"CONSULTORÍA PARA LA ACTUALIZACIÓN DEL MAPA DE RECARGA HÍDRICA Y AUTOMATIZACIÓN DE HERRAMIENTAS PARA LA GESTIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS" SLV-056-B"

Contrato MARN/AECID/SLV-056-B Nº 14/2018

Producto 5: Módulo para la automatización de la recarga hídrica

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
GOBIERNO DE EL SALVADOR
UNÁMONOS PARA CRECER

EMBAJADA DE ESPAÑA EN EL SALVADOR
cooperación española
FCAS Fondo de Cooperación para Agua y Saneamiento

FECHA: DICIEMBRE 2018

AUTORES:
FEDERICO I. CASTELLANOS
CONSTANCIO AMURRIO
PABLO BLANCO

PRODUCTO 5: MÓDULO PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LA RECARGA HÍDRICA

INDICE

1. ANTECEDENTES 3
2. OBJETIVOS 4
3. MÓDULO DE AUTOMATIZACIÓN DE LA GENERACIÓN DEL MAPA DE RECARGA HÍDRICA 5
4. MANUAL DE USO E INSTALACIÓN DEL MÓDULO DE AUTOMATIZACIÓN 6
5. CONCLUSIONES 11

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Carga de la herramienta desde el Arctoolbox 6
Figura 2. Vista del mxd con el mapa base y las capas precargadas 7
Figura 3. Herramienta una vez cargada en el Arctoolbox 7
Figura 4. Modelos del toolbox que contiene la herramienta 7
Figura 5. Modelo para el cálculo de la fracción que infiltra, usando una capa de puntos 8
Figura 6. Modelo de recarga hídrica anual 9
Figura 7. Interfaz de usuario del módulo de recarga mensual 10

1. ANTECEDENTES

Los trabajos de la presente consultoría se están desarrollando dentro del marco del *Proyecto Integrado de Agua, Saneamiento y Medio Ambiente,* que ejecuta el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) y que persigue contribuir al incremento de cobertura, calidad y sostenibilidad de los servicios de agua potable y saneamiento, así como el fortalecimiento de la gestión integrada del recurso hídrico. Cuenta con el apoyo del Fondo para la Cooperación en Agua y Saneamiento (FCAS), gestionado por la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID).

Las actividades que engloba dicho proyecto incluyen la generación de herramientas para el conocimiento del estado y protección del recurso hídrico subterráneo, así como para su automatización. En este caso, el mapa de recarga y la vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos. Para ello, el procesado de los datos se realiza empleando herramientas GIS. También se ha realizado trabajo de campo para generar algunos de los insumos necesarios para poder definir esos mapas.

Vielca Ingenieros, S.A. resulta adjudicataria de los servicios de consultoría, recibiendo el 16 de julio de 2018 la correspondiente *Orden de Inicio* de los mismos.

Con fecha 23 de julio de 2018 se presenta el *Producto 1. Plan de trabajo*, sobre el que se hicieron algunas observaciones por parte del MARN que fueron atendidas, consiguiéndose la recepción favorable del producto el día 27 de julio de 2018.

Con fecha 13 de septiembre de 2018 tiene lugar la entrega del *Producto 2. Insumos para la recarga hídrica*. Sobre este documento también se hicieron algunas observaciones, que fueron atendidas y entregadas en nuevo informe con fecha 05 de octubre de 2018.

Con fecha 12 de octubre tuvo lugar la entrega del *Producto 3: capacidad de infiltración básica de suelos*. Este producto fue aprobado sin observaciones.

Con fecha 12 de noviembre de 2018 tuvo lugar la entrega del *Producto 4: mapa de recarga hídrica potencial*, sobre el que posteriormente se han hecho algunas mejoras en algunas zonas del país.

2. OBJETIVOS

El **objeto de los trabajos** es la actualización del mapa de recarga potencial de los acuíferos del país mediante la aplicación de la metodología de *Gunter Schosinsky* (2006), con el propósito de obtener una herramienta de análisis que ayude en la planificación del territorio y en el establecimiento de medidas de prevención frente a actividades antrópicas o fenómenos naturales que puedan propiciar un agotamiento de dichas masas de agua.

