“CONSULTORIA 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 1: Plan de trabajo

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: JULIO 2018

AUTORES:
FEDERICO I. CASTELLANOS
CONSTANCIO AMURRIO
PABLO BLANCO

PRODUCTO 1: PLAN DE TRABAJO

INDICE

1. ANTECEDENTES 3
2. OBJETIVOS 4
3. DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA DE TRABAJOS 5
3.1. PERSONAL PREVISTO EN LAS DISTINTAS FASES DEL TRABAJO 5
3.2. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES 6
3.2.1. FASE 1: TRABAJOS PREVIOS. PLAN DE TRABAJO 6
3.2.2. FASE 2: RECOPILACIÓN DE INFORMACIÓN Y GENERACIÓN DE INSUMOS 7
3.2.3. FASE 3: APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA Y GENERACIÓN DE LA CARTOGRAFÍA TEMÁTICA Y BASE DE DATOS. MAPA DE RECARGA HÍDRICA POTENCIAL 10
3.2.4. FASE 4. PROPUESTA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LAS HERRAMIENTAS DE GESTIÓN 14
3.2.5. FASE 5: REDACCIÓN DE DOCUMENTOS 17
4. CONCLUSIONES 18
ANEXO 1: DIAGRAMA DE GANTT 19

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Esquema del método Schosinsky para el cálculo de la recarga hídrica potencial. 13
Figura 2. Ejemplo de modelo de recarga mensual en Model Builder 15
Figura 3. Ejemplo de modelo obtención de recarga anual a partir del Output del modelo de recargas mensuales en Model Builder 15
Figura 4. Procedimiento de instalación de la nueva herramienta 16
Figura 5. Herramienta añadida a la barra de herramientas ArcToolbox 16

1. ANTECEDENTES

Los trabajos de la presente consultoría se van a desarrollar 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 prevé la realización de trabajo de campo para generar algunos de los insumos necesarios.

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.

2. OBJETIVOS

El **objeto de los trabajos** es la actualización del mapa de recarga potencial de los acuíferos del país mediante el cálculo aplicando la metodología de "*Gunter Schosinsky*", 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 1: Plan de trabajo* define los medios humanos y materiales a emplear en las distintas fases del trabajo y establece mediante un cronograma las actividades a desarrollar tanto en campo como en oficina, representándolas en un Diagrama de Gantt.

3. DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA DE TRABAJOS

3.1. PERSONAL PREVISTO EN LAS DISTINTAS FASES DEL TRABAJO

Está prevista la participación de los siguientes profesionales a lo largo de las distintas fases que engloban el trabajo:

- **Fase 1: Trabajos previos. Plan de trabajo**.
  - Responsable consultoría: Ing. Federico Castellanos.
  - Especialista hidrología e hidrogeología: Ing. Pablo Blanco Gómez.
  - Especialista en GIS: Ing. Constancio Amurrio.
- **Fase 2: Recopilación de la información y generación de insumos, incluyendo el trabajo de campo.**
  - **Fase 2.1. Insumos para la recarga hídrica.**
  - **Fase 2.2. Capacidad de infiltración básica de suelos (trabajo de campo).**

  Para ello se prevé el siguiente personal:
  - Responsable consultoría: Ing. Federico Castellanos.
  - Especialista hidrología e hidrogeología: Ing. Pablo Blanco Gómez.
    - Balance hídrico: Ing. Luis Fernández Martínez.
    - Hidroquímica: Inga. Noelia Giner Galera.
  - Especialista en GIS: Ing. Constancio Amurrio.
    - Asistente: Marckbyn S. Rodríguez Vélez.
  - 2 cuadrillas de campo trabajando simultáneamente en la toma de datos.
- **Fase 3: Aplicación de la metodología y generación de la cartografía temática y base de datos**. **Mapa de recarga hídrica potencial**.

  Para ello se prevé el siguiente personal:
  - Responsable consultoría: Ing. Federico Castellanos.
  - Especialista hidrología e hidrogeología: Ing. Pablo Blanco Gómez.
    - Balance hídrico: Ing. Luis Fernández Martínez.
    - Hidroquímica: Inga. Noelia Giner Galera.
  - Especialista en GIS: Ing. Constancio Amurrio.
    - Asistente: Marckbyn S. Rodríguez Vélez.
- **Fase 4: Propuesta para la automatización de las herramientas de gestión.**

- **Fase 4.1. Módulo para la automatización de la recarga hídrica.**
- **Fase 4.2. Módulo para la automatización de la vulnerabilidad intrínseca.**

Para ello se prevé el siguiente personal:

- Responsable consultoría: Ing. Federico Castellanos.
- Especialista hidrología e hidrogeología: Ing. Pablo Blanco Gómez.
- Especialista en GIS: Ing. Constancio Amurrio.
  - Asistente: Marckbyn S. Rodríguez Vélez.
- Apoyo del equipo informático de Vielca Ingenieros S.A. bajo la supervisión del Ing. Juan Ignacio Ortiz.

- **Fase 5: Redacción de documentos.**
  - Responsable consultoría: Ing. Federico Castellanos.
  - Especialista hidrología e hidrogeología: Ing. Pablo Blanco Gómez.
  - Especialista en GIS: Ing. Constancio Amurrio.

