

**Calibración de SWAT utilizando
OSTRICH: Guía del Usuario
Versión en español**

Por: Karles Pescoran

02-06-2025

PREFACE

El presente manual tiene la intención de mostrar como calibrar el modelo SWAT y SWAT-GL utilizando la herramienta de calibración OSTRICH. Este documento, así como las rutinas y ejemplos presentados líneas abajo se pueden encontrar en (https://github.com/KarlesPescoran/OSTRICH_SWAT). Para más información sobre OSTRICH consultar la página oficial (<https://www.civil.uwaterloo.ca/envmodelling/Ostrich.html>).

***Nota:** Para simplificar, salvo que se especifique lo contrario, cuando se hable de SWAT también se estará hablando de SWAT-GL.*

REQUERIMIENTOS:

- Tener instalado Microsoft MPI (MS MPI)
- Tener instalado R (Rstudio)
- Tener instalados los paquetes de R (“dplyr”, “lubridate” y “openxlsx”)

Para otros requerimientos consultar la página oficial de OSTRICH.

DESCRIPCIÓN DE LOS ARCHIVOS

- **OSTRICH.exe:** Herramienta de calibración OSTRICH (extensión .exe). *Ubicación: no definida*
- **Rexe:** Ejecutable de R. *Ubicación: usualmente en "C:/Program Files/R/R-4.4.3/bin/Rscript.exe" dependiendo de la versión.*
- **SWAT.exe:** Ejecutable del modelo SWAT (extensión .exe). *Ubicación: no definida.*
- **Ostrich_SWAT_setup.R:** Rutina en R para que el usuario pueda crear los archivos y carpetas necesarias para calibrar el modelo SWAT con OSTRICH. *Ubicación: no definida.*
- **Carpeta de trabajo (WD):** Lugar donde se generarán las subcarpetas y archivos que contienen el modelo calibrado luego de compilar OSTRICH.exe. Contiene la carpeta "TxInOut". *Ubicación: no definida*
- **TxInOut:** Contiene los archivos necesarios para utilizar el modelo SWAT. Si se utiliza "QSWAT" o "ARCSWAT" se puede copiar esta carpeta de alguna de algunas de las subcarpetas de la carpeta "Scenarios". *Ubicación: WD*
- **source:** Almacena las rutinas para el cálculo de las métricas de calibración. *Ubicación: no definida.*
- **performance.R:** Rutina en R para el cálculo de las métricas de calibración. *Ubicación: source*
- **User_objective_function.R:** Rutina en R para que el usuario inserte 1 o más métricas de calibración. *Ubicación: source.*
- **User_output_read.R:** Rutina en R para que el usuario extraiga 1 o más salidas de SWAT (valores simulados de las variables). *Ubicación: source.*
- **Variables.xlsx:** Contiene las variables que se utilizarán para calibrar el modelo. En la **Tabla 1** se muestra su formato. *Ubicación: no definida (preferible WD).*

<i>File</i>	<i>Component</i>	<i>Column</i>
-------------	------------------	---------------

Tabla 1: Variables.xlsx – cabecera.

- **File:** Archivo de salida del modelo SWAT (*watout.dat*, *output.rch*, *output.hru*, ...). En caso de utilizar SWAT-GL seleccionar *User_output_read.R*. Dentro de él, el usuario podrá crear un algoritmo para extraer la variable de su elección. En **EX_2** se puede ver un ejemplo donde se extrae el cambio del área glaciar a nivel de cuenca en una calibración multiobjetivo.
- **Component:** En caso de SWAT, esta variable alude al **HRU** o subcuenca (**SUB**) del cual se quiere sacar la información. En caso de archivos como *output.hru* la unidad de trabajo son los **HRU**. Mientras que en archivos como *output.rch*, los **SUB**. Por defecto, cuando *File* = *watout.dat*, *Component* = 1. Asimismo, cuando *File* = *User_output_read.R*, no es necesario añadir valores a *Component* o *Column*. *Tipo de dato: numérico.*

- **Column:** Especifica la columna del *File* donde se encuentra la variable a calibrar. *Tipo de dato: numérico*
- **Params.xlsx:** Contiene los parámetros a calibrar. En la **Tabla 2** se muestra su formato. *Ubicación: no definida (preferible WD).*

<i>Parameter</i>	<i>InitialValue</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>Subbasin</i>	<i>Landuse</i>	<i>Soil</i>
------------------	---------------------	------------	------------	-----------------	----------------	-------------

Tabla 2: Param.xlsx – cabecera.

