

“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 N° 14/2018

Producto 6: Módulo para la automatización de la vulnerabilidad intrínseca



FECHA: FEBRERO 2019

AUTORES:

FEDERICO I. CASTELLANOS

CONSTANCIO AMURRIO

PABLO BLANCO

PRODUCTO 6: MÓDULO PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LA VULNERABILIDAD INTRÍNSECA

INDICE

1. ANTECEDENTES.....	3
2. OBJETIVOS.....	4
3. MÓDULO DE AUTOMATIZACIÓN DE LA GENERACIÓN DEL MAPA DE VULNERABILIDAD INTRÍNSECA.....	5
3.1. INTRODUCCIÓN.....	5
3.2. EL MÉTODO DRASTIC.....	5
4. MANUAL DE USO E INSTALACIÓN DEL MÓDULO DE AUTOMATIZACIÓN.....	14
5. CONCLUSIONES.....	16

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Carga de la herramienta desde el Arctoolbox.....	14
Figura 3. Herramienta una vez cargada en el Arctoolbox.....	14
Figura 4. Modelos del toolbox que contiene la herramienta.....	15
Figura 7. Modelo de recarga hídrica anual.....	15

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.

El último informe previo al presente se entregó con fecha 12 de diciembre de 2018, correspondiente al *Producto 5: módulo para la automatización de la recarga hídrica*.

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 6: Módulo de automatización de la vulnerabilidad intrínseca*, consiste en la presentación de los siguientes elementos:

- Módulo de automatización de la generación del mapa de vulnerabilidad intrínseca de El Salvador.
- Manual de uso e instalación del módulo de automatización.

3. MÓDULO DE AUTOMATIZACIÓN DE LA GENERACIÓN DEL MAPA DE VULNERABILIDAD INTRÍNSECA

3.1. INTRODUCCIÓN

El módulo de automatización de la generación del mapa de vulnerabilidad intrínseca consiste en una *Toolbox* de *Arcmap*, sobre la que se ha generado un modelo con *Model builder*, de nombre DRASTIC.

El *Model builder* crea una secuencia que se ejecuta automáticamente, con todas las operaciones espaciales y geoprocursos realizados a partir de los inputs (los parámetros de la metodología DRASTIC), hasta obtener el resultado final deseado, que en este caso son de dos tipos:

- Resultados de aplicación del DRASTIC con pesticidas. El resultado se ofrece tanto sin reclasificar como reclasificado según prevé el método.
- Resultados de aplicación del DRASTIC sin pesticidas. El resultado se ofrece tanto sin reclasificar como reclasificado según prevé el método.

El producto es, por tanto, una herramienta que se carga en la barra de *Toolboxes* 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 geoprocuro más.

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

3.2. EL MÉTODO DRASTIC

Aunque no se requiere para la presente consultoría, se realiza a continuación una explicación del método DRASTIC para facilitar el entendimiento del producto cartográfico generado.

La metodología **DRASTIC** desarrollada por la *Environmental Protection Agency* (EPA) consiste en la elaboración de un modelo empírico cualitativo que permite calcular la vulnerabilidad frente a la contaminación de las aguas subterráneas, a partir de la asignación de índices con valores de 1 a 10 (siendo 10 el valor que expresa la máxima vulnerabilidad) a las variables consideradas en el acrónimo de esta metodología.

Las siete variables **DRASTIC** son Profundidad (**Depth**); Recarga neta (**Recharge**); Litología del acuífero (**Aquifer**); Características del suelo (**Soil**); Topografía (**Topography**); Naturaleza de la zona no saturada (**Impact of the vadose zone media**); Conductividad hidráulica (**Hydraulic Conductivity**).

Cada una de estas variables se debe presentar en formato raster. Estas capas deberán ser preparadas para su incorporación. A efectos de verificación del correcto funcionamiento del modelo, **se adjunta con este producto una geodatabase con datos de prueba** (nombre Pruebas.gdb).

