

# Aplicación del modelo QSWAT

## TUTORIAL

Date	Versión	Redactor o editor
2017-08-03	Primera versión después taller introductorio SWAT	Flora Mer
2019-06-20	Cambio de la estructura, más contenido, mejor conocimiento del modelo	Flora Mer

Aplicación del modelo QSWAT TUTORIAL	1
1. Instalación QSWAT	4
2. New Project QSWAT	4
3. Preparación de los datos de entrada obligatoria para SWAT	5
3.1 DEM	5
3.2 Uso de suelo	5
3.3 Suelo	7
3.4 Outlet and inlet	8
3.5 Datos climáticos	8
4. Preparación de los datos de entrada complementario para SWAT	12
4.1 Manejo de uso del suelo	12
4.2 Fuentes puntuales de contaminación	13
4.3 Propiedades químicas de suelo	14
5. Implementación SWAT - STEP 1: Delineate Watershed	14
5.1 Select DEM (Digital Elevation Model)	14
5.2 Burn in existing streams network	14
5.3 Define threshold - Number of cells	14
5.4 Define streams	14
5.5 Use an Inlet/outlet shapefile	15
5.6 Snap threshold (meters)	15
5.7 Create watershed	15
5.8 Merge subbasins	15
5.9 Add reservoirs and point sources	15
5.10 Ejemplo STEP 1	15
6. Implementación SWAT - STEP 2: Create HRUs	16
6.1 Select landuse map	16
6.2 Select soil map	16
6.3 Creación HRU	16
6.4 Ejemplo STEP 2	17
7. Implementación SWAT - STEP 3: Edit Inputs and RUN SWAT	18
7.1 SWAT Editor	18
7.2 Write Input Tables	18
7.3 Edit SWAT Input	20
7.4 SWAT Simulation: Run SWAT	24



7.5	SWAT Simulation: Read SWAT Output	25
8.	Implementacion SWAT - STEP 4: Visualise	27

## 1. Instalación QSWAT

Los pasos para instalar QSWAT estan explicados en la Figura 1.

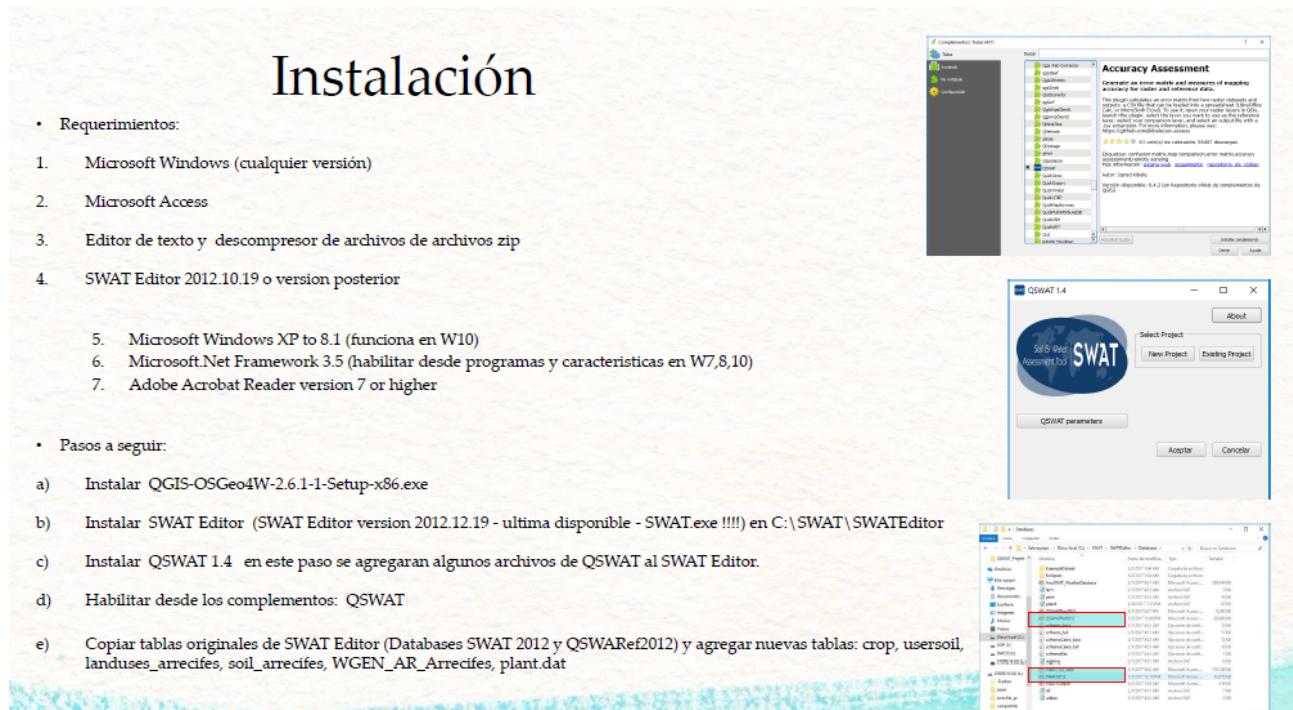


Figura 1 : Pasos para instalar QSWAT

Es importante anotar que es necesario cambiar los parámetros generales de la computadora para tener fechas y horas en el formato USA (“mes/dia/ano = xx/xx/yyyy”).

## 2. New Project QSWAT

Una vez instalado QGIS, SWAT Editor y QSWAT, es el momento para crear un nuevo proyecto QSWAT. Los pasos a seguir son los siguientes:

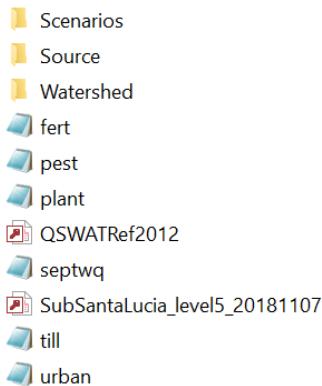
- 1) Abrir QGIS (QGIS 2.6.1)
- 2) Ir a “Plugins” “Manage and Install Plugins” buscar “QSWAT” e instalar.
- 3) Abrir SWAT desde QGIS
- 4) Click en “New Project”
- 5) Guardar el nuevo Proyecto (mejor guardar con camino corto. Por ejemplo: C:\SWAT Project)

En el lugar de guarda del nuevo proyecto (por ejemplo: C:\SWAT Project) se encuentra los archivos siguientes importantes del nuevo proyecto:

- Una carpeta con nombre del nuevo proyecto. Esta carpeta contiene varias otras carpetas e archivos. La figura 2 muestra un ejemplo.
    - o Scenarios
    - o Source
- Esta carpeta guarda los resultados de la corrida SWAT
- Esta carpeta guarda los mapas de entrada en formato RASTER asi que mapas creados por el modelo como: DEM, raster de uso del suelo, raster de suelos

- o Watershed

Esta carpeta guarda los shapes, txt tablas,... creados por el modelo: ríos, subcuenca, outlets, HRU,...



*Figura 2 : Ejemplo de carpeta Nuevo proyecto SWAT*

- 2 archivos que tiene el formato de Database Access “QSWATRef2012.mdb” y “NuevoProyecto.mdb”. Estas base de datos contienen la mayoría de la información necesaria a la corrida SWAT así que resultados intermedios.  
La base de datos “QSWATRef2012.mdb” corresponde a la base de datos que tiene información más genéricas para el modelo SWAT. La base de datos “NuevoProyecto.mdb” contiene información más propia al proyecto específico.  
En cada etapa necesaria, se explica las informaciones a importar a estas bases de datos así que las informaciones que están dentro.

### 3. Preparación de los datos de entrada obligatoria para SWAT

**Nota:** Verificar que todos los archivos grid y shapefile están en la misma proyección.

#### 3.1 DEM

El DEM de la cuenca estudiada tiene que estar en formato Raster y de buena resolución.

Si es necesario, usar la herramienta “clip” en QGIS para cortar el DEM únicamente para la zona de interés a estudiar.

#### 3.2 Uso de suelo

El mapa de uso del suelo y tablas asociadas se preparan de la siguiente manera:

- 1) Encontrar el mejor mapa de uso del suelo que existe de la zona de estudio
- 2) “Convertir” los usos del suelo del mapa al formato SWAT:

En la base de datos “QSWATRef2012.mdb”, las tablas “crop” y “urban” tienen los usos de suelo que ya tienen todos los parámetros requeridos para el modelo SWAT. Cada uso de suelo de estas tablas, tiene un código SWAT de 4 letras. Lo más fácil es buscar el código SWAT de uso de suelo equivalente al uso de suelo representado en el mapa. Por ejemplo, la mayoría de la cuenca de interés esta cubierta por herbáceo natural. El código SWAT y así que parámetros más cercanos al campo natural seria el uso de suelo grassland que tienen como código SWAT “GRAS”.



Por lo tanto, si un tipo de uso del suelo presente en la cuenca estudiada no está en la tabla por default “crop” o “urban” de la base de datos “QSWATRef2012.mdb”, habrá que añadir un nuevo uso del suelo en esta misma tabla describiendo todos los parámetros relacionados a este uso del suelo. Ver mas información respecto a los parámetros en [https://swat.tamu.edu/media/69341/ch14\\_input\\_plantdb.pdf](https://swat.tamu.edu/media/69341/ch14_input_plantdb.pdf) y/o [https://swat.tamu.edu/media/69353/ch18\\_input\\_urbandb.pdf](https://swat.tamu.edu/media/69353/ch18_input_urbandb.pdf).

- 3) En la tabla de atributo del shape del uso de suelo, añadir dos columnas:
  - i. Una columna donde se numera los usos de suelo
  - ii. Otra columna donde se pone el código SWAT equivalente al uso.

La Figura 3 y la Figura 4 muestran un ejemplo (ID, SWAT\_CODE).

Es importante que la tabla de atributo contiene estas 2 columnas.