Adicionalmente se contará con la participación de personal de apoyo administrativo y logístico de nuestras oficinas de la Colonia Escalón, entre las que cabe destacar:

- Ing. Rafael P. Ibáñez Nobell, Delegado en Centroamérica.
- Arq. Gracia M. Peña, Representante Legal en El Salvador.

3.2. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

A continuación, se enumeran las tareas a desarrollar en las distintas fases del programa de trabajos planteado por Vielca Ingenieros, S.A. en consonancia con las labores y alcances establecidos en los TdR de la consultoría.

Todos ellos quedan representados en un Diagrama de Gantt que se presenta en el *Anexo 1: Diagrama de Gantt*.

3.2.1. FASE 1: TRABAJOS PREVIOS. PLAN DE TRABAJO

Los trabajos previos incluyen la definición y preparación del ***Producto 1: Plan de trabajo*** contenido en el presente informe, así como su supervisión y recepción favorable por parte del administrador del contrato.

Está previsto su desarrollo completo en un plazo de 7 días calendario posteriores a la fecha de la orden de inicio, siendo la fecha de entrega prevista para programa de trabajo el lunes 23 de julio de 2018 y la recepción favorable del mismo para el viernes 27 de julio de 2018.

3.2.2. FASE 2: RECOPILACIÓN DE INFORMACIÓN Y GENERACIÓN DE INSUMOS

Esta fase de los trabajos dará comienzo oficial una vez recibido favorablemente el presente *Producto 1: Plan de trabajo* y está previsto que se extienda hasta los 60 días desde el comienzo de los trabajos, hasta el 14 de septiembre de 2018. A su vez se divide en dos fases:

- Fase 2.1. Insumos para la recarga hídrica.
- Fase 2.2. Capacidad de infiltración básica de suelos.

3.2.2.1. FASE 2.1. INSUMOS PARA LA RECARGA HÍDRICA

La información necesaria para llevar a cabo la consultoría se puede agrupar en dos tipos: aquella información existente que hay que recopilar, arreglar e integrar, por un lado; y aquella otra de carácter primario que va a ser recogida en campo e integrada con el resto, por otro.

Los trabajos se realizarán en soporte GIS a lo largo de toda la duración del contrato, puesto que desde la recepción de información de partida va a ser necesario homogeneizar los sistemas de coordenadas para trabajar en la proyección que autorice el *Administrador del contrato* – e.g. coordenadas Lambert o, preferiblemente WGS84, considerando las transformaciones pertinentes que maneja el CNR.

En esta fase se planteará la estructura de la base de datos y se irán ajustando las diferentes cartografías al sistema de coordenadas de trabajo.

Se generará el listado de información a recopilar y se enviará solicitud oficial a la Directora del Observatorio Ambiental, Celina Kattan, y a la Coodinadora Técnica y Coordinadora General de Programas a.i., Montserrat Cruz, para iniciar las gestiones de obtención de información.

Una relación preliminar de la información a solicitar su permiso de uso para el desarrollo de la consultoría y de los Organismos a los que será necesario dar traslado es:

- MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES (MARN)
  - Documento de referencia "Cálculo de la recarga potencial de acuíferos mediante un balance hídrico de suelos" (Gunter Schosinsky, 2006)

- Documento de referencia "*DRASTIC: A standarized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrological settings*" (Agencia de protección ambiental de los Estados Unidos, EPA, 1987).
- Informes técnicos de perforaciones de pozos y sondeos, de la que se pueden extraer los datos de litología, nivel freático, permeabilidad, conductividad eléctrica, etc. (Área de Permisos Ambientales).
- Información hidrogeológica empleada en el Plan Nacional de Gestión Integrada del Recurso Hídrico (PNGIRH) – i.e. informes técnicos de perforaciones de pozos y sondeos, aforos de manantiales, aforos de ríos y quebradas, etc. –, tanto la recopilada dentro de la institución como la obtenida de otros Organismos – e.g. ANDA, MAG, MINSAL, etc.
- Cartografía relacionada con el objeto del contrato en formato *shape* o ráster:
    - Mapa de cobertura y usos del suelo, pudiendo emplearse alguna de las capas generadas en las zonificaciones ambientales del país. Si está disponible el mapa de coberturas y usos del suelo del año 2016, se empleará éste.
    - Información de la geología de El Salvador
    - Mapa hidrogeológico del PNGIRH.
    - Mapa de recarga de agua subterránea (Método RAS. Junker, M., 2005)
    - Modelo digital de elevaciones con un tamaño de píxel máximo de 20 x 20 m.
- Serie de capas ráster de precipitación y evapotranspiración mensual multianual. Con las mismas se podrán obtener los valores promedios de la serie histórica para cada mes de las citadas variables, así como el total anual.

Adicionalmente, el MARN ha facilitado unos puntos georeferenciados en los que se han hecho diferentes pruebas de infiltración con diferentes métodos; así como una tesis con resultados de infiltración asociados a formaciones geológicas de la zona de Chalatenango. Se intentará integrar esta información en los trabajos para tener una referencia en aquellos sitios en los que no se realizarán pruebas de infiltración.

