



SURCOS: manual de usuario

Versión 5.6

Javier Burguete¹, Asier Lacasta² y Pilar García-Navarro²

(1) Departamento de Suelo y Agua
Estación Experimental de Aula Dei / CSIC
Avda. Montañana 1005, 50059 Zaragoza, España

(2) Área de Mecánica de Fluidos
Centro Politécnico Superior, Universidad de Zaragoza
María de Luna 3, 50018 Zaragoza, España

4 de abril de 2017

Índice general

1	Instrucciones de instalación	2
1.1	Descarga	2
1.2	Instalación	2
1.3	Ficheros del programa	2
1.4	Compilación del código fuente	3
2	Ventanas de la aplicación	7
2.1	Ventana Principal	7
2.2	Configuración de caso	8
2.2.1	Ventana Configuración de Geometría	8
2.2.2	Ventana Configuración de surcos	8
2.2.3	Ventana Configuración de entradas	9
2.2.4	Ventana Configuración de fertilizante	10
2.2.5	Ventana Configuración de sondas	10
2.2.6	Ventana Configuración de parámetros avanzados	10
2.3	Simulación	12
2.4	Visualización de resultados	12
2.4.1	Gráficas de resultados	12
2.4.2	Sumario	14
3	Formato de los ficheros de entrada y salida	17

3.1	Ficheros de entrada	17
3.1.1	El fichero de geometría: field.in	17
3.1.2	Fichero de entradas de agua y fertilizante: input.in	19
3.1.3	Fichero de tiempos de simulación: times.in	19
3.1.4	Fichero de malla: mesh.in	20
3.1.5	Fichero de sondas: probe.in	20
3.1.6	Fichero de modelo: model.in	21
3.2	Ficheros de resultados	21
3.2.1	Ficheros de perfil longitudinal (xxx-yyy.out)	21
3.2.2	Ficheros de tiempos de avance y receso (xxx.out)	22
3.2.3	Ficheros de sondas (probes.out)	23

Índice de figuras

2.1	Ventana principal inicial de la aplicación <i>surcos</i>	7
2.2	Ventana de configuración de geometría	8
2.3	Ventana de configuración de surcos	9
2.4	Ventana de configuración de las entradas	9
2.5	Ventana de configuración de fertilizante	10
2.6	Ventana de configuración de sondas	11
2.7	Ventana de configuración de parámetros avanzados	11
2.8	Ventana de selección de representación	13
2.9	Ejemplo de representación en mapa de la variable calado . . .	14
2.10	Ejemplo de representación de un perfil longitudinal de las variables de volumen de agua y masa de fertilizante superficial e infiltrados en un surco	15
2.11	Ejemplo de representación de la evolución temporal de una sonda	16
2.12	Sumario de parámetros de entrada (Izquierda) y de resultados (Derecha)	16

¡Atención!

Para ejecutar el programa *surcos* en sistema operativo Windows, deberá iniciar la aplicación desde la subcarpeta *win32/bin/winsurcos.exe*, en versiones de 32 bits, o *win64/bin/winsurcos.exe* en versiones de 64 bits.

- La representación de los números reales se hace, según el estándar internacional, separando los decimales mediante el “.” decimal.
- Las unidades de todas las variables utilizadas y representadas están en Sistema Internacional.

El programa ha sido probado en los siguientes sistemas operativos de Microsoft:

- Windows 7 32 bits.
- Windows 7 64 bits.
- Windows 8.1 32 bits.
- Windows 8.1 64 bits.
- Windows 10 32 bits.
- Windows 10 64 bits.

La activación del idioma se hace mediante la modificación de la configuración regional del sistema operativo. La versión 5.6 de este programa tiene soporte idiomático en inglés, español, francés e italiano.

Se han reportado problemas en la ventana de representación gráfica debidos a fallos de configuración de OpenGL en el driver de la tarjeta gráfica. Inténtese en ese caso instalar el driver más actualizado de la tarjeta gráfica.

También se han reportado fallos guardando el fichero de la gráfica cuando el sistema Windows se ejecuta dentro de una máquina virtual de VirtualBox.

En este caso el problema se corrige desactivando la aceleración gráfica en la configuración de VirtualBox.

Windows 7, Windows 8.1 y Windows 10 son marcas registradas de Microsoft.

Capítulo 1

Instrucciones de instalación

1.1 Descarga

El programa *surcos* puede ser descargado libremente en:

- <http://digital.csic.es/handle/10261/75830>

El código fuente más reciente puede descargarse libremente, con una licencia de tipo BSD, en:

- <https://github.com/jburguete/surcos>

1.2 Instalación

La instalación del programa *surcos* consiste simplemente en descomprimirlo en la carpeta deseada. No obstante, se recomienda que tanto la carpeta donde se instala el programa como los nombres de los ficheros generados no contengan espacios ni símbolos raros. Se han reportado casos en los que el podría no encontrar los ficheros y no ejecutar la simulación.

1.3 Ficheros del programa

El programa consta de las siguientes carpetas:

win32/bin

Carpeta que contiene el ejecutable, los ficheros ejecutables de las librerías y los ficheros de diagramas en la versión para Windows de 32 bits.

win32/etc**win32/lib**

Estas dos carpetas contienen algunos ficheros de las librerías para Windows de 32 bits.

win32/share

Carpeta que contiene los ficheros de idiomas para Windows de 32 bits.

win64/bin**win64/etc****win64/lib****win64/share**

Carpetas equivalentes a las anteriores para la versión de 64 bits.

examples

Carpeta que contiene ficheros de ejemplo.

src

Carpeta que contiene el código fuente del programa *surcos* y el código fuente de las librerías utilizadas.