De manera más detallada se incluyen los siguientes **objetivos** de la consultoría:

- Obtención de los mapas actualizados tanto de recarga hídrica como de vulnerabilidad de los acuíferos frente a la contaminación del país.
- Un documento con el resultado de la evaluación de los datos de partida y la metodología empleada para la generación de los insumos necesarios para la generación de la cartografía.
- Una herramienta informática que automatice los procesos de elaboración y actualización de la cartografía indicada.
- Manuales de instalación y uso de los módulos para la automatización del cálculo del mapa tanto de recarga hídrica como de vulnerabilidad intrínseca.

El presente *Producto 5: Módulo de automatización de la recarga hídrica*, consiste en la presentación de los siguientes elementos:

- Módulo de automatización de la generación del mapa de recarga hídrica potencial de El Salvador.
- Manual de uso e instalación del módulo de automatización.

3. MÓDULO DE AUTOMATIZACIÓN DE LA GENERACIÓN DEL MAPA DE RECARGA HÍDRICA

El módulo de automatización de la generación del mapa de recarga hídrica consiste en una *Toolbox* de *Arcmap*, sobre la que se han generado dos modelos con *Model builder*, uno para el cálculo individual de la recarga mensual y otro para la recarga anual.

El *Model builder* crea una secuencia que se ejecuta automáticamente, con todos las operaciones espaciales y geoprocesos realizados a partir de los inputs (los llamados parámetros), hasta obtener el resultado final deseado, pudiendo incluso cargar los resultados parciales que se van generando durante dicho proceso.

El producto es, por tanto, una herramienta que se carga en la barra de *Toolboxs* de Arcmap (la conocida como *Arctoolbox*). Esta herramienta despliega un cuadro de diálogo en que cada variable está definida. Por tanto, no es necesario tener conocimientos de programación o de *Model builder* para utilizarla. Es de hecho una herramienta de geoprocesado más.

La copia digital de la herramienta se acompaña al presente informe.

4. MANUAL DE USO E INSTALACIÓN DEL MÓDULO DE AUTOMATIZACIÓN

Más que una instalación, lo único que se requiere es cargar la herramienta en el *Arctoolbox*. Para ello, una vez abierto el *Arcmap* y el *Arctoolbox*, se empleará la opción de *Add toolbox*, que se activa haciendo clic con el botón derecho, como se observa en la siguiente figura:

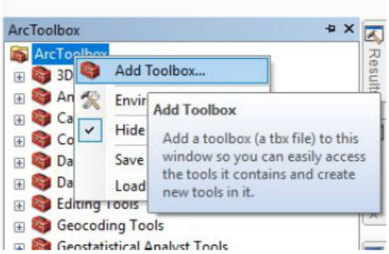


Figura 1. Carga de la herramienta desde el Arctoolbox

Una cuestión importante es que, para que todo funcione correctamente, la herramienta se tiene que cargar sobre un determinado *mxd* que lee de una *geodatabase* (*Base_recarga_WGS84.gdb*) con los datos fijos de entrada. El nombre del *mxd* puede ser cualquiera, por tanto dicho nombre puede ser cambiado respecto al que tiene el *mxd* facilitado en la entrega. Lo que no debería cambiar es el nombre de la *geodatabase.*

Para calcular el modelo de recarga hay algunos datos que puede seleccionar el usuario (parámetros) y otros fijos. Dichos parámetros son explicados en los párrafos siguientes. Estos datos fijos también podrían ser sustituibles en la *geodatabase* dándoles el mismo nombre de los que existen ahora. Los datos fijos vienen precargados en dicho mxd (*Modelo Recarga.mxd*), que se acompaña a este informe. La versión que se debería emplear es *Arcmap* licencia *arcinfo* versión 10.3. Se emplean geoprocesos incluidos en la extensión *Spatial Analyst*, habiéndose sustituido los geoprocesos existentes de la versión anterior, que algunos se encontraban en la extensión *Geostatistical Analyst*. También se ha tomado en cuenta en el modelo las áreas urbanizadas. Son un *input* más consistente en un ráster con la localización de las zonas urbanizadas. El uso urbano deberá tener un valor de píxel igual a 1 y el resto de usos 0.

