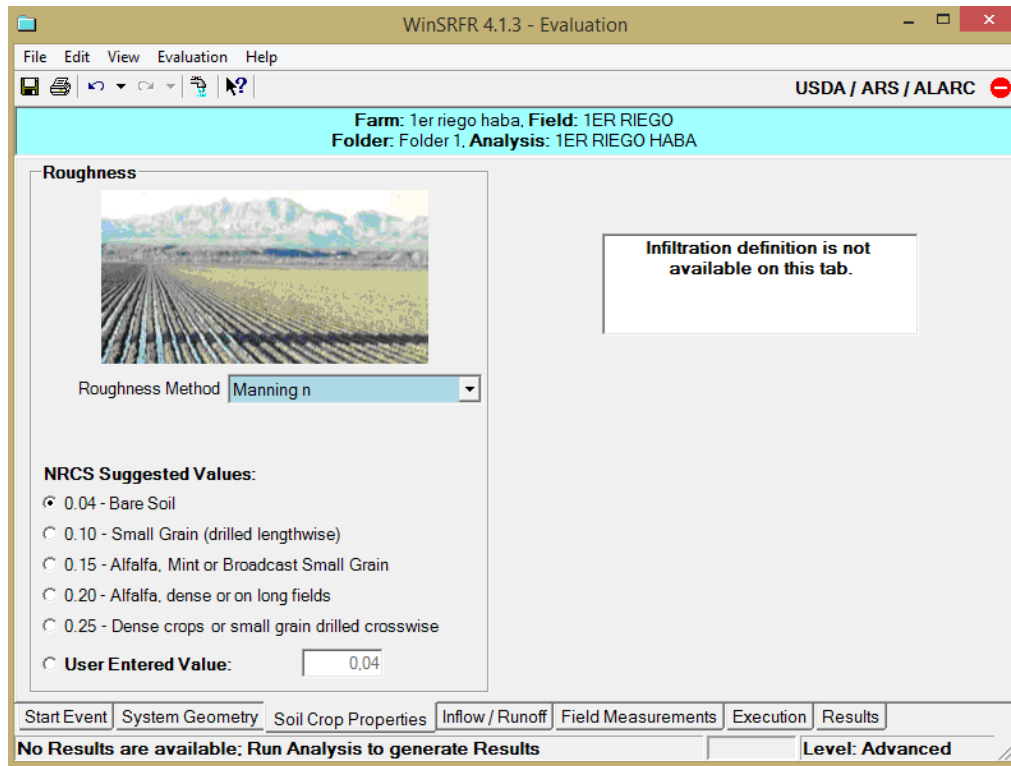
Fuente: Programa winSRFR

Figura 9. Pestaña de trabajo *Edit Data*

Y por último en la pestaña *Bottom Description* (Descripción inferior) se informa el desnivel entre los extremos del surco en este caso fue de 1,80 %.

5.4.3.1.3 Soil Crop Properties (propiedades del cultivo de suelo)

Esta pestaña referente a las propiedades del suelo cuyo valor del coeficiente n de Manning se seleccionó en función al cultivo y la altura de las plantas respecto al suelo, el programa nos proporciona una serie de opciones para el coeficiente de rugosidad y la que mejor se ajusta es la opción *Bare Soil* (Suelo desnudo) para nuestras condiciones de riego ya que el cultivo haba en las condiciones de la evaluación fue realizada en las etapas iniciales de su desarrollo, como se muestra en la Figura 10.



Fuente: Programa winSRFR

Figura 10. Pestaña de trabajo Soil Crop Properties

5.4.3.1.4 Inflow/Runnoff (Entrada y salida del caudal)

En el periodo de tiempo considerado como tiempo de riego en este caso 50 minutos, el caudal de ingreso al surco durante este intervalo de tiempo no se mantuvo constante, razón por la cual se registró el caudal de ingreso cada 5 minutos, como se muestra en el Cuadro 20.

Cuadro 20. Caudales de entrada al inicio del surco

Caudal de ingreso al surco Q_e (l/s)			
Tiempo (min)	1ra evaluación	2da evaluación	3ra evaluación
0	2,224	2,8363	2,9233
5	2,189	2,7342	2,6748
10	2,357	2,3843	2,7343
15	2,326	2,4679	2,7679
20	2,252	2,7968	2,9378
25	2,225	2,5875	2,8277
30	2,286	2,6352	2,6782
35	2,215	2,4332	2,8332
40	2,248	2,7682	2,7882
45	2,317	2,2526	2,6343
50	2,169	2,4867	2,8392

Fuente: Elaboración propia

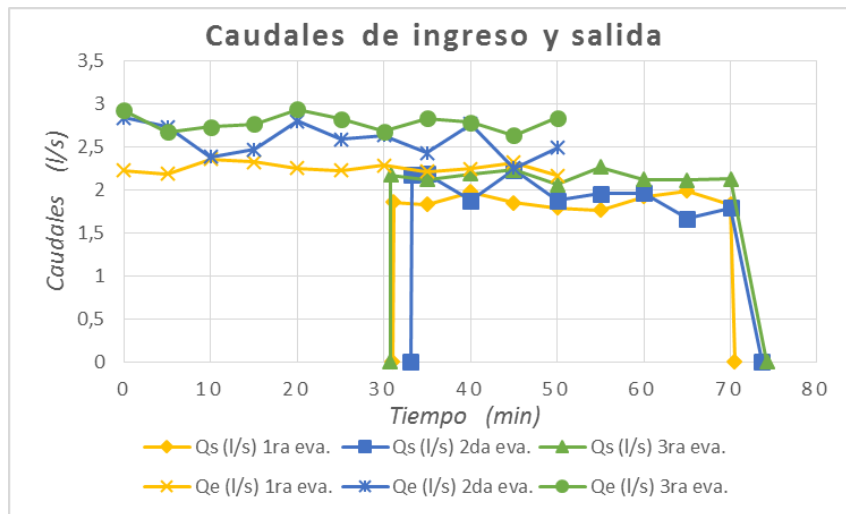
Una vez que el frente de avance llegó al final del surco en los tres riegos, del mismo modo que en el párrafo anterior, en función a la variabilidad del caudal de ingreso y por el recorrido del frente de avance del agua por toda su longitud del surco, el caudal de salida no se mantiene constante es por esta razón que se registra los caudales de salida cada 5 minutos hasta que el agua desaparece en la totalidad de la longitud del surco tal como muestra el Cuadro 21.

Cuadro 21. Caudales de salida al final del surco

Caudal de salida al final del surco Q_s (l/s)					
1ra evaluación		2da evaluación		3ra evaluación	
Tiempo (min)	Q_s (l/s)	Tiempo (min)	Q_s (l/s)	Tiempo (min)	Q_s (l/s)
31	0	33,1	0	30,7	0
31,1	1,857	33,2	2,180	30,8	2,176
35	1,834	35	2,184	35	2,124
40	1,975	40	1,875	40	2,186
45	1,854	45	2,235	45	2,235
50	1,794	50	1,878	50	2,063
55	1,767	55	1,955	55	2,267
60	1,923	60	1,965	60	2,123
65	1,993	65	1,665	65	2,113
70	1,834	70	1,795	70	2,125
70,5	0	73,6	0	74,2	0

Fuente: Elaboración propia

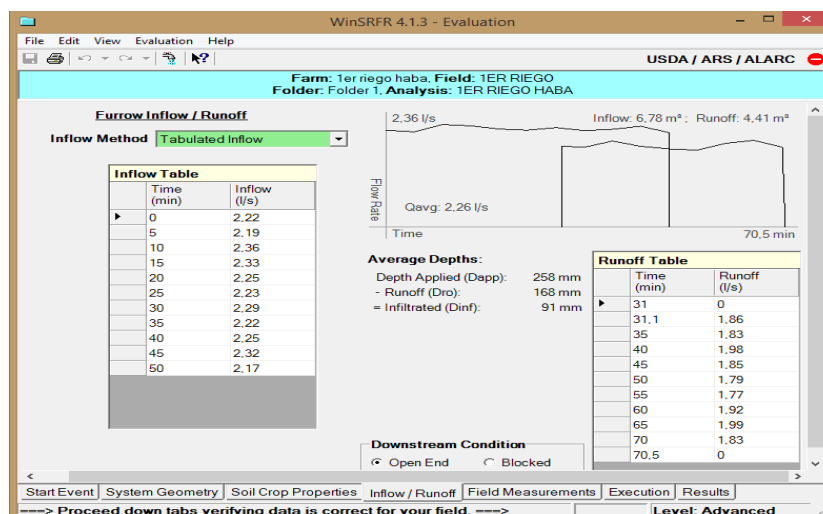
En la Figura 11 se puede apreciar los hidrogramas de los caudales de ingreso y salida de acuerdo a los datos adjuntos en los cuadros 20 y 21 respecto al surco en cuestión:



Fuente: Elaboración propia

Figura 11. Hidrogramas de ingreso y salida del agua en las 3 evaluaciones del riego cultivo haba

En esta pestaña *Inflow/Runnoff* caudal de ingreso y salida del agua, el programa requiere que se le introduzca datos obtenidos en campo en este caso los valores adjuntos en los cuadros 20 y 21 respectivamente como se observa en la Figura 12, una vez insertado los datos de caudal ingreso y salida se debe dejar abierto el surco al final de la misma como indica la pestaña (*Open End*).



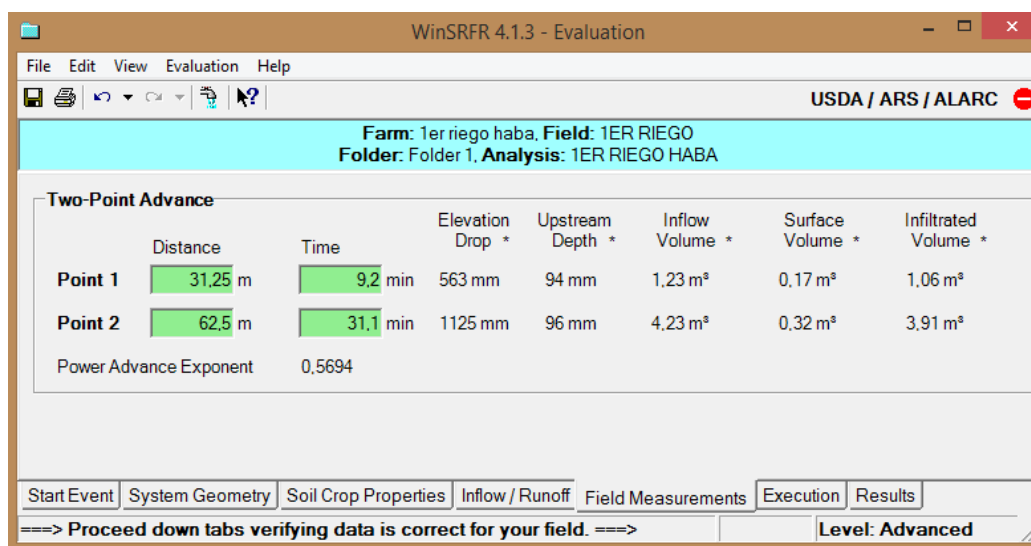
Fuente: Programa winSRFR

Figura 12. Pestaña de trabajo *Inflow/Runnoff*

En la Figura 12 se observa los hidrogramas en función a los caudales de ingreso y salida del surco en la primera evaluación del riego en el cultivo del haba.

5.4.3.1.5 Field Measurements (Mediciones de campo)

En este apartado se aplica el criterio de los dos puntos de *Elliot – Walker*, por lo tanto de acuerdo al Cuadro 8, se introdujeron los datos en la pestaña *Field Measurements*, en la opción *Two – Point Advance* (Avance de dos puntos) como se muestra en la Figura 13.



Fuente: Programa winSRFR

Figura 13. Pestaña de trabajo *Field Measurements*

5.4.3.1.6 Execution (Ejecución)

Una vez verificado que no exista error en los datos introducidos se procede a pinchar el botón *Verify and Summarize Analysis* (verificar y resumir el análisis).

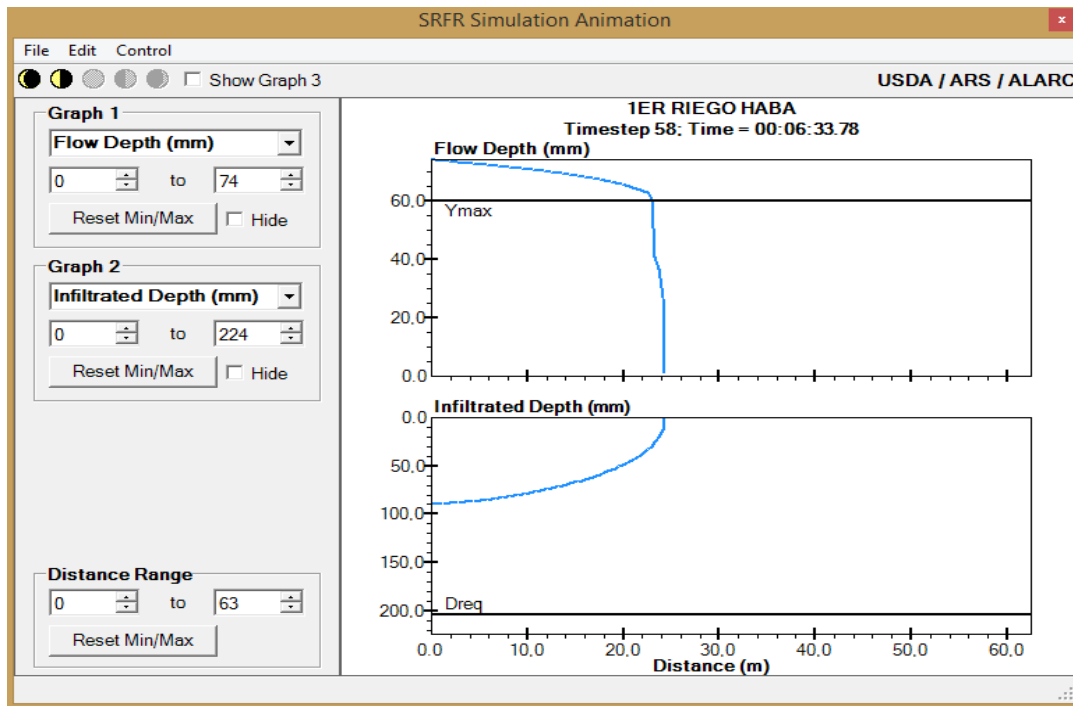
La velocidad de infiltración constante (*Steady infiltration rate*) b (52,84, 83,11 y 86,54) mm/h para cada evaluación respectivamente, fue determinado en función al caudal de ingreso y salida del agua y la distancia entre surcos, el programa consideró el factor de forma entre los valores 0,75 y 0,80, en función a estas variables se determinó los parámetros de evaluación adjuntados en el cuadro 22, la opción *Simulation Solution Model* (Modelo de solución de simulación) considerado fue el *Kinematic – Wave* (onda cinemática) y la *cell density* (densidad celular) fue el más extrafino 80.

Cuadro 22. Parámetros de evaluación emitidos por el programa winSRFR

Datos emitidos por el programa winSRFR				
Variables	1ra evaluación	2da evaluación	3ra evaluación	Unidades
Ao	0,0068	0,0077	0,0079	m2
Vol apl	6,78	7,72	8,33	m3
Vol inf	2,38	3,21	2,98	m3
r	0,569	0,582	0,509	
a	0,451	0,373	0,5	
k	228,154	242,371	247,887	mm/hr^a
EA	78	73	72	%
DP	10	15	19	%
RO	12	12	9	%

Fuente: Programa winSRFR

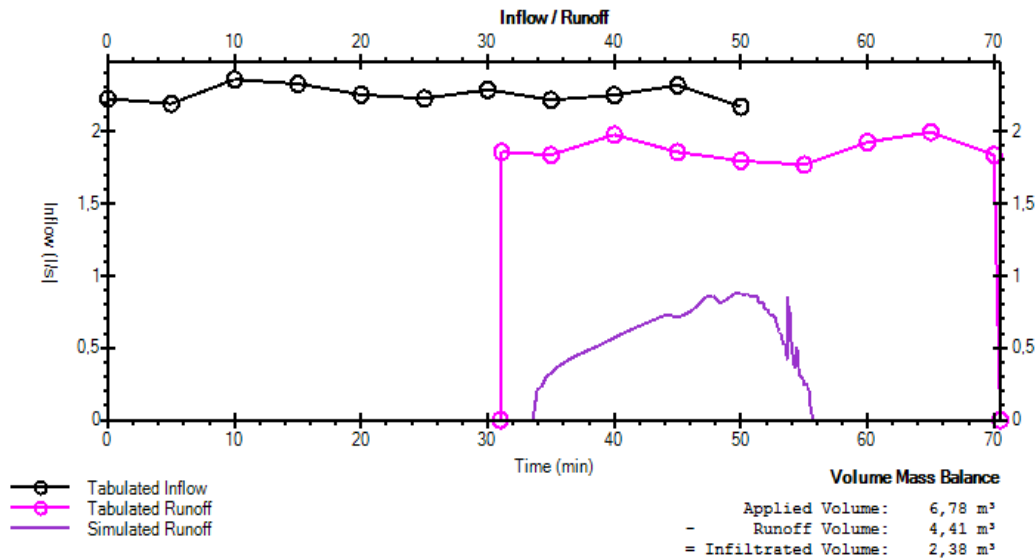
En la Figura 14 se puede apreciar el movimiento del agua y la infiltración en el suelo.



Fuente: Programa winSRFR

Figura 14. Movimiento del agua e infiltración en el perfil del suelo

Los hidrogramas que se muestran en la Figura 15, son las del caudal de entrada y las del caudal de salida de la primera evaluación del cultivo haba, por último el programa winSRFR nos proporciona una curva ajustada de la esorrentía (color morado).



Fuente: Programa winSRFR

Figura 15. Hidrogramas de los caudales emitidos por el programa *winSRFR*

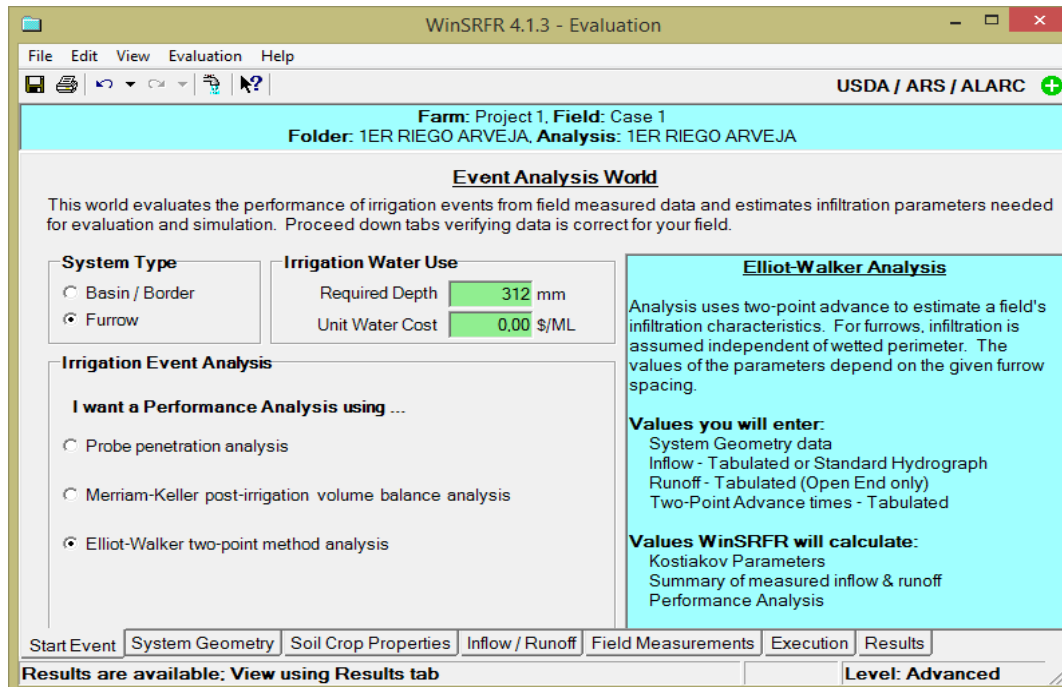
5.4.3.2 Evaluación de los riegos en el cultivo arveja con el programa winSRFR

El procedimiento que se siguió para evaluar el riego con el programa winSRFR en el cultivo de la arveja y en todas las evaluaciones que se ejecutó en este trabajo de investigación fue semejante al punto 5.4.3.1, en este acápite se mostrara la evaluación del primer riego en el cultivo de la arveja.

En el menú del software winSRFR en la herramienta *Event Analysis* (análisis de eventos), en la cual de manera secuencial y ordenada se le introdujo las variables correspondientes para realizar la evaluación de los riegos.

