

SEMILLERO SHWR



CARTILLA

USO

QSWAT+

2024



JORGE ESTEBAN OCHOA PRIETO
DAYANA VANESSA TORRES AGUILAR

ÍNDICE QSWAT+

INTRODUCCIÓN.....	3
OBJETIVOS.....	4
OBJETIVO GENERAL.	4
OBJETIVOS ESPECIFICOS.	4
DESCARGA SOFTWARE QGIS-SWAT.....	6
DESCARGA DEM CUENCA EN ALOS PALSAR.....	11
CREACIÓN NUEVO PROYECTO, DELIMITACIÓN DE CUENCAS HIFROGRÁFICAS.....	21
DELMINACION DE CUENCA MUNICIPIO DE COMBITA	21
DEFINICION Y CREACION DE UNIDADES DE RESPUESTA HIDROLOGICA HRU's.....	46
¿QUE SON LOS HRUS?	46
CREACION DE HRU's	46
SIMULACIÓN Y VISUALIZACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL MODELO HIDROLOGICO	68
GLOSARIO.....	77
CONCLUSIONES.....	79
BIBLIOGRAFÍA	80



Vbo Director semillero
Carlos Caro

INTRODUCCIÓN

En el extenso campo de la ingeniería civil, el desarrollar habilidades tales como análisis hidrológico multicriterio con gran precisión, se ha vuelto importante para abordar desafíos contemporáneos que se relacionan con la gestión de recursos hídricos y la planificación de su uso.

Esta cartilla tiene como objetivo principal el poder guiar estudiantes y profesionales a la implementación de SWAT+ respaldado por el software libre de geoprocetamiento QGIS, más allá de solo ser una cartilla de guía técnica, es una iniciativa que busca fomentar el uso de herramientas que tienen código abierto con calidad excepcional, que son de utilidad en un mundo donde cada vez es más imperativo la gestión sostenible de los recursos hídricos. En el contexto ya mencionado, el software SWAT+ será una herramienta valiosa que brinda a los ingenieros y ramas a fines la capacidad de realizar modelos de cuencas hidrográficas de manera más detallada y eficiente.

SWAT se trata de un modelo hidrológico que permite realizar la evaluación respectiva del suelo y del agua para una cuenca hidrográfica, fue desarrollado principalmente para pronosticar el impacto que se produce en el suelo en cuencas con condiciones complejas; esta herramienta es capaz de modelar procesos físicos ligados al movimiento hídrico, de sedimentos, cosechas etc. SWAT posee una interfaz gráfica de QGIS, la cual se denomina QSWAT para el modelo hidrológico Soil & Water Assessment tool (SWAT). [16]

A su vez, este modelo requiere de datos de entrada, los cuales deben contener información específica respecto a la topografía, tipo de suelo, vegetación, clima y tiempo de cada una de las cuencas, para el caso en estudio la información obtenida fue tomada del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). [17]

OBJETIVOS.

OBJETIVO GENERAL

- Proporcionar a los estudiantes de ingeniería civil y afines una guía detallada del software SWAT+ con el apoyo de QGIS, con el fin de complementar sus capacidades en el análisis hidrológico. Esto desde una cartilla que ofrece herramientas guía en la descarga de datos, cargar datos, configuración en modelación y simulación hidrológicas permitiendo la integración de la herramienta SWAT+.

OBJETIVOS ESPECIFICOS.

- Aportar una herramienta práctica y comprensible para estudiantes de la carrera de ingeniería civil que se encuentren cursando la asignatura de hidrología, complementando la materia con el uso del software SWAT+.
- Motivar a las personas al aprovechamiento de software libres que son de alta calidad, tal como lo es QGIS, el cual permite mediante SWAT+ explorar y expandir sus habilidades en análisis geoespacial e hidrológico de manera innovadora.
- Realizar la simulación de la cuenca del municipio de Combita mediante el software SWAT+
- Analizar los resultados obtenidos del modelo hidrológico.



01.

**DESCARGA
SOFTWARE**

QGIS-SWAT



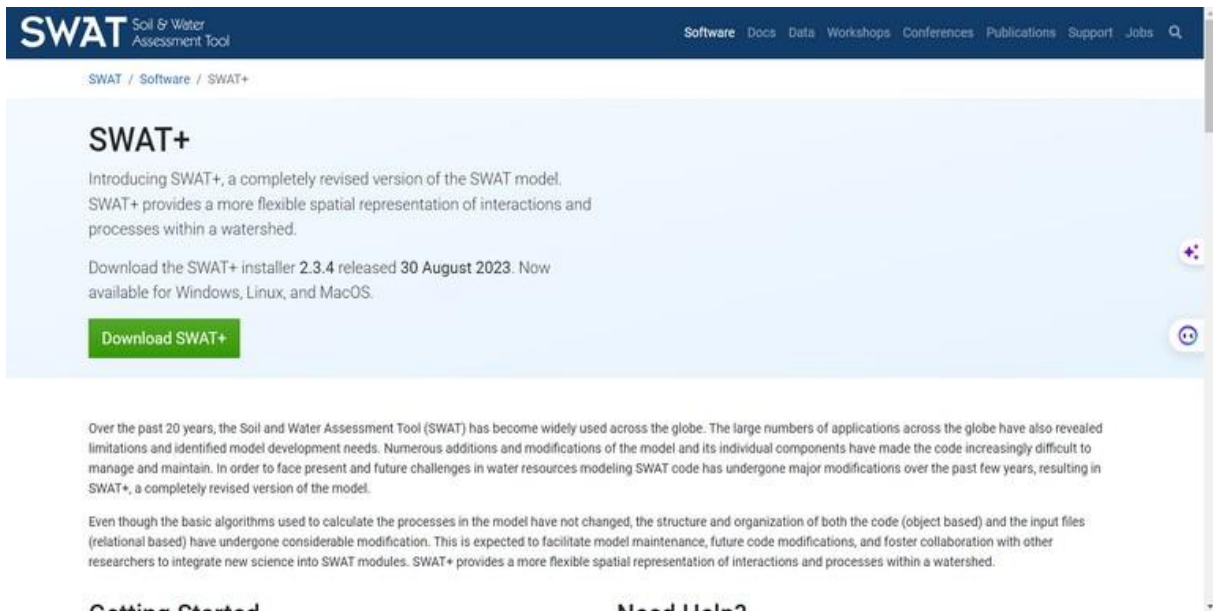
DESCARGA SOFTWARE QGIS-SWAT

Gracias a que este es un software libre de geoprocesamiento, este ofrece un paquete amplio de procesamiento y el paso de instalación es de manera muy sencilla.

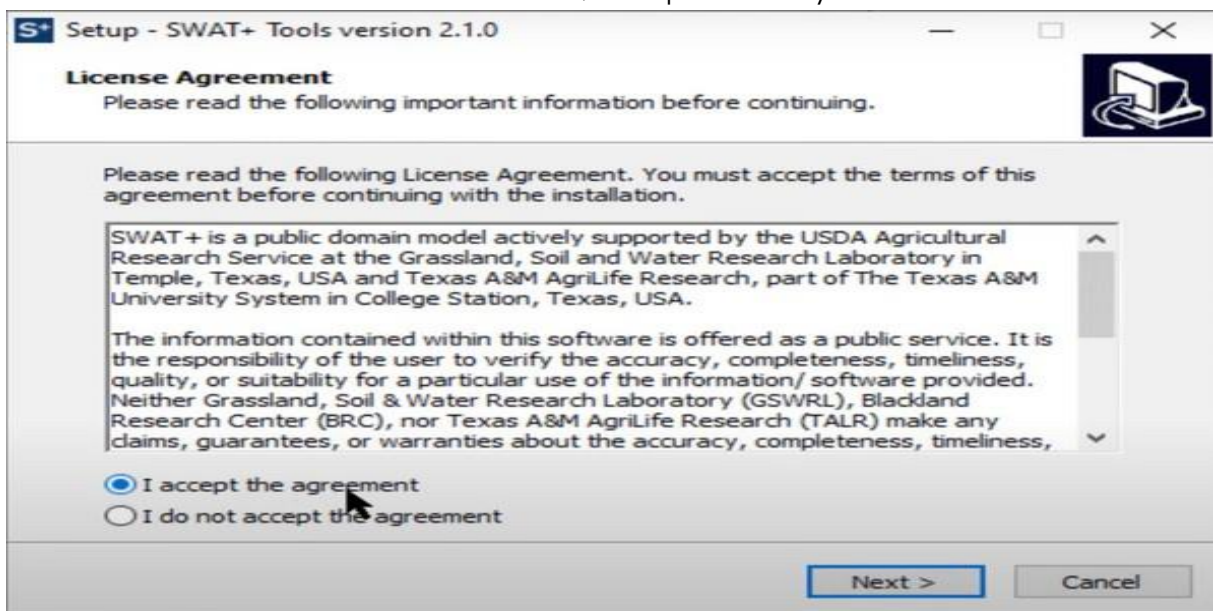
Paso 1. Se deberá descargar QGIS en la página oficial en el siguiente enlace <https://www.qgis.org/es/site/>.



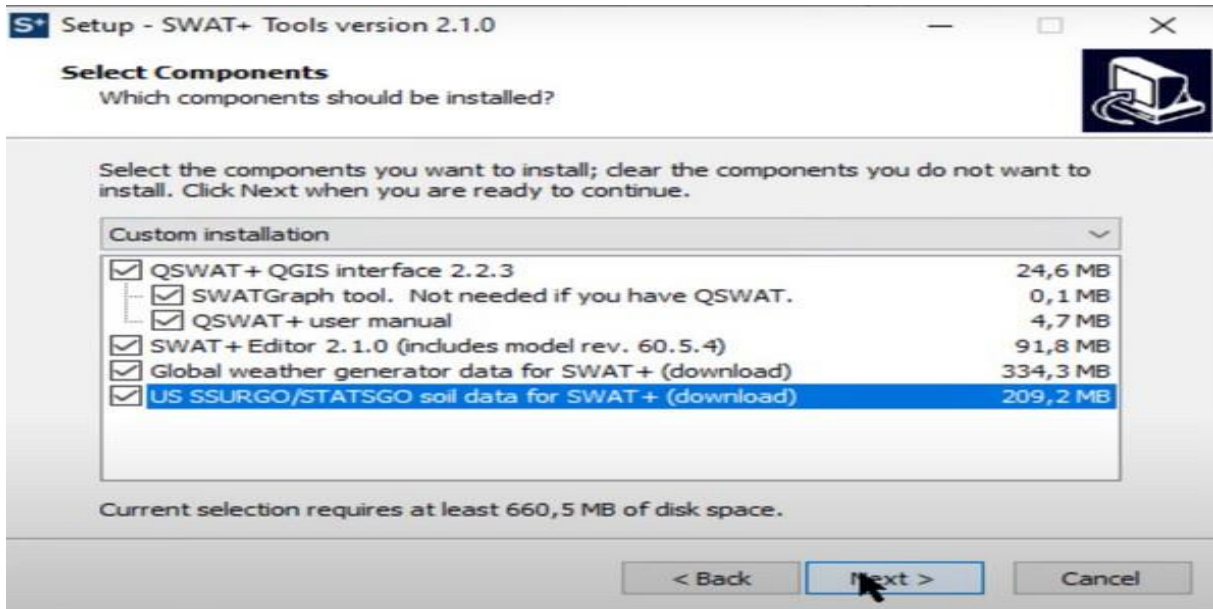
Paso 2. De igual forma el software SWAT, es de descarga libre y no requiere un proceso de instalación compleja se deberá descargar del siguiente enlace: <https://swat.tamu.edu/software/plus>.



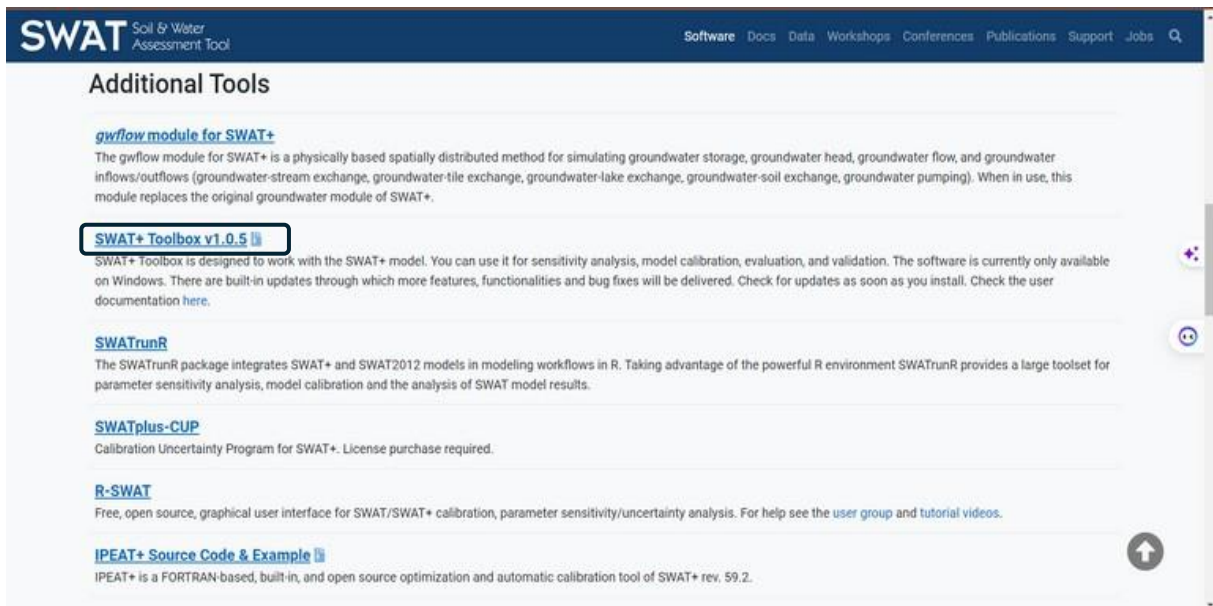
Paso 3. Se llevará acabo la instalación, con pasos muy sencillos de instalación



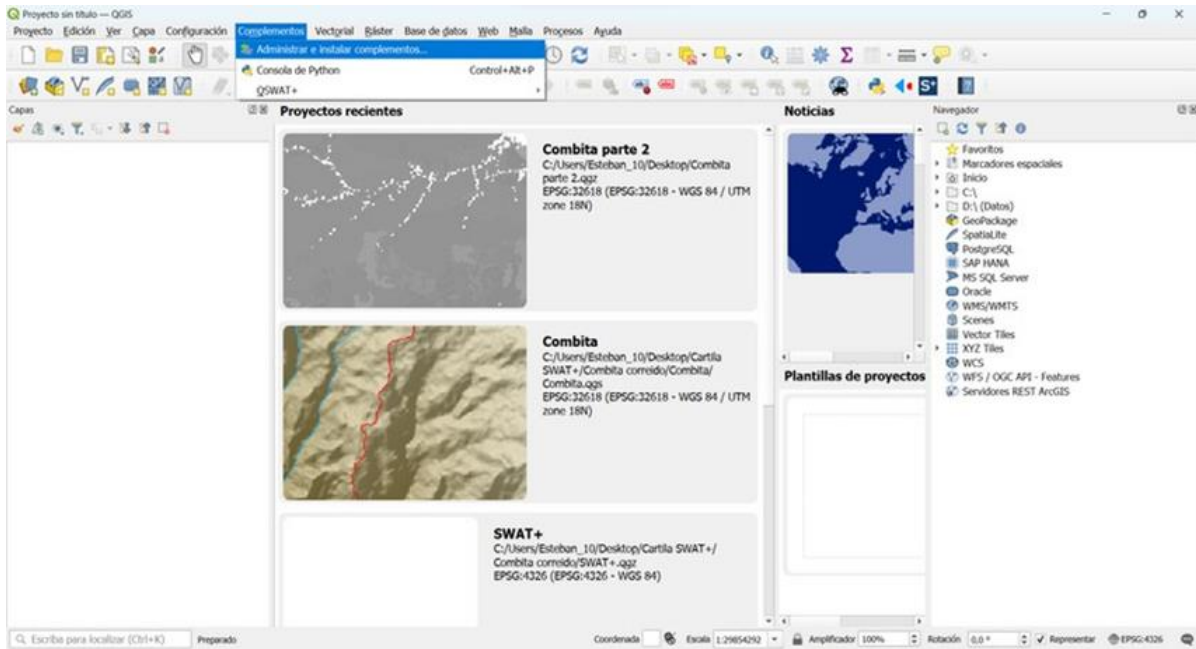
Paso 4. Se propone la ruta de guardado del archivo, y se deberá activar lo siguiente antes de la instalación.



Paso 5. Adicional a las 2 descargas también se recomienda la instalación del Toolbox que también ofrece la misma página tal como se muestra a continuación.



Paso 6. SWAT+ funciona como una extensión de geoprocesamiento se deberá hacer la activación del software en QGIS, y se hará de la siguiente manera



Paso 7. Una vez que se ingresa a complementos se deberá buscar en complementos QSWATplus3_9 y realizar la activación.





02.

**DESCARGA DEM
CUENCA**
A LOS
PALSAR



DESCARGA DEM CUENCA EN ALOS PALSAR

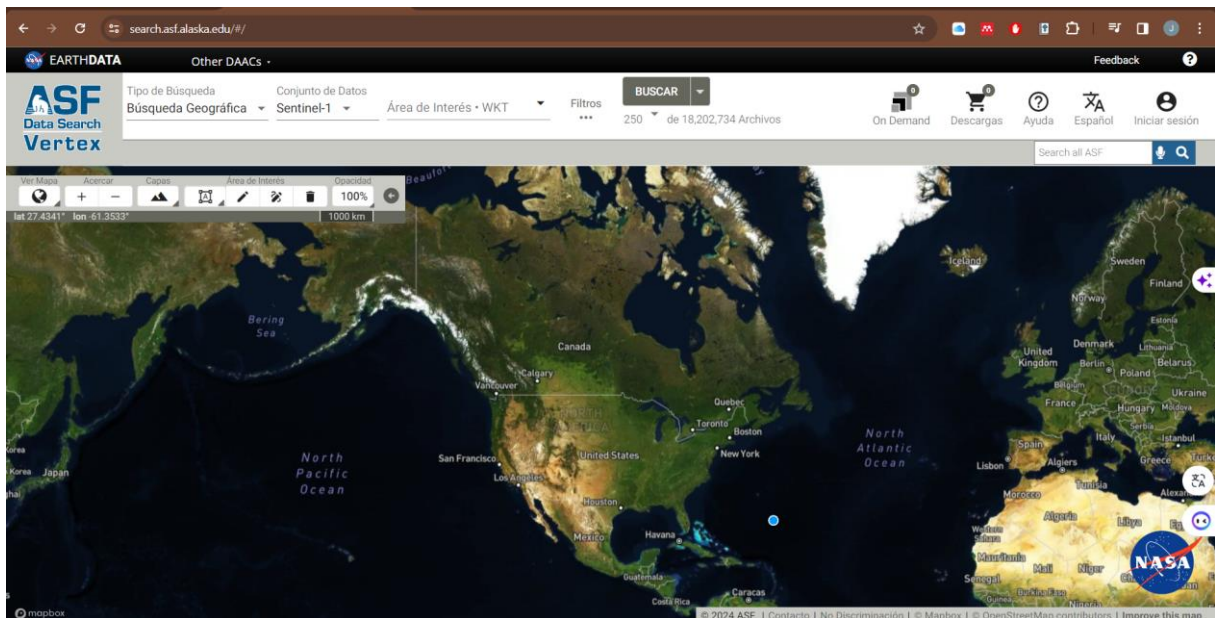
INTRODUCCIÓN.

Para el desarrollo del proyecto es necesario tener una información previa, entre este es una imagen tipo ráster, de la cuenca sobre la que se trabajara, existen diversas plataformas para descargar imágenes satelitales, en el caso de cuencas hidrográficas es importante su alta definición, para tener una información altimétrica más precisa y con mayor número de pixeles para una lectura adecuada, por esto dicho previamente se propone llevar acabo en una plataforma libre que permite conseguir modelos digitales de elevación. [13]

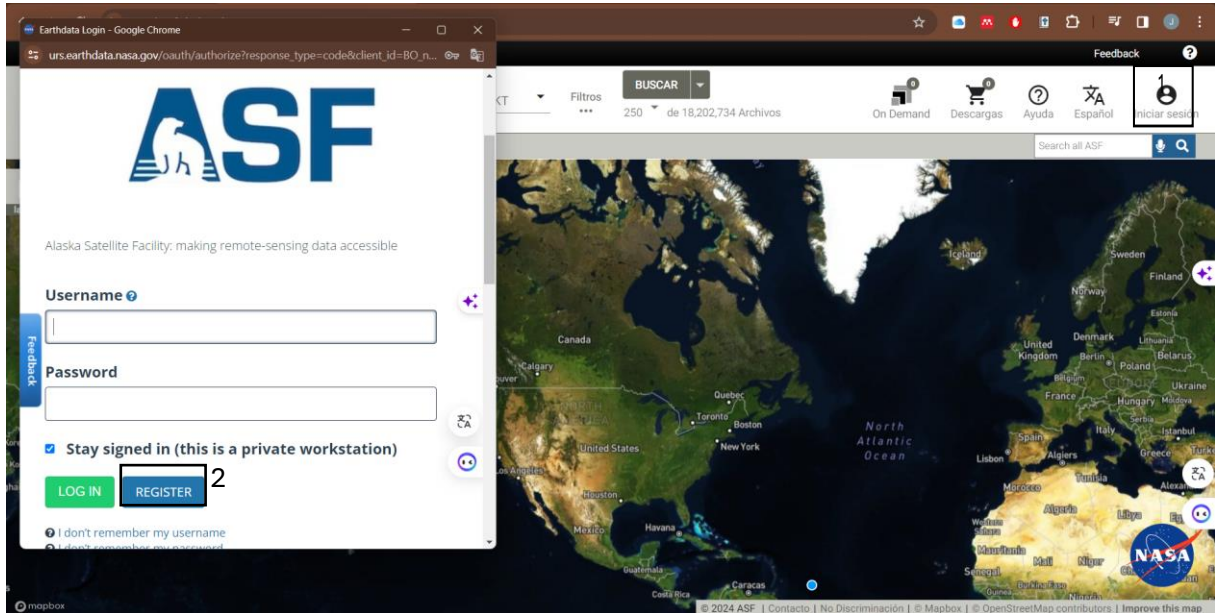
ALOS PALSAR son recursos cartográficos que facilita la Agencia Japonesa de exploración Aeroespacial (JAXA), los cuales se obtienen a través de satélite conocido como DAICHI, su gran ventaja es poder proporcionar imágenes satelitales con definiciones de 12.5 x 12.5m, pudiendo ser descargada en formato.dem.tif [10].

