

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA DE BIOSISTEMAS

**MODELACIÓN EN EL ANÁLISIS DEL RIEGO POR SURCOS EN
CULTIVO DE CAÑA (*Saccharum officinarum L.*) EN EL
DISTRITO DE RIEGO ARENAL-TEMPISQUE**

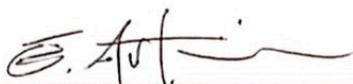
TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN PARA OPTAR POR EL GRADO DE
LICENCIATURA EN INGENIERÍA AGRÍCOLA Y DE BIOSISTEMAS

EDUARDO J. ARTAVIA ALFARO

Setiembre, 2020

APROBACIÓN

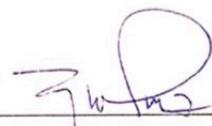
El presente trabajo final de graduación ha sido sometido a la Comisión de Trabajos Finales de Graduación de la escuela de Ingeniería Agrícola y de Biosistemas, como requisito para optar por el grado, así como título de Licenciado en Ingeniería Agrícola y de Biosistemas.



Ing. Eduardo J. Artavia Alfaro, Bach.
Candidato.



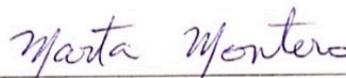
Ing. Alejandra Rojas González, Ph.D.
Directora, Comité asesor.



Ing. Gustavo Díaz Gutiérrez, M.B.A.
Miembro, Comité asesor.



Ing. Sisgo Acuña Chinchila, M.Sc.
Miembro, Comité asesor.



Ing. Marta Montero Calderón, Ph.D.
Presidente, Tribunal examinador.



Ing. Matías Chaves Herrera, M.Sc.
Lector, Tribunal examinador.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres María y Roy y a mi hermano Roy, por el apoyo incondicional brindado durante la carrera, su constante motivación y la fe que pusieron en mi persona.

Al comité asesor del TFG: La Ing. Alejandra Rojas González, el Ing. Sisgo Acuña Chinchilla y el Ing. Gustavo Díaz Gutiérrez por su disposición y asesoría durante la elaboración.

A la Ing. Marianela Alfaro Santamaría por su apoyo y asesoría, a los Ing. Agr. Rafael Mata Chinchilla y Oldemar Vargas Gutiérrez por su asesoría y apoyo en análisis de muestras de suelo.

Al personal de SENARA, especialmente al Ing. José María Alfaro Quesada y al Ing. Diego Sánchez Ramírez por su apoyo y disposición a lo largo de las visitas al DRAT.

Al personal de Taboga, en especial al Ing. Fabricio Camacho y a Olver Ramírez por su apoyo.

Al Dr. Eduardo Bautista por la asesoría en la utilización del software.

A David Badilla y a Christopher Castillo por su apoyo en las giras al DRAT.

A Hellen Brenes Vargas, Irene Campos Salazar y familia, Malena de la Ossa Picado, Sebastián Fallas Salazar, Liz Garzón Suárez, Giovanni Montero Delgado, Cristian Montero Quesada, Sergio Ramos Vásquez, Kerry Ruhlow Mora, Natalia Solano Hernández, José Manuel Solano Vega, Juan Miguel Víquez Rodríguez por su apoyo y motivación a lo largo de la elaboración de este TFG.

RESUMEN

El presente trabajo final de graduación se centra alrededor de la utilización de una herramienta computacional de modelación y análisis de eventos de riego para evaluar y brindar recomendaciones de optimización del recurso hídrico en dos parcelas de la zona del Distrito de Riego Arenal-Tempisque. Estas parcelas utilizan configuración por surcos para regar Caña de azúcar.

El estudio comprendió una descripción de los suelos de las parcelas, en el cual se caracteriza el suelo en términos de su textura, capacidad de materia orgánica, capacidad de retención de humedad y topografía. Para lograr esto, se realizaron una serie de visitas en las cuales se llevaron a cabo muestreos de suelo, levantamientos topográficos y mediciones de parámetros propios del riego como tiempos de avance, secciones transversales y caudales. Asimismo, con las muestras obtenidas, se llevaron a cabo análisis de laboratorio para conocer los parámetros físicos mencionados.

En segundo lugar, se evaluaron los eventos de riego del verano de 2019. Esto se pudo llevar a cabo con la información obtenida en la sección de caracterización de los suelos, así como información brindada por el productor sobre fechas, caudales y tiempos de riego de las parcelas. Para esto, una calibración del software tuvo lugar. En ella se obtuvieron los parámetros de rugosidad e infiltración propios de cada parcela. El resultado de las evaluaciones, permitió conocer la eficiencia de aplicación, uniformidad de distribución,

razón de percolación profunda, razón de escorrentía y profundidad promedio del agua infiltrada en cada evento de riego.

Finalmente, se optimizaron los parámetros del riego mediante una modelación con escenarios en los cuales se variaron la pendiente, longitud de los surcos, el tiempo de riego y el caudal. Estas variaciones dieron lugar a la programación lineal de la eficiencia de aplicación, uniformidad de distribución y percolación profunda. Los escenarios en los cuales se logró la optimización fueron afinados manualmente con el fin de realizar recomendaciones para mejorar la utilización del agua en futuras aplicaciones de riego.

Se obtuvo que aunque los suelos de las parcelas presentan una textura arcillosa, otras características propias de sus estructuras conllevan a que la dinámica del agua en sus suelos sea totalmente distinta. Esto a raíz de diferencias encontradas en características físicas tales como el espacio de poros, densidad aparente y retención de humedad.

En las parcelas de estudio se estimó una eficiencia actual que osciló entre el 6 y el 35%, con razones de percolación profunda de entre 7 y 20% y razones de escorrentía de entre el 45 y 85%. En la modelación, se lograron optimizar los parámetros de caudal, tiempo de corte, pendiente y longitud de surcos de tal forma que se lograra un ahorro de agua de entre 22 y 63%.

Los indicadores calculados recalcan la baja eficiencia de un sistema de riego por gravedad. Esto genera una necesidad de optimizar y utilizar el recurso de mejor manera, dada la amplia utilización de esta técnica de riego en la zona de estudio y en el país.

ÍNDICE GENERAL

<i>APROBACIÓN</i>	<i>1</i>
<i>Agradecimientos</i>	<i>ii</i>
<i>RESUMEN</i>	<i>iii</i>
<i>ÍNDICE DE TABLAS</i>	<i>viii</i>
<i>ÍNDICE DE FIGURAS</i>	<i>x</i>
<i>CAPITULO I</i>	<i>1</i>
1.1. Justificación	1
1.2. Delimitación del problema	3
1.3. Objetivos	4
1.3.1. Objetivo general:	4
1.3.2. Objetivos específicos:	4
1.4. Marco teórico	5
1.4.1. Zona de estudio	5
1.4.2. Modelos matemáticos para riego	6
1.4.3. WinSRFR.....	9
1.4.4. Módulo de evaluación.....	9
1.4.5. Módulo de simulación hidráulica en WinSRFR.....	15
1.4.6. Generalidades de la irrigación por gravedad	17
1.4.7. Riego por surcos	18
1.4.8. Infiltración	20

1.4.9. Muestreo de suelos	21
1.4.10. Parámetros de la relación suelo-planta-agua	22
1.4.11. Determinación de la materia orgánica del suelo	26
<i>CAPÍTULO II</i>	29
2.1 Metodología	29
2.1.1 Parcelas de Estudio	29
2.2. Descripción del suelo de las parcelas	32
2.3. Caracterización del sistema de riego	38
2.4. Validación y calibración del modelo	38
2.5. Evaluación de las condiciones del riego 2019	40
2.6. Mecanismo de optimización	40
<i>CAPITULO III</i>	45
3.1. Resultados y análisis	45
3.1.1 Descripción de los suelos de las parcelas	45
3.1.2. Descripción del sistema de riego	55
3.1.3. Calibración de parámetros de la simulación	61
3.1.4. Evaluaciones del riego del verano 2019	64
3.1.5. Optimización de indicadores de eficiencia y recomendaciones	74
<i>Conclusiones</i>	90
<i>Bibliografía</i>	93
<i>ANEXOS</i>	100

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Funciones disponibles para simulación de riego por surcos.	13
Tabla 2. Parámetros de ingreso al software.....	16
Tabla 3. Pestañas de resultados del software.	16
Tabla 4. Longitudes máximas de surco recomendadas.	19
Tabla 5. Clasificación de la velocidad de infiltración según su magnitud.	20
Tabla 6. Interpretación de porosidades del suelo.	26
Tabla 7. Evapotranspiración real del período de riego de 2019 en las parcelas de estudio.	32
Tabla 8. Principales valores estadísticos para la parcela I8.....	47
Tabla 9. Valores estudiados de las muestras de la parcela Soga 17.....	49
Tabla 10. Valores p obtenidos mediante la comparación de variables entre parcelas.	51
Tabla 11. Valores de p obtenidos mediante la comparación de variables entre profundidades.	53
Tabla 12. Parámetros calibrados para la parcela I8.....	62
Tabla 13. Parámetros calibrados para la parcela S17.....	64
Tabla 14. Indicadores de eficiencia, riegos de la parcela I8 en el verano de 2019.	65
Tabla 15. Valores estadísticos principales de la optimización del riego de la parcela I8. ...	75
Tabla 16. Valores estadísticos principales de la optimización del riego de la parcela S17.	81
Tabla 17. Resultados de las simulaciones con mejores indicadores de eficiencia, parcela S17.....	83
Tabla 18. Resultados de las pruebas de laboratorio de la parcela I8.....	100

Tabla 19. Resultados de las pruebas de laboratorio, parcela S17.....	101
Tabla 20. Resultados de las simulaciones de optimización, parcela I8.....	102
Tabla 21. Resultados de las simulaciones de optimización, parcela S17.....	119

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distrito de riego Arenal-Tempisque	6
Figura 2. Fases de la irrigación por superficie	18
Figura 3. Pérdida por infiltración profunda.....	20
Figura 4. Parcelas Abandonos I8 y Soga 17.....	31
Figura 5. Memoria del levantamiento topográfico.....	33
Figura 6. Memoria de las pruebas de textura.	35
Figura 7. Mufla utilizada en las pruebas de pérdida por ignición.	36
Figura 8. Balanza utilizada.....	37
Figura 9. Medición de sección transversal, parcela I8.	39
Figura 10. Curva de ajuste de los valores de materia orgánica.	46
Figura 11. Suelo al momento del muestreo, parcela I8.	48
Figura 12. Memoria del momento de muestreo, parcela S17.....	50
Figura 13. Toma hidráulica, parcela I8.	55
Figura 14. Croquis, parcela I8	56
Figura 15. Canal de abasto, parcela S17.	59
Figura 16. Canal principal, parcela S17.	59
Figura 17. Croquis, parcela S17.	60
Figura 18. Ejemplar de surco, parcela S17.....	61
Figura 19. Distribución del perfil de mojado luego del cuarto riego, Parcela I8.	66
Figura 20. Curvas de avance y recesión, parcela I8.	68
Figura 21. Distribución del perfil de agua infiltrada en el tercer riego, parcela I8.	69

Figura 22. Distribución del perfil de agua en el quinto evento de riego, parcela S17.	71
Figura 23. Fugas en la trayectoria del agua, parcela S17.	72
Figura 24. Curvas de avance y recesión del quinto evento de riego, parcela S17.....	73
Figura 25. Distribución del perfil de agua en el tercer evento de riego, parcela S17.....	74
Figura 26. Ahorro de agua proyectado según la medida elegida.	77
Figura 27. Distribución del perfil de agua infiltrada (simulación 276 ajustada, parcela I8).	79
Figura 28. Eficiencia de aplicación potencial, parcela I8.....	80
Figura 29. Distribución del perfil de agua en simulación 326, parcela S17.....	82
Figura 30. Distribución del perfil de agua, simulación 302, parcela S17.	84
Figura 31. Distribución del perfil de agua en simulación 529 ajustada, parcela S17.....	86
Figura 32. Distribución del perfil de agua para los surcos del primer tercio, a 2,1 L/s, parcela S17.	87
Figura 33. Eficiencia potencial en función del caudal y la longitud de los surcos, parcela S17.....	89

CAPITULO I

1.1. Justificación

Al ser el agua un recurso limitado, su uso para riego debe utilizarse de manera eficiente, es decir, que la cantidad que se use para regar sea lo más cercana posible a la que utilizan las plantas para desarrollar sus actividades metabólicas. Sumado a esto, el agua es un recurso por el cual los productores deben incurrir en altas inversiones económicas. Es por esto por lo que, al conocer la eficiencia del sistema de riego, se puede generar un ahorro en el rubro de gasto hídrico.

En el Distrito de Riego Arenal Tempisque (DRAT), al menos 28000 ha son sometidas a riego (1), lo que genera necesidades hídricas de gran magnitud. En Costa Rica, en los últimos 10 años, no se han desarrollado estudios relacionados directamente con los parámetros del riego en cultivos de Caña de azúcar regados por surcos. En el más reciente, llevado a cabo en el año 2000, Angulo (2) determinó eficiencias mínimas en el orden de 26% en un cultivo de caña ubicado en el ingenio Taboga. Este valor puede calificarse como muy bajo, si se toma en cuenta que 74% del agua no está siendo aprovechada por el cultivo y que la eficiencia de riego de un sistema por gravedad por surcos puede llegar hasta el 75% (3).

En el caso de riego por gravedad en esta zona, hay una alta probabilidad de que exista un porcentaje de agua que está siendo mal aprovechada. Esta agua, se podría utilizar eventualmente en regar otros terrenos, lo que genera un menor gasto total del recurso. Este mejor aprovechamiento ayuda a cuidar el recurso hídrico de una cuenca e incrementa la disponibilidad de agua para uso agrícola, urbano y del ambiente en general (4). Actualmente, instituciones gubernamentales se encuentran trabajando en PAACUME, un futuro proyecto del Programa Integral de Abastecimiento de Agua para Guanacaste (PIAAG), administrado por SENARA. Esto genera una necesidad aún mayor de optimizar la utilización del recurso hídrico en la zona.

Los programas de simulación y modelación constituyen una importante herramienta, ya que, en muchas ocasiones, el desempeño de los sistemas de riego por gravedad no es evaluado al momento de la irrigación. Inclusive, cuando existen mediciones de campo, algunas de las condiciones, como la infiltración, no pueden ser determinadas con gran precisión debido a que las evaluaciones de campo son de corta duración.

La importancia de este trabajo radica en que en la ingeniería exista la posibilidad de analizar con precisión eventos de riego pasados para agricultores, productores o industrias agrícolas mediante datos ya sea, conocidos de antemano o tomados posteriormente. Esto debido a que las evaluaciones convencionales deben ser realizadas paralelas a los eventos

de riego. De esta manera, se podrían presentar recomendaciones de mejora en uno o varios de los aspectos que afectan la eficiencia de riego.

En el riego por surcos, esta necesidad es aún mayor debido a que esta configuración es, en general, la de más baja eficiencia (3). Debido a esto, la pérdida de agua es aún mayor en estos sistemas.

1.2. Delimitación del problema

Actualmente, en los cultivos de caña del DRAT no se cuenta con un análisis reciente en materia de riego. Debido a esto, es muy probable que el volumen de agua utilizado por día tenga el potencial de ser manejado de mejor manera. El gasto innecesario de agua puede generar grandes gastos económicos. Adicionalmente, el mejor manejo del recurso hídrico genera mayor disponibilidad de este para otros fines. En caso de que existan deficiencias de agua, la optimización del riego en el sector puede beneficiar a una gran cantidad de productores de la zona, lo que eleva la producción.

Un problema común es la ausencia de parámetros necesarios para evaluar el riego en el campo, ya que, en su momento puede que no se cuente con personal capacitado y/o los equipos necesarios. Por esto se requiere un método que permita optimizar la irrigación en estas condiciones. En la sección 1.1 se afirma que el riego por surcos es por lo general la configuración con menor eficiencia, además, las evaluaciones de campo solo toman en

cuenta una parte pequeña del campo y no su totalidad. Por esto es conveniente atender esta situación y tratar de mejorarla de la mejor manera.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general:

Modelar y optimizar los parámetros de eficiencia de riego por surcos de 2 fincas de Caña en el Distrito de Riego Arenal Tempisque.

1.3.2. Objetivos específicos:

1. Describir los suelos de las fincas en relación con la pendiente, textura, densidad aparente, retención de humedad y cantidad de materia orgánica.
2. Realizar una caracterización del sistema de riego por surcos presente en las fincas de caña por analizar.
3. Modelar las condiciones del riego aplicado con el fin de evaluar la utilización del agua en el verano de 2019.
4. Optimizar los parámetros del riego para mejorar el uso del agua en las fincas de caña en los próximos eventos de riego.

1.4. Marco teórico

1.4.1. Zona de estudio

El distrito de riego Arenal Tempisque (DRAT), consiste en una zona de aproximadamente 28000 ha que poseen servicios de riego por gravedad y bombeo. Asimismo, cuenta con abastecimiento de agua destinada a piscicultura. La red de canales hidroagrícolas tiene una extensión de 418 km, de los cuales 255 pertenecen a canales de riego y 163 a canales de drenaje. Sumado a esto, existe una red de 310 km destinada a caminos. En total, este distrito beneficia a 1000 productores directamente (1).

El DRAT (Figura 1), fue creado el 16 de marzo 1984 bajo la dirección del Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento (SENARA). Esto, mediante el decreto ejecutivo N° 15321-MAG, el cual le otorga la administración y control de las aguas generadas en el complejo hidroeléctrico Arenal-Corobicí-Sandillal (ARCOSA), el cual sería aprovechado para regar los cantones de Cañas, Bagaces, Abangares, Liberia y Carrillo. En un año se logró habilitar la primera etapa, que la constituyen 8000 ha en el cantón de Cañas (1).

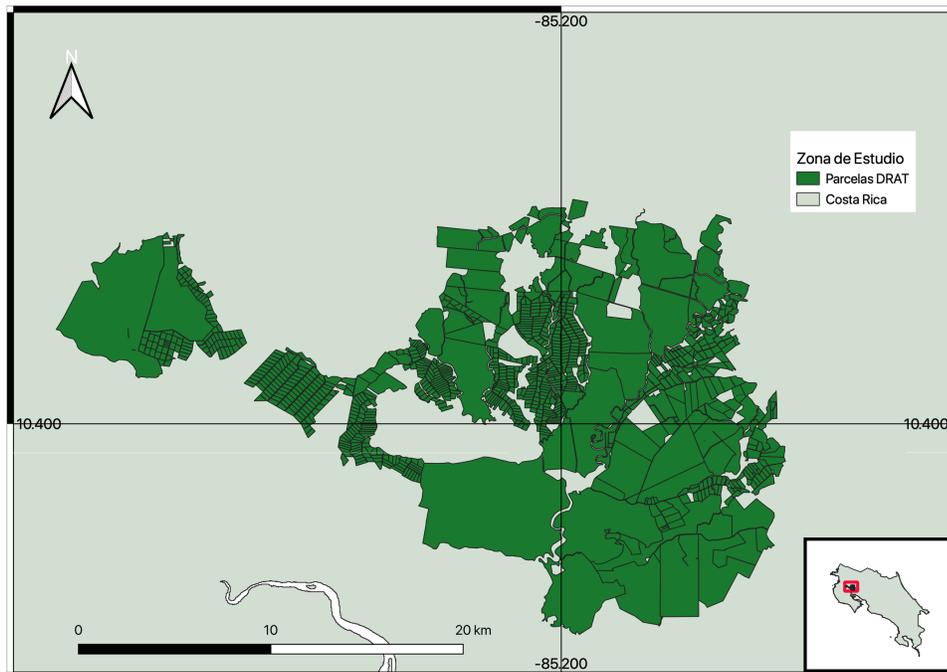


Figura 1. Distrito de riego Arenal-Tempisque

1.4.2. Modelos matemáticos para riego

Las ecuaciones hidrodinámicas que se utilizan para describir el flujo superficial en riego superficial son las ecuaciones de masa y momentum, conocidas como las ecuaciones de Saint-Venant (5), que una vez modificadas para incluir la infiltración son:

$$\frac{\delta A}{\delta t} + \frac{\delta Q}{\delta x} + \frac{\delta Z}{\delta \tau} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{1}{Ag} \frac{\delta Q}{\delta t} + \frac{2Q}{A^2g} \frac{\delta Q}{\delta x} + \left(1 - \frac{Q^2T}{A^3g}\right) \frac{\delta y}{\delta x} - S_0 + S_f = 0 \quad (2)$$

Donde: y : profundidad de flujo (m), t : tiempo desde el inicio del riego (s), τ : periodo de infiltración (s), Q : caudal (m^3/s), x : posición horizontal (m), Z : tasa de infiltración (m/s), g : aceleración de la gravedad (m/s^2), S_0 : pendiente del terreno (m/m), S_f : pendiente de la línea de energía (m/m), A : área de sección transversal (m^2), T : ancho del espejo de agua (m).

Mediante la simplificación de las ecuaciones anteriores, se obtienen 2 modelos, el de cero inercia y el de onda cinemática. El modelo de cero inercia no toma en cuenta los términos inerciales de la ecuación 2, lo que resulta en la expresión:

$$\frac{\delta y}{\delta x} = S_0 - S_f \quad (3)$$

El modelo de onda cinemática no toma en cuenta el gradiente de profundidad de flujo, $(\frac{\delta y}{\delta x})$, debido a que normalmente es pequeño en comparación con la pendiente de línea de energía, por lo que la expresión se reduce a:

$$S_0 = S_f \quad (4)$$

En décadas anteriores, se desarrollaron herramientas para realizar estudios y modelaciones de sistemas de riego. Sin embargo, muy pocas se desarrollaron como paquetes informáticos serios en la toma de decisiones para el manejo, diseño y evaluación de riego. Esto, debido a que muy poca de la investigación acerca de simulación, metodologías y herramientas para

estos fines se ha desarrollado como programas amigables para el usuario (6). Entre las versiones tempranas de herramientas para evaluar sistemas de riego por surcos, se encontraron: FISDEV (Zerihun y Feyen, 1992) y SURDEV (Jurriens et al. 2001). Este último fue utilizado por Kaur et al. (7) para evaluar y optimizar riego por bordes en India.

Por otro lado, SIRMOD (Walker, 2003) y WinSRFR (Bautista et al., 2009) fueron modelos determinados como los únicos más completos y comprensibles para el diseño y modelación de sistemas de riego por gravedad (7), debido a que utilizan los mismos métodos (sonda, Merriam-Keller, Elliot y Walker y EVALUE). Sumado a esto, son los utilizados ampliamente por investigadores y productores (8).

En el caso del software SIRMOD, cuya versión última fue lanzada en 2009, es un software disponible comercialmente que requiere evaluaciones de irrigación previas, específicamente los hidrogramas de escurrimiento y parámetros de infiltración (9). Algunos de los autores que utilizaron SIRMOD para investigaciones en manejo de riego son Kanya et al. (10), Koech et al. (8) y Bakker et al. (11). En estos se obtuvo buenos resultados en cuanto a confiabilidad y exactitud.

Mediante la investigación previa se encontró que el software WinSRFR tiene muy buena exactitud para simular curvas de avance y recesión (12) y que en algunos casos presenta mayor exactitud que el software SIRMOD. En 2018, Masoumeh et al. (13) concluyeron que el software WinSRFR logró llevar a cabo simulaciones con exactitud superior al software

SIRMOD. Asimismo, ha sido utilizado en numerosos estudios, por ejemplo Hardie et al. (14), Bautista et al (15), Mazarei et al. (12) y Wood (16). Su última versión fue lanzada en setiembre, 2019.

1.4.3. WinSRFR

En cuanto al software WinSRFR, tiene disponibilidad libre en la página web de la USDA (17). Se incluyen diferentes módulos, entre estos están el análisis de eventos, simulación, diseño físico y análisis operacional; a continuación, se describe cada uno de ellos.

1.4.4. Módulo de evaluación

El módulo de evaluación de WinSRFR puede simular varias configuraciones de riego por gravedad mediante la consideración del tipo de sistema (surcos o melgas), el método de evaluación, la condición de borde o salida (bloqueada o abierta), la lámina requerida y el costo económico del agua.

Los métodos disponibles para realizar la evaluación son:

- a) El método de penetración por medio de sonda (18), requiere el ingreso de datos de perfil de agua infiltrada. La fuente de error principal de este método consiste en la confiabilidad de las mediciones de la sonda. Una desventaja es que el método está sujeto a su utilización en suelos de textura gruesa o media, por lo que no es recomendable aplicarlo en suelos de textura fina.

- b) El método de Merriam – Keller (19), sirve para estimar la infiltración final en un evento de riego. Para este es necesario el ingreso de hidrogramas de entrada y salida, tiempos de avance y tiempos de recesión. Asimismo, requiere de pruebas de infiltración realizadas en el suelo. La principal desventaja de este método consiste en que se confía en los resultados de la prueba de infiltración en puntos del campo, cuando el campo podría ser heterogéneo y los parámetros, por ende, serían distintos.
- c) El método de Elliot – Walker (20) es uno desarrollado específicamente para surcos. Se basa en observaciones de tiempos de avance e hidrogramas de entrada. Utiliza la ecuación de Kostiakov modificada para describir las características de infiltración, las cuales dan como resultado la calibración de los parámetros de la ecuación de Kostiakov, k y a (ecuaciones 7 y 8). Con el fin de estimar la rugosidad, se deben conducir pruebas de calibración de prueba y error, se pueden añadir más estaciones de medición, en lo cual se basa a su vez el método EVALUE (21), ofrecido también por el software.

Además, el módulo de evaluación requiere el ingreso de los parámetros geométricos, así como el número de surcos regados a la vez. Tanto la sección transversal como la pendiente tienen diferentes métodos de ingreso, de las cuales el usuario puede elegir la que se ajuste mejor a los datos disponibles.

El procedimiento consiste en el ingreso de datos relativos al caudal y el tiempo de corte. El tiempo de corte puede ser ingresado como el medido o se puede ingresar un parámetro que

depende del tiempo de avance observado. Opcionalmente, el usuario puede ingresar parámetros de salida de agua, cambiar la condición de bloqueo aguas abajo e ingresar opciones de caudal reducido. Seguidamente, se ingresan los datos observados en campo, relativos a los tiempos de avance. En esta etapa el programa calcula los parámetros de ajuste de la ecuación de trayectoria (ecuación 6).

La ventana de las propiedades del suelo se utiliza para ingresar los parámetros de rugosidad. En esta, el usuario puede elegir entre valores predeterminados o elegir un coeficiente de rugosidad obtenido mediante simulaciones de prueba y error.

Para calcular los parámetros de infiltración de la ecuación de Kostiakov (k y a), se encuentra la ventana “infiltración”, donde también se ubica una curva de infiltración estimada, según los parámetros ingresados. Finalmente se realiza una verificación, donde se indica si existe algún error en el ingreso de los parámetros.

La ventana de “propiedades del suelo y del cultivo” es utilizada para ingresar la rugosidad hidráulica y los parámetros de infiltración. Para la rugosidad, el coeficiente de Manning, n , es ingresado al modelo al ser conocido, se pueden obtener sus valores de tablas de referencia de rugosidades o bien, iterado para minimizar el error a la hora de la simulación.

El volumen infiltrado por unidad de longitud es calculado con la relación:

$$A_z = WP * t_{op} \quad (5)$$

WP = longitud transversal de la interfaz suelo – flujo a través de la cual la infiltración sucede (m).

t_{op} = función del tiempo de oportunidad

En este modelo, se asume que la infiltración sucede en dirección normal a la superficie del suelo por lo que, en el riego por surcos, WinSRFR tiene una opción específica para lidiar con el movimiento horizontal de la infiltración. También incluye la ecuación de avance en función del tiempo:

$$X = p * T^r \quad (6)$$

Donde X es la distancia, T es el tiempo, r y p son la distancia, tiempo y parámetros empíricos de ajuste, respectivamente.

Para definir las condiciones de infiltración, se requiere definir la función a utilizar y la condición de la función WP. Las funciones de infiltración disponibles para la configuración de los surcos son las conocidas mundialmente y se muestran en la Tabla 1:

Tabla 1. Funciones disponibles para simulación de riego por surcos (18).

Nombre	Fórmula	Número	Parámetros de ingreso
Kostiakov	$z = k\tau^a$	7	$k[L/T^a]$: Constante
Kostiakov modificada	$z = k\tau^a + b\tau$	8	a [adimensional]: exponente $b[L/T]$: tasa de infiltración base
Tiempo de infiltración característico	$z = k\tau_c^a$	9	$T_c [T]$: tiempo de infiltración requerido para Z_{req} $Z[L]$: profundidad de infiltración requerida
Branch	$\begin{cases} z = k\tau^a + c, & \tau \leq \tau_b \\ z = z_b + b\tau, & \tau > \tau_b \end{cases}$	10	$K[L/T^a]$ a [adimensional] $b[L/T]$,

La escogencia de uno o varios de los métodos depende la configuración del sistema de riego. Para surcos, se utiliza el método de Kostiakov-Lewis. Los parámetros de ingreso se discuten más adelante en la sección de infiltración (Sección 1.4.8).

En la ecuación de Kostiakov, k y a , la infiltración base b es determinada mediante la utilización de la relación:

$$b = \frac{Q_a - Q_e}{L} \quad (11)$$

Donde Q_a es caudal de aplicación (m^3/h), Q_e es el caudal de escorrentía (m^3/h) y L es la longitud del surco (m). Para calcular la infiltración acumulada, Z , de la ecuación 8, se utilizan las ecuaciones 12-17:

$$Q_{a,t} = \sigma_y * A_0 * x + \sigma_z * k * t^a * x + \frac{f_0 * t * x}{1+r} \quad (12)$$

Para determinar σ_z , el cual corresponde a un factor de forma subsuperficial, se utiliza la siguiente relación:

$$\sigma_z = \frac{a+r(1-a)+1}{(1+r)*(1+a)} \quad (13)$$

Con este, el modelo computa para a y k :

$$a = \frac{\log(V_L/V_{0.5L})}{\log(\frac{t_L}{t_{0.5L}})} \quad (14)$$

$$k = \frac{V_L}{\sigma_z * t_L^a} \quad (15)$$

Con:

$$V_{0.5L} = \frac{2Q_0 t_{0.5L}}{L} - \sigma_y * A_0 - \frac{b t_{0.5L}}{1+r} \quad (16)$$

$$V_L = \frac{2Q_0 t_L}{L} - \sigma_y A_0 - \frac{b t_L}{1+r} \quad (17)$$

Donde t_L es el tiempo de avance y $t_{0.5L}$ es la mitad de este y σ_y es un factor de forma constante (0.77) y A_0 es el área de la sección de ingreso del caudal.

1.4.5. Módulo de simulación hidráulica en WinSRFR

El módulo de simulación resulta óptimo, ya que funciona tanto para predecir y simular el flujo del agua superficial y subsuperficial, así como la distribución final del agua infiltrada (18). Este módulo requiere que el usuario especifique las características de infiltración y rugosidad, la geometría de la superficie, el gasto y tiempo de corte, los cuales son datos que normalmente se conocen, o se pueden obtener en cualquier momento. La principal diferencia entre ambos módulos es que hay una sección para ingresar las propiedades de suelo/cultivo donde se ingresan los parámetros de infiltración simulados.

Los parámetros de entrada son numerosos para esta modalidad y se especifican en la Tabla 2 y los resultados de los parámetros de salida se describen en la Tabla 3.

Tabla 2. Parámetros de ingreso al software.

Parámetro	Uso
Tipo de sistema	Define el rango de configuración geométrica, así como las opciones de infiltración
Profundidad requerida	Se requiere para calcular los indicadores de eficiencia una vez terminada la simulación.
Longitud, ancho, pendiente, espaciamiento	Requeridos para la simulación
Número de surcos por riego	Requerido para calcular el suministro
Profundidad máxima	Evalúa la condición de inundación
Sección transversal	Requerido para la simulación
Rugosidad	
Densidad de la vegetación	Opcional
Función de infiltración	Requerido para la simulación
Método de entrada de agua	
Caudal	
Condición de perímetro mojado	
Opciones de corte	
Tiempo de corte	
Opciones de caudal reducido	
Condición aguas abajo	

Tabla 3. Pestañas de resultados del software.