5.4.3.2.1 Start Event (Comienzo del evento)

En la opción *System type*, se eligió *furrow* (surcos) ya que la evaluación se la realizó en este tipo de estructura, en la opción *Required Depht* (Lamina requerida) esta se la determino con el software CROPWAT 8.0, en este caso fue de (31,20, 33,20 y 29,40) cm, en el caso de *Irrigation Event Analisis* como se puede apreciar en la Figura 16, presenta tres alternativas de acuerdo al criterio de evaluación del investigador, en el caso en cuestión se optó por la *tercera Elliot – Walker two – point method analysis*, debido a que después de haber realizado varias pruebas los investigadores (*Elliot – Walker*), recomiendan que es el mejor método para realizar una evaluación.

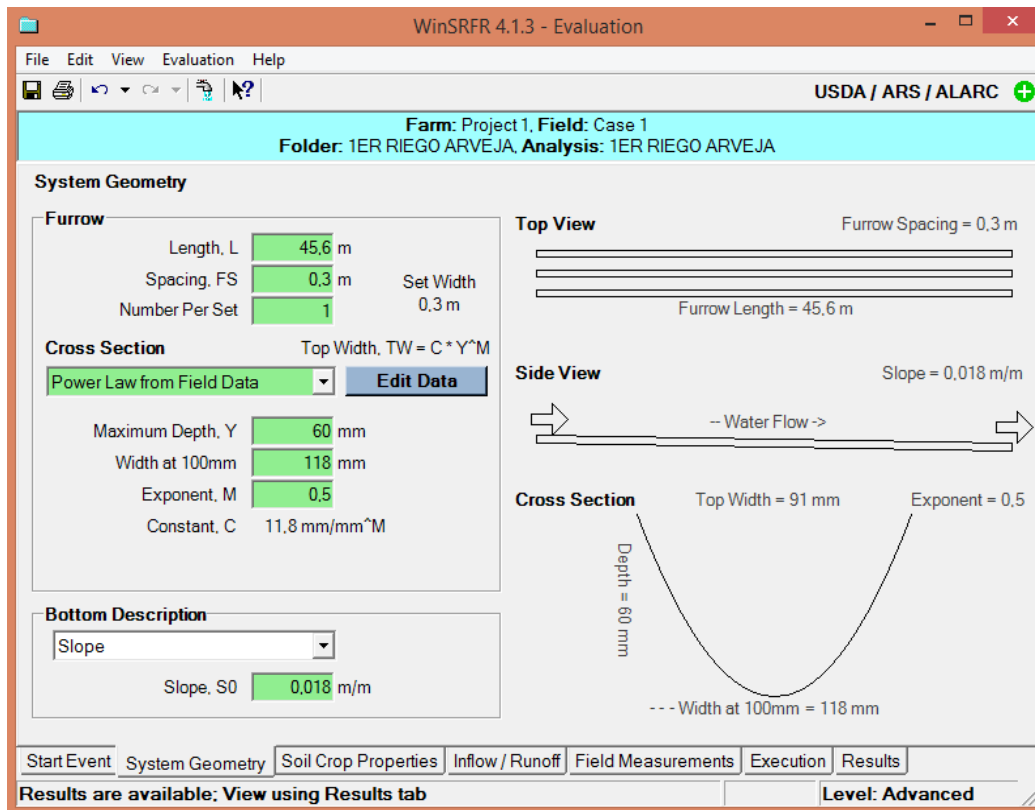


Fuente: Programa winSRFR

Figura 16. Pestaña de trabajo **Start Event**

5.4.3.2.2 System Geometry (Geometría del sistema)

En la Figura 17 se observa las características de esta pestaña, la opción *System Geometry* (Geometría del sistema) en el caso *Furrow* (Surcos) se le introduce los datos de campo como ser la longitud del surco en este caso 45,60 m, el espacio entre surcos que fue de 0,302 m, en la pestaña *Cross Section* (sección transversal) de acuerdo al cuadro 16, la profundidad máxima del surco es de 56,40 mm en cuyo caso para el programa se redondeó a 60 mm, y el espejo de agua total del surco fue de (118, 120 y 120) mm, se empleó un perfilometro para determinar las profundidades alternativas del surco para posteriormente determinar la sección transversal perpendicular al flujo al inicio del surco como indica el cuadro 23.



Fuente: Programa winSRFR

Figura 17. Pestaña de trabajo **System Geometry**

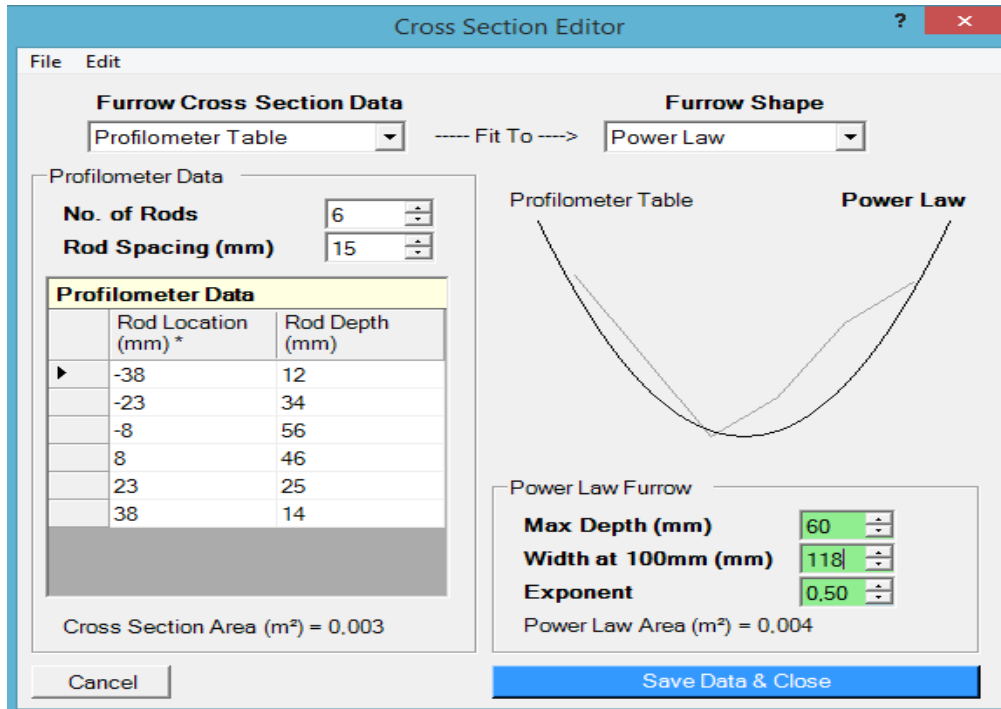
Cuadro 23. Profundidades alternativas

Cultivo Arveja			
Profundidades	1ra evaluación	2da evaluación	3ra evaluación
h1 (mm)	11,5	12,5	13,6
h2 (mm)	33,8	31,6	24,3
h3 (mm)	56,4	60	48,1
h4 (mm)	45,6	46,7	59,8
h5 (mm)	24,5	27,9	35,9
h6 (mm)	13,5	13,4	13,7

Fuente: Elaboración propia

En la opción *Cross Section* (sección transversal) la pestaña *Edit Data* (Editar datos) como muestra la Figura 18, se introdujo los datos que están adjuntos en el cuadro 23.

Se empleó 6 varillas del perfilometro cuya distancia entre cada varilla fue de 15 mm, una vez introduciendo los datos correspondientes se presiona el botón *Save Data & Close* para que se guarde lo introducido.



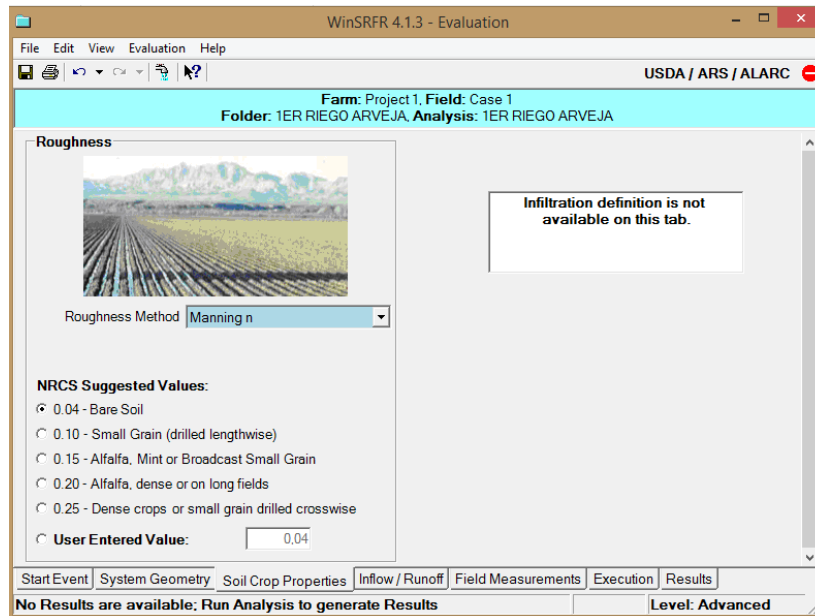
Fuente: Programa winSRFR

Figura 18. Pestaña de trabajo *Edit Data*

Y por último en la Figura 17 en la pestaña *Bottom Description* (Descripción inferior) se informa el desnivel entre los extremos del surco en este caso fue de 1,80 %.

5.4.3.2.3 Soil Crop Properties (propiedades del cultivo de suelo)

Esta pestaña referente a las propiedades del suelo cuyo valor del coeficiente n de Manning se seleccionó en función al cultivo y la altura de las plantas respecto al suelo, el programa nos proporciona una serie de opciones para el coeficiente de rugosidad y la que mejor se ajusta es la opción *Bare Soil* (Suelo desnudo) para nuestras condiciones de riego ya que el cultivo arveja en las condiciones de la evaluación fue realizada en las etapas iniciales de desarrollo del cultivo, como se muestra en la Figura 19.



Fuente: Programa winSRFR

Figura 19. Pestaña de trabajo **Soil Crop Properties**

5.4.3.2.4 Inflow/Runoff (Entrada y salida del caudal)

En el periodo de tiempo considerado como tiempo de riego en este caso 45 minutos, el caudal de ingreso al surco durante este intervalo de tiempo no se mantuvo constante, razón por la cual se registró el caudal de ingreso cada 5 minutos, como se muestra en el cuadro 24.

Cuadro 24. Caudales de entrada al inicio del surco

Caudal de ingreso al surco Q_e (l/s)			
Tiempo (min)	1ra evaluación	2da evaluación	3ra evaluación
0	2,724	2,897	2,938
5	2,689	2,780	2,872
10	2,757	2,797	2,969
15	2,526	2,757	2,779
20	2,852	2,913	2,926
25	2,825	2,863	2,863
30	2,786	2,884	2,884
35	2,815	2,733	2,833
40	2,648	2,949	2,939
45	2,817	2,838	2,948

Fuente: Elaboración propia

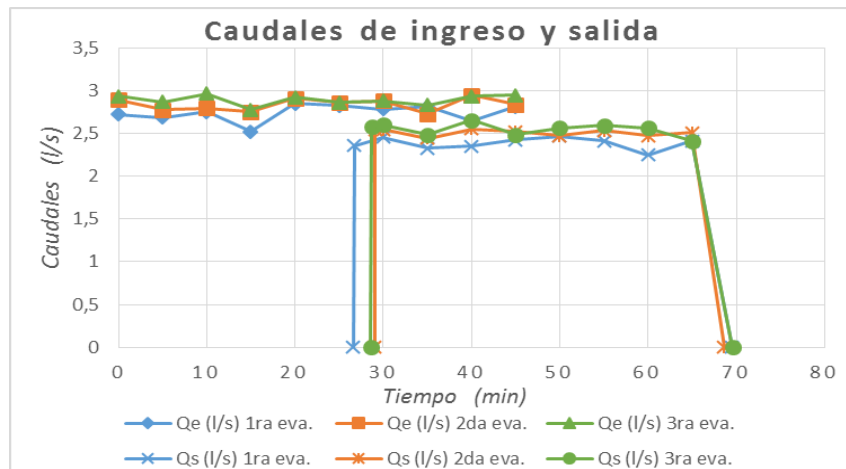
Una vez que el frente de avance llegó al final del surco, del mismo modo que en el párrafo anterior, en función a la variabilidad del caudal de ingreso y por el recorrido del frente de avance del agua por toda su longitud del surco, el caudal de salida no se mantuvo constante es por esta razón que se registra los caudales de salida cada 5 minutos hasta que el agua desaparece en la totalidad de la longitud del surco.

Cuadro 25. Caudales de salida al final del surco

Caudal de salida al final del surco Q_s (l/s)					
1ra evaluación		2da evaluación		3ra evaluación	
Tiempo (min)	Q_s (l/s)	Tiempo (min)	Q_s (l/s)	Tiempo (min)	Q_s (l/s)
26,6	0	29	0	28,6	0
26,7	2,359	29,1	2,549	28,7	2,579
30	2,457	30	2,546	30	2,605
35	2,326	35	2,445	35	2,486
40	2,352	40	2,553	40	2,655
45	2,425	45	2,525	45	2,486
50	2,466	50	2,472	50	2,569
55	2,415	55	2,535	55	2,598
60	2,248	60	2,475	60	2,565
65	2,417	65	2,513	65	2,415
69,5	0	68,6	0	69,6	0

Fuente: Elaboración propia

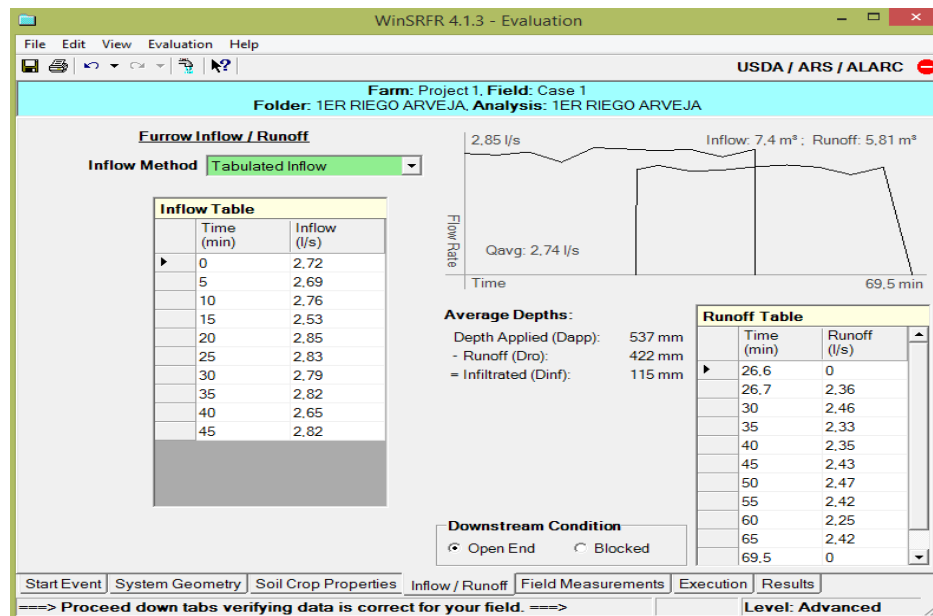
En la Figura 20 se puede apreciar los hidrogramas de los caudales de ingreso y salida de acuerdo a los datos adjuntos en los cuadros 24 y 25 respecto al surco en cuestión:



Fuente: Elaboración propia

Figura 20. Hidrogramas de ingreso y salida del agua de las evaluaciones cultivo arveja

En esta pestaña *Inflow/Runnoff* de caudal de ingreso y salida del agua, el programa requiere que se le introduzca datos obtenidos en campo en este caso los valores adjuntos en los cuadros 24 y 25 respectivamente como se observa en la Figura 21, una vez insertado los datos de caudal ingreso y salida se debe dejar abierto el surco al final de la misma como indica la pestaña (*Open End*).



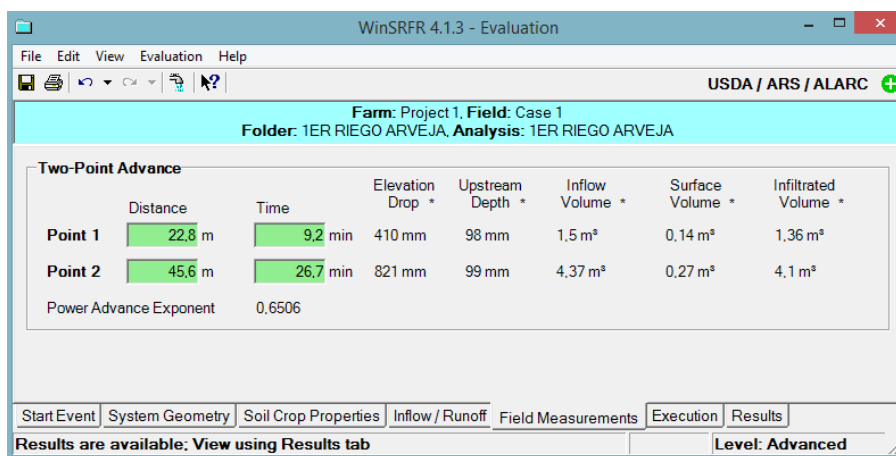
Fuente: Programa winSRFR

Figura 21. Pestaña de trabajo *Inflow/Runnoff*

En la Figura 21 se observa los hidrogramas en función a los caudales de ingreso y salida del surco en este caso de la primera evaluación del riego en el cultivo arveja.

5.4.3.2.5 Field Measurements (Mediciones de campo)

En este apartado se aplica el criterio de los dos puntos de *Elliot – Walker*, por lo tanto de acuerdo al cuadro 15, se introdujeron los datos en la pestaña *Field Measurements*, en la opción *Two – Point Advance* (Avance de dos puntos) como se muestra en la Figura 22.



Fuente: Programa winSRFR

Figura 22. Pestaña de trabajo *Field Measurements*

5.4.3.2.6 Execution (Ejecución)

Una vez verificado que no exista error en los datos introducidos se procede a pinchar el botón *Verify and Summarize Analysis* (verificar y resumir el análisis).

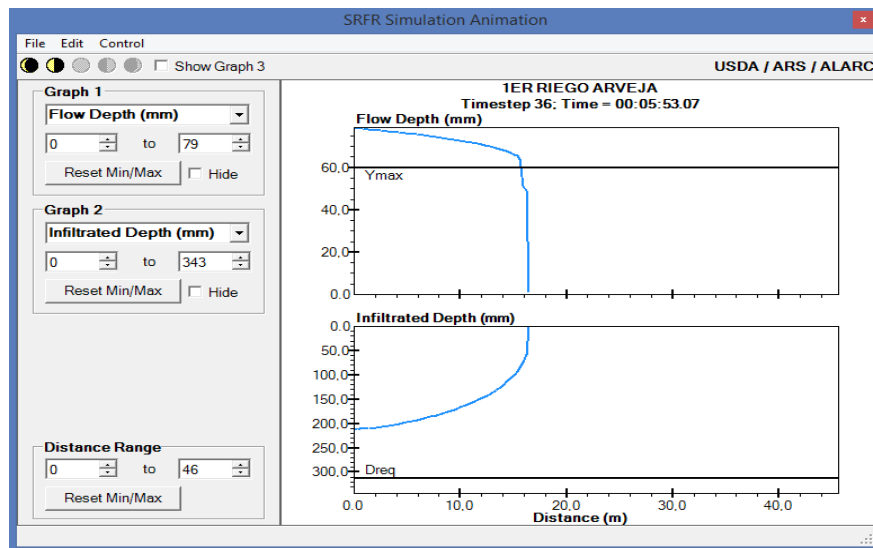
La velocidad de infiltración constante (*Steady infiltration rate*) (b) (94,61, 86,79 y 88,62) mm/h para cada evaluación respectivamente, fue determinado en función al caudal de ingreso y salida del agua y la distancia entre surcos, el programa consideró el factor de forma entre los valores 0,75 y 0,80 en función a estas variables se determinó los parámetros de evaluación adjuntados en el Cuadro 26, la opción *Simulation Solution Model* (Modelo de solución de simulación) considerado fue el *Kinematic – Wave* (onda cinemática) y la *cell density* (densidad celular) fue el más extrafino 80.