1.4 Compilación del código fuente

El código fuente está escrito en lenguaje C y se han usado en su compilación herramientas libres de GNU: gcc, gmake, aclocal, autoconf y pkg-config. La versión para Windows se ha compilado además usando msys/mingw.

El programa *surcos* hace uso de las siguientes librerías:

libiconv (<http://ftp.gnu.org/pub/gnu/libiconv>)

zlib (<http://sourceforge.net/projects/libpng>)

libxml (<http://xmlsoft.org>)

libffi (<ftp://sourceware.org/pub/libffi>)

glib (<http://ftp.gnome.org/pub/gnome/sources/glib>)

gettext (<http://ftp.gnu.org/pub/gnu/gettext>)

libpng (<http://sourceforge.net/projects/libpng>)

freetype (<http://sourceforge.net/projects/freetype>)

fontconfig (<http://fontconfig.freedesktop.org>)

pixman (<http://www.cairographics.org>)

cairo (<http://www.cairographics.org>)

atk (<http://ftp.gnome.org/pub/gnome/sources/atk>)

pango (<http://ftp.gnome.org/pub/gnome/sources/pango>)

gdk-pixbuf (<http://ftp.gnome.org/pub/gnome/sources/gdk-pixbuf>)

gtk+ (<http://ftp.gnome.org/pub/gnome/sources/gtk+>)

freelut (<http://sourceforge.net/projects/freelut>)

Una vez instaladas y configuradas todas estas herramientas y librerías la secuencia para compilar el programa consiste en hacer los cuatro pasos siguientes:

1. `aclocal`
2. `autoconf`
3. `./configure`
4. `make`

En algunos sistemas hay que hacer alguna corrección. Consúltese el inicio del fichero `configure.ac` donde se dan instrucciones más detalladas en algunos sistemas.

El programa *surcos* ha sido compilado y probado en los siguientes sistemas operativos:

- Debian Linux 8
- Debian kFreeBSD 8
- Debian Hurd 8

- DragonFly BSD 4.6
- Dyson Illumos
- Fedora Linux 25
- FreeBSD 11.0
- Linux Mint DE 2
- Microsoft Windows 7 32 bits
- Microsoft Windows 7 64 bits
- Microsoft Windows 8.1 32 bits
- Microsoft Windows 8.1 64 bits
- Microsoft Windows 10 32 bits
- Microsoft Windows 10 64 bits
- NetBSD 7.0
- OpenBSD 6.0
- OpenIndiana Hipster
- OpenSUSE Linux Tumbleweed
- Ubuntu Linux 16.10

Capítulo 2

Ventanas de la aplicación

En este capítulo se explicarán las ventanas de las que dispone el programa.

2.1 Ventana Principal

La ventana principal aparece al inicio del programa y es utilizada como interfaz básica de interacción con el usuario. En ella se incluyen botones para acceder al resto de ventanas que en este capítulo se presentan.



Figura 2.1: Ventana principal inicial de la aplicación *surcos*

Elemento		
Icono	Acción	Funcionalidad
Salir	Click	Salir de la aplicación
Abrir	Click	Abrir ventana de carga de caso
Configurar	Click	Abrir ventana de configuración de caso
Ejecutar	Click	Ejecutar caso
Gráficos	Click	Abrir ventana de visualización de resultados
Sumario	Click	Abrir ventana de sumario
Ayuda	Click	Créditos

Tabla 2.1: Descripción de las diferentes acciones disponibles en el menú principal de la aplicación *surcos*

A través de los iconos de la tabla 2.1 podemos acceder a las diferentes funcionalidades del programa.

2.2 Configuración de caso

2.2.1 Ventana Configuración de Geometría

El programa *surcos* simula riego en redes de surcos en tableros de forma cuadrilátera. En la ventana de configuración de geometría (ver figura 2.2), podemos modificar la topografía del problema modificando los cuatro vértices que definen el tablar.

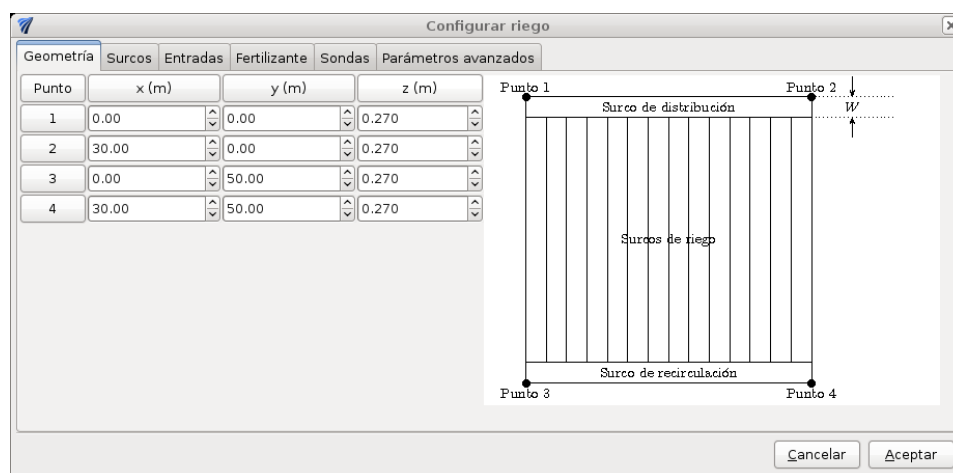


Figura 2.2: Ventana de configuración de geometría

Como puede verse en la figura 2.2, el surco de distribución se localiza entre los puntos 1 y 2 y el surco de recirculación, si lo hubiera, entre los puntos 3 y 4. Los surcos de riego se localizan perpendicularmente a los anteriores.