Pestaña	Descripción
Resumen	Tabla con el resumen de datos ingresados
Resumen hidráulico	Gráfico combinado que muestra los hidrogramas de trayectoria y el perfil de infiltración final
Avance/recesión	Función de los tiempos de avance y recesión
Infiltración	Profundidad del agua infiltrada como función de la distancia
Infiltración aguas arriba	Gráfico de profundidad de infiltración según los resultados de la simulación
Hidrogramas	Gráfico con las tasas/profundidades del flujo como funciones de tiempo
Perfiles	Profundidad de la superficie del agua como función de la distancia

1.4.6. Generalidades de la irrigación por gravedad

La irrigación por gravedad puede realizarse mediante 4 configuraciones principales: melgas, bordes, surcos e inundación (20). En todas las configuraciones anteriores, da lugar un proceso de 4 fases (20) (Figura 2):

- Fase de avance: consiste en el proceso desde que el agua inicia a correr el área de riego hasta cubrirla. En el caso de surcos, desde que empieza a correr por el surco hasta que cubre el final de este.
- Fase de almacenamiento: es el proceso por el cual el agua escurre y se infiltra durante la aplicación del riego.
- Fase de recesión vertical: una vez que el suministro de agua es detenido, el agua continúa infiltrándose y/o escurre, lo que da lugar a la primera porción de suelo desnudo al inicio de la trayectoria del agua.
- Recesión horizontal: el agua descubre la última porción de suelo al final de la trayectoria cuando se drena totalmente.

En la Figura 2, las curvas representan las trayectorias en las partes iniciales y finales de la superficie regada, ya que el tiempo es acumulativo y la distancia es medida desde el inicio de la trayectoria del agua (20).

En la irrigación por surcos, por lo general, el agua se drena rápidamente. Sumado a esto, el caudal en el surco es mucho más pequeño que el caudal total suministrado al terreno. Es

por esto que, en ocasiones, las fases de la irrigación mencionadas no son necesariamente observables en todos los casos (20).

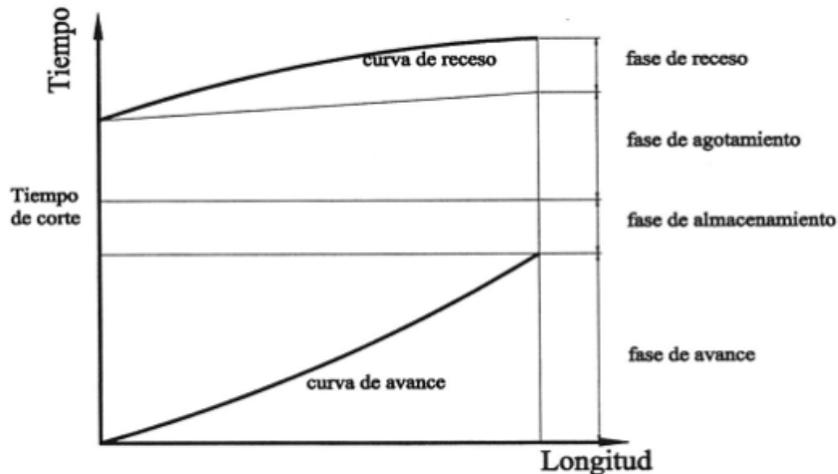


Figura 2. Fases de la irrigación por superficie (22)

1.4.7. Riego por surcos

En un sistema de riego por surcos, como el que se tiene en el caso de estudio, es necesario considerar la pendiente, textura y profundidad de suelo como factores de diseño. La razón principal es que, con base en estos, se definen variables importantes en cuanto al suministro de agua y dimensionamientos del sistema de riego. Las pendientes, por ejemplo, que sean mayores al 2% no son recomendables para estas aplicaciones. Asimismo, la capacidad de retención de agua del suelo depende además, de su pendiente, textura y profundidad del suelo (23). Con base en estas variables, se presenta la Tabla 4. Esta resume las longitudes máximas recomendadas de los surcos del sistema.

Tabla 4. Longitudes máximas de surco recomendadas (23).

Pendiente (%)	Textura								
	Arenosa			Franca			Arcillosa		
	Profundidad (cm)								
	50	100	150	50	100	150	50	100	150
0,25	150	220	265	250	350	440	320	460	535
0,5	105	145	180	170	245	300	225	310	380
0,75	80	115	145	140	190	235	175	250	305
1	70	100	120	115	165	200	150	230	260
1,5	60	80	100	95	130	160	120	175	215
2	50	70	85	80	110	140	105	145	185

Adicionalmente, en la actualidad se utilizan pendientes cercanas a cero con el fin de asegurar una mejor eficiencia y uniformidad en la irrigación (3). Entre otros factores importantes al manejar riego por gravedad, y específicamente, en surcos, son la longitud de estos y el tiempo de corte (3). La Figura 3 muestra un perfil típico de infiltración en el riego por surcos, donde se representa las pérdidas por infiltración profunda más allá de la zona radicular y los faltantes de agua arriba de esta.

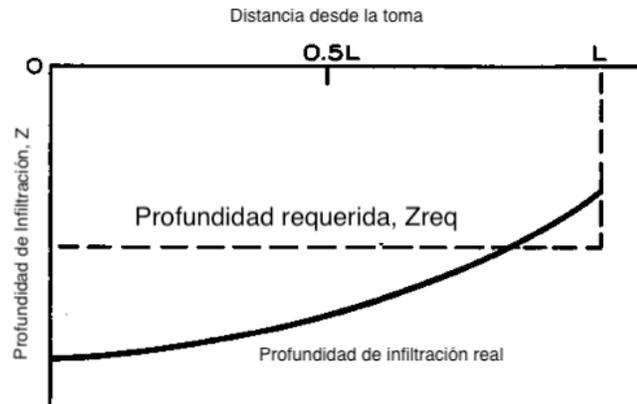


Figura 3. Pérdida por infiltración profunda (20).

1.4.8. Infiltración

La infiltración se refiere a la lámina de agua que penetra o infiltra en el suelo. Normalmente se mide en forma de velocidad y se denota en unidades de lámina de agua por unidad de tiempo. Una unidad común de infiltración es milímetros por hora (mm/h). Esta tasa tiende a ser más alta al inicio de la aplicación de agua en suelo, y disminuir conforme transcurre el tiempo hasta llegar a una tasa de infiltración a suelo saturado (base). Su magnitud puede ser clasificada (Tabla 5).

Tabla 5. Clasificación de la velocidad de infiltración según su magnitud(24).

Clasificación	Magnitud (cm/h)	Suelos
Muy lenta	<0,25	Arcillosos
Lenta	0,25 – 1,75	Arcillosos con materia orgánica
Media	1,75 – 2,50	Presencia de arena o limo
Rápida	> 2,50	Arenosos y limosos con buena agregación

1.4.9. Muestreo de suelos

En Costa Rica, no existe una norma específica de muestreo de suelos para análisis de textura y/o densidad aparente, sin embargo, la norma RTCR 213:1997 (25) especifica los métodos para la toma de muestras para análisis de residuos de plaguicidas. Debido a que no es el caso de este estudio, no se puede asegurar que los métodos de esta norma sean aplicables al análisis de textura y densidad aparente.

Sin embargo, Maphanyane (26) expone los lineamientos para la toma de muestras en suelos, que especifican distintas técnicas dependiendo del suelo que se esté muestreando. Por ejemplo, se indica que el método más común es el aleatorio, especialmente para terrenos que son uniformes. Esta forma, llamada muestreo estratificado, se puede hacer sistemática o aleatoria. Asimismo, lo ideal es que las muestras se tomen con un espaciamiento regular, y que las muestras sean compuestas, es decir que se tomen varias y se combinen, siendo esta combinación representativa del área.

El Australian Precisión Agricultural Laboratory (APAL) (27), también lista estrategias útiles a la hora de tomar muestras, ya sea aleatoria o sistemáticamente. El método del transecto, una línea imaginaria que une dos puntos sobre la cual se toma una muestra, es el método más común. La ventaja es que esta línea puede ser usada en el futuro para tomar muestras y comparar los cambios que ha sufrido el predio. Otros métodos son el zigzag, la diferenciación y la malla. El zigzag es un método que se utiliza para cubrir áreas si se tiene

cuidado. Por otra parte, la técnica de la diferenciación se puede aplicar cuando el terreno no es uniforme en pendiente y en tipo de suelo, sino que se observan cambios evidentes.

1.4.10. Parámetros de la relación suelo-planta-agua

A la hora de evaluar o diseñar el riego de un cultivo, es necesario conocer parámetros de retención de humedad del suelo, como la capacidad de campo (*CC*) y el punto de marchitez permanente (*PMP*). Esto, ya que estos parámetros intervienen en la estimación de cuánta agua el suelo puede almacenar, la lámina neta de riego y cuándo se debe regar.

La USDA (28) define la *CC* como el contenido de humedad de un suelo sometido a drenaje libre de 2 días luego de haber sido saturado, aunque se encontró que se puede tardar hasta 3 días. Kirkham (29) define la *CC* como el contenido de humedad de un suelo luego de uno o dos días de haber sido sometido a riego o a lluvia, mismo modo en que es definido por la National Environmental Monitoring Standards (30). En cuanto al *PMP*, se define, según la USDA (28), como el contenido de humedad de un suelo al cual el girasol se marchita irreversiblemente. Kirkham (29) por otro lado, lo define como el contenido de humedad del suelo al cual una planta no puede absorber agua.

Cabe destacar que estos contenidos de humedad volumétrica varían según la textura del suelo, debido a que el agua se almacena en los microporos existentes en él. Por esta razón, los suelos arcillosos tienden a almacenar más agua que los suelos arenosos.

Los autores e instituciones mencionados coinciden en que la diferencia entre estos dos contenidos de humedad es definida como el agua disponible para la planta. Estos parámetros no son valores fijos en campo, sino que son dinámicos (29), es decir, dependen de otros factores tales como la temperatura, humedad, etc. Sin embargo, existen métodos de laboratorio para determinarlos. Cuando estos parámetros no se pueden obtener, o se vuelve complicado, se calcula al obtener el contenido de humedad del suelo sometido a 0,33 Bar y 15 Bar para determinar la *CC* y el *PMP*, respectivamente (29). Estos valores son utilizados como referencia para analizar el suelo, sin embargo, los valores reales pueden ser lejanos a estos.

Mediante consultas bibliográficas, se encontró que la mayoría de los libros, normas y manuales (31), (32), (33), (3), explican cómo obtener estos parámetros con sistemas presurizados. Sin embargo, se encontró que Kalikinkar et al. (33) , Ruiz y Grillo (34) y Petillo et al. (35) explican procedimientos con sistemas a presión atmosférica para obtener la retención de humedad del suelo mediante la utilización de muestras no disturbadas. Estas muestras son colocadas en anillos de retención, cuyas dimensiones no solo varían entre los autores, sino que Ruiz y Grillo (34) encontraron que el tamaño de estos no tiene influencia significativa en los resultados. Por otra parte, la norma ASTM D6836 (31), establece que las dimensiones mínimas de estos cilindros deben ser 5 mm de alto y 2,5 mm de diámetro interior. Luego de la colocación de muestras en los anillos de retención, se establece saturar

el suelo y medir el contenido de humedad por el método gravimétrico con el fin de obtener la retención luego del drenaje.

La división de física agrícola del Instituto de Investigaciones Agrícolas de New Delhi, India (33), explica un procedimiento para determinar la retención máxima de agua del suelo. Asimismo, este resulta útil, pues a la hora de llevar a cabo un procedimiento a lo largo de varias repeticiones, se requiere que sea consistente para eliminar sesgos.

Por otro lado, Taylor y Achcroft(36), explican el método de obtención del *PMP* mediante la medición del contenido de humedad del suelo al cual el girasol entra en marchitez irreversible. Este procedimiento resulta útil cuando no se dispone del equipo presurizado.

El *PMP* indica la fracción de agua que el suelo tiene en el punto donde a las plantas se les imposibilita extraerla, mientras que el agua útil (*AU*) es la diferencia entre *CC* y este último:

$$AU = (CC - PMP) \quad (18)$$

Con el fin de comparar el agua requerida vs el agua entregada y poder conocer mejor los parámetros de eficiencia, se requiere conocer la máxima cantidad de agua que puede ser almacenada en el suelo. La expresión utilizada para calcular esta magnitud (lámina neta) (37) fue la siguiente:

$$D_{req} = \frac{CC-PMP}{100} * DA * Pr \quad (19)$$

Donde Pr es la profundidad a la cual la raíz de la caña absorbe la mayor cantidad de agua y DA es la densidad aparente.

Conocer la porosidad del suelo es útil para conocer si corresponde a un suelo pesado y compactado:

$$EP = \forall_v / \forall_{vs} \quad (20)$$

Donde \forall_v es el volumen de vacío y \forall_{vs} el volumen total de suelo. Esta porosidad f , finalmente se descompone en:

$$EP = 1 - \frac{DA}{Dr} \quad (21)$$

Donde Dr es la densidad real del suelo (2,65 g/cm³ como valor típico (32)).

La interpretación de los espacios de poros es la siguiente:

Tabla 6. Interpretación de porosidades del suelo (32).

Porosidad (%)	Interpretación
< 30	Muy baja
30 - 40	Baja
40 - 50	Media
50 - 60	Alta
> 60	Muy alta

1.4.11. Determinación de la materia orgánica del suelo

Se entiende por materia orgánica del suelo (*MO*), a la mezcla de sustancias compuestas por restos tanto vegetales como animales. Su importancia radica en que no solo funciona como indicador de carbono orgánico si no que, con base en su cuantificación, se puede estimar la fertilidad de los suelos (38).

Para encontrar las cantidades de materia orgánica, los métodos de oxidación seca resultan prácticos si se dispone del equipo. Implican la medición de las formas de carbono por pérdida de masa por ignición (combustión). Este método resulta más simple, requiere menos labor que los métodos químicos (oxidación húmeda) (39). Por esto, se puede pensar que involucra introducir menos sesgos en los resultados. Además, Heiri et al. (40) sugirieron que el método puede dar resultados exactos y precisos, siempre y cuando se lleve a cabo con cautela.

Mediante recopilaciones de datos, se encontró que varios autores e instituciones establecen distintas temperaturas y tiempos para la determinación de carbono orgánico. Wang et

al(39), encontraron que someter muestras de 5 g durante 17 h a 375 °C, es adecuado para determinar el porcentaje de carbono orgánico. Robertson (41) recomienda lo mismo. Por otro lado, la norma ASTM D2974 (42), propone un método que utiliza una temperatura de 440 °C para determinación de ceniza presente en suelos orgánicos, valor de cual también se puede obtener la materia orgánica. El tiempo de exposición que establece la norma es el necesario para que se alcance una pérdida de masa constante. Esquivel (43) utilizó una temperatura de 450 °C por 24h, para determinar el carbono de los suelos mediante esta temperatura, calculó los porcentajes de materia orgánica. La materia orgánica se calcula mediante la ecuación:

$$\%MO = (M_{110\text{ }^{\circ}C} - M_T) / M_{110\text{ }^{\circ}C} * 100 \quad (22)$$

Donde M_T : masa en gramos de la muestra sometida a la temperatura elegida. M_s : masa en gramos de la masa seca de la muestra, obtenida por gravimetría.

Aunque el método de pérdida por ignición es confiable según los autores citados, como se mencionó anteriormente, se ha descubierto que diferentes autores utilizan temperaturas distintas. Por lo que la temperatura es una potencial fuente de error. Sumado a esto, Hierl (40), menciona que existe un error específico asociado al laboratorio, que en ocasiones, aunque se utilice un método estándar, los resultados pueden mostrarse “muy altos” o “muy

bajos”. A la luz de esta mención, puede ser recomendable utilizar dos métodos y realizar una corrección mediante una curva de correlación.

Otra forma de conocer la materia orgánica es el método de combustión por Dumas (44). Actualmente se utiliza en algunos laboratorios para determinar los contenidos de carbono y nitrógeno de una muestra. Su correlación es muy buena, $R > 0.95$, y este método, aunque no mostró diferencias significativas en comparación al método de pérdida por ignición, resulta ser más exacto (45).

CAPÍTULO II

2.1 Metodología

2.1.1 Parcelas de Estudio

Se realizaron una serie de visitas al DRAT. En estas se llevó a cabo reuniones con los encargados de SENARA y el ingenio Taboga. Este último, puso a disposición varias de las fincas que al momento se encontraban en cosecha. Se realizó un análisis para determinar las fincas óptimas para realizar el estudio, que consistieron en 2 fincas de caña regadas por surcos. Se tomaron en cuenta aspectos como localización de las parcelas, fechas de cosecha y fechas de riego.

La primera parcela (Figura 4a), al momento de la elaboración de este trabajo final de graduación, se denominó I8, y está localizada en la región denominada por el productor como Abandonos. Sus coordenadas son $10^{\circ}18'44,03''$ N y $85^{\circ}09'52,59''$ E y su elevación es de 5 msnm. Se ubica en la provincia de Guanacaste, en el cantón de Cañas y en el distrito de Porozal. Su área cultivada es de 13,4 ha y se encuentra en la cuenca del río Higuerón Sur.

El mapa de suelos del Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica (CIA) (46) indica que en la región donde se ubica esta parcela existen Mollisoles. Este constituye un orden de suelos existente en el sistema de Taxonomía de suelos (47).

Este sistema, define que estos suelos, representativamente, tienen una densidad aparente en entre 1,31 y 1,34 g/cm³ para una profundidad de 0-20 cm, 1,32 y 1,34 g/cm³ para una profundidad de 20-40 cm y 1,32 y 1,46 g/cm³ para una profundidad de 40-60 cm (47). Con respecto a su textura, sus porcentajes de arcilla- limo- arena para las profundidades de entre 0-60 cm, son de entre 21,1 – 28,5- 61,0 y 53,9- 17,9- 17,6, respectivamente (47).

La segunda parcela (Figura 4b), se denomina Soga 17 (S17), ubicada en la zona de La Soga, Bagaces, Guanacaste. Las coordenadas de esta parcela son 10° 26'49,61" N y 85°12'04,67" W y se encuentra a una elevación de 25 msnm.

Con respecto al tipo de suelo presente en esta parcela, la base de datos del CIA (46) indica que, aunque la mayor parte del área de la finca se encuentra sobre Mollisoles/Inceptisoles, existe una parte donde existen vertisoles.

Los vertisoles, representativamente, tienen una densidad aparente de entre 1,27 y 1,28 g/cm³ para una profundidad de 0-20 cm, 1,31 g/cm³ para una profundidad de 20-40 cm y 1,32 y 1,24 y 1,31 g/cm³ para una profundidad de 40-60 cm. Con respecto a su textura, sus porcentajes de arcilla- limo- arena para las profundidades de entre 0-60 cm, son de entre 49 – 56,6- 26,3 y 26,9- 16,5- 24,7, respectivamente (47).

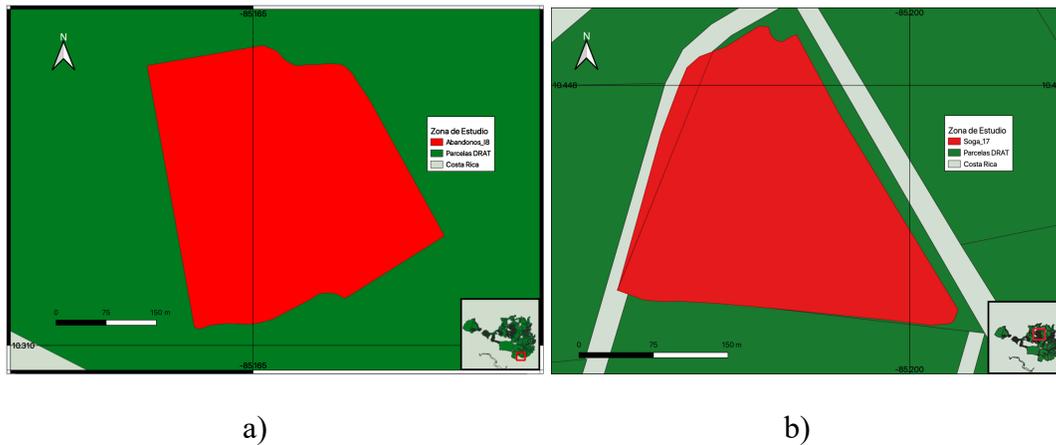


Figura 4. Parcelas Abandonos I8 y Soga 17

En la Tabla 7, se pueden observar los datos mensuales de evapotranspiración correspondientes al año 2019 de las fincas analizadas. Estos se muestran en promedios mensuales tomados de la página del sistema de apoyo para la gestión inteligente del recurso hídrico (SAGIRH)(48). Esta fuente utiliza Mapeo de la evapotranspiración a alta resolución con calibración internalizada (METRIC). Consiste en un modelo de procesamiento de imágenes basado en satélites para calcular la evapotranspiración real (ET) como un residuo del balance energético de la superficie, su proceso de obtención es explicado por Allen et al. (49).

Tabla 7. Evapotranspiración real del período de riego de 2019 en las parcelas de estudio.

Finca	Evapotranspiración Real (mm/día)	
	S17	I8
Enero	3,2	3,8
Febrero	3,2	2,7
Marzo	4,2	4,0
Abril	3,1	3,1

Para ambas fincas, la mayor evapotranspiración se presentó en el mes de marzo. Por otro lado, febrero fue el mes en el que la parcela I8 tuvo menor magnitud de este valor. La parcela S17 tuvo su menor evapotranspiración en abril. La frecuencia de los riegos de estas parcelas fue de una vez al mes, y dio inicio en el mes de enero. En general, los valores de evapotranspiración real resultan bajos, ya que al momento de la medición el cultivo se encuentra en rebrote.

2.2. Descripción del suelo de las parcelas

Con el fin de conocer la pendiente de las parcelas y los surcos en ellas, se llevó a cabo un muestreo y un levantamiento topográfico (Figura 5). Este levantamiento fue de gran importancia ya que los datos recopilados sirvieron tanto para calcular las pendientes de las fincas que se analizaron, como establecer valores de referencia para las simulaciones de optimización.



Figura 5. Memoria del levantamiento topográfico.

Para describir las características físicas e hidrológicas de los suelos, se tomaron en cuenta 3 rangos de profundidades, P, diferentes:

- Profundidad 1 (P1): 0-20 cm
- Profundidad 2 (P2): 20-40 cm
- Profundidad 3 (P3): 40-60 cm

Esta segmentación de profundidades se realizó con el fin de conocer las características del suelo a lo largo de la profundidad de raíz (*Pr*) de la caña (40 cm), así como por debajo de esta.

En cada parcela, se llevó a cabo un muestreo. Para determinar el método de muestreo, se realizó una inspección visual, la cual no dio como resultado diferencias en pendiente, colores y textura, por lo que se utilizó el método de transectos. Se dividió las parcelas en 10 de estos y se tomaron muestras compuestas aleatorias para las 3 profundidades indicadas.

Las muestras tomadas fueron sometidas a la prueba de determinación de porcentajes de arena, limo y arcilla descrita por Bouyoucos (50). De acuerdo con los resultados de este análisis de laboratorio (Figura 6), se procedió a clasificar el suelo de acuerdo con su textura. Más adelante se realizaron ajustes en los parámetros de infiltración para cada una de las simulaciones de los riegos posteriores.



Figura 6. Memoria de las pruebas de textura.

Los parámetros de capacidad de retención de humedad de capacidad de campo (*CC*) y punto de marchitez permanente (*PMP*) se obtuvieron mediante el método gravimétrico y el descrito por Taylor y Ashcroft (36), respectivamente. Sumado a esto, se enviaron muestras al laboratorio de suelos del Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica para confirmar valores similares. Se determinó la densidad aparente (*DA*), para esto se secaron muestras no disturbadas en una estufa por 24 h a 110°C. Este procedimiento se describe en el manual de procedimientos analíticos del Departamento de Edafología de la UNAM (32). También se obtuvo el espacio de poros con la ecuación 21.

Con la ayuda de los resultados relativos a la capacidad de retención de humedad, se calcularon las láminas requeridas para el riego. Al haber máximos y mínimos en las variables de la ecuación 19 se tomó como referencia la lámina neta máxima tanto para

representar gráficamente los resultados como para las simulaciones de optimización. Con base en esta se pudieron tomar decisiones sobre la tolerancia relativa a las sub o sobre aplicaciones de riego.

La materia orgánica (*MO*) se determinó mediante la utilización del método de pérdida por ignición, descrito por Esquivel (43). Este método involucra la utilización de una mufla (Figura 7) para incinerar la materia orgánica presente en el suelo y de esta manera determinar su porcentaje por medio de diferencia de masa. Para medir las masas, se utilizó una balanza granataria (Figura 8). Sumado a esto, se enviaron muestras al laboratorio de investigaciones agronómicas (CIA). Con los resultados de ambas se realizó una curva de ajuste de los obtenidos por pérdida por ignición.



Figura 7. Mufla utilizada en las pruebas de pérdida por ignición.



Figura 8. Balanza utilizada.

Se realizó una comparación de los resultados de las variables de suelos obtenidas con el fin de conocer si los suelos de ambas fincas poseen diferencias significativas. La primera consistió en comparar las mismas profundidades entre las dos parcelas, mientras que en la segunda se compararon las tres profundidades en cada parcela.

Para esto, se realizaron pruebas t-student y Mann-Whitney, puesto que son las apropiadas para el número de grupos e índole de los datos (51). Los valores p obtenidos en estas pruebas sirvieron para determinar el grado de significancia de las diferencias. En cuanto a los valores de p , se tomaron aquellos menores o iguales a 5% (0,05) como valores que rechazan la hipótesis nula. Previo a esto, se realizaron pruebas de Anderson-Darling para

determinar la normalidad de los datos, ya que esta prueba es una de las más apropiadas para este fin (52).

2.3. Caracterización del sistema de riego

En cuanto al sistema de riego de las parcelas, se realizaron visitas de reconocimiento de la configuración de los surcos, el tipo de sistema de entrega de agua y las condiciones bajo las cuales se riega.

Se realizaron descripciones de la longitud de los surcos utilizados, el método de riego, así como la logística. Se realizaron diagramas de disposición de tuberías y canales con el fin de ilustrar la sectorización del riego.

2.4. Validación y calibración del modelo

Para lograr que mediante el modelo WinSRFR se obtuvieran resultados adecuados y confiables, se realizó un proceso de calibración. Esto debido a la sensibilidad del desempeño ante los parámetros de infiltración, así como la rugosidad de la superficie. En este proceso, se realizaron visitas a las parcelas con el fin de recopilar datos relativos a las fases del riego superficial y secciones transversales de los surcos.

Para la calibración de los parámetros de las parcelas, se utilizó el módulo de análisis de eventos del software WinSRFR. Los datos recopilados fueron tiempos de avance, caudal,

sección transversal de los surcos, así como los parámetros geométricos obtenidos mediante el levantamiento topográfico. Dichos datos fueron medidos en diferentes surcos, con el fin de disponer de distintas velocidades de avance.

La sección transversal de surcos fue medida con una regla marcada, que permitió la medición bidimensional del surco. Tanto la profundidad como el ancho de surco fueron obtenidas mediante este método (Figura 9).



Figura 9. Medición de sección transversal, parcela I8.

Los resultados de esta calibración arrojaron valores específicos de infiltración, rugosidad y parámetros de trayectoria del agua. Se analizó el error cuadrático medio (RMSE) arrojado por la modelación con el fin de concluir si los parámetros lograron ser calibrados con éxito. Esta calibración fue llevada a cabo mediante el ajuste de los parámetros mencionados en

diferentes instancias, de tal manera que se obtuvieron varios posibles valores para cada parcela.

2.5. Evaluación de las condiciones del riego 2019

Se le solicitó al productor, los datos sobre los riegos aplicados en el verano de 2019 a las parcelas. Los datos recuperados fueron el tiempo de riego y el gasto volumétrico, fueron procesados y constituyeron los parámetros de ingreso de la simulación preliminar.

Para evaluar el sistema actual, se utilizó el módulo de simulación hidráulica del software WinSRFR. Se ingresaron los parámetros actuales del sistema, junto con aquellos que fueron calibrados para obtener las características específicas de cada finca y se generó un reporte con el fin de conocer los parámetros de eficiencia actual. Este procedimiento se realizó para todos los eventos de riego.

2.6. Mecanismo de optimización

Para la sección de optimización se llevó a cabo un proceso similar al efectuado por Mazarei et al. (12). Para cada evento de riego, se realizó una evaluación del uso de recurso hídrico en cuanto a los indicadores de eficiencia. Los principales indicadores de eficiencia para evaluar el sistema fueron: eficiencia de aplicación (*AE*), percolación profunda (*DP*) y Uniformidad de distribución (*DU*).

$$AE = \frac{Z_i}{Z_d} \quad (23)$$

$$DU = \frac{Z_{LQ}}{Z_{prom}} * 100 \quad (24)$$

$$DP = \frac{Z_p}{Z_{prom}} * 100 \quad (25)$$

Z_i = Lámina del agua añadida a la zona radicular (mm).

Z_d = Lámina del agua aplicada al surco (mm).

Z_{LQ} = Profundidad promedio del agua en el cuarto bajo (mm).

Z_{prom} = Profundidad promedio alcanzada a lo largo del surco (mm).

Z_p = Profundidad de percolación del agua (mm).

Se desea la programación lineal de los parámetros de eficiencia, lo que es, maximizar la eficiencia de aplicación y la uniformidad de distribución mientras que se disminuye la percolación profunda. Por esto, la función objetivo a utilizar es:

$$F = (\alpha X AE) + (\beta X DU) - (\gamma X DP) \quad (26)$$

Con: $\alpha = \beta = \gamma = 0.33$.

Las variables tomadas en cuenta para mejorar estos parámetros fueron los parámetros geométricos y temporales y el caudal. Los parámetros geométricos fueron: pendiente del

terreno y longitud del surco. Por otro lado, el tiempo de corte (T_{co}) fue el parámetro temporal.

Se trabajó con diferentes combinaciones de las variables mencionadas. Para cada una, se utilizaron 5 valores alrededor del valor de referencia con igual probabilidad. Con el fin de conocer qué tanto variar los parámetros, se realizaron pruebas manuales. Para ayudar a determinar los valores de referencia recomendados, asimismo, a determinar qué grado de sensibilidad tuvo cada parámetro.

Luego de tener el valor de referencia, la obtención de las 4 variaciones restantes se realizó mediante la multiplicación por un factor con igual probabilidad de ser elegido. El factor multiplicador se varió dependiendo de cada variable, las cuales se indican a continuación:

Pendiente (S):

Mediante las pruebas manuales, se determinó que cambios en la pendiente menores a 0,001 m/m en las combinaciones no presentaron diferencias en los resultados. Por esta razón, se tomó 0,001 m/m como tasa de cambio para esta variable.

Caudal (Q):

En el caso del caudal, el valor de referencia escogido fue el modal utilizado en el verano 2019 en cada parcela. Para la tasa de cambio, se aplicó un factor que variara el caudal en

10%. Fueron generados 2 valores superiores y dos inferiores. Para la parcela I8, el valor de referencia fue de 1,8 L/s, mientras que para la parcela S17 el valor medio fue de 1,9 L/s.

Tiempo de corte (T_{co}):

La escogencia del valor de referencia para el tiempo de corte se realizó con la ayuda del módulo de simulación del software WinSRFR. Una vez ingresados los parámetros de infiltración y rugosidad, el programa estimó un tiempo en el cual se alcanzaría la profundidad de infiltración requerida para cada parcela. Para la parcela I8 el tiempo de referencia fue de 6,7 h, mientras que para la parcela S17, el tiempo de referencia fue de 2,7 h. La tasa de cambio fue del 10%, del mismo modo que el caso del caudal.

Longitud del surco (L):

El valor de referencia utilizado para la longitud de los surcos fue el representativo de cada parcela. En el caso de la I8, la longitud de referencia fue de 196 m; la longitud promedio de los surcos. En el caso de la parcela S17, la longitud de los surcos es variable. Al ser los surcos más largos los que dictaron el tiempo de riego con el fin de reponer la lámina neta, se eligió un valor de referencia de 216 m. Gracias a esta escogencia, se pudo simular las condiciones para surcos más cortos (de hasta 162 m) y los más largos (de hasta 270).

Todas las combinaciones posibles entre estas variables fueron simuladas para determinar el comportamiento del sistema. Esto dio como resultado 625 escenarios para cada parcela, de los cuales se eligieron los óptimos como aquellos que resultaron tener la maximización de

la función objetivo. El indicador de escorrentía (*RO*) fue utilizado como criterio de escogencia entre escenarios que tuvieran valores similares de función objetivo.

Adicionalmente, se utilizó la profundidad de agua infiltrada (*Dinf*) con el fin de comparar la lámina o profundidad requerida aplicada con la requerida. Este parámetro también fue utilizado como criterio de escogencia entre los escenarios simulados.