A continuación, se mostrará el paso a paso para poder realizar de tu dem.

Paso 1. Se deberá ingresar a siguiente link: (<https://search.asf.alaska.edu/#/>) [5] que redirige al geo portal del ALOS PALSAR, donde se encontrará lo siguiente:



Paso 2. En el paso dos es necesario que para poder tener acceso a los datos sea necesario, registrarse en el geo portal, tal como se muestra a continuación.



Donde podrás llenar alguno de los datos de la siguiente manera.

Registro de usuario de inicio de sesión de Earthdata - Google Chrome

urs.earthdata.nasa.gov/users/new?client_id=BO_n7nTlMjdVU6kRRB3g&redirect_uri=https%3A%2F%2Fauth.asf.alaska.edu%2Flogin&response_type=code&state=https%3A%2F%2Fsearch.asf.alaska.edu

Información del país

País: Colombia

Afiliaciones

Afiliación: Educación

Tipo de usuario: Usuario público

Si se seleccionó 'otro' arriba:

Organización:

Área de estudio: Ciclo hidrológico

Acuerdos

☒ Notifíqueme por correo electrónico con información importante sobre los productos de datos científicos de EOSDIS (por ejemplo, actualizaciones, nuevas publicaciones de datos, problemas de calidad), aplicaciones/herramientas de EOSDIS (por ejemplo, actualizaciones, interrupciones del servicio) y otra información relevante para los usuarios.

Paso 3. Se deberá realizar una configuración para un correcto funcionamiento, se deberá configurar así:

Earthdata Data Search

Other DAACs

Tipo de Búsqueda: Búsqueda Geográfica

Search all ASF

Search

On Demand **Descargas** **Ayuda** **Español** **jorgechoa**

chivos

2014 to Present

Sentinel-1

Sentinel-1 incluye satélites gemelos, cada uno de los cuales lleva un radar de apertura sintética (SAR) de banda C, juntos brindan imágenes de la superficie de la Tierra para todo clima, día y

Más Información

S1 Bursts (beta)

Los productos Sentinel-1 BURST son las respuestas de pulso del radar individuales que componen las 3 sub-franjas de cada producto Sentinel-1 SLC.

Más Información

OPERA-S1

Productos de retrodispersión RTC Sentinel-1 que proporcionan cobertura casi global, así como productos CSLC Sentinel-1 que cubren América del Norte.

Más Información

ALOS PALSAR

PALSAR fue desarrollado para contribuir a los campos de mapeo, observación precisa de la cobertura terrestre regional, monitoreo de desastres y estudio de recursos.

Más Información

ALOS AVNIR-2

Las imágenes del Radiómetro Visible e Infrarrojo Cercano Avanzado (AVNIR)-2 han eliminado las distorsiones causadas por el sensor y el terreno. Esto permite la superposición de datos

Más Información

SIR-C (beta)

1994

Embalaje La Copa

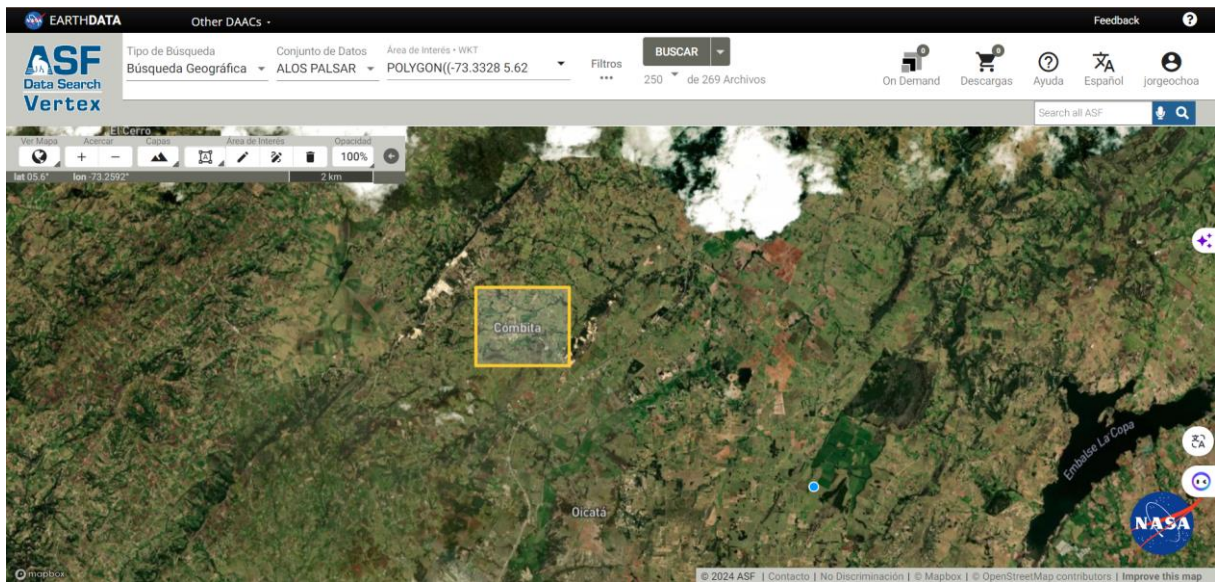
NASA

Contacto **No Discriminación** **Mapbox** **OpenStreetMap contributors** **Improve this map**

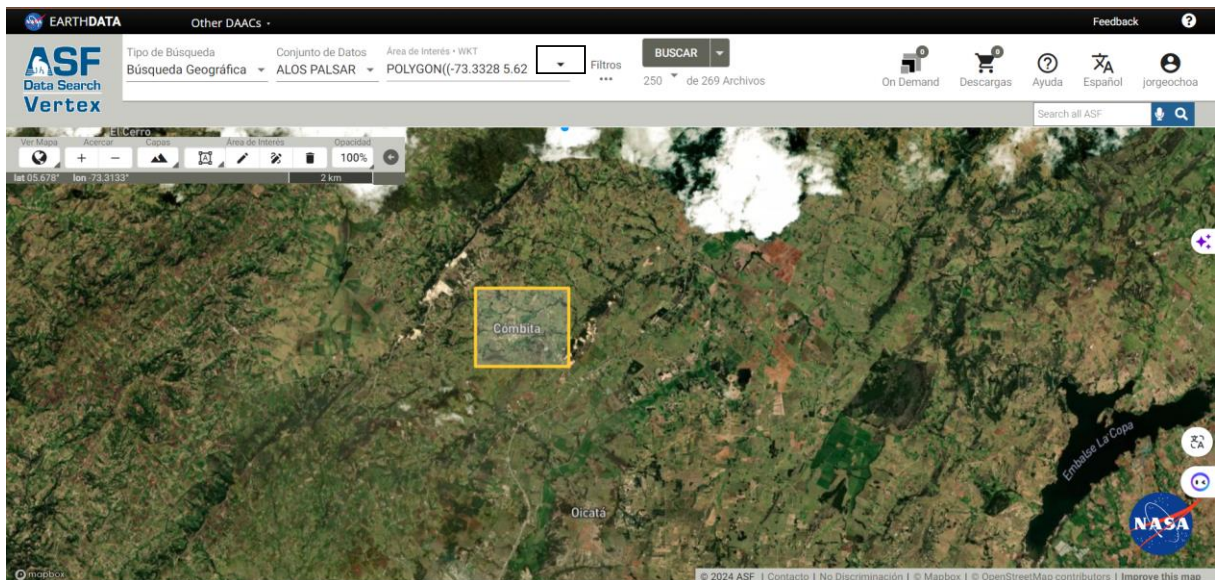
- (1) Clic en conjunto de datos
- (2) Seleccionar ALOS PALSAR.

Paso 4. Realizar una búsqueda del municipio, o zona a la cual se le quiere realizar la cuenca hidrográfica para trazar un recuadro con el cursor tal como se muestra en la imagen a continuación.

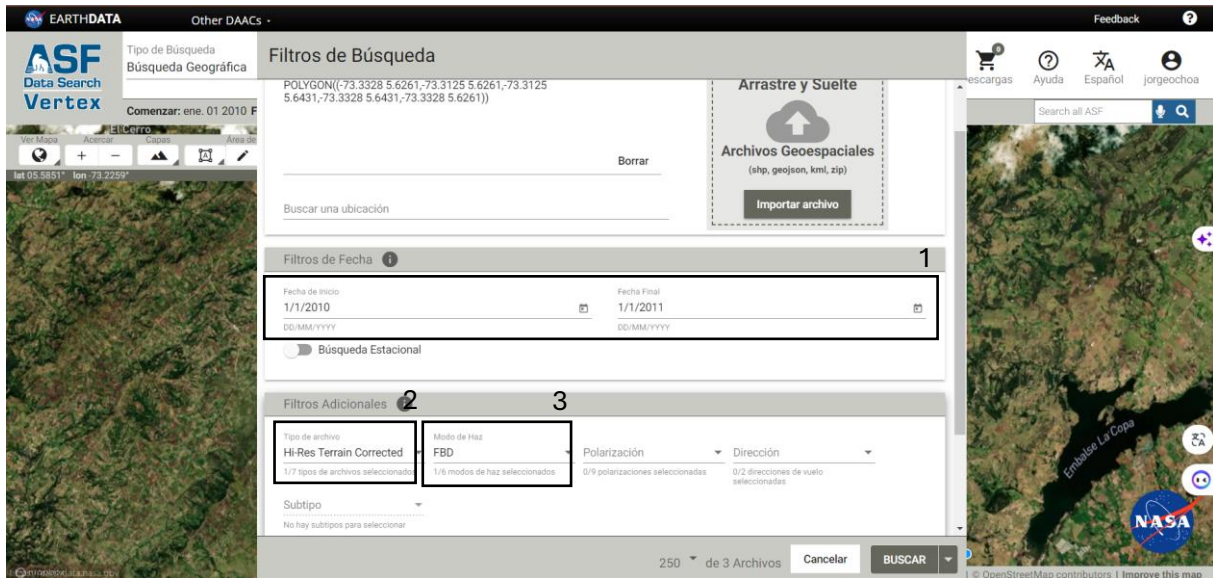
MANUAL DE USO QSWAT+



Paso 5. Se da clic en el icono filtros.

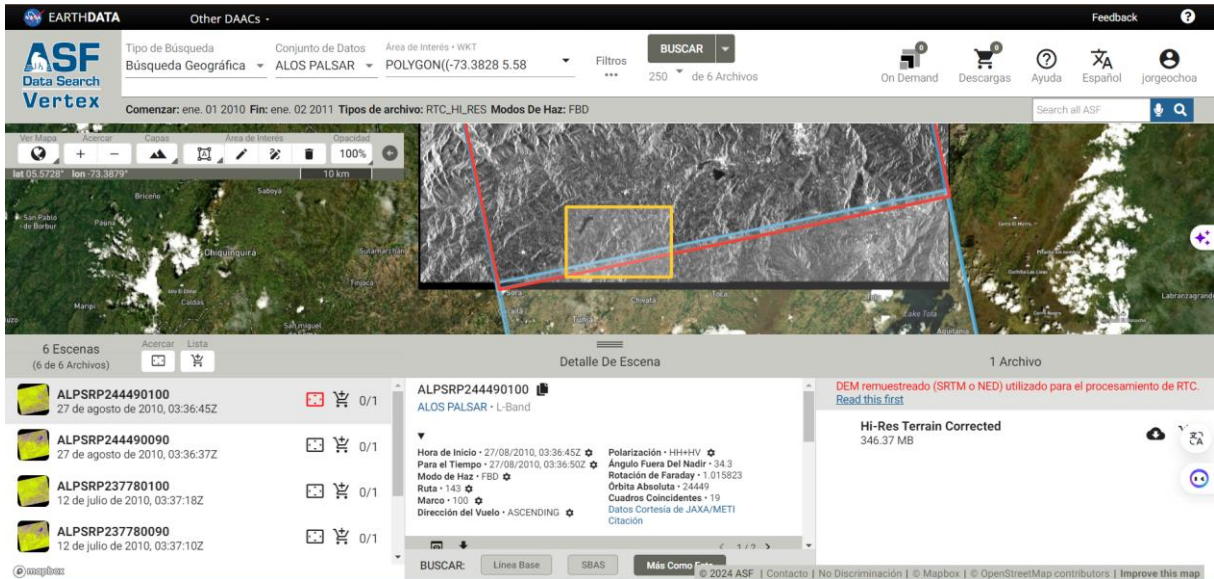


Paso 6. Una vez dado clic en filtros se deberá configurar, para tener información más precisa, de la siguiente manera.

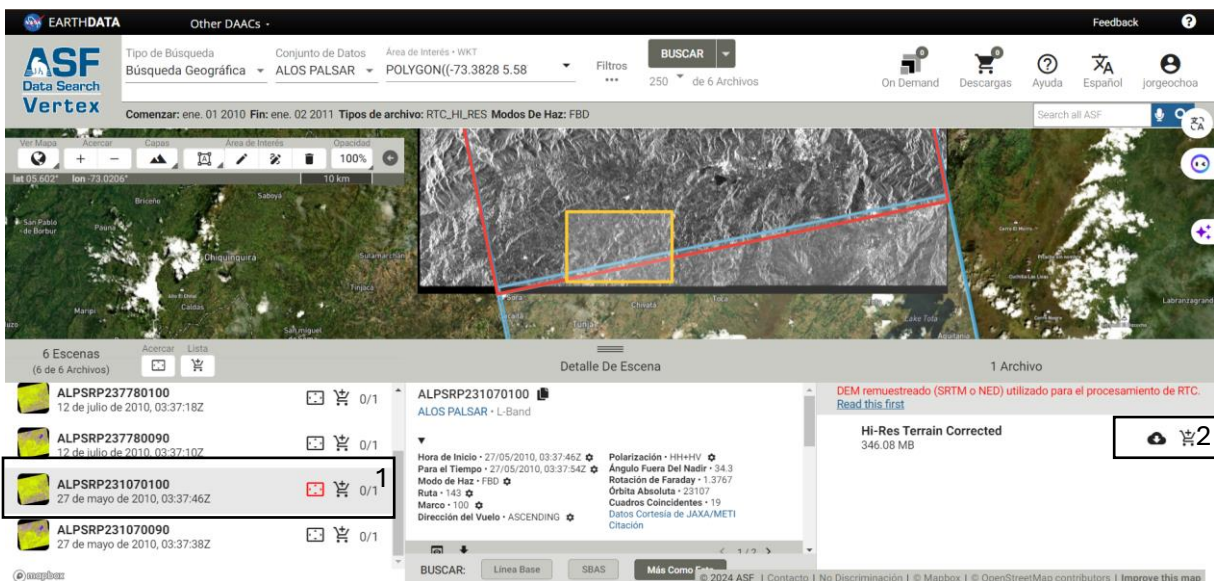


- (1) Es importante el limitar fechas debido a que podemos encontrar imágenes de mayor tiempo de antigüedad, lo ideal es seleccionar fechas recientes donde no sea tan perceptible la posible degradación que puedo presentar el suelo a través de los años, donde pudieron producirse cambios físicos y químicos del suelo.
- (2) Como segunda configuración es la alta definición del terreno, con la finalidad de poder obtener pixeles de 12.5 x 12.5m.
- (3) La tercera configuración nos dará más precisión, debido a que se tomará un sistema FBD (Haz fino de polarización doble), en esta configuración se podrá encontrar FBS (Haz fino de polarización simple).

Paso 7. Se procede a realizar búsqueda.

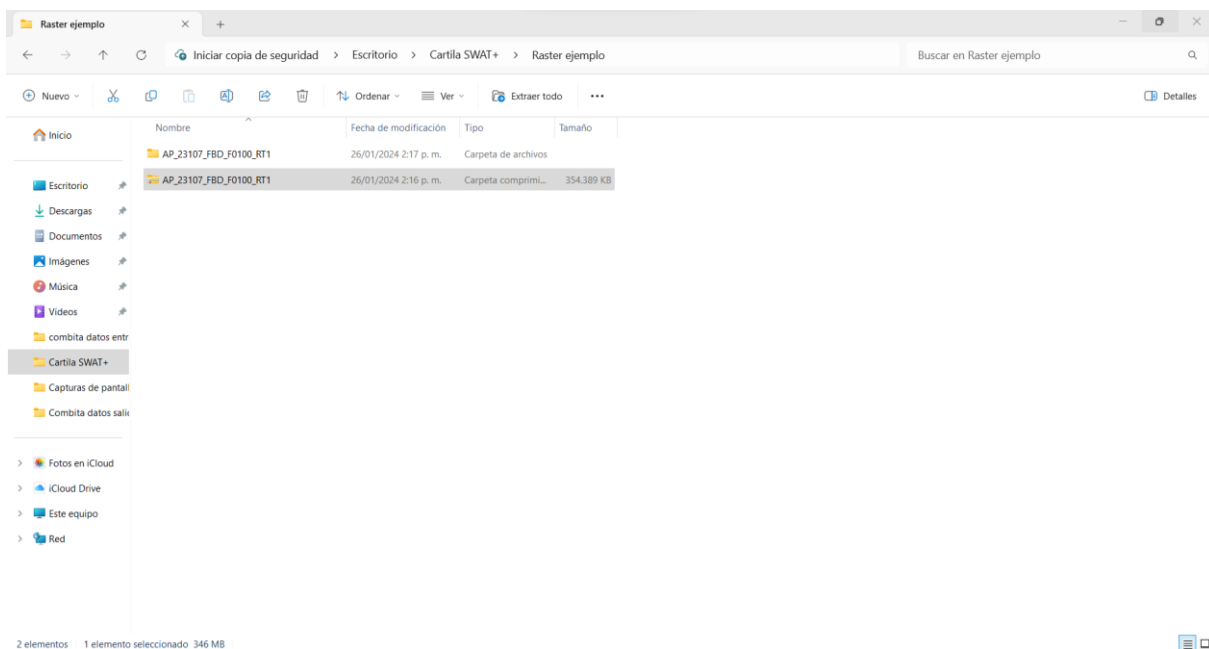


En este proceso es importante elegir el recuadro que más cobertura le dará a la cuenca de interés, si queda en medio de dos recuadros se podrá realizar una unión en un sistema de geoprocetamiento. GIS, de no ser necesario con uno bastara y se descargara de la siguiente manera.



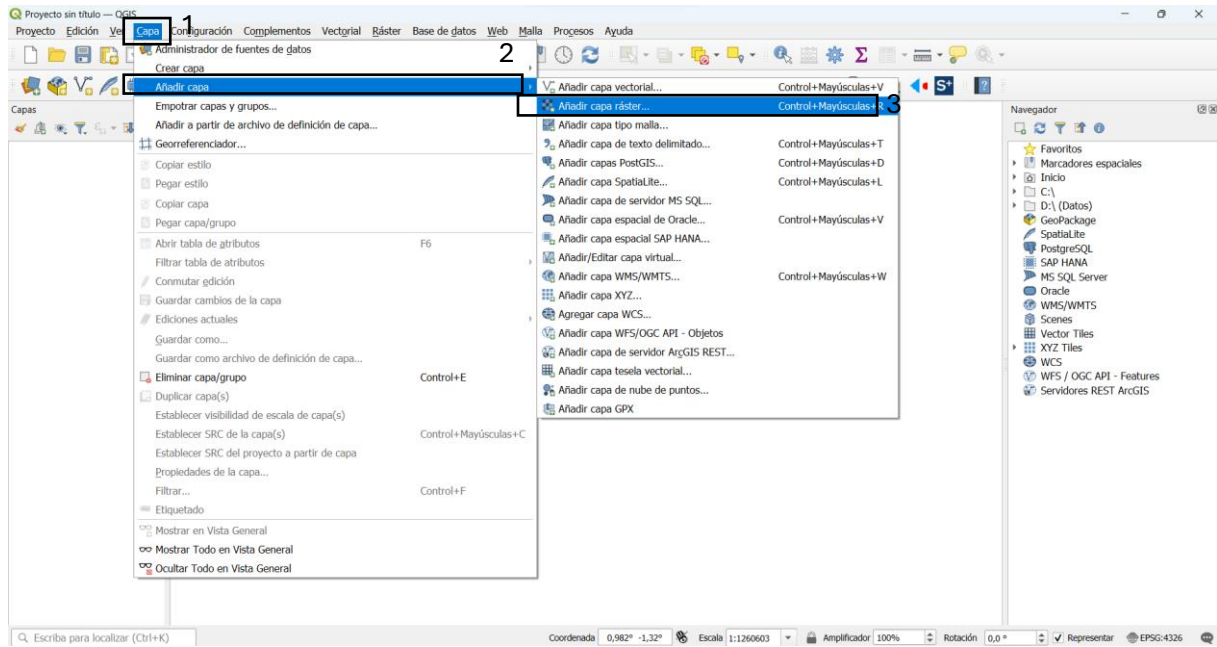
- (1) Elegir el recuadro más conveniente para nuestro análisis, este se alumbrará rojo según el que tengamos seleccionado.
- (2) Se dará clic en la nube de descarga y descargará un archivo comprimido .zip

Paso 8. Descomprimir la capeta en una ruta fácil y rápida tal como se muestra a continuación.