2.2.2 Ventana Configuración de surcos

En la ventana 2.3 tenemos las propiedades de los surcos que vamos a simular desglosados en tres tipos: Distribución, recirculación y riego (siendo éste último el que define los surcos de riego propiamente). Estas opciones estarán

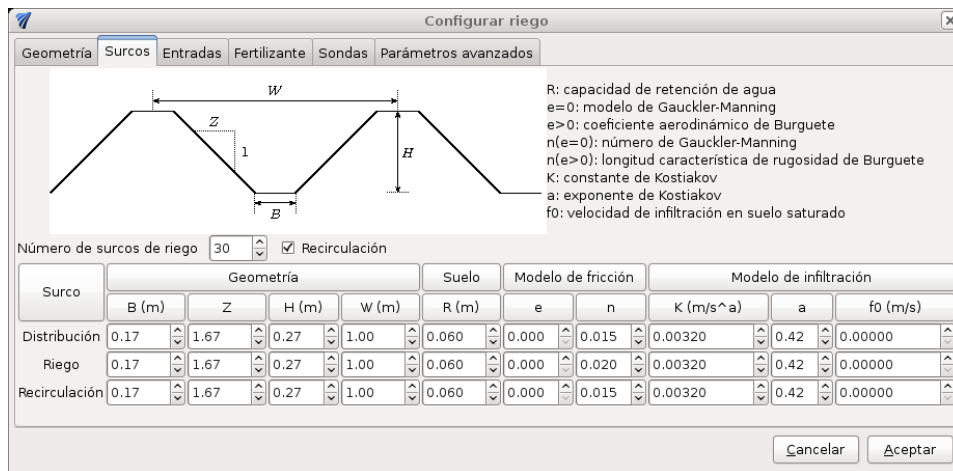


Figura 2.3: Ventana de configuración de surcos

activadas o desactivadas en función de que existan o no tanto surcos de riego como surco de recirculación.

Las propiedades configurables para los surcos son las que se recogen en la figura 2.3.

2.2.3 Ventana Configuración de entradas

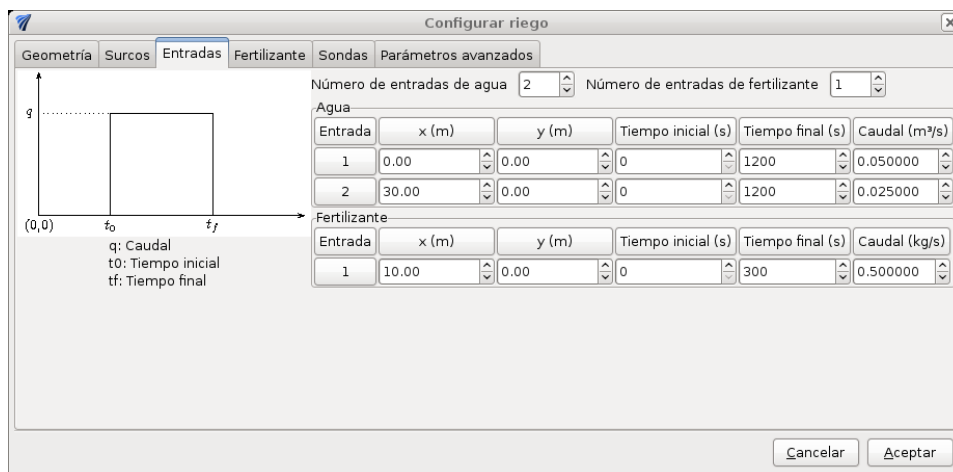


Figura 2.4: Ventana de configuración de las entradas

En la ventana 2.4 se configuran las entradas de agua y fertilizante. Cada entrada está definida por un punto del tablar, los tiempos inicial y final de la descarga, y un caudal constante. Este caudal es volumétrico en el caso del agua y másico en el caso del fertilizante.

Es posible tratar hidrogramas más complejos definiendo varias entradas asociadas al mismo punto geométrico con el objeto de que se forme un hidrograma final como la suma de cada uno de ellos.

2.2.4 Ventana Configuración de fertilizante

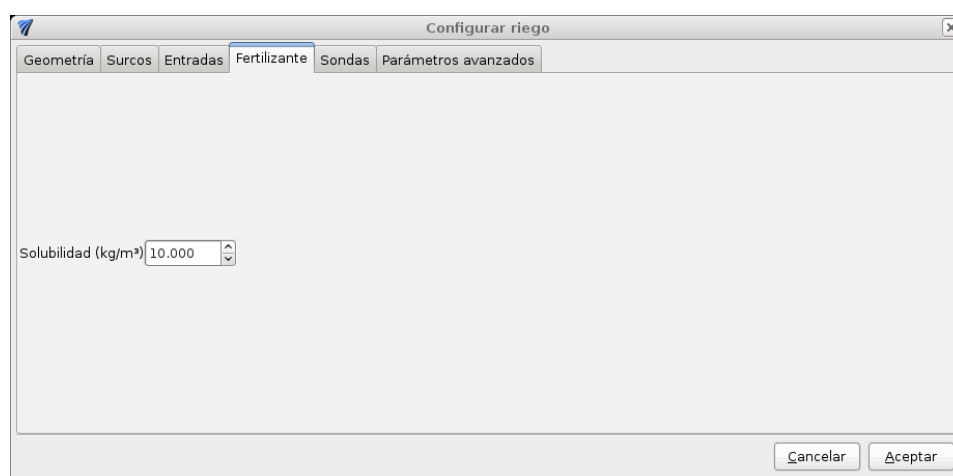


Figura 2.5: Ventana de configuración de fertilizante

La ventana 2.5 sirve para definir la solubilidad del fertilizante.