Cuadro 26. Parámetros de evaluación emitidos por el programa winSRFR

Datos emitidos por el programa winSRFR				
Variables	1ra evaluación	2da evaluación	3ra evaluación	Unidades
Ao	0,0077	0,008	0,0081	m2
Vol apl	7,4	7,66	7,8	m3
Vol inf	1,59	1,99	1,9	m3
r	0,651	0,574	0,553	
a	0,345	0,435	0,449	
k	451,5	549,439	560,465	mm/hr^a
EA	58	59	51	%
DP	22	29	37	%
RO	20	12	12	%

Fuente: Programa winSRFR

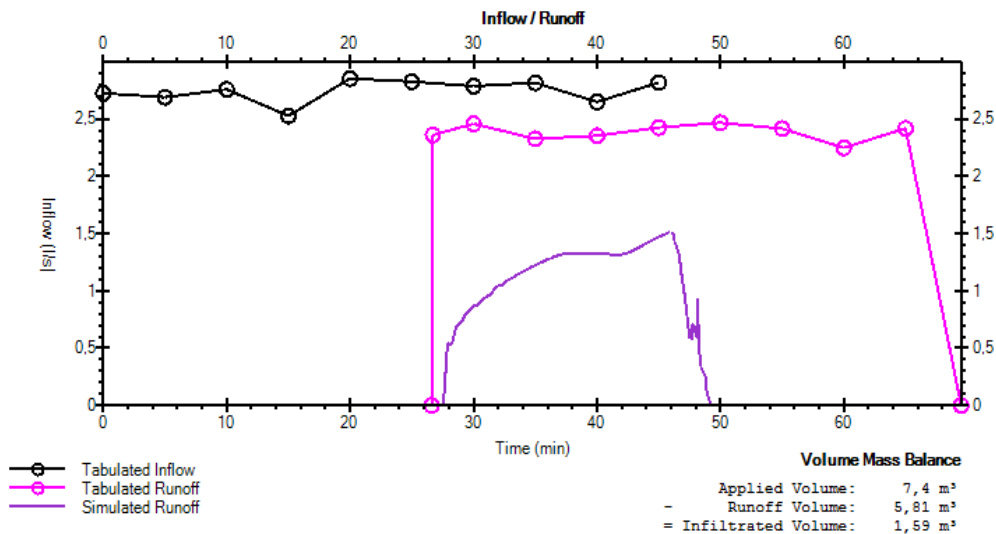
En la Figura 23 se observa el movimiento del agua sobre la superficie del suelo en el cultivo de la arveja.



Fuente: Programa winSRFR

Figura 23. Movimiento del agua e infiltración en del perfil del suelo

Los hidrogramas que se muestran en la Figura 24, son las del caudal de entrada y las del caudal de salida, por último el programa winSRFR nos proporciona una curva ajustada de la escorrentía (color morado).



Fuente: Programa winSRFR

Figura 24. Hidrogramas de los caudales con el programa *winSRFR*

Las secciones transversales correspondiente al área mojada del surco, volumen aplicado e infiltrado en cada riego y los parámetros de evaluación difieren de manera no tan

significativa en cada evaluación, debido a que los tiempos en el cual el frente de avance del agua que llegó al final del surco fueron diferentes en las tres evaluaciones, en función a la humedad del suelo al momento de realizar la evaluación, la lámina requerida y el caudal de riego, en ambos cultivos. Como podrá apreciarse en los Cuadros 22 y 26 las variables obtenidas en la evaluación realizada con el programa winSRFR.

5.4.4 Simulaciones realizadas con el programa winSRFR en el cultivo haba y arveja

Una vez realizadas las evaluaciones en campo y con el programa winSRFR, en este apartado inicialmente se realizó la simulación del riego con los datos obtenidos en campo posterior a esto como indica en el acápite 4.3.13.2 las variables de proyecto (*Caudal y tiempo de riego*) se hicieron variar hasta optimizar es decir obtener los parámetros de la evaluación adecuados, Serrano (2014), indica que de acuerdo al tipo de suelo la eficiencia de aplicación del agua se encuentran entre los valores como indica el Cuadro 27. Se mostrara en este apartado la primera simulación realizada en los cultivos haba y arveja.

Cuadro 27. Eficiencias de aplicación de agua de acuerdo al tipo de suelo.

Tipo de suelo	Método de Riego		
	Melgas	Surcos	Inundación
Arenoso	50 – 60 %	40 – 50 %	40 – 50 %
Franco o medio	65 – 70 %	55 – 65 %	50 – 60 %
Arcilloso o fino	55 – 65 %	55 – 65 %	45 – 55 %

Fuente: Serrano (2014)

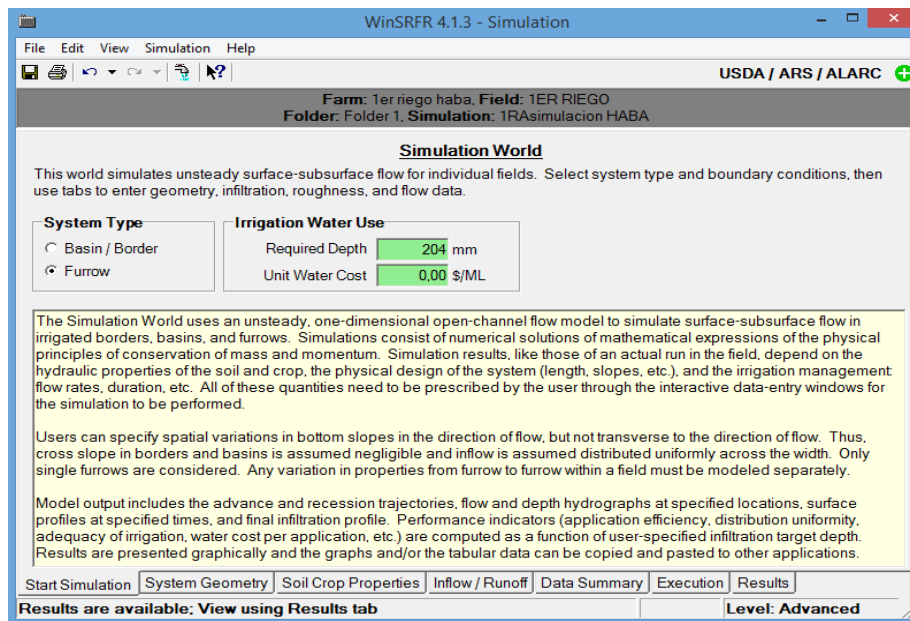
5.4.4.1 Simulaciones de los tres riegos realizados en el cultivo del haba

Se trabajó con los datos de la evaluación de campo, introduciendo de manera sistemática y secuencial los datos que corresponde a cada pestaña de esta opción (**Simulation**) en el interfaz del programa.

5.4.4.1.1 Start Simulation (Iniciar la simulación)

En el opción *System type*, se eligió el caso *furrow* (surcos) ya que la evaluación se la realizó en este tipo de estructura, en la opción *Required Depht* (Lamina requerida) esta

se la determino con el software CROPWAT 8.0, en este caso fue de (20,4, 22,2 y 23,0) cm, tal como se puede observar en la Figura 25.

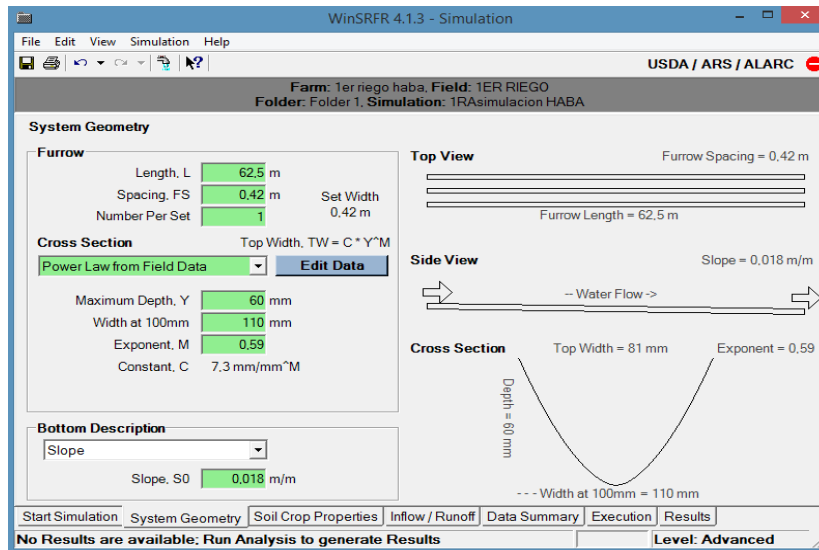


Fuente: Programa winSRFR

Figura 25. Pestaña de trabajo Start Simulation

5.4.4.1.2 System Geometry (Geometría del sistema)

En la Figura 26 se observa las características de esta pestaña, la opción *System Geometry* (Geometría del sistema) en el caso *Furrow* (Surcos) se le introduce los datos de campo como ser la longitud del surco en este caso 62,5 m, el espacio entre surcos que fue de 0,42 m, en la pestaña *Cross Section* (sección transversal) de acuerdo al Cuadro 9, la profundidad máxima del surco en todos los casos fue 60 mm, y el espejo de agua total del surco para cada riego (evaluación) fue de (110, 104 y 118) mm.

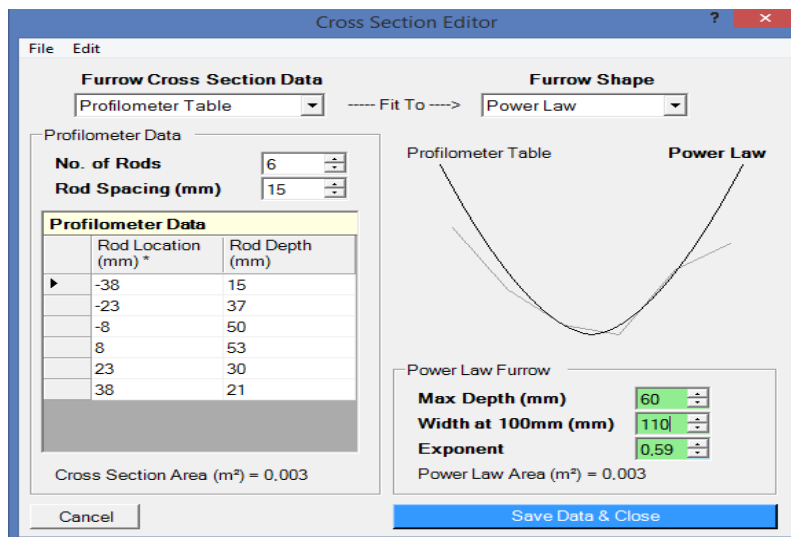


Fuente: Programa winSRFR

Figura 26. Pestaña de trabajo System Geometry

En la opción *Cross Section* (sección transversal) la pestaña *Edit Data* (Editar datos) como muestra la Figura 27, se introdujo los datos que están adjuntos en el Cuadro 19.

Se empleó 6 varillas del perfilometro cuya distancia entre cada varilla fue de 15 mm, una vez introduciendo los datos correspondientes se presiona el botón *Save Data & Close* para que se guarde lo introducido.



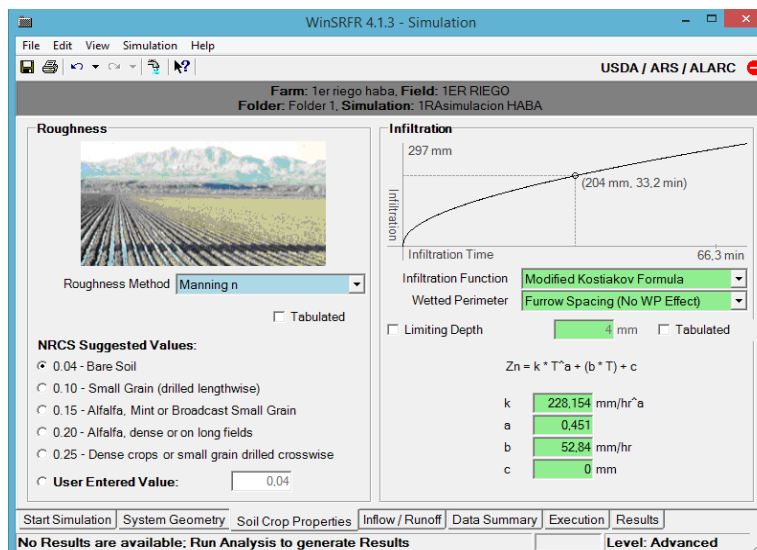
Fuente: Programa winSRFR

Figura 27. Pestaña de trabajo Edit Data

Y por último en la pestaña *Bottom Description* (Descripción inferior) se informa el desnivel entre los extremos del surco en este caso fue de 1,80 %.

5.4.4.1.3 Soil Crop Properties (propiedades del cultivo de suelo)

Esta pestaña referente a las propiedades del suelo cuyo valor del coeficiente n de Manning se seleccionó en función al cultivo y la altura de las plantas respecto al suelo, el programa nos proporciona una serie de opciones como se manifestó en la evaluación del riego con este mismo programa, la que mejor se ajusta es la opción *Bare Soil* (Suelo desnudo) para nuestras condiciones de riego ya que el cultivo haba en las condiciones de la evaluación fue realizada en las etapas iniciales de desarrollo del cultivo, de la misma forma el programa solicita que se introduzcan las variables k y a adjuntos en el cuadro 22, y la variable (b ó fo) (velocidad de infiltración básica) adjunto en el Cuadro 11 como se muestra en la Figura 28.



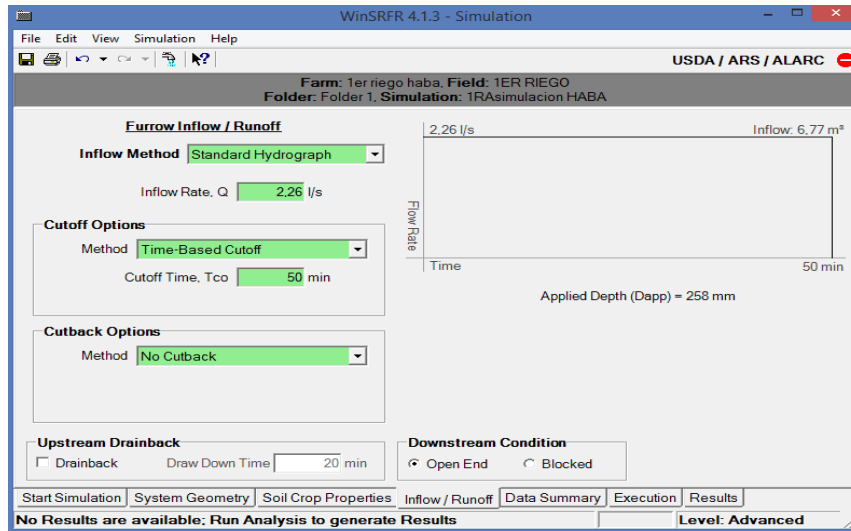
Fuente: Programa winSRFR

Figura 28. Pestaña de trabajo *Soil Crop Properties*

5.4.4.1.4 Inflow/Runnoff (Entrada y salida del caudal)

En el periodo de tiempo considerado como tiempo de riego en este caso 50 minutos, el caudal de ingreso al surco durante este intervalo de tiempo no se mantuvo constante, entonces se determinó el promedio de los caudales de ingreso que fueron (2,25, 2,58 y 2,75 l/s) como se muestra en la Figura 29. En la optimización del riego el caudal de

ingreso del agua al surco y el tiempo de riego serán modificados como se indicó en párrafos anteriores.

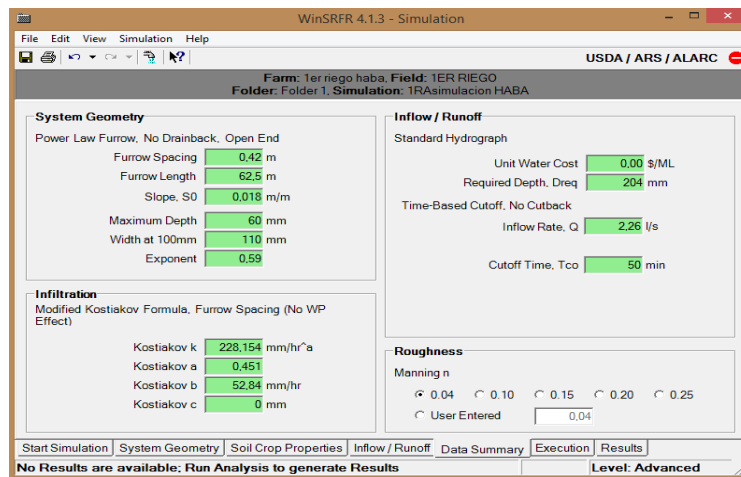


Fuente: Programa winSRFR

Figura 29. Pestaña de trabajo *Inflow/Runoff*

5.4.4.1.5 Data Summary (Resumen de datos)

En esta pestaña se muestra un resumen de los datos ingresados en las pestañas anteriores, Figura 30.



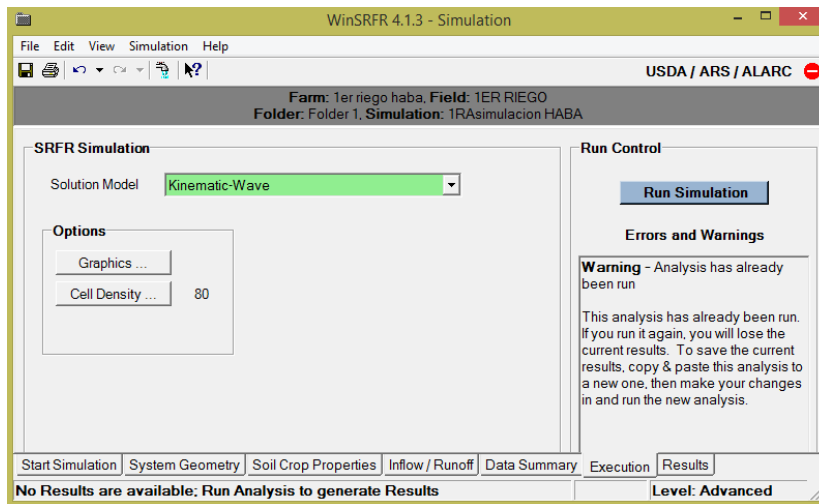
Fuente: Programa winSRFR

Figura 30. Pestaña de trabajo *Data Summary*

5.4.4.1.6 Execution (Ejecución)

La pestaña *Solution Model* (Modelo de solución) considerado fue el *Kinematic – Wave* (onda cinemática) y la *cell density* (densidad celular) fue el más extrafino 80.

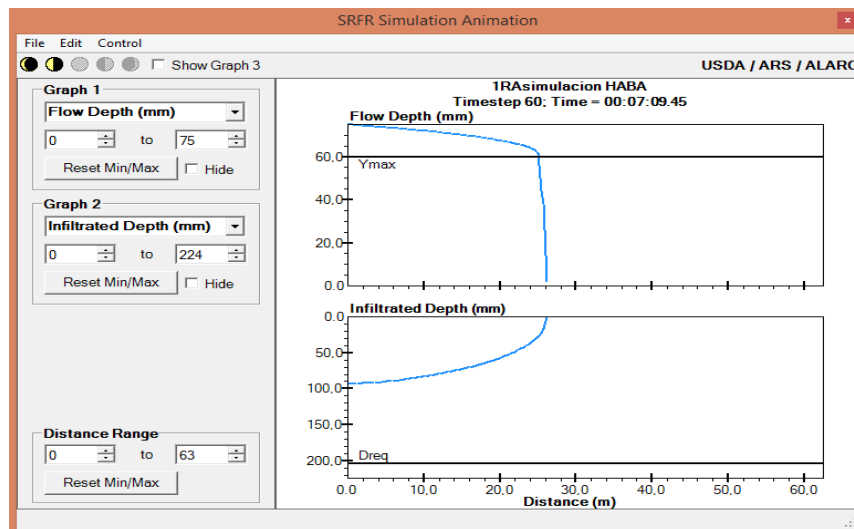
Una vez verificado que no exista error en los datos introducidos se procede a pinchar el botón *Run Simulation* (ejecutar simulación), tal como se observa en la Figura 31.



Fuente: Programa winSRFR

Figura 31. Pestaña de trabajo *Execution*

En la Figura 32 se puede apreciar el movimiento del agua y la infiltración del mismo en el perfil del suelo.