La primera de estas variables, **Depth (profundidad del agua subterránea en metros)**, define la distancia que un contaminante deberá recorrer hasta alcanzar el acuífero, y por lo tanto está relacionada con tiempo que éste estará en contacto con el medio colindante, e influirá en la probabilidad de que se produzcan mecanismos de atenuación como la oxidación por acción del oxígeno atmosférico.

Por lo que respecta a la asignación de pesos y el cálculo de la variable de profundidad, D_r en adelante, se debe partir de los siguientes insumos:

- Modelo digital de Elevación de El Salvador de 10x10 (m/pixel).
- Cartografía vectorial de los niveles piezométricos de la red convencional del MARN.

En primer lugar, partiendo de la cartografía de curvas piezométricas, se debe calcular la red de triangulación irregular en tres dimensiones (TIN) que define la relación existente entre los niveles piezométricos, a partir de dicha red se elabora un modelo digital en formato ráster, tras esto, se procesa el modelo con la herramienta de análisis espacial *Fill* para corregir todos los sumideros y picos erróneos en la superficie ráster manteniendo el mismo tamaño de pixel, y a continuación, se procede a calcular la profundidad a partir de la diferencia existente entre el modelo digital del terreno de El Salvador y el ráster de niveles piezométricos corregidos. Al resultado final se le reclasifica utilizando los rangos de profundidad establecidos por el método DRASTIC (ver tabla 1).

CLASIFICACIÓN VARIABLE "D"	
Profundidad (m)	Valoración R_r
1-1.5	10
1.5-4.6	9
4.6-9.1	7
9.1-15.2	5
15.2-22.9	3
22.9-30.5	2

CLASIFICACIÓN VARIABLE "D"

Profundidad (m)	Valoración R_r
>30.5	1

Tabla 1. Clasificación variable profundidad

La segunda variable de la metodología es **Recharge (La recarga neta en milímetros, R_r)**. Representa la cantidad de agua por unidad de superficie que atraviesa el suelo y llega a la masa de agua. La magnitud de la recarga está intrínsecamente relacionada con la cantidad de contaminantes transportados. También cabe destacar que los pesos atribuidos a la variable de recarga expresan que, a mayor cantidad de recarga existe mayor potencial para que los contaminantes lleguen al acuífero, sin tener en cuenta la capacidad del agua para disolver éstos.

En cuanto al cálculo de R_r , se puede optar por la utilización de la ecuación de Schosinsky, cuyo raster se genera empleando el modelo entregado en el Producto 5.

El resultado final se debe reclasificar siguiendo los pesos de la metodología DRASTIC (Tabla 2).

CLASIFICACIÓN VARIABLE "R"

Recarga en (mm)	Valoración R_r
0-50	1
50-103	3
103-178	6
178-254	8
>254	9

Tabla 2. Clasificación variable Recarga.

Aquífer (Ar) es la litología del acuífero. El tipo de estructura que presente un acuífero determina la longitud del camino que tendrá que seguir un contaminante a través de él, y, por tanto, determina el tiempo disponible para la ocurrencia de mecanismos de atenuación como adsorción o dispersión, así como la superficie específica de materiales con los que entrará en contacto el contaminante.

Soil (Sr) hace referencia a las características del suelo que influyen en los procesos de atenuación como la biodegradación o la filtración, y su permeabilidad que influye en la cantidad de agua que se filtrará hacia el acuífero o se convertirá en escorrentía superficial.

Impact (Ir) hace referencia a la naturaleza de la zona no saturada. Esta variable determina la atenuación que se produce entre la franja de suelo y el acuífero mismo. Al igual que en el acuífero, dichas características determinan el camino que habrá de seguir el contaminante y por tanto el tiempo disponible para la atenuación y la superficie específica con la que entrará en contacto.

Biodegradación, neutralización, filtración mecánica o volatilización son algunos mecanismos de atenuación que pueden darse en esta zona.

Los datos empleados en el cálculo de los índices Ar, Sr e Ir son los registros de niveles piezométricos de la red convencional del MARN.