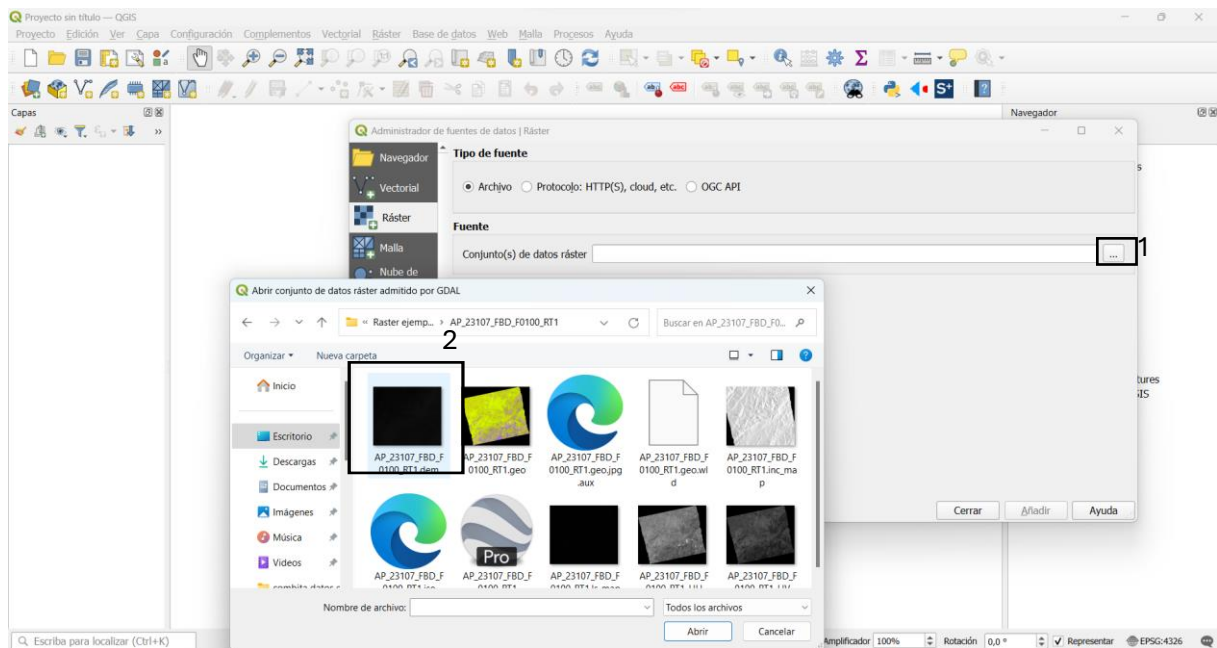


Paso 9. Ingresar a QGIS y realizar la verificación del ráster tal como se muestra.

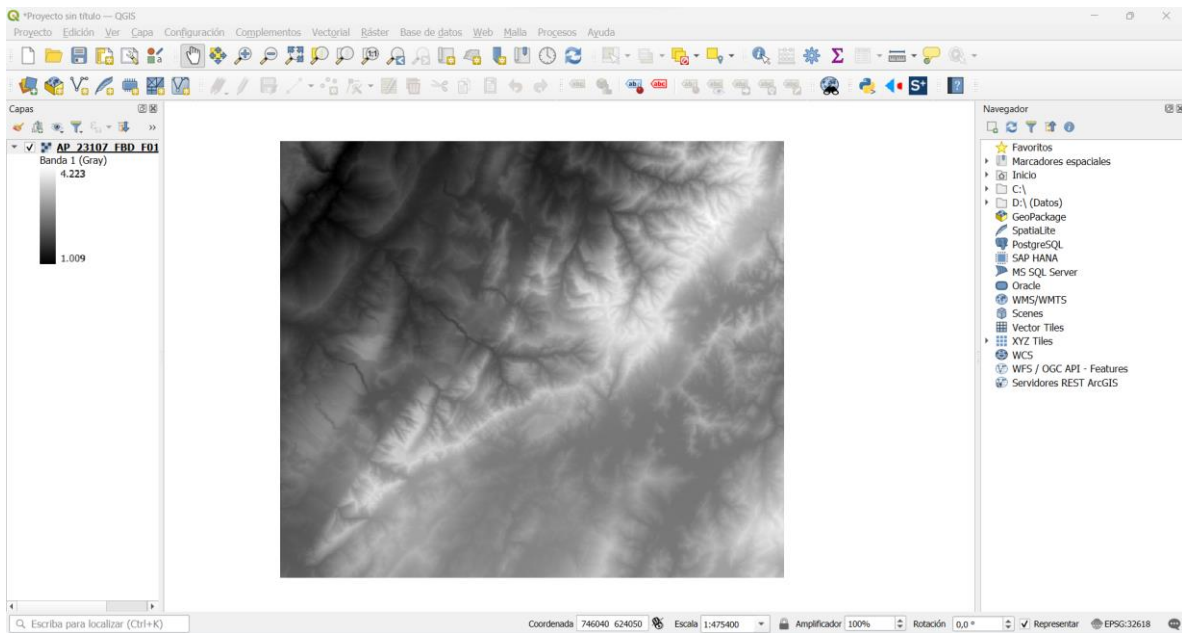
9.1. Seguir la ruta que se muestra a continuación para cargar la capa.



9.2. Realizar el cargue del archivo el cual termine .dem.



Paso 10. Como verificación debemos evidenciar lo siguiente.



03.



**CREACION NUEVO
PROYECTO**
DELIMITACIÓN DE
CUENCAS
HIDROGRÁFICAS.

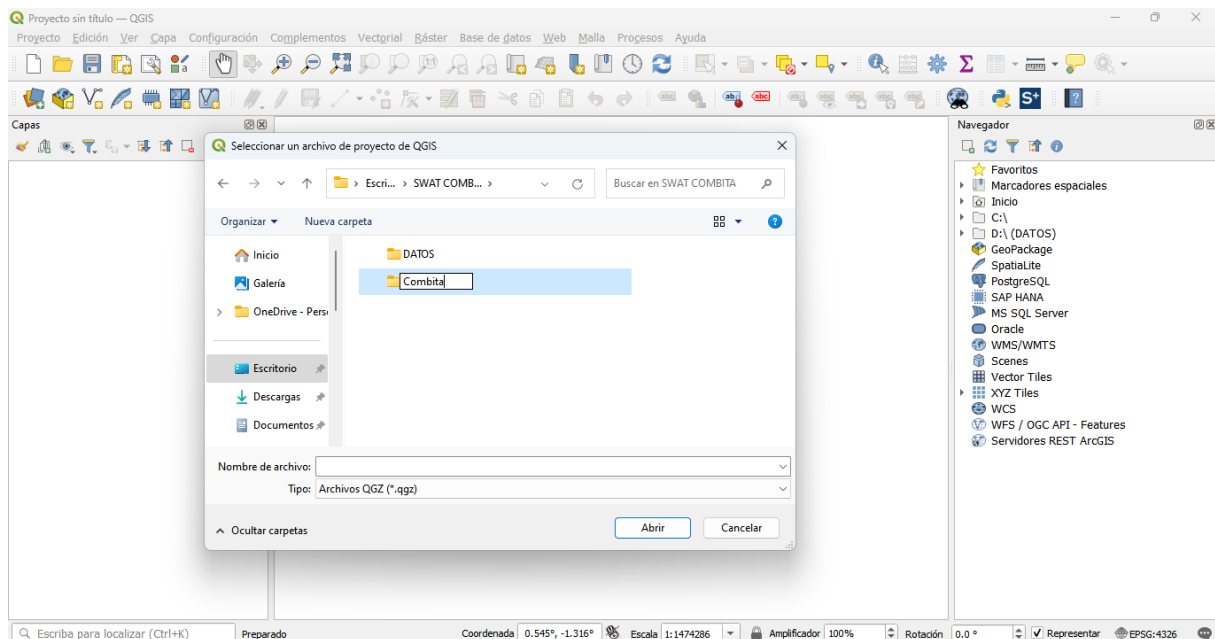


CREACIÓN NUEVO PROYECTO, DELIMITACIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS

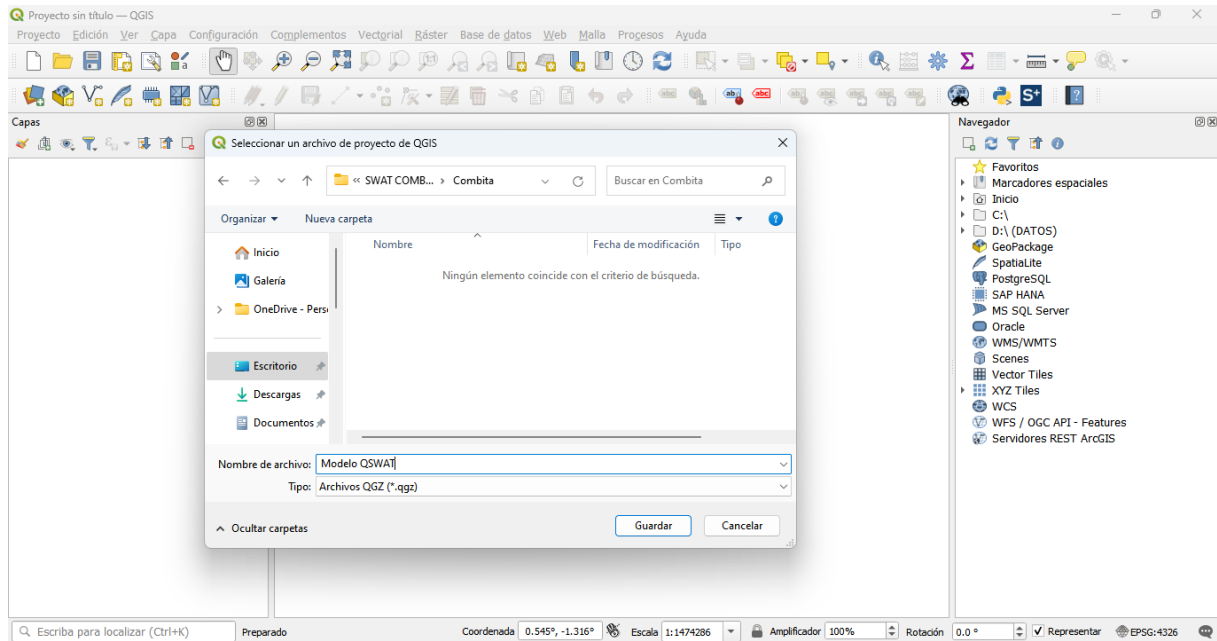
En este caso se llevará a cabo la realización de la cuenca ubicada en el municipio de Combita -Boyacá debido que durante en investigaciones y estudios pasados se ha llevado a cabo el análisis de la cuenca rural de este municipio.

DELIMINACION DE CUENCA MUNICIPIO DE COMBITA

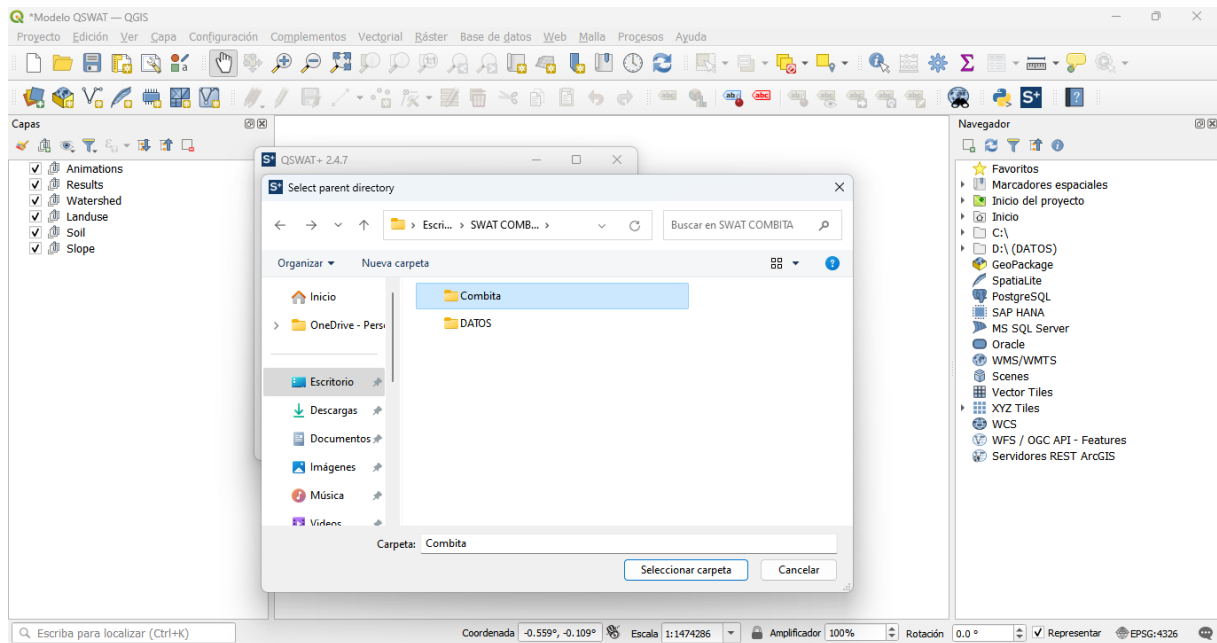
Paso 1. Antes de iniciar a realizar tu proyecto es necesario guardar el proyecto en el caso de la tutoría se guardará con el nombre del municipio sobre el que se hará el diseño hidrológico (Combita).

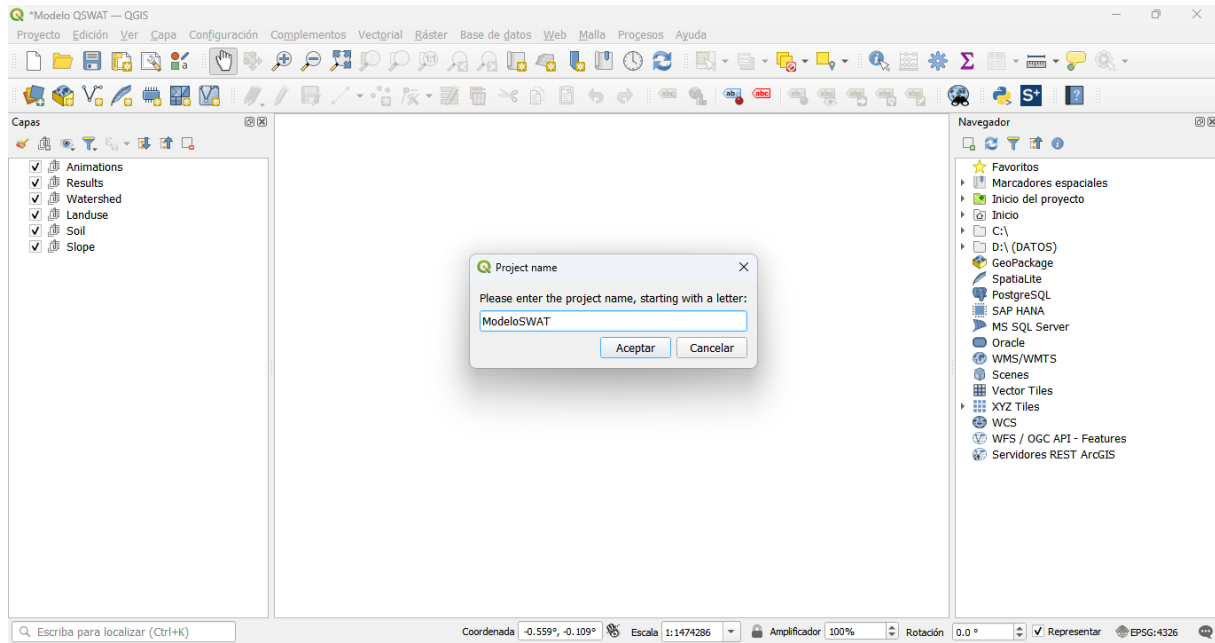


Paso 2. Crear un nuevo proyecto ahora en SWAT+, donde lo alojaremos también en la carpeta que nombramos en este caso como (Combita), lo llamaremos modelo SWAT+.

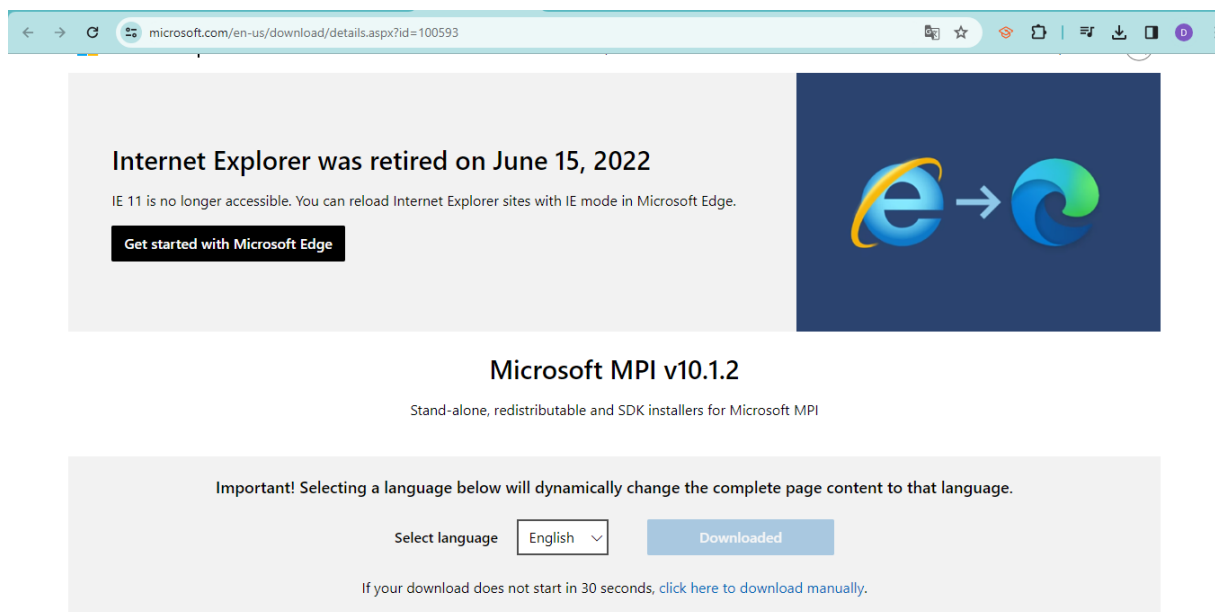


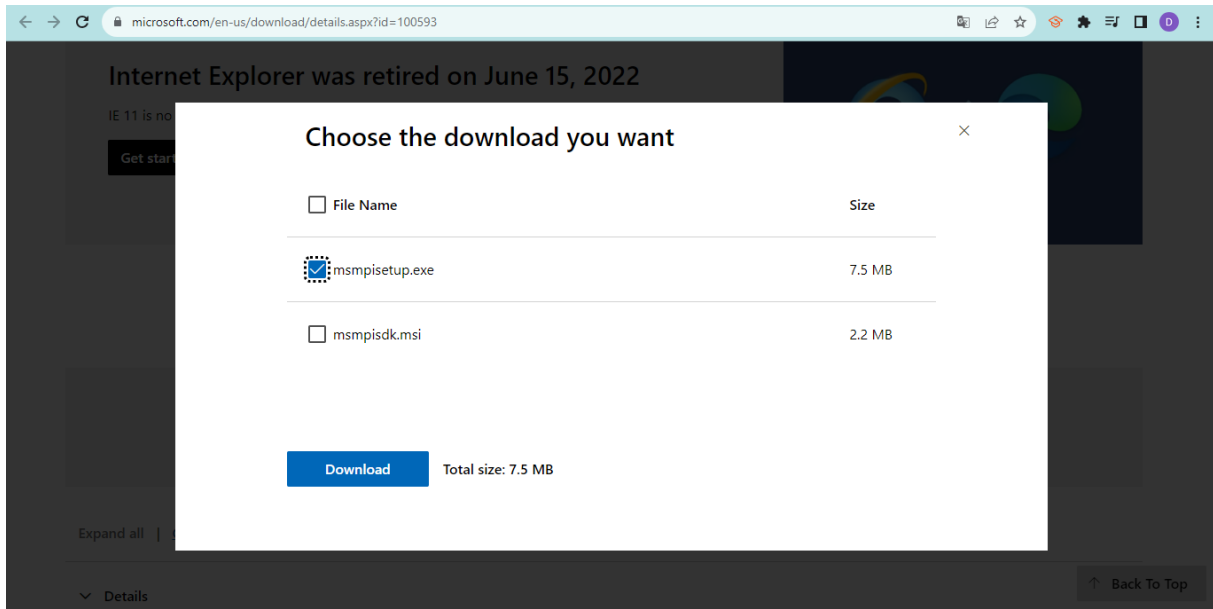
Paso 3. Crear un nuevo proyecto dirigiéndose a la pestaña de QSWAT.