En esta modelación, se obtuvieron los caudales, tiempos y geometrías en donde se logró mejorar los indicadores de eficiencia en la función objetivo. Los escenarios elegidos fueron afinados posteriormente con el fin de ajustar los parámetros de manera óptima, así como adaptar estos escenarios a una situación real. El objetivo principal de esto fue el brindar opciones al productor de las cuales pueda elegir.

CAPITULO III

3.1. Resultados y análisis

En esta sección se presentan los resultados de la investigación, donde se desglosan los análisis de las muestras de suelo, a las cuales se les sometió a pruebas de textura, retención de humedad, materia orgánica y se les determinó la densidad aparente. Asimismo, se presenta el reconocimiento y descripción de los sistemas de riego de las dos parcelas estudiadas con el fin de conocer la trayectoria del agua. Esto con ayuda del levantamiento topográfico realizado. Seguidamente, se presentan los resultados de la evaluación de las condiciones de riego aplicadas y de las simulaciones realizadas con el fin de conocer los parámetros útiles para ahorrar agua en futuros eventos de riego.

3.1.1 Descripción de los suelos de las parcelas

En las Tabla 18 y 19 (anexos) se detallan los resultados encontrados mediante el muestreo y las pruebas de laboratorio para los porcentajes de los grupos texturales, así como para la densidad aparente (*DA*), capacidad de campo (*CC*), punto de marchitez permanente (*PMP*), agua útil (*AU*), y espacio de poros (*EP*). También, se muestran los resultados obtenidos de la cantidad de materia orgánica (*MO*), mediante el ajuste realizado.

La gráfica de ajuste para el contenido de materia orgánica da como resultado la curva que se muestra en la Figura 10. El valor R^2 demuestra que hay una buena correlación entre ambos métodos. Sin embargo, los resultados obtenidos mediante el método de pérdida por

ignición conllevaron a valores de materia orgánica sobre estimados, en relación con lo que se encontró en bases de datos del CIA para otros puntos localizados en el DRAT. Por otro lado, los resultados encontrados mediante el método de combustión por Dumas, resultaron más cercanos a estos valores, por lo que resultan convenientes para realizar un ajuste a las muestras analizadas mediante pérdida por ignición.

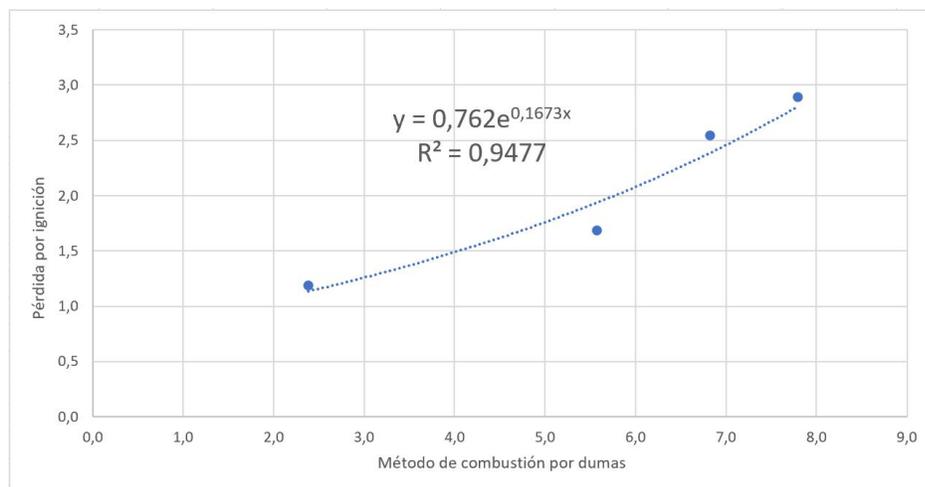


Figura 10. Curva de ajuste de los valores de materia orgánica.

3.1.1.1 Parcela I8

En la Tabla 8 resumen, se pueden observar los principales valores estadísticos de máximo (Max), Mínimo (min), promedio (Prom), moda y desviación estándar (Desv) para textura, retención de agua, materia orgánica (*MO*), densidad aparente (*DA*) y espacio de poros (*EP*).

Tabla 8. Principales valores estadísticos para la parcela I8.

Parcela		Arena (%)	Arcilla (%)	Limo (%)	MO (%)	DA (g/cm ³)	CC (%)	PMP (%)	AU (%)	EP (%)
I8	Max	21,6	80,2	26,6	4,5	1,7	59,7	55,3	5,9	67,5
	Min	2,2	59,7	12,1	1,1	0,9	35,4	29,9	3,1	35,4
	Prom	11,4	69,9	18,7	2,7	1,2	45,6	41,0	4,6	53,7
	Moda	10,0	70,0	14,3	-	1,3	-	-	-	-
	Desv	5,0	4,7	3,4	0,8	0,2	6,2	6,1	0,8	7,1

En cuanto a su textura, de acuerdo con los porcentajes de las partículas, se trata de un suelo arcilloso a lo largo de toda la parcela, el máximo porcentaje encontrado fue de 80,2% a una profundidad de 20 a 40 cm. Por otra parte, el mínimo encontrado fue de 59,7% en la misma profundidad. En promedio, esta parcela presentó 69,9% de arcilla, lo cual resultó similar a su valor modal.

La densidad aparente promedio encontrada fue de 1,2 g/cm³ y tiene una desviación estándar de 0,2 g/cm³, mientras que su valor modal fue de 1,3%. En la profundidad 1, su valor promedio es de 1,10 g/cm³, en la profundidad 2, fue de 1,29 g/cm³ y en la profundidad 3 tuvo el mismo valor, con un valor modal del 1,33 g/cm³.

En cuanto a la cantidad de materia orgánica presente en el suelo se encontró un mínimo de 1,1% y un máximo de 4,5%. Su valor promedio, con una desviación estándar de 0,8 % es de 2,7%. Estos porcentajes resultaron ser altos, lo cual coincidió con la materia orgánica observada durante el muestreo (Figura 11), ya que, inclusive removiendo la maleza de la superficie, estaba presente a lo largo de todo el perfil de análisis. Esto indica que las

partículas de materia orgánica lograron pasar el tamiz de 2 mm, posiblemente por causa de la molienda del suelo.



Figura 11. Suelo al momento del muestreo, parcela I8.

El valor promedio de espacio poroso es alto según la Tabla 6, aunque debido a su variabilidad, se encontraron valores bajos medios y altos. Estos valores también coinciden con aquellos encontrados para suelos arcillosos (53).

El agua útil, que es un parámetro primordial para calcular la lámina neta, tuvo un promedio de 4,6% con una desviación estándar de 0,8%. No existió un valor modal. En cuanto a las muestras analizadas por el laboratorio del CIA, estas dieron como resultado un 4% de agua útil, por lo que las muestras analizadas mediante los métodos utilizados se desviaron 0,6%. Esta desviación es a su vez similar a la desviación estándar de la totalidad de las muestras (0,8%).

3.1.1.2 Parcela Soga 17

Luego de haber procesado las muestras tomadas en la parcela, se obtuvieron los valores de la Tabla 9 para las características analizadas.

Tabla 9. Valores estudiados de las muestras de la parcela Soga 17.

Parcela		Arena (%)	Arcilla (%)	Limo (%)	MO (%)	DA (g/cm ³)	CC (%)	PMP (%)	AU (%)	EP (%)
S17	Max	46,5	78,9	23,8	5,6	1,2	59,1	54,0	5,8	70,8
	Min	4,4	37,6	5,6	1,0	0,8	32,4	27,6	3,0	53,1
	Prom	16,4	68,9	14,6	3,1	1,1	43,9	39,7	4,2	60,3
	Moda	10,2	73,9	12,0	-	1,0	-	-	-	-
	Desv	8,2	10,3	4,1	0,9	0,1	7,0	7,0	0,7	3,5

En cuanto a la textura de esta parcela, mediante el análisis de las muestras, se determinó que la textura arcillosa representa mejor este terreno. En esta parcela, el mayor contenido de arena encontrado fue de 46,5%, sin embargo, hubo una desviación estándar de 8,2%. La arcilla también presentó variabilidad, con una desviación estándar de 10,3%.

El valor modal de la densidad aparente encontrada fue de 1,0 g/cm³, mientras que su promedio fue de 1,1 g/cm³. La desviación estándar de este valor fue de 0,1 g/cm³. En cuanto a la materia orgánica, se encontró un máximo de 5,6%, la desviación estándar de

0,9%, lo que indica que su variabilidad fue similar que en la parcela I8. El espacio poroso encontrado indica que en general tiene porosidad alta.

El valor promedio de materia orgánica encontrado fue de 3,1%. Esto representa, al igual que en la parcela I8, un porcentaje de materia orgánica muy alto. Al momento del muestreo (Figura 12), el suelo de la finca contó con restos de rastrojo y hojas secas a lo largo de todo el perfil analizado, probablemente porque se cosechó en días previos al muestreo. La presencia de materia orgánica a niveles subsuperficiales indica que en épocas anteriores el suelo se vio sometido a labores de incorporación y labranza.



Figura 12. Memoria del momento de muestreo, parcela S17.

3.1.1.3. Comparación estadística de suelos entre parcelas

Los valores p de la comparación de las variables entre profundidades de las fincas se encuentran en la Tabla 10, donde los valores p menores o iguales a 0,05 son indicadores de diferencias significativas. Esta tabla refleja que existen diferencias significativas en cuanto al porcentaje de arena, limo, densidad aparente y capacidad de campo de la profundidad 2. Para la profundidad 3 se encontraron diferencias en la densidad aparente. Por otro lado, la cantidad de arcilla no mostro diferencias para ninguna de las profundidades. Tampoco lo hizo la materia orgánica, lo cual evidencia similitudes de estas variables entre los suelos de ambas fincas.

Tabla 10. Valores p obtenidos mediante la comparación de variables entre parcelas.

	Arcilla	Arena	Limo	M.O	D.A	CC	PMP	EP
P1	0,53	0,46	0,08	0,59	0,1984	0,52	0,90	0,254
P2	0,92	0,03	0,02	0,08	0,0010	0,04	0,05	0,004
P3	0,15	0,20	0,10	0,52	0,0003	0,97	0,42	3E-05

Los porcentajes de arena en la profundidad 2 de la parcela S17 son significativamente mayores ($p=0,03$). Asimismo, la densidad aparente de la misma profundidad, así como en la profundidad 3 es significativamente mayor en la parcela I8 que en la parcela S17 ($p=0,0010$ y $p= 0,003$, respectivamente). Al tener mayor grado de compactación, en esta profundidad se logra observar el mayor contenido de masa por unidad de volumen, mientras que el mayor porcentaje de arena de esta profundidad en la S17 no hizo que fuera un suelo más pesado.

La arena no es capaz de retener humedad como sí lo hacen los limos, cuyos contenidos resultaron ser significativamente mayores en la profundidad 2. Por esto, se logró observar una influencia del contenido de arena en la *CC* de esta profundidad, ya que aquella de la parcela S17 resultó ser significativamente menor ($p=0,04$).

El espacio poroso presentó diferencias en P2 y P3, en ambos casos, la parcela S17 presenta mayor porosidad. Llama la atención que la capacidad de campo de la S17 fue menor en P2, donde presentó diferencias tanto en la cantidad de arcilla como en el espacio poroso. La Tabla 11 presenta los valores de p obtenidos al comparar las distintas profundidades en cada una de las fincas.

Tabla 11. Valores de p obtenidos mediante la comparación de variables entre profundidades.

	Comparación	I8	S17
Arcilla	P1P2	0,71	0,53
	P1P3	0,76	0,92
	P2P3	0,53	0,47
Arena	P1P2	0,30	0,57
	P1P3	0,74	1,00
	P2P3	0,47	0,47
Limo	P1P2	0,06	0,76
	P1P3	0,45	0,93
	P2P3	0,81	0,87
M.O	P1P2	0,27	0,83
	P1P3	0,27	0,38
	P2P3	0,84	0,27
D.A	P1P2	0,04	0,001
	P1P3	0,04	0,92
	P2P3	0,66	0,40
CC	P1P2	0,05	0,01
	P1P3	0,02	0,11
	P2P3	0,42	0,08
PMP	P1P2	0,23	0,02
	P1P3	0,08	0,35
	P2P3	0,45	0,08
EP	P1P2	0,04	0,03
	P1P3	3E-15	0,54
	P2P3	0,96	0,54

Las variables de textura y de materia orgánica no presentaron diferencias significativas entre profundidades, lo que indica que ambas fincas tienen distribuciones homogéneas de estas variables a lo largo del perfil del suelo.

Por otro lado, se encontraron diferencias significativas entre profundidades para la densidad aparente ($p < 0,05$). Estas estuvieron entre las profundidades P1-P2 de ambas parcelas y en las profundidades P1-P3 de la parcela I8. Este hallazgo, junto con aquellos resultados obtenidos en la Tabla 10, indican que, para ambas fincas, el grado de compactación que sufre el suelo es diferente en estas profundidades. Por otro lado, el grado de compactación no presentó diferencias en el resto de las profundidades, por lo que se observa un grado de compactación similar.

En cuanto a la comparación de la *CC*, se observa que se presentaron diferencias significativas en las comparaciones P1-P3 de la parcela I8 así como en la comparación de profundidades P1-P2 de la parcela S17. Para ambos casos, la capacidad de campo resultó ser significativamente mayor en la profundidad 1. Al haber diferencias significativas en la densidad aparente entre las mismas profundidades, se deduce que la densidad aparente influyó en la retención de humedad a capacidad de campo.

En cuanto al espacio poroso, se presentaron diferencias entre P1-P2 de la S17, donde P1 resultó tener un espacio poroso significativamente mayor.

3.1.2. Descripción del sistema de riego

3.1.2.1. Parcela I8

En esta parcela, los surcos se encontraron con una configuración en dirección Noreste-Suroeste, de manera que el agua circula en dicha trayectoria. El sistema de riego utilizado fue de tubería flexible perforada de 22” pulgadas. La entrada principal de abasto de agua se encuentra en la esquina Este de la parcela. La logística de riego de esta parcela consta de la apertura de un sector hidráulico que abastece el agua a la entrada de la tubería principal de polietileno (Figura 13).



Figura 13. Toma hidráulica, parcela I8.

El regador activa 40 surcos por operación, los cuales se riegan por el tiempo necesario para que el agua cubra la totalidad de los surcos. Para esto, el regador lleva a cabo turnos de

visita a la parcela, en los cuales vigila el avance del agua y realiza cambio de operación al momento en que el agua avanza hasta el final del último surco.

Los surcos utilizados tienen una sección trapezoidal con profundidad máxima de 300 mm, ancho de fondo de 68 mm y una pendiente de talud de 1,39 m/m. La sectorización consta de dos bloques (B1 y B2), como se muestra en la Figura 14. La parcela fue previamente abonada y aporcada.

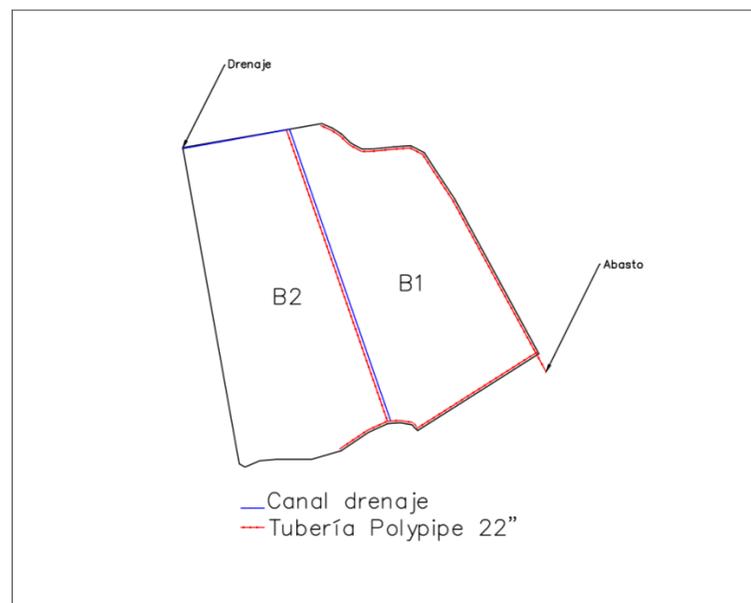


Figura 14. Croquis, parcela I8

Las duraciones operacionales del riego de esta parcela se encontraron entre las 5.6 y las 10.25 horas. Al componerse de 2 bloques principales, el orden común de riego es primeramente el bloque 1 y seguido el bloque 2.

Las operaciones de riego se realizaron en grupos de 40 surcos, con un caudal base que osciló entre 44 L/s y 65,2 L/s por operación. Luego del levantamiento topográfico se encontró que la parcela tuvo, en promedio, una pendiente en dirección de la trayectoria del agua de 0,15%, la cual es menor que 2%, el máximo permisible en riego por gravedad (23). Los centros de surco en esta parcela estuvieron distanciados a 1,7 m. Por otro lado, el pendiente promedio encontrada en dirección perpendicular a los surcos fue de 0,06%, con la elevación menor en el lado Norte. Esto indicó que la orientación de los surcos fue adecuada, ya que se encontraron en el sentido de la pendiente mayor.

La longitud de los surcos es relativamente homogénea en toda la parcela, ya que se encuentran entre los 150 y los 194 m. En el extremo norte, la parcela presenta un área de aproximadamente 2000 m² cuya forma irregular causa que algunos surcos sean más pequeños (entre 40 y 60 m).

3.1.2.2. Parcela Soga 17

En esta parcela, se encontró que los surcos se disponen en dirección Noreste-Suroeste, por lo que el agua en los eventos de riego sigue esta trayectoria. El agua que entra a la parcela tiene como fuente principal el Canal Oeste. Esta ingresa al canal de abasto principal de la parcela mediante un canal revestido que pasa por el noreste de la parcela (Figura 15). Este, entrega agua al canal principal de la parcela (Figura 16), que posee sifones que el regador

se encarga de activar o desactivar según la operación. El canal de abasto es uno no revestido, de sección circular.

Seguido de esto, el agua circula por los surcos y escurre hacia un canal de drenaje ubicado en el borde al Suroeste de la parcela, donde finalmente el agua descarga por la esquina Sureste, como se muestra en la Figura 17. En esta figura también se muestra la distribución del abasto y el drenaje del agua.



Figura 15. Canal de abasto, parcela S17.



Figura 16. Canal principal, parcela S17.

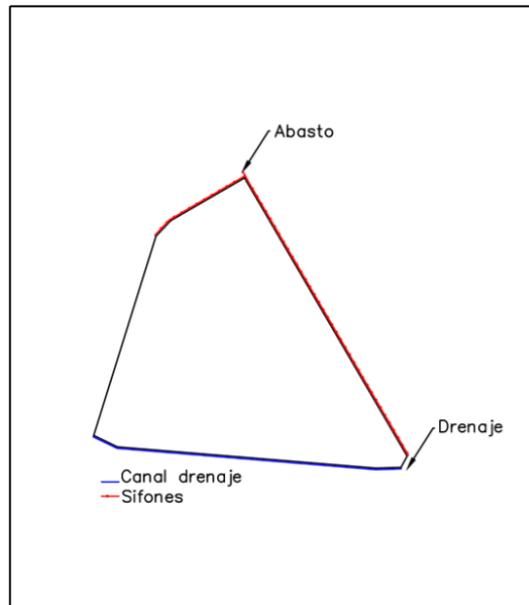


Figura 17. Croquis, parcela S17.

La pendiente en la dirección de la trayectoria del agua fue de 0,2%, la cual se encuentra dentro del valor aceptado. En dirección perpendicular a los surcos, se midió una pendiente promedio cuyo valor es de 0,014% en dirección sur. Por tanto, es seguro decir que en esta parcela la ubicación de los surcos es apropiada.

La forma triangular de la parcela causa que los surcos sean de longitud variable. En el primer tercio de la parcela, los surcos van desde los 17 hasta los 120 m. En el segundo tercio de la parcela, los surcos llegan hasta los 162 m de largo, mientras que, en el último tercio, los surcos alcanzan hasta los 215 m de longitud.

La sección transversal de los surcos tiene forma irregular (Figura 18), la cual aproxima un trapecio de 20 cm de profundidad, 80 cm de ancho de fondo y una inclinación lateral de 0,5 m/m. Estos se encuentran sin crecimiento de malezas, sin embargo, en la longitud existe presencia de rastrojo de caña. Asimismo, presenta agregados grandes de suelo seco, así como grietas. No se observó la presencia de piedras.



Figura 18. Ejemplar de surco, parcela S17.

3.1.3. Calibración de parámetros de la simulación

Tras un proceso de configuración del sistema se procedió a realizar la calibración en el software mediante el ingreso de variables medidas en campo y la iteración de la variable de

rugosidad en distintas instancias. Aquellas en las que se obtuvo los menores errores en el módulo análisis de eventos se presentan a continuación.

3.1.3.1. Parcela I8

Para la parcela I8 dio como resultado parámetros que se encuentran en la Tabla 12. Entre los principales, se encuentran los coeficientes k , a y n , los cuales son parámetros de ingreso directo en el módulo de simulación. Esta calibración manual se llevó a cabo mediante la iteración de los valores, hasta que se lograra la convergencia del tiempo de avance medido con aquel calculado por el software.

En cuanto al tiempo de avance de esta parcela, su valor promedio fue de 110,8 m/h, con un máximo en surcos de avance rápido de 158,9 m/h y en surcos de avance lento de 61,2 m/h.

Tabla 12. Parámetros calibrados para la parcela I8.

Parcela	I8						
Instancia	1	2	3	4	5	6	7
Q (L/s)	1,5	1,5	1,5	1,8	1,8	1,8	1,8
n	0,041	0,04	0,041	0,041	0,041	0,040	0,041
a	0,19	0,12	0,11	0,21	0,16	0,13	0,10
k (mm/h^a)	28,46	30,42	27,50	23,56	21,03	31,48	60,36
b (mm/h)	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
RMSE	0,04	0,02	0,04	0,10	0,01	0,03	0,01

En cuanto a los valores obtenidos, el coeficiente de rugosidad, n , máximo obtenido fue de 0,041 en el caso de esta parcela. Los coeficientes k máximos y mínimos obtenidos

corresponden a $60,36 \text{ mm/h}^a$, acompañado de un parámetro de ajuste, a , de 0,10 y 21,03 mm/h^a acompañado del parámetro, a , de 0,16, respectivamente. El coeficiente b , correspondiente a la tasa de infiltración base a saturación que mejor se ajustó a las instancias de calibración fue de 0,33 mm/h .

3.1.3.2. Parcela S17

Los resultados de la calibración de los parámetros de la parcela S17 se encuentran en la Tabla 13. En estos se obtuvo coeficientes de rugosidad entre 0,01 y 0,04. Los valores del parámetro k , máximos y mínimos de 205,39 y 31,38 mm/h^a , respectivamente. Los valores del parámetro a , correspondientes a estas fueron 0,19 y 0,21, respectivamente.

En esta parcela, la velocidad de avance tuvo un promedio de 26,1 m/h , con un máximo de 28 m/h y un mínimo de 22,3 m/h . La magnitud de los valores difiere de la parcela I8 en gran medida, ya que el caudal aplicado en las pruebas fue menor que aquel aplicado en la parcela I8. Además de esto, se evidencia una tasa de infiltración mayor mediante la observación de los parámetros de la ecuación de Kostiakov.

Tabla 13. Parámetros calibrados para la parcela S17

Parcela	S17						
Instancia	1	2	3	4	5	6	7
<i>Q</i> (L/s)	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
<i>n</i>	0,04	0,45	0,04	0,01	0,01	0,04	0,04
<i>a</i>	0,20	0,20	0,19	0,19	0,19	0,22	0,21
<i>k</i> (mm/h^a)	173,57	169,99	177,45	42,86	205,39	36,17	31,38
<i>b</i> (mm/h)	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41
RMSE	0,13	0,14	0,12	0,07	0,07	0,04	0,05

Llama la atención cómo los parámetros de infiltración (*k*, *a* y *b*) fueron mayores en comparación con la parcela I8. Esto coincide con la comparación realizada de los grupos texturales, específicamente de arena en la profundidad 2, donde la parcela S17 mostró tener significativamente mayor porcentaje de este grupo. Los valores de rugosidad obtenidos, en su mayor parte, se asemejan a aquel propuesto por el software para suelo descubierto, el cual fue el caso en ambas parcelas. Los valores de RMSE obtenidos para estas parcelas oscilan entre 0,01 y 0,14 horas, los cuales se consideraron bajos, ya que se tiene en cuenta que las evaluaciones tuvieron una duración promedio de 8 horas.

3.1.4. Evaluaciones del riego del verano 2019

En esta sección se presentan los resultados de las evaluaciones de cada uno de los eventos de riego en las parcelas, donde se puede observar variaciones en los tiempos de riego y los caudales. Estas variaciones sucedieron principalmente debido a que el tiempo de riego está limitado no solo al tiempo de avance del agua al llegar al final de los últimos surcos, sino la

disponibilidad del personal encargado de cortar el flujo. Los caudales, de igual forma, se limitan a la disponibilidad de agua al momento del riego, la cual puede abundar o faltar en el canal de abasto o sector hidráulico correspondiente.

3.1.4.1. Parcela I8

En la parcela I8 hubo 6 eventos de riego principales. El tiempo de corte de cada operación osciló entre las 5,6 y 10,25 horas. Debido a la variabilidad de la velocidad de avance según el sector, así como los turnos del regador, el tiempo de corte varía. En la Tabla 14 se encuentran los parámetros de eficiencia para los eventos de riego de la parcela I8. Además, se muestra la profundidad requerida o lámina neta (*Dreq*), Profundidad alcanzada (*Dinf*), los porcentajes de escorrentía (*RO*), el tiempo de corte (*Tco*) de cada evento y el caudal (*Q*) por surco. La lámina requerida para este suelo, según la ecuación 19, fue de 30,7 mm.

Tabla 14. Indicadores de eficiencia, riegos de la parcela I8 en el verano de 2019.

N°	Fecha	Dreq (mm)	Dinf (mm)	AE (%)	DP (%)	DU (%)	RO (%)	Q (L/s)	Tco (h)
1	24/01/19	30,7	30	17	0	99	83	1,8	8,7
2	3/3/19		29	21	0	99	79	1,8	6,8
3	19/03/19		30	16	0	99	84	1,8	9,3
4	31/03/19		28	25	0	99	75	1,8	5,6
5	28/04/19		30	15	0	99	85	1,8	10,3
6	10/5/19		30	16	0	99	84	1,8	9,6

La eficiencia más alta lograda fue de 25%, con un desaprovechamiento del 75% del agua en escorrentía. En este caso, hubo un gasto de 1075,4 m³/ha. Esto sucedió al tener un tiempo

de corte de 5,6 h. Para el caso de los riegos llevados a cabo en esta parcela, se nota que la lámina aplicada se acerca considerablemente a la lámina neta. Por lo que las pérdidas por percolación profunda fueron nulas. En la Figura 19, se puede observar la distribución de agua simulada luego del cuarto riego.

En las figuras de distribución de agua, la línea negra indica la profundidad de infiltración alcanzada. Por otro lado, la línea rotulada con *Dreq* muestra la profundidad de infiltración requerida.

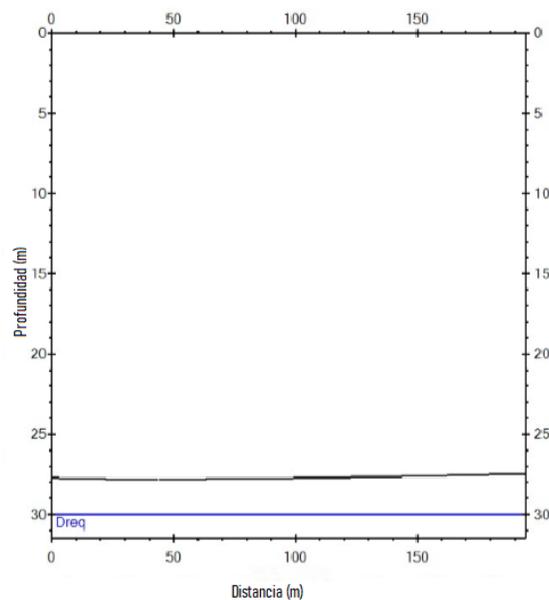


Figura 19. Distribución del perfil de mojado luego del cuarto riego, Parcela 18.

En el caso de la distribución de agua del cuarto riego, cabe destacar la deficiencia de profundidad de infiltración requerida, que fue de 30,7 mm, mientras que la aplicada fue de 28 mm.

En el caso de la uniformidad de distribución de la parcela I8, en la Figura 19 se puede observar que su alto índice se debe a que la profundidad fue uniforme a lo largo de la longitud de los surcos. La uniformidad también se atribuye a que el tiempo de riego fue mayor de lo óptimo, lo que permitió al agua infiltrar no solo más profundo de lo requerido, sino más uniforme. Los parámetros de infiltración también permitieron una interacción entre la infiltración y el movimiento horizontal del agua.

La curva de avance de este evento de riego (Figura 20), indica que el avance total de la parcela fue de 1,39 h, probablemente debido a la baja tasa de infiltración del surco. La curva de recesión indica que desde la primera porción de suelo visible hasta la final constó de un período de 1,8 h.

En las figuras de curvas de avance y recesión, la línea azul representa el avance del agua. La línea roja, por su parte, representa la curva de recesión.

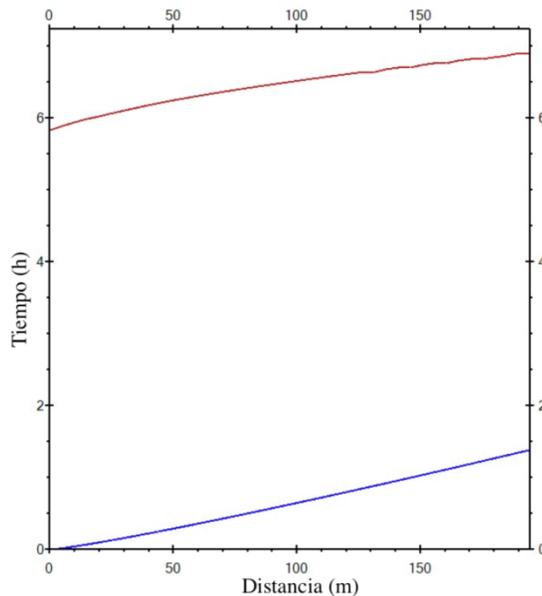


Figura 20. Curvas de avance y recesión, parcela I8.

Con estos valores y el tiempo de riego de 5,6 h, se sabe que el tiempo de oportunidad de ingesta fue de 6,4 h. y una velocidad promedio del agua de 3,89 cm/s.

Es importante notar que la razón principal por la cual la eficiencia tuvo este valor fue que una gran componente de agua fue escurrida al final del surco. En este caso, llama la atención que a pesar de esta situación, no se alcanzó la profundidad requerida, por lo que la variación del Tco puede resultar en un mejor acercamiento a la profundidad requerida. En la sección de optimización se analizará esto con mayor profundidad.

El tercer riego tuvo una AE del 16%, la cual constituyó la menor en esta parcela. En este caso, el porcentaje de agua desaprovechado por escorrentía fue de 84%. Por otro lado,

tampoco hubo pérdidas por percolación. La muestra la distribución del agua infiltrada luego del tercer riego.

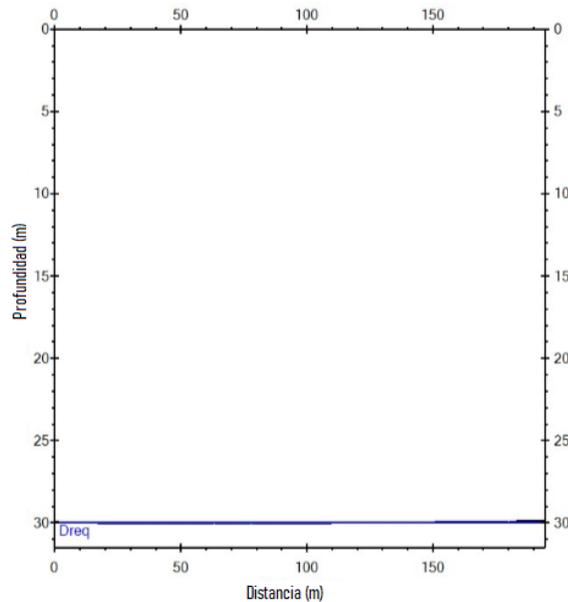


Figura 21. Distribución del perfil de agua infiltrada en el tercer riego, parcela I8.