Para asignar valores a los diferentes índices se pueden emplear los valores típicos que se representan en las siguientes tablas:

CLASIFICACIÓN VARIABLE "Ar"		
Litología del acuífero	Valoración Ar	Valor típico Ar
Lutita masiva	1-3	2
Metamórfica/Ígnea	2-5	3
Metamórfica/Ígnea meteorizada	3-5	4
Till glacial	4-6	5
Secuencias de arenisca, caliza y lutitas	5-9	6
Arenisca masiva	4-9	6
Caliza masiva	4-9	6
Arena o grava	4-9	8
Basaltos	2-10	9
Caliza kárstica	9-10	10

Tabla 3. Clasificación variable Litología del acuífero

CLASIFICACIÓN VARIABLE "Sr"	
Tipo de suelo	Valoración Sr
Delgado o ausente	10
Grava	10
Arena	9
Agregado arcilloso o compactado	7
Arenisca margosa	6
Marga	5
Limo margoso	4
Arcilla margosa	3
Estiércol-cieno	2
Arcilla no compactada y no agregada	1

Tabla 4. Clasificación variable Suelo

CLASIFICACIÓN VARIABLE "Ir"		
Naturaleza de la zona no saturada	Valoración Ir	Valor típico Ir
Capa confinante	1	1
Cieno-arcilla	2-6	3
Lutita	2-5	3
Caliza	2-7	6
Arenisca	4-8	6

CLASIFICACIÓN VARIABLE "Ir"		
Naturaleza de la zona no saturada	Valoración I _r	Valor típico I _r
Secuencias de arenisca, caliza y lutita	4-8	6
Arena o grava con contenido de cieno y arcilla significativo	4-8	6
Metamórfica/Ígnea	2-8	4
Grava y arena	6-9	8
Basalto	2-10	9
Caliza kárstica	8-10	10

Tabla 5. Clasificación variable Impacto en la zona no saturada

Respecto al caso concreto de la Variable Ar, la asignación de valores que aparece en las tablas se ha hecho de acuerdo a la porosidad dominante en las formaciones geológicas: intergranular (primaria) o fracturación (secundaria). Las rocas ígneas tienen porosidad por fracturación. Las rocas ígneas meteorizadas son materiales no consolidados con una mezcla de porosidad primaria y secundaria. Las arenas y las gravas son mezclas en las que predomina la porosidad primaria.

Para la correcta ejecución del modelo, los parámetros de carácter cualitativo (Ar, Sr e Ir) deben ser reclasificados de forma previa a su uso en el modelo. Por tanto, en función de la cartografía de que se disponga, se deberían de preparar dichos valores. En la versión actual del modelo se propone una reclasificación en función del mapa geológico, que podría ser modificada de contar con un insumo mejor. No obstante, en el modelo facilitado no se proporcionan dichas variables, sino que por TdRs se facilita el propio modelo en sí.

Con estas reclasificaciones, en primer lugar, se debe elaborar una cartografía vectorial con las coordenadas de cada uno de los registros de niveles piezométricos proporcionados por el MARN y sus respectivos índices. Es decir, una capa de puntos en la que cada uno recoge el valor del índice en cuestión. A continuación, empleando como base la capa vectorial de geología, se debe proceder a calcular los valores medios de las variables Ir y Ar en cada una de las categorías del mapa geológico. Para ello se debe realizar una selección por localización de los registros situados en las diferentes categorías de la capa base y se calcular así los valores promedios de los diferentes índices, de tal modo que cada categoría tenga un valor asignado de dicho índice.

Respecto al hecho que los parámetros Ar, Sr están asociados al proceso *T Reclassify* e Ir a *C Reclassify*, esto no tiene relevancia en cuanto a la propia ejecución del modelo, sino que ayuda a controlar que los inputs existan antes de seguir ejecutando el resto de procesos, siguiendo el orden

del acrónimo DRASTIC. Es decir, al separarlo de este modo, se consigue ejecutar ordenadamente el acrónimo independientemente de si el input es calculado o facilitado directamente. En cualquier caso, no se trata de un planteamiento indispensable.