Fuente: Programa winSRFR

Figura 32. Movimiento del agua e infiltración en el perfil del suelo

5.4.4.1.7 Results (Resultados)

Ya que con las variables de proyecto con las que se realizó la evaluación (Tiempo y caudal de riego), nos proporcionó los parámetros de evaluación adjuntos en el Cuadro

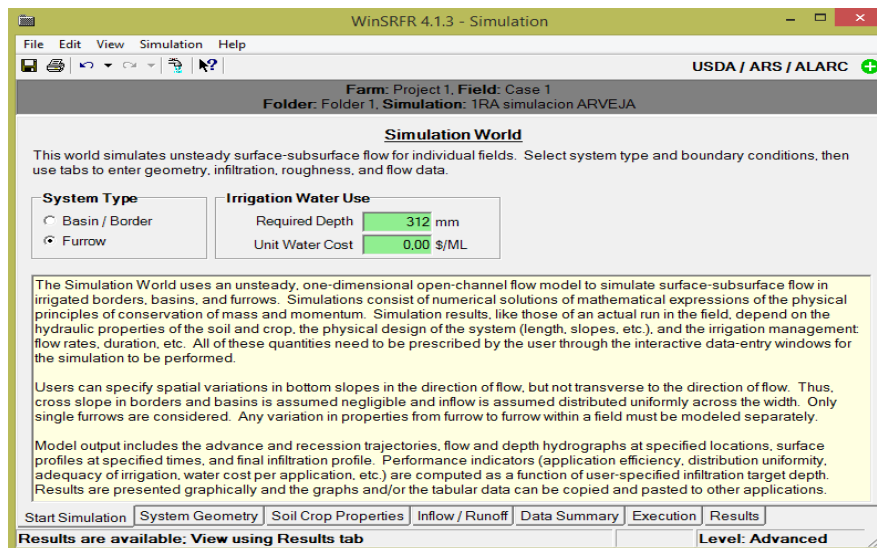
22, lógicamente estos parámetros obtenidas en la simulación no cambio a las obtenidas en la evaluación con este programa.

5.4.4.2 Simulaciones de los tres riegos realizados en el cultivo arveja

Se trabajó con los datos de la evaluación de campo, introduciendo de manera sistemática y secuencial los datos que corresponde a cada pestaña de esta opción (**Simulation**) en el interfaz del programa.

5.4.4.2.1 Start Simulation (Iniciar la simulación)

En el opción *System type*, se eligió el caso *furrow* (surcos) ya que la evaluación se la realizó en este tipo de estructura, en la opción *Required Depht* (Lamina requerida) esta se la determino con el software CROPWAT 8.0, en este caso fue de (31,20, 33,20 y 29,40) cm, tal como se puede observar en la Figura 33.



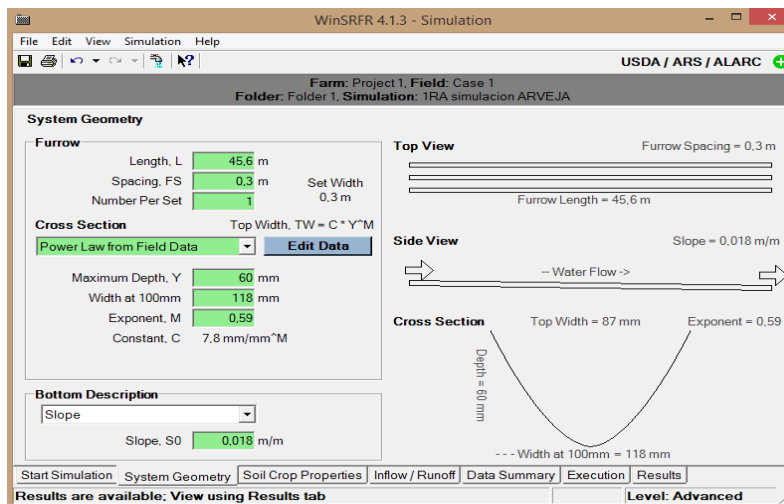
Fuente: Programa winSRFR

Figura 33. Pestaña de trabajo **Start Simulation**

5.4.4.2.2 System Geometry (Geometría del sistema)

En la Figura 34 se observa las características de esta pestaña, la opción *System Geometry* (Geometría del sistema) en el caso *Furrow* (Surcos) se le introduce los datos de campo como ser la longitud del surco en este caso 45,60 m, el espacio entre surcos que fue de 0,302 m, en la pestaña *Cross Section* (sección transversal) de acuerdo al

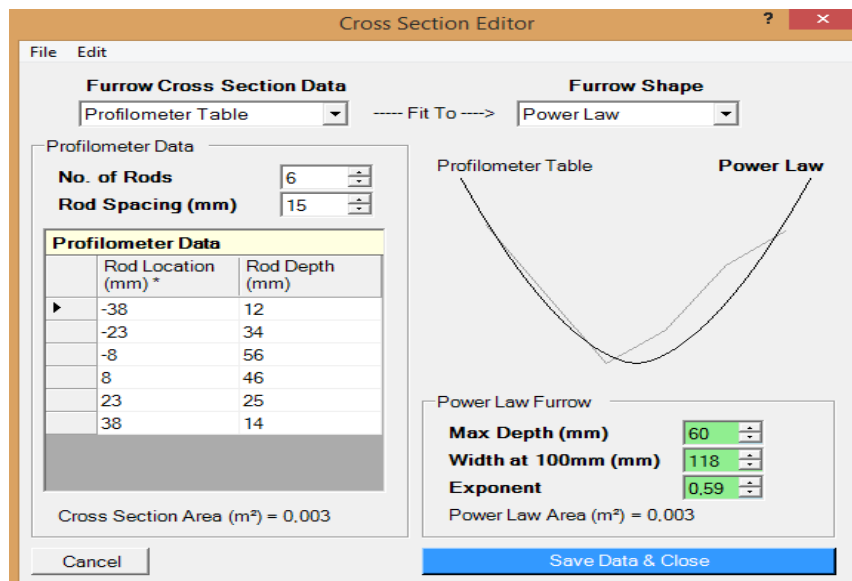
Cuadro 16, el espejo de agua total del surco en todas las evaluaciones fue de (118, 120 y 120) mm.



Fuente: Programa winSRFR

Figura 34. Pestaña de trabajo System Geometry

Se empleó 6 varillas del perfilometro cuya distancia entre cada varilla fue de 15 mm, una vez introduciendo los datos correspondientes se presiona el botón *Save Data & Close* para que se guarde lo introducido como se observa en la Figura 35.



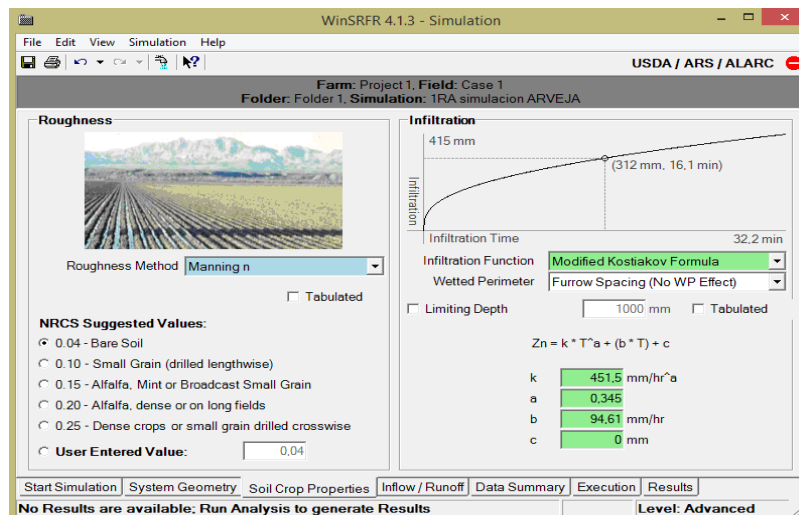
Fuente: Programa winSRFR

Figura 35. Pestaña de trabajo Edit Data

Y por último en la pestaña *Bottom Description* (Descripción inferior) se informa el desnivel entre los extremos del surco en este caso fue de 1,80 %.

5.4.4.2.3 Soil Crop Properties (propiedades del cultivo de suelo)

Esta pestaña referente a las propiedades del suelo cuyo valor del coeficiente n de Manning se seleccionó en función al cultivo y la altura de las plantas respecto al suelo, el programa nos proporciona una serie de opciones para el coeficiente de rugosidad y la que mejor se ajusta es la opción *Bare Soil* (Suelo desnudo) para nuestras condiciones de riego ya que el cultivo arveja en las condiciones de la evaluación fue realizada en las etapas iniciales de desarrollo del cultivo, de la misma forma el programa solicita que se introduzcan las variables k y a adjuntos en el Cuadro 26, y la variable (b ó fo) (velocidad de infiltración básica) adjunto en el Cuadro 18 como se muestra en la Figura 36.

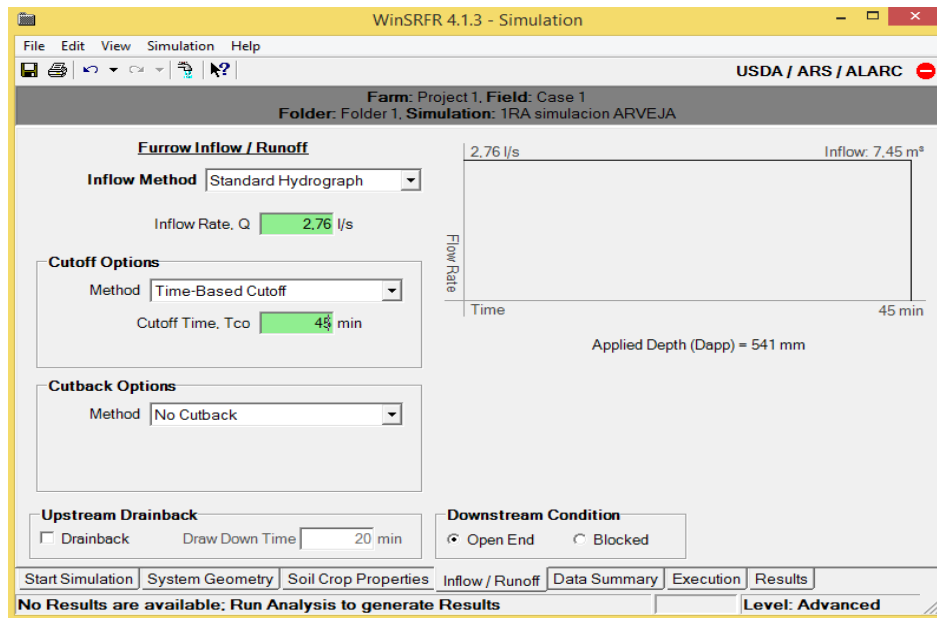


Fuente: Programa winSRFR

Figura 36. Pestaña de trabajo *Soil Crop Properties*

5.4.4.2.4 Inflow/Runnoff (Entrada y salida del caudal)

En el periodo de tiempo considerado como tiempo de riego en este caso 45 minutos, el caudal de ingreso al surco durante este intervalo de tiempo no se mantuvo constante, entonces se determinó el promedio de los caudales de ingreso que fue (2,75, 2,84 y 2,87) l/s, como se muestra en la Figura 37. En la optimización del riego el caudal de ingreso del agua al surco y el tiempo de riego serán modificados.

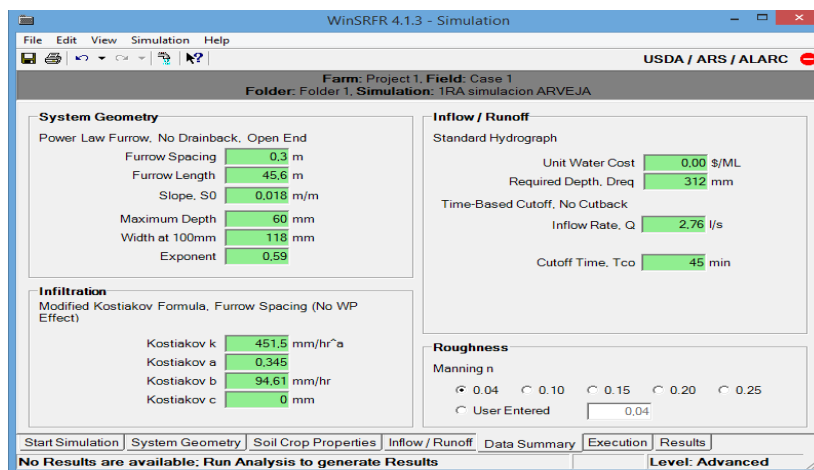


Fuente: Programa winSRFR

Figura 37. Pestaña de trabajo Inflow/Runoff

5.4.4.2.5 Data Summary (Resumen de datos)

En esta pestaña se muestra un resumen de los datos ingresados en las pestañas anteriores, Figura 38.



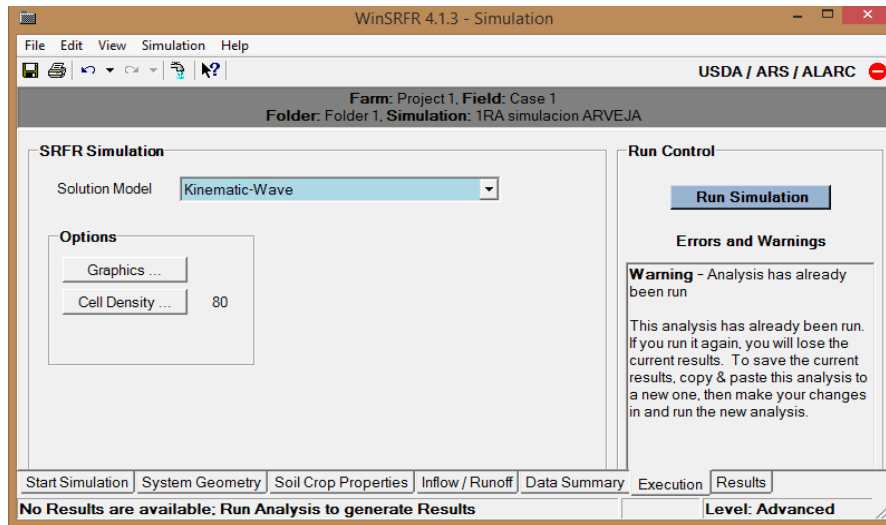
Fuente: Programa winSRFR

Figura 38. Pestaña de trabajo Data Summary

5.4.4.2.6 Execution (Ejecución)

La pestaña *Solution Model* (Modelo de solución) considerado fue el *Kinematic – Wave* (onda cinemática) y la *cell density* (densidad celular) fue el más extrafino 80.

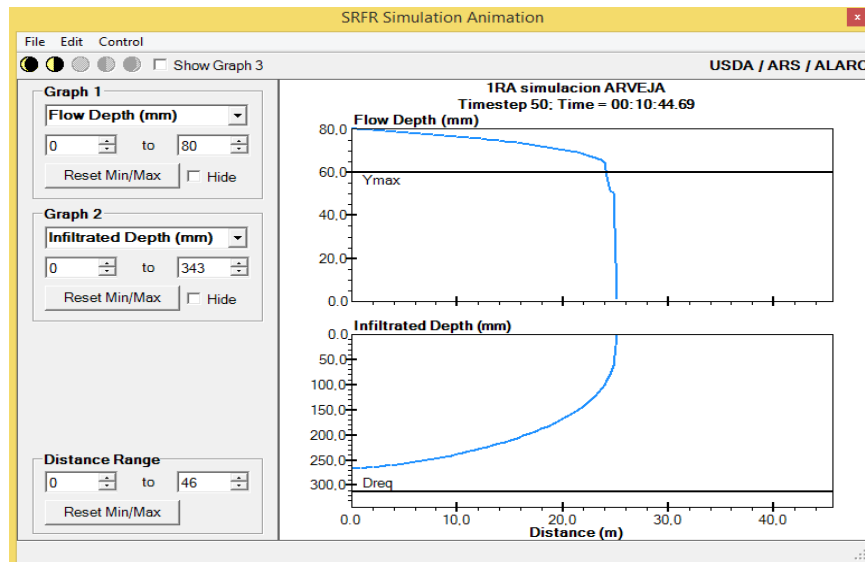
Una vez verificado que no exista error en los datos introducidos se procede a pinchar el botón *Run Simulation* (ejecutar simulación), tal como se observa en la Figura 39.



Fuente: Programa winSRFR

Figura 39. Pestaña de trabajo *Execution*

En la Figura 40 se puede apreciar el movimiento del agua y la infiltración del mismo en el perfil del suelo.



Fuente: Programa winSRFR

Figura 40. Movimiento del agua e infiltración en el perfil del suelo

5.4.4.2.7 Results (Resultados)

Ya que con las variables de proyecto con las que se realizó la evaluación (Tiempo y caudal de riego), nos proporcionó los parámetros de evaluación adjuntos en el Cuadro

26, lógicamente estos parámetros obtenidas en la simulación no cambio a las obtenidas en la evaluación con este programa.

5.5 Propuesta de mejora del riego por surcos con el programa winSRFR en los cultivos haba y arveja

Una vez realizadas las evaluaciones y las simulaciones de los riegos en este acápite se realizó una propuesta de la mejora de los riegos con la optimización del tiempo y el caudal de riego, hasta obtener ideales parámetros de evaluación del riego.

Empleando el botón de trabajo *Simulation* (simulación) se emplearon todas las pestañas inherentes a esta, entre estas *Star Simulation, System Geometry, Soil Crop Properties, Data Summary*, sin alterar en el contenido de cada icono exceptuando en la pestaña *Inflow Runoff* fue en donde se trabajó en la variación de las variables de proyecto (Tiempo y caudal de riego).

Para obtener los tiempos y caudales de riego ideales para la adecuada distribución de agua y el adecuado almacenamiento del agua en la zona radicular se empleó un patrón de comparación de acuerdo a Serrano (2014) la cual indica que para suelos de clase textural Franco y para el método de riego por surcos su eficiencia de aplicación está en los rangos (55 – 65) % por esta razón se hizo variar las variables de proyecto hasta alcanzar valores próximos a 60 % de la Eficiencia de aplicación.

5.5.1 Propuesta de mejora del riego con el programa winSRFR en el cultivo de la haba

5.5.1.1 Primera propuesta de simulación en la mejora del riego cultivo haba

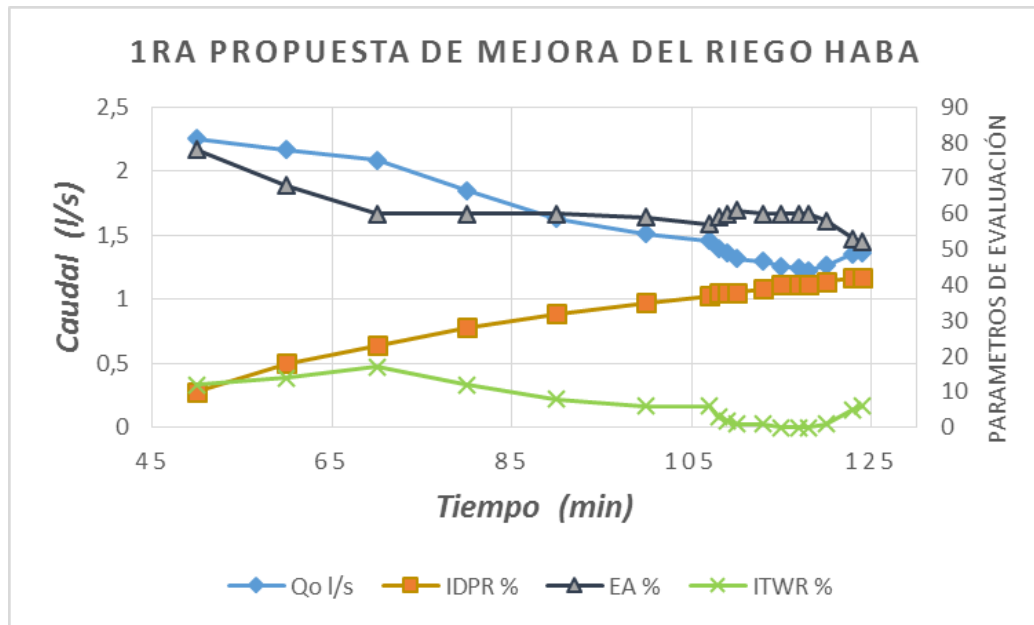
En el Cuadro 28 se adjunta los parámetros de la evaluación del riego haciendo variar las variables de proyecto (caudal a la entrada del surco o caudal de riego y el tiempo de riego).

Cuadro 28. Parámetros de evaluación óptimos 1ra propuesta de simulación del riego haba

Tco (min)	Qo (l/s)	Ea %	IDPR %	ITWR %
50	2,255	78	10	12
60	2,168	68	18	14
70	2,086	60	23	17
80	1,848	60	28	12
90	1,628	60	32	8
100	1,508	59	35	6
107	1,459	57	37	6
108	1,395	59	38	3
109	1,358	60	38	2
110	1,315	61	38	1
113	1,296	60	39	1
115	1,257	60	40	0
117	1,242	60	40	0
118	1,226	60	40	0
120	1,262	58	41	1
123	1,355	53	42	5
124	1,368	42	42	6

Fuente: Programa winSRFR

En la Figura 41 se observa las variables de proyecto y los parámetros de evaluación de todas las simulaciones realizadas con el programa en esta primera propuesta en el cultivo del haba.