- 4) Guardar en Excel una copia de la tabla de atributo en el formato representado en la Figura 4
- 5) Importar en la base de datos “NuevoProyecto.mdb” esta tabla Excel que podria tener como nombre “landuse\_nuevoproyecto”.
- 6) Convertir el shape de uso del suelo en RASTER Guardar el RASTER para el modelo

Las siguientes herramientas QGIS podrían ser útiles para preparar el shape de uso de suelo así que el de suelo:

- Single parts to Multiple parts
- Rasterize (vector to raster)
- Clip o extract by mask
- Dissolve

Tabla de atributo Shape Uso del suelo	ID	SWAT_CODE*	Definicion SWAT code
Aguas artificiales	1	WATB	Water bodies
Areas desnudas	2	BARR	Barren
Aguas naturales	3	AGUA	Aqua
Areas naturales inundadas	4	WETL	Wetlands-Mixed
Arbustos	5	MONT	Monte
Canteras, areneras, minas a cielo abierto	6	UIDI	Industrial
Cultivos regados y de secanos < 4-5 has	7	AGRL	Agricultural Land-Generic
Cultivos de secano > 4-5 has	7	AGRL	Agricultural Land-Generic
Cultivos regados > 4-5 has	8	CRIR	Irrigated cropland and pasture
Equipamiento urbano	6	UIDU	Industrial
Frutales	9	APPL	Apple
Herbaceo natural	10	GRAS	Grassland
Monte Nativo	5	MONT	Monte
Plantacion forestal	11	FRSE	Forest-Evergreen
Areas urbanas dispersas	12	URLD	Residential-Low Density
Areas urbanas	13	URML	Residential-Med/Low Density



Figura 3 : Ejemplo de conversion de uso del suelo en código SWAT

ID	SWAT_CODE
1	WATB
2	BARR
3	AGUA
4	WETL
5	MONT
6	UIDI
7	AGRL
8	CRIR
9	APPL
10	GRAS
11	FRSE
12	URLD
13	URML

Figura 4 : Ejemplo de formato de tabla de atributo del shape de uso del suelo así que tabla a importar en la base de datos “NuevoProyecto.mdb”

### 3.3 Suelo

El mapa de suelo y tablas asociadas se preparan de la siguiente manera:

- 1) Encontrar el mejor mapa de suelo que existe de la zona de estudio con calicatas e informaciones de suelos disponibles (parámetro físicos y químicos)
- 2) Describir cada categoría de suelos y definir los parámetros físicos en la tabla usersoil.

La tabla de suelo que esta por default en SWAT es la tabla “usersoil” que esta en la base de dato Access “QSWATRef2012.mdb”. Esta tabla contiene informaciones físicas de suelos. Por lo tanto, en cada región el suelo esta diferente y es muy poco probable que los tipos de suelos que están en esta tabla corresponden a la zona de interés. Por eso, hay que crear una nueva tabla Excel donde cada línea describe las características físicas de un tipo de suelo. Esta nueva tabla tiene que tener como nombre “usersoil”. La Tabla 1 muestra un ejemplo de las primeras columnas para el tipo de suelo “San Gabriel-Guaycuru”. Mas información para llenar la tabla se encuentra en este enlace: [https://swat.tamu.edu/media/69365/ch22\\_input\\_sol.pdf](https://swat.tamu.edu/media/69365/ch22_input_sol.pdf).

OBJECTID	MUID	SEQN	SNAM	S5ID	CMPPCT	NLAYERS	HYDGRP	SOL_ZMX
1	1	1	San Gabriel-Guaycuru	SGG	100	2		390

Tabla 1 : Ejemplo des las primeras columnas de la tabla usersoil en la base de datos “QSWATRef2012.mdb”

- 1) Importar la nueva tabla usersoil en la base de dato Access “QSWATRef2012.mdb” (sobre-escribir la anterior con el mismo nombre).
- 2) Definir la tabla de atributo del mapa de suelo con dos columnas (formato shape):
  - i. Una columna donde se numera los suelos
  - ii. Otra columna que contiene la misma información de la columna “SNAM” que esta en la tabla “usersoil”.

La Figura 5 muestra un ejemplo de tabla de atributo (OBJECTID,SNAM).

Es importante que la tabla de atributo contiene estas 2 columnas que están relacionadas a la tabla “usersoil”.

- 3) Guardar en Excel una copia de la tabla de atributo en el formato representado en la Figura 5
- 4) Importar en la base de datos “NuevoProyecto.mdb” esta tabla Excel que podria tener como nombre “soil\_nuevoproyecto”.
- 5) Convertir el shape de suelo en RASTER    Guardar el RASTER para el modelo

OBJECTID	SNAM
1	San Gabriel-Guaycuru
2	Sierra de Polanco
3	Santa Clara
4	Isla Mala
5	Sierra de Aigua
6	Valle Aigua
7	Tala-Rodriguez
8	Valle Fuentes
9	San Ramon
10	Chapicuy
11	San Jacinto

Figura 5 : Ejemplo de tabla de atributo de suelo así que tabla a importar en la base de datos “NuevoProyecto.mdb”

### 3.4 Outlet and inlet

Se prepara un shape con localización de los puntos de monitoreo de caudal que están la zona de interés. Por lo menos, es necesario tener un punto cerca del cierre de la zona de interés para poder calibrar el caudal en este punto.

### 3.5 Datos climáticos

**Nota: QSWAT2012 tiene un problema con los datos de clima Hay que agregar un “0” a los datos -999. También hay que usar el punto “.” como decimal y no la coma “,”.**

Para cada variable climática necesaria para el modelo SWAT, hay que preparar 2 tipos de archivos txt:

- 1) Un archivo con la descripción de cada estación de meteorológica:
  - ID
  - Nombre de la estación
  - Latitud
  - Longitud
  - Elevación
- 2) Por cada estación de medida se crea otro txt que contiene los valores medidos:
  - La primera línea contiene la fecha de inicio de las medidas
  - Las otras líneas contienen los valores medidos por orden cronológico a paso diario
  - El archivo txt tiene que tener el nombre de la estación meteorologica

Es necesario tener la serie de las variables climáticas completa a paso diario. Si la información no esta disponible se puede usar un simulador. Si hay que simular datos de clima faltantes, habrá que completar otro archivo en la base de datos Access que es el “WGEN” para el Weather Generator Data. Se puede encontrar mas información en el documento siguiente:

[https://swat.tamu.edu/media/69335/ch12\\_input\\_wgn.pdf](https://swat.tamu.edu/media/69335/ch12_input_wgn.pdf)

### 3.5.1 Temperatura

El archivo “tmp.txt” contiene la descripción de las estaciones meteorológica. Cada línea del archivo corresponde a una estación donde se mide la temperatura (Figura 6).

	Fichier	Edition	Format	Affichage	?
<b>ID,NAME,LAT,LONG,ELEVATION</b>					
1	Tmp_1450	-33.93	-60.56	65.000	
2	Tmp_4532	-34.5	-60.95	81.000	
3	Tmp_4921	-33.68	-59.68	28.000	

Figura 6 : tmp.txt. Ejemplo de txt con estación de medida de temperatura

Para cada estación meteorológica, se crea un archivo txt donde están los datos diarios. La primera línea representa el año, el mes y el día. Las otras líneas representan la temperatura mínima y la temperatura máxima separadas por una coma (Figura 7). Se mide en grado Celsius.

	Fichier	Edition	Format	Affichage	?
19670101					
28.2,17					
30.5,16					
29.2,18.4					
31.1,13.6					
31.2,15.2					
32.7,17.6					
25.2,14.3					
29.4,12.7					
31.1,12.3					
34.7,12.9					
35.2,21.5					
33.3,17.7					
35.8,16.5					
34.9,17.3					
31.1,17.8					
34.2,15.8					

Figura 7 : Tmp\_1450. Ejemplo de txt con datos de temperatura minima y maxima

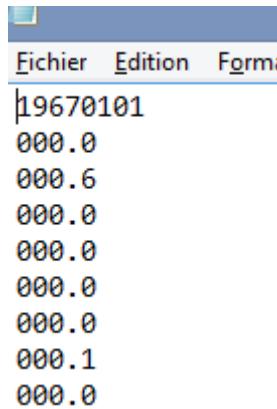
### 3.5.2 Precipitación

El archivo “pcp.txt” contiene la descripción de las estaciones meteorológica. Cada línea del archivo corresponde a una estación donde se mide la precipitación (Figura 8).

	ID,NAME,LAT,LONG,ELEVATION
1	pcp_1450,-33.93,-60.56,65.000
2	pcp_4532,-34.5,-60.95,81.000
3	pcp_4921,-33.68,-59.68,28.000

Figura 8 :pcp.txt. Ejemplo de txt con estaciones de medida de precipitación

Para cada estación meteorológica donde se mide precipitación, se crea un archivo txt donde están los datos a paso diario. La primera línea representa el año, el mes y el día. Las otras líneas representan las precipitaciones por dia en mm (Figura 9).



```

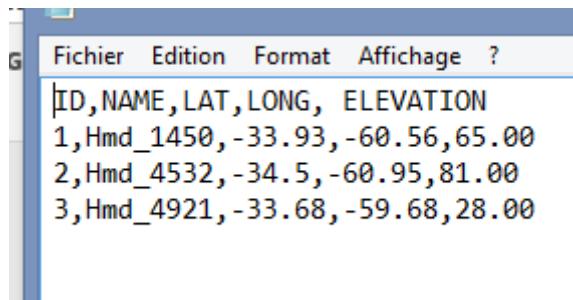
Fichier Edition Format
19670101
000.0
000.6
000.0
000.0
000.0
000.0
000.1
000.0

```

Figura 9 : pcp\_1450.txt .Ejemplo de txt con datos de precipitación

### 3.5.3 Humedad

El archivo “hmd.txt” contiene la descripción de las estaciones meteorológica. Cada línea del archivo corresponde a una estación donde se mide la humedad (Figura 10).



```

Fichier Edition Format Affichage ?
ID,NAME,LAT,LONG, ELEVATION
1,Hmd_1450,-33.93,-60.56,65.00
2,Hmd_4532,-34.5,-60.95,81.00
3,Hmd_4921,-33.68,-59.68,28.00

```

Figura 10 : hmd.txt. Ejemplo de txt con estaciones de medida de humedad

Para cada estación meteorológica donde se mide la humedad, se crea un archivo txt donde están los datos a paso diario. La primera línea representa el año, el mes y el día. Las otras líneas representan las precipitaciones por dia (Figura 11). Se registra en el txt la humedad promedia diaria (una fracción - %).