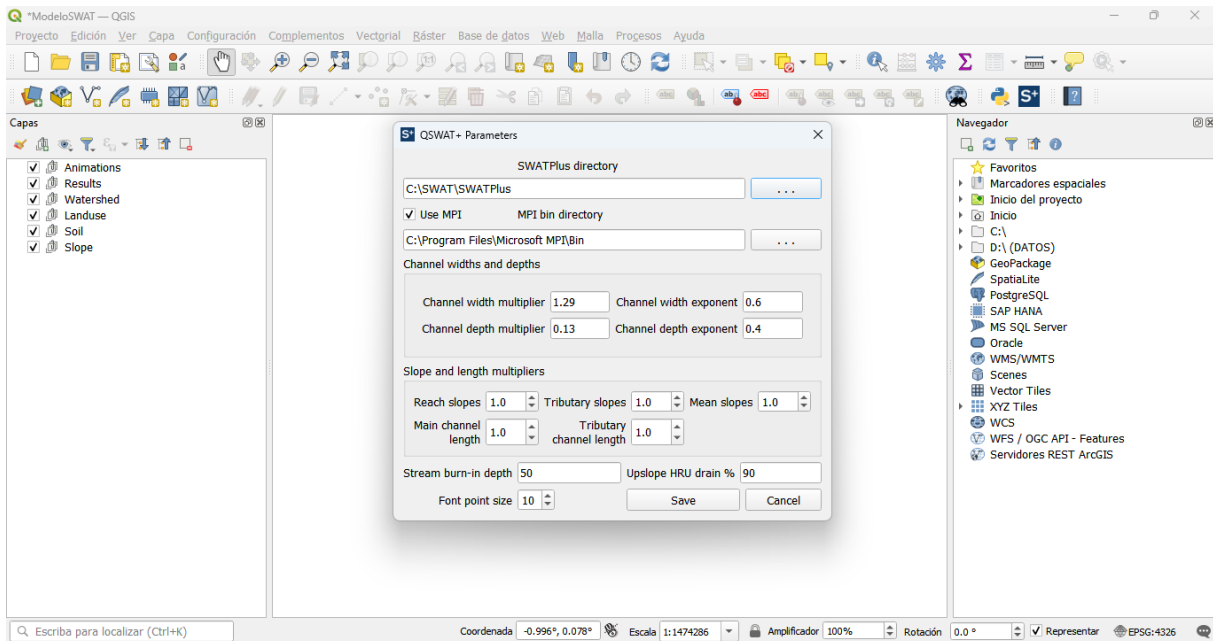


Paso 4. Luego se hará la verificación de parámetros donde será importante activar Usar MPI, debido que en los procesos se llevara a cabo con la RAM y el procesador del computador esto es útil cuando son modelos de alta complejidad y con varios datos de entrada. Para poder activar el MPI será necesario descargar en el siguiente enlace: <https://www.microsoft.com/en-us/download/details.aspx?id=100593>. [2]



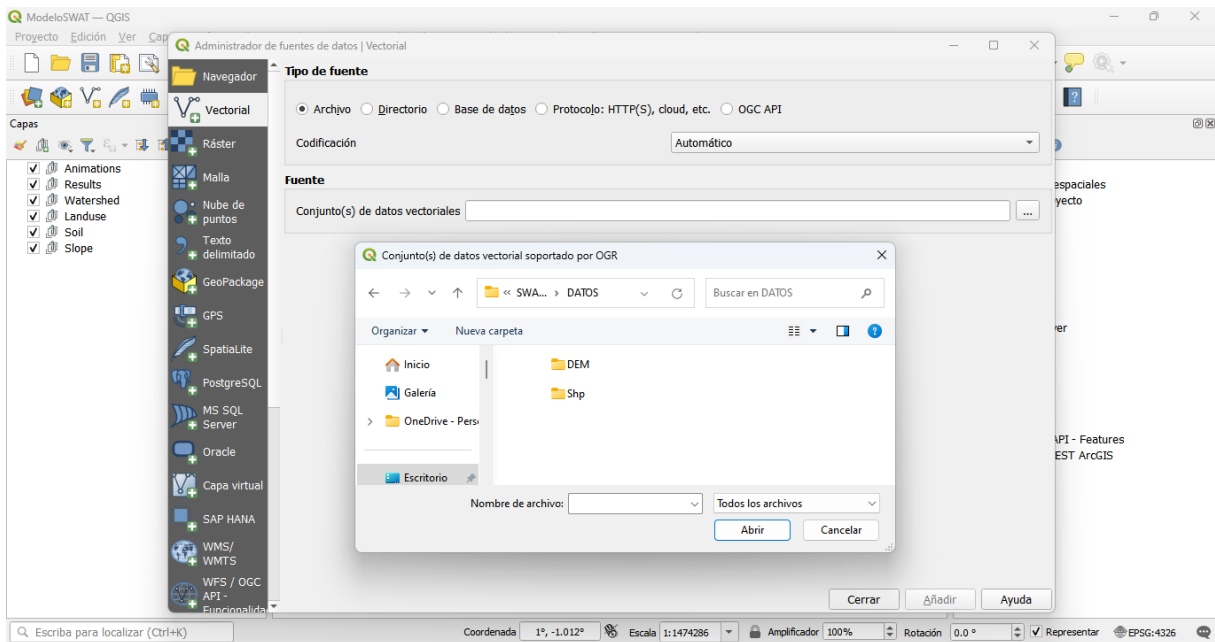
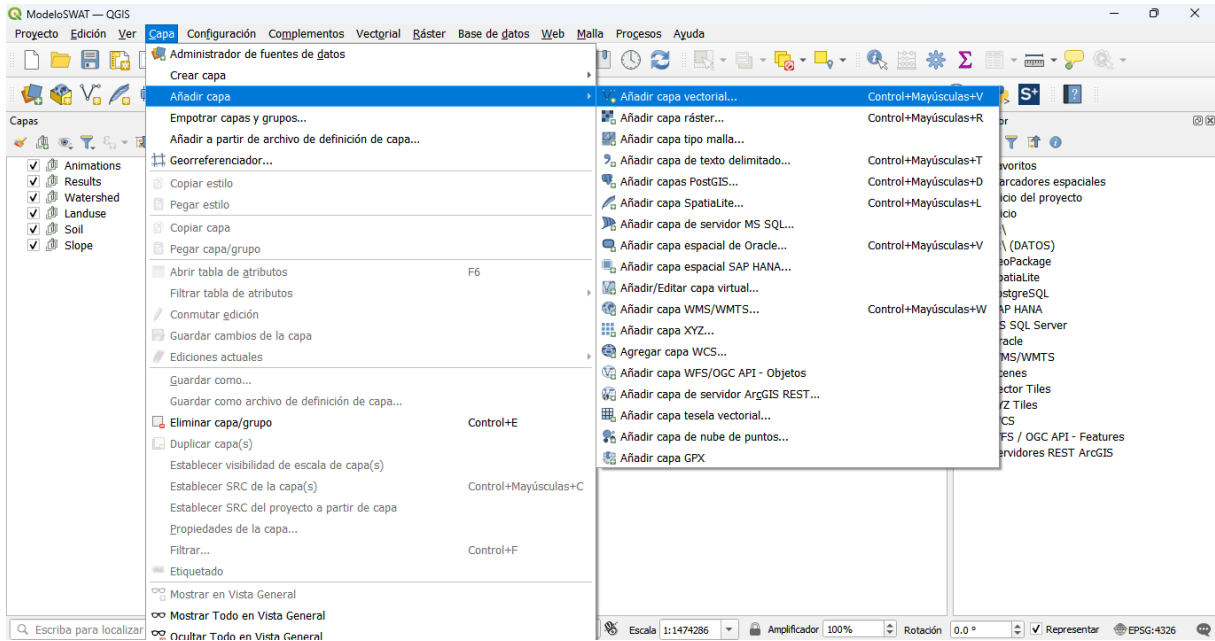


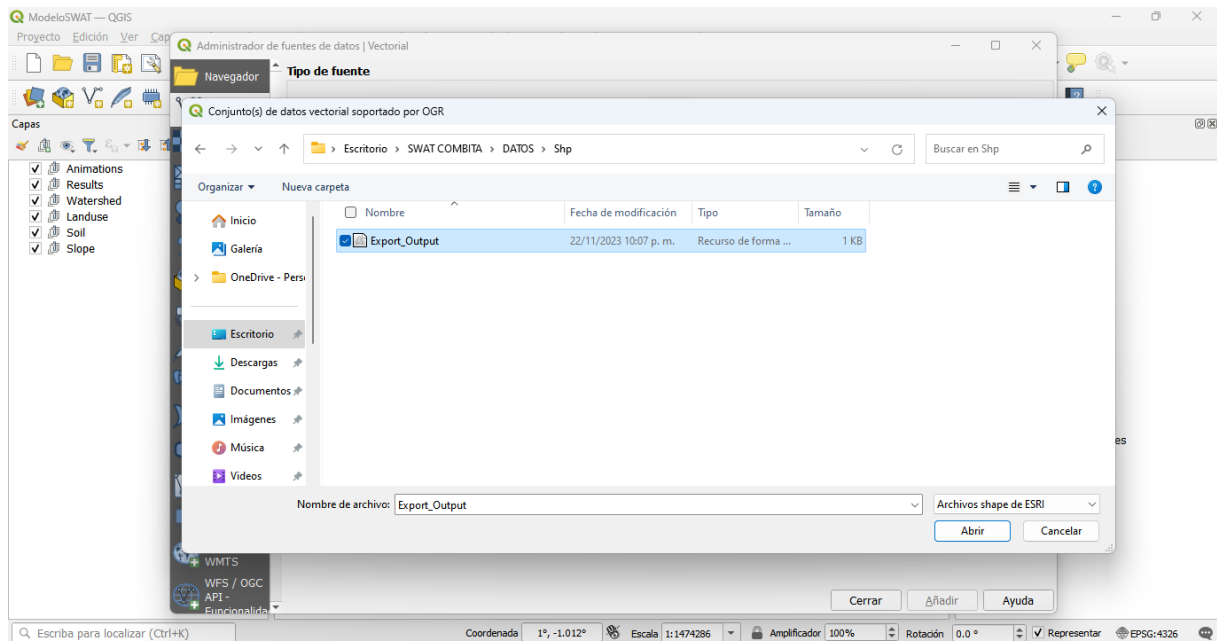
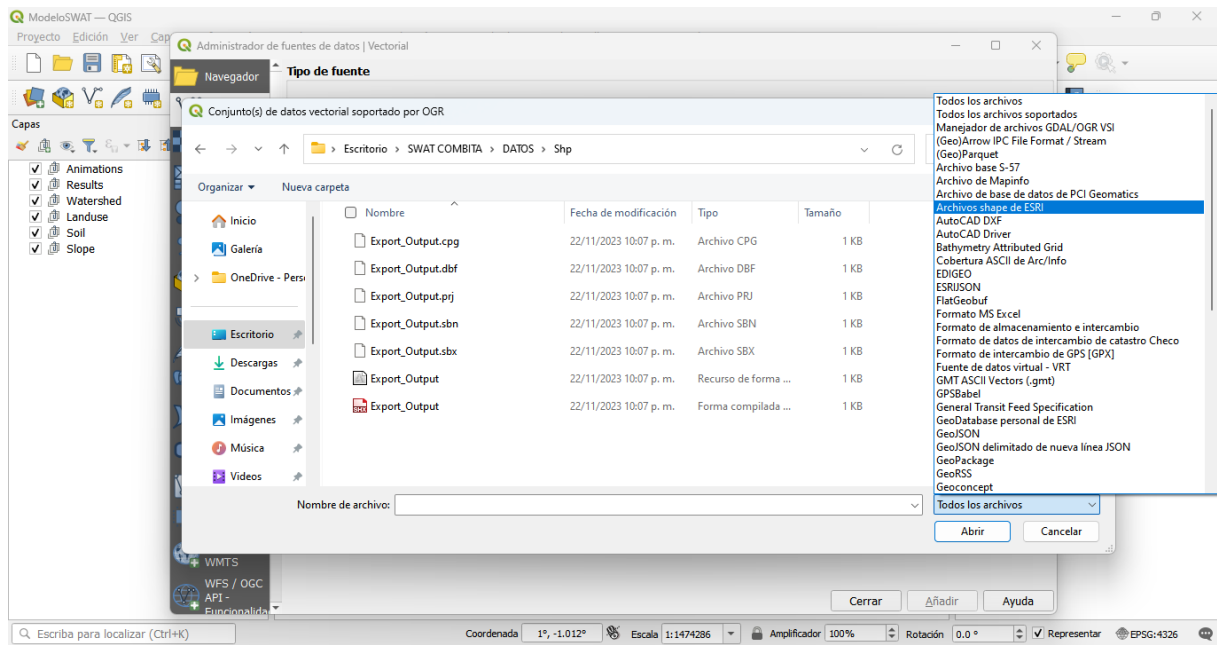
4.1. Se dirigen a los tres puntos de MPI y se plantea la ruta de instalación para que se enlace SWAT+, y para finalizar se guarda.

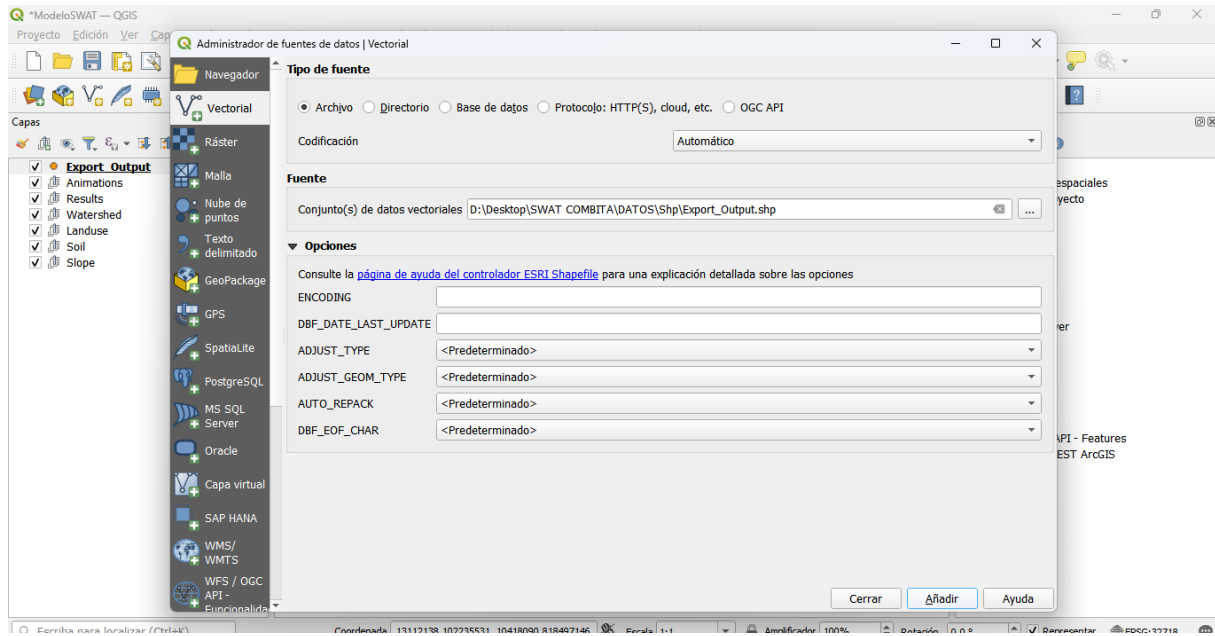


Paso 5. Se procede a cargar las capas que previamente se descargaron iniciando por el tipo Shp. Que será el archivo vectorial de una capa tipo punto generada

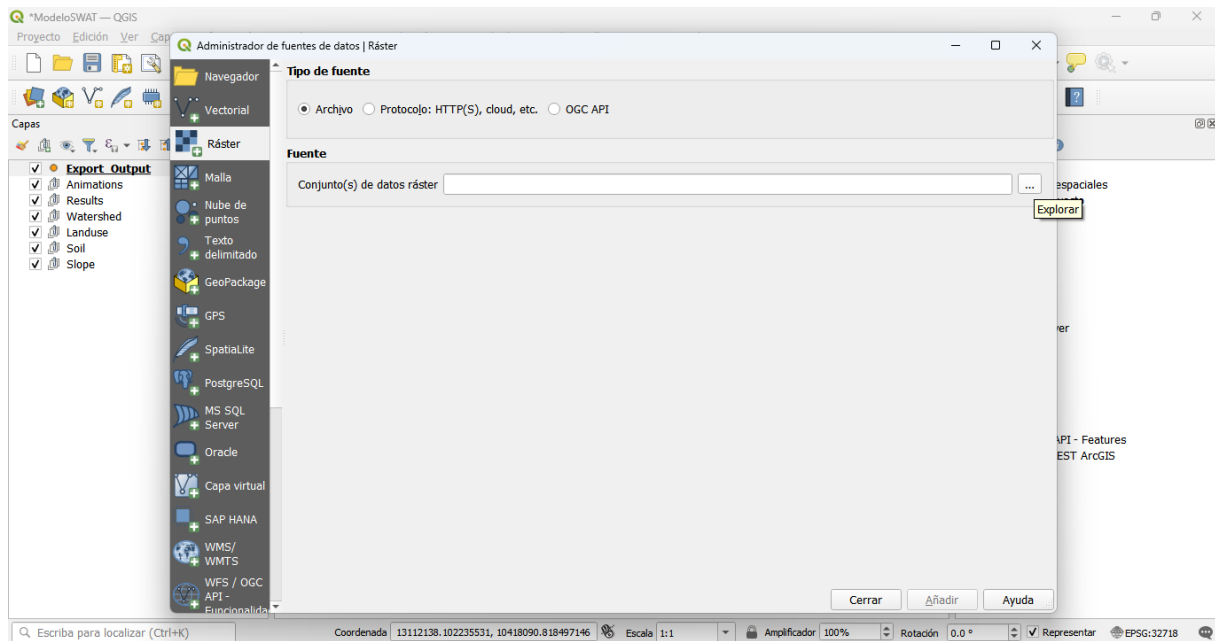
previamente y georreferenciada, que será el punto de aforo, tal como se muestra se llevará a cabo el procedimiento de cargar, y le picas añadir.