2.2.5 Ventana Configuración de sondas

En la ventana 2.6 se pueden definir el número de sondas que vamos a utilizar, así como las posiciones geométricas de las mismas. Nótese que si el punto cae fuera del surco, se aproximará la posición a la más cercana dentro del tablar.

2.2.6 Ventana Configuración de parámetros avanzados

En la ventana 2.7 se recogen las opciones de configuración de la simulación. En ella, podemos modificar los valores relacionados con la simulación.

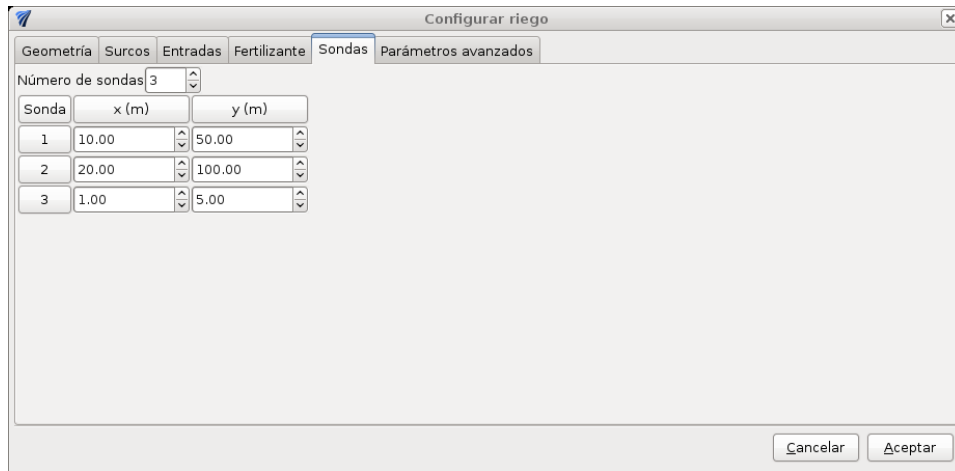


Figura 2.6: Ventana de configuración de sondas

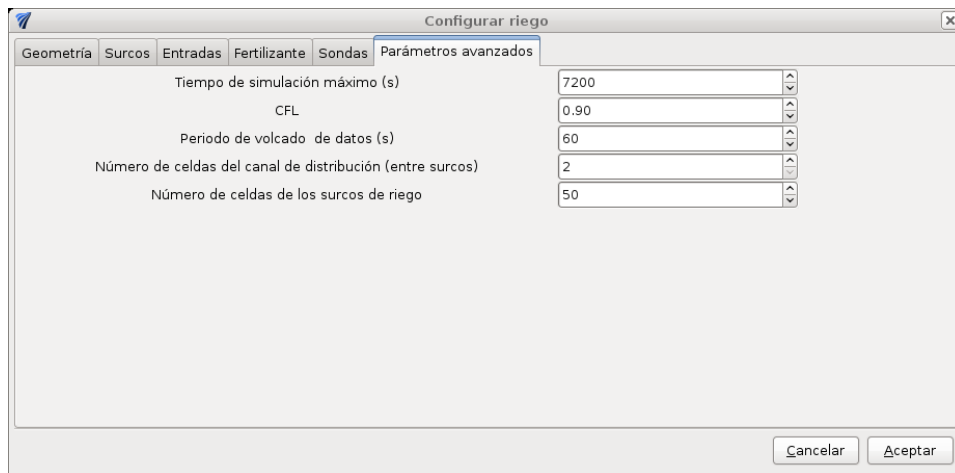


Figura 2.7: Ventana de configuración de parámetros avanzados

numérica.

Tiempo máximo de duración de la simulación: Normalmente el programa *surcos* simula hasta que todo el agua se ha infiltrado en el terreno. Para evitar simulaciones demasiado largas, este parámetro permite definir el tiempo máximo en segundos en el que se aborta la simulación, aunque quede agua sin infiltrar en el sistema.

CFL: Parámetro numérico adimensional proporcional al paso de tiempo utilizado por el método matemático de resolución. Deben usarse valores entre 0 y 1. Valores cercanos a 1 son óptimos. Valores muy bajos pueden ralentizar considerablemente la ejecución.

Periodo de volcado de datos: Intervalo de tiempo de simulación cada cuanto se vuelcan los resultados numéricos en ficheros.


Número de celdas del canal de distribución (entre surcos): Número de celdas que contiene la malla en los canales de distribución y de recirculación entre cada 2 confluencias con los surcos de riego.

Número de celdas de los surcos de riego: Número de celdas que contiene la malla en cada surco de riego.

De ellos, es importante tener en cuenta que aparece la condición CFL relacionada con la estabilidad numérica del método y la cual es necesario que sea menor que 1 ($CFL < 1$). Además aparece un valor para seleccionar en el número de celdas para los distintos surcos. Es necesario tener en cuenta que este valor está relacionado con la calidad de la solución pero también con la duración del cálculo. Otro de los valores es la periodicidad de los volcados, de tal forma que podremos obtener $n = \frac{t_s}{p_v}$ instantaneas de evolución, siendo t_s el tiempo de simulación y p_v el periodo de volcado.

Los números de celdas también son decisivos en la velocidad de cálculo de la simulación. Un número excesivamente grande ralentiza considerablemente la simulación mientras que con un número pequeño se pierde precisión.