Fichier Edition Format Affichage
19670101
0000.840
0000.750
0000.650
0000.590
0000.540
0000.530
0000.750
0000.580
0000.490
0000.530
0000.580
0000.520

Figura 11 : hmd\_1450.txt .Ejemplo de txt con datos de humedad

### 3.5.4 Radiación solar

El archivo “slr.txt” contiene la descripción de las estaciones meteorológica. Cada línea del archivo corresponde a una estación donde se mide la radiación solar (Figura 12).

Fichier Edition Format Affichage ?
ID,NAME,LAT,LONG, ELEVATION
1,Srl_1450,-33.93,-60.56,65.00
2,Srl_4532,-34.5,-60.95,81.00
3,Srl_4921,-33.68,-59.68,28.00

Figura 12 : slr.txt. Ejemplo de txt con estaciones de medida de radiación solar

Para cada estación meteorológica donde se mide la radiación solar, se crea un archivo txt donde están los datos a paso diario. La primera línea representa el año, el mes y el día. Las otras líneas representan la radiación solar promedia diaria expresada en (MJ/m<sup>2</sup>/día) (Figura 13)

Fichier Edition Format Afl
19670101
0022.600
0023.600
0026.500
0028.200
0030.100
0030.300
0014.800
-----

Figura 13 : slr\_1450.txt .Ejemplo de txt con datos de radiación solar

### 3.5.5 Velocidad del viento

El archivo “wnd.txt” contiene la descripción de las estaciones meteorológica. Cada línea del archivo corresponde a una estación donde se mide la velocidad del viento (Figura 14).

ID,NAME,LAT,LONG, ELEVATION
1,Wnd_1450,-33.93,-60.56,65
2,Wnd_4532,-34.5,-60.95,81
3,Wnd_4921,-33.68,-59.68,28

Figura 14 : wnd.txt. Ejemplo de txt con estaciones de medida de velocidad del viento

Para cada estación meteorológica donde se mide la velocidad del viento, se crea un archivo txt donde están los datos a paso diario. La primera línea representa el año, el mes y el día. Las otras líneas representan la velocidad del viento promedio diario expresada en m/s (Figura 15).

Fichier	Edition	Format	Affichage
19670101			
1.333			
0.889			
2.667			
0.889			
2.222			
2			
1			

Figura 15 : wnd\_1450.txt .Ejemplo de txt con datos de velocidad del viento

## 4. Preparación de los datos de entrada complementario para SWAT

### 4.1 Manejo de uso del suelo

Si se quiere añadir manejos específicos a unos usos del suelo, necesitamos definir los archivos con estos manejos/rotaciones de cultivos:

- 1) Exportar de la base de datos “QSWATRef2012.mdb” la tabla “OpSchedules”
- 2) Implementar los manejos/rotaciones de cultivos definiendo la secuencia y parámetros directamente dentro de la tabla “OpSchedules”.  
La definición de los parámetros se encuentra en  
[https://swat.tamu.edu/media/69359/ch20\\_input\\_mgt.pdf](https://swat.tamu.edu/media/69359/ch20_input_mgt.pdf).  
En la Figura 16 está un ejemplo de los parámetros que fueron modificados en la tabla Opschedule para definir el manejo del uso de suelo AGRC. Muestra una rotacion de 3 años con los cultivos siguientes: maíz, avena, soja, avena, soja, avena.
- 3) Una vez completada, se re-importa la tabla OpSchedules en la base de datos “QSWATRef2012.mdb”.
- 4) Ademas, hay que definir unos parámetros iniciales más generales que se van a escribir directo en el modelo SWAT. Ver en la sección Subbasin Data: Management mas adelante y Figura 17.

Opschedules AGRC									
SID	CROP	YEAR	MONT H	DAY	MGT_O P	PLANT_I D	FERT_ID	FRT_KG	FRT_SURFACE

AGRC		01	01	15	3	0	4	200	0
AGRC		01	04	30	5	0	0	0	0
AGRC	OAT	01	05	01	1	32	0	0	0
AGRC		01	09	15	8	0	0	0	0
AGRC	SOYB	01	11	15	1	56	0	0	0
AGRC		01	11	15	3	0	21	200	0
AGRC		02	04	05	5	0	0	0	0
AGRC	OAT	02	04	06	1	32	0	0	0
AGRC		02	09	15	8	0	0	0	0
AGRC	SOYB	02	11	15	1	56	0	0	0
AGRC		02	11	15	3	0	21	200	0
AGRC		03	04	05	5	0	0	0	0
AGRC	OAT	03	04	06	1	32	0	0	0
AGRC		03	09	01	8	0	0	0	0
AGRC	CORN	03	11	01	1	19	0	0	0
AGRC		03	11	01	3	0	18	100	0
AGRC		03	12	15	3	0	4	300	0

Figura 16 : Ejemplo de parámetros que fueron modificado en el Opschedules para el manejo para el uso de suelo AGRC (Agricultura continua)

Parámetros iniciales AGRC		
Variable	Unidad	Valor
IGRO	---	1
PLANT_ID	---	19 (CORN)
LAI_INIT	---	5
BIO_INIT	Kg/ha	4300

Figura 17 : Ejemplo de parámetros iniciales de la rotación AGRC

## 4.2 Fuentes puntuales de contaminación

Si se quiere añadir fuentes puntuales de contaminación al modelo SWAT y si hay datos disponibles, habrá que preparar lo siguiente:

- Un shape con los puntos de localización de las fuentes puntuales de contaminación
- Un txt con los valores de los parámetros medidos de las fuentes puntuales de contaminación. La definición de los parámetros que están en los archivos txt así que tipo de formato del archivo txt estan explicados en el documento siguiente:  
[https://swat.tamu.edu/media/69392/ch31\\_input\\_meas.pdf](https://swat.tamu.edu/media/69392/ch31_input_meas.pdf). Es importante tener el mismo formato. La Figura 18 muestra un ejemplo de txt para una fuente puntual de contaminación. Se indica "0" cuando no hay datos para un parámetro. Figura 1

```
point_source_1 - Notepad
File Edit Format View Help
MONTH,YEAR,FLOMON,SEDMON,ORGNMON,ORGPMON,NO3MON,NH3MON,NO2MON,MINPMON,CBODMON,DISOXMON,CHLAMON,SOLPSTMON,SRBPSTMON,BACTPMON,BACTLPMON,CMTL1MON,CMTL2MON,CMTL3
1,2000,499,0.0007485,0,1.972,0,0.01718,0,0,0.262570833,0.7485,0,0,0,0,0,0,0,0,0
2,2000,499,0.00436625,0,1.972,0,0.01718,0,0,0.262570833,0.7485,0,0,0,0,0,0,0,0
3,2000,499,0.0115269,0,1.972,0,0.01718,0,0,0.262570833,0.7485,0,0,0,0,0,0,0,0
4,2000,499,0,0,1.972,0,0.01718,0,0,0.262570833,0.7485,0,0,0,0,0,0,0,0
5,2000,499,0.0007485,0,1.972,0,0.01718,0,0,0.262570833,0.7485,0,0,0,0,0,0,0,0
6,2000,499,0.00077345,0,1.972,0,0.01718,0,0,0.262570833,0.7485,0,0,0,0,0,0,0,0
7,2000,499,0.0027944,0,1.972,0,0.01718,0,0,0.262570833,0.7485,0,0,0,0,0,0,0,0
```

Figura 18 : Ejemplo txt de fuente puntual de contaminación

### 4.3 Propiedades químicas de suelo

Si queremos simular correctamente el componente de calidad de agua, es necesario añadir al modelo SWAT datos químicos de suelos. En la base de datos Access “QSWATRef2012.mdb” esta la tabla “chm” que se puede llenar de los parámetros químicos para cada tipo de suelo que fue definido en la sección 3.3. La

La Tabla 2 indica los parámetros químicos requeridos para la tabla chm. Se puede encontrar más informaciones en [https://swat.tamu.edu/media/69368/ch23\\_input\\_chm.pdf](https://swat.tamu.edu/media/69368/ch23_input_chm.pdf). Estos datos de entrada están usados para definir las cantidades iniciales de datos químicos en los suelos.

Variable	Unidad	Definición	Comentario
<b>SOIL LAYERS</b>	-	Numero de horizontes presente en el tipo de suelo	
<b>Información requerida por horizonte para cada tipo de suelo</b>			
<b>SOL_NO3</b>	mg N/kg suelo o ppm	Concentración inicial de NO <sub>3</sub>	
<b>SOL_ORGN</b>	mg N/kg suelo o ppm	Concentración inicial de N orgánico	
<b>SOL_SOLP</b>	mg P/kg suelo o ppm	Concentración inicial de P soluble	
<b>SOL_ORGP</b>	mg P/kg suelo o ppm	Concentración inicial de P orgánico	
<b>PPERCO_SUB</b>	m <sup>3</sup> /mg	Coeficiente de percolación de P	Si no se indica en el modelo, considera un valor de 10 m <sup>3</sup> /mg

Tabla 2: Parámetros incluidos dentro de la tabla sol (Arnold et al., 2011)

Más adelante se explica cómo integrar los datos en el modelo SWAT.

## 5. Implementacion SWAT - STEP 1: Delineate Watershed

### 5.1 Select DEM (Digital Elevation Model)

Importar el grid DEM que se preparó para la zona de interés (.tif).

### 5.2 Burn in existing streams network

Esta opción permite de añadir la red hidrográfica si la tenemos.

Es opcional.

Sin esta capa, la red hidrográfica se va a generar automáticamente a partir del DEM.

### 5.3 Define threshold - Number of cells

Number of cells (km<sup>2</sup>): Define el detalle que queremos alcanzar en la red hidrográfica. Mas el valor esta pequeño, más río aparece.

Por ejemplo, valores aceptables: 50 km<sup>2</sup> o 150 km<sup>2</sup>. Esta resolución depende del enfoque del estudio.

### 5.4 Define streams

- ⇒ Dar click a “create streams”.

Después de este paso, le debe aparecer un mapa con la red hidrográfica definida a partir del DEM.