Fuente: Programa winSRFR

Figura 41. Primera propuesta de mejora de las variables de proyecto y los parámetros de evaluación cultivo haba

En esta primera propuesta de la mejora del riego como puede observarse en el Cuadro 28 para el tiempo de riego inicial de 50 minutos y su caudal 2,255 l/s, la eficiencia de aplicación es del 78 % la cual de acuerdo al criterio de Serrano (2014) para un tipo de suelo franco este valor sobre pasa al criterio de evaluación adoptado en este trabajo que es de 60 %, los tiempos y caudales empleados en la simulación para obtener parámetros de evaluación ideales fueron varios, y estan adjuntos en el Cuadro 28 en ella se puede apreciar los tiempos y caudales que se ajustan para obtener los valores promedio de la eficiencia de aplicación, en los tres casos las pérdidas por percolación profunda fueron elevadas en comparación a las perdidas por escorrentía superficial esto debido a que el caudal se redujo a medida que se extendía el tiempo de riego, por esta razón es que el agua se infiltro hasta la zona radicular generándose perdidas por percolación y bajas perdidas por escorrentía.

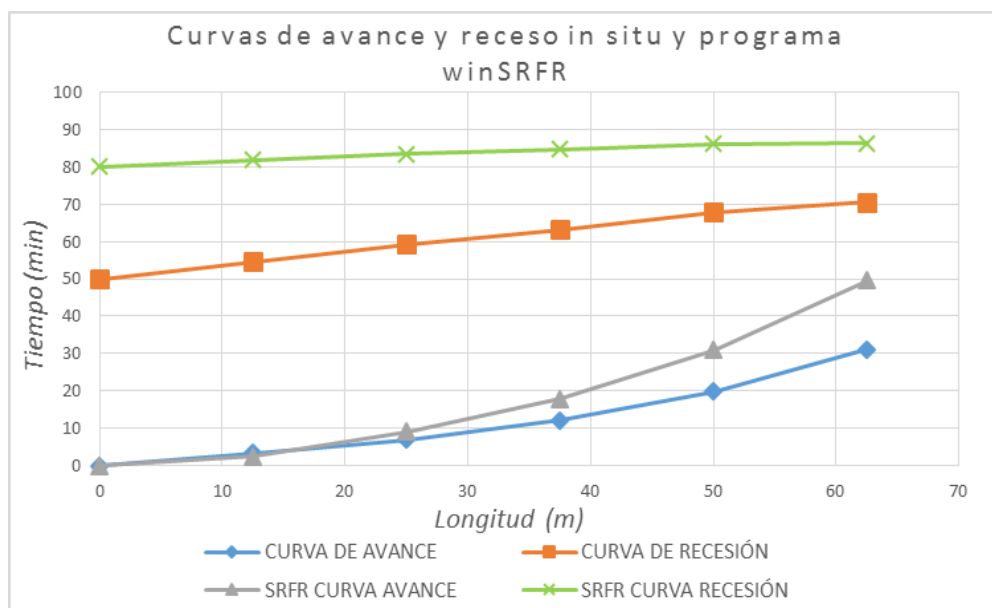
El programa winSRFR nos proporciona los datos ajustados de las variables de proyecto para un riego ideal en este caso fueron, tiempo de riego 80 minutos y su respectivo caudal 1,848 l/s, y los tiempos de avance y recesión en cada estación se adjuntan en el Cuadro 29.

Cuadro 29. *Tiempos de avance y receso del agua emitidos por el programa winSRFR
1ra propuesta del riego cultivo haba*

ESTACIÓN	LONGITUD (m)	TIEMPO DE AVANCE (min)	TIEMPO DE RECESO (min)
0	0	0	80
1	12,5	2,3	81,9
2	25	9,1	83,4
3	37,5	17,9	84,7
4	50	30,9	86,1
5	62,5	49,6	86,3

Fuente: Programa winSRFR

En la Figura 42 se puede apreciar las curvas de avance y receso para el tiempo de 50 minutos y para el tiempo de riego 80 minutos que nos proporcionó el programa después de realizar una serie de simulaciones.



Fuente: Programa winSRFR

Figura 42. Curvas de avance y receso obtenidas en la evaluación del riego en campo y con el programa winSRFR (1ra propuesta de riego) en el cultivo de la haba

5.5.1.2 Segunda propuesta de simulación en la mejora del riego cultivo haba

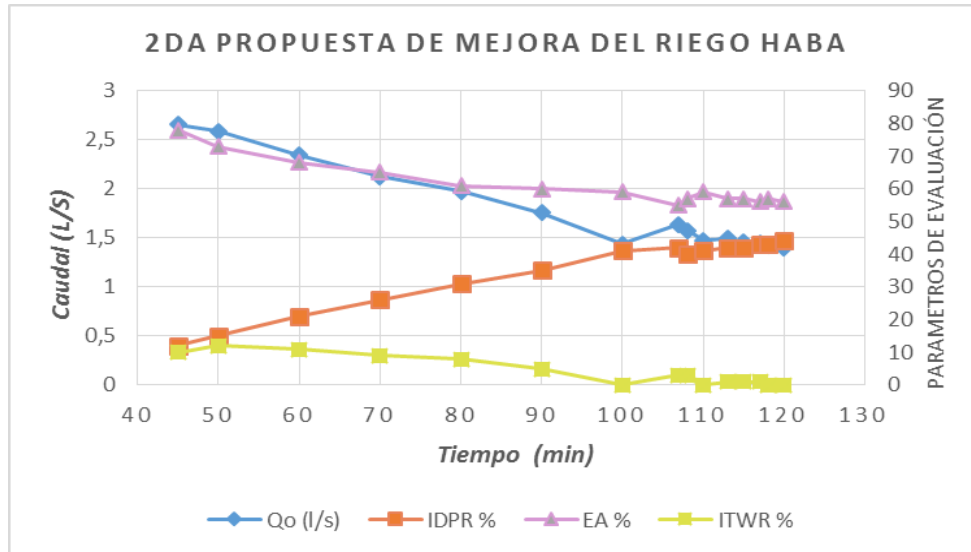
Se adjunta los parámetros de la evaluación del riego en el Cuadro 30 haciendo variar las variables de proyecto (caudal a la entrada del surco o caudal de riego y el tiempo de riego).

Cuadro 30. Parámetros de evaluación óptimos 2da propuesta de simulación del riego Haba

Tco (min)	Qo (l/s)	Ea %	IDPR %	ITWR %
45	2,658	78	12	10
50	2,588	73	15	12
60	2,342	68	21	11
70	2,125	65	26	9
80	1,978	61	31	8
90	1,758	60	35	5
100	1,435	59	41	0
107	1,635	55	42	3
108	1,576	57	40	3
110	1,476	59	41	0
113	1,496	57	42	1
115	1,457	57	42	1
117	1,448	56	43	1
118	1,421	57	43	0
120	1,391	56	44	0

Fuente: Programa winSRFR

En la Figura 43 se observa las variables de proyecto y los parámetros de evaluación de todas las simulaciones realizadas con el programa en esta segunda propuesta en el cultivo del Haba.



Fuente: Programa winSRFR

Figura 43. Segunda propuesta de mejora de las variables de proyecto y los parámetros de evaluación cultivo Haba

Como puede observarse en el Cuadro 30 para el tiempo de riego inicial de 50 minutos y su caudal 2,588 l/s, la eficiencia de aplicación es del 73 % la cual de acuerdo al criterio de Serrano (2014) para un tipo de suelo franco este valor sobre pasa al criterio de evaluación adoptado en este trabajo que es de 60 %, de acuerdo a este valor medio de la eficiencia de aplicación, los tiempos y los caudales empleados en las simulaciones ideales fueron (80, 90 y 100) minutos y (1,978, 1,758 y 1,435) l/s entre las cuales se aproximaron al valor promedio de la eficiencia de aplicación, en los tres casos las pérdidas por percolación profunda fueron elevadas en comparación a las perdidas por escorrentía superficial esto debido a que el caudal se redujo a medida que se extendía el tiempo de riego, por esta razón es que el agua se infiltro hasta la zona radicular generándose perdidas por percolación y bajas perdidas por escorrentía.

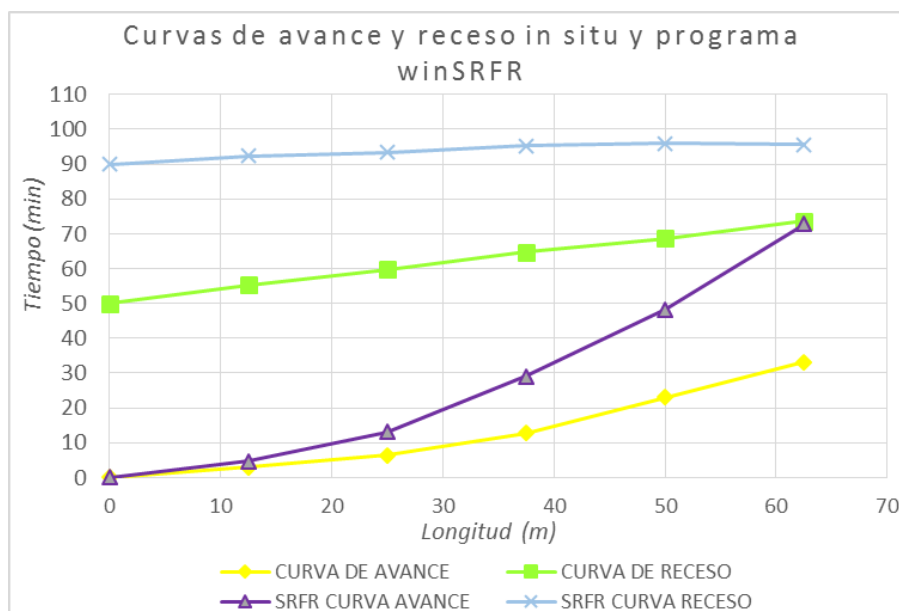
El programa winSRFR nos proporciona los datos ajustados de las variables de proyecto para un riego ideal en este caso fueron, tiempo de riego 90 minutos y su respectivo caudal 1,758 l/s, y los tiempos de avance y recesión en cada estación se adjuntan en el Cuadro 31.

Cuadro 31. Tiempos de avance y receso del agua emitidos por el programa winSRFR
2da propuesta del riego cultivo haba

ESTACIÓN	LONGITUD (m)	TIEMPO DE AVANCE (min)	TIEMPO DE RECESO (min)
0	0	0	90
1	12,5	4,62	92,4
2	25	13,1	93,4
3	37,5	29,1	95,2
4	50	48,2	95,9
5	62,5	72,8	95,6

Fuente: Programa winSRFR

En la Figura 44 se puede apreciar las curvas de avance y receso para el tiempo de 50 minutos y para el tiempo de riego 90 minutos que nos proporcionó el programa después de realizar una serie de simulaciones.



Fuente: Programa winSRFR

Figura 44. Curvas de avance y receso obtenidas en la evaluación del riego en campo y con el programa winSRFR (2da propuesta de riego) en el cultivo de la haba

5.5.1.3 Tercera propuesta de simulación en la mejora del riego cultivo haba

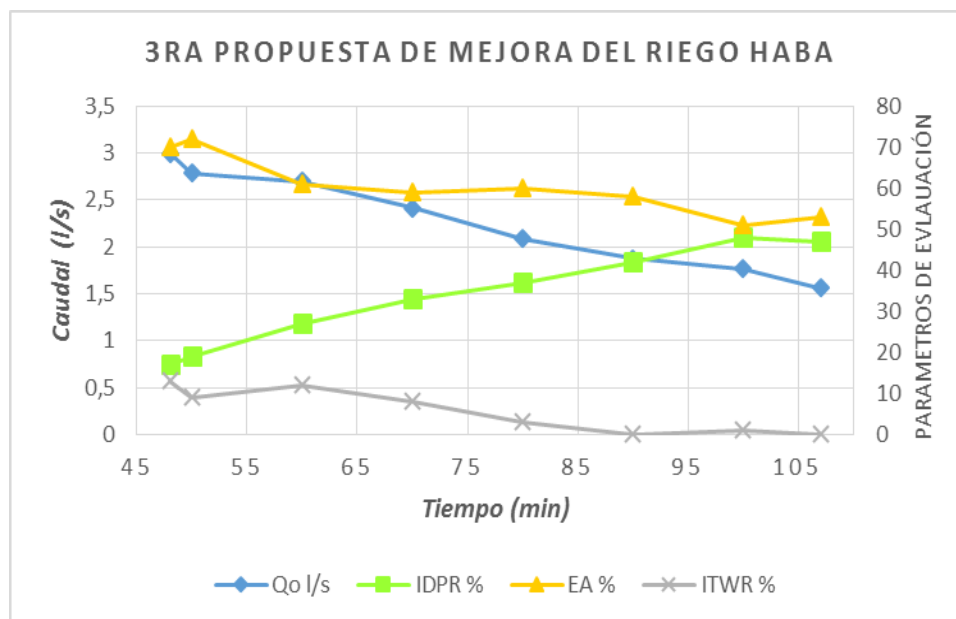
En el Cuadro 32 como en los anteriores casos se adjunta los parámetros de la evaluación del riego haciendo variar las variables de proyecto (caudal a la entrada del surco o caudal de riego y el tiempo de riego).

Cuadro 32. Parámetros de evaluación óptimos 3ra propuesta de simulación del riego cultivo haba

Tco (min)	Qo (l/s)	Ea %	IDPR %	ITWR %
48	2,998	70	17	13
50	2,785	72	19	9
60	2,699	61	27	12
70	2,415	59	33	8
80	2,089	60	37	3
90	1,874	58	42	0
100	1,767	51	48	1
107	1,559	53	47	0

Fuente: Programa winSRFR

En la Figura 45 se observa las variables de proyecto y los parámetros de evaluación de todas las simulaciones realizadas con el programa en esta tercera propuesta en el cultivo del haba.



Fuente: Programa winSRFR

Figura 45. Tercera propuesta de mejora de las variables de proyecto y los parámetros de evaluación cultivo haba

De acuerdo al Cuadro 32 para el tiempo de riego inicial de 50 minutos y su caudal 2,785 l/s, la eficiencia de aplicación fue del 72 % la cual de acuerdo al criterio de Serrano (2014) para un tipo de suelo franco este valor sobre pasa al criterio de evaluación adoptado en este trabajo que es de 60 %, de acuerdo a este valor medio de la eficiencia de aplicación,

los tiempos y los caudales empleados en la simulación ideales fueron (60, 70, 80 y 90) minutos y (2,699, 2,415, 2,089 y 1,874) l/s entre las cuales se aproximaron al valor promedio de la eficiencia de aplicación, en los cuatro casos las pérdidas por percolación profunda fueron elevadas en comparación a las pérdidas por escorrentía superficial esto debido a que el caudal se redujo a medida que se extendía el tiempo de riego, por esta razón es que el agua se infiltró hasta la zona radicular generándose pérdidas por percolación y bajas pérdidas por escorrentía.

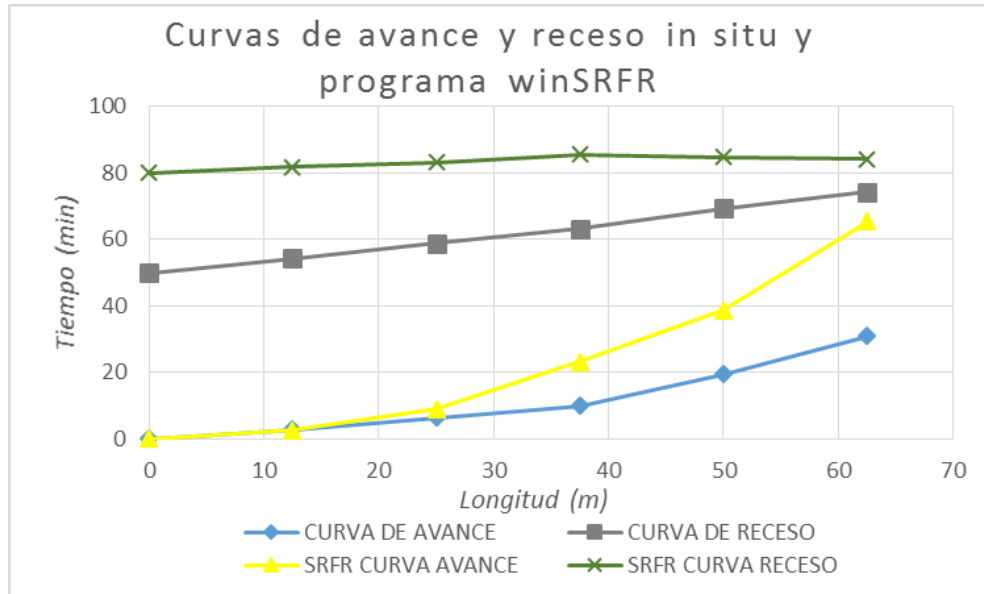
El programa winSRFR nos proporciona los datos ajustados de las variables de proyecto para un riego ideal en este caso fueron, tiempo de riego 80 minutos y su respectivo caudal 2,089 l/s, y los tiempos de avance y recesión en cada estación se adjuntan en el Cuadro 33.

Cuadro 33. *Tiempos de avance y receso del agua emitidos por el programa winSRFR 3ra propuesta del riego cultivo haba*

ESTACIÓN	LONGITUD (m)	TIEMPO DE AVANCE (min)	TIEMPO DE RECESO (min)
0	0	0	80
1	12,5	2,5	81,8
2	25	8,8	83,3
3	37,5	23,2	85,5
4	50	38,5	84,9
5	62,5	65,3	84,3

Fuente: Programa winSRFR

En la Figura 46 se puede apreciar las curvas de avance y receso para el tiempo de 50 minutos y para el tiempo de riego 80 minutos que nos proporcionó el programa después de realizar una serie de simulaciones.



Fuente: Programa winSRFR

Figura 46. Curvas de avance y receso obtenidas en la evaluación del riego en campo y con el programa winSRFR (3ra propuesta de riego) en el cultivo de la haba

Las propuestas de mejora del riego en la parcela de haba, como se pudo evidenciar en los Cuadros 28, 30 y 32 las variables de proyecto obtenidas como resultado de la simulación con el programa winSRFR de acuerdo a Serrano (2014) difieren significativamente a los valores obtenidos en la evaluación tanto en campo como con el programa, esto debido a que el tiempo de riego empleado en las evaluaciones se lo determino de acuerdo a información local.

5.5.2 Propuesta de mejora del riego con el programa winSRFR en el cultivo de la arveja

5.5.2.1 Primera propuesta de simulación en la mejora del riego cultivo arveja

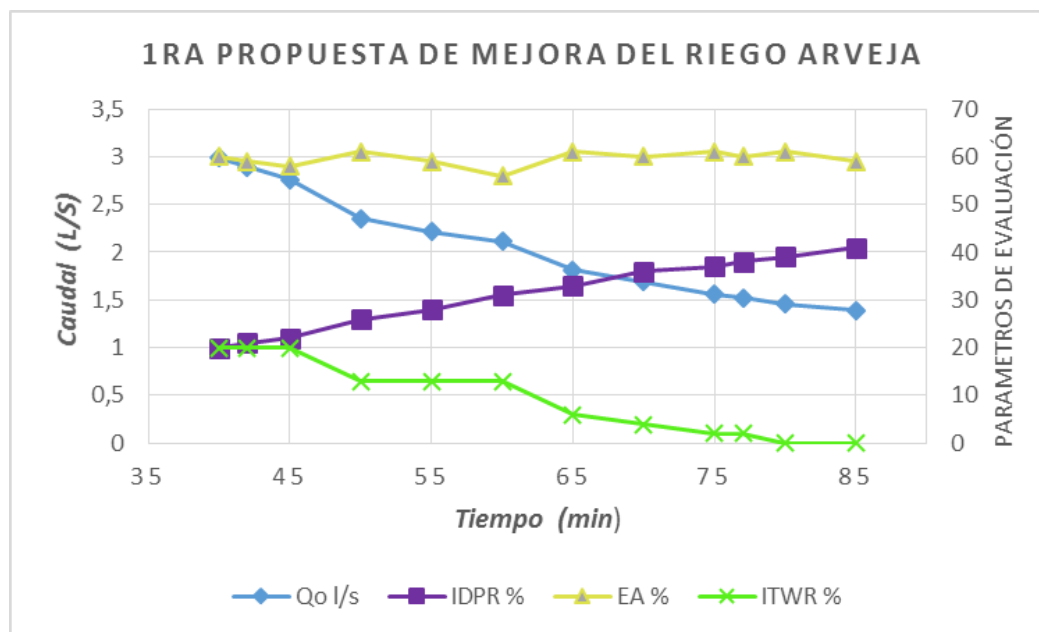
En el Cuadro 34 como en los anteriores casos se adjunta los parámetros de la evaluación del riego haciendo variar las variables de proyecto (caudal a la entrada del surco o caudal de riego y el tiempo de riego).