En el caso del tercer riego, se regó la lámina adecuada. Sin embargo, la baja en eficiencia se debe al exceso de escorrentía. El papel de los parámetros de infiltración es sumamente importante, ya que por estos se ve afectada directamente la escorrentía. En el caso de mejorar la irrigación, es importante variar el caudal de entrada, el cual podría ser menor y permitir que el agua infiltre sin que una gran cantidad de esta sea perdida por escorrentía.

3.1.4.2. Parcela S17

De los 5 eventos de riego que se dieron en el verano 2019, cada uno tuvo una duración diferente. Estas oscilaron entre las 5 y 13 horas.

Otros parámetros que variaron fueron el caudal aplicado y la longitud de los surcos dependiendo de la zona de la parcela regada. Las eficiencias, por tanto, también presentaron variaciones. En la Tabla 15 se presentan los principales resultados correspondientes a parámetros de eficiencia de los riegos de esta parcela.

Tabla 15. Indicadores de eficiencia, riegos de la parcela S17 en el verano de 2019.

N°	Fecha	Dreq (mm)	Dinf (mm)	AE (%)	DP (%)	DU (%)	RO (%)	Q (L/s)	Tco (h)
1	16/03/19	28	59	8	8	99	84	1,8	8,6
2	14/04/19		55	13	12	99	75	1,9	13
3	14/05/19		62	6	7	99	88	1,9	11
4	7/9/19		61	10	12	99	79	1,8	10
5	18/11/19		44	35	20	95	45	1,8	5

En el caso de esta parcela, la lámina requerida fue de 28 mm. La mayor eficiencia de aplicación alcanzada fue de 35%, al tener una duración de 5 horas y un caudal de 1,8 L/s. La Figura 22 muestra la distribución de agua simulada luego de este evento de riego. Con $RO = 45\%$ y una razón de percolación profunda (DP) de 20%, se concluye que un 65% del

agua aplicada no fue almacenada en la zona de lámina neta, por lo que constituyó de una sobre aplicación de 16 mm. El riego de mayor eficiencia representó un gasto de $953 \text{ m}^3/\text{ha}$.

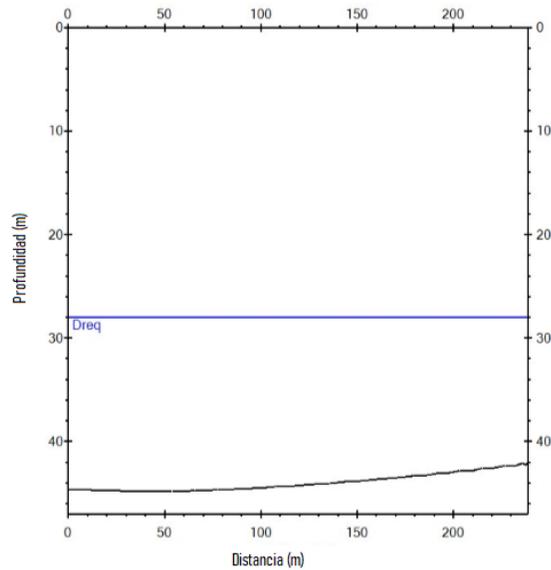


Figura 22. Distribución del perfil de agua en el quinto evento de riego, parcela S17.

En el caso del evento que mostró la utilización de agua más deficiente fue el primero. Aquí se obtuvo una eficiencia del 8% con una escurrentía del 84%. Esta baja eficiencia se atribuye a que las combinaciones del caudal y el tiempo utilizado no fueron los óptimos. En la parcela se observó también que el agua tiende a inundar los surcos adyacentes al surco regado (Figura 23), lo que provoca una distribución poco efectiva.



Figura 23. Fugas en la trayectoria del agua, parcela S17.

Las curvas de avance y recesión de este evento de riego pueden ser observadas en la Figura 24. En estas se muestra gráficamente que el tiempo de avance total fue de 3,9 h, lo que implica una velocidad de avance para los surcos largos de 1,7 cm/s. Esta velocidad resultó ser menor que aquella registrada en la parcela I8. Este resultado concuerda con los parámetros de infiltración encontrados, ya que para la parcela S17, estos fueron mayores. Estos valores le permiten al suelo infiltrar agua en menor tiempo, lo que resulta en un tiempo de avance más lento. El tiempo de oportunidad de ingesta para este evento de riego fue de 6,8 h, ya que el tiempo de recesión fue de 1,8 horas.

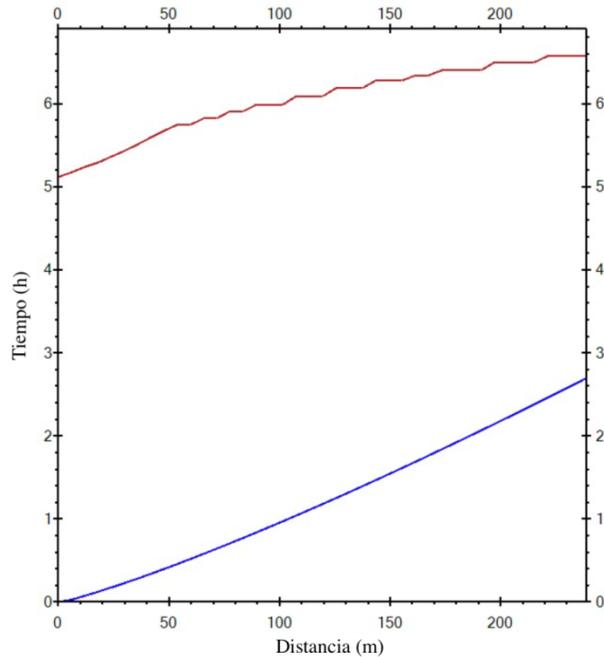


Figura 24. Curvas de avance y recesión del quinto evento de riego, parcela S17.

En la totalidad de los eventos de riego de esta parcela se sobrepasó la lámina requerida. Llama la atención que el riego de mayor eficiencia fue aquel que tuvo la menor duración, lo que indica que, si se modifica el T_{co} , se pueden mejorar los parámetros de eficiencia. Esto será analizado con mayor detalle en la sección de optimización.

El evento de riego en el que se alcanzó la menor AE (6%) fue el tercero. En este, 95% del agua fue desaprovechada. La mayor cantidad de agua no aprovechada perteneció a la componente de escorrentía ($\%RO = 88$).

En la , se muestra la distribución de agua el tercer evento de riego.

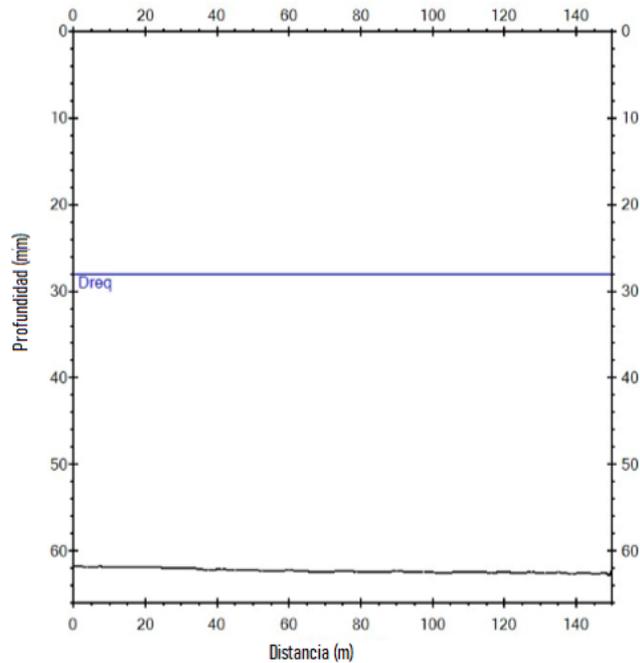


Figura 25. Distribución del perfil de agua en el tercer evento de riego, parcela S17.

Es importante mencionar que, aunque la DU fue cercana a 1, no implica que esto fue un factor que mejoró la utilización del recurso hídrico. Este valor sí es indicador de que, al aplicar una lámina adecuada, tanto la infiltración vertical como el movimiento horizontal del agua tenderán a interactuar de forma que se alcance esta profundidad a lo largo de cada surco.

3.1.5. Optimización de indicadores de eficiencia y recomendaciones

Se realizaron una serie de simulaciones en las cuales se varió el tiempo de corte, el caudal, la pendiente y la longitud de los surcos. De todas ellas, se escogieron los mejores

escenarios, definidos por la utilización óptima del agua. Los resultados de las combinaciones propuestas en el inciso de la metodología para las parcelas estudiadas se encuentran en las Tablas 19 y 20. A continuación, se presentan los resultados y números de aquellas simulaciones en los que se obtuvieron los mejores indicadores de eficiencia de la función objetivo para cada una de las parcelas. Estas incluyen la optimización del indicador *AE*, *DP* y *DU* de la función objetivo mientras se cumple la reposición de la lámina requerida.

3.1.5.1. Parcela I8

La Tabla 15 muestra el resumen de los valores de la optimización para la parcela I8.

Mediante las combinaciones de los parámetros de ingreso, se obtuvo una programación lineal máxima de 45,6% (simulación 501, Tabla 20) la cual estuvo ligada a una *AE* de 40%, que supera por 15% la máxima alcanzada en la evaluación de los eventos de riego de 2019. Esta *AE* estuvo ligada a una *DU* de 99%, una *DP* de 0% y una *RO* de 60%.

Tabla 15. Valores estadísticos principales de la optimización del riego de la parcela I8.

Valor Estadístico	AE (%)	DU (%)	DP (%)	RO (%)	Dinf (mm)	OF (%)
Max	40,0	99,8	0,0	88,0	30,0	45,6
Min	12,0	97,6	0,0	60,0	27,0	36,9
Promedio	22,7	99,2	0,0	77,4	28,4	40,2
Desv	5,4	0,4	0,0	5,4	0,8	1,7
Moda	22,0	99,4	0,0	76,0	29,0	39,4

Este valor máximo en la programación lineal fue obtenido con una pendiente de 0,0005 m/m, un Tco de 5,33 h, una caudal de 1,44 L/s y una longitud de surco de 235 m. Esto representa un ahorro de 375,7 m³/ha con respecto al riego de mayor eficiencia del período 2019. De estas características, la más compleja de lograr logísticamente corresponde al cambio pendiente y longitud de los surcos. Por esta razón, el productor puede considerar distintas medidas con el fin de conocer el beneficio de realizar ajustes en los parámetros. La Figura 26 muestra el volumen de ahorro de agua en dependencia de las medidas que se tomen por parte del productor.

La primera opción corresponde a mantener los parámetros geométricos (pendiente y longitud de surco) mientras se ajusta el caudal y el tiempo de riego. La simulación correspondiente al ingreso de los parámetros geométricos actuales, con los parámetros de flujo y tiempo de la programación lineal máxima mencionada corresponde a la simulación 276. En este caso se conseguiría ahorrar 237,4 m³/ha. Esta arrojó una *AE* de 33%, una *DU* de 99%, una *DP* de 0% y un *RO* de 67%, lo cual se traduce en un resultado en *OF* de 43,6%. Este resultado sigue siendo mayor a los evaluados en el verano de 2019.

La siguiente opción en cuanto a facilidad de alcanzar consiste en mantener la pendiente del terreno mientras se ajusta tanto la longitud del surco como el caudal y el tiempo de corte (simulación 526). En este caso, la función objetivo mejora, ya que alcanza un valor de

45,2%. En este caso, el valor que varía principalmente es la AE , con un valor de 39%. En este caso se alcanza un ahorro de $375,7 \text{ m}^3/\text{ha}$.

Finalmente, otra alternativa sería mantener la longitud de los surcos, y con los parámetros de pendiente, caudal y tiempo de corte, realizar el ajuste. En este escenario, según la Figura 15, la función objetivo disminuyó con respecto a cambiar la longitud del surco, ya que su valor fue de 43,9%. El ahorro de agua en este caso es de $237,4 \text{ m}^3/\text{ha}$, al igual que en la primera opción.

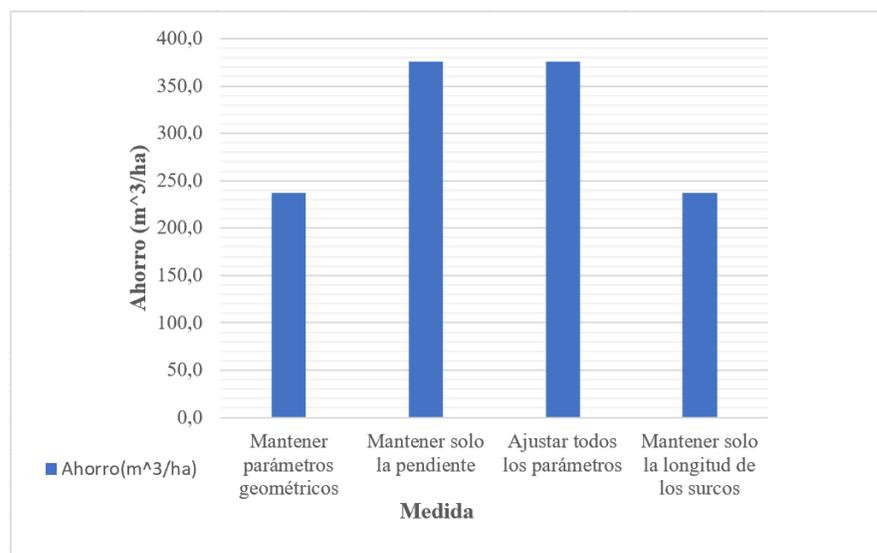


Figura 26. Ahorro de agua proyectado según la medida elegida.

De estos escenarios, se puede concluir que, en caso de que el productor desee mejorar los indicadores de eficiencia sin incurrir en un gasto alto económico (como lo puede ser una

nivelación), se podría considerar mantener la pendiente mientras que se ajusten la longitud de los surcos, el caudal y el tiempo.

Es importante destacar que, si se realiza este ajuste en la longitud de los surcos, quedarían otros cuya longitud sería mucho menor. Por lo tanto, esta optimización funcionaría únicamente para los surcos de las longitudes indicadas. Por esta razón se considera que el escenario más realista y conveniente sería solo ajustar el caudal y el tiempo de corte (simulación 276, Tabla 19).

Debido a que el ahorro de agua fue el mismo en el escenario óptimo y en aquel donde la pendiente se mantiene, la mejor opción entre ambos correspondería a mantener la pendiente. Mientras que globalmente, mantener los parámetros geométricos sería una opción logísticamente más viable. Además, se lograría un ahorro de agua considerable.

Un aspecto importante es el abastecimiento de la lámina necesaria. En el último escenario mencionado, la profundidad de infiltración alcanzada es de 27 mm. Como se mostró anteriormente, la lámina neta máxima para la parcela I8 es de 30,4 mm, por lo que, en el caso de dicho escenario, se estaría realizando una subaplicación. Con el fin de conocer la máxima capacidad de optimización, se afinaron los parámetros del escenario 276 manualmente. La distribución de agua con estos parámetros se muestra en la Figura 27.

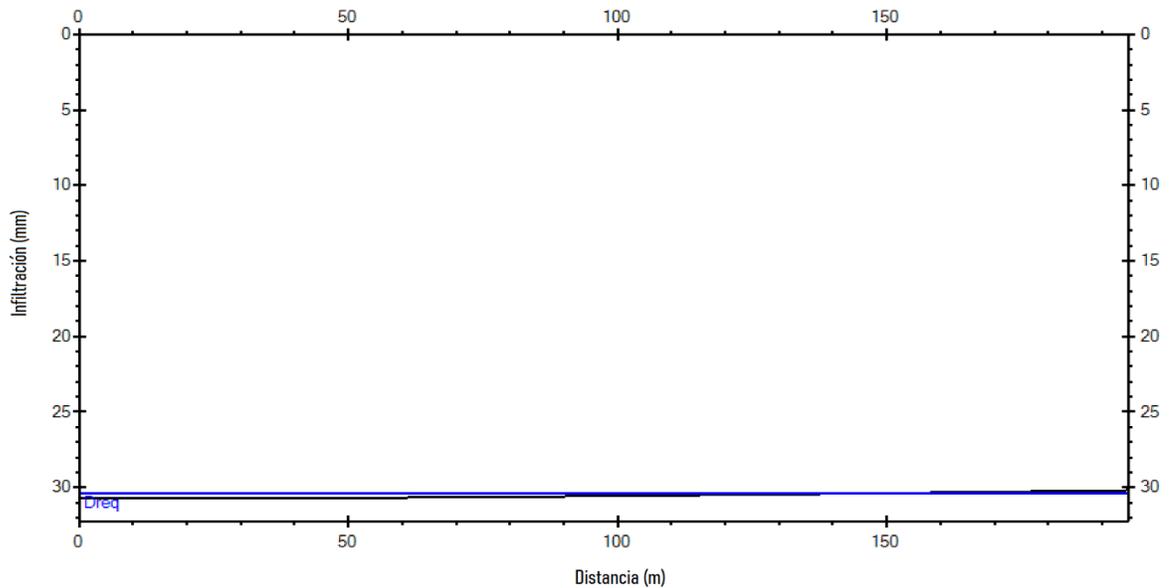


Figura 27. Distribución del perfil de agua infiltrada (simulación 276 ajustada, parcela I8).

En el caso de esta simulación en particular se aprecia cómo el perfil de agua infiltrada alcanza los 30 mm. Con esto, se logra alcanzar la lámina neta con una *AE* de 25%, una *DU* de 99% y escorrentía del 75%. Aunque la eficiencia de aplicación tuvo un valor igual al del riego aplicado en 2019, Se logró aplicar la lámina requerida mediante la optimización, lo cual tiene una gran importancia ya que la componente de escorrentía corresponde a agua que no es aprovechada para otros fines.

En el afinamiento del escenario 276, se llegó a conseguir los resultados mencionados con un tiempo de corte de 11 h y caudal de 1 L/s. Este tiempo de corte puede ser considerado como largo, sin embargo, se observó que en muchas ocasiones el riego parcelario alcanza

esta duración. Esto, debido a que, como se mencionó, los encargados del riego tienen que tomar turnos de vigilancia de las parcelas regadas.

En la Figura 28, se muestra la gráfica de eficiencia potencial en función del caudal y la longitud de los surcos. Como se observa, el punto negro es el caso del escenario recomendado. En este intervalo existe una eficiencia potencial entre el 20 y el 30%. Al aumentar la longitud del surco y disminuir el caudal, la eficiencia de aplicación aumenta. Este fenómeno se debe a que el porcentaje de agua de escorrentía se aprovecha. Sin embargo, el productor debe verificar si es logísticamente viable cambiar la configuración actual de los surcos. Por esta razón, el punto calibrado es el recomendado.

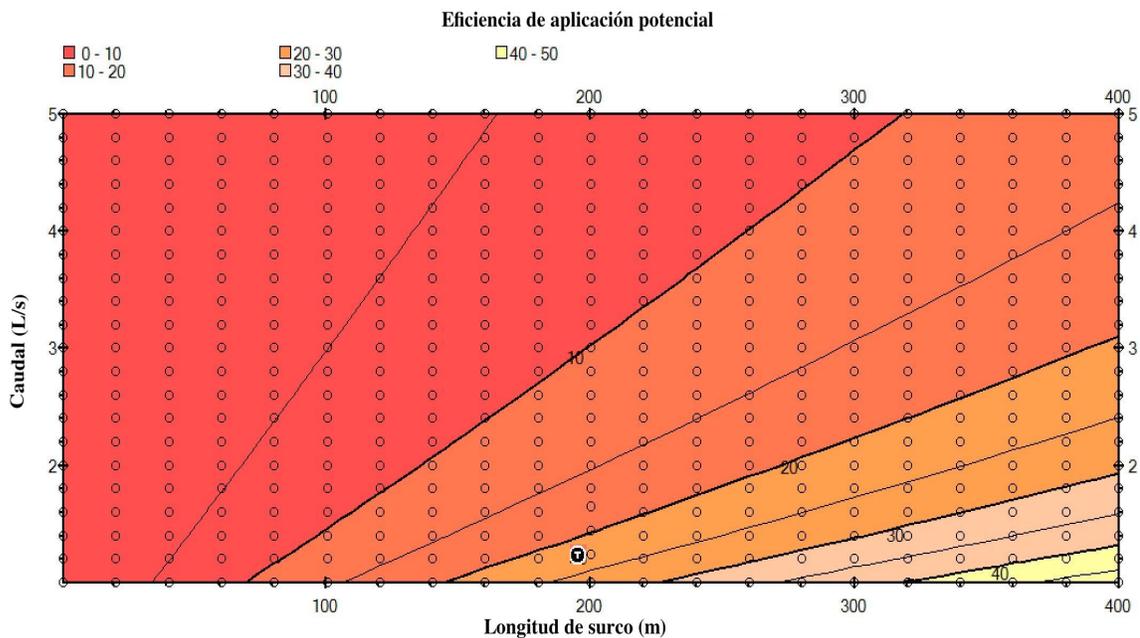


Figura 28. Eficiencia de aplicación potencial, parcela I8.

3.1.5.2. Parcela S17

La combinación de los parámetros de ingreso en la programación lineal de las simulaciones de riego de la parcela S17 dio como resultado los valores estadísticos de la Tabla 16.

Tabla 16. Valores estadísticos principales de la optimización del riego de la parcela S17.

Valor Estadístico	AE (%)	DU (%)	DP (%)	RO (%)	Dinf (mm)	OF (%)
Máximo	83,00	98,7	27,00	67,00	40,00	51
Mínimo	22,00	0,0	11,00	0,00	25,00	4
Promedio	54,75	81,8	18,67	26,76	35,79	39
Moda	70,00	0,0	18,00	0,00	36,00	17
Desviación estándar	15,54	28,0	2,97	17,55	2,34	13

En esta optimización se obtuvo una maximización de la función objetivo con un valor de 51%. En este escenario (N° 326 Tabla 21), se obtuvo una *AE* de 83%, una *DU* de 1 %, una *DP* del 18% y un valor *RO* de 0%. El perfil de agua infiltrada de este escenario se puede observar en la Figura 29.

La distribución de agua infiltrada indica una sobre aplicación del riego en los primeros 190 m. La profundidad promedio alcanzada fue de 42 mm, cuando la lámina neta máxima es de 28 mm. Además de esto, se puede notar cómo en el último tramo de aproximadamente 26 m del surco, no fue posible la entrega de agua.

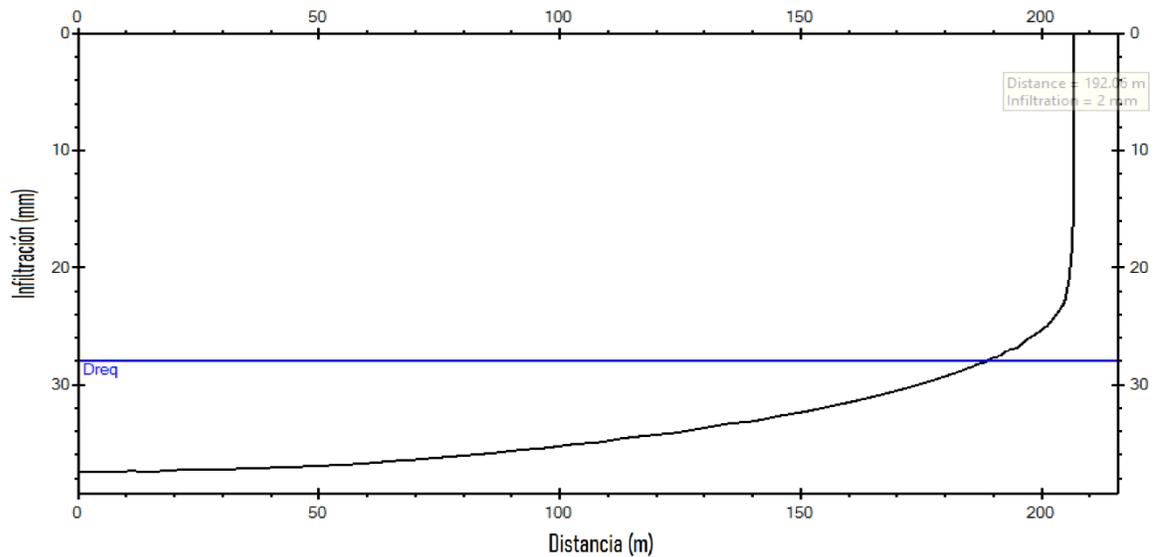


Figura 29. Distribución del perfil de agua en simulación 326, parcela S17.

Como se reportó en la sección anterior, esta parcela presentó valores de k y a tales que permitieron que el agua infiltrara fácilmente en poco tiempo. Por esto, el agua tuvo una tasa de percolación profunda mayor a la tasa de avance horizontal. Este fenómeno, en gran parte, se atribuye a la presencia de mayor cantidad de arena en el suelo de esta parcela, así como mayor espacio de poros.

Por lo anterior, se debió buscar un criterio para la escogencia de un escenario óptimo. Para la identificación de una simulación en la cual se alcanzó el avance requerido a lo largo de todo el surco, se ubicaron aquellas en donde se minimizaron las pérdidas por escorrentía.. En este caso, se ubicaron aquellas simulaciones con la condición $0 < RO\% < 5$.

Luego de filtrar las simulaciones con base en la escorrentía, se seleccionaron aquellas donde se minimizó la percolación profunda. Los resultados de la selección se pueden observar en la Tabla 17.

Tabla 17. Resultados de las simulaciones con mejores indicadores de eficiencia, parcela S17.

N°	L (m)	S (m/m)	Tco (h)	Q (L/s)	AE%	DU%	DP%	RO%	OF%	Dinf (mm)
201	189	0,004	2,2	1,5	77	79	18	5	46	33
302	216	0,003	2,2	1,7	77	79	18	4	46	33
327	216	0,004	2,2	1,7	77	79	18	5	46	33
352	216	0,005	2,2	1,7	77	79	18	5	46	33
453	243	0,004	2,2	1,9	78	78	18	4	46	33
478	243	0,005	2,2	1,9	78	78	18	3	46	33

El valor de maximización de la función objetivo en la selección de la Tabla 17 fue de 46%. Como se puede observar, se tienen diferentes valores de pendiente y longitudes utilizables para alcanzar esta optimización. El tiempo de corte convergió en 2,2 h en las simulaciones seleccionadas, mientras que el caudal óptimo varía con la pendiente y la longitud de los surcos.

Al igual que en la parcela I8, las pendientes que generaron maximización de la función objetivo fueron diferentes a la actual (0,002 m/m). La Simulación 302 corresponde al escenario óptimo con una pendiente más cercana a este valor. El perfil de agua infiltrada

para este escenario se muestra en la Figura 30. En este caso, se logró un ahorro de agua de $561,9 \text{ m}^3/\text{ha}$.

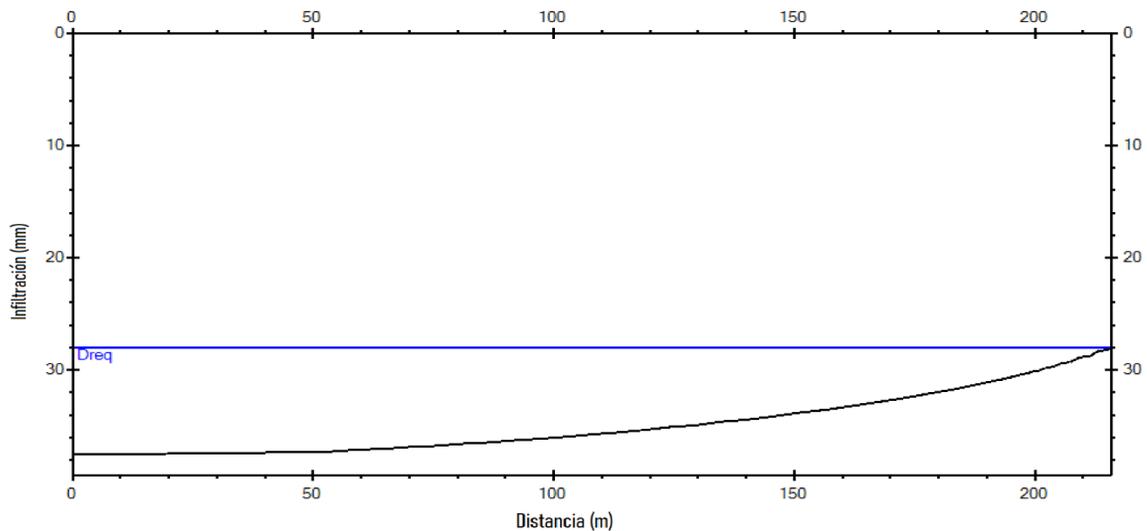


Figura 30. Distribución del perfil de agua, simulación 302, parcela S17.

La importancia de identificar los escenarios que tuvieron una escorrentía baja radica en que menos agua sería perdida. Esto se puede notar en la Figura 30, ya que la línea de Profundidad requerida, *Dreq*, coincide con la línea de infiltración simulada justo al final del surco. Esto resulta en que se alcanza la lámina requerida mientras de disminuye la pérdida de agua por escorrentía, *RO*.

La distribución de agua infiltrada en la Figura 30 muestra una infiltración promedio de 33 mm, sin embargo, la infiltración máxima registrada fue de 37 mm. Esto dio como resultado

una percolación profunda del 18% del agua utilizada. Esta optimización se logró para surcos con una longitud de 216 m. En el caso de la parcela S17, cuya forma no permite poseer surcos de las mismas longitudes, sería necesario aplicar los parámetros de entrada dependiendo de las longitudes de los surcos.

Para surcos de menor longitud, se tienen tiempos de corte y caudales óptimos diferentes. Esto representa una desventaja logística, debido a que el regador debería presentarse a realizar cambios de operación en diferentes tiempos. Sumado a esto, debido a que el caudal que ingresa a cada surco depende tanto del tirante del canal de abasto como del diámetro del sifón utilizado, sería necesaria la posesión de sifones de diámetros distintos y posiblemente cambios en la sección transversal del canal de abasto.

Debido a la condición mencionada anteriormente, es necesaria la escogencia tanto de una inclinación uniforme en toda la parcela, como la utilización del mismo tiempo de corte y caudal para esta. El escenario más realista es aquel en donde la pendiente se mantiene y se realizan ajustes de tiempo de corte y caudal.

De los escenarios en donde la pendiente coincide con la actual y se mejoró la función objetivo, destaca el N° 529, donde la función objetivo alcanzó un valor de 20%, con una *AE* de 79%, *DU* de 75%, *DP* de 20%. Dichos resultados se obtuvieron mediante la simulación con una longitud de surcos de 270 m, un caudal de 2,1 L/s y un tiempo de corte de 2,2 h. En

esta optimización, se lograron ahorrar $599 \text{ m}^3/\text{ha}$, en comparación con el evento de riego de mayor eficiencia del período 2019.

Aunque que los surcos más largos dictan el tiempo de riego de la parcela debido a que se necesita abastecer la lámina neta, fue necesario simular estos parámetros con surcos más cortos. Del tercio más corto, se obtuvo el perfil de infiltración del escenario óptimo mediante el afinamiento manual de los parámetros. Esta se muestra en la Figura 31.

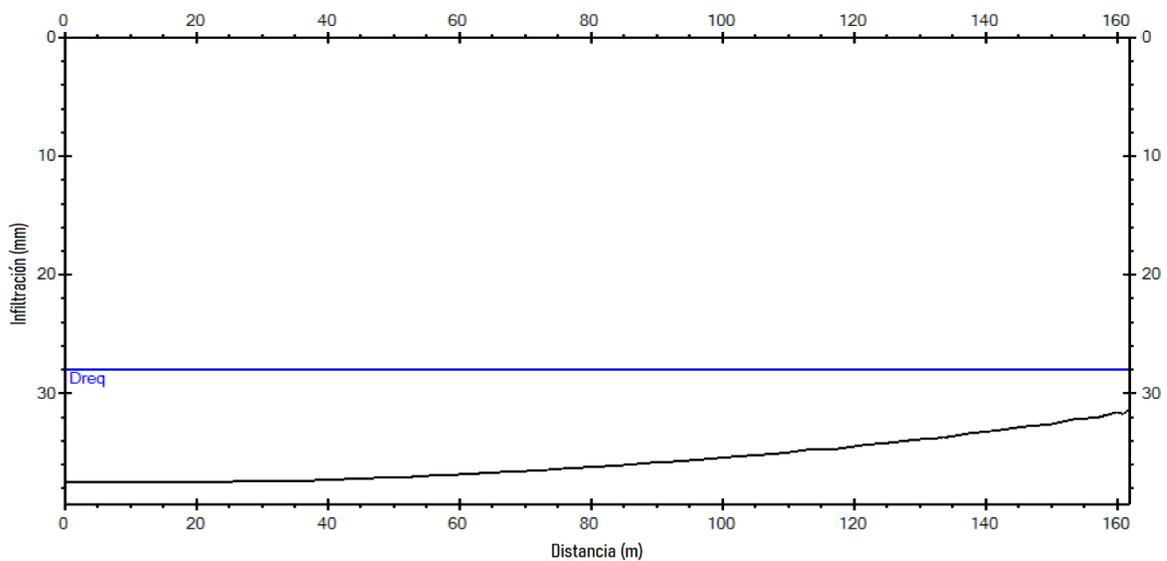


Figura 31. Distribución del perfil de agua en simulación 529 ajustada, parcela S17.