### 5.5 Use an Inlet/outlet shapefile

Se debe añadir punto de salida de la Cuenca.

Por ejemplo, localización del punto de medida de caudal que está al cierre de la cuenca de estudio. Se podría añadir otros puntos como el punto de entrada de la cuenca o otros puntos de medición de caudal.

Podemos importar un shapefile con el punto (“Select inlets/outlets”) o también crear el punto directamente (“Draw inlets/outlets”).

### 5.6 Snap threshold (meters)

Este umbral define el nivel de delimitación de subcuenca que queremos crear. Mas el umbral esté pequeño, más división de subcuenca vamos a tener. Ejemplo de valores: 500 m, 200 m, 100 m, ....

### 5.7 Create watershed

⇒ *Dar click a “create watershed”*

Después de este paso, le debe aparecer un mapa con la red hidrográfica definida y la división de subcuenca.

Por ejemplo, se puede comparar la división de subcuenca con los mapas de división de cuencas disponibles.

Se puede ajustar esta división modificando el “snap threshold” o la opción “Merge” en la sección siguiente.

### 5.8 Merge subbasins

Esta opción permite fusionar unas subcuenca que deberían estar juntas.

Se selecciona la subcuenca de arriba, se da “Merge” y así la subcuenca de arriba fusiona con la de abajo.

### 5.9 Add reservoirs and point sources

Esta opción permite añadir otros puntos y embalse necesario a tomar en cuenta en la simulación.

Por ejemplo se puede añadir puntos de fuentes puntuales de contaminación si existe datos.

Además, se puede elegir de añadir un punto en el centro de cada subcuenca y más adelante se puede poner un valor de carga de contaminación a cada punto.

### 5.10 Ejemplo STEP 1

La Figura 19 da un ejemplo del STEP 1 de la corrida del modelo SWAT.

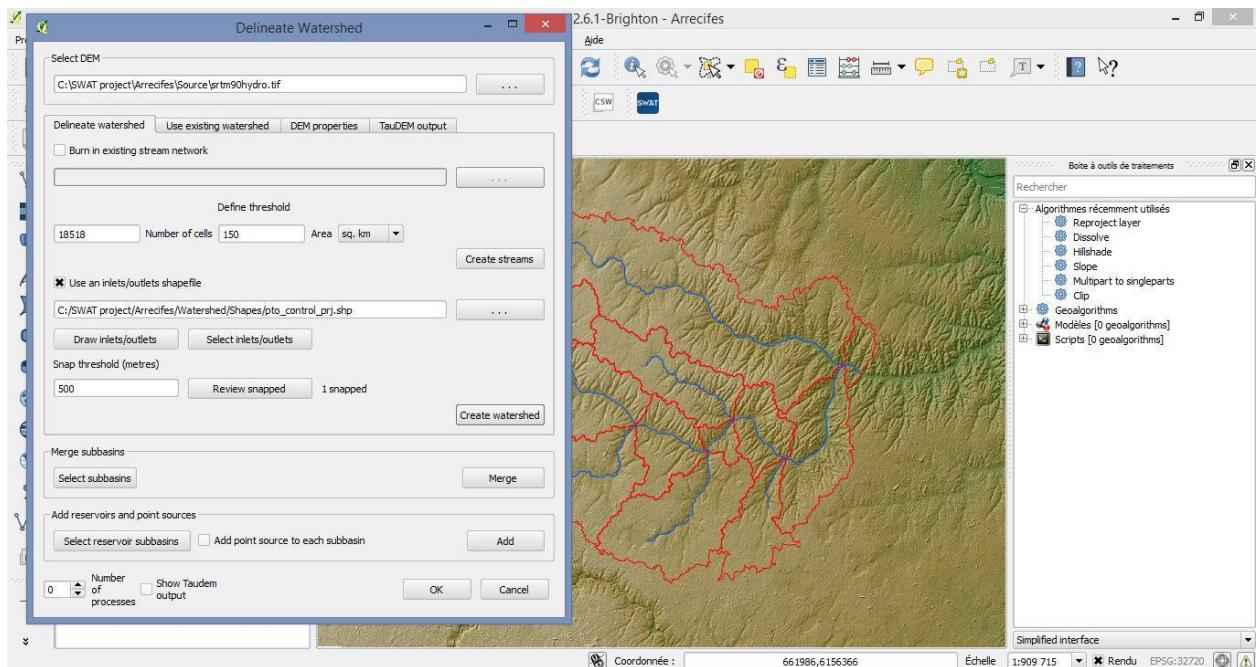


Figura 19 : STEP 1 : Delineate Watershed

## 6. Implementacion SWAT - STEP 2: Create HRUs

En esta etapa se importa el mapa creado de uso del suelo y el mapa de suelo. Tomando en cuenta los usos del suelo, suelos y pendiente se va a crear los HRUs.

### 6.1 Select landuse map

Importar el grid/raster de uso de suelo que se preparó.

También, entrar en “landuse table” el nombre de la tabla que se va a usar y que fue importada en las bases de datos Access “NuevoProyecto.mdb” (“landuse\_nuevoproyecto”).

### 6.2 Select soil map

Importar el grid/raster de suelo que se preparó.

También, entrar en “soil table” el nombre de la tabla que se va a usar y que fue importada en las bases de datos Access “NuevoProyecto.mdb”.

Entrar también el tipo de “soil data”. Generalmente, seleccionar “usersoil” que está en la base de datos Access “QSWATRef2012.mdb”.

### 6.3 Creación HRU

Una HRU es una unidad que tiene el mismo tipo de suelo, mismo uso de suelo y misma pendiente.

Para la creación de los HRU, seguir con los pasos siguientes:

- 1) Seleccionar « Generate Full HRUs shapefile ».
- 2) Seleccionar en “Read Choice” la opción “Read from maps”.
- 3) Set bands for slope (%)
  - o Poner por ejemplo 10 % click “insert” [0, 10, 9999]
  - o Este parámetro permite “categorizar” en bandas el mapa de pendiente. Por ejemplo si [0,10,20,9999] permite hacer 4 “grupos” de pendiente, de 0 a 10, de

10 a 20 y de 20 a 9999. Tambien, se puede dividir categoría en función de pendiente promedia en la zona de interes.

#### 4) Single/Multiple HRUs:

Seleccionar “Filter by landuse, soil, slope”

#### 5) Threshold method:

Seleccionar “Percent of subbasin”

⇒ *Dar clik en “READ” (si da error python, no importa)*

#### 6) Luego, hacer un filtro sobre los HRUs para reducir el número total de HRUs: “Set landuse, soil, slope thresholds”

Por ejemplo:

- Landuse = 4 %
- Soil = 4 %
- Slope = 50 %

Los resultados HRU de estos filtros necesitan tener una buena representatividad de cada subcuenca. Hay que “jugar” con los valores de estos filtros.

⇒ *Dar click en “CREATE HRUs”*

Da un shape con la creación de HRU. Cada HRU tiene mismo uso de suelo, mismo suelo y misma pendiente. Para disminuir el número total de HRU, se hico el filtro. Despues de hacer el filtro, se da un nuevo shape con la disminución de HRU (se ve “hueco” en el mapa).

## 6.4 Ejemplo STEP 2

La Figura 20 da un ejemplo del STEP 2 de la corrida del modelo SWAT.

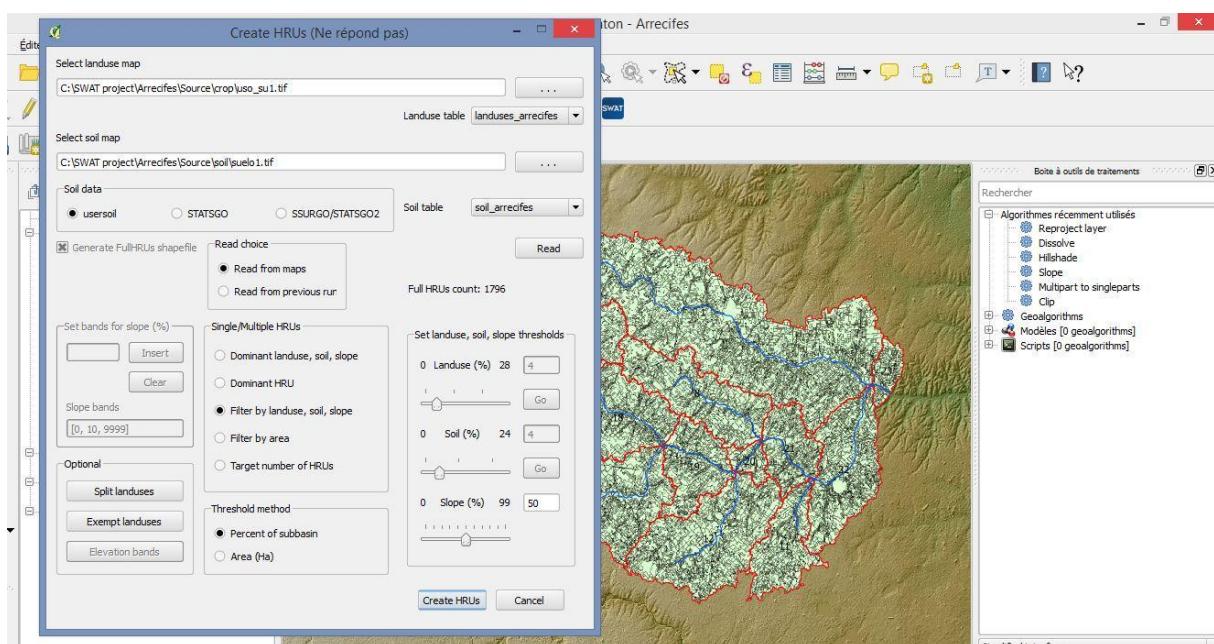


Figura 20 : STEP 2 : Create HRUs

## 7. Implementación SWAT - STEP 3: Edit Inputs and RUN SWAT

### 7.1 SWAT Editor

Dando click al STEP 3, se abre el SWAT Editor. Se sigue los pasos siguientes:

- 1) Hay que cambiar el nombre de la “SWAT Soils Database”. Se cambia “C:\SWAT\SWATEditor\Datasets\SWAT\_US\_Soils.mdb” en “C:\SWAT\SWATEditor\Datasets\SWAT2012.mdb” (Figura 21)



Figura 21 : Cambiar nombre de la SWAT soils database

- 2) Dar click en “Connect to Databases” Las pestanas de arriba se activan (Figura 22).