Cuadro 34. Parámetros de evaluación óptimos 1ra propuesta de simulación del riego arveja

Tco (min)	Qo (l/s)	Ea %	IDPR %	ITWR %
40	2,989	60	20	20
42	2,891	59	21	20
45	2,7580	58	22	20
50	2,356	61	26	13
55	2,216	59	28	13
60	2,116	56	31	13
65	1,812	61	33	6
70	1,687	60	36	4
75	1,558	61	37	2
77	1,525	60	38	2
80	1,458	61	39	0
85	1,395	59	41	0

Fuente: Programa winSRFR

En la Figura 47 se observa las variables de proyecto y los parámetros de evaluación de todas las simulaciones realizadas con el programa en esta primera propuesta en el cultivo de la arveja.



Fuente: Programa winSRFR

Figura 47. Primera propuesta de mejora de las variables de proyecto y los parámetros de evaluación cultivo arveja

Con el fin de realizar la mejora del riego en esta primera propuesta como puede observarse en el Cuadro 34 para el tiempo de riego inicial de 45 minutos y su caudal

2,758 l/s, cuya eficiencia de aplicación fue del 58 % la cual de acuerdo al criterio de Serrano (2014) para un tipo de suelo franco este valor se aproxima al criterio de evaluación adoptado en este trabajo que es de 60 %, los tiempos y caudales empleados en la simulación para obtener parámetros de evaluación ideales fueron adjuntos en el Cuadro 34 en ella se puede apreciar los tiempos y caudales que se ajustan para obtener los valores promedio de la eficiencia de aplicación, en todos los casos es decir los tiempos y caudales propuestos con la mayoría de ellos dio eficiencias muy próximas al 60 %, como en los anteriores casos en el cultivo del haba, las pérdidas por percolación profunda fueron elevadas en comparación a las perdidas por escorrentía superficial esto debido a que el caudal se redujo a medida que se extendía el tiempo de riego, por esta razón es que el agua se infiltro hasta la zona radicular generándose perdidas por percolación y bajas perdidas por escorrentía.

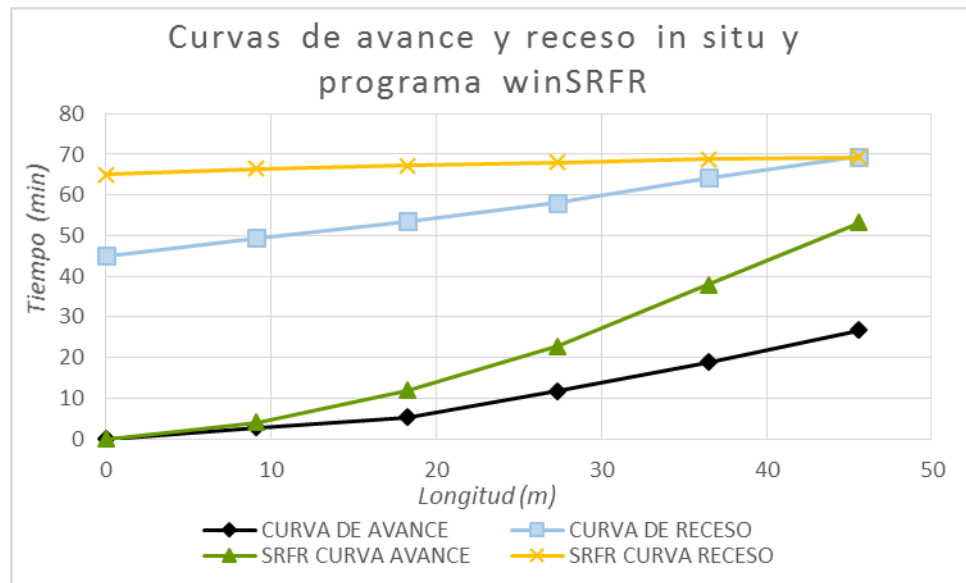
El programa winSRFR nos proporciona los datos ajustados de las variables de proyecto para un riego ideal para el cultivo de la arveja en este caso fueron, tiempo de riego 65 minutos y su respectivo caudal 1,812 l/s, y los tiempos de avance y recesión en cada estación se adjuntan en el Cuadro 35.

Cuadro 35. *Tiempos de avance y receso del agua emitidos por el programa winSRFR 1ra propuesta del riego cultivo arveja*

ESTACIÓN	LONGITUD (m)	TIEMPO DE AVANCE (min)	TIEMPO DE RECESO (min)
0	0	0	65
1	9,12	4,1	66,5
2	18,24	11,9	67,3
3	27,36	22,8	68,1
4	36,48	37,9	68,8
5	45,6	53,2	69,3

Fuente: Programa winSRFR

En la Figura 48 se puede apreciar las curvas de avance y receso para el tiempo de 45 minutos y para el tiempo de riego 65 minutos que nos proporcionó el programa después de realizar una serie de simulaciones.



Fuente: Programa winSRFR

Figura 48. Curvas de avance y receso obtenidas en la evaluación del riego en campo y con el programa winSRFR (1ra propuesta de riego) en el cultivo de la arveja

5.5.2.2 Segunda propuesta de simulación en la mejora del riego cultivo arveja

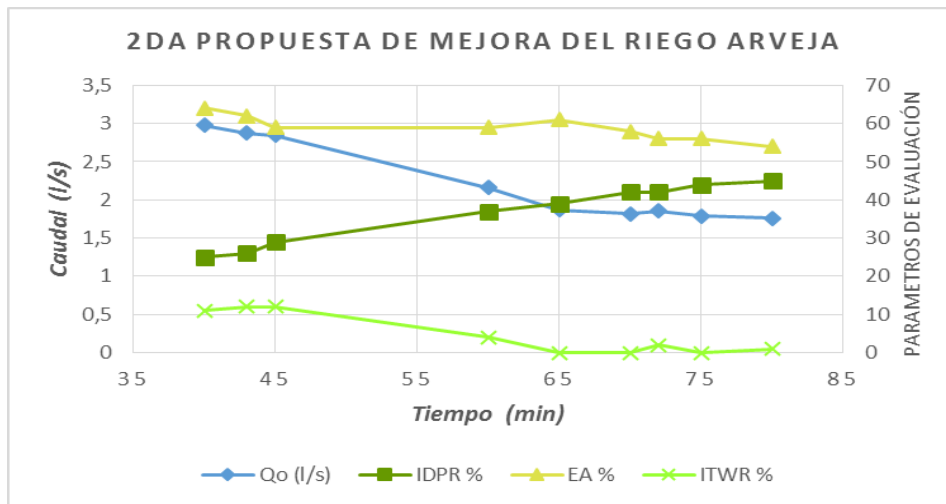
En el Cuadro 36 como en los anteriores casos se adjunta los parámetros de la evaluación del riego haciendo variar las variables de proyecto (caudal a la entrada del surco o caudal de riego y el tiempo de riego).

Cuadro 36. Parámetros de evaluación óptimos 2da propuesta de simulación del riego arveja

Tco (min)	Qo (l/s)	Ea %	IDPR %	ITWR %
40	2,978	64	25	11
43	2,878	62	26	12
45	2,847	59	29	12
60	2,158	59	37	4
65	1,866	61	39	0
70	1,815	58	42	0
72	1,858	56	42	2
75	1,788	56	44	0
80	1,758	54	45	1

Fuente: Programa winSRFR

En la Figura 49 se observa las variables de proyecto y los parámetros de evaluación de todas las simulaciones realizadas con el programa en esta segunda propuesta en el cultivo de la arveja.



Fuente: Programa winSRFR

Figura 49. Segunda propuesta de mejora de las variables de proyecto y los parámetros de evaluación cultivo arveja

Para el tiempo de riego con el cual se trabajó en las evaluaciones (45 minutos) y su respectivo caudal 2,847 l/s su eficiencia de aplicación fue del 59 % su percolación del 29 % y su escorrentía del 12 %. En este caso solo para tiempos de (60, 65 y 70) minutos y sus respectivos caudales (2,158, 1,866 y 1,815) l/s las eficiencias de aplicación fueron próximas al valor medio de 60 % y sus pérdidas por percolación a medida que se emplea más tiempo en aplicar el riego su módulo tiende a incrementarse y contrario a este las perdidas por escorrentía tienden a disminuir.

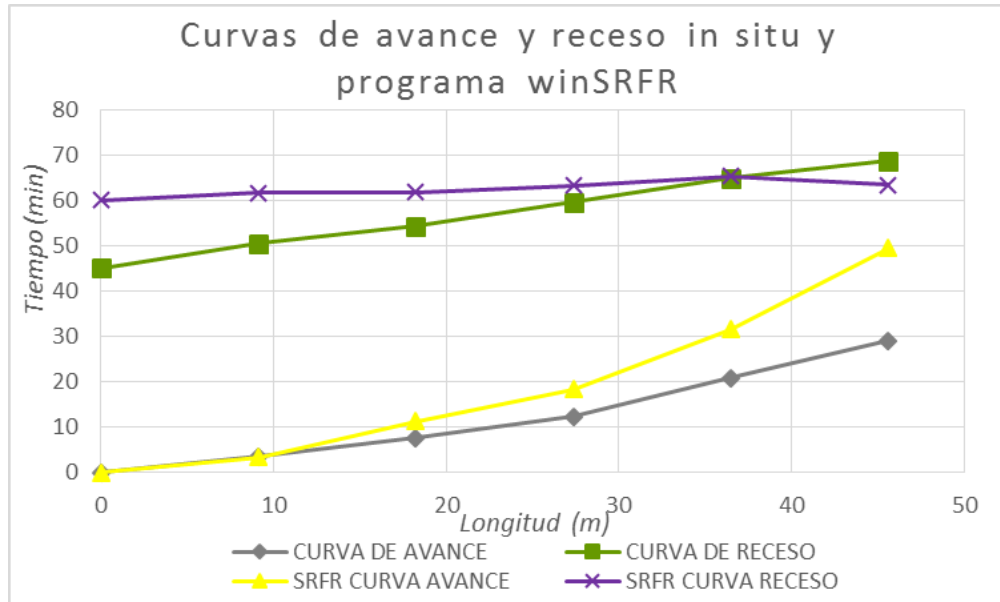
El programa winSRFR nos proporciona los datos ajustados de las variables de proyecto para un riego ideal para el cultivo de la arveja en este caso fueron, tiempo de riego 60 minutos y su respectivo caudal 2,158 l/s, y los tiempos de avance y recesión en cada estación se adjuntan en el Cuadro 37.

Cuadro 37. Tiempos de avance y receso del agua emitidos por el programa winSRFR 2da propuesta del riego cultivo arveja

ESTACIÓN	LONGITUD (m)	TIEMPO DE AVANCE (min)	TIEMPO DE RECESO (min)
0	0	0	60
1	9,12	3,3	61,6
2	18,24	11,3	61,8
3	27,36	18,4	63,2
4	36,48	31,6	65,3
5	45,6	49,5	63,4

Fuente: Programa winSRFR

En la Figura 50 se puede apreciar las curvas de avance y receso para el tiempo de 45 minutos y para el tiempo de riego 60 minutos que nos proporcionó el programa después de realizar una serie de simulaciones.



Fuente: Programa winSRFR

Figura 50. Curvas de avance y receso obtenidas en la evaluación del riego en campo y con el programa winSRFR (2da propuesta de riego) en el cultivo de la arveja

5.5.2.3 Tercera propuesta de simulación en la mejora del riego cultivo arveja

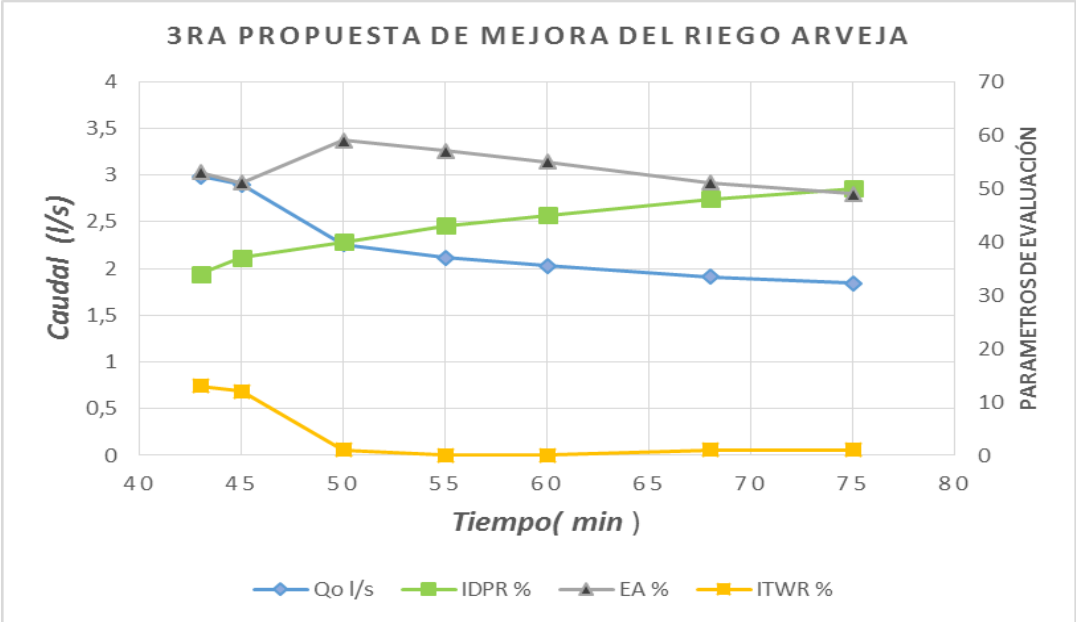
En el Cuadro 38 como en los anteriores casos se adjunta los parámetros de la evaluación del riego haciendo variar las variables de proyecto (caudal a la entrada del surco o caudal de riego y el tiempo de riego).

Cuadro 38. Parámetros de evaluación óptimos 3ra propuesta de simulación del riego arveja

Tco (min)	Qo (l/s)	Ea %	IDPR %	ITWR %
43	2,986	53	34	13
45	2,897	51	37	12
50	2,258	59	40	1
55	2,115	57	43	0
60	2,026	55	45	0
68	1,911	51	48	1
75	1,845	49	50	1

Fuente: Programa winSRFR

En la Figura 51 se observa las variables de proyecto y los parámetros de evaluación de todas las simulaciones realizadas con el programa en esta tercera propuesta en el cultivo de la arveja.



Fuente: Programa winSRFR

Figura 51. Tercera propuesta de mejora de las variables de proyecto y los parámetros de evaluación cultivo arveja

Para el tiempo de riego de 45 minutos y su caudal de 2,897 l/s la eficiencia de aplicación obtenida fue de 51 %, y su pérdida por percolación profunda fue de 37 % y su escorrentía superficial del 12 %, en este caso se pudo obtener solo dos variables de proyecto que se ajustaran al valor medio de la eficiencia de aplicación que es del 60 %, entre estas variables de proyecto están los tiempos de riego (50 y 55) minutos y sus respectivos caudales (2,258 y 2,115) l/s, como en las anteriores propuestas, a medida que se extiende el tiempo de riego la pérdida por percolación tiende a incrementarse y disminuir las pérdidas por escorrentía, como se muestra en el Cuadro 38.

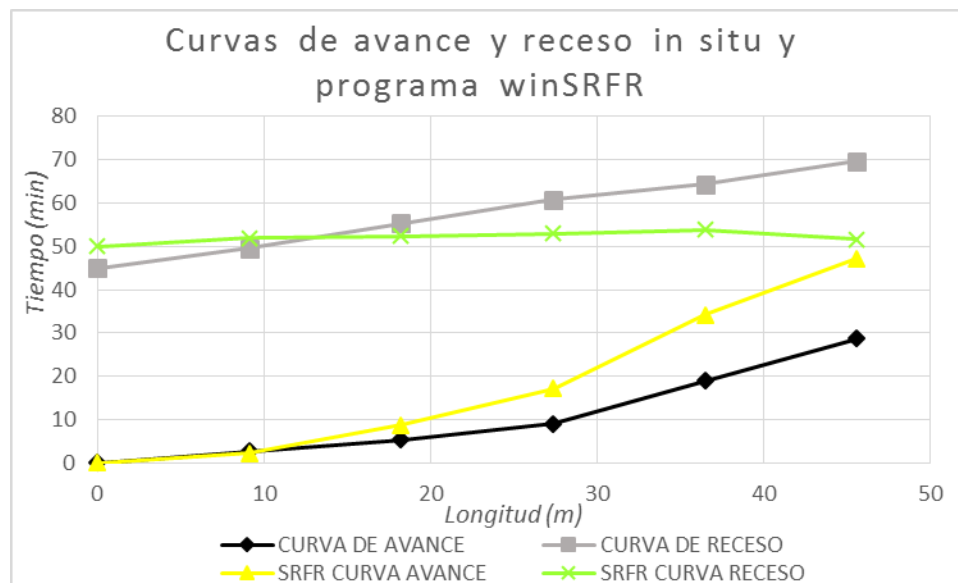
El programa winSRFR nos proporciona los datos ajustados de las variables de proyecto para un riego ideal para el cultivo de la arveja en este caso fueron, tiempo de riego 50 minutos y su respectivo caudal 2,258 l/s, y los tiempos de avance y recesión en cada estación se adjuntan en el Cuadro 39.

Cuadro 39. *Tiempos de avance y receso del agua emitidos por el programa winSRFR 3ra propuesta del riego cultivo arveja*

ESTACIÓN	LONGITUD (m)	TIEMPO DE AVANCE (min)	TIEMPO DE RECESO (min)
0	0	0	50
1	9,12	2,2	51,9
2	18,24	8,7	52,3
3	27,36	17,2	52,9
4	36,48	34,1	53,9
5	45,6	47,2	51,6

Fuente: Programa winSRFR

En la Figura 52 se puede apreciar las curvas de avance y receso para el tiempo de 45 minutos y para el tiempo de riego 50 minutos que nos proporcionó el programa después de realizar una serie de simulaciones.



Fuente: Programa winSRFR

Figura 52. *Curvas de avance y receso obtenidas en la evaluación del riego en campo y con el programa winSRFR (3ra propuesta de riego) en el cultivo de la arveja*

Las propuestas de mejora del riego en la parcela de arveja, como se muestra en los Cuadros 34, 36 y 38 las variables de proyecto obtenidas como resultado de la simulación con el programa winSRFR de acuerdo a Serrano (2014) difieren significativamente a los valores empleados en la evaluación tanto en campo como con el programa, esto debido a que el tiempo de riego empleado en las evaluaciones se lo determino de acuerdo a información local como en el anterior caso.

6. CONCLUSIONES

- Las elevadas eficiencias de aplicación obtenidas en las tres evaluaciones en el cultivo del haba, se deben, a una directa proporcionalidad de la lámina neta para cada riego y relativamente elevados caudales de riego.
- Las pérdidas de agua de riego por percolación en las tres evaluaciones realizadas en el cultivo del haba, fueron bajas, debido a que el agua solo infiltró hasta la zona radicular, esto se debió a la velocidad (elevada corriente) con la cual el agua se movió sobre la superficie del surco.
- El agua de riego perdida por escorrentía en el cultivo del haba fue relativamente alta, esto debido a los caudales empleados y el bajo volumen de agua infiltrado a lo largo del surco en la cual se realizaron las evaluaciones.
- La relación entre el volumen de agua almacenado y el volumen de agua aplicado (eficiencia de aplicación) en las tres evaluaciones realizadas en el cultivo de la arveja, fueron próximos al ideal 60 %, lo cual indica que los caudales empleados en los riegos y el tiempo de aplicación fueron los ideales así como las láminas netas.
- Las pérdidas de agua debida a la percolación profunda en el cultivo de la arveja se debió al caudal aplicado que en su caso fue elevado, a la baja velocidad de movimiento del frente de avance del agua en el surco y a la rugosidad de la superficie del surco.
- Se determinó que la escorrentía del agua al final del surco en el cultivo de la arveja fue función del caudal aplicado, el desnivel del surco y la infiltración del agua en el mismo.
- En el cultivo del haba a medida que el frente de avance del agua de riego alcanzo las diferentes estaciones los tiempos empleados en llegar a las últimas estaciones fueron mayores a las iniciales, debido a la infiltración y al humedecimiento del perímetro mojado del surco.
- El tiempo empleado en infiltrar y abandonar el agua las estaciones del surco posterior a suprimir el caudal de ingreso, fueron cortos, razón por la cual el comportamiento de la curva de receso en el cultivo del haba fue decreciente.