- **Parameter:** Parámetro a calibrar. Puede encontrar los nombres de los parámetros y su denominación en *swatParam.txt*
- **InitialValue:** Indica si quiere iniciar la calibración con un valor al azar, o uno predefinido. Este dato puede tener 3 tipos de valores. *InitialValue* = “**R**” indica que se iniciara con un valor *random*. *InitialValue* = “**I**” indica que el parámetro tendrá un valor inicial, el cual se obtendrá de los *valores por defecto* en los archivos del modelo de la carpeta *TxInOut*. Finalmente, *InitialValue* también puede tomar un *valor numérico* a elección del usuario (1, 0.23, 76.421, ...) con el cual se iniciará el parámetro.
- **Min & Max:** Indican los limites mínimos y máximos que el valor puede tomar durante la calibración. Estos valores deben estar dentro del rango especificado en *swatParam.txt*. *Tipo de dato: numérico*
- **Subbasin, Landuse & Soil:** Indican la subcuenca (Subbasin), el tipo de uso de suelo (Landuse) y el tipo de suelo (Soil) al cual afectara el parámetro escogido. Si se cuenta con diferentes rangos para distintos Subbasin, Landuse o Soil, se puede crear otra fila con el mismo parámetro para especificarlo. Si el valor es igual a “**ALL**” tomará todos los tipos disponibles. Adicionalmente, los tipos pueden ser agrupados separando los valores mediante “,”.
 - *Sub = 1, 3:* Indica que el parámetro solo afectara a la subcuenca 1 y 3. *Landuse = AGRL, ES10, BARR:* Indica que el parámetro solo afectara al tipo de uso de suelo AGRL, ES10 y BARR.
 - Tenga en cuenta que si la Subbasin, landuse o Soil indicada no existe, no se tomara en cuenta el valor inexistente. Por ejemplo, si *Landuse = AGRLL, ES10*, la rutina obviara AGRLL y el parámetro solo afectara a ES10 (suponiendo que AGRLL no existe).
 - No todos los parámetros utilizarán cada de uno de ellos. Un ejemplo son los que se encuentran en *basins.bsn* y *basins.wwq* que solo se encuentran a nivel de cuenca, o en *plant.dat* que solo se encuentra por tipo de *Landuse*.
- **swatParam.txt:** Contiene los formatos y rangos de cada parámetro. *Ubicación: no definida.*
- **Obs:** Carpeta que almacena los valores observados de las variables. *Ubicación: no definida.*
 - Los valores observados se encuentran en archivos llamados *Userobs_x.txt* (*separado por t*), donde *x* representa el número de la variable que se

utilizara para calibrar el modelo, de acuerdo al archivo *Variables.xlsx*. *Userobs_x.txt debe tener el mismo número de observaciones que los que se extraerán por cada variable en la simulación*. El formato del archivo se presenta en la **Tabla 3**.

<i>Date</i>	<i>Series</i>	<i>Type</i>
-------------	---------------	-------------

Tabla 3: UserObs_x.txt – cabecera.