Con los datos de estos insumos, se preparará el ***Producto 2. Informe con los datos y criterios utilizados para elaborar los insumos de la recarga hídrica***, así como los mapas preliminares correspondientes:

- Capa ráster con los valores de precipitación mensual multianual, en mm.
- Capa ráster con los valores de evapotranspiración potencial mensual multianual, en mm.
- Capa ráster con los valores de la fracción de lluvia interceptada por el follaje, en %
- Capa ráster con los valores de los coeficientes por el uso del suelo.
- Capa ráster con los valores de los coeficientes por las pendientes del terreno.
- Capa ráster con la profundidad de las raíces (mm) asignado a partir del mapa de cobertura vegetal.
- Capa ráster de densidad aparente del suelo (g/cm^3)*
- Capa ráster de capacidad de campo en suelo (%)*
- Capa ráster de punto de marchitez permanente (%)*

Las capas marcadas con un * podrán ser mejoradas con la toma de datos de campo en caso de conseguir un acuerdo de colaboración con la Universidad de El Salvador (UES) para tratar muestras en su laboratorio. Esto también es aplicable para la determinación de la textura del suelo. La persona de contacto en su caso sería la siguiente:

Reynaldo Adalberto López Landaverde

Facultad de Ciencias Agronómicas

Universidad de El Salvador

3.2.2.2. FASE 2.2. CAPACIDAD DE INFILTRACIÓN BÁSICA DE SUELOS

La capacidad de infiltración básica de suelos será determinada en campo. Respecto del trabajo de campo, se prevé que el mismo tenga comienzo el día 30 de julio de 2018. Se prevé inicialmente el empleo de dos cuadrillas que extenderán su trabajo potencialmente hasta la fecha 14 de septiembre de 2018.

Los trabajos de campo consistirán básicamente en determinar la infiltración a través del método del doble anillo en un total de 50 pruebas. Como se indicaba anteriormente, para mejorar el cálculo de otras variables, si se consigue un acuerdo de colaboración con la UES, se tomarán muestras para determinar la textura del suelo, densidad aparente del suelo, capacidad de campo y punto de marchitez permanente. Por otra parte, si se consigue un apoyo del personal del MARN y el uso de

su permeámetro, se recogerán muestras para determinar la permeabilidad en laboratorio, cuyos datos podrán ser empleados para ajustar los datos estimados a cada categoría del mapa geológico.

Una vez se completen los trabajos de campo, se dispondrá hasta el día 90 desde la fecha de la orden de inicio (es decir, hasta el 14 de octubre de 2018, pero por ser domingo se anticipará la entrega al día 12 de octubre, viernes) para determinar la capacidad de infiltración básica de los suelos, procediendo en esa fecha a entregar el ***Producto 3: capacidad de infiltración básica de los suelos***, que contendrá los siguientes elementos:

- Informe con los datos y criterios utilizados para elegir los sitios de las pruebas de infiltración y los análisis de las pruebas.
- Tablas de datos recogidos por cada una de las pruebas de infiltración por el método del doble anillo.
- Valores de capacidad de infiltración básica por textura del suelo a partir del análisis de las 50 pruebas por el método del doble anillo.
- Ráster con los valores de capacidad de infiltración básica de los suelos.

3.2.3. FASE 3: APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA Y GENERACIÓN DE LA CARTOGRAFÍA TEMÁTICA Y BASE DE DATOS. MAPA DE RECARGA HÍDRICA POTENCIAL

A los 120 días de comenzado el contrato y con fecha de 13 de noviembre de 2018 tendrá lugar la entrega del mapa de recarga hídrica potencial.

La recarga hídrica representa la cantidad de agua por unidad de superficie que atraviesa el suelo y llega a la masa de agua.

En cuanto al cálculo, se empleará la ecuación de Schosinsky partiendo de los siguientes insumos:

- Cartografía vectorial de delimitación la zona de estudio.
- Mapa vectorial de usos del suelo 1:25.000.
- Mapa vectorial de geología, escala 1:100.000.
- Series climáticas de precipitación y evapotranspiración potencial en milímetros para el periodo 1965-2012.
- Modelo digital de Elevación DEM de El Salvador.
- Cartografía vectorial de agrupación de los materiales de acuerdo con la porosidad intergranular (primaria) o de fracturación (secundaria).

- Cartografía vectorial de Infiltración Básica.

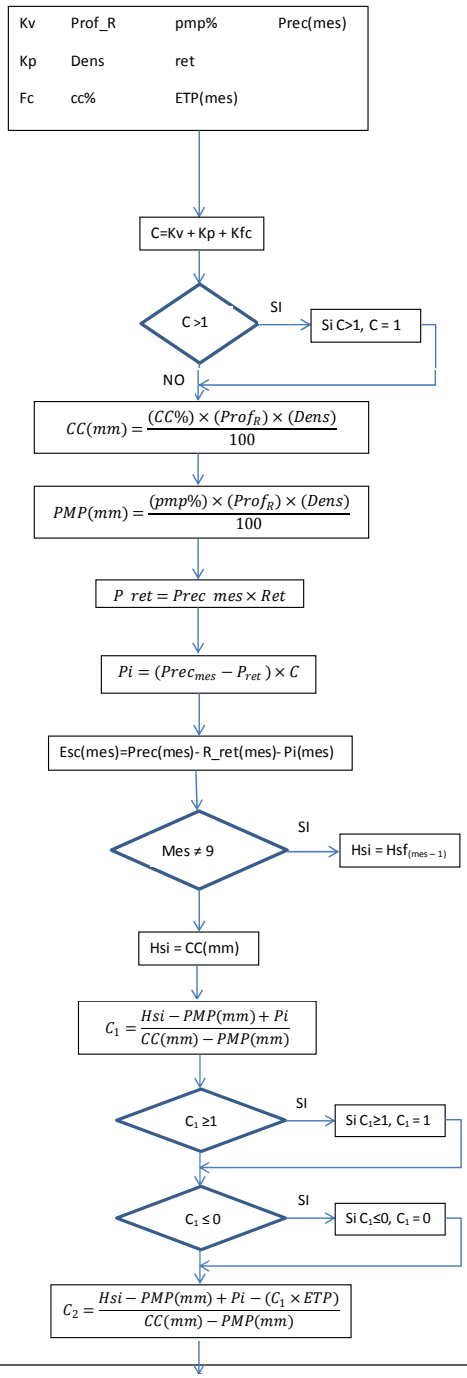
El procedimiento de cálculo parte de la utilización de dos variables mensuales en milímetros, ETP (Evapotranspiración potencial) y PREC (Precipitación media mensual), y ocho coeficientes fijos, todos ellos en formato ráster.