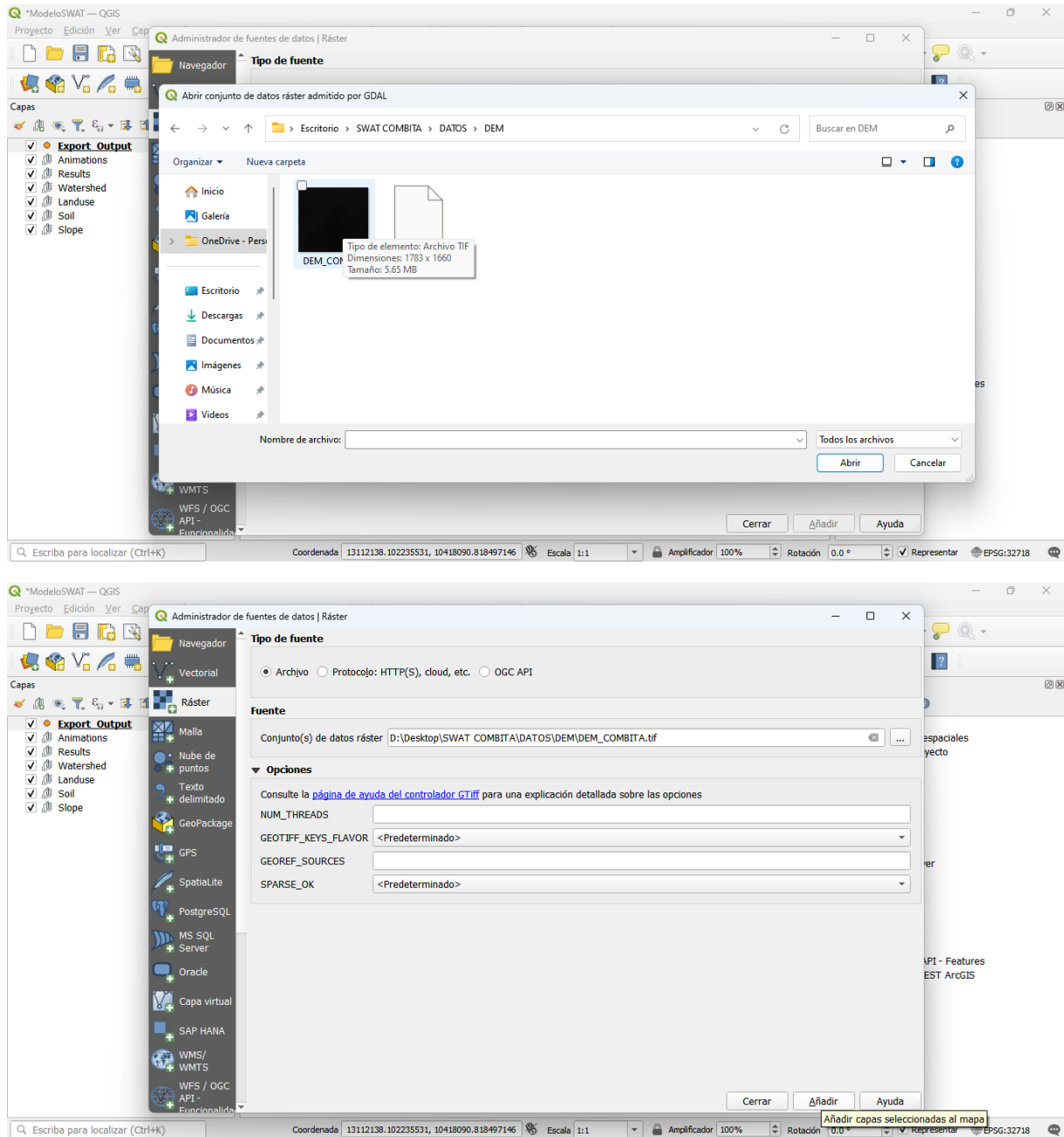




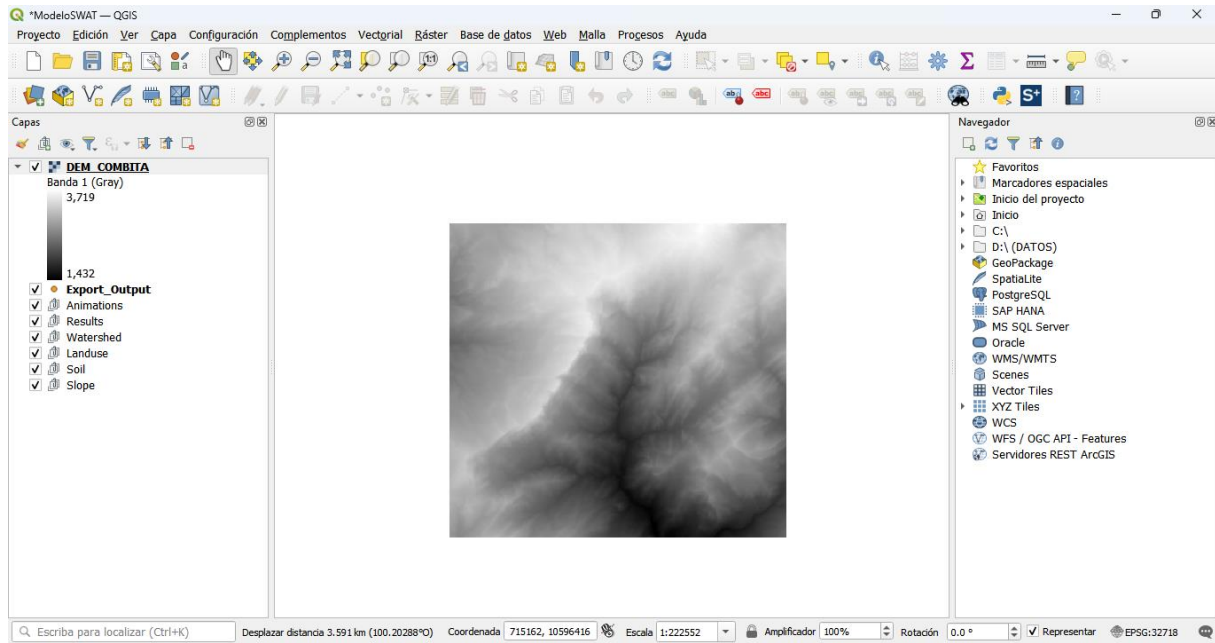


Paso 6. Posterior a este paso también se cargará el DEM, descargado en ALOS PALSAR, de la misma manera, pero en la ventana que se denomina RASTER.

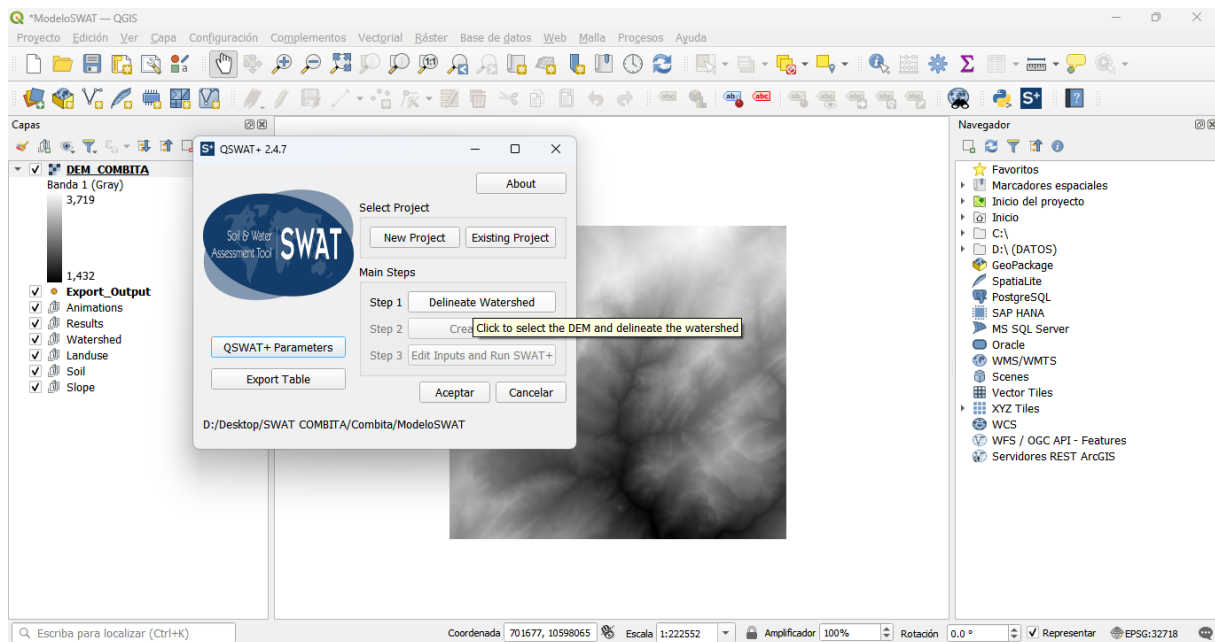


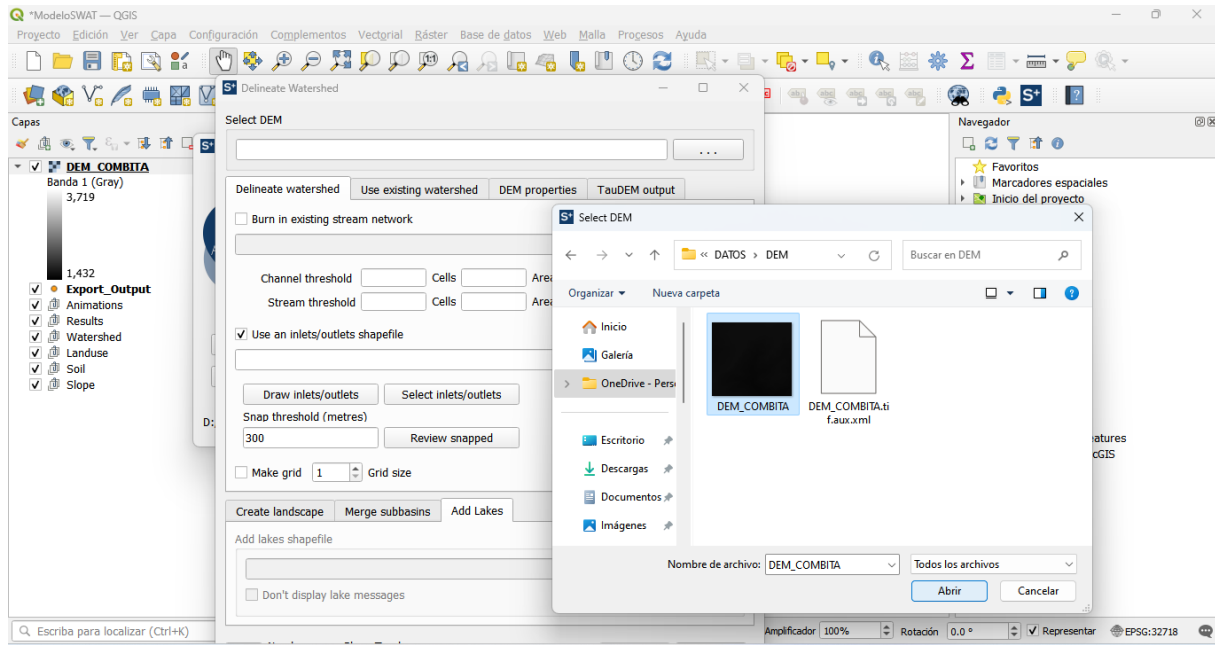


Como se muestra a continuación podemos ver que la definición de nuestro pixel es de una calidad media alta teniendo en cuenta que es una imagen satelital donde es la definición de 12,5 x 12,5.

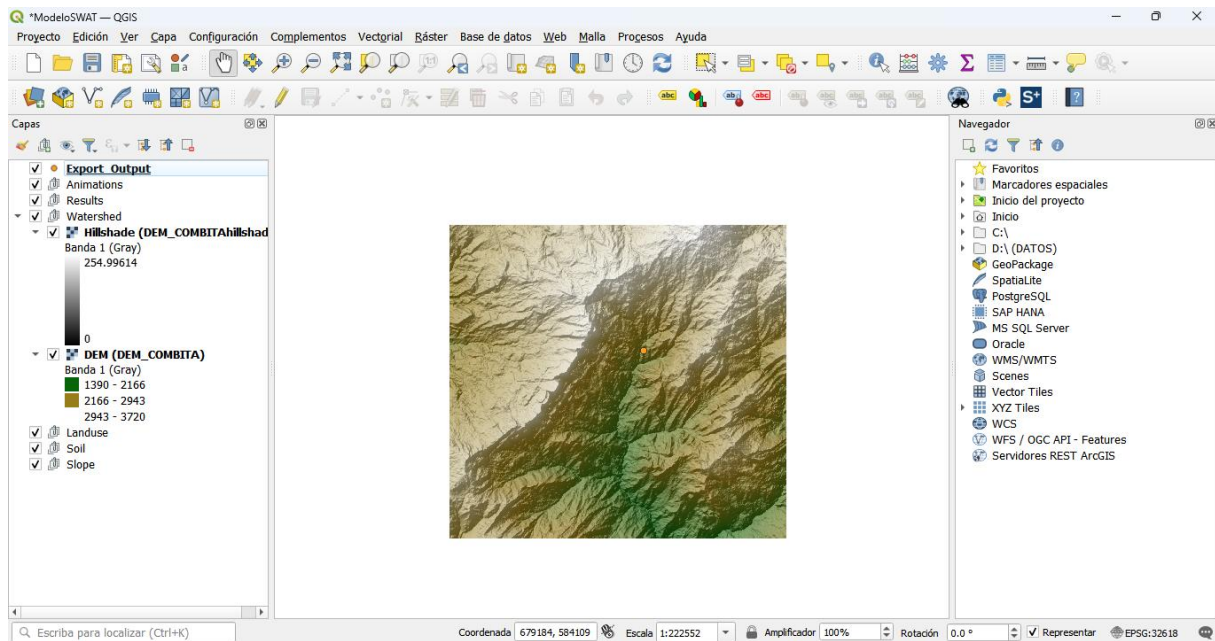


Paso 7. Delimitación de la cuenca. En este paso se volverá a abrir SWAT+, con la finalidad de delimitar la cuenca y cargar un modelo de elevación tal como se muestra a continuación, donde en 1 buscaremos la capa tipo RASTER en la ruta que se haya guardado, y posterior a esto se deberá desactivar la el ráster cargado previamente que en el caso del ejemplo se llama (AP_13713_FBD_F0090_RTI.dem)



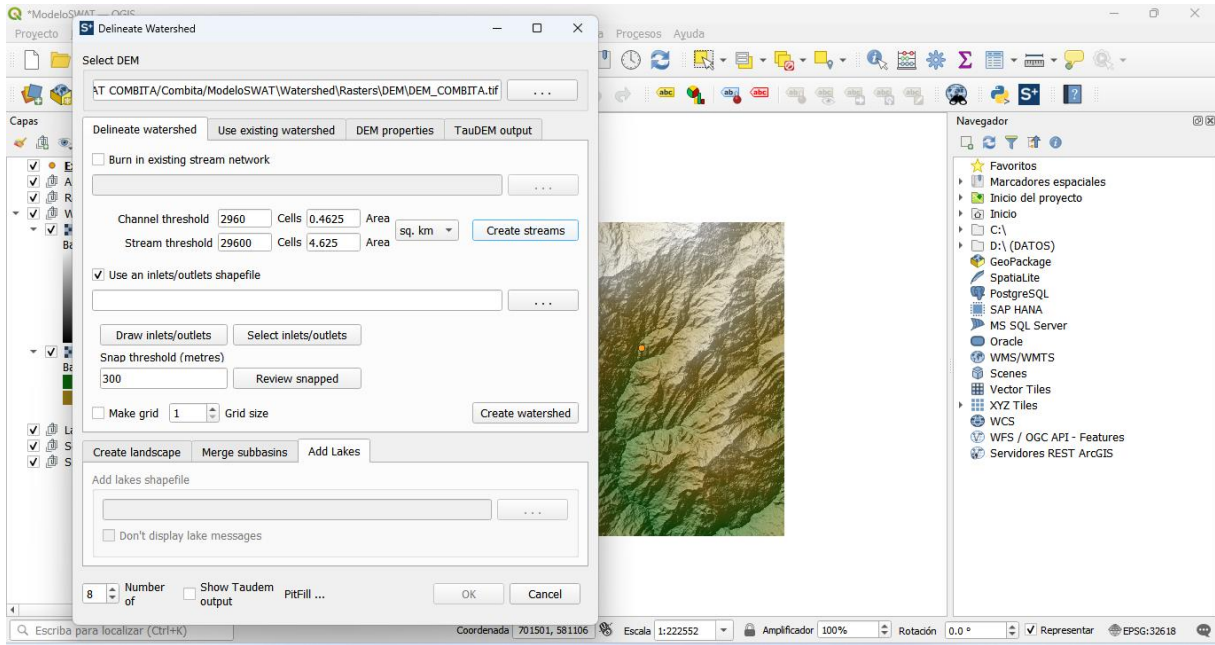


El resultado obtenido será el siguiente:

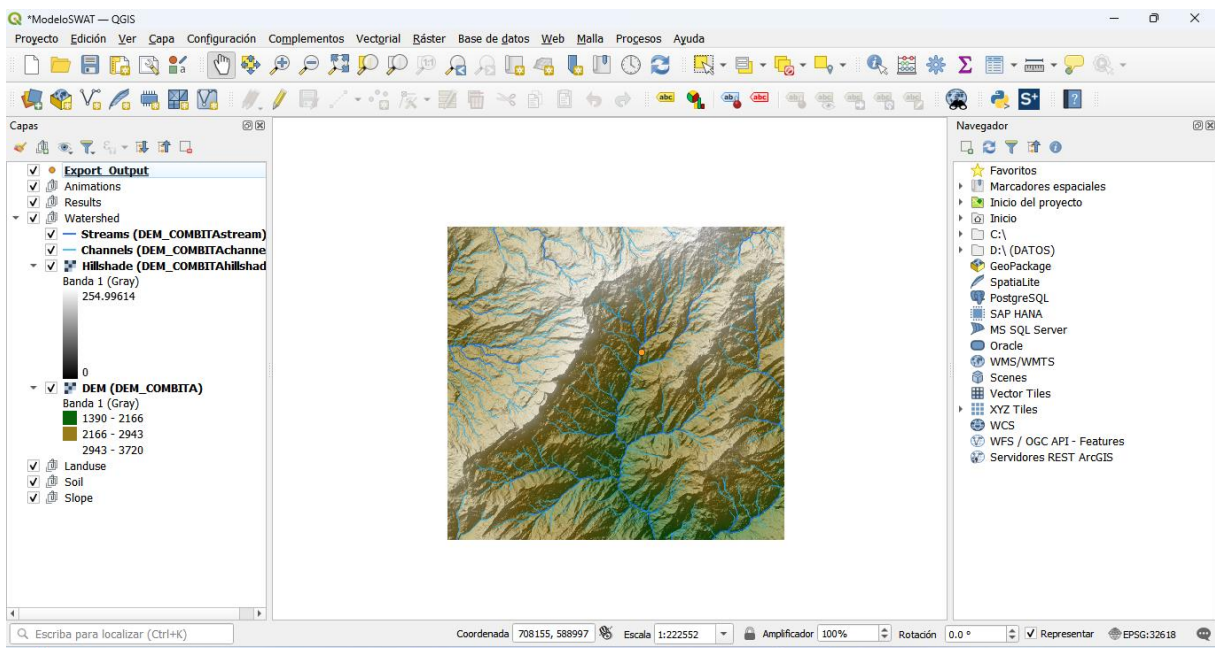


Paso 8. Configuración de red de drenaje, donde la red de drenaje es constituye lo que en una cuenca corresponde al sistema fluvial de la cuenca formando así ramificaciones por donde va encausada el agua de la cuenca, se puede crear de dos maneras una manera automática en SWAT+.

8.1. Creación de drenaje por defecto:

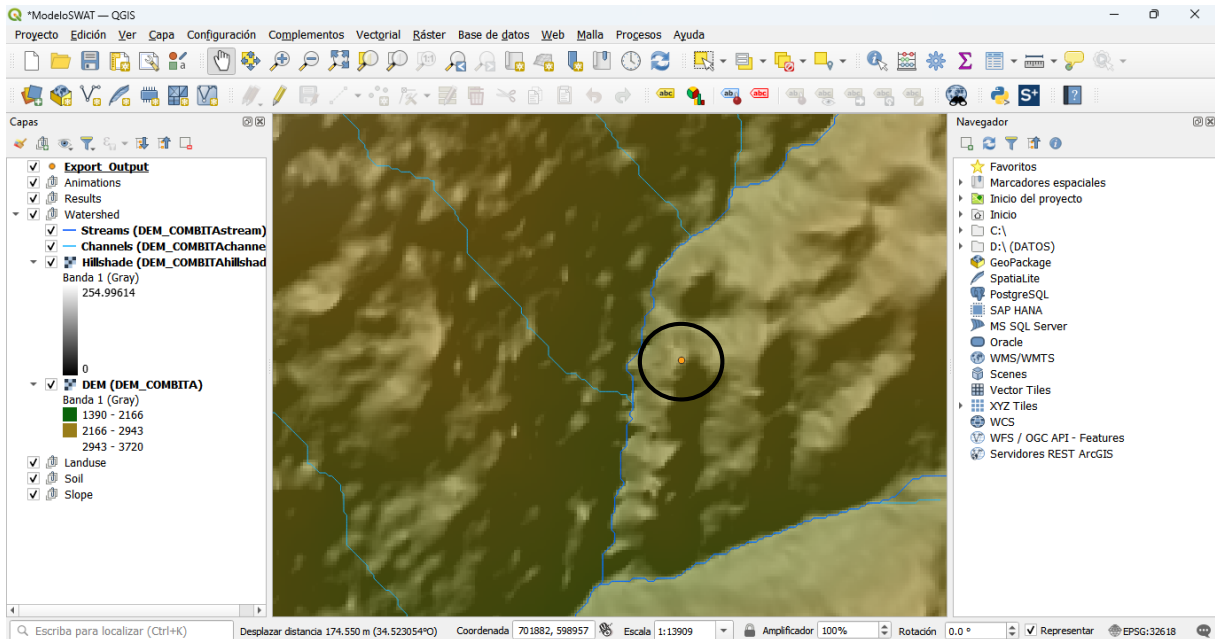


8.2. El resultado visualmente será:

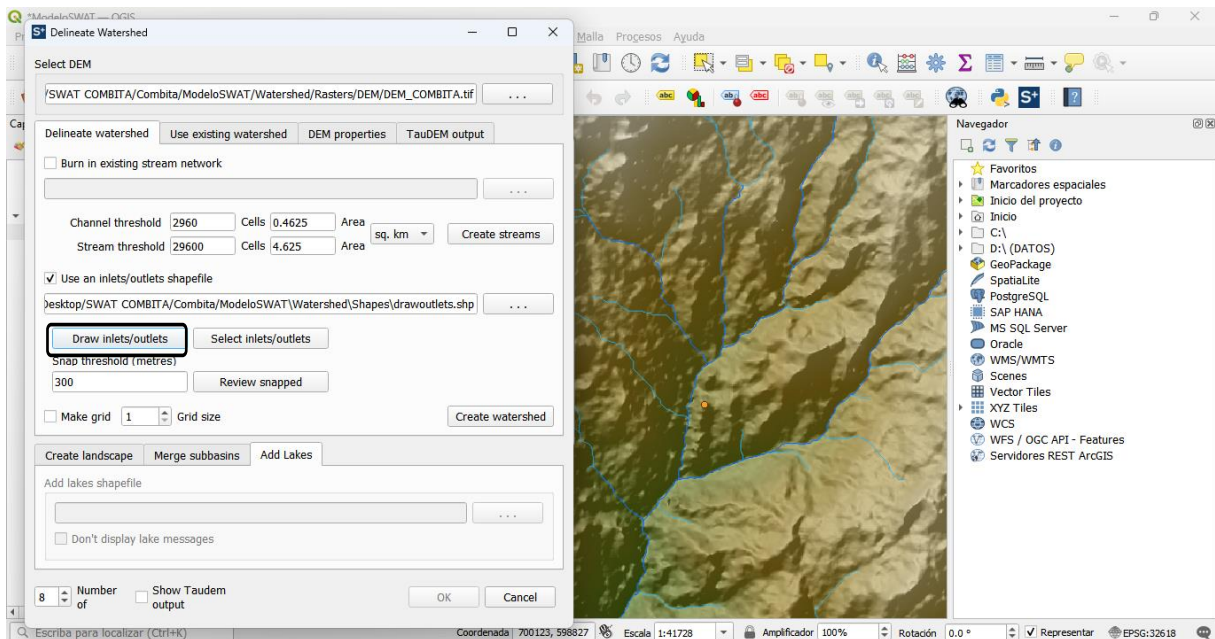


Nota: es común que de acuerdo con el tamaño del DEM el tiempo de cargar pueda tomar varios minutos.