- **Date:** Indica la fecha de cada observación. *Este valor no será utilizado, solo es de referencia para el usuario.*
- **Series:** Aquí se encuentran almacenados los datos observados
- **Type:** Puede tomar 2 valores. Si *Type* = *C* los datos serán utilizados para calibración. Si *Type* = *V* los datos serán utilizados para validación. Cualquier otro valor será supuesto como *NA*.
- **Sim:** Luego de ejecutar *OSTRICHexe*, se generará una carpeta llamada *Sim*. Esta constara de 1 archivo llamado *N_sim.txt*, el cual guarda el número de la simulación, 1 archivo llamado *ObjFunc.txt*, el cual guarda todas las métricas de calibración, así como *x* archivos llamados *sim_x.txt* relacionados a las variables observadas *Userobs_x.txt* de la carpeta *Obs*.
 - Los valores de las simulaciones en los archivos *sim_x.txt* están dispuestos verticalmente como: *c(Serie, "1", Serie, "2", ..., Serie, N)*, donde *N* es el número de simulaciones realizadas.
- **TxInOut_tpl:** Luego de ejecutar *Ostrich_SWAT_setup.R*, se generará una carpeta llamada *TxInOut_tpl* dentro de *WD*. Esta almacenará los archivos de *TxInOut* con una nueva extensión *“.tpl”* que **OSTRICH** actualizará en cada iteración de la calibración. *Ubicación: WD*.
- **Ost-SWAT.bat:** Contiene los comandos para ejecutar el modelo **SWAT**, además de otras tareas complementarias para poder calibrar **SWAT** con **OSTRICH**. *Ubicación: WD*.
- **ostIn.txt:** Este archivo contiene las tareas que **OSTRICH** realizará. Indica el método de calibración, archivos a intercambiar (.tpl), parámetros a calibrar, ejecutable del modelo, semilla para valores iniciales random, etc. Para más información consultar la página oficial de **OSTRICH**. *Ubicación: WD*.
- **BeginParams.txt:** Luego de ejecutar *Ostrich_SWAT_setup.R*, se generará un archivo llamado *BeginParams.txt* dentro de *WD*. Este archivo contiene la tarea *“BeginParams”* de *ostIn.txt*, el cual indica los parámetros a calibrar. Una vez generado, el usuario deberá reemplazar esta tarea en el archivo *ostIn.txt*.
- **BeginFilePairs.txt:** Luego de ejecutar *Ostrich_SWAT_setup.R*, se generará un archivo llamado *BeginFilePairs.txt* dentro de *WD*. Este archivo contiene la tarea *“BeginFilePairs”* de *ostIn.txt*, el cual indica los archivos del modelo a intercambiar en cada iteración (*TxInOut_tpl*). Una vez generado, el usuario deberá reemplazar esta tarea en el archivo *ostIn.txt*.

DESCRIPCIÓN DEL ARCHIVO OSTIN.TXT

A continuación, se realizará una descripción simplificada de las tareas/variables del archivo *ostIn.txt* de **OSTRICH**. Para mayor información, visitar su página oficial.

- **Program Type:** El algoritmo de calibración a utilizar
- **ObjectiveFunction = GCOP:** significa que el algoritmo utilizará métricas previamente calculadas. Estas luego pueden ser operadas entre sí para dar otra métrica con la cual calibrar el modelo.
- **ModelExecutable:** Ejecutable del modelo (en este caso SWAT). *Ost-SWAT.bat* permite, además de ejecutar el modelo, ejecutar otras tareas complementarias para poder calibrar SWAT.

```
ProgramType      DDS
ObjectiveFunction GCOP
ModelExecutable  Ost-SWAT.bat
```

Figura 1: ostIn: ProgramType, ObjectiveFunction y Model Executable.

- **ModelSubdir:** Indica el prefijo de cada simulación. Útil cuando se trabaja con más de 1 núcleo.

```
ModelSubdir processor_
```

Figura 2: ostIn: ModelSubdir.

- **BeginExtraDirs/EndExtraDirs:** En este grupo se enlistan las carpetas necesarias para ejecutar el modelo, pero que no necesitan ser cambiados. Los archivos (.tpl) son plantillas que contienen los parámetros a calibrar, con los cuales se genera los archivos que en realidad serán reemplazados.

```
BeginExtraDirs
TxtInOut
TxtInOut_tpl
EndExtraDirs
```

Figura 3: ostIn: BeginExtraDirs/EndExtraDirs.