2.3 Simulación

La simulación del caso, previa configuración, se realizará mediante el botón ejecutar del menú principal: 

2.4 Visualización de resultados

2.4.1 Gráficas de resultados

Las gráficas se controlan desde la ventana 2.8, donde se dispone de un dial para controlar el paso de tiempo representado en las variables que evolucionan con el tiempo. Además existe la posibilidad de seleccionar el surco, la variable o la sonda a representar.

Se nos permite también guardar las gráficas pulsando en el botón que está al fondo del diálogo. En este caso se guarda una imagen de la gráfica que hay en pantalla en un fichero en formato *png*.

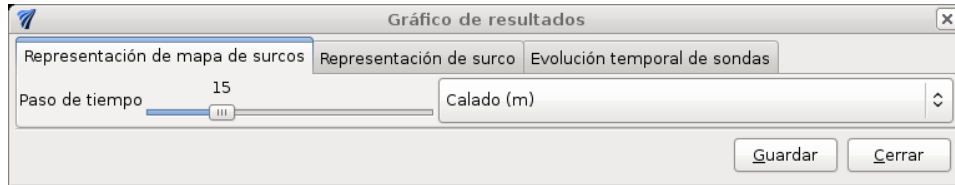


Figura 2.8: Ventana de selección de representación

El programa *Surcos* soporta tres tipos de representación. La primera de ellas es un mapa que representa de manera bidimensional la geometría de la red de surcos, posibilitando al usuario la representación de las variables descritas en la tabla 2.2.

Variable	Unidades
Calado	m
Concentración de fertilizante	kg/m^3
Volumen de agua infiltrada por longitud de surco	m^2
Masa de soluto por unidad de longitud	kg/m

Tabla 2.2: Variables visualizables en mapa de red de surcos

Las otras dos son representaciones cartesianas de perfil longitudinal en los diferentes surcos y evolución temporal en las diferentes sondas.

Las variables representables en el perfil longitudinal son las que aparecen en la tabla 2.3.

Variable	Unidades
Calado	m
Caudal	m^3/s
Nivel (Cotas superficial y de fondo)	m
Concentración de fertilizante	kg/m^3
Volumen de agua y masa de fertilizante superficial e infiltrados	$m^2, kg/m$
Tiempos de avance y receso	s

Tabla 2.3: Variables visualizables en cada surco

Las variables representables en la evolución temporal son las que aparecen en la tabla 2.4.

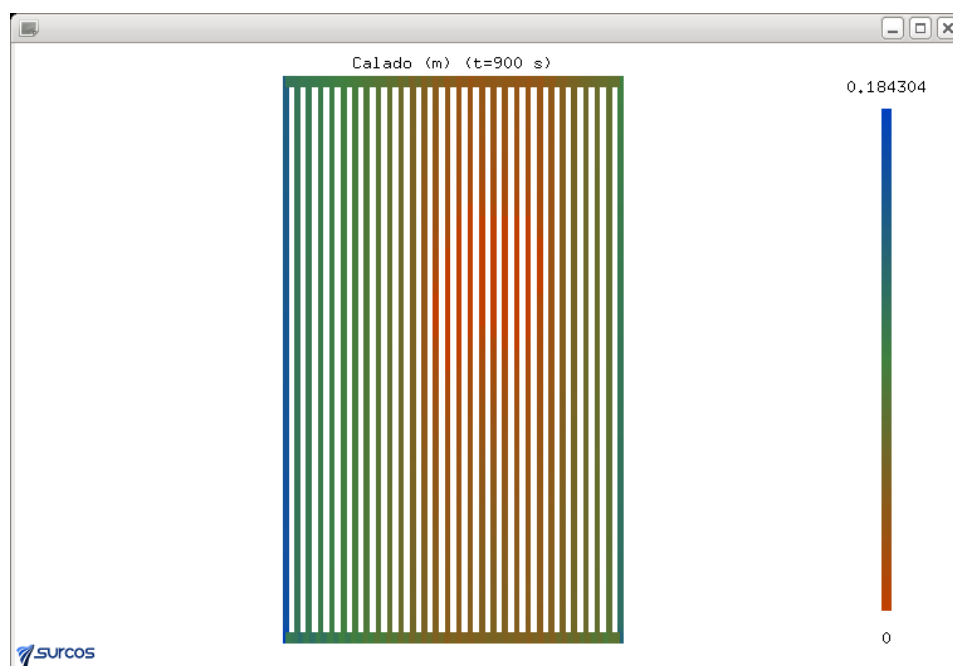



Figura 2.9: Ejemplo de representación en mapa de la variable calado

Variable	Unidades	Observaciones
Calado	m	
Concentración de fertilizante	kg/m^3	

Tabla 2.4: Variables visualizables en cada sonda

2.4.2 Sumario

El acceso al sumario se realiza mediante el botón . Esta opción nos permite visualizar de manera textual tanto la configuración del riego como los resultados más relevantes de la simulación. Ambas opciones son las que aparecen en la figura 2.12.

Entre los resultados se calculan las masas de agua y de fertilizante superficiales, infiltradas y percoladas, tanto en los surcos de riego como en los surcos de distribución. Se entiende como masa infiltrada la que penetra en el suelo y se queda en la zona de retención del suelo. La masa perdida por percolación no se considera por tanto como parte de la masa infiltrada.