La distribución de agua infiltrada de la se logró mediante la utilización de un caudal de 1,5 L/s y un tiempo de corte de 2.2 h y la longitud de los surcos del primer tercio de la parcela. Se debe notar que, aunque el tiempo óptimo coincide con el del escenario 529, no lo hace el

caudal óptimo para el escenario. Por esta razón, si se fueran a realizar ajustes de optimización, se requeriría la modificación del canal de abasto. La Figura 32 presenta la distribución final de agua en los surcos del primer tercio con el caudal de la simulación 529.

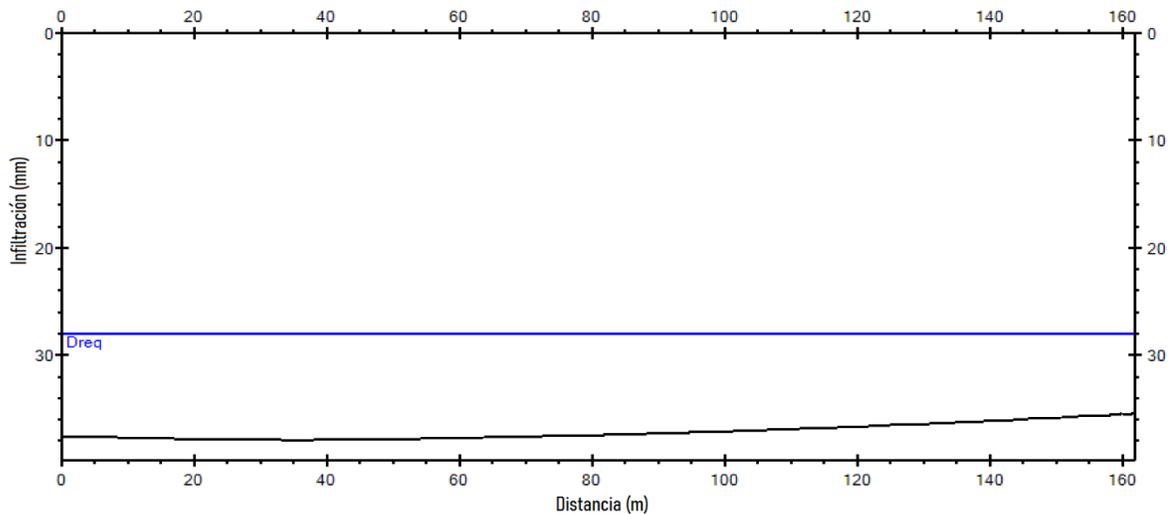


Figura 32. Distribución del perfil de agua para los surcos del primer tercio, a 2,1 L/s, parcela S17.

En este escenario se aprecia que existió un sobre riego, en el cual hubo 15% de pérdidas por percolación profunda y 39% de pérdidas por escorrentía. La eficiencia alcanzada fue de 46% y la uniformidad de distribución fue de 97%. Estos indicadores, en comparación con los surcos del escenario 529, son menores. Sin embargo, se logra una mejora tanto en la eficiencia como en la razón de percolación profunda y escorrentía con respecto a los riegos del verano de 2019 evaluados.

Un parámetro que mejoró interacción entre la tasa de movimiento horizontal del agua con respecto a la tasa de percolación fue el caudal. Al aumentar este valor, se permite que mayor cantidad de agua pueda avanzar a lo largo del surco y a su vez infiltrar. De esta manera, se logra que el agua se conduzca horizontalmente a una razón similar a la cual se percola, lo que mejora la uniformidad de distribución.

En la Figura 33 se puede apreciar de mejor manera cómo cambia la eficiencia en función de la longitud del surco y el caudal. Esta gráfica resulta muy útil para esta parcela en específico, ya que los surcos son de longitud variable. Una característica interesante de notar es que entre más aumenta la longitud del surco y se disminuye el caudal el agua no logra llegar al final del terreno. Al acercarse a una longitud de 200 m, se debe tener la precaución de no disminuir el caudal, ya que entre más largo el surco se debe aumentar esta magnitud.

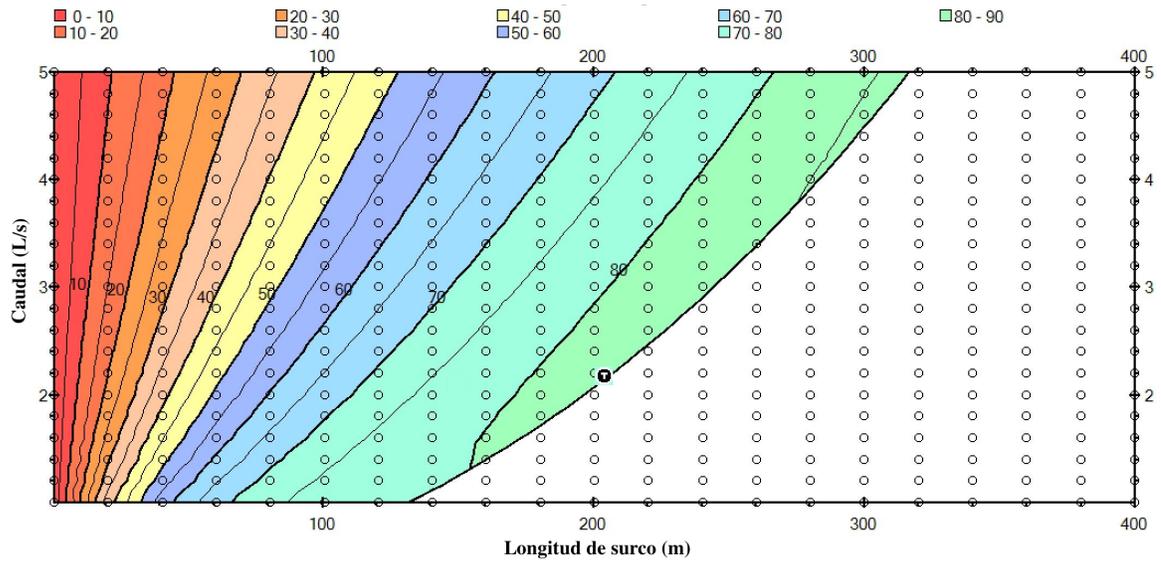


Figura 33. Eficiencia potencial en función del caudal y la longitud de los surcos, parcela S17.

CONCLUSIONES

- Los suelos de ambas parcelas presentan una textura arcillosa. La capacidad de retención de humedad fue mayor en la parcela I8, lo cual es consecuencia de la mayor cantidad de arena y espacio poroso en la parcela S17. En el caso de ambas parcelas, las secciones más profundas del suelo (20-60 cm) presentan una mayor capacidad de almacenar agua.
- La metodología utilizada probó ser una herramienta útil en la optimización del recurso hídrico, donde se pueden determinar las condiciones ideales de manejo de las fincas para reducir el gasto de aplicación de agua de riego en sistemas superficiales.
- El evento de riego con mejor utilización de agua en la parcela I8 fue el cuarto, la eficiencia alcanzada fue de 25% con un valor de escorrentía de 75%. El tiempo de corte fue 5,6 horas con un caudal de 1,8 L/s. El volumen de agua utilizado fue de 1075,4 m^3 /ha.
- En la parcela S17 la mayor eficiencia alcanzada fue de 35% con una percolación del 20% y una escorrentía del 45%. Esto se logró con un caudal de 1,8 L/s y el tiempo de corte de 5 h. El gasto volumétrico fue de 953 m^3 /ha.
- En la parcela I8, se recomienda la utilización de caudales bajos con tiempos prolongados, esto para mejorar la interacción entre el avance horizontal y la infiltración. Este ajuste podría producir ahorros de entre el 22% y el 35% del agua de riego.

- Debido a la complejidad de ajustar todos los parámetros, en la parcela I8 es recomendable mantener los parámetros geométricos actuales y ajustar el tiempo de corte y el caudal. Los valores de tiempo de corte y caudal recomendados son 11 horas y 1,0 L/s, respectivamente. Con esta opción, se lograría un ahorro de 237,4 m^3 /ha. Se logró suplir la lámina máxima con una eficiencia de 25%, una escorrentía de 75% una uniformidad distribución de 99%.
- En la parcela S17 se recomienda la utilización de caudales más altos a los actuales con tiempos de riego menores, con el fin de disminuir las pérdidas por percolación y escorrentía. Esto generaría ahorros de entre el 59% y 63% del agua de riego.
- Los ahorros logrados dependen no solo de la decisión del productor en cuanto a la variación de los parámetros, sino también de las limitaciones operacionales tales como los turnos del encargado y la disponibilidad de tiempo. La disponibilidad de agua en las parcelas genera una limitante en la optimización, debido a que esta depende la carga hidrostática de la fuente de agua.
- En la parcela S17 se recomienda la utilización de un caudal de 2,1 L/s y el tiempo de corte de 2,2 horas. Éstos valores corresponden a los surcos más largos de la parcela. El ahorro de agua sería de 463,8 m^3 /ha. Se lograría obtener una eficiencia de 46% con una razón de percolación profunda del 15% y 39% de pérdidas por escorrentía.
- En estudios posteriores se recomienda la incorporación de la variación de la tasa de infiltración en las parcelas, ya que la presencia de lluvias cercanas a los eventos de

riego la pueden variar, asimismo, el trasiego de maquinaria en la aporca previa al riego produce compactación que también genera cambios en la tasa de infiltración.

- La maximización de la función objetivo no es el parámetro determinante para la toma de decisiones con respecto a la optimización. Por esto, se recomienda tomar en cuenta criterios como la percolación profunda y la razón de escurrimiento en estudios futuros.

BIBLIOGRAFÍA

1. Servicio nacional de aguas riego y avenamiento. Dirección de Riego Arenal Tempisque [Internet]. 2018 [citado 25 de mayo de 2018]. Disponible en: <http://www.senara.or.cr/drat/>
2. Angulo Marchena Á. Evaluación de los parámetros de eficiencia del riego por surcos y goteo en caña de azúcar (*saccharum officinarum* L.) en Guanacaste, Costa Rica. Universidad de Costa Rica; 2000.
3. Waller P, Muluneh Y. Irrigation and Drainage Engineering. 1era ed. Tucson, AZ: Springer International Publishing Switzerland; 2016.
4. Ministerio de Agricultura y Riego. Manual del Cálculo de eficiencia para Sistemas de Riego [Internet]. 2015. p. 54. Disponible en: http://www.minagri.gob.pe/portal/download/pdf/manual-riego/manual_determinacion_eficiencia_riego.pdf
5. Ebrahimian H, Liaghat A. Field Evaluation of Various Mathematical Models for Furrow and Border Irrigation Systems. Vol. 6, Soil & Water Res. 2011.
6. Adamala S, Raghuwanshi NS, Mishra A. Development of Surface Irrigation Systems Design and Evaluation Software (SIDES). Comput Electron Agric [Internet]. 2014;100:100-9. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2013.11.004>
7. Kishan K, Krupavathi K, Kumar HVH. Design and evaluation of check basin irrigation system using SURDEV software model. Int J Agric Eng. 2016;9(2):188-95.
8. Koech R, Gillies M, Smith R. Simulation modelling in surface irrigation systems [Internet]. 2010 [citado 4 de diciembre de 2019]. Disponible en: <http://www.ars.usda.gov/services/software.htm>
9. Walker WR. SIRMOD III Surface Irrigation Simulation, Evaluation and Design. Utah: Utah State University; 2003.
10. Khatri KL, Smith RJ, Khatri KL. Toward a simple real-time control system for

- efficient management of furrow irrigation. *Irrig Drain* [Internet]. 2007 [citado 1 de junio de 2018];56:463–475. Disponible en: https://eprints.usq.edu.au/3926/1/Khatri_Smith.pdf
11. Bakker DM, Plunkett G, Sherrard J. Application efficiencies and furrow infiltration functions of irrigations in sugar cane in the Ord River Irrigation Area of North Western Australia and the scope for improvement. *Agric Water Manag.* 16 de mayo de 2006;83(1-2):162-72.
 12. Mazarei R, Mohammadi AS, Naseri AA, Ebrahimian H, Izadpanah Z. Optimization of furrow irrigation performance of sugarcane fields based on inflow and geometric parameters using WinSRFR in Southwest of Iran. *Agric Water Manag.* 20 de febrero de 2020;228:105899.
 13. Masoumeh F, Soheila F, Pejman P. Field Evaluation and Analysis of Furrow Irrigation by SIRMOD and WinSRFR Models. Vol. 4. *JOURNAL OF ENVIRONMENT AND WATER ENGINEERING*; 2018. p. 207-15.
 14. Hardie M, Raine S. Effect of sugarcane trash retention systems on furrow irrigation performance. *Int Irrig Conf.*
 15. Bautista E, Clemmens AJ, Strelkoff TS, Niblack M. Analysis of surface irrigation systems with WinSRFR-Example application.
 16. Wood M, Malano H, Turrall H. Real-Time Monitoring and Control of On-Farm Surface Irrigation Systems, Final Report. 1998.
 17. WinSRFR [Internet]. 2019 [citado 4 de diciembre de 2019]. Disponible en: <https://www.ars.usda.gov/research/software/download/?softwareid=501&modecode=20-20-05-15>
 18. Bautista E, Schlegel J, Strelkoff T. WinSRFR 4.1 User manual. 2012;165.
 19. Merriam J, Keller J. *Farm Irrigation System Evaluation: A Guide for Management.* Utah: Utah State University. Department of Agricultural Engineering; 1979.
 20. Walker WR. Guidelines for designing and evaluating surface irrigation systems

- [Internet]. Food and Agriculture Organization of the United Nations; 1989 [citado 26 de mayo de 2018]. 137 p. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/T0231E/T0231E00.htm>
21. Strelkoff TS, Clemmens AJ, Awad M. Surface Irrigation Evaluation Models: Application to Level Basins in Egypt. *Trans ASAE*. 1999;42(602):1027-36.
 22. Salas AF. Riego por superficie [Internet]. US; [citado 26 de mayo de 2018]. Disponible en: http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos/temario/Tema 8.Riego por superficie/page_08.htm
 23. Maldonado Rojas T. Manual de Riego Parcelario. [citado 26 de mayo de 2018]; Disponible en: http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP_FaoRlc/old/prior/reccat/pdf/MR_indice.PDF
 24. Cisneros Almazan R. Apuntes de la materia de riego y drenaje [Internet]. 2006. Disponible en: http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries_regions/Profile_segments/COL-IrrDr_esp.stm
 25. Poder Ejecutivo del Gobierno de la República de Costa Rica. Norma RTCR 213:1997 Toma de muestras para análisis de residuos de plaguicidas en los cultivos de vegetales [Internet]. 1998 [citado 20 de febrero de 2019]. Disponible en: <https://www.sfe.go.cr/Decretos/Decreto N° 27056-MAG-MEIC Toma de muestras para análisis de residuos de plaguicidas en cultivos de vegetales.pdf>
 26. Maphanyane J, Mapeo RBM, Akinola MO. Handbook of research on geospatial science and technologies [Internet]. [citado 21 de febrero de 2019]. Disponible en: https://books.google.co.cr/books?id=jBxDwAAQBAJ&pg=PA164&lpg=PA164&dq=uniform+fields+should+be+sampled+in+a+simple+random+pattern+across+the+field&source=bl&ots=H-xwf2-oBH&sig=ACfU3U3axuSTT60UWRAZG_9R3iutwEm4Ug&hl=en&sa=X&ved=2ahUKEwjVl8fNxM3gAhUQbq0KHcR
 27. Australian Precision Agriculture Laboratory. Soil Sampling Instructions [Internet]. 2014. p. 2-8. Disponible en: <http://www.apal.com.au/resources/sampling->

instructions/

28. USDA; United States Department of Agriculture. Soil Quality Information Sheet Soil Quality Resource Concerns: Available Water Capacity [Internet]. 1998 [citado 10 de marzo de 2019]. Disponible en: <http://soils.usda.gov>
29. Kirkham M. Principles of Soil and PLant Water Relations [Internet]. ELSEVIER ACADEMIC PRESS; 2005 [citado 10 de marzo de 2019]. Disponible en: http://www.esalq.usp.br/lepse/imgs/conteudo_thumb/Principles-of-Soil-and-Plant-Water-Relations-by-M-B--Kirkham--2005-.pdf
30. National Environmental Monitoring Standards. Soil Water Measurement [Internet]. 2013 [citado 10 de marzo de 2019]. Disponible en: www.landandwater.co.nz.
31. American Society for Testing and Materials. Designation: D6836—16 Standard Test Methods for Determination of the Soil Water Characteristic Curve for Desorption Using Hanging Column, Pressure Extractor, Chilled Mirror Hygrometer, or Centrifuge [Internet]. 2016 [citado 28 de marzo de 2019]. Disponible en: https://compass-astm-org.ezproxy.sibdi.ucr.ac.cr/EDIT/html_annot.cgi?D6836+16#s00083
32. Flores Delgadillo L, Alcalá Martínez J. Manual de Procedimientos Analíticos [Internet]. Universidad Nacional Autónoma de México; 2010 [citado 25 de enero de 2019]. Disponible en: http://www.geologia.unam.mx/igl/deptos/edafo/lfs/MANUAL_DEL_LABORATORIO_DE_FISICA_DE_SUELOS1.pdf
33. Bandyopadhyay K, Aggarwal P, Pradhan S. Practical Manual on Measurement of Soil Physical Properties. 2012. 1-62 p.
34. Ruiz T W, Grillo F M. Determinación de la retención de humedad del suelo a capacidad de campo por el método del tanque de arena. Acta Agronómica [Internet]. 1975;25(1-4):31-53. Disponible en: http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/48463
35. Petillo G, Puppo M;, Hayashi L;, Morales R; Metodología para determinar los parámetros hídricos de un suelo a campo [Internet]. [citado 28 de marzo de 2019]. Disponible en: <http://www.fagro.edu.uy/~hidrologia/riego/Metodologia para>

determinar los parametros hidricos de un suelo a campo.pdf

36. Taylor SA, Ashcroft GL. Physical edaphology. The physics of irrigated and nonirrigated soils. Physical edaphology. The physics of irrigated and nonirrigated soils. 1972.
37. Valverde JC. Riego Y Drenaje [Internet]. San José: Editorial Universidad Estatal a Distancia; 2007 [citado 5 de marzo de 2020]. 93-95 p. Disponible en: https://books.google.co.cr/books?id=Chy5vADO63AC&pg=PA94&lpg=PA94&dq=lámina+neta&source=bl&ots=gGoDdambw7&sig=ACfU3U3LVEVA9oWTE6fZ-Z4zodBXdQ40hg&hl=en&sa=X&ved=2ahUKEwi_8oKTuYToAhXxm-AKHcbZBJoQ6AEwFnoECAwQAQ#v=onepage&q=lámina neta&f=false
38. Zhang S, Lu X, Zhang Y, Nie G, Li Y. Estimation of soil organic matter, total nitrogen and total carbon in sustainable coastal wetlands. *Sustain*. 2019;11(3).
39. Wang JP, Wang XJ, Zhang J. Evaluating loss-on-ignition method for determinations of soil organic and inorganic carbon in arid soils of northwestern china. *Pedosphere* [Internet]. 2013;23(5):593-9. Disponible en: [http://dx.doi.org/10.1016/S1002-0160\(13\)60052-1](http://dx.doi.org/10.1016/S1002-0160(13)60052-1)
40. Heiri O, Lotter AF, Lemcke G. Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results [Internet]. Vol. 25, *Journal of Paleolimnology*. 2001 [citado 28 de marzo de 2019]. Disponible en: <https://link-springer-com.ezproxy.sibdi.ucr.ac.cr/content/pdf/10.1023%2FA%3A1008119611481.pdf>
41. Robertson S. Direct Estimation of Organic Matter by Loss on Ignition: Methods [Internet]. 2011 [citado 26 de marzo de 2019]. Disponible en: https://www.sfu.ca/soils/lab_documents/Estimation_Of_Organic_Matter_By_LOI.pdf
42. American Society for Testing and Materials. Standard Test Methods for Moisture, Ash, and Organic Matter of Peat and Other Organic Soils 1 [Internet]. 2013 [citado 28 de marzo de 2019]. Disponible en: www.astm.org,
43. Esquivel E, Rubilar R, Sandoval S, Acuña E, Cancino J, Espinosa M, et al. Efecto de

- plantaciones dendroenergéticas en el carbono a nivel de suelo, en dos suelos contrastantes de la región de Biobío, Chile. *Rev Árvore*. 2014;37(6):1135-44.
44. Grewal KS, Buchan GD, Sherlock RR. A comparison of three methods of organic carbon determination in some New Zealand soils. *J Soil Sci* [Internet]. 1 de junio de 1991 [citado 26 de junio de 2020];42(2):251-7. Disponible en: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1365-2389.1991.tb00406.x>
 45. Cargua Catagña FE, Llerena MVR, Carrión DAD, Moreno CGR, Lima GPS. Analytical methods comparison for soil organic carbon determination in Andean Forest of Sangay National Park-Ecuador. *Acta Agron*. 2017;66(3).
 46. Centro de Investigaciones Agronómicas. Mapa digital de Suelos de Costa Rica [Internet]. 2016 [citado 31 de enero de 2019]. Disponible en: http://www.cia.ucr.ac.cr/?page_id=139
 47. Survey Staff S. Soil Taxonomy A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys United States Department of Agriculture Natural Resources Conservation Service [Internet]. 1999 [citado 21 de febrero de 2019]. Disponible en: https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_051232.pdf
 48. SAGIRH UCR-DRAT [Internet]. [citado 26 de junio de 2020]. Disponible en: <http://fing-ucr.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=322a79d633ea47aebefea76d45fc9d9b>
 49. Allen RG, Tasumi M, Trezza R. Satellite-based Energy Balance for Mapping Evapotranspiration With Internalized Calibration (METRIC) - Model. *J Irrig Drain Eng*. julio de 2007;133(4):380-94.
 50. Bouyoucos GJ. The hydrometer as a new and rapid method for determining the colloidal content of soils. *Soil Sci*. 1927;23(4):319-31.
 51. Corder GW, Foreman DI. *Nonparametric Statistics for Non-Statisticians, A Step-by-Step Approach* [Internet]. 1.^a ed. Wiley, editor. New Jersey: John Wiley & Sons INC; 2009 [citado 12 de junio de 2019]. Disponible en: <http://gtu.ge/Agro->

Lib/0696207_2982C_corder_g_w_foreman_d_i_nonparametric_statistic.pdf

52. Stephens MA. EDF Statistics for Goodness of Fit and Some Comparisons. J Am Stat Assoc [Internet]. septiembre de 1974 [citado 12 de junio de 2019];69(347):730. Disponible en: <https://www.jstor.org/stable/2286009?origin=crossref>
53. Chow V Te, Maidment DR, Mays LW. Hidrología Aplicada. Bogotá, Colombia: McGraw-Hill Interamericana; 1994.

ANEXOS

Tabla 18. Resultados de las pruebas de laboratorio de la parcela I8.

Transecto	P	% Arena	% Arcilla	% Limo	%MO	DA (g/cm ³)	%CC	%P MP	% AU	% EP
T1	1	13,3	69,7	16,9	3,14	0,9	46,7	41,2	5,5	66,3
	2	12,7	69,4	17,9	2,04	1,0	46,7	41,5	5,2	61,3
	3	18,3	61,8	19,9	1,92	1,3	37,9	33,9	4,0	49,7
T2	1	13,5	66,6	19,9	1,58	1,1	59,7	55,3	4,4	57,1
	2	10,0	70,0	20,0	1,58	1,2	43,9	39,6	4,3	56,4
	3	3,9	69,5	26,6	3,07	1,1	37,8	32,7	5,1	57,4
T3	1	10,9	68,8	20,2	2,65	0,9	55,6	50,2	5,5	66,8
	2	5,2	74,6	20,2	2,04	1,2	39,3	36,0	3,3	53,2
	3	11,1	76,8	12,1	2,10	1,3	44,2	39,2	5,0	50,8
T4	1	18,8	67,3	13,9	4,52	1,1	41,7	37,7	4,0	57,7
	2	10,4	70,5	19,1	1,80	1,2	41,5	38,1	3,4	53,5
	3	18,2	61,9	19,9	1,71	1,3	35,4	29,9	5,5	51,3
T5	1	12,5	73,3	14,3	2,39	1,2	45,6	41,3	4,3	56,4
	2	10,0	75,8	14,3	1,94	1,7	41,2	35,8	5,3	35,4
	3	12,5	70,8	16,8	1,13	1,3	48,7	45,4	3,3	49,7
T6	1	12,5	67,6	19,9	3,59	1,2	59,2	53,3	5,9	55,6
	2	21,6	59,7	18,7	2,27	1,3	43,5	39,7	3,8	51,7
	3	8,9	67,8	23,3	3,11	1,2	49,5	45,2	4,3	56,1
T7	1	12,0	70,0	18,0	3,74	1,0	53,2	47,9	5,2	63,8
	2	14,0	68,0	18,0	3,55	1,2	43,9	38,1	5,8	55,6
	3	16,2	65,9	18,0	3,27	1,4	42,3	38,0	4,3	49,0
T8	1	3,3	79,3	17,4	2,90	0,9	41,0	36,5	4,5	67,5
	2	2,2	80,2	17,6	2,90	1,3	48,5	43,1	5,4	52,2
	3	14,0	70,7	15,3	3,15	1,2	43,4	38,6	4,8	54,3
T9	1	18,0	66,0	16,0	3,34	1,4	44,3	40,7	3,6	47,3
	2	6,0	68,0	26,0	3,45	1,4	48,5	43,4	5,1	48,6
	3	14,0	70,0	16,0	3,15	1,4	36,8	31,6	5,2	46,0
T10	1	8,2	71,9	20,0	3,21	1,4	53,2	50,2	3,1	46,8
	2	6,3	72,3	21,5	3,09	1,5	49,7	44,6	5,0	44,9
	3	4,0	72,0	24,0	3,71	1,4	46,2	42,6	3,6	47,1

Tabla 19. Resultados de las pruebas de laboratorio, parcela S17.

Transecto	P	% Arena	% Arcilla	% Limo	MO%	DA (g/cm³)	%CC	%PMP	%AU	%EP
T1	1	10,2	70,2	19,5	2,61	0,9	45,5	42,0	3,5	64,3
	2	18,4	66,0	15,5	1,05	1,2	42,7	38,2	4,5	55,9
	3	16,7	65,5	17,9	3,48	1,2	43,1	40,0	3,1	55,2
T2	1	23,7	56,4	19,9	3,36	0,9	48,5	43,4	5,1	65,3
	2	46,5	37,6	15,8	3,62	1,1	32,4	27,8	4,6	59,6
	3	36,6	39,6	23,8	3,21	1,2	55,6	51,1	4,6	56,4
T3	1	12,4	69,7	17,9	2,98	1,0	59,1	54,0	5,0	62,2
	2	18,6	62,0	19,4	3,26	1,0	40,8	35,4	5,4	62,4
	3	10,2	73,9	16,0	3,33	1,0	44,6	40,2	4,4	61,5
T4	1	21,4	60,9	17,7	3,57	1,1	39,7	34,7	5,0	60,3
	2	22,8	61,0	16,3	0,96	1,0	45,2	40,8	4,4	61,5
	3	18,5	61,6	19,9	3,36	0,8	42,3	38,8	3,5	70,8
T5	1	17,5	73,3	9,3	3,49	1,0	54,8	50,7	4,1	63,1
	2	20,0	63,3	16,8	1,92	1,1	32,5	27,6	4,9	59,1
	3	15,0	73,3	11,8	2,81	1,1	42,5	38,6	3,9	58,0
T6	1	14,0	74,0	12,0	2,22	1,0	50,8	46,9	3,8	61,5
	2	14,7	73,4	11,9	3,06	1,1	40,4	37,1	3,2	58,4
	3	16,2	71,9	12,0	2,73	1,0	53,8	49,4	4,4	62,0
T7	1	12,8	74,2	13,0	2,69	1,0	52,4	48,4	3,9	61,0
	2	14,6	77,7	7,8	3,17	1,1	32,6	29,6	3,0	57,8
	3	15,5	72,7	11,8	3,07	1,2	35,7	32,3	3,3	53,1
T8	1	10,7	75,7	13,6	2,80	1,1	35,3	30,1	5,2	58,8
	2	11,1	75,1	13,8	3,42	1,2	39,8	36,6	3,2	55,3
	3	16,2	78,2	5,6	2,61	1,0	43,5	39,8	3,7	62,7
T9	1	10,2	77,8	12,0	5,61	1,1	44,7	40,5	4,2	58,8
	2	13,0	77,1	9,9	2,50	1,1	39,2	33,4	5,8	58,4
	3	9,3	78,9	11,8	3,24	1,0	41,7	38,4	3,3	63,0
T10	1	4,4	76,5	19,1	4,92	1,1	47,7	43,4	4,3	59,5
	2	10,0	76,0	14,0	3,40	1,0	50,5	46,4	4,1	62,0

Transecto	P	% Arena	% Arcilla	% Limo	MO%	DA (g/cm ³)	%CC	%PMP	%AU	%EP
T10	3	12,2	73,9	14,0	4,76	1,0	39,5	35,6	3,9	61,2

Tabla 20. Resultados de las simulaciones de optimización, parcela I8.