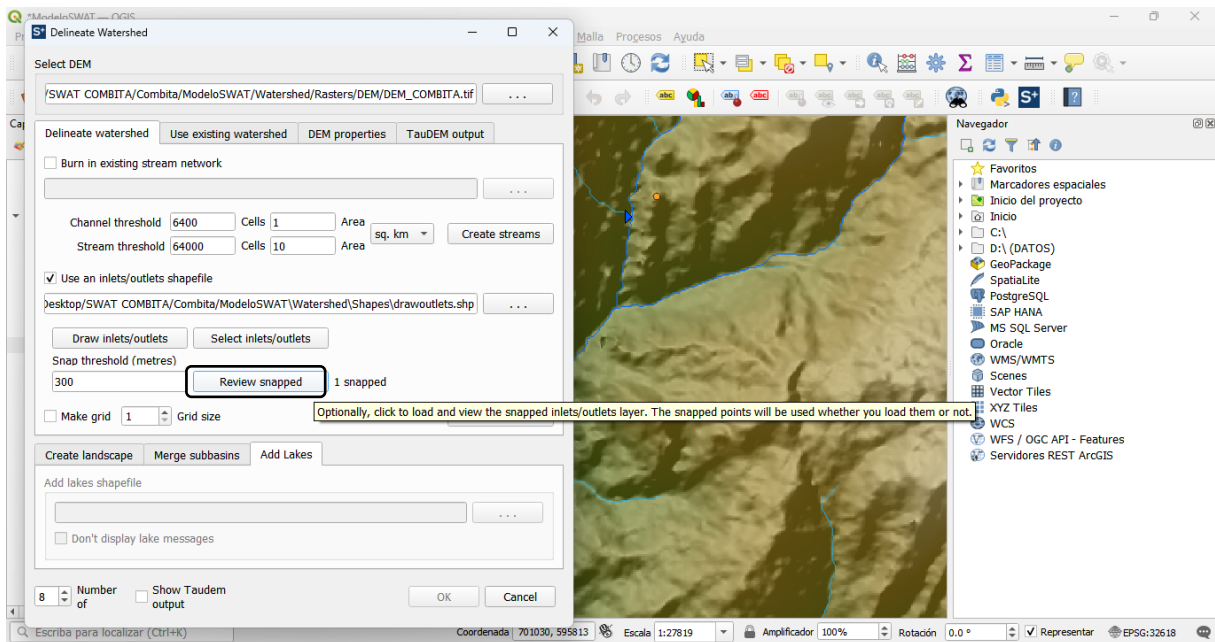
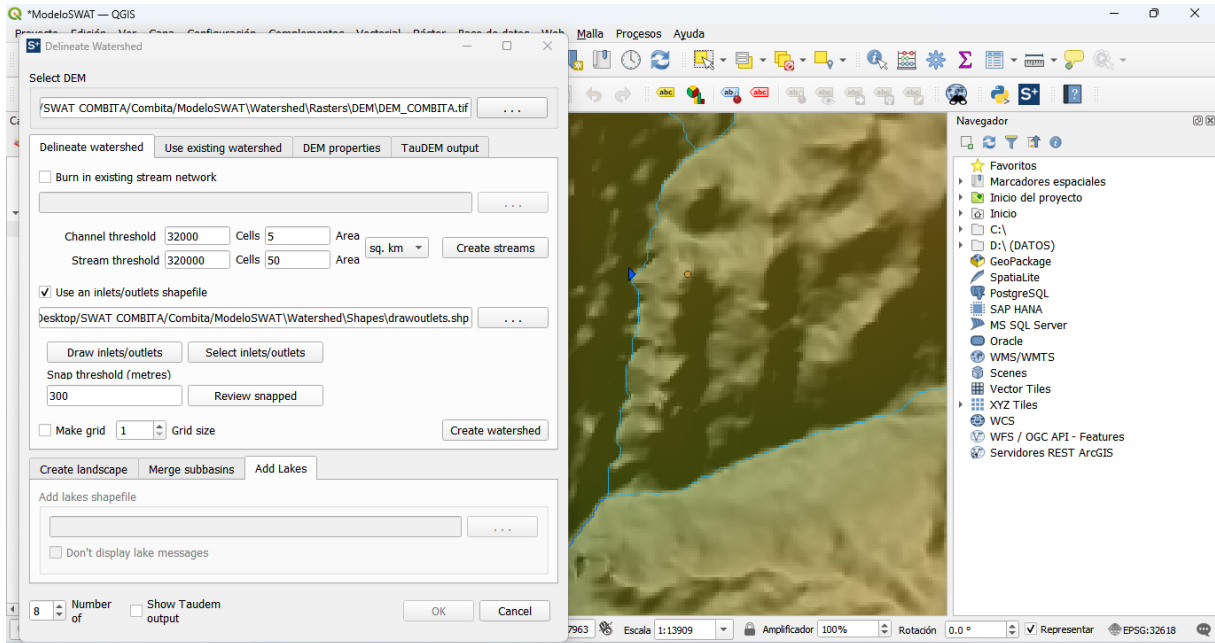
Paso 9. Se corregirá el punto de aforo debido a que este está fuera de las ramificaciones, y no coincide con la red de drenaje tal como se muestra a continuación:



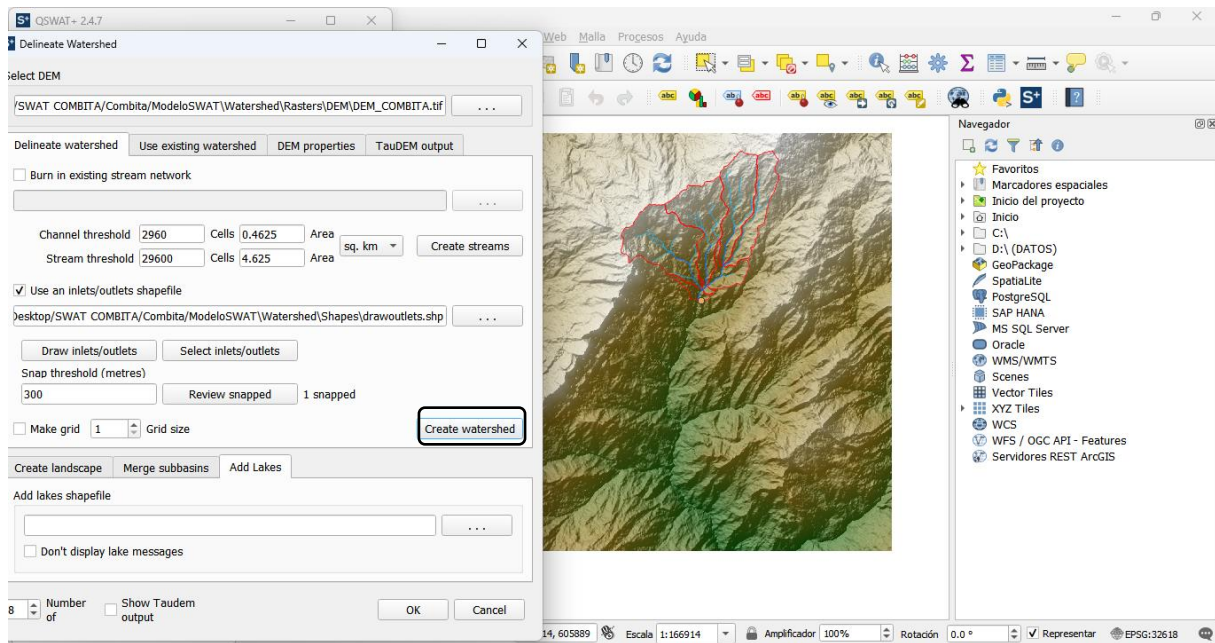
9.1. Se deberá a ver esa corrección de manera manual dando clic en draw inlets/outlets, señalado en la imagen



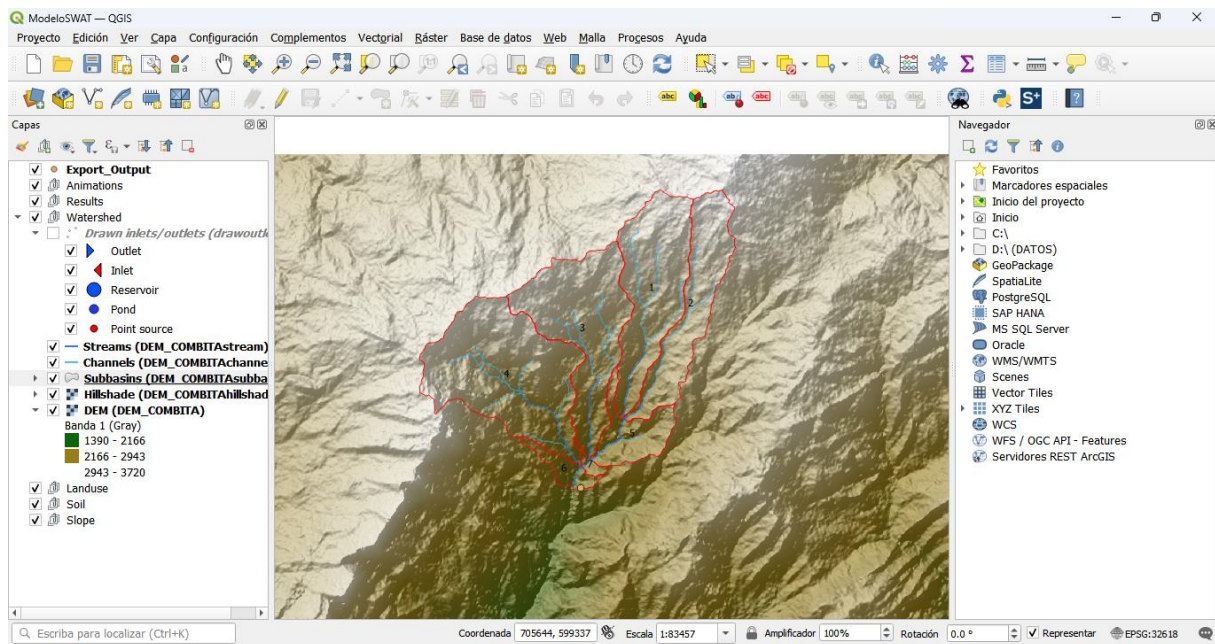
9.2. Se deberá poner el punto más próximo a la red de drenaje, tal como se muestra en la figura a continuación



9.3. Por último, se crea la cuenca hidrográfica.



9.4. El resultado de la cuenca será como a continuación se muestra: En este punto es importante señalar que es una cuenca que posee una respuesta hidrológica donde se podría tener buenos tiempos de respuesta, debido a su compacidad.



Con lo realizado anteriormente se puede analizar la compacidad de la cuenca mediante un análisis hidrológico en el cual se relaciona el perímetro con el área de la cuenca, obteniendo un valor adimensional el cual relaciona de manera directa el tiempo de concentración en la cuenca, al ser más próximo a 1 indica una cuenca con forma circular definida, con una velocidad de respuesta rápida, si el valor se aleja de 1 y supera el 1.25 indica una forma de cuenca más alargada u oblonga, con tiempo de respuesta hidrológica baja.

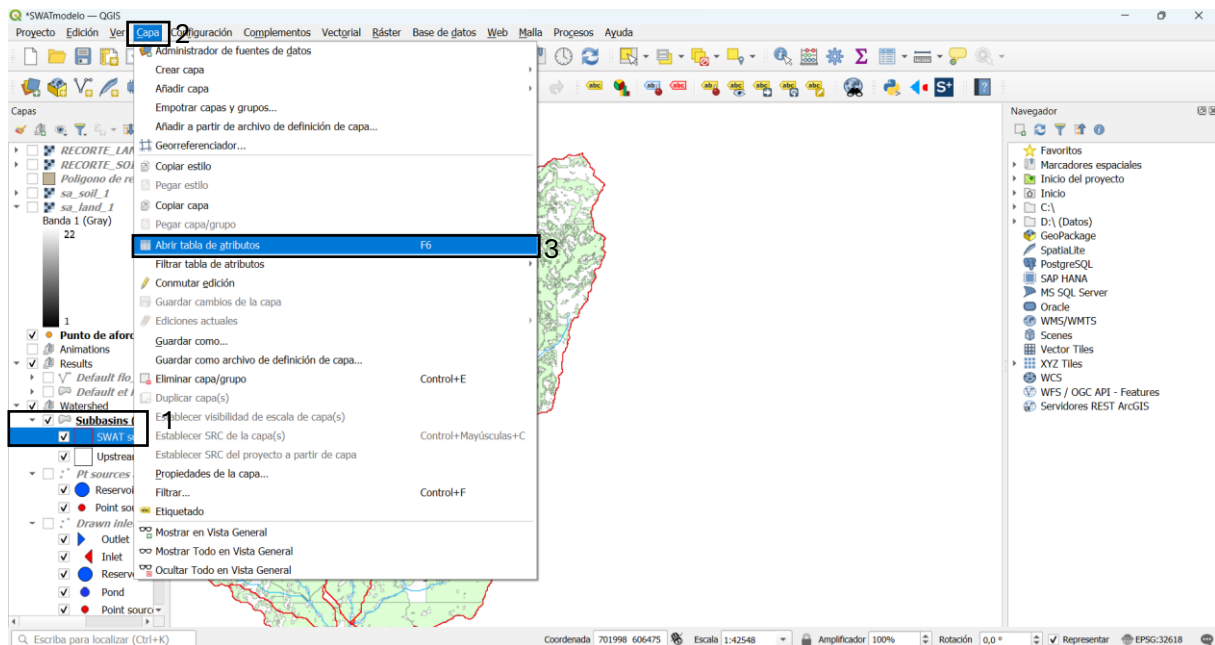
La ecuación para el cálculo pertenece a Índice de Gravelius (K_c) será:

$$K_c = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

A continuación, se muestra con los datos previamente obtenidos la manera de cálculo de su índice de compacidad.

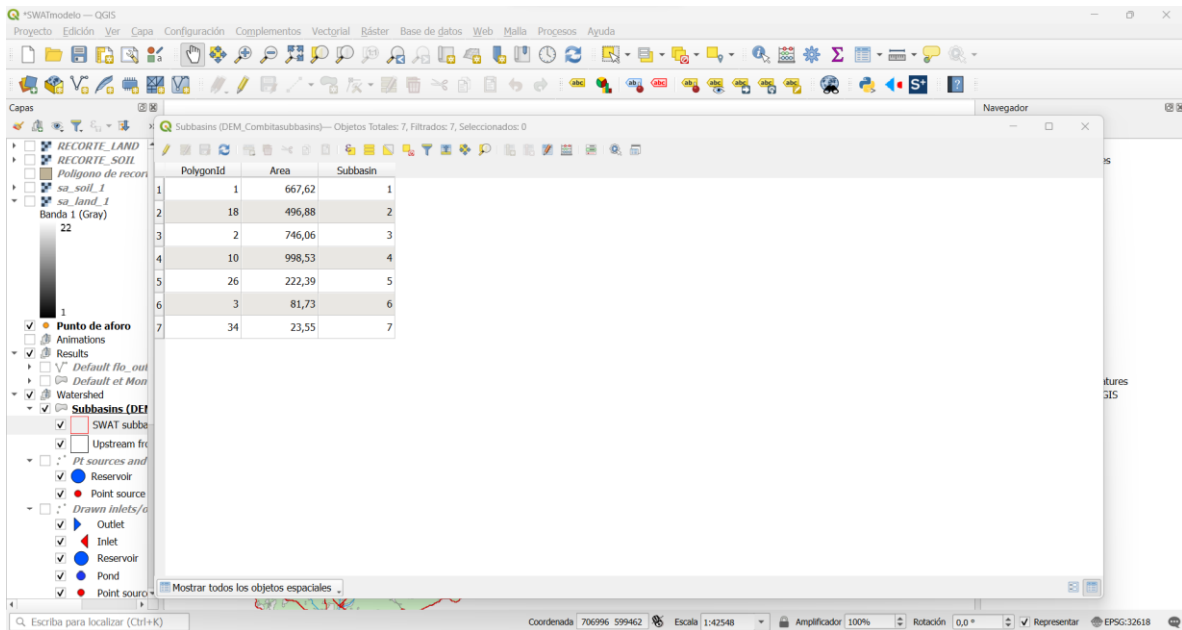
PASO 10. Cálculo de índice de compacidad de la cuenca

10.1 Explorar tabla de atributos de la cuenca, con la siguiente ruta.

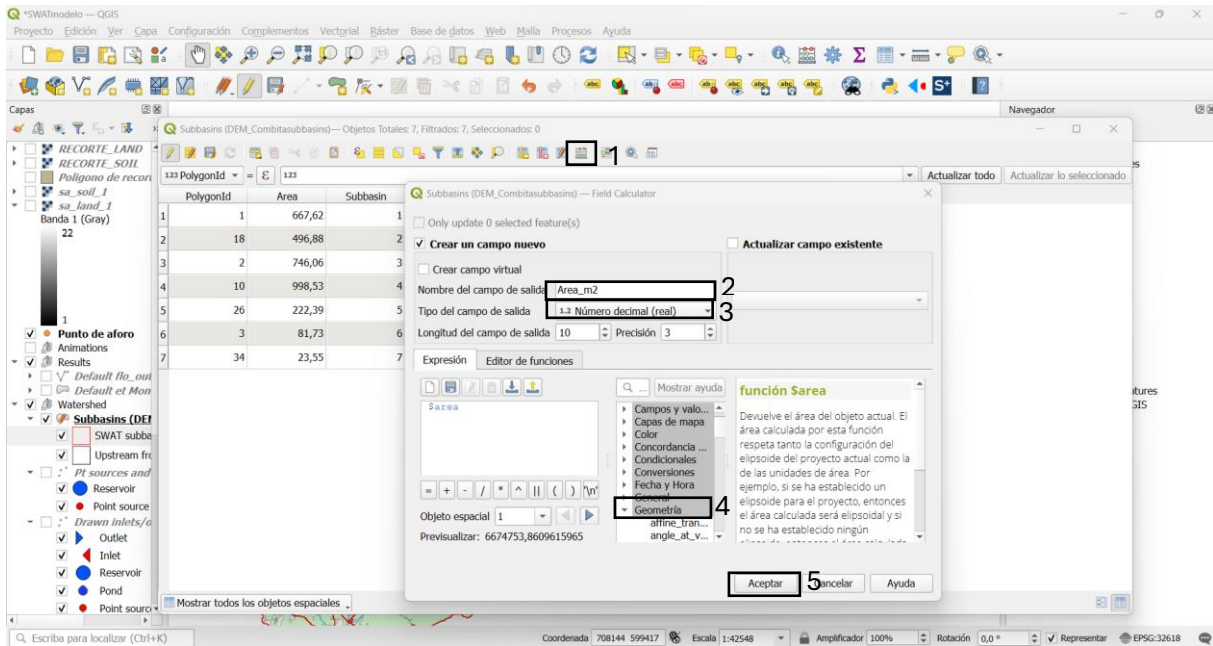


- (1) Desplegar la opción subbasins.
- (2) Clic en capa.
- (3) Y por último abrir tabla de atributos.

10.2 Una vez se accede a la tabla de atributos se encontrara datos como un polygonid de cada sub cuenca que se formó, un área , y el número dela subcuenca que para este caso de análisis son siete subcuenclas, tal como se muestra a continuación.

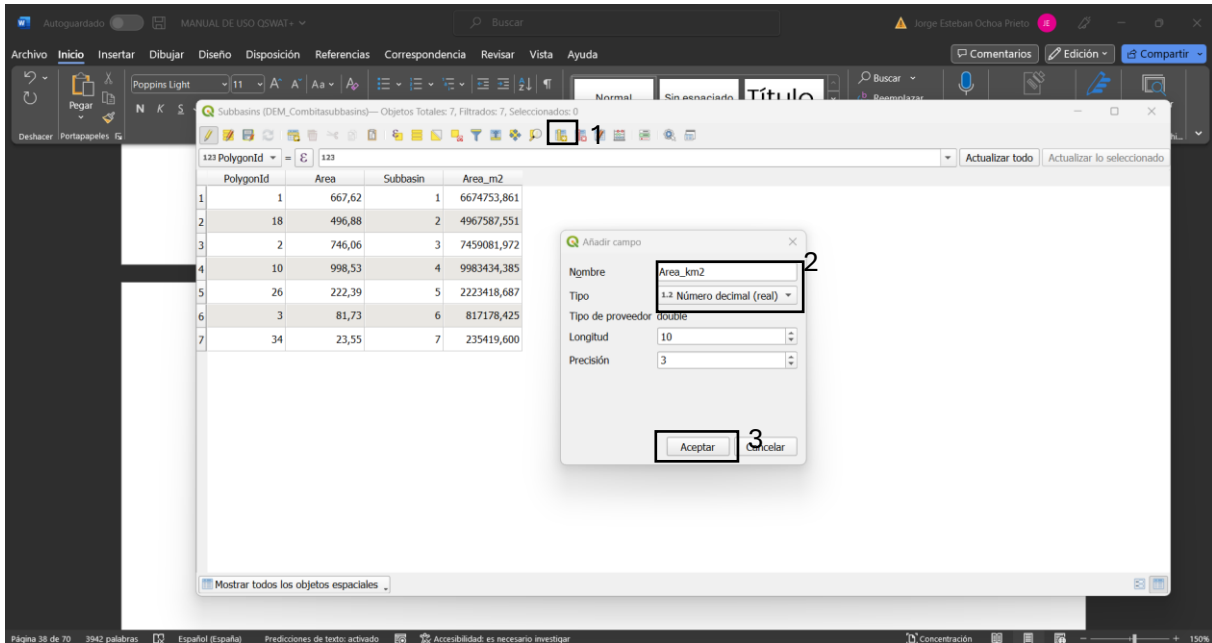


10.3 Crear una capa la cual permite conocer el área de la cuenca debido a que la que da por defecto está en unidades de hectáreas y el perímetro en metros tal como se muestra a continuación.