El cálculo de la uniformidad de distribución se hace únicamente en los surcos de riego. La fórmula es la relación entre las medias infiltradas del

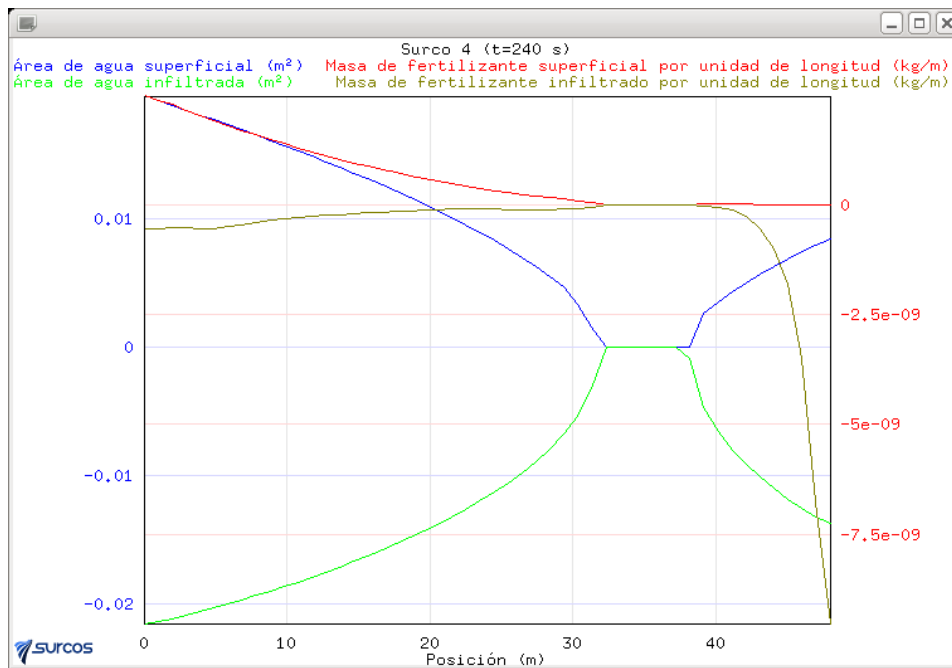


Figura 2.10: Ejemplo de representación de un perfil longitudinal de las variables de volumen de agua y masa de fertilizante superficial e infiltrados en un surco

25% de los puntos menos regados entre la media infiltrada total.

Finalmente, la eficiencia se calcula como la masa infiltrada en los surcos de riego dividida entre la masa total aplicada. Por lo tanto, tanto la masa percolada como la superficial o las infiltradas en los surcos de distribución y recirculación son consideradas como pérdidas en el cálculo de la eficiencia.

La ventana del sumario no permite guardar los resultados en un fichero. Para eso debe seleccionarse el texto a guardar con el ratón (o con el teclado), copiarse con las teclas *Control+C* y pegarse en cualquier editor de texto como Microsoft Word.

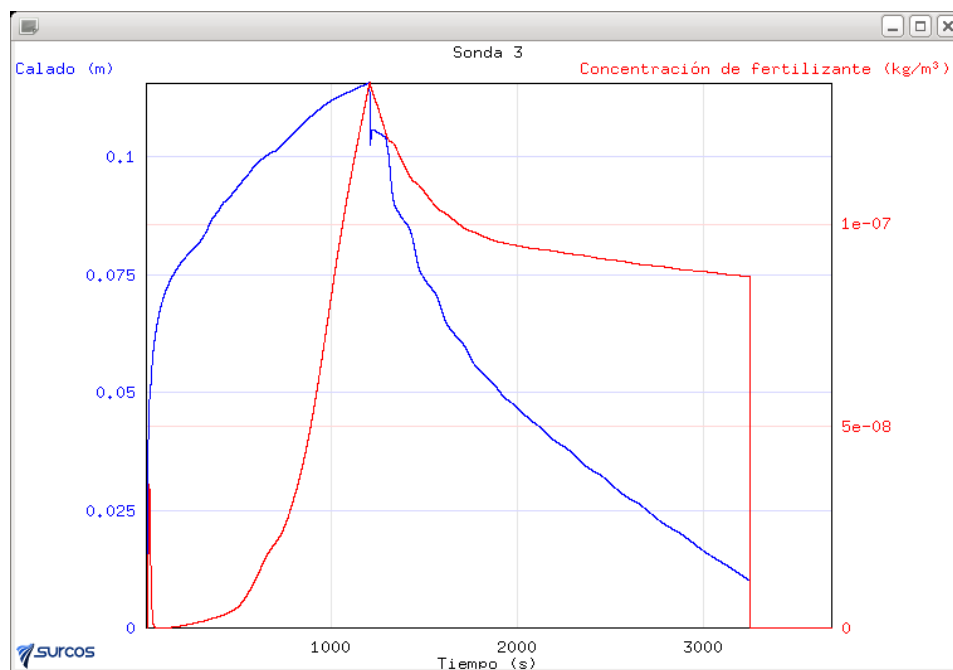


Figura 2.11: Ejemplo de representación de la evolución temporal de una sonda

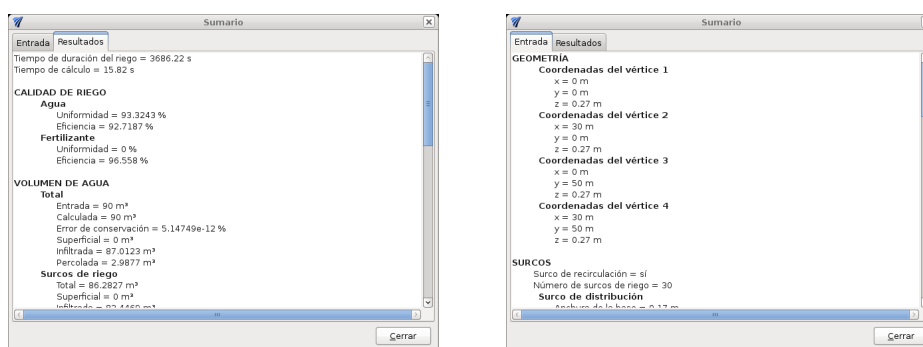


Figura 2.12: Sumario de parámetros de entrada (Izquierda) y de resultados (Derecha)