N°	L (m)	S (m/m)	Tco (h)	Q (L/s)	AE (%)	DU% (%)	DP (%)	RO (%)	Dinf (mm)	OF (%)
1	157	0,0005	5,3	1,4	27	99,1	0	73	28	41,6
2	157	0,0005	5,3	1,6	24	99,3	0	76	28	40,7
3	157	0,0005	5,3	1,8	22	99,5	0	78	28	40,1
4	157	0,0005	5,3	2,0	20	99,5	0	80	28	39,4
5	157	0,0005	5,3	2,2	18	99,4	0	82	28	38,7
6	157	0,0005	6,0	1,4	24	99,2	0	76	28	40,7
7	157	0,0005	6,0	1,6	22	99,4	0	78	29	40,1
8	157	0,0005	6,0	1,8	20	99,6	0	81	29	39,5
9	157	0,0005	6,0	2,0	18	99,5	0	82	29	38,8
10	157	0,0005	6,0	2,2	16	99,4	0	84	29	38,1
11	157	0,0005	6,7	1,4	22	99,3	0	78	29	40,0
12	157	0,0005	6,7	1,6	20	99,5	0	80	29	39,4
13	157	0,0005	6,7	1,8	18	99,6	0	82	29	38,8
14	157	0,0005	6,7	2,0	16	99,5	0	84	29	38,1
15	157	0,0005	6,7	2,2	15	99,4	0	85	29	37,8
16	157	0,0005	7,4	1,4	20	99,4	0	80	29	39,4
17	157	0,0005	7,4	1,6	18	99,6	0	82	29	38,8
18	157	0,0005	7,4	1,8	16	99,6	0	84	29	38,1
19	157	0,0005	7,4	2,0	15	99,5	0	85	29	37,8
20	157	0,0005	7,4	2,2	14	99,4	0	86	30	37,4
21	157	0,0005	8,0	1,4	19	99,5	0	81	30	39,1
22	157	0,0005	8,0	1,6	17	99,7	0	83	30	38,5
23	157	0,0005	8,0	1,8	15	99,6	0	85	30	37,8
24	157	0,0005	8,0	2,0	14	99,5	0	86	30	37,5
25	157	0,0005	8,0	2,2	13	99,4	0	87	30	37,1
26	157	0,0015	5,3	1,4	26	98,9	0	74	27	41,2
27	157	0,0015	5,3	1,6	24	99,2	0	77	27	40,7
28	157	0,0015	5,3	1,8	21	99,4	0	79	28	39,7
29	157	0,0015	5,3	2,0	19	99,5	0	81	28	39,1

N°	L (m)	S (m/m)	Tco (h)	Q (L/s)	AE (%)	DU% (%)	DP (%)	RO (%)	Dinf (mm)	OF (%)
30	157	0,0015	5,3	2,2	18	99,6	0	82	28	38,8
31	157	0,0015	6,0	1,4	24	99,1	0	76	28	40,6
32	157	0,0015	6,0	1,6	21	99,3	0	79	28	39,7
33	157	0,0015	6,0	1,8	19	99,5	0	81	28	39,1
34	157	0,0015	6,0	2,0	17	99,6	0	83	28	38,5
35	157	0,0015	6,0	2,2	16	99,7	0	84	28	38,2
36	157	0,0015	6,7	1,4	22	99,2	0	78	28	40,0
37	157	0,0015	6,7	1,6	19	99,4	0	81	28	39,1
38	157	0,0015	6,7	1,8	18	99,6	0	83	28	38,8
39	157	0,0015	6,7	2,0	16	99,7	0	84	29	38,2
40	157	0,0015	6,7	2,2	15	99,7	0	85	29	37,9
41	157	0,0015	7,4	1,4	20	99,3	0	80	29	39,4
42	157	0,0015	7,4	1,6	18	99,5	0	82	29	38,8
43	157	0,0015	7,4	1,8	16	99,6	0	84	29	38,1
44	157	0,0015	7,4	2,0	15	99,7	0	85	29	37,9
45	157	0,0015	7,4	2,2	13	99,7	0	87	29	37,2
46	157	0,0015	8,0	1,4	19	99,4	0	81	29	39,1
47	157	0,0015	8,0	1,6	17	99,5	0	83	29	38,4
48	157	0,0015	8,0	1,8	15	99,6	0	85	29	37,8
49	157	0,0015	8,0	2,0	14	99,7	0	86	29	37,5
50	157	0,0015	8,0	2,2	13	99,7	0	88	29	37,2
51	157	0,0025	5,3	1,4	26	98,9	0	74	27	41,2
52	157	0,0025	5,3	1,6	23	99,1	0	77	27	40,3
53	157	0,0025	5,3	1,8	21	99,3	0	79	27	39,7
54	157	0,0025	5,3	2,0	19	99,4	0	81	27	39,1
55	157	0,0025	5,3	2,2	18	99,6	0	82	27	38,8
56	157	0,0025	6,0	1,4	24	99	0	76	28	40,6
57	157	0,0025	6,0	1,6	21	99,2	0	79	28	39,7
58	157	0,0025	6,0	1,8	19	99,4	0	81	28	39,1
59	157	0,0025	6,0	2,0	17	99,5	0	83	28	38,4
60	157	0,0025	6,0	2,2	16	99,6	0	84	28	38,1
61	157	0,0025	6,7	1,4	22	99,2	0	78	28	40,0
62	157	0,0025	6,7	1,6	19	99,3	0	81	28	39,0
63	157	0,0025	6,7	1,8	17	99,5	0	83	28	38,4
64	157	0,0025	6,7	2,0	16	99,6	0	84	28	38,1
65	157	0,0025	6,7	2,2	15	99,7	0	86	28	37,9
66	157	0,0025	7,4	1,4	20	99,2	0	80	29	39,3
67	157	0,0025	7,4	1,6	18	99,4	0	82	29	38,7

N°	L (m)	S (m/m)	Tco (h)	Q (L/s)	AE (%)	DU% (%)	DP (%)	RO (%)	Dinf (mm)	OF (%)
68	157	0,0025	7,4	1,8	16	99,5	0	84	29	38,1
69	157	0,0025	7,4	2,0	15	99,6	0	86	29	37,8
70	157	0,0025	7,4	2,2	13	99,7	0	87	29	37,2
71	157	0,0025	8,0	1,4	19	99,3	0	81	29	39,0
72	157	0,0025	8,0	1,6	17	99,5	0	84	29	38,4
73	157	0,0025	8,0	1,8	15	99,6	0	85	29	37,8
74	157	0,0025	8,0	2,0	14	99,7	0	87	29	37,5
75	157	0,0025	8,0	2,2	13	99,8	0	88	29	37,2
76	157	0,0035	5,3	1,4	26	98,8	0	74	27	41,2
77	157	0,0035	5,3	1,6	23	99	0	77	27	40,3
78	157	0,0035	5,3	1,8	21	99,2	0	79	27	39,7
79	157	0,0035	5,3	2,0	19	99,3	0	81	27	39,0
80	157	0,0035	5,3	2,2	18	99,4	0	83	27	38,7
81	157	0,0035	6,0	1,4	24	98,9	0	76	28	40,6
82	157	0,0035	6,0	1,6	21	99,2	0	79	28	39,7
83	157	0,0035	6,0	1,8	19	99,3	0	81	28	39,0
84	157	0,0035	6,0	2,0	17	99,4	0	83	28	38,4
85	157	0,0035	6,0	2,2	16	99,5	0	84	28	38,1
86	157	0,0035	6,7	1,4	22	99,1	0	78	28	40,0
87	157	0,0035	6,7	1,6	19	99,2	0	81	28	39,0
88	157	0,0035	6,7	1,8	17	99,4	0	83	28	38,4
89	157	0,0035	6,7	2,0	16	99,5	0	84	28	38,1
90	157	0,0035	6,7	2,2	15	99,6	0	86	28	37,8
91	157	0,0035	7,4	1,4	20	99,2	0	80	29	39,3
92	157	0,0035	7,4	1,6	18	99,3	0	82	29	38,7
93	157	0,0035	7,4	1,8	16	99,5	0	84	29	38,1
94	157	0,0035	7,4	2,0	15	99,6	0	86	29	37,8
95	157	0,0035	7,4	2,2	13	99,6	0	87	29	37,2
96	157	0,0035	8,0	1,4	19	99,2	0	81	29	39,0
97	157	0,0035	8,0	1,6	17	99,4	0	84	29	38,4
98	157	0,0035	8,0	1,8	15	99,5	0	85	29	37,8
99	157	0,0035	8,0	2,0	14	99,6	0	87	29	37,5
100	157	0,0035	8,0	2,2	13	99,7	0	88	29	37,2
101	157	0,0045	5,3	1,4	26	98,8	0	74	27	41,2
102	157	0,0045	5,3	1,6	23	99	0	77	27	40,3
103	157	0,0045	5,3	1,8	21	99,2	0	79	27	39,7
104	157	0,0045	5,3	2,0	19	99,3	0	81	27	39,0

N°	L (m)	S (m/m)	Tco (h)	Q (L/s)	AE (%)	DU% (%)	DP (%)	RO (%)	Dinf (mm)	OF (%)
105	157	0,0045	5,3	2,2	18	99,4	0	83	27	38,7
106	157	0,0045	6,0	1,4	24	98,9	0	76	28	40,6
107	157	0,0045	6,0	1,6	21	99,1	0	79	28	39,6
108	157	0,0045	6,0	1,8	19	99,2	0	81	28	39,0
109	157	0,0045	6,0	2,0	17	99,4	0	83	28	38,4
110	157	0,0045	6,0	2,2	16	99,5	0	84	28	38,1
111	157	0,0045	6,7	1,4	22	99	0	78	28	39,9
112	157	0,0045	6,7	1,6	19	99,2	0	81	28	39,0
113	157	0,0045	6,7	1,8	17	99,3	0	83	28	38,4
114	157	0,0045	6,7	2,0	16	99,5	0	84	28	38,1
115	157	0,0045	6,7	2,2	15	99,6	0	86	28	37,8
116	157	0,0045	7,4	1,4	20	99,1	0	80	29	39,3
117	157	0,0045	7,4	1,6	18	99,3	0	82	29	38,7
118	157	0,0045	7,4	1,8	16	99,4	0	84	29	38,1
119	157	0,0045	7,4	2,0	15	99,5	0	86	29	37,8
120	157	0,0045	7,4	2,2	13	99,6	0	87	29	37,2
121	157	0,0045	8,0	1,4	19	99,3	0	81	29	39,0
122	157	0,0045	8,0	1,6	17	99,4	0	84	29	38,4
123	157	0,0045	8,0	1,8	15	99,5	0	85	29	37,8
124	157	0,0045	8,0	2,0	14	99,6	0	87	29	37,5
125	157	0,0045	8,0	2,2	12	99,7	0	88	29	36,9
126	176	0,0005	5,3	1,4	30	98,9	0	70	28	42,5
127	176	0,0005	5,3	1,6	27	99,1	0	73	28	41,6
128	176	0,0005	5,3	1,8	24	99,3	0	76	28	40,7
129	176	0,0005	5,3	2,0	22	99,5	0	78	28	40,1
130	176	0,0005	5,3	2,2	20	99,4	0	80	28	39,4
131	176	0,0005	6,0	1,4	27	99,1	0	73	28	41,6
132	176	0,0005	6,0	1,6	24	99,3	0	76	29	40,7
133	176	0,0005	6,0	1,8	22	99,5	0	78	29	40,1
134	176	0,0005	6,0	2,0	20	99,5	0	80	29	39,4
135	176	0,0005	6,0	2,2	18	99,4	0	82	29	38,7
136	176	0,0005	6,7	1,4	25	99,2	0	75	29	41,0
137	176	0,0005	6,7	1,6	22	99,4	0	78	29	40,1
138	176	0,0005	6,7	1,8	20	99,6	0	80	29	39,5
139	176	0,0005	6,7	2,0	18	99,5	0	82	29	38,8
140	176	0,0005	6,7	2,2	17	99,4	0	83	29	38,4
141	176	0,0005	7,4	1,4	23	99,3	0	77	29	40,4
142	176	0,0005	7,4	1,6	21	99,5	0	80	29	39,8

N°	L (m)	S (m/m)	Tco (h)	Q (L/s)	AE (%)	DU% (%)	DP (%)	RO (%)	Dinf (mm)	OF (%)
143	176	0,0005	7,4	1,8	18	99,6	0	82	29	38,8
144	176	0,0005	7,4	2,0	17	99,5	0	83	29	38,4
145	176	0,0005	7,4	2,2	15	99,4	0	85	30	37,8
146	176	0,0005	8,0	1,4	21	99,4	0	79	30	39,7
147	176	0,0005	8,0	1,6	19	99,6	0	81	30	39,1
148	176	0,0005	8,0	1,8	17	99,6	0	83	30	38,5
149	176	0,0005	8,0	2,0	16	99,5	0	84	30	38,1
150	176	0,0005	8,0	2,2	14	99,4	0	86	30	37,4
151	176	0,0015	5,3	1,4	30	98,7	0	70	27	42,5
152	176	0,0015	5,3	1,6	26	99	0	74	27	41,3
153	176	0,0015	5,3	1,8	24	99,2	0	76	28	40,7
154	176	0,0015	5,3	2,0	22	99,4	0	78	28	40,1
155	176	0,0015	5,3	2,2	20	99,5	0	80	28	39,4
156	176	0,0015	6,0	1,4	27	98,9	0	73	28	41,5
157	176	0,0015	6,0	1,6	24	99,1	0	76	28	40,6
158	176	0,0015	6,0	1,8	22	99,3	0	79	28	40,0
159	176	0,0015	6,0	2,0	20	99,5	0	81	28	39,4
160	176	0,0015	6,0	2,2	18	99,6	0	82	28	38,8
161	176	0,0015	6,7	1,4	25	99,1	0	76	28	41,0
162	176	0,0015	6,7	1,6	22	99,3	0	78	28	40,0
163	176	0,0015	6,7	1,8	20	99,4	0	80	28	39,4
164	176	0,0015	6,7	2,0	18	99,6	0	82	29	38,8
165	176	0,0015	6,7	2,2	16	99,7	0	84	29	38,2
166	176	0,0015	7,4	1,4	23	99,2	0	78	29	40,3
167	176	0,0015	7,4	1,6	20	99,4	0	80	29	39,4
168	176	0,0015	7,4	1,8	18	99,5	0	82	29	38,8
169	176	0,0015	7,4	2,0	17	99,6	0	84	29	38,5
170	176	0,0015	7,4	2,2	15	99,7	0	85	29	37,9
171	176	0,0015	8,0	1,4	21	99,3	0	79	29	39,7
172	176	0,0015	8,0	1,6	19	99,4	0	81	29	39,1
173	176	0,0015	8,0	1,8	17	99,6	0	83	29	38,5
174	176	0,0015	8,0	2,0	15	99,7	0	85	29	37,9
175	176	0,0015	8,0	2,2	14	99,7	0	86	29	37,5
176	176	0,0025	5,3	1,4	30	98,6	0	71	27	42,4
177	176	0,0025	5,3	1,6	26	98,9	0	74	27	41,2
178	176	0,0025	5,3	1,8	24	99,1	0	76	27	40,6
179	176	0,0025	5,3	2,0	22	99,3	0	79	27	40,0

N°	L (m)	S (m/m)	Tco (h)	Q (L/s)	AE (%)	DU% (%)	DP (%)	RO (%)	Dinf (mm)	OF (%)
180	176	0,0025	5,3	2,2	20	99,4	0	80	27	39,4
181	176	0,0025	6,0	1,4	27	98,8	0	73	28	41,5
182	176	0,0025	6,0	1,6	24	99	0	76	28	40,6
183	176	0,0025	6,0	1,8	21	99,3	0	79	28	39,7
184	176	0,0025	6,0	2,0	20	99,4	0	81	28	39,4
185	176	0,0025	6,0	2,2	18	99,5	0	82	28	38,8
186	176	0,0025	6,7	1,4	24	98,9	0	76	28	40,6
187	176	0,0025	6,7	1,6	22	99,2	0	78	28	40,0
188	176	0,0025	6,7	1,8	20	99,3	0	80	28	39,4
189	176	0,0025	6,7	2,0	18	99,5	0	82	28	38,8
190	176	0,0025	6,7	2,2	16	99,6	0	84	28	38,1
191	176	0,0025	7,4	1,4	23	99,1	0	78	29	40,3
192	176	0,0025	7,4	1,6	20	99,3	0	80	29	39,4
193	176	0,0025	7,4	1,8	18	99,4	0	82	29	38,7
194	176	0,0025	7,4	2,0	16	99,5	0	84	29	38,1
195	176	0,0025	7,4	2,2	15	99,6	0	85	29	37,8
196	176	0,0025	8,0	1,4	21	99,2	0	79	29	39,7
197	176	0,0025	8,0	1,6	19	99,4	0	81	29	39,1
198	176	0,0025	8,0	1,8	17	99,5	0	83	29	38,4
199	176	0,0025	8,0	2,0	15	99,6	0	85	29	37,8
200	176	0,0025	8,0	2,2	14	99,7	0	86	29	37,5
201	176	0,0035	5,3	1,4	29	98,6	0	71	27	42,1
202	176	0,0035	5,3	1,6	26	98,8	0	74	27	41,2
203	176	0,0035	5,3	1,8	24	99	0	76	27	40,6
204	176	0,0035	5,3	2,0	22	99,2	0	79	27	40,0
205	176	0,0035	5,3	2,2	20	99,3	0	80	27	39,4
206	176	0,0035	6,0	1,4	27	98,7	0	73	28	41,5
207	176	0,0035	6,0	1,6	24	99	0	76	28	40,6
208	176	0,0035	6,0	1,8	21	99,2	0	79	28	39,7
209	176	0,0035	6,0	2,0	20	99,3	0	81	28	39,4
210	176	0,0035	6,0	2,2	18	99,5	0	82	28	38,8
211	176	0,0035	6,7	1,4	24	98,9	0	76	28	40,6
212	176	0,0035	6,7	1,6	22	99,1	0	78	28	40,0
213	176	0,0035	6,7	1,8	20	99,2	0	81	28	39,3
214	176	0,0035	6,7	2,0	18	99,4	0	82	28	38,7
215	176	0,0035	6,7	2,2	16	99,5	0	84	28	38,1
216	176	0,0035	7,4	1,4	23	99	0	78	29	40,3
217	176	0,0035	7,4	1,6	20	99,2	0	80	29	39,3

N°	L (m)	S (m/m)	Tco (h)	Q (L/s)	AE (%)	DU% (%)	DP (%)	RO (%)	Dinf (mm)	OF (%)
218	176	0,0035	7,4	1,8	18	99,3	0	82	29	38,7
219	176	0,0035	7,4	2,0	16	99,5	0	84	29	38,1
220	176	0,0035	7,4	2,2	15	99,5	0	85	29	37,8
221	176	0,0035	8,0	1,4	21	99,1	0	79	29	39,6
222	176	0,0035	8,0	1,6	19	99,3	0	81	29	39,0
223	176	0,0035	8,0	1,8	17	99,4	0	83	29	38,4
224	176	0,0035	8,0	2,0	15	99,5	0	85	29	37,8
225	176	0,0035	8,0	2,2	14	99,6	0	86	29	37,5
226	176	0,0045	5,3	1,4	29	98,5	0	71	27	42,1
227	176	0,0045	5,3	1,6	26	98,8	0	74	27	41,2
228	176	0,0045	5,3	1,8	24	99	0	76	27	40,6
229	176	0,0045	5,3	2,0	22	99,2	0	79	27	40,0
230	176	0,0045	5,3	2,2	20	99,3	0	80	27	39,4
231	176	0,0045	6,0	1,4	27	98,7	0	73	28	41,5
232	176	0,0045	6,0	1,6	24	98,9	0	76	28	40,6
233	176	0,0045	6,0	1,8	21	99,1	0	79	28	39,6
234	176	0,0045	6,0	2,0	20	99,3	0	81	28	39,4
235	176	0,0045	6,0	2,2	18	99,4	0	82	28	38,7
236	176	0,0045	6,7	1,4	24	98,9	0	76	28	40,6
237	176	0,0045	6,7	1,6	22	99,1	0	78	28	40,0
238	176	0,0045	6,7	1,8	20	99,2	0	81	28	39,3
239	176	0,0045	6,7	2,0	18	99,4	0	82	28	38,7
240	176	0,0045	6,7	2,2	16	99,5	0	84	28	38,1
241	176	0,0045	7,4	1,4	22	99	0	78	29	39,9
242	176	0,0045	7,4	1,6	20	99,2	0	80	29	39,3
243	176	0,0045	7,4	1,8	18	99,3	0	82	29	38,7
244	176	0,0045	7,4	2,0	16	99,4	0	84	29	38,1
245	176	0,0045	7,4	2,2	15	99,5	0	85	29	37,8
246	176	0,0045	8,0	1,4	21	99,1	0	79	29	39,6
247	176	0,0045	8,0	1,6	19	99,2	0	81	29	39,0
248	176	0,0045	8,0	1,8	17	99,4	0	83	29	38,4
249	176	0,0045	8,0	2,0	15	99,5	0	85	29	37,8
250	176	0,0045	8,0	2,2	14	99,6	0	86	29	37,5
251	196	0,0005	5,3	1,4	34	98,7	0	66	28	43,8
252	196	0,0005	5,3	1,6	30	99	0	70	28	42,6
253	196	0,0005	5,3	1,8	27	99,2	0	73	28	41,6
254	196	0,0005	5,3	2,0	25	99,4	0	75	28	41,1

N°	L (m)	S (m/m)	Tco (h)	Q (L/s)	AE (%)	DU% (%)	DP (%)	RO (%)	Dinf (mm)	OF (%)
255	196	0,0005	5,3	2,2	23	99,4	0	77	28	40,4
256	196	0,0005	6,0	1,4	30	98,9	0	70	28	42,5
257	196	0,0005	6,0	1,6	27	99,1	0	73	29	41,6
258	196	0,0005	6,0	1,8	25	99,4	0	76	29	41,1
259	196	0,0005	6,0	2,0	22	99,5	0	78	29	40,1
260	196	0,0005	6,0	2,2	20	99,4	0	80	29	39,4
261	196	0,0005	6,7	1,4	28	99	0	72	29	41,9
262	196	0,0005	6,7	1,6	25	99,3	0	75	29	41,0
263	196	0,0005	6,7	1,8	22	99,5	0	78	29	40,1
264	196	0,0005	6,7	2,0	20	99,5	0	80	29	39,4
265	196	0,0005	6,7	2,2	19	99,4	0	81	29	39,1
266	196	0,0005	7,4	1,4	26	99,2	0	75	29	41,3
267	196	0,0005	7,4	1,6	23	99,4	0	77	29	40,4
268	196	0,0005	7,4	1,8	21	99,5	0	80	29	39,8
269	196	0,0005	7,4	2,0	19	99,5	0	81	29	39,1
270	196	0,0005	7,4	2,2	17	99,4	0	83	30	38,4
271	196	0,0005	8,0	1,4	24	99,3	0	76	30	40,7
272	196	0,0005	8,0	1,6	21	99,5	0	79	30	39,8
273	196	0,0005	8,0	1,8	19	99,6	0	81	30	39,1
274	196	0,0005	8,0	2,0	17	99,5	0	83	30	38,4
275	196	0,0005	8,0	2,2	16	99,4	0	84	30	38,1
276	196	0,0015	5,3	1,4	33	98,5	0	67	27	43,4
277	196	0,0015	5,3	1,6	29	98,8	0	71	27	42,2
278	196	0,0015	5,3	1,8	26	99,1	0	74	27	41,3
279	196	0,0015	5,3	2,0	24	99,3	0	76	28	40,7
280	196	0,0015	5,3	2,2	22	99,4	0	78	28	40,1
281	196	0,0015	6,0	1,4	30	98,7	0	70	28	42,5
282	196	0,0015	6,0	1,6	27	99	0	74	28	41,6
283	196	0,0015	6,0	1,8	24	99,2	0	76	28	40,7
284	196	0,0015	6,0	2,0	22	99,4	0	78	28	40,1
285	196	0,0015	6,0	2,2	20	99,5	0	80	28	39,4
286	196	0,0015	6,7	1,4	27	98,9	0	73	28	41,5
287	196	0,0015	6,7	1,6	24	99,1	0	76	28	40,6
288	196	0,0015	6,7	1,8	22	99,3	0	78	28	40,0
289	196	0,0015	6,7	2,0	20	99,5	0	80	29	39,4
290	196	0,0015	6,7	2,2	18	99,6	0	82	29	38,8
291	196	0,0015	7,4	1,4	25	99	0	75	29	40,9
292	196	0,0015	7,4	1,6	22	99,2	0	78	29	40,0

N°	L (m)	S (m/m)	Tco (h)	Q (L/s)	AE (%)	DU% (%)	DP (%)	RO (%)	Dinf (mm)	OF (%)
293	196	0,0015	7,4	1,8	20	99,4	0	80	29	39,4
294	196	0,0015	7,4	2,0	18	99,5	0	82	29	38,8
295	196	0,0015	7,4	2,2	17	99,6	0	83	29	38,5
296	196	0,0015	8,0	1,4	23	99,1	0	77	29	40,3
297	196	0,0015	8,0	1,6	21	99,3	0	79	29	39,7
298	196	0,0015	8,0	1,8	19	99,5	0	81	29	39,1
299	196	0,0015	8,0	2,0	17	99,6	0	83	29	38,5
300	196	0,0015	8,0	2,2	16	99,7	0	84	29	38,2
301	196	0,0025	5,3	1,4	33	98,4	0	67	27	43,4
302	196	0,0025	5,3	1,6	29	98,7	0	71	27	42,1
303	196	0,0025	5,3	1,8	26	98,9	0	74	27	41,2
304	196	0,0025	5,3	2,0	24	99,1	0	76	27	40,6
305	196	0,0025	5,3	2,2	22	99,3	0	78	27	40,0
306	196	0,0025	6,0	1,4	30	98,6	0	70	28	42,4
307	196	0,0025	6,0	1,6	26	98,9	0	74	28	41,2
308	196	0,0025	6,0	1,8	24	99,1	0	76	28	40,6
309	196	0,0025	6,0	2,0	22	99,3	0	78	28	40,0
310	196	0,0025	6,0	2,2	20	99,4	0	80	28	39,4
311	196	0,0025	6,7	1,4	27	98,8	0	73	28	41,5
312	196	0,0025	6,7	1,6	24	99	0	76	28	40,6
313	196	0,0025	6,7	1,8	22	99,2	0	78	28	40,0
314	196	0,0025	6,7	2,0	20	99,4	0	80	28	39,4
315	196	0,0025	6,7	2,2	18	99,5	0	82	28	38,8
316	196	0,0025	7,4	1,4	25	98,9	0	75	29	40,9
317	196	0,0025	7,4	1,6	22	99,1	0	78	29	40,0
318	196	0,0025	7,4	1,8	20	99,3	0	80	29	39,4
319	196	0,0025	7,4	2,0	18	99,4	0	82	29	38,7
320	196	0,0025	7,4	2,2	17	99,6	0	83	29	38,5
321	196	0,0025	8,0	1,4	23	99	0	77	29	40,3
322	196	0,0025	8,0	1,6	21	99,2	0	79	29	39,7
323	196	0,0025	8,0	1,8	19	99,4	0	81	29	39,1
324	196	0,0025	8,0	2,0	17	99,5	0	83	29	38,4
325	196	0,0025	8,0	2,2	16	99,6	0	85	29	38,1
326	196	0,0035	5,3	1,4	33	98,3	0	67	27	43,3
327	196	0,0035	5,3	1,6	29	98,6	0	71	27	42,1
328	196	0,0035	5,3	1,8	26	98,9	0	74	27	41,2
329	196	0,0035	5,3	2,0	24	99,1	0	76	27	40,6

N°	L (m)	S (m/m)	Tco (h)	Q (L/s)	AE (%)	DU% (%)	DP (%)	RO (%)	Dinf (mm)	OF (%)
330	196	0,0035	5,3	2,2	22	99,2	0	78	27	40,0
331	196	0,0035	6,0	1,4	30	98,5	0	70	28	42,4
332	196	0,0035	6,0	1,6	26	98,8	0	74	28	41,2
333	196	0,0035	6,0	1,8	24	99	0	76	28	40,6
334	196	0,0035	6,0	2,0	22	99,2	0	78	28	40,0
335	196	0,0035	6,0	2,2	20	99,3	0	80	28	39,4
336	196	0,0035	6,7	1,4	27	98,7	0	73	28	41,5
337	196	0,0035	6,7	1,6	24	99	0	76	28	40,6
338	196	0,0035	6,7	1,8	22	99,2	0	78	28	40,0
339	196	0,0035	6,7	2,0	20	99,3	0	80	28	39,4
340	196	0,0035	6,7	2,2	18	99,4	0	82	28	38,7
341	196	0,0035	7,4	1,4	25	98,8	0	75	29	40,9
342	196	0,0035	7,4	1,6	22	99,1	0	78	29	40,0
343	196	0,0035	7,4	1,8	20	99,3	0	80	29	39,4
344	196	0,0035	7,4	2,0	18	99,4	0	82	29	38,7
345	196	0,0035	7,4	2,2	17	99,5	0	83	29	38,4
346	196	0,0035	8,0	1,4	23	99	0	77	29	40,3
347	196	0,0035	8,0	1,6	21	99,2	0	79	29	39,7
348	196	0,0035	8,0	1,8	19	99,3	0	81	29	39,0
349	196	0,0035	8,0	2,0	17	99,5	0	83	29	38,4
350	196	0,0035	8,0	2,2	16	99,6	0	85	29	38,1
351	196	0,0045	5,3	1,4	33	98,2	0	67	27	43,3
352	196	0,0045	5,3	1,6	29	98,5	0	71	27	42,1
353	196	0,0045	5,3	1,8	26	98,8	0	74	27	41,2
354	196	0,0045	5,3	2,0	24	99	0	76	27	40,6
355	196	0,0045	5,3	2,2	22	99,2	0	78	27	40,0
356	196	0,0045	6,0	1,4	30	98,5	0	71	28	42,4
357	196	0,0045	6,0	1,6	26	98,8	0	74	28	41,2
358	196	0,0045	6,0	1,8	24	99	0	76	28	40,6
359	196	0,0045	6,0	2,0	22	99,1	0	79	28	40,0
360	196	0,0045	6,0	2,2	20	99,3	0	80	28	39,4
361	196	0,0045	6,7	1,4	27	98,7	0	73	28	41,5
362	196	0,0045	6,7	1,6	24	98,9	0	76	28	40,6
363	196	0,0045	6,7	1,8	22	99,1	0	78	28	40,0
364	196	0,0045	6,7	2,0	20	99,3	0	80	28	39,4
365	196	0,0045	6,7	2,2	18	99,4	0	82	28	38,7
366	196	0,0045	7,4	1,4	25	98,8	0	75	29	40,9
367	196	0,0045	7,4	1,6	22	99	0	78	29	39,9

N°	L (m)	S (m/m)	Tco (h)	Q (L/s)	AE (%)	DU% (%)	DP (%)	RO (%)	Dinf (mm)	OF (%)
368	196	0,0045	7,4	1,8	20	99,2	0	80	29	39,3
369	196	0,0045	7,4	2,0	18	99,4	0	82	29	38,7
370	196	0,0045	7,4	2,2	17	99,5	0	83	29	38,4
371	196	0,0045	8,0	1,4	23	98,9	0	77	29	40,2
372	196	0,0045	8,0	1,6	21	99,1	0	79	29	39,6
373	196	0,0045	8,0	1,8	19	99,2	0	81	29	39,0
374	196	0,0045	8,0	2,0	17	99,4	0	83	29	38,4
375	196	0,0045	8,0	2,2	16	99,5	0	85	29	38,1
376	215	0,0005	5,3	1,4	37	98,4	0	63	28	44,7
377	215	0,0005	5,3	1,6	33	98,8	0	67	28	43,5
378	215	0,0005	5,3	1,8	30	99,1	0	70	28	42,6
379	215	0,0005	5,3	2,0	27	99,3	0	73	28	41,7
380	215	0,0005	5,3	2,2	25	99,5	0	75	28	41,1
381	215	0,0005	6,0	1,4	34	98,7	0	67	28	43,8
382	215	0,0005	6,0	1,6	30	99	0	70	29	42,6
383	215	0,0005	6,0	1,8	27	99,3	0	73	29	41,7
384	215	0,0005	6,0	2,0	25	99,5	0	76	29	41,1
385	215	0,0005	6,0	2,2	23	99,4	0	78	29	40,4
386	215	0,0005	6,7	1,4	31	98,9	0	70	29	42,9
387	215	0,0005	6,7	1,6	27	99,2	0	73	29	41,6
388	215	0,0005	6,7	1,8	25	99,4	0	76	29	41,1
389	215	0,0005	6,7	2,0	22	99,5	0	78	29	40,1
390	215	0,0005	6,7	2,2	21	99,4	0	80	29	39,7
391	215	0,0005	7,4	1,4	28	99	0	72	29	41,9
392	215	0,0005	7,4	1,6	25	99,3	0	75	29	41,0
393	215	0,0005	7,4	1,8	23	99,5	0	78	29	40,4
394	215	0,0005	7,4	2,0	21	99,5	0	80	29	39,8
395	215	0,0005	7,4	2,2	19	99,4	0	81	30	39,1
396	215	0,0005	8,0	1,4	26	99,2	0	74	30	41,3
397	215	0,0005	8,0	1,6	23	99,4	0	77	30	40,4
398	215	0,0005	8,0	1,8	21	99,6	0	79	30	39,8
399	215	0,0005	8,0	2,0	19	99,5	0	81	30	39,1
400	215	0,0005	8,0	2,2	18	99,4	0	83	30	38,7
401	215	0,0015	5,3	1,4	36	98,2	0	64	27	44,3
402	215	0,0015	5,3	1,6	32	98,6	0	68	27	43,1
403	215	0,0015	5,3	1,8	29	98,9	0	71	27	42,2
404	215	0,0015	5,3	2,0	27	99,1	0	74	28	41,6