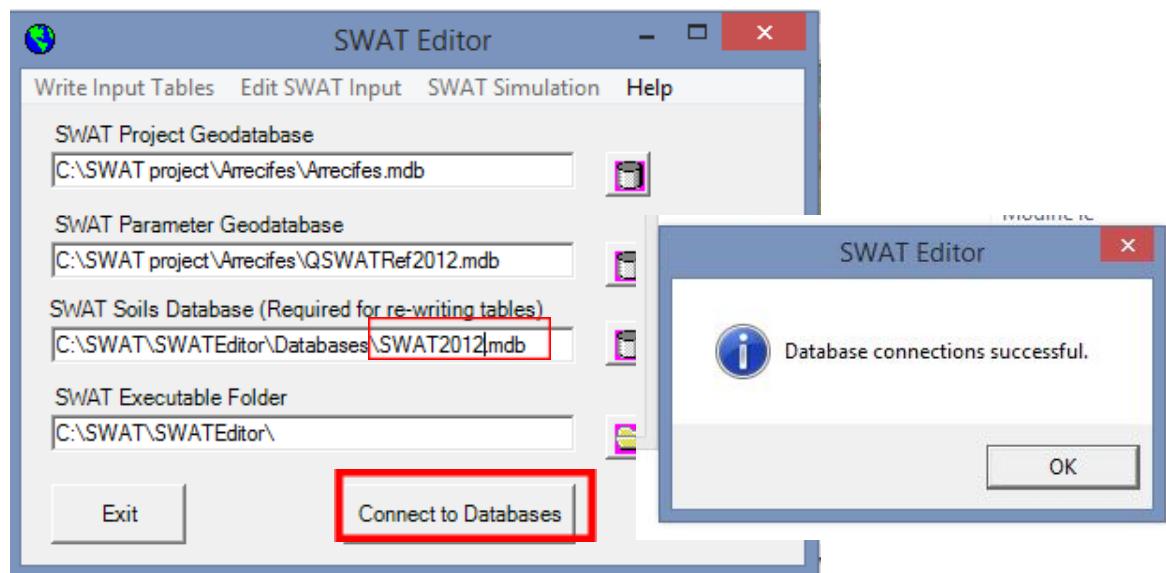


Figura 22 : Connect to Databases

### 7.2 Write Input Tables

#### 7.2.1 Importación de los datos de clima

Los pasos siguientes explican cómo importar los archivos de datos de clima que se preparó siguiente los pasos en la sección 3.5:

- 1) Ir a “Write Input Tables” Abrir Weather Station que contiene las pestanas a completar
- 2) Weather Generator Data

Entrar en Select “Monthly Weather Database”, “Locations Table” la table con las localizaciones de las estaciones climáticas y sus características. Si se crea una tabla WGEN, se pone el nombre de la tabla WGEN. Si no se crea ninguna tabla WGEN, se pone la tabla “WGEN\_user”

⇒ Dar le click “Ok”

- 3) Rainfall Data



- Seleccionar "Raingages"
  - "Locations Table", importar el archivo preparado « pcp.txt »
  - ⇒ Dar le click "Ok"
- 4) Temperature Data
- Seleccionar "Climate Stations"
  - "Locations Table" importar el archivo preparado « tmp.txt»
  - ⇒ Dar le click "Ok"
- 5) Relative Humidity Data
- Seleccionar "Relative Humidity Gages"
  - "Locations Table" importar el archivo preparado « hmd.txt»
  - ⇒ Dar le click "Ok"
- 6) Solar Radiation Data
- Seleccionar "Solar Gages"
  - "Locations Table" importar el archivo preparado « slr.txt»
  - ⇒ Dar le click "Ok"
- 7) Wind Speed Data
- Seleccionar "Wind Gages"
  - "Locations Table" importar el archivo preparado « wnd.txt»
  - ⇒ Darle click "Ok"
- 8) Una vez todos los datos de clima insertados, darle "OK"

## 7.2.2 Escritura de las bases de datos SWAT

Luego, para la escritura de las bases de datos SWAT hay que :

- 1) Ir a "Write Input tables" "Write SWAT Database tables".
- 2) Click en "Select All" y luego "Create tables" (Figura 23)

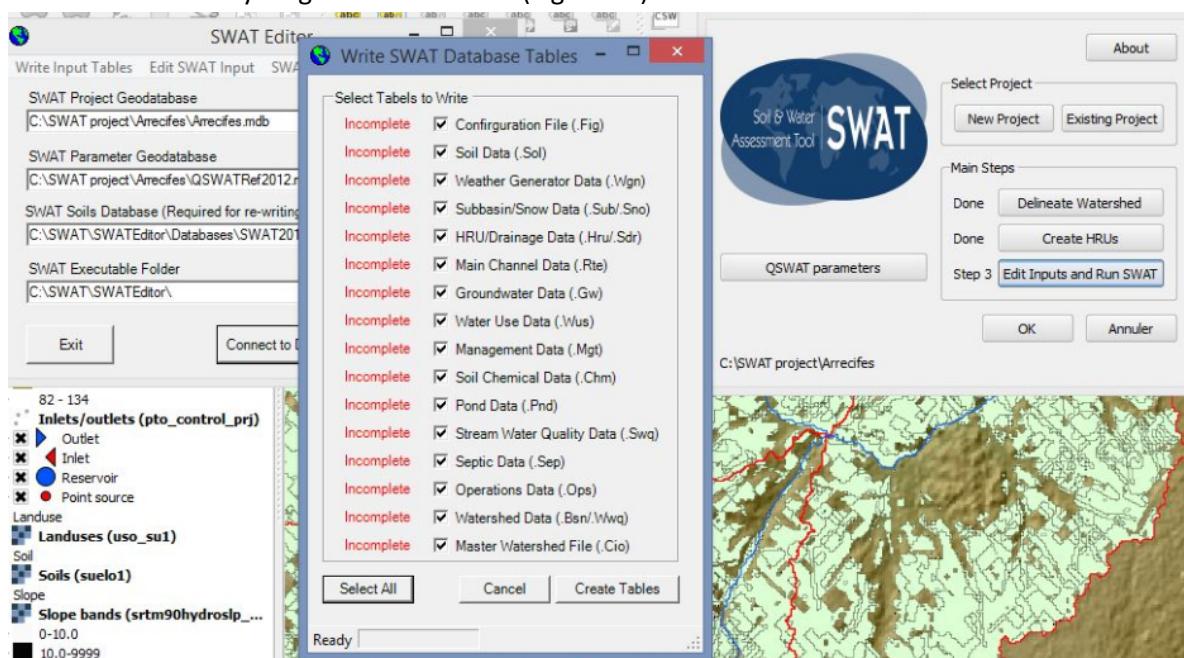


Figura 23 : Escritura de base de datos SWAT – Paso 1

- 3) Durante el proceso de escritura de las tablas, aparecen los mensajes siguientes:
  - "Use weather database to calculate heat units to maturity (US only)" Contestar "No"

- “Do you want to re-write the existing ‘pp’ (point source) information” Contestar “Si”
- 4) Cuando se termina la escritura de las tablas aparece un message diciendo que todas las tablas estan completas (Figura 24).

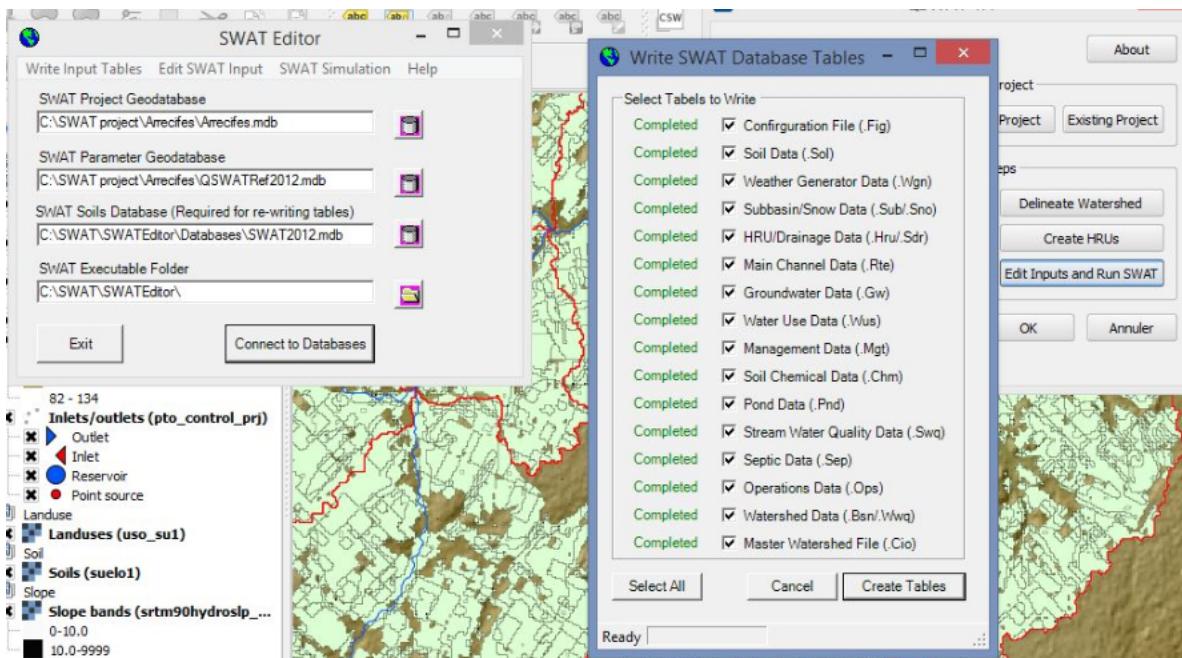


Figura 24 : Escritura de base de datos SWAT – Paso 2

**Nota:** Es importante verificar la tabla “WGN” que esta en la base de datos Access “NuevoProyecto.mdb” si las coordenadas de latitud y longitud están correctas (Figura 25). Cada línea corresponde a una estación meteorológica.