Las dos variables mensuales se generarán a partir de las series climáticas de precipitación y evapotranspiración potencial en milímetros para el periodo 1965-2012, mediante un *script* de Python y la librería *ArcPy* de ArcMap, que calculará los valores promedio de cada mes para toda la serie climática.

Y por lo que respecta a los coeficientes fijos se obtendrán mediante diferentes procedimientos, dando como resultado:

- **Kv:** Ráster generado a partir de la asignación de coeficientes a la capa de usos del suelo.
- **ProfR:** Ráster de profundidad de Raíces en (mm) generado a partir de la asignación de este parámetro, con base en los usos de suelos.
- **Kp:** Ráster generado a partir de la clasificación de una capa de pendientes previamente calculada a partir del DEM de El Salvador con la herramienta de análisis espacial *slope*.
- **Kfc:** Ráster calculado mediante la expresión: $Kfc = 0.267 * Ln(Fc) - 0.000154 * Fc - 0.723$ Siendo "Fc" la infiltración básica en (mm/día), que a su vez ha sido calculada a partir de los datos de campo.
- **C:** Es la suma de los tres coeficientes anteriores.
- **Dens:** La densidad aparente del suelo en (g/cm^3) generada o bien a través de muestras tomadas en campo y analizadas por la UES (en caso de conseguir un acuerdo de colaboración) o mediante la reclasificación del mapa geológico que facilite el MARN.
- **cc%:** Capacidad de campo de los suelos en %, generado o bien a través de muestras tomadas en campo y analizadas por la UES (en caso de conseguir un acuerdo de colaboración), o a partir de la asignación de este parámetro con base al mapa de suelos (geología).
- **pmp%:** Punto de Marchitez Permanente en %, generado o bien a través de muestras tomadas en campo y analizadas por la UES (en caso de conseguir un acuerdo de colaboración) generado a partir de la asignación de este parámetro con base al mapa de suelos (geología).

Una vez calculadas todas las variables básicas de la ecuación de recarga potencial, se elaborará un modelo de procesamiento con *Model Builder,* el cual se describirá más en detalle en el apartado de automatización, seleccionando como parámetros principales los datos mensuales de precipitación media y evapotranspiración potencial, y la humedad inicial del suelo. Las ecuaciones aplicadas en el modelo quedan definidas por el siguiente esquema:



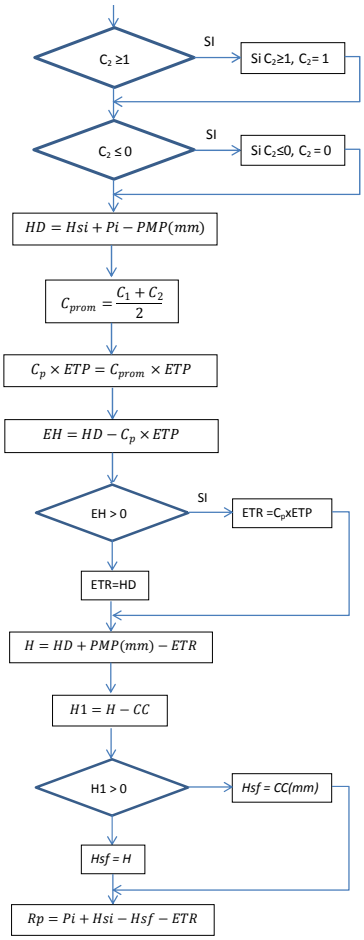


Figura 1. Esquema del método Schosinsky para el cálculo de la recarga hídrica potencial.

Siendo el significado de las variables intermedias de cálculo:

Pret(mes): precipitación retenida en (mm), Se trata de un coeficiente obtenido a partir de la ponderación de las precipitaciones mensuales con el coeficiente de retención del follaje siendo 0.2 el coeficiente para bosques muy densos y 0.12 para el resto.

Pi(mes): Precipitación que infiltra (mm).

Esc: Escorrentía superficial (mm).

Hsi: Humedad inicial del suelo. Se utilizará el mes de septiembre como base para el inicio del cálculo y la Capacidad de Campo como valor para la Hsi en dicho mes. Para el resto de los meses, la Hsi utilizada en la ecuación será el Hsf del mes anterior.

ETR: Evapotranspiración Real del mes.

C1: Coeficiente antes que ocurra ETR del mes.

C2: Coeficiente después que ocurre ETR del mes.

HD: Humedad disponible (mm) del mes.

Hsf: Humedad del suelo al final del mes. (mm)

Rp: Recarga potencial del mes (mm).