- **BeginFilePairs/EndFilePairs:** En este grupo se enlistan las plantillas (.tpl) de los archivos a cambiar, y el nombre con el cual serán reemplazados.

```
BeginFilePairs
TxtInOut_tpl\000010004.gw.tpl; TxtInOut_tpl\000010004.gw
TxtInOut_tpl\000010005.gw.tpl; TxtInOut_tpl\000010005.gw
.
.
.
EndFilePairs
```

Figura 4: ostIn: BeginFilePairs/EndFilePairs.

- **BeginParams/EndParams:** En este grupo se enlistan los parámetros a calibrar y se configura como se realizará el cambio.

```

BeginParams
#parameter      init.    low      higher  tx_in  tx_ost  tx_out  fmt
P01      31      11.0483  483.9099      none  none    none    F16.4
P02      0.15555  0.0274   0.1949   none   none    none    F16.4
.
.
.
EndParams

```

Figura 5: ostIn: BeginParams/EndParams.

- **BeginResponseVars/EndResponseVars:** En este grupo se enlistan las métricas de calibración que influirán de alguna u otra forma en la calibración (ya sea operándose entre sí para forma otra, o utilizarlas directamente) y se selecciona de donde se extraerá su valor. Por defecto, cuando se trabaja con 1 variable, la métrica NSE de esa variable, se encuentra en la línea 1, columna 4. Si se trabaja con más de 1 variable, el valor de la siguiente estaría 3 líneas después en la línea 4. Es así que la métrica NRMSE de la segunda variable se encontraría en la línea 4, columna 10. Para ver la ubicación de las demás métricas de calibración, revisar el archivo *ObjFunc.txt*, el cual está separado por “,”.

```

BeginResponseVars
#name  filename                                     keyword      line   col   token
NS      ./TxtInOut/ObjFunc.txt;          OST_NULL      1      4     ','
NRMSE    ./TxtInOut/ObjFunc.txt;          OST_NULL      4     10    ','
.
.
.
EndResponseVars

```

Figura 5: ostIn: BeginResponseVars/EndResponseVars.

```

Nsim,V,type,NSE,R2,PBIAS,KGE,RSR,RMSE,NRMSE,UObjFunc_1
1,V1,C,0.374,0.463,-24.215,0.596,0.791,0.15,0.791,0.468
1,V1,V,0.393,0.459,-4.115,0.669,0.779,0.208,0.779,0.608
1,V1,ALL,0.394,0.465,-13.823,0.648,0.779,0.176,0.779,0.546
1,V2,C,-5.99,0.464,78.944,-0.03,2.644,0.716,2.473,-22.107
1,V2,V,-29.645,NA,96.25,NA,5.536,0.261,4.52,-76.43
1,V2,ALL,-2.444,0.358,80.835,0.091,1.856,0.626,1.769,-8.359

```

Figura 6: ObjFunc.txt.

- **BeginTiedRespVars/EndTiedRespVars:** En este grupo se configura como se trabajará las métricas de calibración. Por defecto OSTRICH siempre intentara minimizar la función objetivo. Por ello, si se utilizara una métrica como NSE, la cual mientras más alto su valor mejor, es necesario adecuarla. En este caso, se coloca “NegNS 1 NS wsum -1.00”, lo cual significa que se utilizara “1” métrica llamada “NS”, la cual se multiplicara por “-1” y se guardara como “NegNS”.

```

BeginTiedRespVars
NegNS 1 NS wsum -1.00
.
.
.
EndTiedRespVars

```

Figura 7: ostIn: BeginTiedRespVars/EndTiedRespVars.

- **BeginGCOP/EndGCOP:** En este grupo se enlista las métricas que se utilizarán directamente en la calibración (funciones objetivo). Cuando la calibración es singleobjective, solo se añade 1 *CostFunction*. Para calibración multiobjetivo se pueden añadir más. La variable *PenaltyFunction* siempre tiene que ser colocada aún si no es utilizada.

```
BeginGCOP
  CostFunction NegNS
  CostFunction NRMSE
  .
  .
  .
  PenaltyFunction APM
EndGCOP
```

Figura 8: ostIn: BeginGCOP/EndGCOP.