Al abrir el mxd se carga un mapa base para facilitar la contextualización geográfica del trabajo.

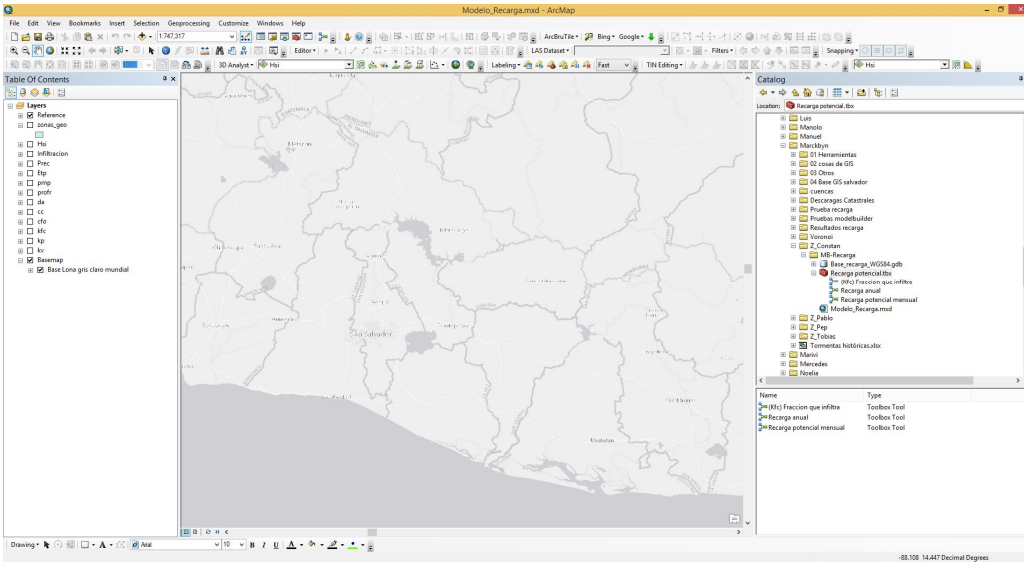


Figura 2. Vista del mxd con el mapa base y las capas precargadas

Una vez cargada la herramienta, aparece en el *Arctoolbox* tal y como se observa en la siguiente figura:

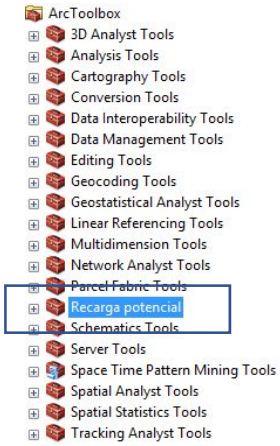


Figura 3. Herramienta una vez cargada en el Arctoolbox

El *toolbox* que se carga consiste en tres modelos, tal y como se observa en la siguiente figura:

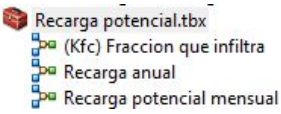


Figura 4. Modelos del toolbox que contiene la herramienta

El modelo de recarga hídrica anual necesita de los siguientes *inputs*.

Es aconsejable ejecutar el modelo desde una unidad de disco fija (como C:/) para agilizar los cálculos.