El producto generado a entregar el día 13 de noviembre de 2018 será el ***Producto 4: Mapa de recarga hídrica potencial***, y consistirá en:

- Geodatabase con los ráster de entrada y salida:
  - Capa ráster con valores de capacidad de campo, en mm.
  - Capa ráster con valores del punto de marchitez permanente, en mm.
  - Capa ráster con los valores de precipitación retenida, en mm.
  - Capa ráster con los valores de precipitación que infiltra, en mm.
  - Capa ráster con los valores de escorrentía superficial, en mm.
  - Capa ráster con valores de humedad inicial del suelo, en mm.
  - Coeficiente antes de la ocurrencia de evapotranspiración del mes, en mm.
  - Coeficiente después de la ocurrencia de evapotranspiración del mes, en mm.
  - Capa ráster con los valores de humedad disponible del mes, en mm.
  - Capa ráster con los valores de evapotranspiración real del mes, en mm.
  - Capa ráster con los valores de humedad del suelo al final del mes, en mm.
  - Recarga potencial del mes, en mm.
  - Recarga potencial anual, en mm.
- Documento descriptivo de la estructura de la geodatabase, que contenga además los mapas resultantes del procesamiento.

3.2.4. FASE 4. PROPUESTA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LAS HERRAMIENTAS DE GESTIÓN

3.2.4.1. FASE 4.1. MÓDULO PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LA RECARGA HÍDRICA.

Como se ha indicado anteriormente, tanto la ETP (evapotranspiración potencial) como la PREC (Precipitación media mensual) se generarán a partir de las series climáticas de precipitación y evapotranspiración potencial en milímetros para el periodo 1965-2012, mediante un *script* de

Python y la librería *ArcPy* y otras librerías de Python, que calculará los valores promedio de cada mes para toda la serie climática.

Para el cálculo de la recarga hídrica y la generación automática de las capas ráster, tanto de la recarga mensual como anual, se empleará, como se ha indicado anteriormente, un modelo realizado mediante la herramienta *"Model Builder"* de *ArcGis*.

Dicha herramienta permite crear una secuencia que se ejecuta automáticamente, con todas las operaciones espaciales y geoprocesos realizados a partir de los inputs generados anteriormente, hasta obtener el resultado final deseado e incluso resultados parciales que se vayan generando durante el proceso, como en este caso serían los cálculos de las recargas de cada mes.

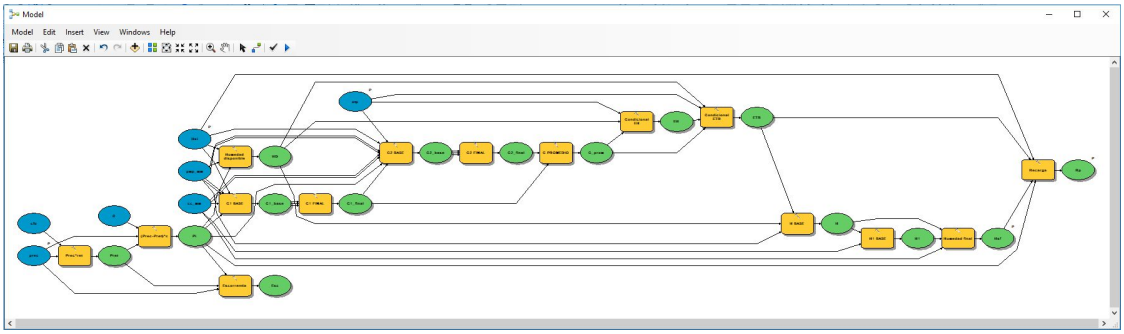


Figura 2. Ejemplo de modelo de recarga mensual en Model Builder

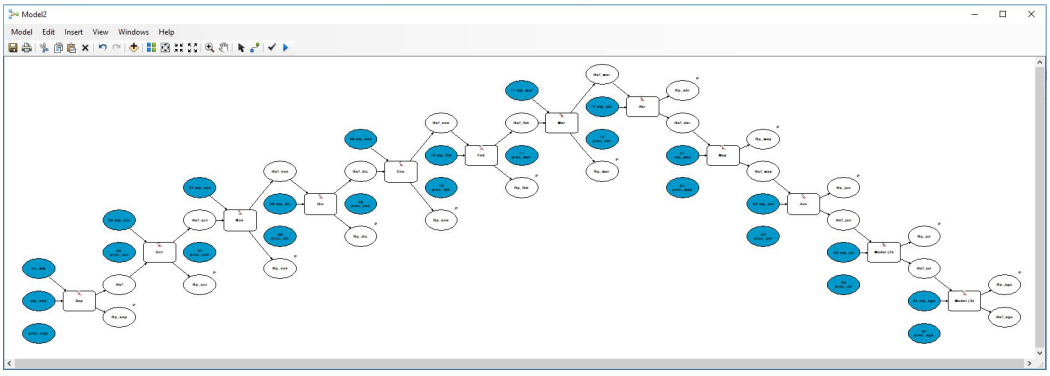


Figura 3. Ejemplo de modelo obtención de recarga anual a partir del Output del modelo de recargas mensuales en Model Builder

El producto final es una herramienta que puede instalarse en la barra de *Toolbox* de *ArcMap*, y operarse como cualquier otro geoproceso.