	wgn									
OID	SUBBASIN	STATION	WLATITUDE	WLONGITUD	WELEV	RAIN_YRS	TMPMX1	TMPMX2	TMPMX3	TMPMX4
1	1	wea80	-33.45	-95.55	179.8	10	11.68	13.94	18.82	
2	2	wea80	-33.45	-95.55	179.8	10	11.68	13.94	18.82	
3	3	wea80	-33.45	-95.55	179.8	10	11.68	13.94	18.82	
4	4	wea80	-33.45	-95.55	179.8	10	11.68	13.94	18.82	
5	5	wea80	-33.45	-95.55	179.8	10	11.68	13.94	18.82	
6	6	wea80	-33.45	-95.55	179.8	10	11.68	13.94	18.82	
7	7	wea80	-33.45	-95.55	179.8	10	11.68	13.94	18.82	
8	8	wea80	-33.45	-95.55	179.8	10	11.68	13.94	18.82	
9	9	wea80	-33.45	-95.55	179.8	10	11.68	13.94	18.82	
10	10	wea80	-33.45	-95.55	179.8	10	11.68	13.94	18.82	
11	11	wea80	-33.45	-95.55	179.8	10	11.68	13.94	18.82	
12	12	wea80	-33.45	-95.55	179.8	10	11.68	13.94	18.82	
13	13	wea80	-33.45	-95.55	179.8	10	11.68	13.94	18.82	

Figura 25 : Tabla WGN en base de datos Access “NuevoProyecto.mdb”

### 7.3 Edit SWAT Input

La pestaña “Edit SWAT Input” permite hacer modificaciones dentro de la base de datos original.

En función del objetivo del proyecto se usa de manera diferente esta pestaña.

**Nota:** Si hacemos un cambio, ir “Edit SWAT Input” “Re-write SWAT Input Files” Seleccionar la tabla donde hubo cambio ( Ej: tabla .bsn) “write files”. Permite integrar el cambio en la base de datos SWAT.

Siempre se puede verificar si el cambio se hizo yendo en las bases de datos Access y tambien en los archivos que estan en C:\SWAT project\NuevoProyecto\Scenarios\Default\TxtInOut.

Todos los parámetros se puede modificar via la interface SWAT – SWAT Editor – Edit SWAT input o directamente via las 2 bases de datos Access. Para las 2 maneras, siempre hay que actualizar los cambios con el “Re-write SWAT input files” que esta en el SWAT Editor.

### 7.3.1 Databases

La pestaña “Databases” permite de seleccionar un archivo como el de suelo o de pesticidas y de agregar un nuevo suelo (“Add new”) o hacer modificaciones dentro de un tipo de suelo especifico.

Cuando hicimos modificaciones Write input table Database Update.

### 7.3.2 Point sources discharges

En el STEP 1 “Add reservoirs and Point sources”, se puso en el mapa la localización de las fuentes puntuales de contaminación.

Para importar los valores de carga de estas fuentes, hay que ir a “Edit SWAT input” y luego “Point source discharges”. Se abre la ventana “Edit Point Source Inputs”. La Figura 30 muestra como importar los txt con los datos de fuentes puntuales de contaminación dentro del modelo. La creación de los txt se explica en la sección 4.2.

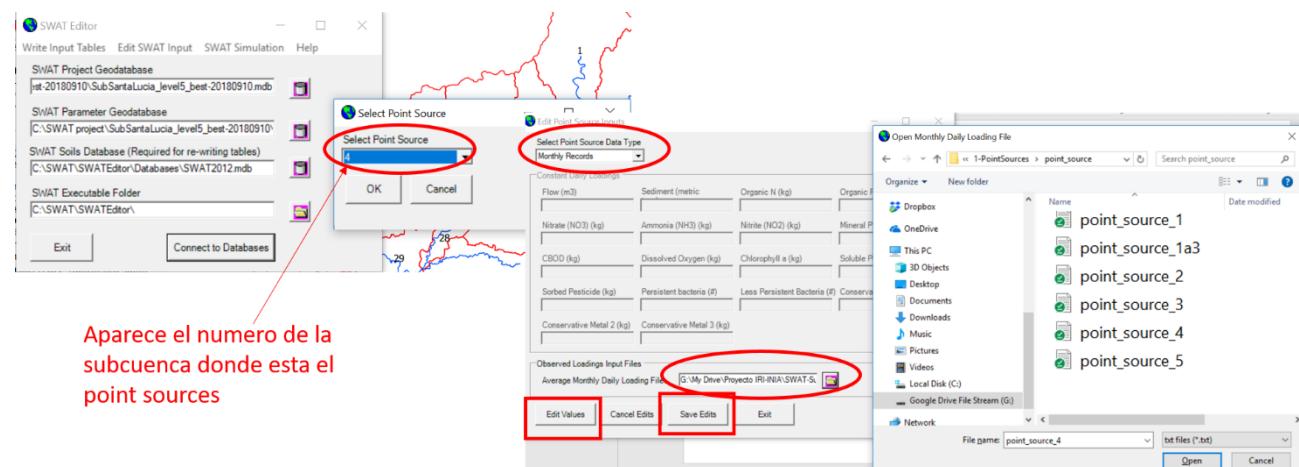


Figura 26 : Tabla WGN en base de datos Access “NuevoProyecto.mdb”

Una vez que se importó estos datos, hay que “re-escribir” la tabla point sources/inlet. La **Error!** **Reference source not found.** indica cómo hacerlo.

**Edit SWAT Input → Rewrite SWAT Input Files → point source/inlets  
→ write files**

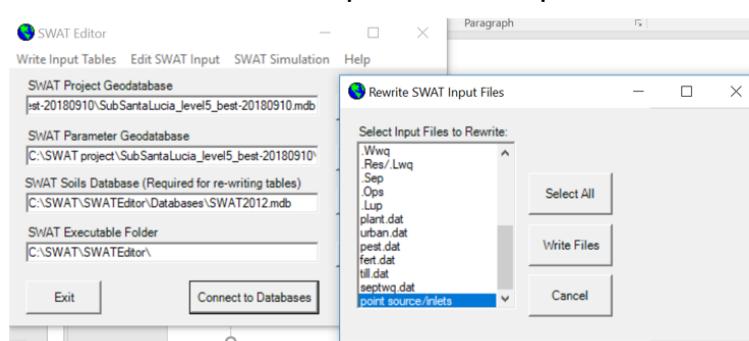


Figura 27 : Rewrite point sources in SWAT input files

### 7.3.3 Subbasin Data: Management

La pestaña “Subbasin Data” permite cambiar algo dentro de una subcuenca predefinida. Si queremos añadir manejos específicos a algunos usos de suelo, podemos hacerlo vía esta pestana.

En la sección 4.1 se explicó cómo crear los archivos para manejos de cultivos para algunos usos del suelo. Para importar estos manejos de cultivos generados, hay que ir en la sección “Subbasin data” y seleccionar “Management (.Mgt)” en la “SWAT Input Table”.

En la ventana “Edit Subbasin Inputs”, se va seleccionar una subcuenca con un uso de suelo en el cual hay que añadir un manejo específico (Por ejemplo “LECH” en la Figura 28).

Se abre una nueva ventana “Edit Management Parameters” en la cual se va a añadir los parámetros del manejo definidos siguiendo los pasos siguientes:

- Ventana “General Parameters”

Por ejemplo en la Figura 28, en “General Parameters”, es necesario definir el “Initial Land Cover” e añadir valores para LAI\_INIT, BIO\_INIT y PHU\_PLT así que BIO\_MIN para “Pasture” y “Grassland”. Estos valores están descritos en el capítulo 2.2.2 Rotación.

- Ventana “Operations”

Se va importar las operaciones de manejo que fueron definidas y ya escritas en la tabla “OpSchedules” que fue importada en la base de datos “QSWATRef2012.mdb”.

Para hacerlo, se da “clic” a “Add operation” y se selecciona el tipo de operación que queremos añadir a este tipo de suelo (Figura 28)

- Si queremos extender estos parámetros a por ejemplo todos los mismos usos de suelo, se puede seleccionar debajo de la tabla “Extend edits to selected HRUS” y luego seleccionar las subcuenas, usos de suelo, suelo y pendiente a los cuales se aplicara el mismo manejo (Figura 28).

Los parámetros que se van añadiendo en las secciones “General Parameters” y “Operations” fueron definidos anteriormente como se explicó en la sección 4.1.

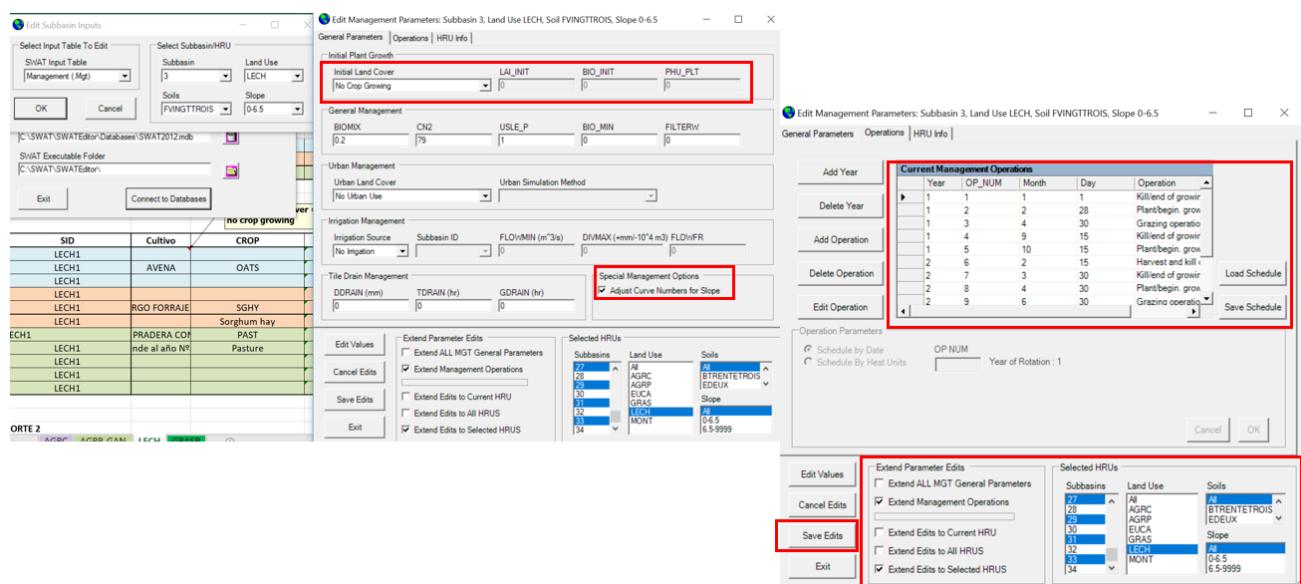


Figura 28: Ejemplo de importación del manejo LECH al uso de suelo LECH en el modelo SWAT

Una vez que se importó estos datos, hay que “re-escribir” la tabla .Mgt. La Figura 29 indica cómo hacerlo.