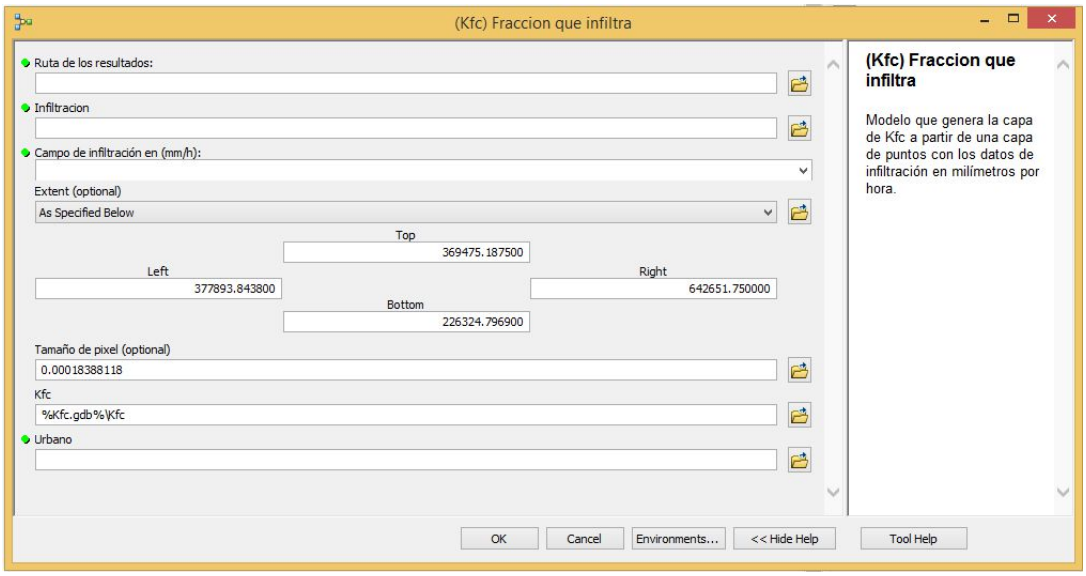


Figura 5. Modelo para el cálculo de la fracción que infiltra, usando una capa de puntos

- **Ruta**: Este campo contiene la ruta donde se realizarán cálculos intermedios, y se generarán los archivos de salida.
- **Fracción que infiltra por textura**: Ráster de entrada que muestra la fracción de agua que infiltra en fusión de la textura del suelo. Este ráster se calcula mediante la expresión Kfc=0.267*Ln(Fc)-0.000154*Fc-0.723, donde Fc es la infiltración básica en mm/día. Se ha generado un modelo independiente para poder hacer este cálculo partiendo de una capa de puntos con datos de infiltración georeferenciados (con el valor de infiltración en mm/hora). El paso de mm/hora a mm/día lo realiza el propio modelo. Este modelo hace un IDW a partir de la capa de puntos en proyección WGS-84 para la extensión de todo el país. Hay que añadir también las áreas urbanas tal y como se indicaba anteriormente.

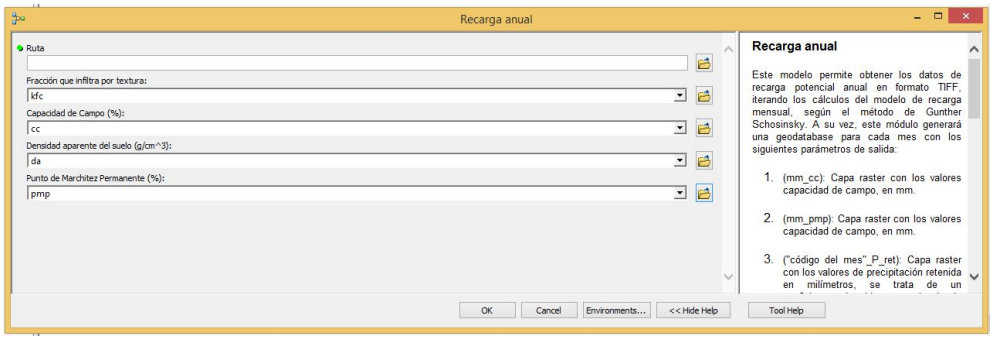


Figura 6. Modelo de recarga hídrica anual

Al ejecutar este modelo, se generan en la carpeta seleccionada los siguientes outputs en formato tiff:

1. (cc_mm): Capa ráster con los valores capacidad de campo, en mm.
2. (pmp_mm): Capa ráster con los valores del punto de marchitez permanente, en mm.
3. ("código del mes"_P_ret): Capa ráster con los valores de precipitación retenida en milímetros, se trata de un coeficiente obtenido a partir de la ponderación de las precipitaciones del mes con el coeficiente de retención del follaje siendo (0.2) el coeficiente para bosques muy densos y 0.12 para el resto.
4. "código del mes"_Esc: Capa ráster de escorrentía.
5. ("código del mes"_P_ini): Capa ráster con la precipitación que infiltra, en mm.
6. ("código del mes"_C): Coeficiente de infiltración del suelo.
7. ("código del mes"_ETR): Evapotranspiración real del mes.
8. ("código del mes"_C1): Coeficiente antes de que ocurra la ETR del mes.
9. ("código del mes"_C2): Coeficiente después de que ocurra la ETR del mes.
10. ("código del mes"_HD): Humedad disponible del mes, en mm.
11. ("código del mes"_Hsf): Humedad del suelo al final del mes, en mm.
12. ("código del mes"_Rp): Recarga potencial del mes, en mm.