La definición de las variables, así como la información añadida al modelo para cada una de ellas será completa, de tal forma que la ventana de interfaz de usuario de dicha herramienta muestre la

información necesaria para que cualquiera sea capaz de emplearla, incluso sin tener conocimientos de programación o de "*Model Builder*".

Además, se redactará una ayuda que se mostrará en la propia ventana de interfaz de usuario cuando se seleccione cada una de las opciones y variables existentes.

La herramienta una vez generada, se situará en la propia geodatabase entregada. Para su instalación en cualquier equipo que cuente con el software adecuado, solo será necesario emplear la opción de *"Add Toolbox…"* de la barra de *"ArcToolbox"* e indicar la ruta en la que está situada la geodatabase, para que la herramienta quede integrada en ella.

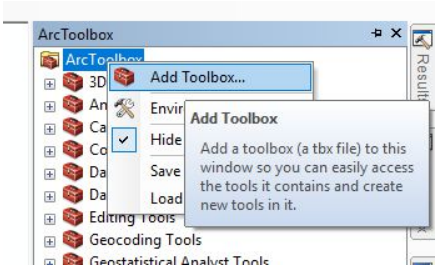


Figura 4. Procedimiento de instalación de la nueva herramienta

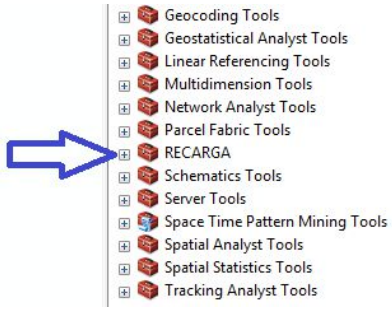


Figura 5. Herramienta añadida a la barra de herramientas ArcToolbox

Todas las rutas en las que la herramienta realizará las operaciones programadas y generará los resultados finales y parciales, se establecerán en ubicaciones relativas dentro de la propia geodatabase, para así no tener que manipular el código de la herramienta al instalarla en diferentes dispositivos, siendo únicamente necesaria la presencia en este de la propia geodatabase.

Estos trabajos conformarán el ***Producto 5: módulo para la automatización de la recarga hídrica***, que contendrá lo siguiente:

- Módulo de automatización de la generación del mapa de recarga hídrica potencial de El Salvador.

- Manual de uso e instalación del módulo de automatización.

Este producto será entregado a los 150 días de la orden de inicio, es decir, el día 13 de diciembre de 2018.

3.2.4.2. FASE 4.2. MÓDULO PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LA VULNERABILIDAD INTRÍNSECA.

Para generar de manera automática el mapa con el índice DRASTIC de vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos, una vez elaboradas las capas en formato ráster de las variables reclasificadas, se programará, también mediante la herramienta *"Model Builder"* de *ArcGis,* la suma ponderada que constituye la base de la metodología.

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

Se seguirá el mismo procedimiento que para el modelo de recarga hídrica generando una herramienta instalable en cualquier equipo con el *software* adecuado, con las mismas características que la descrita anteriormente

Estos trabajos conformarán el ***Producto 6: módulo para la automatización de la vulnerabilidad intrínseca***, que contendrá lo siguiente:

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

Este producto será entregado a los 180 días de la orden de inicio, es decir, el día 11 de enero de 2019.

3.2.5. FASE 5: REDACCIÓN DE DOCUMENTOS

Se ha establecido esta fase en el programa de trabajos para resumir las entregas de los distintos productos referidos en los TdR En ella se refleja la previsión de entregar los productos correspondientes en las siguientes fechas:

- *Producto 1: Plan de trabajo* -> 23 de julio de 2018.
- *Producto 2: Insumos para la recarga hídrica* -> 14 de septiembre de 2018.
- *Producto 3: Capacidad de infiltración básica de los suelos* -> 12 de octubre de 2018.
- *Producto 4. Mapa de recarga hídrica potencial* -> 13 de noviembre de 2018.

- *Producto 5. Módulo para la automatización de la recarga hídrica* -> 13 de diciembre de 2018.
- *Producto 6*. Módulo para la automatización de la vulnerabilidad intrínseca -> 11 de enero de 2019.

4. CONCLUSIONES

Se ha presentado el *Producto 1: Programa de trabajo* ajustando las fechas de entrega de los diferentes productos demandados en la consultoría a partir de la Orden de inicio real, fijada en el 16 de julio de 2018.

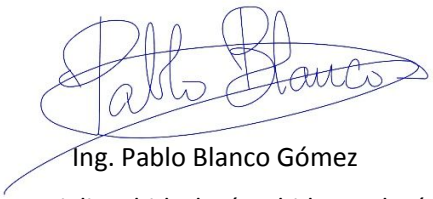
Del mismo modo se ha relacionado el equipo previsto para la realización de los trabajos en cada una de las fases de desarrollo del proyecto. Cabe destacar que está previsto desarrollar una parte importante del trabajo en la oficina, pero también se realizará una campaña de campo, en la que se determinará la infiltración básica del suelo, y de ser posible, se tomarán muestras para trasladarlas al laboratorio de la UES.

Se prevé la automatización de los flujos de trabajo a partir de sendos módulos de cálculo de la recarga hídrica y de la vulnerabilidad intrínseca. Estos módulos se apoyarán en una base de datos georreferenciada que permita su compleción y uso en tareas posteriores por parte del personal del MARN.

La consultoría tiene un total de 180 días calendario estando prevista su finalización para el 11 de enero de 2018.