Para la variable S_r se debe utilizar como base el Mapa pedológico siguiendo el mismo proceso. En este caso también se trata de un pretratamiento que se debería hacer antes de comenzar la ejecución del modelo, en función de las categorías de dicho mapa.

Como alternativa al cálculo de la variable A_r se puede emplear también una cartografía vectorial de tipo de porosidad con base en las formaciones del mapa geológico y algunos informes de perforación, la cual agrupa los materiales de acuerdo con su porosidad: intergranular (primaria) o fracturación (secundaria).

Porosidad	Valoración A_r
Roca ígnea. Porosidad principalmente secundaria	2-5
Material no consolidado. Porosidad primaria	3-5
Mezcla arena, grava y finos. Porosidad primaria	4-9

Tabla 6. Alternativa de clasificación variable Acuífero

La siguiente variable obtenida es la topografía concretamente la **pendiente Topography, T_r** en adelante, la cual determina si el agua permanecerá el tiempo suficiente como para infiltrarse hacia el acuífero o no.

Partiendo del modelo de elevación digital deben calcular dos capas de pendientes en formato ráster. Posteriormente se reclasifica y ajusta al mismo tamaño de pixel deseado. La clasificación de esta se ha realizado siguiendo DRASTIC con valores de T_r del 1 al 10 (Ver tabla).

CLASIFICACIÓN VARIABLE " T_r "	
Pendiente (%)	Valoración T_r
0-2	10
2-6	9
6-12	5
12-18	3
> 18	1

Tabla 7. Clasificación variable Topografía.

Por último, la séptima variable de la metodología DRASTIC es la **conductividad hidráulica *Hidraulic Conductivity, Cr*** en adelante. Esta variable hace referencia a la capacidad de los materiales que constituyen el acuífero para transportar agua y por lo tanto arrastrar contaminantes.

Su obtención en este caso se puede basar en la reclasificación de la cartografía vectorial del mapa geológico siguiendo la siguiente tabla:

CATEGORÍA DEL GEOLÓGICO	CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA (M/DIA)
Cenizas volcánicas y tobas de lapilli	0,2
Cono de deyección	5
Conos de acumulación (escorias, tobas de lapilli, cinder)	350
Depósito de estuario con o sin manglares	0,00001
Deposito sedimentarios del Cuaternario	5
Depósitos coluviales sin_con representación de depósitos subyacentes (por ejemplo ch2)	10
Efusivas acidas e intermedias acidas (ocurrencias aisladas en parte eventualmente = ch2)	1
Efusivas acidas, piroclastitas acidas subordinadas	10
Efusivas básicas intermedias	22
Efusivas básicas internmedias, piroclastitas subordinadas	20
Efusivas básicas-intermedias, piroclátitas volcánicas subordinadas (estratos no diferenciados y edificios volcánicos)	20
Efusivas intermedias hasta intermedias-acidas, piroclastitas subordinadas, alteración regional por influencia hidrotermal	5
Epiclastitas volcánicas y piroclastitas, localmente efusivas básicas-intermedias intercaladas	20
Piroclásticas acidas, epiclástitas volcánicas (tobas color café)	5
Piroclásticas acidas, epiclástitas volcanicas:localmente efusivas basicas intermedias	5
Piroclastitas acidas, epiclástitas volcánicas	5
Piroclastitas acidas, ignimbritas,epiclásticas, localmente efusivas acidas intercaladas	5
Piroclastitas intermedias hasta intermedias-ácidas, epiclástitas volcánicas, efusivas subordinadas	5
Playa: barra costera con nivel antiguo de costa	100
Principalmente depósitos fluviales	100
Principalmente depósitos lacustres	100

CATEGORÍA DEL GEOLÓGICO	CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA (M/DIA)
Suelo anmoor	10
Tierra blanca: piroclastitas acidas e epicastitas volcánicas subordinadas: localmente efusivas ácidas (s3'b)	5
Sedimentos aluviales	1