Capítulo 3

Formato de los ficheros de entrada y salida

En el programa *Surcos*, los ficheros de entrada y de salida se almacenan en una misma carpeta. El usuario puede elegir el nombre de esta carpeta, pudiendo almacenar numerosos casos de estudio en distintas carpetas, pero los ficheros de entrada y salida en cada carpeta tienen nombres fijos con una nomenclatura que se detallará en las siguientes secciones. Todos estos ficheros son ficheros de texto plano en formato ASCII.

3.1 Ficheros de entrada

3.1.1 El fichero de geometría: field.in

El fichero de geometría tiene el nombre:

- Carpeta_del_caso\field.in

Este fichero está formado por el siguiente conjunto de números:

o n s
*x*₁ *y*₁ *z*₁
*x*₂ *y*₂ *z*₂
*x*₃ *y*₃ *z*₃
*x*₄ *y*₄ *z*₄
*b*_b *z*_b *H*_b *D*_b *R*_b *ε*_b *r*_b *K*_b *a*_b *i*_b *d*_b *h*_b *Q*_b *c*_b
*b*_i *z*_i *H*_i *D*_i *R*_i *ε*_i *r*_i *K*_i *a*_i *i*_i *d*_i *h*_i *Q*_i *c*_i
*b*_c *z*_c *H*_c *D*_c *R*_c *ε*_c *r*_c *K*_c *a*_c *i*_c *d*_c *h*_c *Q*_c *c*_c
con:

18CAPÍTULO 3. FORMATO DE LOS FICHEROS DE ENTRADA Y SALIDA

o 1 si hay surco de recirculación, 0 si no.

n Número de surcos de riego. Si sólo se quisiera simular un surco poner este número a 0 y se simulará sólo el surco de distribución.

s Solubilidad del fertilizante.

x_j, y_j, z_j Coordenadas del vértice j -ésimo que delimita la superficie del tablar.

b_k Anchura de la base del surco k .

z_k Pendiente de las paredes con respecto a la vertical del surco k .

H_k Profundidad del surco k .

D_k Distancia entre surcos del surco k .

R_k Capacidad de retención del suelo del surco k .

ϵ_k Coeficiente de rozamiento aerodinámico de Burguete (si $\epsilon > 0$) o modelo de fricción de Gauckler-Manning (si $\epsilon = 0$) para el surco k .

r_k Número de Gauckler-Manning (si $\epsilon = 0$) o longitud característica de rugosidad de Burguete (si $\epsilon > 0$) del surco k .

K_k Coeficiente de infiltración de Kostiakov del surco k .

a_k Exponente de Kostiakov del surco k .

i_k Velocidad de infiltración saturada del surco k .

d_k Coeficiente de difusión del surco k .

h_k Profundidad inicial del agua del surco k .

Q_k Caudal inicial del surco k .

c_k Concentración inicial de fertilizante del surco k .

Los subíndices k representan: b para el surco de distribución, i para todos los surcos de irrigación (que por tanto tienen todas las mismas características) y c el surco de recirculación.

3.1.2 Fichero de entradas de agua y fertilizante: input.in

Las entradas de agua y fertilizante se definen en un fichero cuyo nombre es:

- Carpeta_del_caso\input.in

Este fichero está formado por el siguiente conjunto de números:

```

 $n_w$   $n_s$ 
 $x_1$   $y_1$   $I_1$   $F_1$   $q_1$ 
...
 $x_{n_w}$   $y_{n_w}$   $I_{n_w}$   $F_{n_w}$   $q_{n_w}$ 
 $x_1$   $y_1$   $I_1$   $F_1$   $q_1$ 
...
 $x_{n_s}$   $y_{n_s}$   $I_{n_s}$   $F_{n_s}$   $q_{n_s}$ 
con:
```

n_w , n_s los números de entradas de agua y fertilizante respectivamente,

x_i coordenada x del punto donde se produce la entrada i -ésima,

y_i coordenada y del punto donde se produce la entrada i -ésima,

I_i tiempo inicial en el que se produce la entrada i -ésima,

F_i tiempo final en el que se produce la entrada i -ésima,

q_i caudal de la entrada i -ésima, en m^3/s si la entrada es de agua y en kg/s para las entradas de fertilizante.

Nótese que primero deben especificarse las n_w entradas de agua y luego las n_s entradas de fertilizante.

3.1.3 Fichero de tiempos de simulación: times.in

Los tiempos característicos de simulación deben definirse en el fichero:

- Carpeta_del_caso\times.in

Este fichero está compuesto por el siguiente conjunto de números:

```

 $t_f$   $cfl$   $t_m$ 
donde:
```

t_f es el tiempo total de simulación,

20CAPÍTULO 3. FORMATO DE LOS FICHEROS DE ENTRADA Y SALIDA

cfl es el número CFL que controla el tamaño de paso temporal,

t_m es el intervalo de tiempo cada cuanto se vuelcan los resultados en un fichero.

3.1.4 Fichero de malla: mesh.in

El número de celdas de la malla se especifica en el fichero:

- Carpeta_del_caso\mesh.in

Este fichero está compuesto por los números:

n_d n_i
con:

n_d número de celdas de los surcos de distribución o de recirculación entre cada 2 surcos de riego,

n_i número de celdas en cada surco de riego.