## Re-write SWAT input files .MGT after rotations

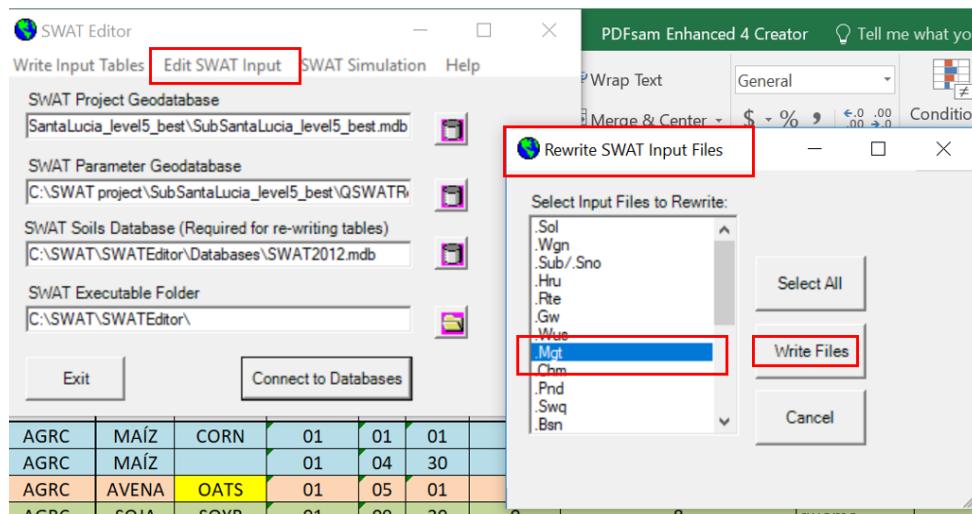


Figura 29: Re-escribir la tabla .Mgt después de importar las rotaciones

### 7.3.4 Subbasin Data: Chm

También, en la pestaña “Subbasin Data” se puede importar al modelo los datos químicos de suelos que fueron preparados en la sección 4.3

Par importar los datos químicos de suelos, se puede hacerlo de 2 maneras diferentes:

- 1) Manera “manual” via interface SWAT:

Ir en Edit SWAT inputs → Edit subbasin Inputs → .chm → manualmente editar los valores químicos. Este método es bastante lento.

- 2) Manera más rápida vía base de datos Access “NuevoProyecto.mdb”

- Exportar la tabla .chm de la base de datos Access “NuevoProyecto.mdb”
- Editar y completar la tabla chm como esta explicado en sección 4.3
- Importar la tabla chm completada nuevamente en la base de datos Access “NuevoProyecto.mdb”
- En el SWAT Editor, Re-write SWAT Input Files → Re-escribir tabla .chm

### 7.3.5 Watershed data

La pestaña “Watershed data”, permite de modificar por ejemplo los métodos de cálculo usados por SWAT (Ej: Watershed data → General data → Edit General Watershed Parameters .bsn) (Figura 30). Por ejemplo se puede cambiar el método de calculo de la evapo-transpiración potencial (“PET method”).

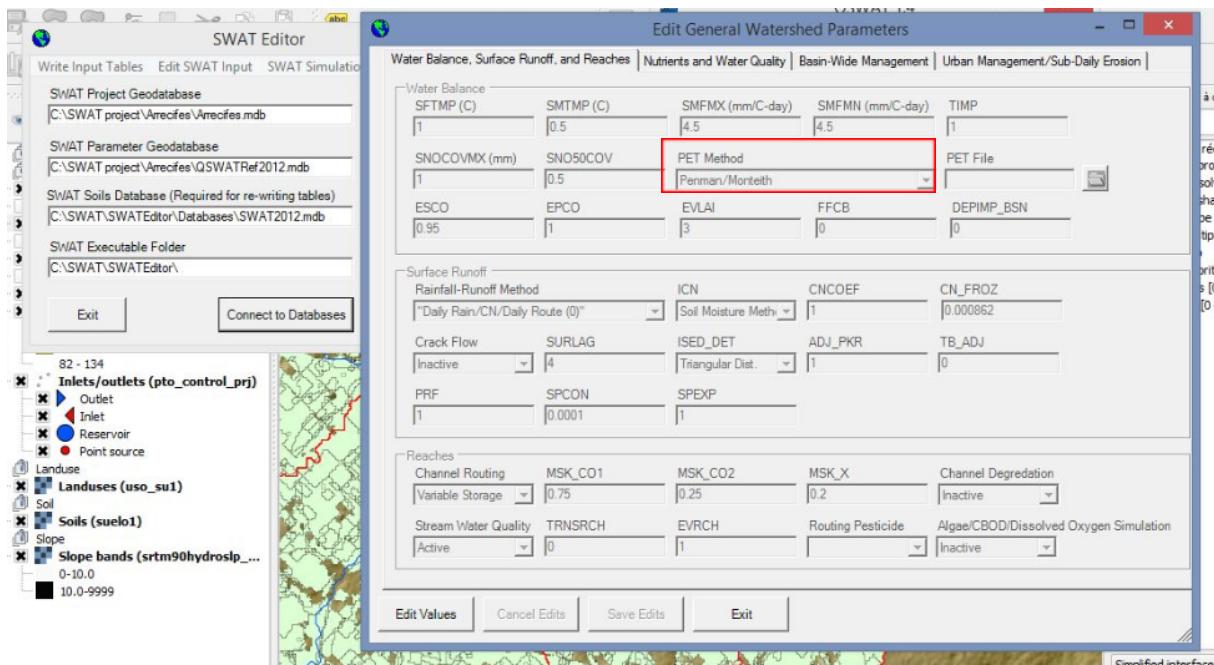


Figura 30 : Watershed data. Parametros y métodos de calculo de SWAT que se puede modificar

## 7.4 SWAT Simulation: Run SWAT

Ahora estamos listos para correr una simulación SWAT. Hay que ir a la pestaña “SWAT Simulation” “Run SWAT”.

Luego, seleccionar (Figura 31):

- 1) Definir los años de la corrida
- 2) SWAT.exe versión 64-bit, reléase (dependiendo del computador)
- 3) “Monthly” si los datos de caudal de calibración son mensual (más fácil para calibrar)
- 4) Definir el numero de años de calentamiento para que el modelo se estabiliza (NYSKIP). Por ejemplo, NYSKIP= 4
- 5) Elegir las salidas del modelo que nos interesa.  
Por ejemplo: Seleccionar “Print MGT Output ” para obtener archivos detallados de manejo
- 6) Clic en “Setup SWAT Run” y luego “Run SWAT” El modelo SWAT corre
- 7) Se recibe un mensaje “SWAT run successfully” cuando termino la corrida

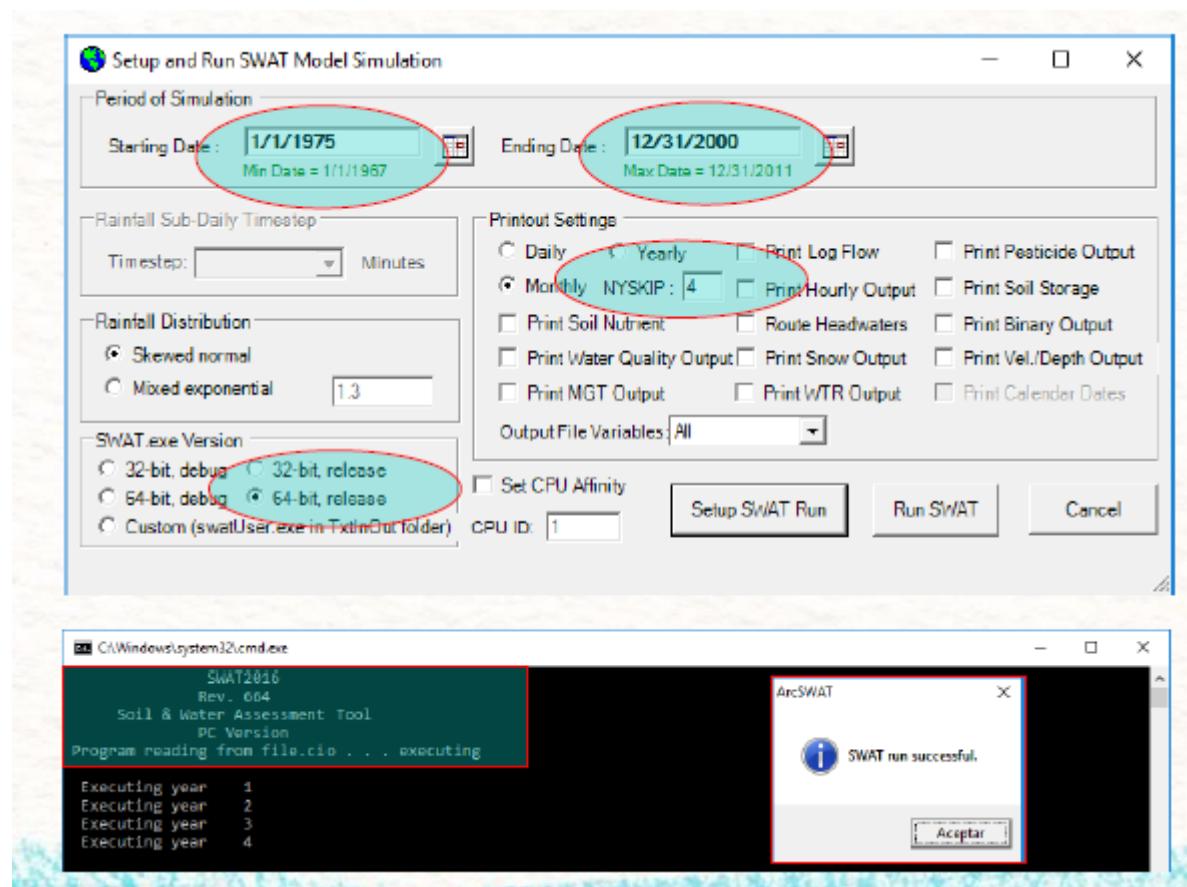


Figura 31 : Setup y corrida del modelo SWAT

## 7.5 SWAT Simulation: Read SWAT Output

Para leer los resultados de la corrida de SWAT, ir a la pestaña “SWAT Simulation” “Read SWAT Output” (Figura 32):