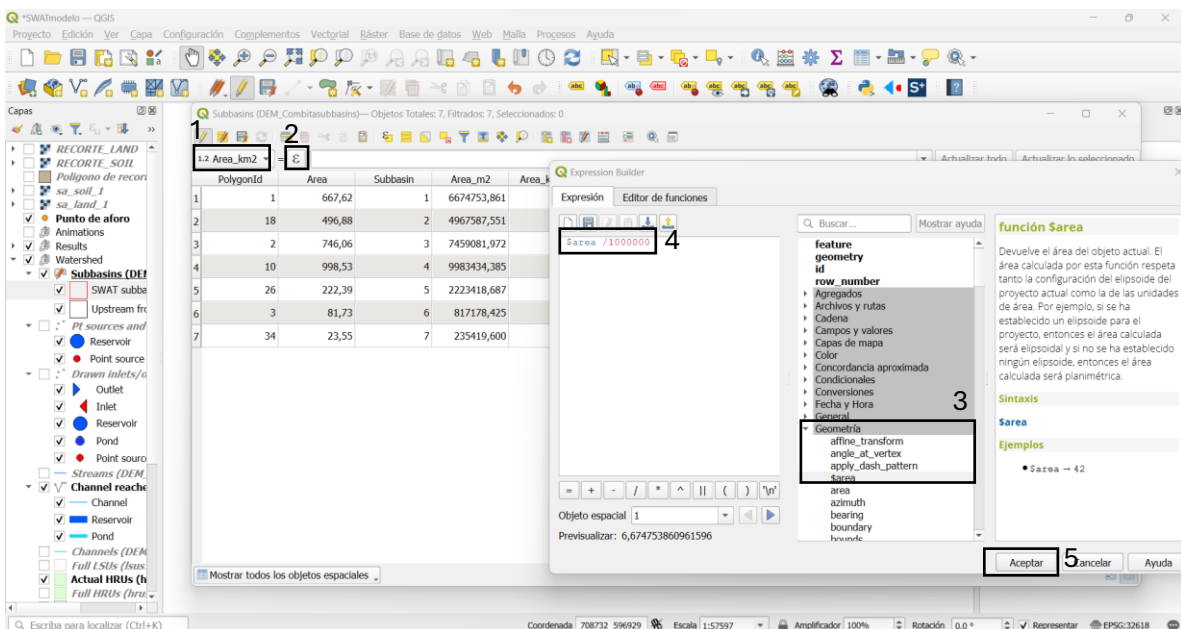
- (1) Lo primero será desplegar calculadora de campos
- (2) Se deberá poner un nombre al campo que se creará
- (3) Se escogerá número decimal para mayor precisión
- (4) Se dará clic en geometría y posterior se desplegará más opciones donde se elegirá \$área
- (5) Y se dará aceptar.

10.4. siguiendo un proceso similar también se podrá obtener el valor en km^2 , tal como se mostrará a continuación.



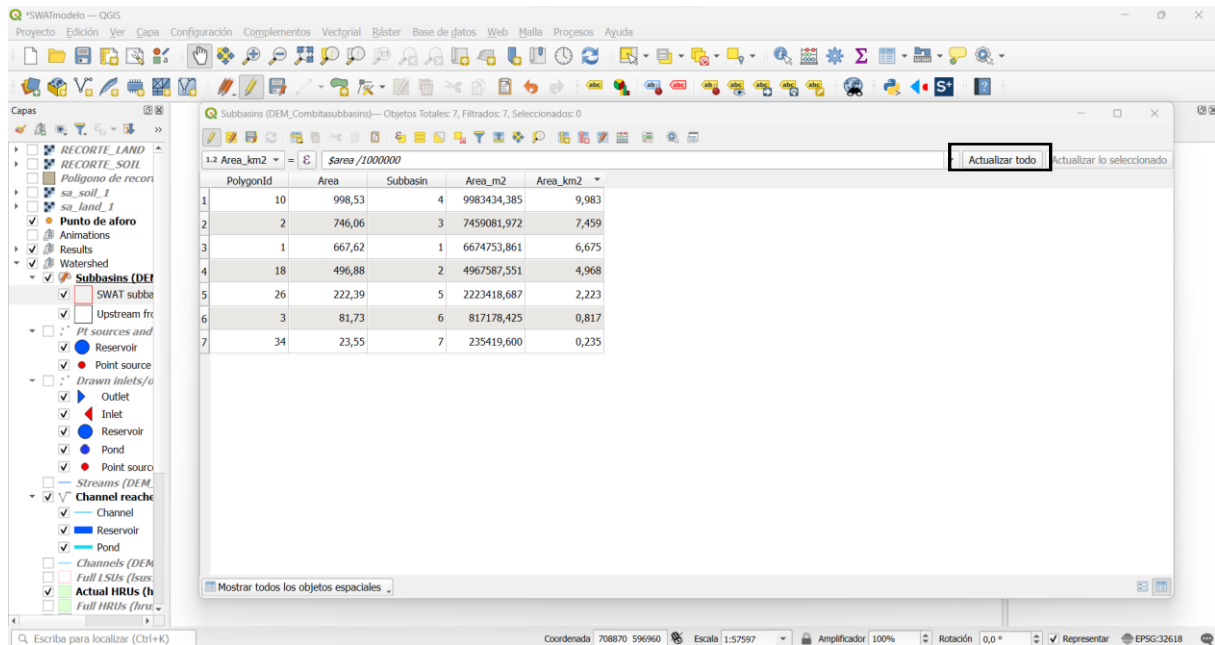
- (1) Crear una nueva columna, un nuevo atributo.
- (2) Nombrar la columna Area_km2
- (3) Clic en aceptar

Posterior a lo previamente realizado se hará lo siguiente.



- (1) Se debe buscar la capa que creamos previamente en este caso Area_km2
- (2) Se dará clic en la letra épsilon (ϵ) para realizar la operación.
- (3) Buscar en geometría nuevamente \$área y realizar doble clic.
- (4) Dividir el área en 1'000.000 para realizar la conversión de unidades.
- (5) Aceptar.

El resultado será el que se muestra a continuación.



Para obtener lo previamente calculado es importante dar clic en actualizar todo para obtener los datos del cálculo.

10.5. lo realizado con el área se deberá repetir, pero ahora con la función \$perímetro, como se muestra a continuación.

El resultado esperado será el que se muestra en el siguiente pantallazo.

Subbasins (DEM, CombinaSubbasins)—Objetos Totales: 7, Filtrados: 7, Seleccionados: 0

1.2 Area_km2 = perimeter

PolygonId	Area	Subbasin	Area_m2	Area_km2	Perimet_m	
1	667,62	1	6674753,861	6,675	18222,966	
2	18	496,88	2	4967587,551	4,968	19097,774
3	2	746,06	3	7459081,972	7,459	20197,912
4	10	998,53	4	9983434,385	9,983	19923,120
5	26	222,39	5	2223418,687	2,223	11673,725
6	3	81,73	6	817178,425	0,817	7199,275
7	34	23,55	7	235419,600	0,235	3999,584

Mostrar todos los objetos espaciales

Para obtener la conversión ya solo se hará la cuenta entre \$perimeter/1000.

Subbasins (DEM, CombinaSubbasins)—Objetos Totales: 7, Filtrados: 7, Seleccionados: 0

1.2 Perimet_m = perimeter/1000

PolygonId	Area	Subbasin	Area_m2	Area_km2	Perimet_m	Perimet_km	
1	23,55	7	235419,600	0,235	3999,584	4,000	
2	3	81,73	6	817178,425	0,817	7199,275	7,199
3	26	222,39	5	2223418,687	2,223	11673,725	11,674
4	1	667,62	1	6674753,861	6,675	18222,966	18,223
5	18	496,88	2	4967587,551	4,968	19097,774	19,098
6	10	998,53	4	9983434,385	9,983	19923,120	19,923
7	2	746,06	3	7459081,972	7,459	20197,912	20,198

Mostrar todos los objetos espaciales

10.6. Se realizará la respectiva suma de las áreas y perímetros de las siete subcuentas

$$A_{S1} = 6674753.86 \text{ m}^2 ; P_{S1} = 18222.966 \text{ m}$$

$$A_{S2} = 4967587.55 \text{ m}^2 ; P_{S2} = 19097.77 \text{ m}$$

$$A_{S3} = 7459081.97 \text{ m}^2 ; P_{S3} = 20197.91 \text{ m}$$

$$A_{S4} = 9983434.39 \text{ m}^2 ; P_{S4} = 19923.12 \text{ m}$$

$$A_{S5} = 2223418.69 \text{ m}^2 ; P_{S5} = 11673.725 \text{ m}$$

$$A_{S6} = 817178.43 \text{ m}^2 ; P_{S6} = 7199.28 \text{ m}$$

$$A_{S7} = 235419.60 \text{ m}^2 ; P_{S7} = 3999.58 \text{ m}$$

Donde el área de la cuenca

$$A_C = \sum_{i=1}^n A_{Si}$$

$$A_C = 6674753.86 \text{ m}^2 + 4967587.55 \text{ m}^2 + 7459081.97 \text{ m}^2 + 9983434.39 \text{ m}^2 \\ + 2223418.69 \text{ m}^2 + 817178.43 \text{ m}^2 + 235419.60 \text{ m}^2$$

$$A_C = 32360874.49 \text{ m}^2$$

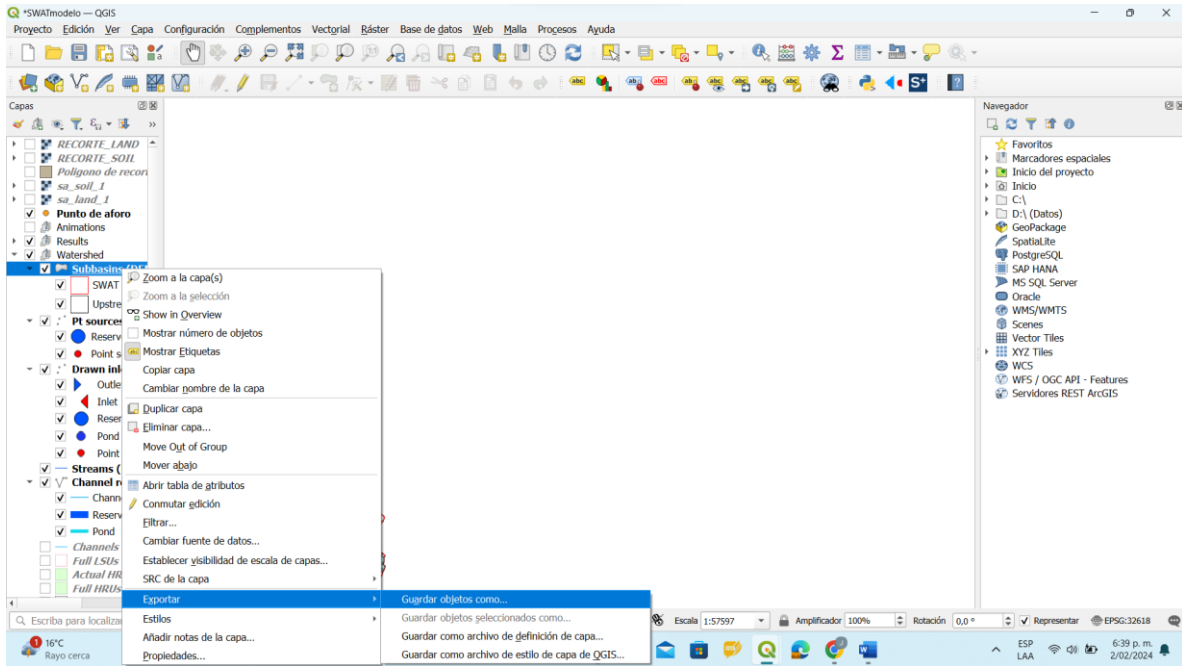
El perímetro de la cuenca es:

$$P_C = \sum_{i=1}^n P_{Si}$$

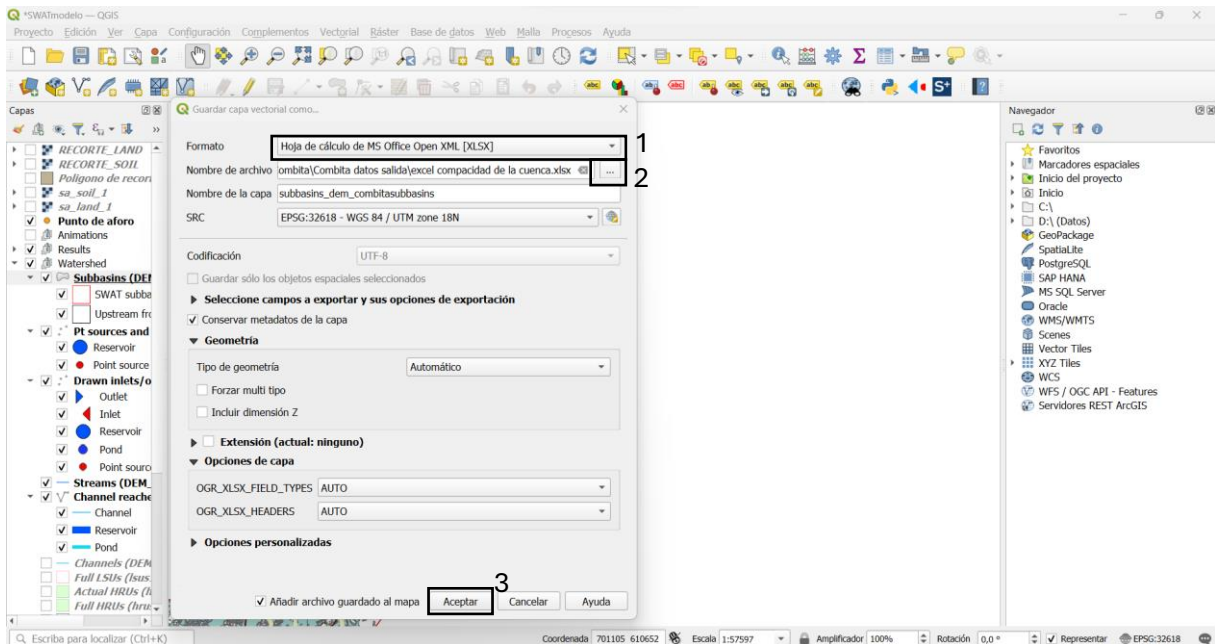
$$P_C = 18222.97 \text{ m} + 19097.77 \text{ m} + 20197.91 \text{ m} + 19923.12 \text{ m} + 11673.725 \text{ m} + 7199.28 \text{ m} \\ + 3999.58 \text{ m}$$

$$P_C = 100314.36 \text{ m}$$

10.7 Esta tarea se puede reducir exportando la tabla de atributos en la cual se tiene la información a un Excel siguiendo la ruta que se mostrara a continuación.



10.8. Es importante tener precaución en el paso siguiente para quedar bien exportado.



- (1) Debe ser importante seleccionar formato XML.
- (2) como segundo paso se debe realizar una ruta de guardado.
- (3) Aceptar y buscar el archivo.

El resultado esperado será:

Polygonid	Area	Subbasin	Area_m2	Area_km2	Perimet_m	Perimet_km
1	667.62	1	6674753.861	6.675	18222.966	18.223
2	496.88	2	4967587.551	4.968	19097.774	19.098
3	746.06	3	7458081.972	7.459	20197.912	20.198
4	998.53	4	9983434.385	9.983	19923.12	19.923
5	222.39	5	2223418.687	2.223	11673.725	11.674
6	81.73	6	817178.425	0.817	7199.275	7.199
7	23.55	7	235419.6	0.235	3999.584	4

10.9 En Excel se creará una columna nueva que le pondremos como índice de compacidad, el cual nos permitirá saber el índice de compacidad de cada subcuenca.

Utilizando la ecuación Gravelius (K_c), será:

$$K_c = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

10.10 Tabla resultado de índices de compacidad.

Polygonid	Area	Subbasin	Area_m2	Area_km2	Perimet_m	Perimet_km	Índice de compacidad
1	667.62	1	6674753.861	6.675	18222.966	18.223	1.974965296
18	496.88	2	4967587.551	4.968	19097.774	19.098	2.399208636
2	746.06	3	7459081.972	7.459	20197.912	20.198	2.070722093
10	998.53	4	9983434.385	9.983	19923.12	19.923	1.765531206
26	222.39	5	2223418.687	2.223	11673.725	11.674	2.192082343
3	81.73	6	817178.425	0.817	7199.275	7.199	2.229915204
34	23.55	7	235419.6	0.235	3999.584	4	2.308083652

Y organizando la tabla como resultado quedaría.

Cuenca del municipio de Combita						
Sub cuenca	Área	Área	Área	Perímetro	Perímetro	Índice de compacidad
id	Ha	m ²	km ²	m	km	adimensional
1	667.62	6674753.861	6.675	18222.966	18.223	1.974965296
2	496.88	4967587.551	4.968	19097.774	19.098	2.399208636
3	746.06	7459081.972	7.459	20197.912	20.198	2.070722093
4	998.53	9983434.385	9.983	19923.12	19.923	1.765531206
5	222.39	2223418.687	2.223	11673.725	11.674	2.192082343
6	81.73	817178.425	0.817	7199.275	7.199	2.229915204
7	23.55	235419.6	0.235	3999.584	4	2.308083652

ANÁLISIS.

- No es acertado sumar todos los perímetros para conocer, el índice de compacidad genera debido a que se obtiene trazados internos de las divisiones de las subcuencas generando errores.
- El conocer la velocidad de respuesta de las subcuencas es importante debido a que cada ramificación está
- aportando una cantidad de agua a la cuenca, los tiempos de respuesta son bajos debido a su forma alargada que presentan las siete subcuencas.

04.



DEFINICIÓN Y CREACIÓN DE UNIDADES DE RESPUESTA HIDROLÓGICA (HRUS)



DEFINICION Y CREACION DE UNIDADES DE RESPUESTA HIDROLOGICA HRU's

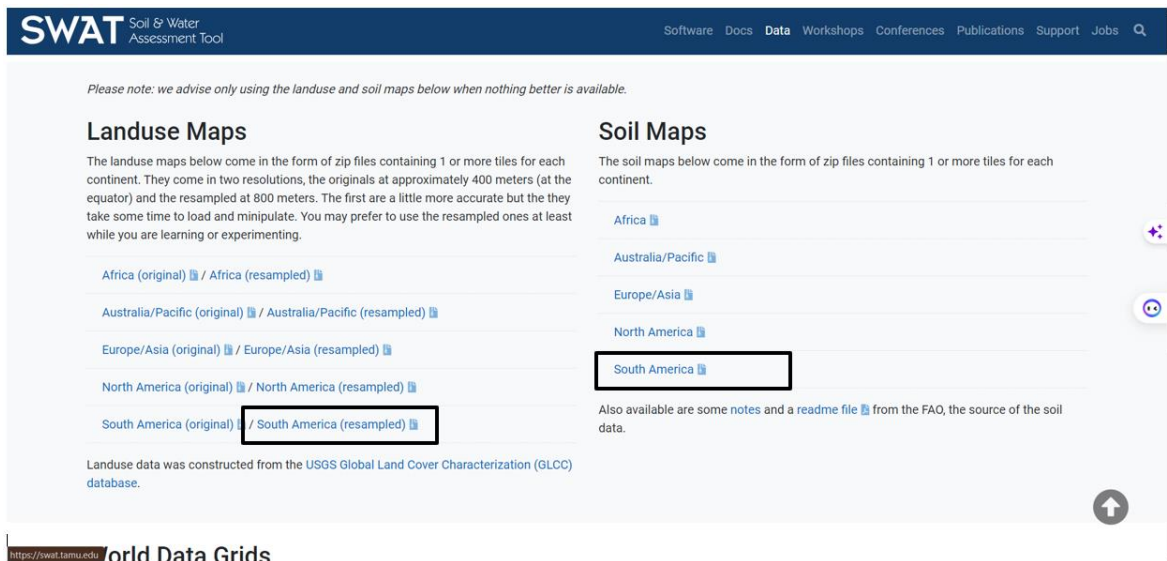
¿QUE SON LOS HRUS?