El código del mes se corresponde con las tres primeras letras del mes, por ejemplo la recarga potencial de abril será "Abr_Rp".

Para el caso del modelo de cálculo de la recarga por mes, la interfaz gráfica es la siguiente:

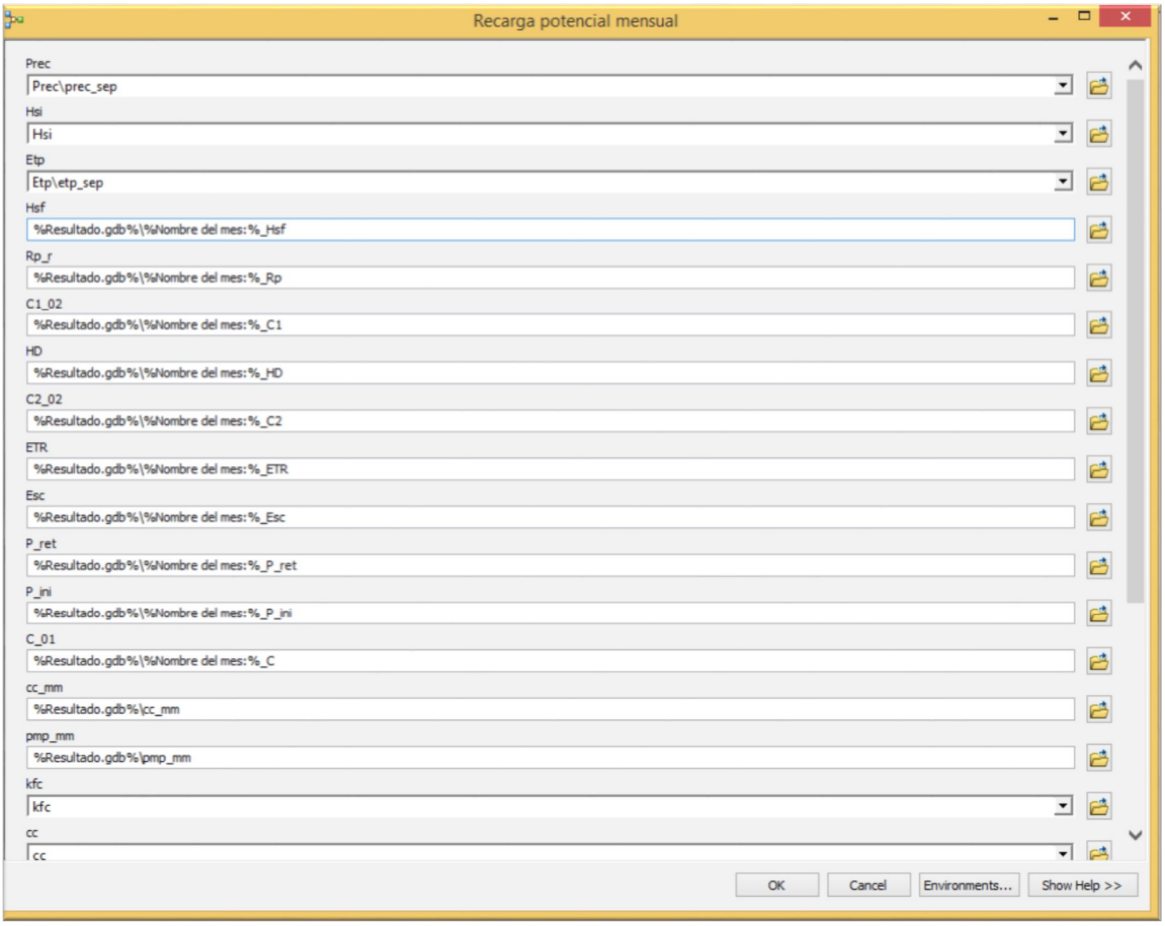


Figura 7. Interfaz de usuario del módulo de recarga mensual

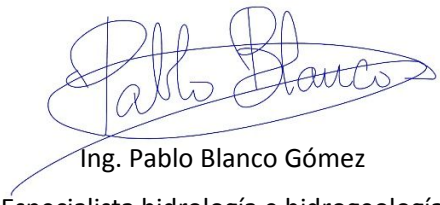
El modelo genera los mismos *outputs* de la recarga anual, pero referidos al mes. De hecho, no es módulo como tal, sino que el mismo sirve de apoyo al anual. Al haber sido generado, se ha decidido incorporarlo en la entrega, pero es conveniente emplear el de recarga anual.

5. CONCLUSIONES

Se ha presentado el *Producto 5: Módulo para la automatización de la recarga hídrica* en el que se desarrolla el modelo de recarga hídrica de Gunter-Schosinsky integrado en una *Toolbox* de Arcmap. En cumplimiento de los TdR, se presentan también las instrucciones de instalación y uso de la herramienta.

En San Salvador a 12 de diciembre de 2018

Ing. Federico Castellanos
Coordinador de la consultoría



Ing. Pablo Blanco Gómez
Especialista hidrología e hidrogeología

ANEXO: ABREVIATURAS

Inputs de recarga hídrica	Nombre corto	Unidades	Tipo de dato	Formato
Fracción que infiltra por textura	Kfc	mm/día	Parámetro	Vectorial (punto)
Capacidad de campo	CC	(%)	Parámetro	Vectorial (punto)
Densidad aparente	Da	g/cm^3	Parámetro	Vectorial (punto)
Punto de Marchitez Permanente	PMP	(%)	Parámetro	Vectorial (punto)
Fracción que infiltra por efecto de la pendiente	Kp	Tanto por uno	Fijo*	Raster 20x20