- **BeginConstrains/EndConstrains:** Este grupo está relacionado a la variable *PenaltyFunction* del grupo *BeginGCOP/EndGCOP*. Añade una penalidad a las funciones objetivos si las variables a calibrar tienen un valor no deseado. Aún cuando no se añada penalidades, este grupo debe ser declarado.

```
BeginConstrains
  # not needed when no constraints, but PenaltyFunction statement above is required
  # name      type      penalty      lwr      upr      resp.var
EndConstrains
```

Figura 9: ostIn: BeginConstrains/EndConstrains

- **RandomSeed:** Cuando los parámetros son inicializados con un valor random, *RandomSeed* sirve para que la calibración puede ser replicada nuevamente.

```
RandomSeed 4321
```

Figura 10: ostIn: RandomSeed

- **Configuración del algoritmo de calibración:** En **Program Type** se definió que algoritmo se utilizará en la calibración, los cuales dependen del método. En la **Figura 11**, se presenta un ejemplo para los algoritmos de “*DDS*”, “*PADDs*” y “*GLUE*”, los cuales se encuentran en los ejemplos **EX_1**, **EX_2** y **EX_3**.

BeginDDSAIlg	BeginPADDs	BeginGLUE
PerturbationValue 0.20	MaxIterations 21	SamplesPerIter 10
MaxIterations 5	PerturbationValue 0.2	NumBehavioral 10
#UseRandomParamValues	# SelectionMetric Random	MaxSamples 45
UseInitialParamValues	# SelectionMetric CrowdingDistance	Threshold -0.5
EndDDSAIlg	# SelectionMetric EstimatedHyperVolumeContribution	EndGLUE
	SelectionMetric ExactHyperVolumeContribution	
	EndPADDs	

Figura 11: ostIn: Configuración del algoritmo DDS (izquierda), PADDs (centro) y GLUE (derecha).

PASOS PARA CALIBRAR SWAT CON OSTRICH

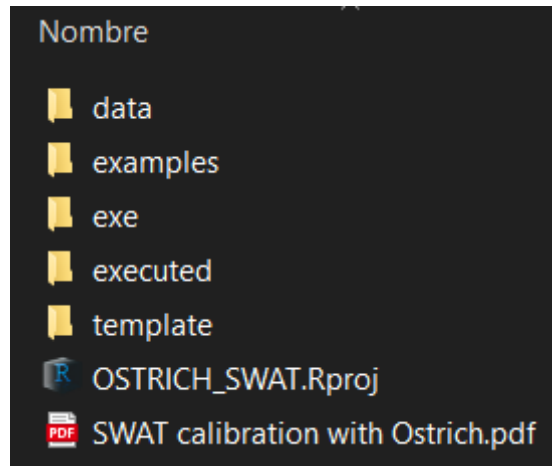
Descargar los ejemplos de (https://github.com/KarlesPescoran/OSTRICH_SWAT). Dentro se encontrarán 3 ejemplos:

EX_1: Este es un ejemplo de cómo calibrar SWAT con el método de calibración singleobjective “Dynamically Dimensioned Search” (DDS). La variable de calibración es el caudal de la cuenca a nivel mensual.

EX_2: Este es un ejemplo de cómo calibrar SWAT-GL con el método de calibración multiobjective “Asynchronous Parallel Dynamically Dimensioned Search” (PDDS). Las variables de calibración son el caudal a nivel mensual y el área glaciar a nivel anual de la cuenca.

EX_3: Este es un ejemplo de cómo calibrar SWAT con el método de calibración singleobjective “Generalized Likelihood Uncertainty Estimation” (GLUE). Las variables de calibración son el caudal de la cuenca a nivel mensual.

Cuando descargue **OSTRICH_SWAT.zip** se deberá de la siguiente forma.



El archivo **ostIn.txt** de cada ejemplo ya se encuentra configurado. Para ejecutar los ejemplos, siga los siguientes pasos.