- En el cultivo de la arveja el frente de avance del agua de riego en la tres evaluaciones emplearon mayor tiempo en llegar a las ultimas estaciones que a las estaciones iniciales, ya que el agua simultáneamente que se infiltraba sobre la superficie del surco, cubrió todo el perímetro mojado y se trasladó el frente de avance con menor velocidad que al inicio del surco, razón por la cual se emplearon mayores tiempo de avance.
- Una vez suprimido el caudal de ingreso del agua de riego en el surco en el cultivo de la arveja, el tiempo promedio de vaciado del agua de cada estación fue de 4,9 minutos, el comportamiento de la curva para cada estación equidistante fueron semejantes a razón de la uniformidad del desnivel y la buena distribución del agua a lo largo del surco.
- En el cultivo del haba en las tres evaluaciones realizadas posterior a realizarse una serie de simulaciones con el programa winSRFR se concluyó que las variables de proyecto (tiempo y caudal de riego) que mejor se adecuan en las evaluaciones fueron primera evaluación 80 minutos tiempo de riego y 1,848 l/s de caudal, segunda evaluación 90 minutos tiempo de riego y 1,758 l/s de caudal y la tercera evaluación 80 minutos tiempo de riego y 2,089 l/s de caudal, estas variables de proyecto aseguran una buena distribución del agua y el adecuado almacén en la zona radicular, como se pudo observar y determinar en la simulación del movimiento e infiltración del agua con el programa winSRFR.
- En el cultivo de la arveja posterior a realizarse las tres evaluaciones de los riegos, y una serie de simulaciones con el software winSRFR, con el fin de optimizar las variables de proyecto, se determinó para la primera evaluación los datos que mejor se ajustaron fueron tiempo de riego 65 minutos y caudal de riego 1,812 l/s, la segunda evaluación tiempo de riego 60 minutos y caudal de riego 2,158 l/s y la tercera evaluación tiempo de riego 50 minutos y caudal de riego 2,258 l/s, de esta forma se concluye que para regar la parcela de arveja y garantizar un riego completo cuyos surcos presenten una longitud de 45,6 m se deben emplear las variables de proyecto propuestas por el programa winSRFR.

7. RECOMENDACIONES

En función a los resultados obtenidos en el presente trabajo se sugiere las siguientes recomendaciones:

- Emplear otros programas (software) de evaluación del riego por superficie y simultáneamente realizar la evaluación en campo.
- Importante realizar la apertura de los surcos sin que presente ondulaciones en toda su longitud, razón por la cual estas pueden llevar a una mala toma de datos en las fases de avance del agua.
- En topografías con pendientes superiores al 2 % emplear surcos corrugados en zigzag.

8. BIBLIOGRAFÍA

AMURRIO, F., 1997. Temas de Riego para técnicos superiores en Agronomía. Universidad Mayor de San Simón. Cochabamba, Bolivia. 130p.

BENITES, C.; 2010. Sistemas Hidráulicos de Riego diseño y construcción. Editorial UNSA. Lima, Perú. 699 p.

BERNIER, R.; 2007. Curso de Capacitación para operadores del programa de Recuperación de Suelos Degradados. Centro Regional de Investigación Remehue, Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Osorno, Chile. 17p.

BOS, M.; CLEMMENS, A.; REPLOGLE, J.; 2003. Aforadores de caudal para canales abiertos. International Institute for Land Reclamation and Improvement. Holanda. pp. 134 – 140.

CAÑAMERO, M.; VASQUEZ, A.; VASQUEZ, I.; VASQUEZ, C.; 2017. Fundamentos de la ingeniería del riego. Universidad Nacional Agraria la Molina. Primera edición. Lima, Perú. 442p.

CHIPANA, R.; 1996. Principios de riego y drenaje. Universidad Mayor de San Andrés. Facultad de Agronomía. La paz, Bolivia. 202p.

CISNEROS, R.; 2003. Apuntes de la materia de Riego y Drenaje. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Facultad de Ingeniería. México. 131p.

CHOQUE, R.; 2015. Evaluación del riego por superficie utilizando el método por kanis y surcos corrugados en zigzag en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) en la Estación Experimental Choquenaira. Tesis de Grado para optar el título de ingeniero agrónomo. Facultad de Agronomía, UMSA. La paz, Bolivia. pp. 33 – 36.

CHOW, V.; MAIDMENT, D.; MAYS, L.; 1994. Hidrología aplicada. Editorial McGraw-Hill S.A. Santafé de Bogotá, Colombia. 545p.

DA SILVA, N.; FARIAS, M.; RAJ, H.; 2011. Recursos hídricos usos y manejos. Editorial Livraria da Física. Segunda edición. Sao Paulo, Brasil. 141p.

FACI, J.; PLAYAN, E; 1994. Principios básicos del riego por superficie. Ministerio de agricultura pesca y alimentación. Zaragoza, España. 31p.

FERNÁNDEZ, R.; MILLA, M.; ÁVILA, R.; BERENGENA, J.; GAVILÁN, P.; OYONARTE, N.; 2010. Manual de Riego para Agricultores Riego por Superficie. Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera CONSEJERÍA DE AGRICULTURA Y PESCA. Sevilla, España. pp. 22 – 30.

FONTOVA, M.; GARCÍA, E.; 2001. Ingeniería del Riego. Instituto Superior Politécnico “José Antonio Echeverría” Editorial Félix Valera. Habana, Cuba. 376p.

FUENTES, J.; 2001. Técnicas de riego. Ministerio de Agricultura, pesca y Alimentación. Tercera edición. Madrid, España. pp. 205 – 230.

GUROVICH, L.; 1995. Fundamentos y diseño de Sistemas de Riego. Instituto interamericano de cooperación para la Agricultura. Décimo segunda edición. San José, Costa Rica. 433p.

INIAF.; 2006. Manual del cultivo de Haba. Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal. Bolivia. 22p.

LÁZARO, P.; SAUCEDO, H.; ZATARÁIN, F.; 2010. Riego por gravedad. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. México. 46p.

LOSADA, A.; 2005. El Riego: Fundamentos de su hidrología y de su práctica. Universidad Politécnica de Madrid. Editorial Aedos, s.a. Madrid, España. 257p.

MARTÍNEZ, R.; PRIETO, D.; ANTÚNEZ, A.; ZELMER, H.; 2007. Evaluación del Riego Superficial como herramienta para el mejoramiento del diseño y operación de los sistemas. Chile. 25p.

MINISTERIO DE TRANSPORTE Y COMUNICACIONES.; 2008. Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje. Perú. 183p.

MIRANDA, R.; 2004. Introducción a la Geología Agrícola. Facultad de agronomía, UMSA. La paz, Bolivia. pp. 23 – 30.

MONTES DE OCA, I.; 1992. Sistemas de riego y agricultura en Bolivia. Ministerio de Asuntos Campesinos y Agropecuarios. La Paz, Bolivia. 110p.

MOYA, J.; 2009. Riego localizado y fertirrigación. Cuarta edición. Madrid, España. 573p.

ORSAG, V.; 2010. El recurso suelo principios para su manejo y conservación. Facultad de agronomía, UMSA. Primera edición. Editorial Zeus. La paz, Bolivia. 473p.

PDM Municipio Palca 2006. Plan de Desarrollo municipal Palca. Gobierno Autónomo Municipal de Palca. 346 p.

PRIETO, G.; 2003. El cultivo de Arveja. Instituto Nacional de Tecnología del Agua. Argentina. 25p.

ROBINSON, G.; 2008. Los suelos su origen, constitución y clasificación Introducción a la Edafología. University College of North Wales Bangor. Décimo tercera edición. USA. pp. 482 – 495.

RODRIGUES, R.; 1994. Simulación y análisis del riego por surcos a través del modelo SRFR. Tesis de post grado para optar el título de maestro en Irrigación y Drenaje. Universidad Federal de Ceará. Fortaleza, Brasil. 131p.

SANDOVAL, J.; **VARAS, E.;** 1989. Riego por surcos. Instituto de investigaciones Agropecuarias. Estación experimental Carillanca. Temuco, Chile. 20p.

SANTOS, L.; **DE JUAN, J.;** **PICORNELL, M.;** **TARJUELO, J.;** 2010. El riego y sus tecnologías. Centro Regional de Estudios del Agua, Universidad de Castilla – La Mancha. Primera edición. Albacete, España. 299p.

SERRANO, G.; 2014. Ingeniería del Riego Tecnificado. Universidad Pública de el Alto. Primera edición. El Alto, La paz Bolivia. pp. 12 – 16.

VILLON, M.; 2002. Hidrología. Instituto Tecnológico de Costa Rica Escuela de Ingeniería Agrícola. Editorial Villón. Segunda Edición. Lima, Perú. 424p.

WALKER, W.; **SKOGERBOE, G.;** 1987. Surface irrigation Theory and Practice. Utah State University. United States of America. pp. 121 – 130.

ANEXOS

Anexo 1. Análisis del suelo



UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMIA
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
LABORATORIO DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA EN SUELOS Y AGUA
(LAFASA)



ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE SUELOS

INTERESADO: Paulino Ruiz
PROCEDENCIA: DEPARTAMENTO DE LA PAZ
PROVINCIA: Murillo
MUNICIPIO: Palca
MUESTRA: **HUANCAPAMPA (S/N)**

No SOLICITUD: LAF- 593
FECHA DE ENTREGA: 27 DE NOVIEMBRE DE 2017

PARAMETRO	UNIDAD	VALOR	MÉTODO	
TEXTURA	Arena	%	20,8	Bouyoucos
	Limo	%	51,6	
	Arcilla	%	27,6	
	Clase Textural	-	franco	-
Densidad aparente	g/cm ³	1,46	Parafina o Probeta	
pH en H ₂ O relación 1:5	-	7,52	potenciometría	
Conductividad eléctrica en H ₂ O relación 1:5	mmho/cm	0,34	potenciometría	
Materia orgánica	%	5,99	walkley y black	
Nitrógeno	%	0,16	-	
fosforo disponible	ppm	35,50	Bray y Kurtz ; Olsen	
Potasio intercambiable	meq/100g S.	0,68	acetato de amonio	
Calcio intercambiable	meq/100g S.	12,08	1N pH 7	
Magnesio intercambiable	meq/100g S.	2,83	(Espectrofotómetro	
Sodio intercambiable	meq/100g S.	0,00	de emisión y	
Capacidad de intercambio catiónico	meq/100g S.	28,03	absorción atómica)	

Valores Porcentuales



Parámetro	Porcentaje
Textura	100
Dap	30
pH	85
CE	100
MO	100
N	80
P	100
K	80
Ca	70
Mg	80
Na	80
Cl	100

INTERPRETACIÓN: Los parámetros evaluados, nos permiten apreciar que es necesario realizar un aporte de 20,80 Kg/ha de nitrógeno. El mismo será seleccionado a criterio de los técnicos.



Ph.D. Roberto Miranda Casas
LABORATORIO DE SUELOS

Anexo 2. Análisis de agua



MINISTERIO DE ENERGÍAS

INSTITUTO BOLIVIANO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA NUCLEAR
CENTRO DE INVESTIGACIONES Y APLICACIONES NUCLEARES
UNIDAD DE ANÁLISIS Y CALIDAD AMBIENTAL

ANALISIS FISICO QUIMICO DE AGUAS

INTERESADO : **LUIS MAMANI POMA**
PROCEDENCIA : **Departamento LA PAZ,**
Provincia: MURILLO,
Municipio: PALCA,
A G R U C O

N° SOLICITUD: **163 / 2017**
FECHA DE RECEPCION : **31 / Agosto / 2017**
FECHA DE ENTREGA : **25 / Septiembre / 2017**

DESCRIPCIÓN : *Muestra de agua: Comunidad Tacapaya, río.*

N° Lab.	PARAMETRO	Resultado	Unidades	Método
533-01 2017	pH	6,80	-	Potenciometría
533-02 2017	Conductividad eléctrica	424,00	µS/cm	Conductancia
533-03 2017	Sodio	5,42	mg / L	Flamometría
533-04 2017	Potasio	1,54	mg / L	Flamometría
533-05 2017	Calcio	61,61	mg / L	Absorción atómica
533-06 2017	Magnesio	12,01	mg / L	Absorción atómica
533-07 2017	Cloruros	3,87	mg / L	Método argentométrico
533-08 2017	Carbonatos	0,00	mg / L	Volumetría
533-09 2017	Bicarbonatos	159,92	mg / L	Volumetría
533-10 2017	Sulfatos	73,37	mg / L	Espectrofotometría UV-Visible
533-11 2017	Sólidos Suspendidos	7,00	mg / L	Gravimétrico
533-12 2017	Sólidos Totales	341,15	mg / L	Gravimétrico
533-13 2017	Sólidos Disueltos	334,67	mg / L	Gravimétrico
533-14 2017	Boro	0,23	mg / L	Espectrofotometría UV-Visible

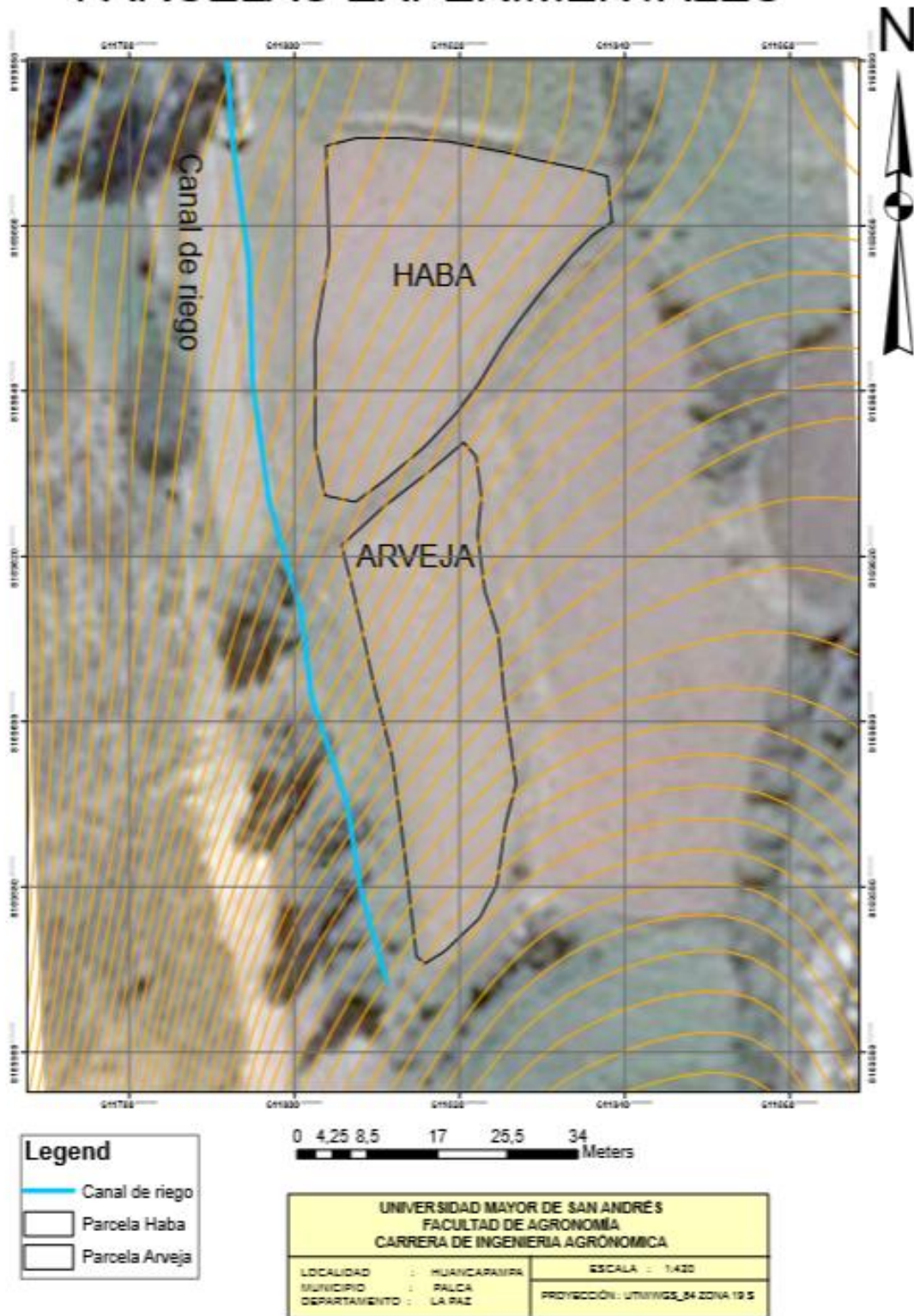
OBSERVACIONES.-



[Handwritten Signature]
RESPONSABLE DE LABORATORIO
JORGE CHUNGARA C.

Anexo 3. Ubicación de las parcelas experimentales.

PARCELAS EXPERIMENTALES

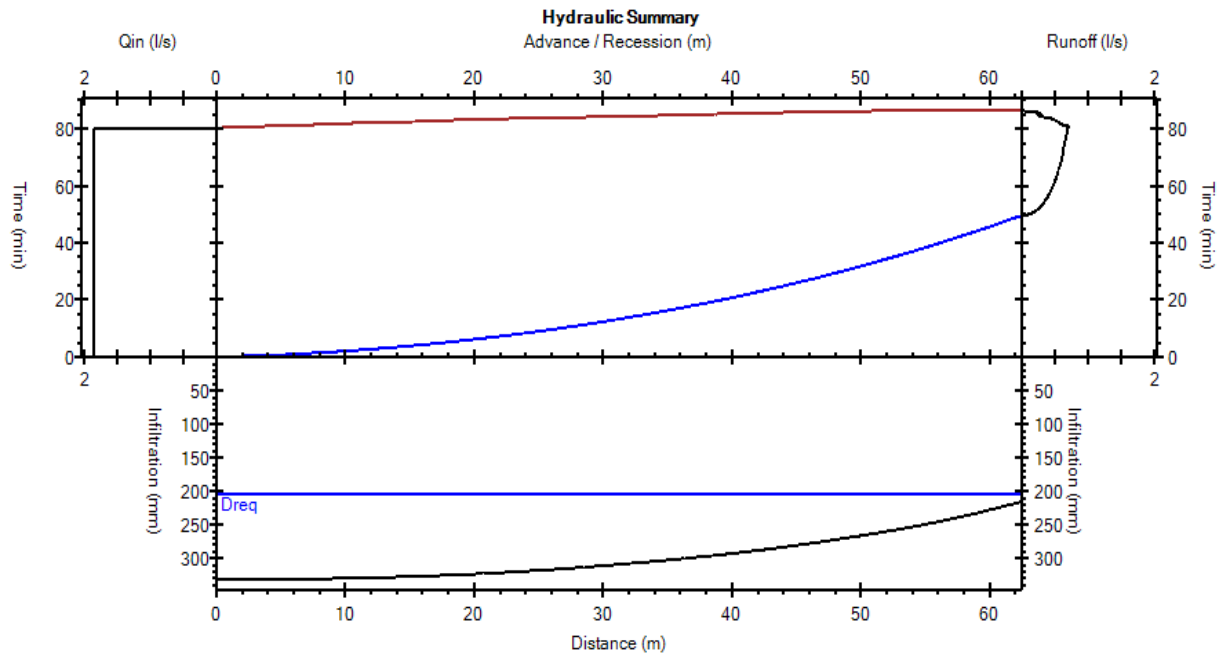


Anexo 4.