En San Salvador a 23 de julio de 2018

Ing. Federico Castellanos
Coordinador de la consultoría

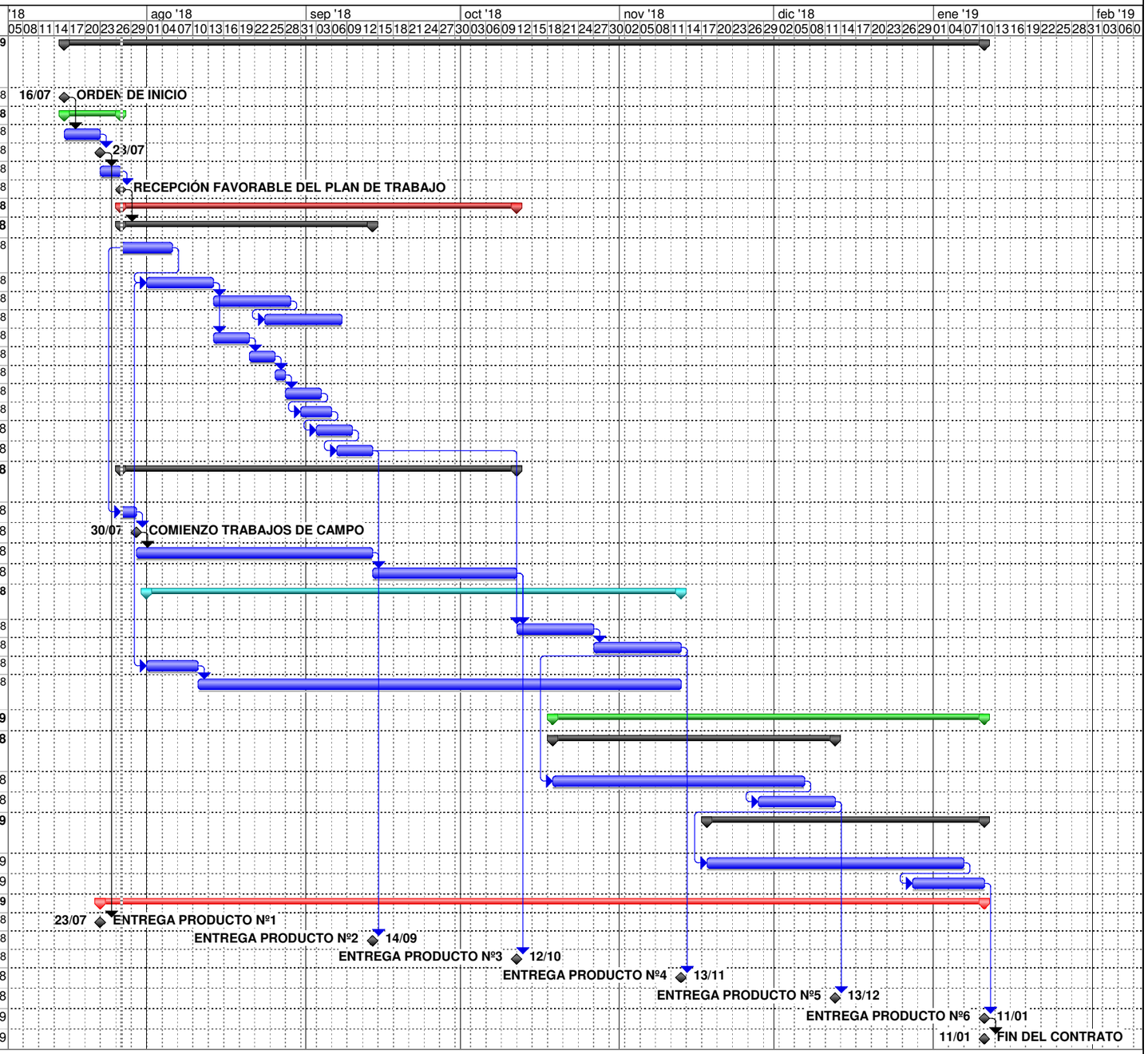


Ing. Pablo Blanco Gómez
Especialista hidrología e hidrogeología

ANEXO 1: DIAGRAMA DE GANTT

CONSULTORIA PARA LA ACTUALIZACIÓN DEL MAPA DE RECARGA HÍDRICA Y AUTOMATIZACIÓN DE HERRAMIENTAS PARA LA GESTIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