Fracción que infiltra por efecto de la cobertura vegetal	Kv	Tanto por uno	Fijo*	Raster 20x20
Profundidad de las raíces	Prof	mm	Fijo*	Raster 20x20
Coeficiente de follaje	Cfo	adimensional	Fijo*	Raster 20x20
Evapotranspiración	Ene_etp, Feb_etp, Mar_etp…	mm	Fijox12*	Raster 20x20
Precipitación	Ene_prec, Feb_prec, Mar_prec…	mm	Fijox12*	Raster 20x20

* Al ser parámetros fijos no aparecen como parámetros en el modelo como parámetros de entrada, sino en la *geodatabase*.

Outputs	Nombre corto	Unidades	Tipo de dato	Formato
Capacidad de campo en milímetros	CC_mm	mm	Output	Raster 20x20
Punto de marchitez permanente en milímetros	PMP_mm	mm	Output	Raster 20x20
Precipitación retenida	Ene_Pret, Feb_Pret, Mar_Pret…	mm	Output	Raster 20x20
Precipitación que infiltra	Ene_P_ini, Feb_P_ini, Mar_P_ini…	mm	Output	Raster 20x20
Escorrentía superficial	Ene_Esc, Feb_Esc, Mar_Esc…	mm	Output	Raster 20x20
Coeficiente de infiltración del suelo	C	Adimensional	Output	Raster 20x20
Humedad a final de mes	Ene_Hsf, Feb_Hsf, Mar_Hsf…	mm	Output	Raster 20x20
Coeficiente antes de la evapotranspiración real	Ene_C1, Feb_C1, Mar_C1…	adimensional	Output	Raster 20x20
Coeficiente después de la evapotranspiración real	Ene_C2, Feb_C2, Mar_C2…	adimensional	Output	Raster 20x20
Humedad disponible en el mes	Ene_Hd, Feb_Hd, Mar_Hd…	mm	Output	Raster 20x20
Evapotranspiración real del mes	Ene_Etr, Feb_Etr,Mar_Etr…	mm	Output	Raster 20x20
Recarga potencial del mes	Ene_Rp, Feb_Rp, Mar_Rp…	mm	Output	Raster 20x20
Recarga potencial anual	Rp_final	mm	Output	Raster 20x20