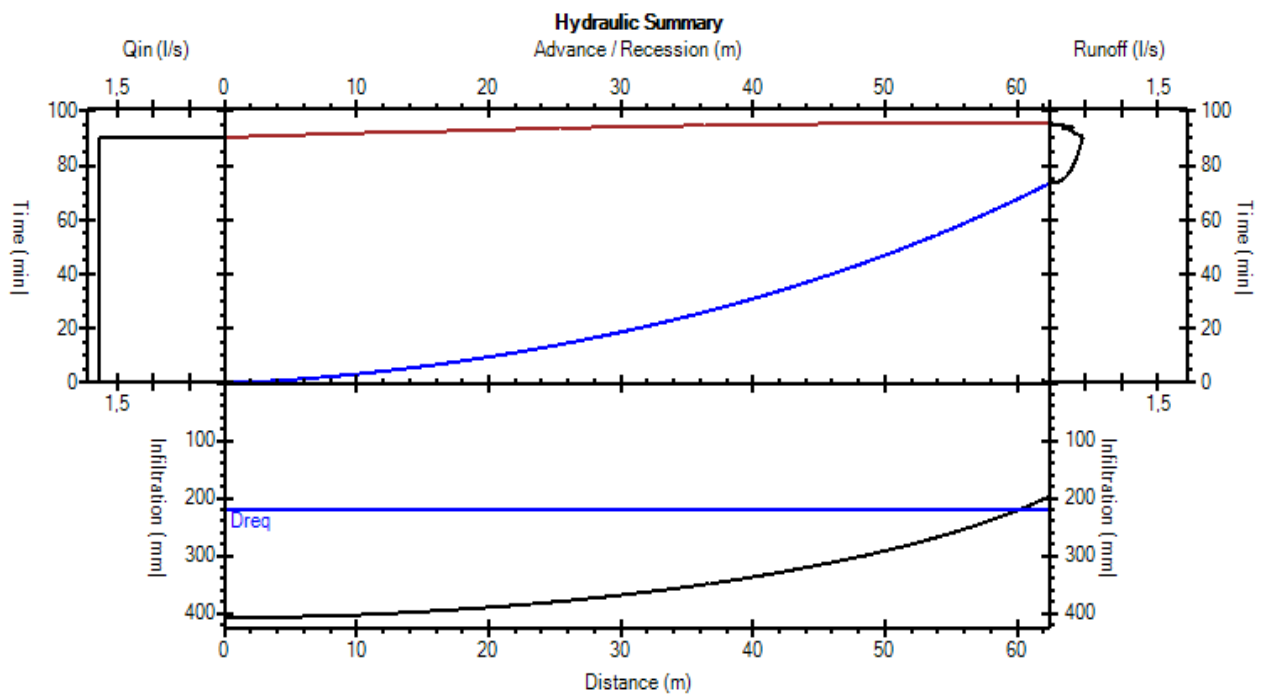
Tabla 5.2 Relaciones de carga-caudal, en unidades métricas, para cinco pequeños aforadores, de uso en canales sin revestir^a

$b_c = 50 \text{ mm}$		$b_c = 75 \text{ mm}$		$b_c = 100 \text{ mm}$		$b_c = 150 \text{ mm}$		$b_c = 200 \text{ mm}$	
h_l (m)	Q (litros/s)	h_l (m)	Q (litros/s)	h_l (m)	Q (litros/s)	h_l (m)	Q (litros/s)	h_l (m)	Q (litros/s)
0,005	0,0263			0,010	0,1390			0,020	0,9348
0,006	0,0361			0,012	0,2155			0,022	1,092
0,007	0,0470	0,007	0,0672	0,014	0,2784	0,014	0,4010	0,024	1,258
0,008	0,0591	0,008	0,0844	0,016	0,3473	0,016	0,4995	0,026	1,433
0,009	0,0721	0,009	0,1030	0,018	0,4222	0,018	0,6061	0,028	1,617
0,010	0,0863	0,010	0,1230	0,020	0,5030	0,020	0,7203	0,030	1,809
0,011	0,1014	0,011	0,1443	0,022	0,5896	0,022	0,8421	0,032	2,010
0,012	0,1176	0,012	0,1669	0,024	0,6820	0,024	0,9712	0,034	2,219
0,013	0,1347	0,013	0,1908	0,026	0,7801	0,026	1,108	0,036	2,436
0,014	0,1529	0,014	0,2160	0,028	0,8839	0,028	1,251	0,038	2,662
0,015	0,1721	0,015	0,2424	0,030	0,9936	0,030	1,402	0,040	2,896
0,016	0,1924	0,016	0,2701	0,032	1,109	0,032	1,560	0,042	3,139
0,017	0,2136	0,017	0,2991	0,034	1,230	0,034	1,725	0,044	3,389
0,018	0,2358	0,018	0,3293	0,036	1,357	0,036	1,897	0,046	3,648
0,019	0,2591	0,019	0,3607	0,038	1,490	0,038	2,077	0,048	3,915
0,020	0,2834	0,020	0,3934	0,040	1,628	0,040	2,263	0,050	4,190
0,021	0,3088	0,021	0,4274	0,042	1,773	0,042	2,456	0,055 ^b	4,913
0,022	0,3351	0,022	0,4625	0,044	1,923	0,044	2,656	0,060	5,688
0,023	0,3626	0,023	0,4990	0,046	2,080	0,046	2,864	0,065	6,513
0,024	0,3910	0,024	0,5366	0,048	2,242	0,048	3,078	0,070	7,389
0,025	0,4206	0,025	0,5755	0,050	2,410	0,050	3,300	0,075	8,317
0,026	0,4512	0,026	0,6157	0,052	2,584	0,052	3,528	0,080	9,297
0,027	0,4828	0,027	0,6571	0,054	2,765	0,054	3,764	0,085	10,33
0,028	0,5155	0,028	0,6998	0,056	2,951	0,056	4,007	0,090	11,41
0,029	0,5494	0,029	0,7437	0,058	3,144	0,058	4,257	0,095	12,55
0,030	0,5843	0,030	0,7889	0,060	3,343	0,060	4,514	0,100	13,74
0,031	0,6203	0,032 ^b	0,8832	0,062	3,548	0,062	4,779	0,105	14,98
0,032	0,6574	0,034	0,9825	0,064	3,759	0,064	5,050	0,110	16,28
0,033	0,6956	0,036	1,087	0,066	3,976	0,066	5,329	0,115	17,63
0,034	0,7349	0,038	1,197	0,068	4,200	0,068	5,615	0,120	19,04
0,035	0,7754	0,040	1,312	0,070	4,431	0,070	5,909	0,125	20,50
0,036	0,8170	0,042	1,432	0,072	4,667	0,072	6,210	0,130	22,01
0,037	0,8597	0,044	1,557	0,074	4,911	0,074	6,518	0,135	23,59
0,038	0,9035	0,046	1,688	0,076	5,160	0,076	6,833	0,140	25,22
0,039	0,9486	0,048	1,824	0,078	5,417	0,078	7,157	0,145	26,90
0,040	0,9947	0,050	1,966	0,080	5,680	0,080	7,487	0,150	28,65
0,041	1,042	0,052	2,113	0,082	5,949	0,082	7,825	0,155	30,45
0,042	1,091	0,054	2,266	0,084	6,226	0,084	8,169	0,160	32,31
0,043	1,140	0,056	2,424	0,086	6,509	0,086	8,522	0,165	34,23
0,044	1,191	0,058	2,588	0,088	6,798	0,088	8,883	0,170	36,21
0,045	1,243	0,060	2,758	0,090	7,095	0,090	9,251	0,175	38,25
0,046	1,297	0,062	2,933	0,092	7,399	0,092	9,626	0,180	40,35
0,047	1,351	0,064	3,115	0,094	7,709	0,094	10,01	0,185	42,51
0,048	1,407	0,066	3,302	0,096	8,026	0,096	10,40	0,190	44,73
0,049	1,464	0,068	3,495	0,098	8,350	0,098	10,80	0,195	47,01
0,050	1,522	0,070	3,693	0,100	8,682	0,100	11,21	0,200	49,35
		0,072	3,898			0,105 ^b	12,26		
		0,074	4,109			0,110	13,36		
		0,076	4,326			0,115	14,51		
						0,120	15,71		
						0,125	16,96		
						0,130	18,26		
						0,135	19,62		
						0,140	21,02		
						0,145	22,49		
						0,150	24,00		

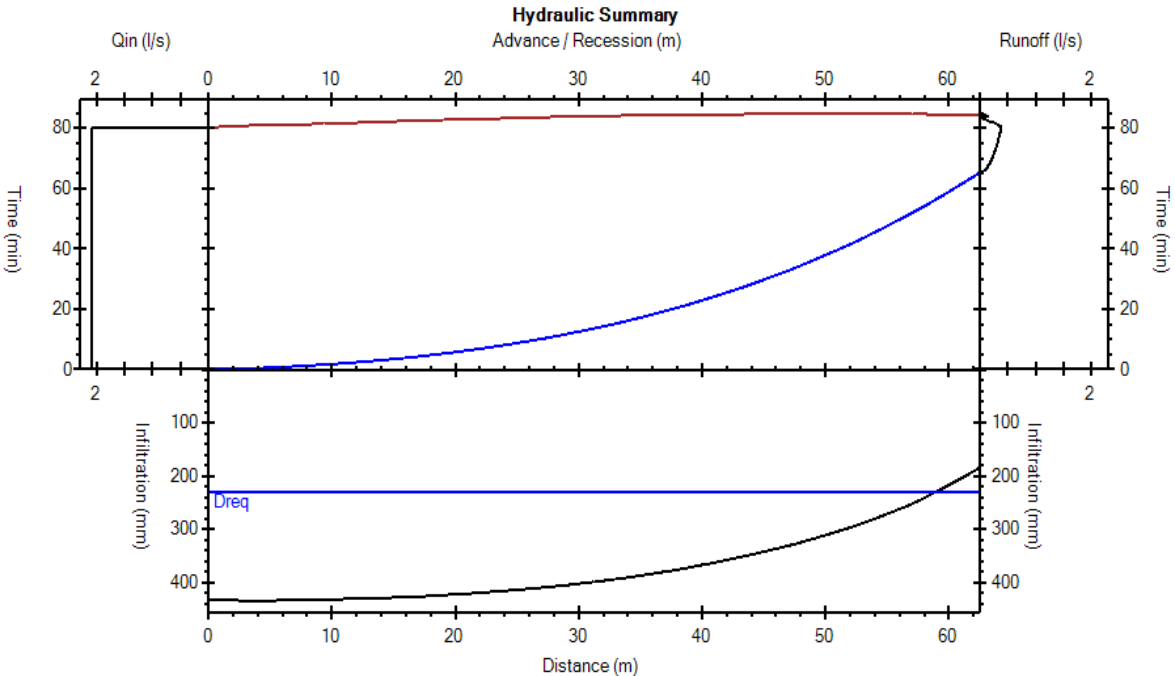
Anexo 5. Distribución espacial del agua 1ra propuesta de riego de acuerdo a las variables de proyecto ideales en el cultivo de la Haba.



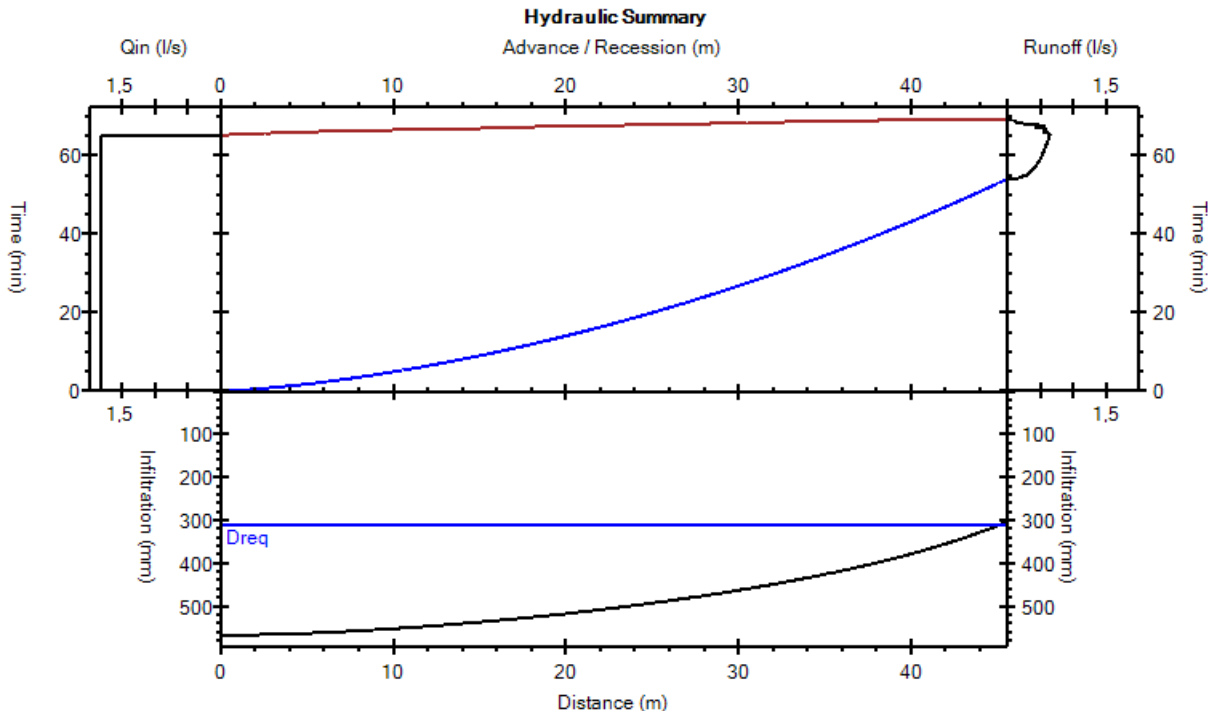
Anexo 6. Distribución espacial del agua 2da propuesta de riego de acuerdo a las variables de proyecto ideales en el cultivo de la Haba.



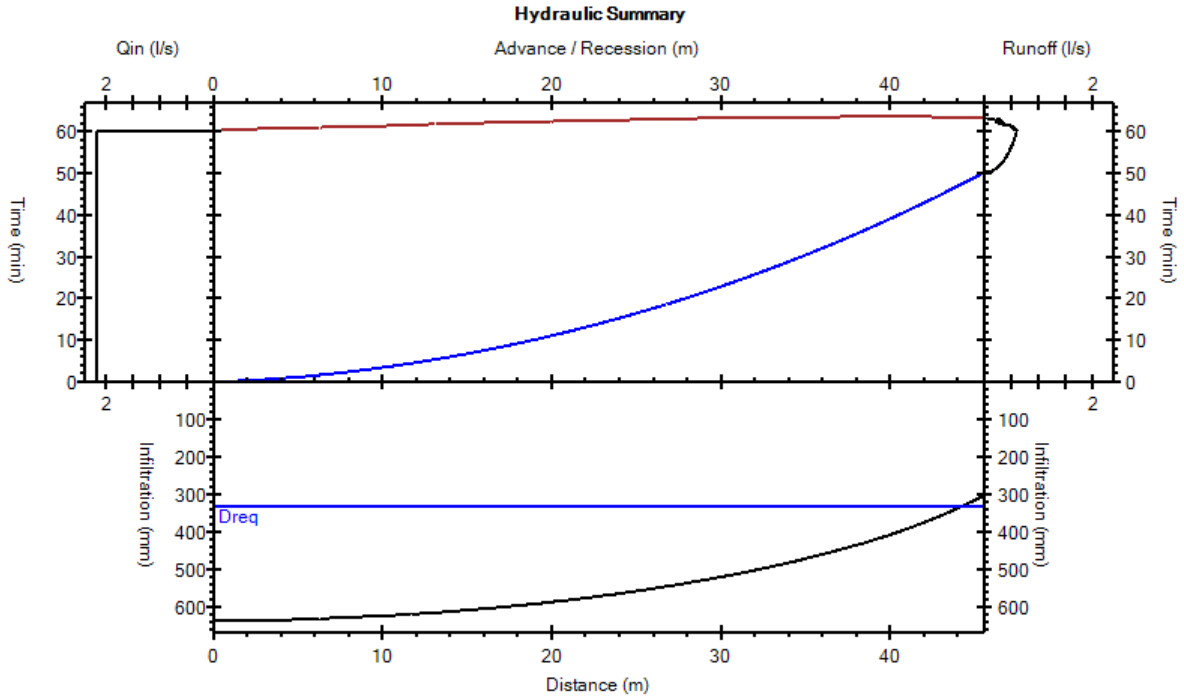
Anexo 7. Distribución espacial del agua 3ra propuesta de riego de acuerdo a las variables de proyecto ideales en el cultivo de la Haba.



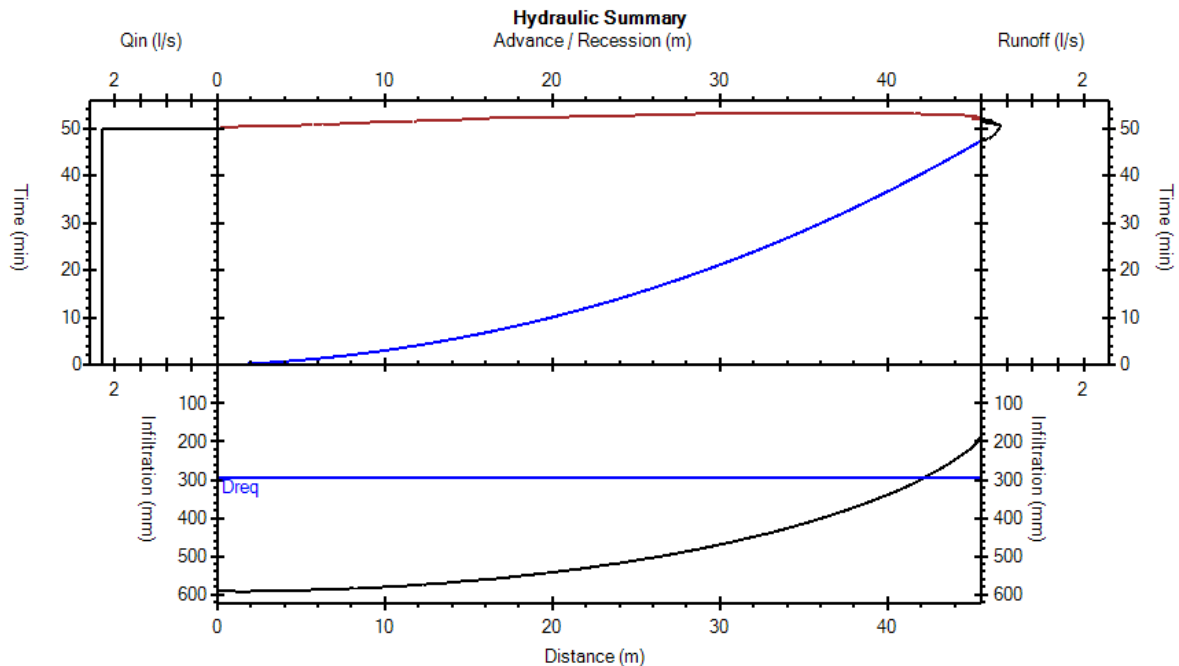
Anexo 8. Distribución espacial del agua 1ra propuesta de riego de acuerdo a las variables de proyecto ideales en el cultivo de la Arveja.



Anexo 9. Distribución espacial del agua 2da propuesta de riego de acuerdo a las variables de proyecto ideales en el cultivo de la Arveja.



Anexo 10. Distribución espacial del agua 3ra propuesta de riego de acuerdo a las variables de proyecto ideales en el cultivo de la Arveja.



Anexo 11. Datos obtenidos en campo empleando los cilindros infiltrómetros concéntricos, el método empleado para determinar la infiltración acumulada y la infiltración instantánea fue el de mínimos cuadrados.

Tiempo (min)		Lamina infiltrada (cm)		X	Y	X*Y	X ²	Zin (cm)	I (cm/h)
Parcial	Acumulada	Parcial	Acumulado						
0	0	0	0					0	0
1	1	2.4	2,4	0,0000	0,3802	0,0000	0,0000	2,157	60,952
1	2	1.3	3,7	0,3010	0,5682	0,1710	0,0906	2,990	42,239
2	4	1.7	5,4	0,6021	0,7324	0,4409	0,3625	4,144	29,271
2	6	1.5	6,9	0,7782	0,8388	0,6528	0,6055	5,016	23,619
5	11	0.9	7,8	1,0414	0,8921	0,9290	1,0845	6,673	17,139
5	16	0.7	8,5	1,2041	0,9294	1,1191	1,4499	7,960	14,057
5	21	0.8	9,3	1,3222	0,9685	1,2805	1,7483	9,048	12,173
5	26	0.6	9,9	1,4150	0,9956	1,4088	2,0021	10,005	10,872
5	31	0.8	10,7	1,4914	1,0294	1,5352	2,2242	10,869	9,906
10	41	1.6	12,3	1,6128	1,0899	1,7578	2,6011	12,399	8,544
10	51	1.3	13,6	1,7076	1,1335	1,9356	2,9158	13,741	7,612
10	61	1.1	14,7	1,7853	1,1673	2,0840	3,1874	14,949	6,924
20	81	1.2	15,9	1,9085	1,2014	2,2928	3,6423	17,085	5,960
20	101	1.1	17	2,0043	1,2304	2,4662	4,0173	18,956	5,303
20	121	0.9	17,9	2,0828	1,2529	2,6094	4,3380	20,639	4,819
SUMATORIA				19,2566	14,4101	20,6833	30,2695		

Anexo 12. Determinando la velocidad de infiltración del agua con los cilindros infiltrómetros concéntricos en las parcelas experimentales.



Anexo 13. Aporque da la parcela Haba.



Anexo 14. Aporque da la parcela Arveja.



Anexo 15. Determinando el desnivel en los surcos.



Anexo 16. Evaluación de los riegos cultivos haba y arveja



Anexo 17. Medición del caudal a la entrada del surco y final del mismo