Id	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin
1	**CONSULTORÍA PARA LA ACTUALIZACIÓN DEL MAPA DE RECARGA HÍDRICA Y AUTOMATIZACIÓN DE HERRAMIENTAS PARA LA GESTIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS**	**179 días**	**lun 16/07/18**	**vie 11/01/19**
2	**ORDEN DE INICIO**	0 días	lun 16/07/18	lun 16/07/18
3	**FASE 1. TRABAJOS PREVIOS. PLAN DE TRABAJO**	**11 días**	**lun 16/07/18**	**vie 27/07/18**
4	PLAN DE TRABAJO	7 días	lun 16/07/18	lun 23/07/18
5	ENTREGA DEL PLAN DE TRABAJO	0 días	lun 23/07/18	lun 23/07/18
6	SUPERVISIÓN DEL PLAN DE TRABAJO	4 días	lun 23/07/18	vie 27/07/18
7	RECEPCIÓN FAVORABLE DEL PLAN DE TRABAJO	0 días	vie 27/07/18	vie 27/07/18
8	**FASE 2. RECOPILACIÓN DE LA INFORMACIÓN Y GENERACIÓN DE INSUMOS**	**77 días**	**vie 27/07/18**	**vie 12/10/18**
9	**FASE 2.1. INSUMOS PARA LA RECARGA HÍDRICA**	**49 días**	**vie 27/07/18**	**vie 14/09/18**
10	GESTIONES CON LA ADMINISTRACIÓN PARA OBTENCIÓN DE ACCESO A LA INFORMACIÓN	10 días	vie 27/07/18	lun 06/08/18
11	RECOPILACIÓN DE INFORMACIÓN DISPONIBLE	13 días	mié 01/08/18	mar 14/08/18
12	PRECIPITACIÓN MENSUAL MULTIANUAL	15 días	mar 14/08/18	mié 29/08/18
13	EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL MENSUAL MULTIANUAL	15 días	vie 24/08/18	sáb 08/09/18
14	VALORES FRACCIÓN DE LLUVIA INTERCEPTADA POR EL FOLLAJE	7 días	mar 14/08/18	mar 21/08/18
15	COEFICIENTES DE USOS DEL SUELO	5 días	mar 21/08/18	dom 26/08/18
16	COEFICIENTES POR PENDIENTES DE TERRENO	2 días	dom 26/08/18	mar 28/08/18
17	PROFUNDIDAD DE RAíCES	7 días	mar 28/08/18	mar 04/09/18
18	DENSIDAD APARENTE DEL SUELO	6 días	vie 31/08/18	jue 06/09/18
19	CAPACIDAD DE CAMPO EN SUELOS	7 días	lun 03/09/18	lun 10/09/18
20	PUNTO DE MARCHITEZ PERMANENTE	7 días	vie 07/09/18	vie 14/09/18
21	**FASE 2.2. CAPACIDAD DE INFILTRACIÓN BÁSICA DE SUELOS. TRABAJO DE CAMPO**	**77 días**	**vie 27/07/18**	**vie 12/10/18**
22	DISEÑO DE LA CAMPAÑA DE CAMPO	3 días	vie 27/07/18	lun 30/07/18
23	COMIENZO TRABAJOS DE CAMPO	0 días	lun 30/07/18	lun 30/07/18
24	CAMPAÑA DE CAMPO (PRUEBAS DE INFITRACIÓN)	46 días	lun 30/07/18	vie 14/09/18
25	CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE INFILTRACIÓN BÁSICA	28 días	vie 14/09/18	vie 12/10/18
26	**FASE 3. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA. CALCULO DE LA RECARGA HÍDRICA**	**104 días**	**mié 01/08/18**	**mar 13/11/18**
27	APLICACIÓN DE LA METODOLOGIA SCHOSINSKY	15 días	vie 12/10/18	sáb 27/10/18
28	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS Y GENERACIÓN DE TABLAS	17 días	sáb 27/10/18	mar 13/11/18
29	ELABORACIÓN DE LA ESTRUCTURA DE LA BASE DE DATOS	10 días	mié 01/08/18	sáb 11/08/18
30	ELABORACIÓN DE GEODATABASE CON LOS RASTERS DE ENTRADA Y SALIDA	94 días	sáb 11/08/18	mar 13/11/18
31	**FASE 4. AUTOMATIZACIÓN DE LOS PROCESOS**	**84 días**	**vie 19/10/18**	**vie 11/01/19**
32	**FASE 4.1. MÓDULO PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LA RECARGA HÍDRICA**	**55 días**	**vie 19/10/18**	**jue 13/12/18**
33	GENERACIÓN DE MODELO DE CÁCLUCO DE RECARGA HÍDRICA	49 días	vie 19/10/18	vie 07/12/18
34	ELABORACIÓN DE MANUAL DE USO E INSTALACIÓN (RECARGA)	15 días	mié 28/11/18	jue 13/12/18
35	**FASE 4.2. MÓDULO PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LA VULNERABILIDAD INTRINSECA**	**54 días**	**dom 18/11/18**	**vie 11/01/19**
36	GENERACIÓN DE MODELO CÁLCULO VULNERABILIDAD	50 días	dom 18/11/18	lun 07/01/19
37	ELABORACIÓN DE MANUAL DE USO E INSTALACIÓN (VULNERABILIDAD)	14 días	vie 28/12/18	vie 11/01/19
38	**FASE 8. REDACCIÓN DE DOCUMENTOS**	**172 días**	**lun 23/07/18**	**vie 11/01/19**
39	ENTREGA PRODUCTO Nº1	0 días	lun 23/07/18	lun 23/07/18
40	ENTREGA PRODUCTO Nº2	0 días	vie 14/09/18	vie 14/09/18
41	ENTREGA PRODUCTO Nº3	0 días	vie 12/10/18	vie 12/10/18
42	ENTREGA PRODUCTO Nº4	0 días	mar 13/11/18	mar 13/11/18
43	ENTREGA PRODUCTO Nº5	0 días	jue 13/12/18	jue 13/12/18
44	ENTREGA PRODUCTO Nº6	0 días	vie 11/01/19	vie 11/01/19
45	FIN DEL CONTRATO	0 días	vie 11/01/19	vie 11/01/19



VIELCA INGENIEROS

Tarea · Progreso · Resumen · Tareas externas · Fecha límite
División · Hito · Resumen del proyecto · Hito externo