N°	L (m)	S (m/m)	Tco (h)	Q (L/s)	AE (%)	DU% (%)	DP (%)	RO (%)	Dinf (mm)	OF (%)
405	215	0,0015	5,3	2,2	24	99,3	0	76	28	40,7
406	215	0,0015	6,0	1,4	33	98,5	0	67	28	43,4
407	215	0,0015	6,0	1,6	29	98,8	0	71	28	42,2
408	215	0,0015	6,0	1,8	26	99,1	0	74	28	41,3
409	215	0,0015	6,0	2,0	24	99,3	0	76	28	40,7
410	215	0,0015	6,0	2,2	22	99,4	0	78	28	40,1
411	215	0,0015	6,7	1,4	30	98,7	0	70	28	42,5
412	215	0,0015	6,7	1,6	27	99	0	73	28	41,6
413	215	0,0015	6,7	1,8	24	99,2	0	76	28	40,7
414	215	0,0015	6,7	2,0	22	99,4	0	78	28	40,1
415	215	0,0015	6,7	2,2	20	99,5	0	80	29	39,4
416	215	0,0015	7,4	1,4	28	98,8	0	73	29	41,8
417	215	0,0015	7,4	1,6	25	99,1	0	76	29	41,0
418	215	0,0015	7,4	1,8	22	99,3	0	78	29	40,0
419	215	0,0015	7,4	2,0	20	99,4	0	80	29	39,4
420	215	0,0015	7,4	2,2	19	99,6	0	82	29	39,1
421	215	0,0015	8,0	1,4	26	98,9	0	74	29	41,2
422	215	0,0015	8,0	1,6	23	99,2	0	77	29	40,3
423	215	0,0015	8,0	1,8	21	99,4	0	79	29	39,7
424	215	0,0015	8,0	2,0	19	99,5	0	81	29	39,1
425	215	0,0015	8,0	2,2	17	99,6	0	83	29	38,5
426	215	0,0025	5,3	1,4	36	98,1	0	64	27	44,3
427	215	0,0025	5,3	1,6	32	98,5	0	68	27	43,1
428	215	0,0025	5,3	1,8	29	98,8	0	71	27	42,2
429	215	0,0025	5,3	2,0	26	99	0	74	27	41,3
430	215	0,0025	5,3	2,2	24	99,2	0	76	27	40,7
431	215	0,0025	6,0	1,4	33	98,3	0	68	28	43,3
432	215	0,0025	6,0	1,6	29	98,7	0	71	28	42,1
433	215	0,0025	6,0	1,8	26	98,9	0	74	28	41,2
434	215	0,0025	6,0	2,0	24	99,1	0	76	28	40,6
435	215	0,0025	6,0	2,2	22	99,3	0	78	28	40,0
436	215	0,0025	6,7	1,4	30	98,6	0	70	28	42,4
437	215	0,0025	6,7	1,6	27	98,9	0	74	28	41,5
438	215	0,0025	6,7	1,8	24	99,1	0	76	28	40,6
439	215	0,0025	6,7	2,0	22	99,3	0	78	28	40,0
440	215	0,0025	6,7	2,2	20	99,4	0	80	28	39,4
441	215	0,0025	7,4	1,4	28	98,7	0	73	29	41,8
442	215	0,0025	7,4	1,6	25	99	0	76	29	40,9

N°	L (m)	S (m/m)	Tco (h)	Q (L/s)	AE (%)	DU% (%)	DP (%)	RO (%)	Dinf (mm)	OF (%)
443	215	0,0025	7,4	1,8	22	99,2	0	78	29	40,0
444	215	0,0025	7,4	2,0	20	99,4	0	80	29	39,4
445	215	0,0025	7,4	2,2	18	99,5	0	82	29	38,8
446	215	0,0025	8,0	1,4	26	98,9	0	74	29	41,2
447	215	0,0025	8,0	1,6	23	99,1	0	77	29	40,3
448	215	0,0025	8,0	1,8	21	99,3	0	80	29	39,7
449	215	0,0025	8,0	2,0	19	99,4	0	81	29	39,1
450	215	0,0025	8,0	2,2	17	99,5	0	83	29	38,4
451	215	0,0035	5,3	1,4	36	98	0	64	27	44,2
452	215	0,0035	5,3	1,6	32	98,4	0	68	27	43,0
453	215	0,0035	5,3	1,8	29	98,7	0	71	27	42,1
454	215	0,0035	5,3	2,0	26	98,9	0	74	27	41,2
455	215	0,0035	5,3	2,2	24	99,1	0	76	27	40,6
456	215	0,0035	6,0	1,4	33	98,3	0	68	28	43,3
457	215	0,0035	6,0	1,6	29	98,6	0	71	28	42,1
458	215	0,0035	6,0	1,8	26	98,9	0	74	28	41,2
459	215	0,0035	6,0	2,0	24	99,1	0	76	28	40,6
460	215	0,0035	6,0	2,2	22	99,2	0	78	28	40,0
461	215	0,0035	6,7	1,4	30	98,5	0	70	28	42,4
462	215	0,0035	6,7	1,6	27	98,8	0	74	28	41,5
463	215	0,0035	6,7	1,8	24	99	0	76	28	40,6
464	215	0,0035	6,7	2,0	22	99,2	0	78	28	40,0
465	215	0,0035	6,7	2,2	20	99,3	0	80	28	39,4
466	215	0,0035	7,4	1,4	27	98,7	0	73	29	41,5
467	215	0,0035	7,4	1,6	24	98,9	0	76	29	40,6
468	215	0,0035	7,4	1,8	22	99,1	0	78	29	40,0
469	215	0,0035	7,4	2,0	20	99,3	0	80	29	39,4
470	215	0,0035	7,4	2,2	18	99,4	0	82	29	38,7
471	215	0,0035	8,0	1,4	26	98,8	0	74	29	41,2
472	215	0,0035	8,0	1,6	23	99	0	77	29	40,3
473	215	0,0035	8,0	1,8	21	99,2	0	80	29	39,7
474	215	0,0035	8,0	2,0	19	99,4	0	81	29	39,1
475	215	0,0035	8,0	2,2	17	99,5	0	83	29	38,4
476	215	0,0045	5,3	1,4	36	97,9	0	64	27	44,2
477	215	0,0045	5,3	1,6	32	98,3	0	68	27	43,0
478	215	0,0045	5,3	1,8	29	98,6	0	71	27	42,1
479	215	0,0045	5,3	2,0	26	98,8	0	74	27	41,2

N°	L (m)	S (m/m)	Tco (h)	Q (L/s)	AE (%)	DU% (%)	DP (%)	RO (%)	Dinf (mm)	OF (%)
480	215	0,0045	5,3	2,2	24	99	0	76	27	40,6
481	215	0,0045	6,0	1,4	33	98,2	0	68	28	43,3
482	215	0,0045	6,0	1,6	29	98,5	0	71	28	42,1
483	215	0,0045	6,0	1,8	26	98,8	0	74	28	41,2
484	215	0,0045	6,0	2,0	24	99	0	76	28	40,6
485	215	0,0045	6,0	2,2	22	99,2	0	78	28	40,0
486	215	0,0045	6,7	1,4	30	98,4	0	70	28	42,4
487	215	0,0045	6,7	1,6	27	98,7	0	74	28	41,5
488	215	0,0045	6,7	1,8	24	99	0	76	28	40,6
489	215	0,0045	6,7	2,0	22	99,1	0	78	28	40,0
490	215	0,0045	6,7	2,2	20	99,3	0	80	28	39,4
491	215	0,0045	7,4	1,4	27	98,6	0	73	29	41,4
492	215	0,0045	7,4	1,6	24	98,9	0	76	29	40,6
493	215	0,0045	7,4	1,8	22	99,1	0	78	29	40,0
494	215	0,0045	7,4	2,0	20	99,2	0	80	29	39,3
495	215	0,0045	7,4	2,2	18	99,4	0	82	29	38,7
496	215	0,0045	8,0	1,4	26	98,8	0	75	29	41,2
497	215	0,0045	8,0	1,6	23	99	0	77	29	40,3
498	215	0,0045	8,0	1,8	21	99,2	0	80	29	39,7
499	215	0,0045	8,0	2,0	19	99,3	0	81	29	39,0
500	215	0,0045	8,0	2,2	17	99,4	0	83	29	38,4
501	235	0,0005	5,3	1,4	40	98,3	0	60	28	45,6
502	235	0,0005	5,3	1,6	36	98,6	0	64	28	44,4
503	235	0,0005	5,3	1,8	33	99	0	68	28	43,6
504	235	0,0005	5,3	2,0	30	99,2	0	70	28	42,6
505	235	0,0005	5,3	2,2	27	99,4	0	73	28	41,7
506	235	0,0005	6,0	1,4	37	98,5	0	64	28	44,7
507	235	0,0005	6,0	1,6	33	98,9	0	68	29	43,5
508	235	0,0005	6,0	1,8	29	99,1	0	71	29	42,3
509	235	0,0005	6,0	2,0	27	99,3	0	73	29	41,7
510	235	0,0005	6,0	2,2	25	99,4	0	76	29	41,1
511	235	0,0005	6,7	1,4	33	98,8	0	67	29	43,5
512	235	0,0005	6,7	1,6	30	99,1	0	70	29	42,6
513	235	0,0005	6,7	1,8	27	99,3	0	73	29	41,7
514	235	0,0005	6,7	2,0	24	99,5	0	76	29	40,8
515	235	0,0005	6,7	2,2	22	99,4	0	78	29	40,1
516	235	0,0005	7,4	1,4	31	98,9	0	69	29	42,9
517	235	0,0005	7,4	1,6	27	99,2	0	73	29	41,6

N°	L (m)	S (m/m)	Tco (h)	Q (L/s)	AE (%)	DU% (%)	DP (%)	RO (%)	Dinf (mm)	OF (%)
518	235	0,0005	7,4	1,8	25	99,4	0	76	29	41,1
519	235	0,0005	7,4	2,0	22	99,5	0	78	30	40,1
520	235	0,0005	7,4	2,2	21	99,4	0	80	30	39,7
521	235	0,0005	8,0	1,4	29	99	0	72	30	42,2
522	235	0,0005	8,0	1,6	25	99,3	0	75	30	41,0
523	235	0,0005	8,0	1,8	23	99,5	0	77	30	40,4
524	235	0,0005	8,0	2,0	21	99,5	0	79	30	39,8
525	235	0,0005	8,0	2,2	19	99,4	0	81	30	39,1
526	235	0,0015	5,3	1,4	39	97,9	0	61	27	45,2
527	235	0,0015	5,3	1,6	35	98,4	0	65	27	44,0
528	235	0,0015	5,3	1,8	32	98,7	0	68	27	43,1
529	235	0,0015	5,3	2,0	29	98,9	0	71	27	42,2
530	235	0,0015	5,3	2,2	27	99,1	0	74	28	41,6
531	235	0,0015	6,0	1,4	36	98,2	0	64	28	44,3
532	235	0,0015	6,0	1,6	32	98,6	0	68	28	43,1
533	235	0,0015	6,0	1,8	29	98,9	0	71	28	42,2
534	235	0,0015	6,0	2,0	26	99,1	0	74	28	41,3
535	235	0,0015	6,0	2,2	24	99,3	0	76	28	40,7
536	235	0,0015	6,7	1,4	33	98,5	0	67	28	43,4
537	235	0,0015	6,7	1,6	29	98,8	0	71	28	42,2
538	235	0,0015	6,7	1,8	26	99,1	0	74	28	41,3
539	235	0,0015	6,7	2,0	24	99,2	0	76	28	40,7
540	235	0,0015	6,7	2,2	22	99,4	0	78	29	40,1
541	235	0,0015	7,4	1,4	30	98,6	0	70	29	42,4
542	235	0,0015	7,4	1,6	27	98,9	0	73	29	41,5
543	235	0,0015	7,4	1,8	24	99,2	0	76	29	40,7
544	235	0,0015	7,4	2,0	22	99,4	0	78	29	40,1
545	235	0,0015	7,4	2,2	20	99,5	0	80	29	39,4
546	235	0,0015	8,0	1,4	28	98,8	0	72	29	41,8
547	235	0,0015	8,0	1,6	25	99	0	75	29	40,9
548	235	0,0015	8,0	1,8	23	99,3	0	78	29	40,4
549	235	0,0015	8,0	2,0	21	99,4	0	80	29	39,7
550	235	0,0015	8,0	2,2	19	99,5	0	81	29	39,1
551	235	0,0025	5,3	1,4	39	97,8	0	61	27	45,1
552	235	0,0025	5,3	1,6	35	98,2	0	65	27	44,0
553	235	0,0025	5,3	1,8	32	98,6	0	69	27	43,1
554	235	0,0025	5,3	2,0	29	98,8	0	71	27	42,2

N°	L (m)	S (m/m)	Tco (h)	Q (L/s)	AE (%)	DU% (%)	DP (%)	RO (%)	Dinf (mm)	OF (%)
555	235	0,0025	5,3	2,2	26	99	0	74	27	41,3
556	235	0,0025	6,0	1,4	36	98,1	0	65	28	44,3
557	235	0,0025	6,0	1,6	32	98,5	0	68	28	43,1
558	235	0,0025	6,0	1,8	29	98,8	0	72	28	42,2
559	235	0,0025	6,0	2,0	26	99	0	74	28	41,3
560	235	0,0025	6,0	2,2	24	99,2	0	76	28	40,7
561	235	0,0025	6,7	1,4	33	98,4	0	68	28	43,4
562	235	0,0025	6,7	1,6	29	98,7	0	71	28	42,1
563	235	0,0025	6,7	1,8	26	98,9	0	74	28	41,2
564	235	0,0025	6,7	2,0	24	99,1	0	76	28	40,6
565	235	0,0025	6,7	2,2	22	99,3	0	78	28	40,0
566	235	0,0025	7,4	1,4	30	98,5	0	70	29	42,4
567	235	0,0025	7,4	1,6	27	98,8	0	73	29	41,5
568	235	0,0025	7,4	1,8	24	99	0	76	29	40,6
569	235	0,0025	7,4	2,0	22	99,2	0	78	29	40,0
570	235	0,0025	7,4	2,2	20	99,4	0	80	29	39,4
571	235	0,0025	8,0	1,4	28	98,7	0	72	29	41,8
572	235	0,0025	8,0	1,6	25	99	0	75	29	40,9
573	235	0,0025	8,0	1,8	22	99,2	0	78	29	40,0
574	235	0,0025	8,0	2,0	20	99,3	0	80	29	39,4
575	235	0,0025	8,0	2,2	19	99,5	0	81	29	39,1
576	235	0,0035	5,3	1,4	39	97,7	0	61	27	45,1
577	235	0,0035	5,3	1,6	35	98,1	0	65	27	43,9
578	235	0,0035	5,3	1,8	31	98,5	0	69	27	42,7
579	235	0,0035	5,3	2,0	29	98,7	0	71	27	42,1
580	235	0,0035	5,3	2,2	26	98,9	0	74	27	41,2
581	235	0,0035	6,0	1,4	35	98	0	65	28	43,9
582	235	0,0035	6,0	1,6	32	98,4	0	69	28	43,0
583	235	0,0035	6,0	1,8	29	98,7	0	72	28	42,1
584	235	0,0035	6,0	2,0	26	98,9	0	74	28	41,2
585	235	0,0035	6,0	2,2	24	99,1	0	76	28	40,6
586	235	0,0035	6,7	1,4	32	98,3	0	68	28	43,0
587	235	0,0035	6,7	1,6	29	98,6	0	71	28	42,1
588	235	0,0035	6,7	1,8	26	98,9	0	74	28	41,2
589	235	0,0035	6,7	2,0	24	99	0	76	28	40,6
590	235	0,0035	6,7	2,2	22	99,2	0	78	28	40,0
591	235	0,0035	7,4	1,4	30	98,5	0	70	29	42,4
592	235	0,0035	7,4	1,6	27	98,8	0	73	29	41,5

N°	L (m)	S (m/m)	Tco (h)	Q (L/s)	AE (%)	DU% (%)	DP (%)	RO (%)	Dinf (mm)	OF (%)
593	235	0,0035	7,4	1,8	24	99	0	76	29	40,6
594	235	0,0035	7,4	2,0	22	99,2	0	78	29	40,0
595	235	0,0035	7,4	2,2	20	99,3	0	80	29	39,4
596	235	0,0035	8,0	1,4	28	98,6	0	72	29	41,8
597	235	0,0035	8,0	1,6	25	98,9	0	75	29	40,9
598	235	0,0035	8,0	1,8	22	99,1	0	78	29	40,0
599	235	0,0035	8,0	2,0	20	99,3	0	80	29	39,4
600	235	0,0035	8,0	2,2	19	99,4	0	81	29	39,1
601	235	0,0045	5,3	1,4	39	97,6	0	61	27	45,1
602	235	0,0045	5,3	1,6	35	98,1	0	65	27	43,9
603	235	0,0045	5,3	1,8	31	98,4	0	69	27	42,7
604	235	0,0045	5,3	2,0	29	98,7	0	72	27	42,1
605	235	0,0045	5,3	2,2	26	98,9	0	74	27	41,2
606	235	0,0045	6,0	1,4	35	98	0	65	28	43,9
607	235	0,0045	6,0	1,6	32	98,4	0	69	28	43,0
608	235	0,0045	6,0	1,8	28	98,6	0	72	28	41,8
609	235	0,0045	6,0	2,0	26	98,9	0	74	28	41,2
610	235	0,0045	6,0	2,2	24	99	0	76	28	40,6
611	235	0,0045	6,7	1,4	32	98,2	0	68	28	43,0
612	235	0,0045	6,7	1,6	29	98,5	0	71	28	42,1
613	235	0,0045	6,7	1,8	26	98,8	0	74	28	41,2
614	235	0,0045	6,7	2,0	24	99	0	76	28	40,6
615	235	0,0045	6,7	2,2	22	99,1	0	78	28	40,0
616	235	0,0045	7,4	1,4	30	98,4	0	70	29	42,4
617	235	0,0045	7,4	1,6	27	98,7	0	74	29	41,5
618	235	0,0045	7,4	1,8	24	98,9	0	76	29	40,6
619	235	0,0045	7,4	2,0	22	99,1	0	78	29	40,0
620	235	0,0045	7,4	2,2	20	99,3	0	80	29	39,4
621	235	0,0045	8,0	1,4	28	98,6	0	72	29	41,8
622	235	0,0045	8,0	1,6	25	98,8	0	75	29	40,9
623	235	0,0045	8,0	1,8	22	99	0	78	29	39,9
624	235	0,0045	8,0	2,0	20	99,2	0	80	29	39,3
625	235	0,0045	8,0	2,2	19	99,3	0	81	29	39,0

Tabla 21. Resultados de las simulaciones de optimización, parcela S17.

N°	L (m)	S (m/m)	Tco (h)	Q (L/s)	AE%	Dumin	DP%	RO%	Dinf (mm)	OF%
1	162	0,001	2,2	1,5	66	88,3	20	14	35	44
2	162	0,001	2,2	1,7	58	92	19	24	35	43
3	162	0,001	2,2	1,9	52	93,9	17	31	36	43
4	162	0,001	2,2	2,1	47	95,3	16	36	36	42
5	162	0,001	2,2	2,5	40	96,7	14	46	36	40
6	162	0,001	2,4	1,5	59	90,9	20	21	36	43
7	162	0,001	2,4	1,7	52	93,2	18	30	36	42
8	162	0,001	2,4	1,9	46	95,1	17	37	37	41
9	162	0,001	2,4	2,1	42	95,9	16	42	37	40
10	162	0,001	2,4	2,5	35	97,7	14	51	37	39
11	162	0,001	2,7	1,5	53	92,2	20	27	37	41
12	162	0,001	2,7	1,7	46	94,5	18	36	37	40
13	162	0,001	2,7	1,9	42	95,8	17	42	37	40
14	162	0,001	2,7	2,1	38	96,4	16	47	38	39
15	162	0,001	2,7	2,5	32	97,7	13	55	38	39
16	162	0,001	3,0	1,5	48	93,4	20	32	38	40
17	162	0,001	3,0	1,7	42	95,1	18	40	38	39
18	162	0,001	3,0	1,9	38	96,1	16	46	38	39
19	162	0,001	3,0	2,1	35	96,8	15	50	38	39
20	162	0,001	3,0	2,5	29	98	13	58	39	38
21	162	0,001	3,9	1,5	37	95,9	18	45	39	38
22	162	0,001	3,9	1,7	32	96,7	16	52	39	37
23	162	0,001	3,9	1,9	29	97,3	15	56	40	37
24	162	0,001	3,9	2,1	26	98,1	14	60	40	36
25	162	0,001	3,9	2,5	22	98,7	12	66	40	36
26	162	0,002	2,2	1,5	66	88,1	18	16	34	45
27	162	0,002	2,2	1,7	58	91,2	17	25	34	44
28	162	0,002	2,2	1,9	52	93,4	16	32	35	43
29	162	0,002	2,2	2,1	47	94,8	15	38	35	42
30	162	0,002	2,2	2,5	40	96,4	13	47	35	41
31	162	0,002	2,4	1,5	59	90,2	19	23	35	43
32	162	0,002	2,4	1,7	52	92,8	17	31	35	42
33	162	0,002	2,4	1,9	46	94,6	16	38	36	41
34	162	0,002	2,4	2,1	42	95,8	15	43	36	41
35	162	0,002	2,4	2,5	35	97,1	13	52	36	39

N°	L (m)	S (m/m)	Tco (h)	Q (L/s)	AE%	Dumin	DP%	RO%	Dinf (mm)	OF%
36	162	0,002	2,7	1,5	53	91,9	19	28	36	42
37	162	0,002	2,7	1,7	46	94,1	17	37	36	41
38	162	0,002	2,7	1,9	42	95,3	16	43	37	40
39	162	0,002	2,7	2,1	38	96,4	15	47	37	39
40	162	0,002	2,7	2,5	32	97,6	13	56	37	38
41	162	0,002	3,0	1,5	48	93	19	33	37	40
42	162	0,002	3,0	1,7	42	94,7	17	41	37	40
43	162	0,002	3,0	1,9	38	96,1	16	47	37	39
44	162	0,002	3,0	2,1	35	96,7	14	51	38	39
45	162	0,002	3,0	2,5	29	97,7	12	59	38	38
46	162	0,002	3,9	1,5	37	95,4	18	46	38	38
47	162	0,002	3,9	1,7	32	96,7	16	52	39	37
48	162	0,002	3,9	1,9	29	97,1	14	57	39	37
49	162	0,002	3,9	2,1	26	97,8	13	61	39	37
50	162	0,002	3,9	2,5	22	98,4	11	67	39	36
51	162	0,003	2,2	1,5	66	87,3	18	17	34	45
52	162	0,003	2,2	1,7	58	91	17	26	34	44
53	162	0,003	2,2	1,9	52	93	16	32	34	43
54	162	0,003	2,2	2,1	47	94,3	15	38	35	42
55	162	0,003	2,2	2,5	40	96,5	13	48	35	41
56	162	0,003	2,4	1,5	59	90,1	18	23	35	43
57	162	0,003	2,4	1,7	52	92,6	17	32	35	42
58	162	0,003	2,4	1,9	46	94,3	16	38	35	41
59	162	0,003	2,4	2,1	42	95,5	15	43	36	40
60	162	0,003	2,4	2,5	35	96,9	13	52	36	39
61	162	0,003	2,7	1,5	53	91,9	18	29	36	42
62	162	0,003	2,7	1,7	46	94	17	37	36	41
63	162	0,003	2,7	1,9	42	95,1	16	43	36	40
64	162	0,003	2,7	2,1	38	96	14	48	36	40
65	162	0,003	2,7	2,5	32	97,5	12	56	37	39
66	162	0,003	3,0	1,5	48	92,8	18	34	37	41
67	162	0,003	3,0	1,7	42	94,8	17	41	37	40
68	162	0,003	3,0	1,9	38	95,8	15	47	37	39
69	162	0,003	3,0	2,1	35	96,5	14	51	37	39
70	162	0,003	3,0	2,5	29	97,7	12	59	38	38
71	162	0,003	3,9	1,5	37	95,3	17	46	38	38

N°	L (m)	S (m/m)	Tco (h)	Q (L/s)	AE%	Dumin	DP%	RO%	Dinf (mm)	OF%
72	162	0,003	3,9	1,7	32	96,3	16	52	38	37
73	162	0,003	3,9	1,9	29	97	14	57	39	37
74	162	0,003	3,9	2,1	26	97,7	13	61	39	37
75	162	0,003	3,9	2,5	22	98,5	11	67	39	36
76	162	0,004	2,2	1,5	66	87,2	17	17	33	45
77	162	0,004	2,2	1,7	58	90,9	16	26	34	44
78	162	0,004	2,2	1,9	52	92,7	15	33	34	43
79	162	0,004	2,2	2,1	47	94,2	14	38	34	42
80	162	0,004	2,2	2,5	40	96,1	13	48	35	41
81	162	0,004	2,4	1,5	59	89,6	18	24	35	43
82	162	0,004	2,4	1,7	52	92,7	17	32	35	42
83	162	0,004	2,4	1,9	46	93,9	15	38	35	41
84	162	0,004	2,4	2,1	42	95,1	14	44	35	41
85	162	0,004	2,4	2,5	35	96,8	13	52	36	39
86	162	0,004	2,7	1,5	53	91,7	18	29	36	42
87	162	0,004	2,7	1,7	46	93,6	17	37	36	40
88	162	0,004	2,7	1,9	42	95,1	15	43	36	40
89	162	0,004	2,7	2,1	38	96,1	14	48	36	40
90	162	0,004	2,7	2,5	32	97,3	12	56	37	39
91	162	0,004	3,0	1,5	48	92,7	18	34	36	40
92	162	0,004	3,0	1,7	42	94,7	16	42	37	40
93	162	0,004	3,0	1,9	38	95,8	15	47	37	39
94	162	0,004	3,0	2,1	35	96,3	14	52	37	39
95	162	0,004	3,0	2,5	29	97,4	12	59	37	38
96	162	0,004	3,9	1,5	37	95,3	17	46	38	38
97	162	0,004	3,9	1,7	32	96,4	15	53	38	37
98	162	0,004	3,9	1,9	29	97	14	57	38	37
99	162	0,004	3,9	2,1	26	97,6	13	61	39	36
100	162	0,004	3,9	2,5	22	98,4	11	67	39	36
101	162	0,005	2,2	1,5	66	87,7	17	17	33	45
102	162	0,005	2,2	1,7	58	91,3	16	26	34	44
103	162	0,005	2,2	1,9	52	93,3	15	33	34	43
104	162	0,005	2,2	2,1	47	94,7	14	38	34	42
105	162	0,005	2,2	2,5	40	96,5	13	48	35	41
106	162	0,005	2,4	1,5	59	90,3	18	24	35	43
107	162	0,005	2,4	1,7	52	92,9	17	32	35	42

N°	L (m)	S (m/m)	Tco (h)	Q (L/s)	AE%	Dumin	DP%	RO%	Dinf (mm)	OF%
108	162	0,005	2,4	1,9	46	94,5	15	38	35	41
109	162	0,005	2,4	2,1	42	95,6	14	44	35	41
110	162	0,005	2,4	2,5	35	97,1	13	52	36	39
111	162	0,005	2,7	1,5	53	92	18	29	35	42
112	162	0,005	2,7	1,7	46	94,1	17	37	36	41
113	162	0,005	2,7	1,9	42	95,3	15	43	36	40
114	162	0,005	2,7	2,1	38	96,3	14	48	36	40
115	162	0,005	2,7	2,5	32	97,6	12	56	37	39
116	162	0,005	3,0	1,5	48	93,2	18	34	36	41
117	162	0,005	3,0	1,7	42	94,9	16	42	37	40
118	162	0,005	3,0	1,9	38	96	15	47	37	39
119	162	0,005	3,0	2,1	35	96,8	14	52	37	39
120	162	0,005	3,0	2,5	29	97,9	12	59	37	38
121	162	0,005	3,9	1,5	37	95,5	17	46	38	38
122	162	0,005	3,9	1,7	32	96,6	15	53	38	37
123	162	0,005	3,9	1,9	29	97,3	14	57	38	37
124	162	0,005	3,9	2,1	26	97,9	13	61	38	37
125	162	0,005	3,9	2,5	22	98,7	11	67	39	36
126	189	0,001	2,2	1,5	77	79,4	21	2	34	45
127	189	0,001	2,2	1,7	68	87,8	20	12	35	45
128	189	0,001	2,2	1,9	61	91	20	20	35	44
129	189	0,001	2,2	2,1	55	92,9	18	26	36	43
130	189	0,001	2,2	2,5	46	95,5	16	37	36	41
131	189	0,001	2,4	1,5	69	86,2	22	10	35	44
132	189	0,001	2,4	1,7	60	90,5	21	19	36	43
133	189	0,001	2,4	1,9	54	92,9	19	27	36	42
134	189	0,001	2,4	2,1	49	94,3	18	33	37	41
135	189	0,001	2,4	2,5	41	96,8	16	43	37	40
136	189	0,001	2,7	1,5	62	88,7	22	16	36	42
137	189	0,001	2,7	1,7	54	92,3	21	25	37	41
138	189	0,001	2,7	1,9	49	94,2	19	32	37	41
139	189	0,001	2,7	2,1	44	95,4	18	38	37	40
140	189	0,001	2,7	2,5	37	96,8	16	48	38	39
141	189	0,001	3,0	1,5	56	90,9	22	22	37	41
142	189	0,001	3,0	1,7	49	93,1	20	31	38	40
143	189	0,001	3,0	1,9	44	94,8	19	37	38	40

N°	L (m)	S (m/m)	Tco (h)	Q (L/s)	AE%	Dumin	DP%	RO%	Dinf (mm)	OF%
144	189	0,001	3,0	2,1	40	96,1	17	42	38	39
145	189	0,001	3,0	2,5	34	97,2	15	51	39	38
146	189	0,001	3,9	1,5	43	94,3	21	37	39	38
147	189	0,001	3,9	1,7	37	96	19	44	39	38
148	189	0,001	3,9	1,9	34	96,4	17	49	39	37
149	189	0,001	3,9	2,1	31	97,1	16	54	40	37
150	189	0,001	3,9	2,5	26	98,2	14	61	40	36
151	189	0,002	2,2	1,5	77	79,8	19	4	33	45
152	189	0,002	2,2	1,7	68	86,9	19	14	34	45
153	189	0,002	2,2	1,9	61	90,3	18	21	34	44
154	189	0,002	2,2	2,1	55	92,7	17	28	35	43
155	189	0,002	2,2	2,5	46	95,2	15	39	35	42
156	189	0,002	2,4	1,5	69	85,3	20	11	35	44
157	189	0,002	2,4	1,7	60	89,8	19	21	35	43
158	189	0,002	2,4	1,9	54	92,5	18	28	36	42
159	189	0,002	2,4	2,1	49	93,9	17	34	36	42
160	189	0,002	2,4	2,5	41	96	15	44	36	40
161	189	0,002	2,7	1,5	62	88,1	21	18	36	43
162	189	0,002	2,7	1,7	54	91,6	19	27	36	42
163	189	0,002	2,7	1,9	49	93,7	18	33	36	41
164	189	0,002	2,7	2,1	44	94,7	17	39	37	40
165	189	0,002	2,7	2,5	37	96,6	15	48	37	39
166	189	0,002	3,0	1,5	56	90,1	21	23	37	41
167	189	0,002	3,0	1,7	49	92,8	19	32	37	41
168	189	0,002	3,0	1,9	44	94,3	18	38	37	40
169	189	0,002	3,0	2,1	40	95,4	17	43	37	39
170	189	0,002	3,0	2,5	34	97,2	14	52	38	39
171	189	0,002	3,9	1,5	43	93,7	20	37	38	39
172	189	0,002	3,9	1,7	37	95,2	18	45	38	38
173	189	0,002	3,9	1,9	34	96,2	17	50	39	37
174	189	0,002	3,9	2,1	31	97	15	54	39	37
175	189	0,002	3,9	2,5	26	97,9	13	61	39	37
176	189	0,003	2,2	1,5	77	78,9	18	5	33	46
177	189	0,003	2,2	1,7	68	86,6	18	14	34	45
178	189	0,003	2,2	1,9	61	90,3	17	22	34	44
179	189	0,003	2,2	2,1	55	92,3	17	28	34	43