Tabla 8: Relación entre las categorías del mapa geológico y los valores de conductividad hidráulica en m/día

Para realizar la reclasificación se han asignado los pesos establecidos por la propia metodología:

CLASIFICACIÓN VARIABLE "Cr"		
Conductividad hidráulica		Valoración Cr
m/día	cm/s	
0,04-4,08	$4,6 \cdot 10^{-5}$ - $4,7 \cdot 10^{-3}$	1
4,08-12,22	$4,7 \cdot 10^{-3}$ - $1,4 \cdot 10^{-2}$	2
12,22-28,55	$1,4 \cdot 10^{-2}$ - $3,4 \cdot 10^{-2}$	3
28,55-40,75	$3,4 \cdot 10^{-5}$ - $4,7 \cdot 10^{-2}$	6
40,75-81,49	$4,7 \cdot 10^{-2}$ - $9,5 \cdot 10^{-2}$	8
> 81,49	$> 9,5 \cdot 10^{-2}$	10

Tabla 9: Clasificación de la variable Conductividad Hidráulica.

Tras asignar los pesos a todos los parámetros, se ponderan en función de su influencia dentro de la evaluación final de la vulnerabilidad distinguiendo si el contaminante es un pesticida, ya que estos son generalmente menos volátiles y más persistentes, teniendo pesos diferentes en su atenuación factores que favorecen mecanismos diferentes. Los pesos asignados en la ponderación son los siguientes:

Tipo contaminante	FACTOR DE PONDERACIÓN DEL MÉTODO DRASTIC						
	Variable						
	D _w	R _w	A _w	S _w	T _w	I _w	C _w
Pesticida	5	4	3	5	3	4	2
No pesticida	5	4	3	2	1	5	3

Tabla 10. Factor de ponderación del método DRASTIC

Finalmente, el índice DRASTIC se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$DRASTIC = (D_r \times D_w) + (R_r \times R_w) + (A_r \times A_w) + (S_r \times S_w) + (T_r \times T_w) + (I_r \times I_w) + (C_r \times C_w)$$

Donde:

- r: factor de clasificación
- w: factor de ponderación o peso

La clasificación final según el índice DRASTIC será la siguiente:

VULNERABILIDAD GENERAL		VULNERABILIDAD A PESTICIDAS	
Grado vulnerabilidad	Valor DRASTIC	Grado vulnerabilidad	Valor DRASTIC
Muy bajo	23-64	Muy bajo	26-73
Bajo	65-105	Bajo	74-120
Moderado	106-146	Moderado	121-167
Alto	147-187	Alto	168-214
Muy alto	188-230	Muy alto	215-260

Tabla 11. Reclasificaciones para Vulnerabilidad General y Vulnerabilidad a Pesticidas

Esta reclasificación final ha sido la empleada en el módulo de automatización y la que genera el modelo, pudiéndose consultar tanto el valor continuo procedente del resultado como el reclasificado.

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:

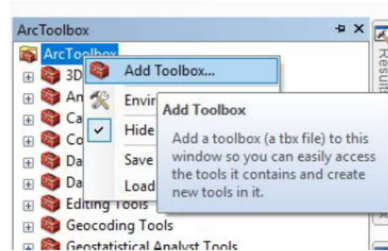


Figura 1. Carga de la herramienta desde el Arctoolbox

Una cuestión importante es que, para que todo funcione correctamente, la herramienta se tiene que cargar sobre un *mxd* en el que hay que cargar las tablas que permiten la reclasificación. Estas tablas se encuentran en una *Geodatabase* de nombre *TABLAS_DRASTIC.gdb*. En ella hay 6 tablas, debiendo estar todas correctamente cargadas en la Tabla de contenidos de dicho *mxd*. Se facilita un *mxd* con dichas tablas cargadas en la propia entrega.