1. PASO 1: Actualizar las direcciones en los archivos performance.R y Ostrich_SWAT_setup.R

Pueden saltarse este paso si la carpeta tiene como ruta *C:/OSTRICH_SWAT/examples/EX_1* (dependiendo del ejemplo). Caso contrario. Tiene que abrir el archivo *performance.R* y *Ostrich_SWAT_setup.R* y cambiar las direcciones. Vea **Tabla 4** y **Tabla 5**, y **Figura 12** y **Figura 13**.

Objetivo	Denominación en performance.R	Nombre o ruta
source	source path	<u>Ruta completa</u>
variables.xlsx	targetVariables path	<u>Ruta completa</u>
Obs	obsVariables path	<u>Ruta completa</u>
TxtInOut	TxtInOut name	<u>Nombre de la carpeta</u>

Tabla 4: performance.R – valores a reemplazar dentro del archivo.

```

19 #####
20 # SET FILE PATHS (USER)
21 #####
22 # Full paths
23 #workdir          <- "C:/PROYECTOS/OSTRICH_cleaning/PRUEBA01"
24 source_path      <- "C:/PROYECTOS/OSTRICH_cleaning/PRUEBA01/source"
25 targetvariables_path <- "C:/PROYECTOS/OSTRICH_cleaning/PRUEBA01/variables.xlsx"
26 obsvariables_path  <- "C:/PROYECTOS/OSTRICH_cleaning/obsm"
27 # Just the name
28 TxtInOut_name     <- "TxtInOut"

```

Figura 12: performance.R – valores a reemplazar dentro del archivo.

Objetivo	Denominación en Ostrich_SWAT_setup.R	Nombre o ruta
WD	Workdir	<u>Ruta completa</u>
Rexe	R exe	<u>Ruta completa</u>
swatParam.txt	SWATParams_path	<u>Ruta completa</u>
params.xlsx	targetParams_path	<u>Ruta completa</u>
SWATexe	SWATexe	<u>Ruta completa</u>
source	source path	<u>Ruta completa</u>
TxtInOut	TxtInOut_path	<u>Nombre de la carpeta</u>

Tabla 5: Ostrich_SWAT_setup.R – valores a reemplazar dentro del archivo.

```

14
15 #####
16 # SET FILE PATHS (USER)
17 #####
18 # Set working directory (it should contain "TxtInOut" dir) #####
19 R_exe           <- "C:/Program Files/R/R-4.4.3/bin/Rscript.exe"
20 workdir         <- "C:/OSTRICH_SWAT/EX_1"
21 SWATParams_path <- "C:/OSTRICH_SWAT/swatParam.txt"
22 targetParams_path <- "C:/OSTRICH_SWAT/EX_1/params.xlsx"
23 SWATexe         <- "C:/OSTRICH_SWAT/Rev_692_64rel.exe"
24 source_path     <- "C:/OSTRICH_SWAT/EX_1/source"
25 TxtInOut_path   <- "TxtInOut"

```

Figura 13: Ostrich_SWAT_setup.R – valores a reemplazar dentro del archivo.

2. PASO 2: Configuración de OSTRICH con SWAT

Abrir Rstudio y ejecutar la rutina de *Ostrich_SWAT_setup.R*. En caso de alguna advertencia, esta aparecerá en la caja de comandos. Para ejemplificar se puso algunos tipos de Landuse y Soil que no existen en el modelo (puede existir en la base de datos de SWAT, pero no necesariamente en el modelo creado) (Ver **Figura 14**).

```

[1] "Avisos:"
[1] "Landuse AGRL does not exist in your model"
[1] "Landuse STG does not exist in your model"
[1] "Soil 2 does not exist in your model"
[1] "Soil 2 does not exist in your model"

```

Figura 14: Ejemplo de advertencia en Ostrich_SWAT_setup.R.

Deberán aparecer la carpeta *TxtInOut_tpl* y los archivos *BeginParams.txt* y *BeginFilePairs.txt* en *WD*. Ver **Figura 15**.