- 1) “Import files to databases” Si haces clic, importas los output seleccionados en las bases de datos Access
- 2) “Open output.std” Si haces clic, se abre un txt con resumen de los resultados
- 3) Los resultados estan en Scenarios Default TxtInOut SWAT Output (Ej: C:\SWAT project\NuevoProyecto\Scenarios\Default\TxtInOut)  
Si se quiere guardar la simulación en otro nombre Hacer clic en “Save Simulation”  
Se crea una carpeta con los resultados (Ej: C:\SWAT project\NuevoProyecto\Scenarios\Sim1\)
- 4) Ademas en “Review SWAT Ouput”, esta una herramienta que nos permite visualizar mejor los resultados (balance hídrico, rendimientos de cultivos, resumen estatisticas,...) Clic en “Run SWATCheck” (Figura 33).

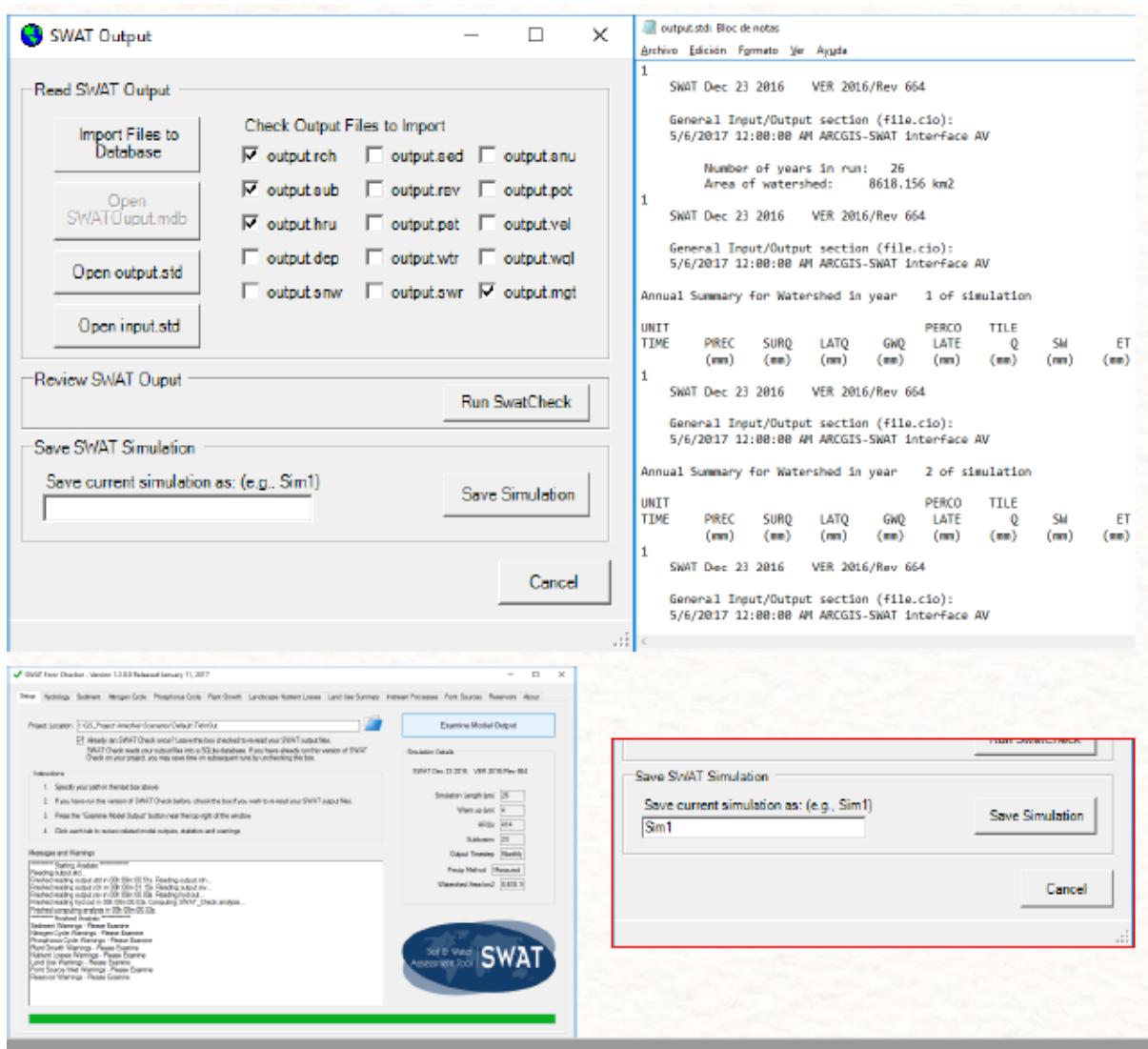


Figura 32 : Diferentes ventanas en Read SWAT Output

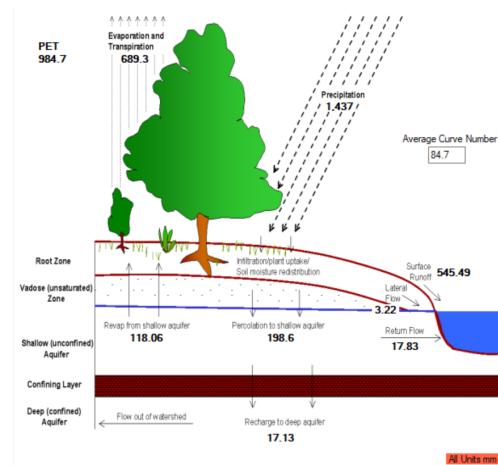


Figura 33 : SWAT check: Balance hídrico

## 8. Implementacion SWAT - STEP 4: Visualise

Despues de correr el modelo SWAT y de cerrar el SWAT Editor, aparece un STEP4 Visualise (Figura 34).



Figura 34 : STEP 4 Visualise

Esta herramienta permite vizualizar varios resultados de SWAT. Por ejemplo podemos visualizar el caudal de simulación Sim1 seleccionando lo siguiente:

- Choose scenario: Sim1
- Choose SWAT output table: “rch” for reach
- Choose period
- Choose variables: “Flow m<sup>3</sup>/s” clic “Add”
- Choose summary: en funcion de lo que quieres visualizar
- Clic “create”
- Nos da gráficos de la variable seleccionada, pero tambien animaciones a través del periodo definido en función de lo que se selecciona (“static data”, “animation”, “plot”).

La Figura 35 da un ejemplo de animación de caudal que se puede generar a partir del visualizador.

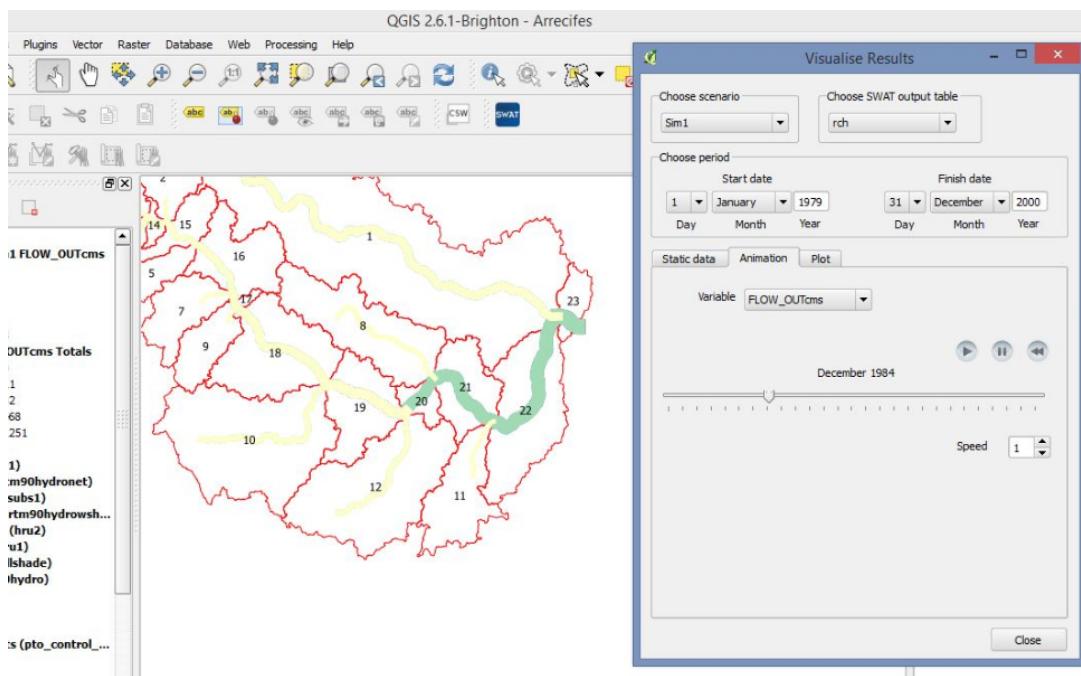


Figura 35 : Animación del caudal simulado de la simulación SWAT Sim1 entre el periodo 1979 y 2000