3.1.5 Fichero de sondas: probe.in

Las sondas de medida pueden especificarse en el fichero:

- Carpeta_del_caso\probe.in

Este fichero está formado por el siguiente conjunto de números:

n_p
 x_1 y_1
...
 x_{n_p} y_{n_p}
con:

n_p número de sondas,

x_i coordenada x del punto de la sonda i -ésima,

y_i coordenada y del punto de la sonda i -ésima.

3.1.6 Fichero de modelo: model.in

Los modelos utilizados se definen en el fichero:

- Carpeta_del_caso\model.in

Este fichero está formado por los números:

m_f m_i m_u m_a

con:

m_f 1 si hay fertilizante, 0 si no.

m_i 1 si hay infiltración, 0 si no.

m_u 1 si hay difusión subterránea, 0 si no.

m_a 1 si se usa el modelo de convección de Boussinesq, 0 si usa el modelo simple.

3.2 Ficheros de resultados

En el programa *Surcos* los ficheros de resultados están codificados con los siguientes nombres:

00b Surco de distribución.

00c Surco de recirculación.

xxx Surco de riego, con *xxx* representando el número de surco con 3 dígitos. La numeración de estos surcos va de 0 a $n-1$ con n el número total de surcos de riego.

Los ficheros de resultados son escritos en la misma carpeta donde se encuentran los ficheros de entrada de datos. El programa genera 3 tipos diferentes de ficheros de resultados, todos ellos en formato ASCII.

3.2.1 Ficheros de perfil longitudinal (xxx-yyy.out)

El programa *Surcos* genera un fichero donde se almacena el perfil longitudinal de cada variable para cada surco y para cada paso de tiempo definido en el intervalo de tiempo de volcado (véase la sección 3.1.3).

El nombre de estos ficheros es de forma:

22CAPÍTULO 3. FORMATO DE LOS FICHEROS DE ENTRADA Y SALIDA

- *xxx - yyy.out*

donde *xxx* representa el nombre del surco con la codificación descrita anteriormente y *yyy* representa el número de paso temporal en el que se volcaron los resultados, especificado con 3 dígitos.

Estos perfiles son ficheros de 12 columnas de la forma:

$$\begin{array}{cccccccccccc} x_1 & h_1 & A_1 & Q_1 & z_{s1} & z_{f1} & -A_{i1} & c_1 & -A_{ci1} & -A_{p1} & -A_{cp1} & \beta_1 \\ & & & & & & & \dots & & & & \\ x_n & h_n & A_n & Q_n & z_{sn} & z_{fn} & -A_{in} & c_n & -A_{cin} & -A_{pn} & -A_{cpn} & \beta_n \end{array}$$

con:

x_i la coordenada longitudinal del punto i -ésimo de la malla,

h_i el calado superficial del punto i -ésimo de la malla,

A_i el área transversal mojada superficial del punto i -ésimo de la malla,

Q_i el caudal superficial del punto i -ésimo de la malla,

z_{si} la cota de la superficie del agua del punto i -ésimo de la malla,

z_{fi} la cota del fondo del punto i -ésimo de la malla,

$-A_{ii}$ la masa de agua infiltrada (negativa) por unidad de longitud de surco del punto i -ésimo de la malla,

c_i la concentración superficial de fertilizante del punto i -ésimo de la malla,

$-A_{cii}$ la masa de fertilizante infiltrada por unidad de longitud de surco (negativa) del punto i -ésimo de la malla,

$-A_{pi}$ la masa de agua percolada por unidad de longitud de surco del punto i -ésimo de la malla,

$-A_{cpi}$ la masa de fertilizante percolada por unidad de longitud de surco del punto i -ésimo de la malla,

β_i el coeficiente de convección de Boussinesq del punto i -ésimo de la malla,

n el número de puntos de la malla que contiene el surco.

3.2.2 Ficheros de tiempos de avance y receso (*xxx.out*)

El programa *Surcos* genera ficheros con los tiempos de avance y receso que se producen para cada surco. El nombre de estos ficheros es de forma:

- *xxx.out*

donde *xxx* representa el nombre del surco con la codificación descrita anteriormente.

Estos ficheros son de 3 columnas de la forma:

$$\begin{array}{ccc} x_1 & t_{a1} & t_{r1} \\ & \dots & \\ x_n & t_{an} & t_{rn} \end{array}$$

con:

x_i la coordenada longitudinal del punto i -ésimo de la malla,

t_{ai} el tiempo de avance del punto i -ésimo de la malla,

t_{ri} el tiempo de receso del punto i -ésimo de la malla,

n el número de puntos de la malla que contiene el surco.

3.2.3 Ficheros de sondas (*probes.out*)

El fichero donde se almacenan los resultados de las sondas tiene el nombre *probes.out*. Este fichero tiene el formato:

$$\begin{array}{cccccc} t_0 & h_{1,0} & c_{1,0} & \dots & h_{n_p,0} & c_{n_p,0} \\ & & & & \vdots & \\ t_{n_t} & h_{1,n_t} & c_{1,n_t} & \dots & h_{n_p,n_t} & c_{n_p,n_t} \end{array}$$

con:

t_j el tiempo j -ésimo, con 0 el instante inicial,

$h_{i,j}$ el calado medido en la sonda i -ésima y en el tiempo j -ésimo,

$c_{i,j}$ la concentración superficial de fertilizante medida en la sonda i -ésima y en el tiempo j -ésimo,

n_p el número de sondas,

n_t el número de pasos de tiempo.