N°	L (m)	S (m/m)	Tco (h)	Q (L/s)	AE%	Dumin	DP%	RO%	Dinf (mm)	OF%
180	189	0,003	2,2	2,5	46	94,7	15	39	35	41
181	189	0,003	2,4	1,5	69	84,7	20	12	34	44
182	189	0,003	2,4	1,7	60	89,8	19	21	35	43
183	189	0,003	2,4	1,9	54	91,9	18	28	35	42
184	189	0,003	2,4	2,1	49	93,4	17	34	35	41
185	189	0,003	2,4	2,5	41	95,7	15	44	36	40
186	189	0,003	2,7	1,5	62	88	20	18	35	43
187	189	0,003	2,7	1,7	54	91,4	19	27	36	42
188	189	0,003	2,7	1,9	49	93,1	18	34	36	41
189	189	0,003	2,7	2,1	44	94,6	16	39	36	40
190	189	0,003	2,7	2,5	37	96,3	14	49	37	39
191	189	0,003	3,0	1,5	56	90,1	20	24	36	42
192	189	0,003	3,0	1,7	49	92,6	19	32	37	40
193	189	0,003	3,0	1,9	44	94,1	17	38	37	40
194	189	0,003	3,0	2,1	40	95,2	16	44	37	39
195	189	0,003	3,0	2,5	34	96,8	14	53	38	39
196	189	0,003	3,9	1,5	43	93,5	20	38	38	38
197	189	0,003	3,9	1,7	37	95,2	18	45	38	38
198	189	0,003	3,9	1,9	34	96	16	50	38	38
199	189	0,003	3,9	2,1	31	97	15	54	39	37
200	189	0,003	3,9	2,5	26	97,7	13	62	39	37
201	189	0,004	2,2	1,5	77	78,7	18	5	33	45
202	189	0,004	2,2	1,7	68	86,6	18	15	33	45
203	189	0,004	2,2	1,9	61	89,9	17	22	34	44
204	189	0,004	2,2	2,1	55	92,1	16	29	34	43
205	189	0,004	2,2	2,5	46	94,5	14	39	35	42
206	189	0,004	2,4	1,5	69	84,6	19	12	34	44
207	189	0,004	2,4	1,7	60	89,2	18	22	35	43
208	189	0,004	2,4	1,9	54	91,6	17	29	35	42
209	189	0,004	2,4	2,1	49	93,2	16	35	35	42
210	189	0,004	2,4	2,5	41	95,5	14	45	36	40
211	189	0,004	2,7	1,5	62	87,7	20	19	35	43
212	189	0,004	2,7	1,7	54	91,4	19	28	36	42
213	189	0,004	2,7	1,9	49	93,3	17	34	36	41
214	189	0,004	2,7	2,1	44	94,2	16	40	36	40
215	189	0,004	2,7	2,5	37	96	14	49	37	39

N°	L (m)	S (m/m)	Tco (h)	Q (L/s)	AE%	Dumin	DP%	RO%	Dinf (mm)	OF%
216	189	0,004	3,0	1,5	56	89,7	20	24	36	41
217	189	0,004	3,0	1,7	49	92,7	19	32	36	40
218	189	0,004	3,0	1,9	44	94	17	39	37	40
219	189	0,004	3,0	2,1	40	95,3	16	44	37	39
220	189	0,004	3,0	2,5	34	96,7	14	53	37	39
221	189	0,004	3,9	1,5	43	93,6	20	38	38	38
222	189	0,004	3,9	1,7	37	95	18	45	38	38
223	189	0,004	3,9	1,9	34	96,1	16	50	38	38
224	189	0,004	3,9	2,1	31	96,8	15	55	38	37
225	189	0,004	3,9	2,5	26	97,8	13	62	39	37
226	189	0,005	2,2	1,5	77	78,7	18	5	33	45
227	189	0,005	2,2	1,7	68	86,8	18	15	33	45
228	189	0,005	2,2	1,9	61	90,2	17	22	34	44
229	189	0,005	2,2	2,1	55	92,3	16	29	34	43
230	189	0,005	2,2	2,5	46	95	14	40	35	42
231	189	0,005	2,4	1,5	69	85	19	12	34	45
232	189	0,005	2,4	1,7	60	89,7	18	22	35	43
233	189	0,005	2,4	1,9	54	92,1	17	29	35	43
234	189	0,005	2,4	2,1	49	93,7	16	35	35	42
235	189	0,005	2,4	2,5	41	95,9	14	45	36	41
236	189	0,005	2,7	1,5	62	88,1	20	19	35	43
237	189	0,005	2,7	1,7	54	91,6	19	27	35	42
238	189	0,005	2,7	1,9	49	93,4	17	34	36	41
239	189	0,005	2,7	2,1	44	94,7	16	40	36	40
240	189	0,005	2,7	2,5	37	96,5	14	49	37	39
241	189	0,005	3,0	1,5	56	90,2	20	24	36	42
242	189	0,005	3,0	1,7	49	92,8	19	32	36	41
243	189	0,005	3,0	1,9	44	94,4	17	39	37	40
244	189	0,005	3,0	2,1	40	95,5	16	44	37	39
245	189	0,005	3,0	2,5	34	97	14	53	37	39
246	189	0,005	3,9	1,5	43	93,8	20	38	38	39
247	189	0,005	3,9	1,7	37	95,3	18	45	38	38
248	189	0,005	3,9	1,9	34	96,3	16	50	38	38
249	189	0,005	3,9	2,1	31	97	15	55	38	37
250	189	0,005	3,9	2,5	26	98	13	62	39	37
251	216	0,001	2,2	1,5	80	0	21	0	32	19

N°	L (m)	S (m/m)	Tco (h)	Q (L/s)	AE%	Dumin	DP%	RO%	Dinf (mm)	OF%
252	216	0,001	2,2	1,7	77	77,8	21	2	34	44
253	216	0,001	2,2	1,9	70	87,1	21	10	35	45
254	216	0,001	2,2	2,1	63	90,2	20	17	35	44
255	216	0,001	2,2	2,5	53	94,3	18	29	36	43
256	216	0,001	2,4	1,5	78	0	22	0	35	18
257	216	0,001	2,4	1,7	69	86,3	22	9	36	44
258	216	0,001	2,4	1,9	62	90,1	21	17	36	43
259	216	0,001	2,4	2,1	56	92,6	20	24	36	42
260	216	0,001	2,4	2,5	47	95	18	35	37	41
261	216	0,001	2,7	1,5	71	83,3	24	6	36	43
262	216	0,001	2,7	1,7	62	89	23	16	37	42
263	216	0,001	2,7	1,9	56	91,8	21	23	37	42
264	216	0,001	2,7	2,1	51	93,5	20	30	37	41
265	216	0,001	2,7	2,5	42	95,7	18	40	38	40
266	216	0,001	3,0	1,5	64	86,8	24	12	37	42
267	216	0,001	3,0	1,7	56	90,9	22	21	37	41
268	216	0,001	3,0	1,9	51	92,9	21	29	38	41
269	216	0,001	3,0	2,1	46	94,9	20	35	38	40
270	216	0,001	3,0	2,5	38	97	17	45	39	39
271	216	0,001	3,9	1,5	49	92,2	23	28	39	39
272	216	0,001	3,9	1,7	43	94,6	21	36	39	38
273	216	0,001	3,9	1,9	39	95,5	20	42	39	38
274	216	0,001	3,9	2,1	35	96,5	18	47	40	37
275	216	0,001	3,9	2,5	29	97,8	15	55	40	37
276	216	0,002	2,2	1,5	81	0	19	0	32	20
277	216	0,002	2,2	1,7	77	79,4	19	4	33	45
278	216	0,002	2,2	1,9	70	86,2	19	11	34	45
279	216	0,002	2,2	2,1	63	89,5	19	18	34	44
280	216	0,002	2,2	2,5	53	93,6	17	30	35	43
281	216	0,002	2,4	1,5	78	73,4	21	1	34	43
282	216	0,002	2,4	1,7	69	85,3	21	11	35	44
283	216	0,002	2,4	1,9	62	89,2	20	19	35	43
284	216	0,002	2,4	2,1	56	91,6	19	25	36	42
285	216	0,002	2,4	2,5	47	94,7	17	36	36	41
286	216	0,002	2,7	1,5	71	82,7	22	8	35	43
287	216	0,002	2,7	1,7	62	88,3	21	17	36	43

N°	L (m)	S (m/m)	Tco (h)	Q (L/s)	AE%	Dumin	DP%	RO%	Dinf (mm)	OF%
288	216	0,002	2,7	1,9	56	91,2	20	25	36	42
289	216	0,002	2,7	2,1	51	93	19	31	36	41
290	216	0,002	2,7	2,5	42	95,7	16	41	37	40
291	216	0,002	3,0	1,5	64	86	23	13	36	42
292	216	0,002	3,0	1,7	56	90,3	21	23	37	41
293	216	0,002	3,0	1,9	51	92,7	20	30	37	41
294	216	0,002	3,0	2,1	46	94	19	36	37	40
295	216	0,002	3,0	2,5	38	96,1	16	46	38	39
296	216	0,002	3,9	1,5	49	92	22	29	38	39
297	216	0,002	3,9	1,7	43	93,8	20	37	38	39
298	216	0,002	3,9	1,9	39	95,3	19	43	39	38
299	216	0,002	3,9	2,1	35	95,9	17	48	39	38
300	216	0,002	3,9	2,5	29	97,4	15	56	39	37
301	216	0,003	2,2	1,5	82	0	18	0	32	21
302	216	0,003	2,2	1,7	77	79,2	18	4	33	46
303	216	0,003	2,2	1,9	70	85,5	18	12	34	45
304	216	0,003	2,2	2,1	63	89,6	18	19	34	44
305	216	0,003	2,2	2,5	53	93	16	31	35	43
306	216	0,003	2,4	1,5	78	74,5	20	2	34	44
307	216	0,003	2,4	1,7	69	84,9	20	11	34	44
308	216	0,003	2,4	1,9	62	88,9	19	19	35	44
309	216	0,003	2,4	2,1	56	91,2	18	26	35	43
310	216	0,003	2,4	2,5	47	94,4	16	37	36	41
311	216	0,003	2,7	1,5	71	82,1	21	8	35	44
312	216	0,003	2,7	1,7	62	88	20	18	35	43
313	216	0,003	2,7	1,9	56	91,1	19	25	36	42
314	216	0,003	2,7	2,1	51	92,6	18	31	36	41
315	216	0,003	2,7	2,5	42	95,2	16	42	37	40
316	216	0,003	3,0	1,5	64	85,9	22	14	36	42
317	216	0,003	3,0	1,7	56	90	21	23	36	41
318	216	0,003	3,0	1,9	51	92,2	19	30	37	41
319	216	0,003	3,0	2,1	46	93,7	18	36	37	40
320	216	0,003	3,0	2,5	38	95,7	16	46	38	39
321	216	0,003	3,9	1,5	49	91,7	22	29	38	39
322	216	0,003	3,9	1,7	43	93,6	20	37	38	38
323	216	0,003	3,9	1,9	39	94,9	18	43	38	38

N°	L (m)	S (m/m)	Tco (h)	Q (L/s)	AE%	Dumin	DP%	RO%	Dinf (mm)	OF%
324	216	0,003	3,9	2,1	35	95,8	17	48	38	38
325	216	0,003	3,9	2,5	29	97,2	15	56	39	37
326	216	0,004	2,2	1,5	83	0	18	0	32	21
327	216	0,004	2,2	1,7	77	78,8	18	5	33	45
328	216	0,004	2,2	1,9	70	85,4	18	12	33	45
329	216	0,004	2,2	2,1	63	88,9	18	19	34	44
330	216	0,004	2,2	2,5	53	92,8	16	31	35	43
331	216	0,004	2,4	1,5	78	74,6	19	2	34	44
332	216	0,004	2,4	1,7	69	84,6	19	12	34	44
333	216	0,004	2,4	1,9	62	88,8	19	20	35	43
334	216	0,004	2,4	2,1	56	91	18	26	35	43
335	216	0,004	2,4	2,5	47	94,3	16	37	36	41
336	216	0,004	2,7	1,5	71	81,7	21	9	35	43
337	216	0,004	2,7	1,7	62	87,8	20	18	35	43
338	216	0,004	2,7	1,9	56	90,9	19	25	36	42
339	216	0,004	2,7	2,1	51	92,6	18	32	36	41
340	216	0,004	2,7	2,5	42	95	16	42	37	40
341	216	0,004	3,0	1,5	64	85,7	22	14	36	42
342	216	0,004	3,0	1,7	56	90,1	20	24	36	42
343	216	0,004	3,0	1,9	51	92,3	19	30	36	41
344	216	0,004	3,0	2,1	46	93,5	18	36	37	40
345	216	0,004	3,0	2,5	38	95,5	16	46	37	39
346	216	0,004	3,9	1,5	49	91,3	22	30	37	39
347	216	0,004	3,9	1,7	43	93,8	20	37	38	39
348	216	0,004	3,9	1,9	39	94,9	18	43	38	38
349	216	0,004	3,9	2,1	35	95,7	17	48	38	38
350	216	0,004	3,9	2,5	29	97	15	56	39	37
351	216	0,005	2,2	1,5	82	0	18	0	32	21
352	216	0,005	2,2	1,7	77	79	18	5	33	46
353	216	0,005	2,2	1,9	70	85,9	18	13	33	46
354	216	0,005	2,2	2,1	63	89,5	18	19	34	44
355	216	0,005	2,2	2,5	53	93,4	16	31	35	43
356	216	0,005	2,4	1,5	78	74,3	20	2	33	44
357	216	0,005	2,4	1,7	69	85,3	20	12	34	44
358	216	0,005	2,4	1,9	62	89,2	19	19	35	44
359	216	0,005	2,4	2,1	56	91,6	18	26	35	43

N°	L (m)	S (m/m)	Tco (h)	Q (L/s)	AE%	Dumin	DP%	RO%	Dinf (mm)	OF%
360	216	0,005	2,4	2,5	47	94,6	16	37	36	41
361	216	0,005	2,7	1,5	71	82,1	21	9	35	44
362	216	0,005	2,7	1,7	62	88,4	20	18	35	43
363	216	0,005	2,7	1,9	56	91,2	19	25	35	42
364	216	0,005	2,7	2,1	51	93,1	18	32	36	42
365	216	0,005	2,7	2,5	42	95,5	16	42	36	40
366	216	0,005	3,0	1,5	64	86,2	22	14	36	42
367	216	0,005	3,0	1,7	56	90,4	20	24	36	42
368	216	0,005	3,0	1,9	51	92,6	19	30	36	41
369	216	0,005	3,0	2,1	46	94,1	18	36	37	40
370	216	0,005	3,0	2,5	38	96,1	16	46	37	39
371	216	0,005	3,9	1,5	49	91,9	22	30	37	39
372	216	0,005	3,9	1,7	43	94	20	37	38	39
373	216	0,005	3,9	1,9	39	95,2	18	43	38	38
374	216	0,005	3,9	2,1	35	96,1	17	48	38	38
375	216	0,005	3,9	2,5	29	97,5	15	56	39	37
376	243	0,001	2,2	1,5	79	0	21	0	28	19
377	243	0,001	2,2	1,7	79	0	21	0	32	19
378	243	0,001	2,2	1,9	78	68,3	22	0	34	41
379	243	0,001	2,2	2,1	71	86,5	22	8	35	45
380	243	0,001	2,2	2,5	60	92,7	20	21	36	44
381	243	0,001	2,4	1,5	78	0	23	0	32	18
382	243	0,001	2,4	1,7	77	59	23	0	35	37
383	243	0,001	2,4	1,9	70	85,7	23	8	36	44
384	243	0,001	2,4	2,1	63	89,5	22	15	36	43
385	243	0,001	2,4	2,5	53	93,5	20	27	37	42
386	243	0,001	2,7	1,5	76	0	24	0	35	17
387	243	0,001	2,7	1,7	70	84,7	24	7	36	43
388	243	0,001	2,7	1,9	63	88,9	23	15	37	43
389	243	0,001	2,7	2,1	57	92,1	22	21	37	42
390	243	0,001	2,7	2,5	48	94,5	19	33	38	41
391	243	0,001	3,0	1,5	72	79,9	25	3	36	42
392	243	0,001	3,0	1,7	63	87,6	24	13	37	42
393	243	0,001	3,0	1,9	57	90,8	23	20	38	41
394	243	0,001	3,0	2,1	52	93,3	22	27	38	41
395	243	0,001	3,0	2,5	43	95,6	19	38	39	39

N°	L (m)	S (m/m)	Tco (h)	Q (L/s)	AE%	Dumin	DP%	RO%	Dinf (mm)	OF%
396	243	0,001	3,9	1,5	55	89,7	25	20	38	40
397	243	0,001	3,9	1,7	48	93,1	23	29	39	39
398	243	0,001	3,9	1,9	43	94,6	22	35	39	38
399	243	0,001	3,9	2,1	39	95,4	20	41	39	38
400	243	0,001	3,9	2,5	33	97	17	50	40	37
401	243	0,002	2,2	1,5	81	0	19	0	28	20
402	243	0,002	2,2	1,7	81	0	19	0	32	20
403	243	0,002	2,2	1,9	78	77,8	20	2	34	45
404	243	0,002	2,2	2,1	71	85,3	20	9	34	45
405	243	0,002	2,2	2,5	60	91,3	18	22	35	44
406	243	0,002	2,4	1,5	80	0	21	0	32	19
407	243	0,002	2,4	1,7	77	76	21	2	34	44
408	243	0,002	2,4	1,9	70	85,1	21	10	35	44
409	243	0,002	2,4	2,1	63	88,8	20	17	35	43
410	243	0,002	2,4	2,5	53	93,1	18	29	36	42
411	243	0,002	2,7	1,5	78	0	22	0	35	18
412	243	0,002	2,7	1,7	70	83,5	22	8	35	43
413	243	0,002	2,7	1,9	63	88,2	21	16	36	43
414	243	0,002	2,7	2,1	57	90,8	20	23	36	42
415	243	0,002	2,7	2,5	48	94,2	18	34	37	41
416	243	0,002	3,0	1,5	72	79,4	24	5	36	42
417	243	0,002	3,0	1,7	63	86,8	23	14	36	42
418	243	0,002	3,0	1,9	57	90,2	22	22	37	41
419	243	0,002	3,0	2,1	52	92,2	20	28	37	41
420	243	0,002	3,0	2,5	43	95	18	39	38	40
421	243	0,002	3,9	1,5	55	89	24	21	38	40
422	243	0,002	3,9	1,7	48	92,1	22	30	38	39
423	243	0,002	3,9	1,9	43	93,9	21	36	38	38
424	243	0,002	3,9	2,1	39	94,9	19	41	39	38
425	243	0,002	3,9	2,5	33	96,9	17	51	39	37
426	243	0,003	2,2	1,5	82	0	18	0	28	21
427	243	0,003	2,2	1,7	82	0	19	0	32	21
428	243	0,003	2,2	1,9	78	77,9	19	3	33	45
429	243	0,003	2,2	2,1	71	84,6	19	10	34	45
430	243	0,003	2,2	2,5	60	91,1	18	23	35	44
431	243	0,003	2,4	1,5	80	0	20	0	32	20

N°	L (m)	S (m/m)	Tco (h)	Q (L/s)	AE%	Dumin	DP%	RO%	Dinf (mm)	OF%
432	243	0,003	2,4	1,7	77	76,5	20	3	34	44
433	243	0,003	2,4	1,9	70	84,6	20	10	34	44
434	243	0,003	2,4	2,1	63	88,4	20	17	35	43
435	243	0,003	2,4	2,5	53	92,7	18	29	36	42
436	243	0,003	2,7	1,5	79	0	22	0	34	19
437	243	0,003	2,7	1,7	70	83,1	22	9	35	43
438	243	0,003	2,7	1,9	63	87,8	21	17	35	43
439	243	0,003	2,7	2,1	57	90,7	20	23	36	42
440	243	0,003	2,7	2,5	48	93,9	18	35	37	41
441	243	0,003	3,0	1,5	72	78,9	23	5	35	42
442	243	0,003	3,0	1,7	63	86,6	22	15	36	42
443	243	0,003	3,0	1,9	57	89,8	21	22	36	42
444	243	0,003	3,0	2,1	52	91,9	20	29	37	41
445	243	0,003	3,0	2,5	43	94,7	17	39	37	40
446	243	0,003	3,9	1,5	55	88,7	24	21	37	40
447	243	0,003	3,9	1,7	48	91,8	22	30	38	39
448	243	0,003	3,9	1,9	43	93,5	20	36	38	38
449	243	0,003	3,9	2,1	39	94,8	19	42	38	38
450	243	0,003	3,9	2,5	33	96,3	16	51	39	37
451	243	0,004	2,2	1,5	82	0	18	0	28	21
452	243	0,004	2,2	1,7	82	0	18	0	32	21
453	243	0,004	2,2	1,9	78	78,1	18	4	33	46
454	243	0,004	2,2	2,1	71	84,5	19	11	33	45
455	243	0,004	2,2	2,5	60	90,6	17	23	34	44
456	243	0,004	2,4	1,5	81	0	20	0	32	20
457	243	0,004	2,4	1,7	77	76,1	20	3	34	44
458	243	0,004	2,4	1,9	70	84	20	11	34	44
459	243	0,004	2,4	2,1	63	88,1	19	18	35	44
460	243	0,004	2,4	2,5	53	92,3	18	30	36	42
461	243	0,004	2,7	1,5	79	59,5	21	0	34	39
462	243	0,004	2,7	1,7	70	82,8	21	9	35	43
463	243	0,004	2,7	1,9	63	87,7	20	17	35	43
464	243	0,004	2,7	2,1	57	90,2	20	24	36	42
465	243	0,004	2,7	2,5	48	93,9	17	35	36	41
466	243	0,004	3,0	1,5	72	78,6	23	6	35	42
467	243	0,004	3,0	1,7	63	86,2	22	15	36	42

N°	L (m)	S (m/m)	Tco (h)	Q (L/s)	AE%	Dumin	DP%	RO%	Dinf (mm)	OF%
468	243	0,004	3,0	1,9	57	89,7	21	23	36	41
469	243	0,004	3,0	2,1	52	91,6	20	29	37	41
470	243	0,004	3,0	2,5	43	94,5	17	40	37	40
471	243	0,004	3,9	1,5	55	88,9	24	22	37	40
472	243	0,004	3,9	1,7	48	91,9	22	30	38	39
473	243	0,004	3,9	1,9	43	93,5	20	37	38	38
474	243	0,004	3,9	2,1	39	94,5	19	42	38	38
475	243	0,004	3,9	2,5	33	96,3	16	51	39	37
476	243	0,005	2,2	1,5	82	0	18	0	28	21
477	243	0,005	2,2	1,7	82	0	18	0	32	21
478	243	0,005	2,2	1,9	78	77,9	18	3	33	46
479	243	0,005	2,2	2,1	71	84,8	18	11	33	45
480	243	0,005	2,2	2,5	60	91,2	17	23	34	44
481	243	0,005	2,4	1,5	80	0	20	0	32	20
482	243	0,005	2,4	1,7	77	75,7	20	3	34	44
483	243	0,005	2,4	1,9	70	84,4	20	11	34	44
484	243	0,005	2,4	2,1	63	88,7	19	18	35	44
485	243	0,005	2,4	2,5	53	93	18	30	35	42
486	243	0,005	2,7	1,5	79	0	21	0	34	19
487	243	0,005	2,7	1,7	70	83,2	21	9	35	44
488	243	0,005	2,7	1,9	63	88,1	21	17	35	43
489	243	0,005	2,7	2,1	57	90,8	20	24	36	42
490	243	0,005	2,7	2,5	48	94,1	17	35	36	41
491	243	0,005	3,0	1,5	72	78,6	22	5	35	42
492	243	0,005	3,0	1,7	63	86,9	22	15	36	42
493	243	0,005	3,0	1,9	57	90,2	21	22	36	42
494	243	0,005	3,0	2,1	52	92,3	20	29	36	41
495	243	0,005	3,0	2,5	43	95	17	40	37	40
496	243	0,005	3,9	1,5	55	89,3	24	22	37	40
497	243	0,005	3,9	1,7	48	92,3	22	30	37	39
498	243	0,005	3,9	1,9	43	93,9	20	37	38	39
499	243	0,005	3,9	2,1	39	95,1	19	42	38	38
500	243	0,005	3,9	2,5	33	96,8	16	51	39	38
501	270	0,001	2,2	1,5	80	0	21	0	26	19
502	270	0,001	2,2	1,7	79	0	21	0	29	19
503	270	0,001	2,2	1,9	78	0	22	0	32	18

N°	L (m)	S (m/m)	Tco (h)	Q (L/s)	AE%	Dumin	DP%	RO%	Dinf (mm)	OF%
504	270	0,001	2,2	2,1	78	0	22	0	35	18
505	270	0,001	2,2	2,5	66	89,6	22	13	36	44
506	270	0,001	2,4	1,5	78	0	23	0	29	18
507	270	0,001	2,4	1,7	77	0	23	0	33	18
508	270	0,001	2,4	1,9	77	0	23	0	35	18
509	270	0,001	2,4	2,1	70	85,9	23	7	36	44
510	270	0,001	2,4	2,5	59	92	21	20	37	43
511	270	0,001	2,7	1,5	76	0	24	0	32	17
512	270	0,001	2,7	1,7	76	0	24	0	36	17
513	270	0,001	2,7	1,9	70	84,7	24	6	36	43
514	270	0,001	2,7	2,1	63	88,7	24	13	37	42
515	270	0,001	2,7	2,5	53	93,7	21	26	38	41
516	270	0,001	3,0	1,5	75	0	25	0	35	17
517	270	0,001	3,0	1,7	70	82,5	26	5	37	42
518	270	0,001	3,0	1,9	63	87,6	25	12	37	41
519	270	0,001	3,0	2,1	58	90,9	23	19	38	42
520	270	0,001	3,0	2,5	48	94,2	21	31	39	40
521	270	0,001	3,9	1,5	61	86,3	27	12	38	40
522	270	0,001	3,9	1,7	54	90,6	25	21	38	39
523	270	0,001	3,9	1,9	48	93,2	24	28	39	39
524	270	0,001	3,9	2,1	44	94,3	22	34	39	38
525	270	0,001	3,9	2,5	37	96,3	19	44	40	38
526	270	0,002	2,2	1,5	81	0	19	0	25	20
527	270	0,002	2,2	1,7	81	0	19	0	29	20
528	270	0,002	2,2	1,9	81	0	20	0	32	20
529	270	0,002	2,2	2,1	79	74,9	20	1	34	44
530	270	0,002	2,2	2,5	66	89	20	15	35	45
531	270	0,002	2,4	1,5	80	0	21	0	29	19
532	270	0,002	2,4	1,7	79	0	21	0	33	19
533	270	0,002	2,4	1,9	78	73,2	21	1	34	43
534	270	0,002	2,4	2,1	70	84,6	21	9	35	44
535	270	0,002	2,4	2,5	59	90,9	20	22	36	43
536	270	0,002	2,7	1,5	78	0	22	0	32	18
537	270	0,002	2,7	1,7	77	69,4	23	1	35	41
538	270	0,002	2,7	1,9	70	83,8	22	8	35	43
539	270	0,002	2,7	2,1	63	87,8	22	15	36	43

N°	L (m)	S (m/m)	Tco (h)	Q (L/s)	AE%	Dumin	DP%	RO%	Dinf (mm)	OF%
540	270	0,002	2,7	2,5	53	92,7	20	27	37	41
541	270	0,002	3,0	1,5	77	0	24	0	35	17
542	270	0,002	3,0	1,7	70	81,4	24	6	36	42
543	270	0,002	3,0	1,9	63	86,9	23	14	36	42
544	270	0,002	3,0	2,1	58	90	22	21	37	42
545	270	0,002	3,0	2,5	48	93,8	20	33	38	40
546	270	0,002	3,9	1,5	61	85,6	26	13	37	40
547	270	0,002	3,9	1,7	54	90,2	24	22	38	40
548	270	0,002	3,9	1,9	48	92,2	23	29	38	39
549	270	0,002	3,9	2,1	44	93,9	21	35	38	39
550	270	0,002	3,9	2,5	37	96,1	18	45	39	38
551	270	0,003	2,2	1,5	82	0	18	0	25	21
552	270	0,003	2,2	1,7	82	0	19	0	29	21
553	270	0,003	2,2	1,9	81	0	19	0	32	20
554	270	0,003	2,2	2,1	79	76,7	19	2	33	45
555	270	0,003	2,2	2,5	66	88,2	19	15	35	45
556	270	0,003	2,4	1,5	80	0	20	0	29	20
557	270	0,003	2,4	1,7	80	0	20	0	33	20
558	270	0,003	2,4	1,9	77	76,9	21	2	34	44
559	270	0,003	2,4	2,1	70	84,3	21	10	35	44
560	270	0,003	2,4	2,5	59	90,5	19	22	36	43
561	270	0,003	2,7	1,5	79	0	22	0	32	19
562	270	0,003	2,7	1,7	77	71,9	22	1	34	42
563	270	0,003	2,7	1,9	70	83,2	22	9	35	43
564	270	0,003	2,7	2,1	63	87,5	21	16	36	43
565	270	0,003	2,7	2,5	53	92,3	19	28	37	42
566	270	0,003	3,0	1,5	77	0	23	0	35	18
567	270	0,003	3,0	1,7	70	81	23	7	36	42
568	270	0,003	3,0	1,9	63	86,6	22	15	36	42
569	270	0,003	3,0	2,1	58	89,7	21	21	36	42
570	270	0,003	3,0	2,5	48	93,2	19	33	37	40
571	270	0,003	3,9	1,5	61	85,3	25	14	37	40
572	270	0,003	3,9	1,7	54	89,8	24	23	37	40
573	270	0,003	3,9	1,9	48	92	22	30	38	39
574	270	0,003	3,9	2,1	44	93,4	21	36	38	38
575	270	0,003	3,9	2,5	37	95,8	18	46	39	38

N°	L (m)	S (m/m)	Tco (h)	Q (L/s)	AE%	Dumin	DP%	RO%	Dinf (mm)	OF%
576	270	0,004	2,2	1,5	82	0	18	0	26	21
577	270	0,004	2,2	1,7	82	0	18	0	29	21
578	270	0,004	2,2	1,9	82	0	18	0	32	21
579	270	0,004	2,2	2,1	79	76,6	19	3	33	45
580	270	0,004	2,2	2,5	66	88,2	18	16	34	45
581	270	0,004	2,4	1,5	81	0	20	0	29	20
582	270	0,004	2,4	1,7	80	0	20	0	33	20
583	270	0,004	2,4	1,9	77	76,2	20	3	34	44
584	270	0,004	2,4	2,1	70	83,8	20	10	34	44
585	270	0,004	2,4	2,5	59	90,2	19	23	35	43
586	270	0,004	2,7	1,5	79	0	21	0	32	19
587	270	0,004	2,7	1,7	77	72,7	21	2	35	42
588	270	0,004	2,7	1,9	70	82,9	21	9	35	44
589	270	0,004	2,7	2,1	63	87,4	21	16	35	43
590	270	0,004	2,7	2,5	53	92,3	19	28	36	42
591	270	0,004	3,0	1,5	78	0	23	0	35	18
592	270	0,004	3,0	1,7	70	81,1	23	7	35	42
593	270	0,004	3,0	1,9	63	86,4	22	15	36	42
594	270	0,004	3,0	2,1	58	89,5	21	22	36	42
595	270	0,004	3,0	2,5	48	93,5	19	33	37	40
596	270	0,004	3,9	1,5	61	85,2	25	14	37	40
597	270	0,004	3,9	1,7	54	89,7	23	23	37	40
598	270	0,004	3,9	1,9	48	91,7	22	30	38	39
599	270	0,004	3,9	2,1	44	93,2	20	36	38	39
600	270	0,004	3,9	2,5	37	95,5	18	46	39	38
601	270	0,005	2,2	1,5	82	0	18	0	25	21
602	270	0,005	2,2	1,7	82	0	18	0	29	21
603	270	0,005	2,2	1,9	82	0	18	0	32	21
604	270	0,005	2,2	2,1	79	75,9	19	2	33	45
605	270	0,005	2,2	2,5	66	88,4	18	16	34	45
606	270	0,005	2,4	1,5	80	0	20	0	29	20
607	270	0,005	2,4	1,7	80	0	20	0	33	20
608	270	0,005	2,4	1,9	77	76,4	20	3	34	44
609	270	0,005	2,4	2,1	70	83,9	20	10	34	44
610	270	0,005	2,4	2,5	59	90,9	19	23	35	43
611	270	0,005	2,7	1,5	79	0	21	0	32	19

N°	L (m)	S (m/m)	Tco (h)	Q (L/s)	AE%	Dumin	DP%	RO%	Dinf (mm)	OF%
612	270	0,005	2,7	1,7	77	71,9	21	1	34	42
613	270	0,005	2,7	1,9	70	83,1	21	9	35	44
614	270	0,005	2,7	2,1	63	87,9	21	16	35	43
615	270	0,005	2,7	2,5	53	92,5	19	28	36	42
616	270	0,005	3,0	1,5	77	0	23	0	34	18
617	270	0,005	3,0	1,7	70	80,9	23	7	35	42
618	270	0,005	3,0	1,9	63	87	22	15	36	42
619	270	0,005	3,0	2,1	58	90,1	21	22	36	42
620	270	0,005	3,0	2,5	48	93,7	19	33	37	40
621	270	0,005	3,9	1,5	61	85,8	25	14	36	40
622	270	0,005	3,9	1,7	54	90,1	24	23	37	40
623	270	0,005	3,9	1,9	48	92,3	22	30	38	39
624	270	0,005	3,9	2,1	44	93,9	20	36	38	39
625	270	0,005	3,9	2,5	37	95,9	18	46	38	38