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

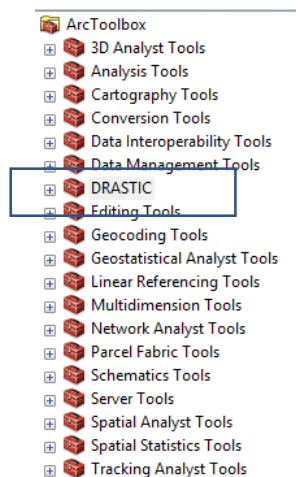


Figura 2. Herramienta una vez cargada en el Arctoolbox

El *toolbox* que se carga consiste en un único modelo, tal y como se observa en la siguiente figura:

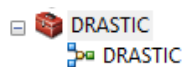


Figura 3. Modelos del toolbox que contiene la herramienta

El módulo del DRASTIC requiere de los siguientes *inputs* (ver figura):

1. **Depth:** Profundidad del agua subterránea (m).
2. **Recharge:** Recarga potencial de los acuíferos (mm).
3. **Aquífer:** Litología del acuífero.
4. **Soil:** Características del suelo.
5. **Topography:** Topografía de las pendientes en (%).
6. **Impact of the vadose zone media:** Naturaleza de la zona no saturada.
7. **Conductivity:** Conductividad hidráulica (m/día).

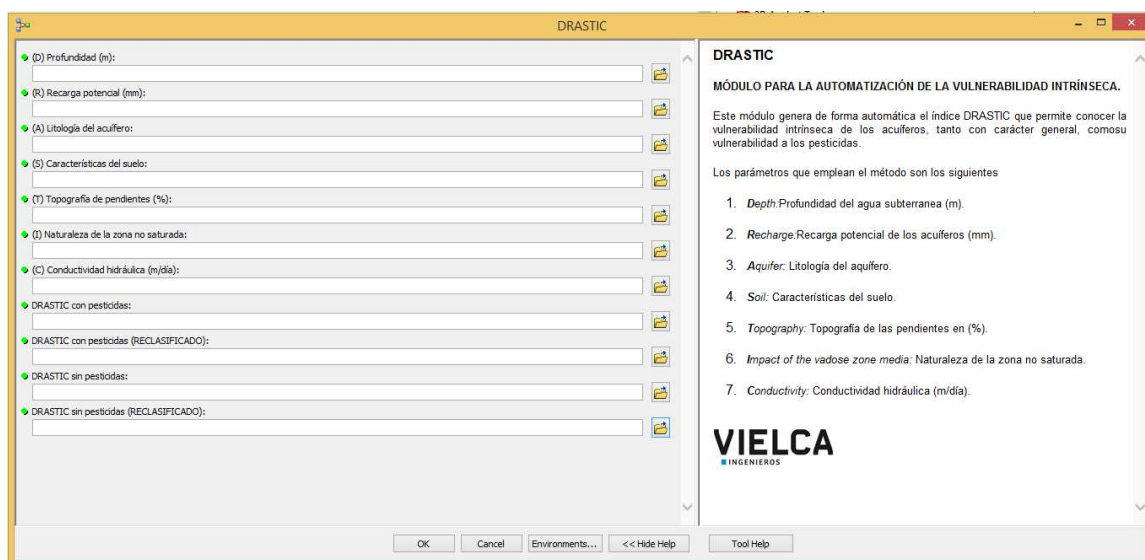


Figura 4. Modelo de recarga hídrica anual

Las últimas cuatro líneas recogen dónde almacenar los *outputs* generados, pudiendo el usuario elegir la ruta que más le convenga. En principio, al introducir una de las rutas (por ejemplo DRASTIC con pesticidas), se debería de autocompletar la ruta de esa misma variable, pero reclasificada.

Como se indicaba anteriormente, se cuenta una *Geodatabase* con datos de ejemplo. Se trata de algunos píxeles con valores para verificar el correcto cálculo del DRASTIC.

5. CONCLUSIONES

Se ha presentado el *Producto 6: Módulo para la automatización de la vulnerabilidad intrínseca* en el que se desarrolla la metodología DRASTIC integrada 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 07 de febrero de 2019



Ing. Federico Castellanos
Coordinador de la consultoría



Ing. Pablo Blanco Gómez
Especialista hidrología e hidrogeología