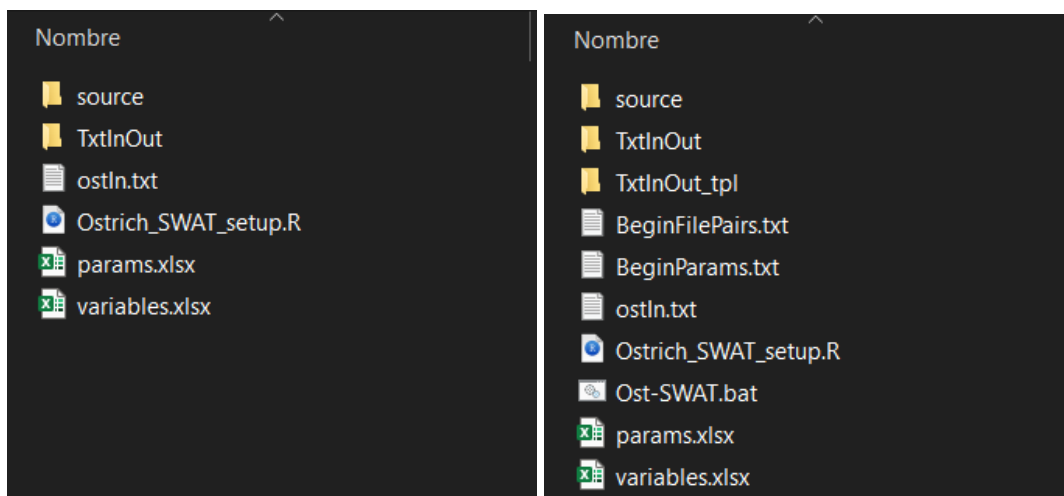


Figura 15: WD antes y después de ejecutar Ostrich_SWAT_setup.R.

En **WD** abre el archivo **ostIn.txt** y reemplaza el contenido de **BeginParams.txt** y **BeginFilePairs.txt** en las tareas correspondientes de **OstIn.txt**. Asimismo, añade las carpetas **TxInOut** y **TxInOut_tpl** en la tarea **BeginExtraDirs**. Si el usuario cambio el nombre de las carpetas, deberá copiar ese nombre en su lugar. Ver **Figura 16**.

```

ProgramType          DDS
ObjectiveFunction     GCOP
ModelExecutable       Ost-SWAT.bat
#PreserveBestModel   save_best.bat
# "C:\Program Files\R\R-4.4.3\bin\Rscript.exe" performance.R

ModelSubdir processor_

BeginExtraDirs
TxInOut              ←
TxInOut_tpl          ←
EndExtraDirs

BeginFilePairs
EndFilePairs          ←

#Parameter/DV Specification
BeginParams           ←
EndParams

```

Figura 16: Tareas a reemplazar en ostIn.txt.

3. PASO 3: Ejecutar OSTRICH

Abrir la consola de comandos de Windows y colocarse en la carpeta **WD**. Este se puede hacer escribiendo **cmd** en el buscador de **WD**, o escribiendo **cd WD** en la consola de comandos. Ver **Figura 17**.

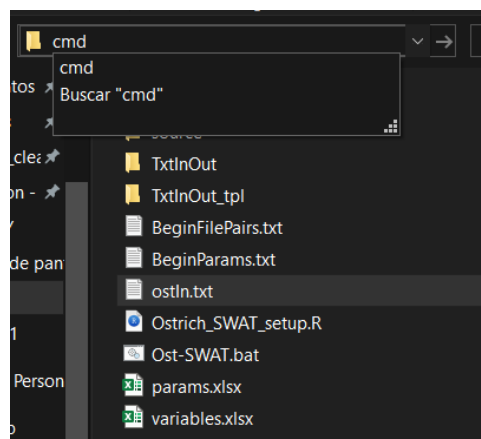


Figura 17: Abrir caja de comandos.

Finalmente ejecuta **OSTRICH** escribiendo la ruta de **OSTRICH.exe**. Ver **Figura 18**.

```
C:\OSTRICH_SWAT\EX_1>C:\OSTRICH_SWAT\Ostrich_v20171219_Windows.exe
```

Figura 18: Ejecutar OSTRICH.