Son áreas de la cuenca que son homogéneas en su respuesta hidrológica que, mantienen propiedades comunes como la pendiente, elevación, tipo de suelo, cubierta vegetal, entre otras, son áreas que generalmente no se encuentran conectadas entre sí. [7]

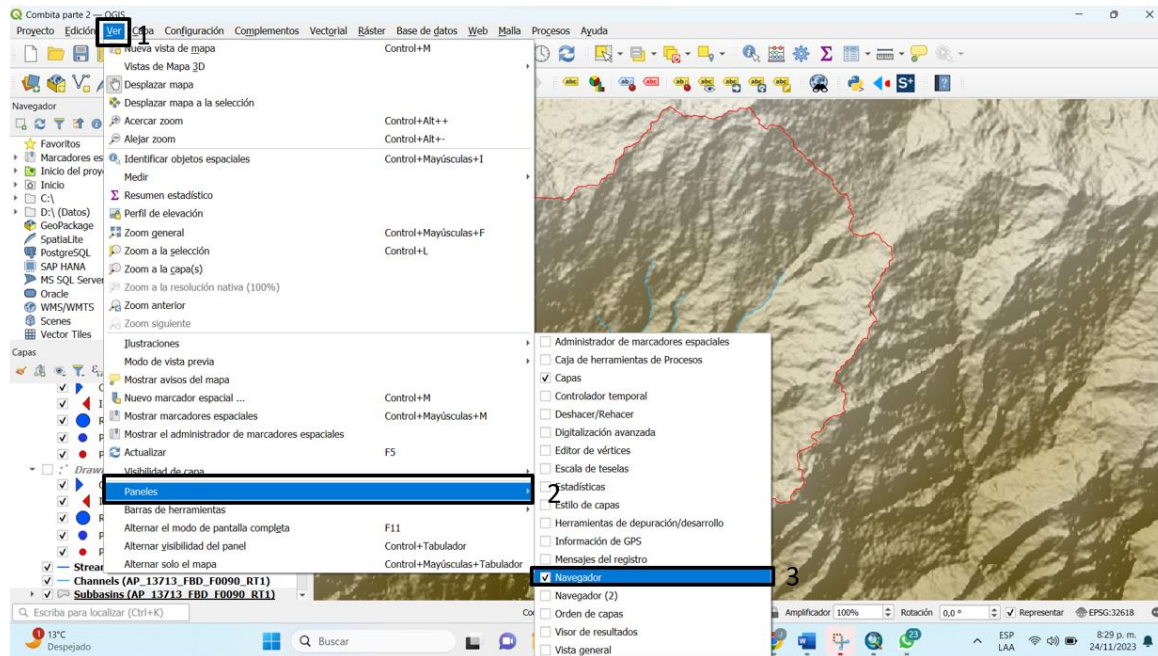
Para el adecuado manejo de la respuesta hidrológica se debe descargar la información en el siguiente enlace: <https://swat.tamu.edu/data/>.

CREACION DE HRU's

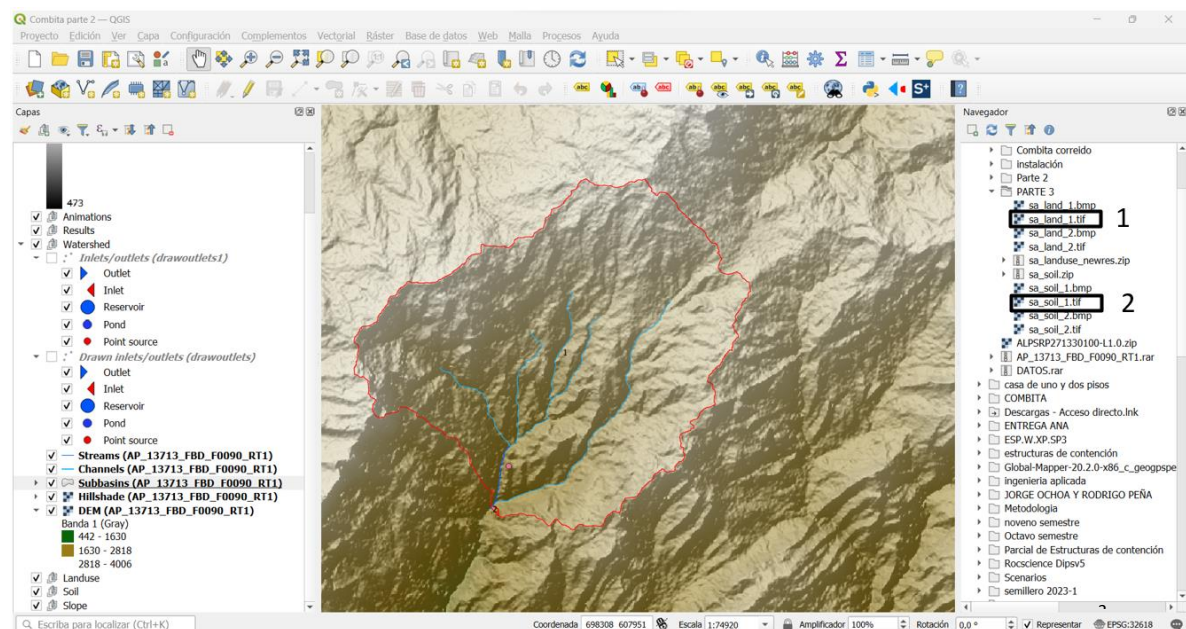
Paso 1. Se deberá instalar descargar los siguientes datos que corresponden al uso de suelo que vienen en mosaico, para este caso se estaba trabajando una cuenca ubicada en Sur América, por ende, se realizó la descarga de este tipo de suelo.



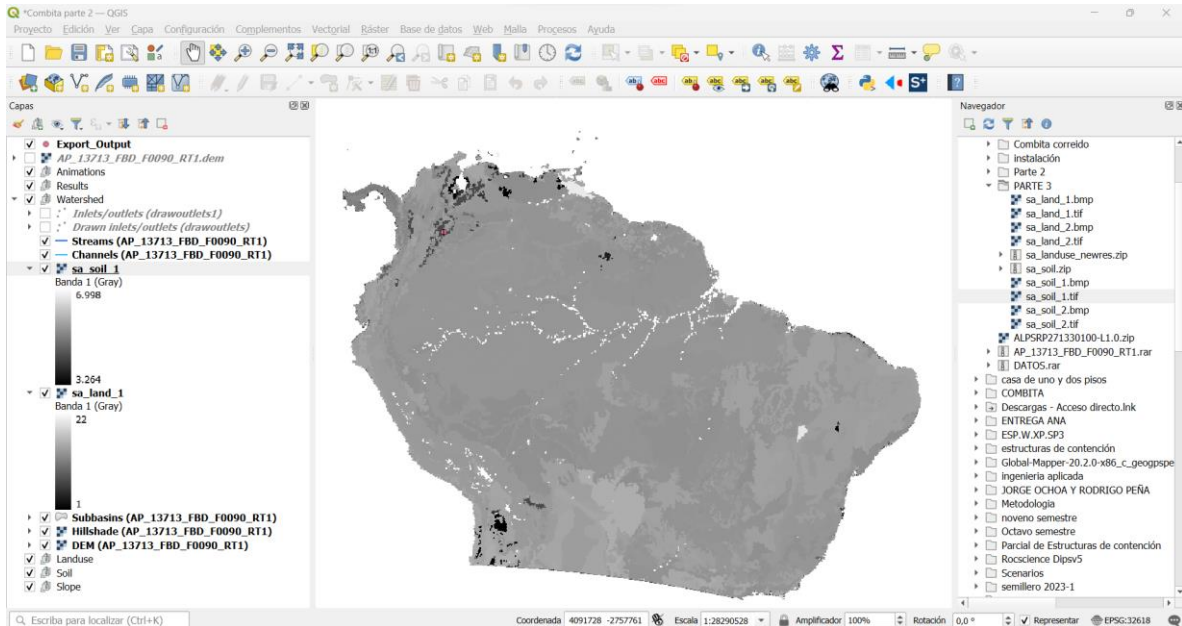
Paso 2. Activación de navegador de la siguiente manera:



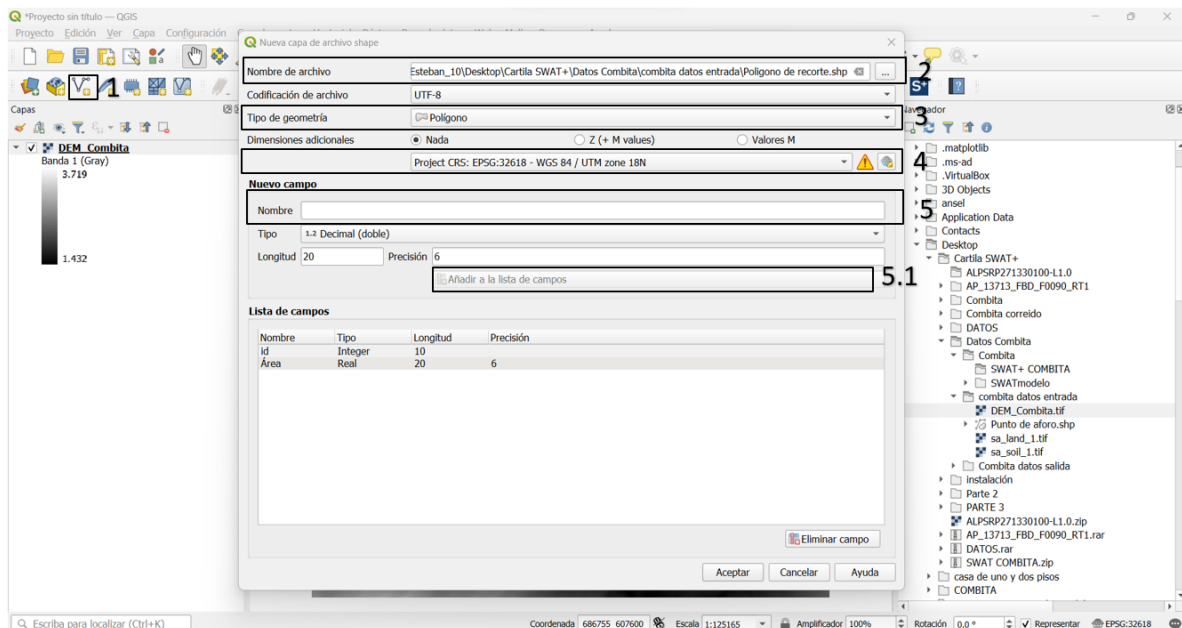
Paso 3. Se creará una nueva carpeta denominada datos de entrada y se añadirán los archivos descargados anteriormente. Después se deberán cargar las dos capas que fueron previamente descargadas y se arrastran hasta la capa en trabajo



3.1. El resultado del procedimiento anterior será el siguiente, en el cual se carga la base de datos de todo Sur América



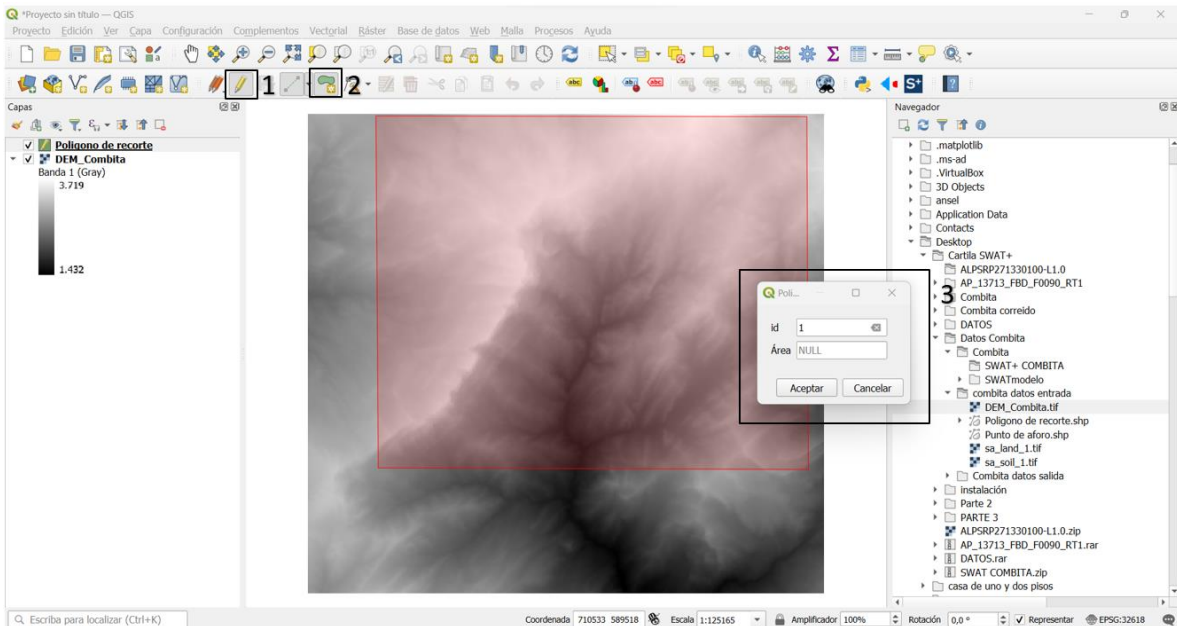
Paso 4. En este paso se creará en un documento en blanco para mayor orden un polígono que nos será útil para hacer cortes y máscaras de las capas descargadas previamente, donde se cargará el DEM y para una guía de recorte.



- (1) En este se dará clic para crear un nuevo .shp
- (2) En este se dará la dirección del archivo, y el nombre del formato .shp en los tres puntos.

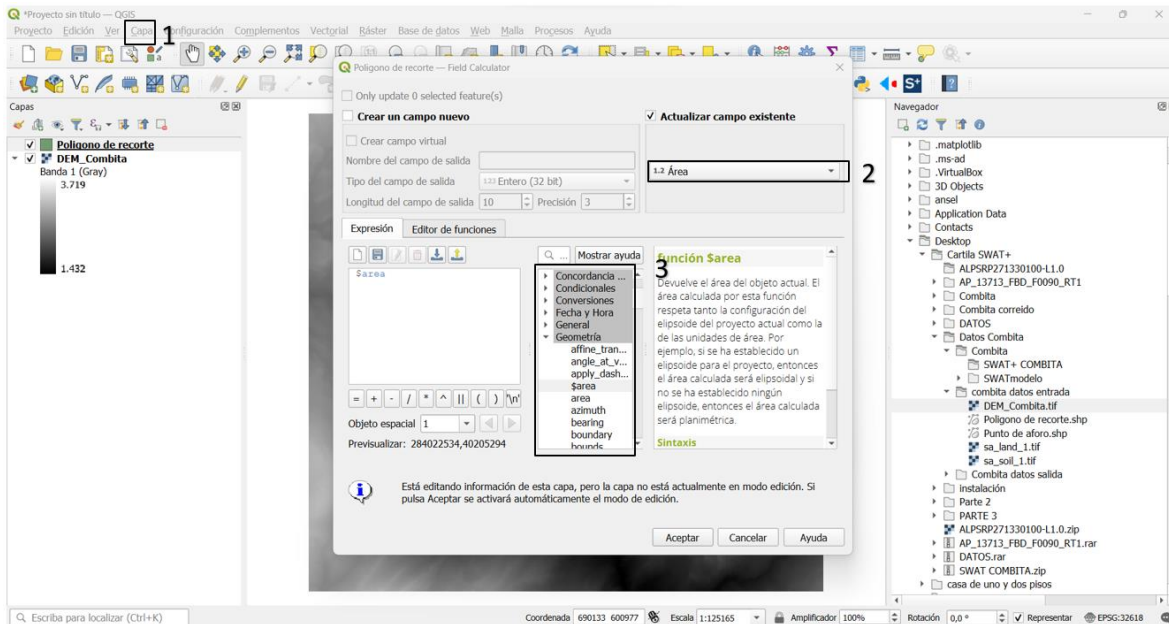
- (3) Se deberá elegir tipo de geometría (Polígono).
- (4) Se deberán modificar las coordenadas a Project CRS: EPSG:32618 – WGS / UTM zona 18N, este proceso se realiza debido a que todo el proyecto se ha trabajado con coordenadas proyectadas.
- (5) En este paso se pueden añadir atributos a la tabla en este caso no es necesario, pero se agregó área y se añade dando clic en el botón 5.1, y poniendo en tipo como decimal.

Paso 5. Se empezará la edición y se trazará el polígono



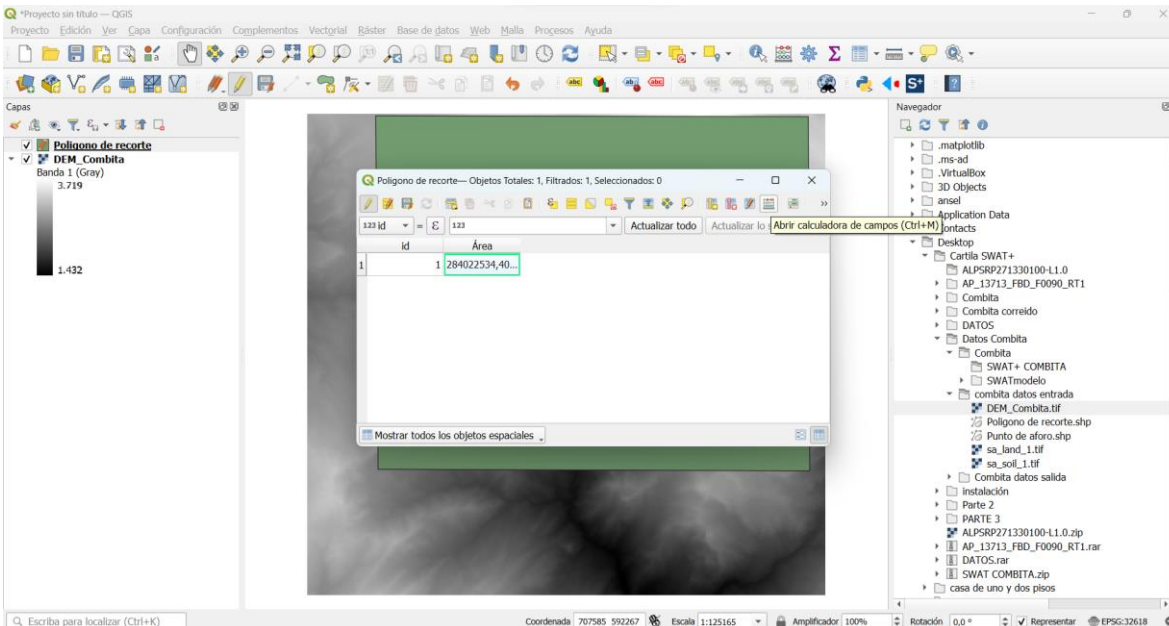
- (1) Se hará el primer trazo dando clic en el lápiz
- (2) Existen varios métodos de trazada, pero, para este caso se elegirá la opción mostrada y se dibujará con el cursor dando clic derecho para finalizar el trazo
- (3) Finalmente se pondrá una identificación y se escribirá el número 1, el campo de área se dejará vacío y se le dará en el botón de aceptar.

Paso 6. Se puede modificar la tabla de atributos que creamos para darle valor al área de la siguiente manera:

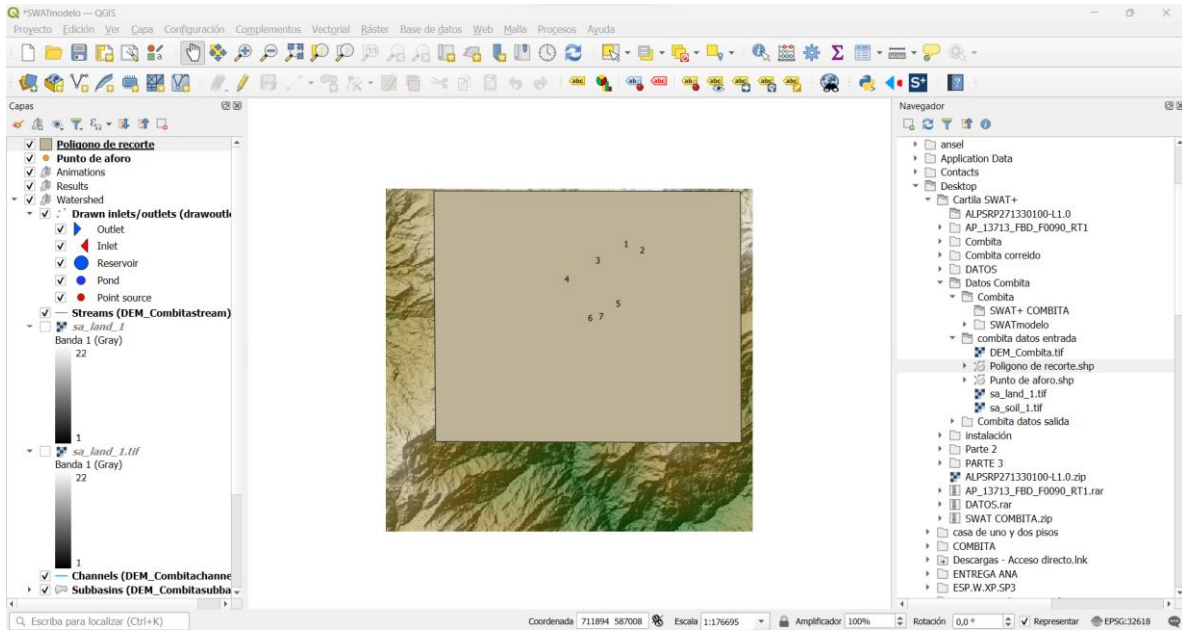


- (1) Clic en capa, tabla de atributos, y abrir calculadora de campos
- (2) Se buscará el atributo denominado “área”
- (3) Se buscará la geometría y se le dará doble clic en “área”

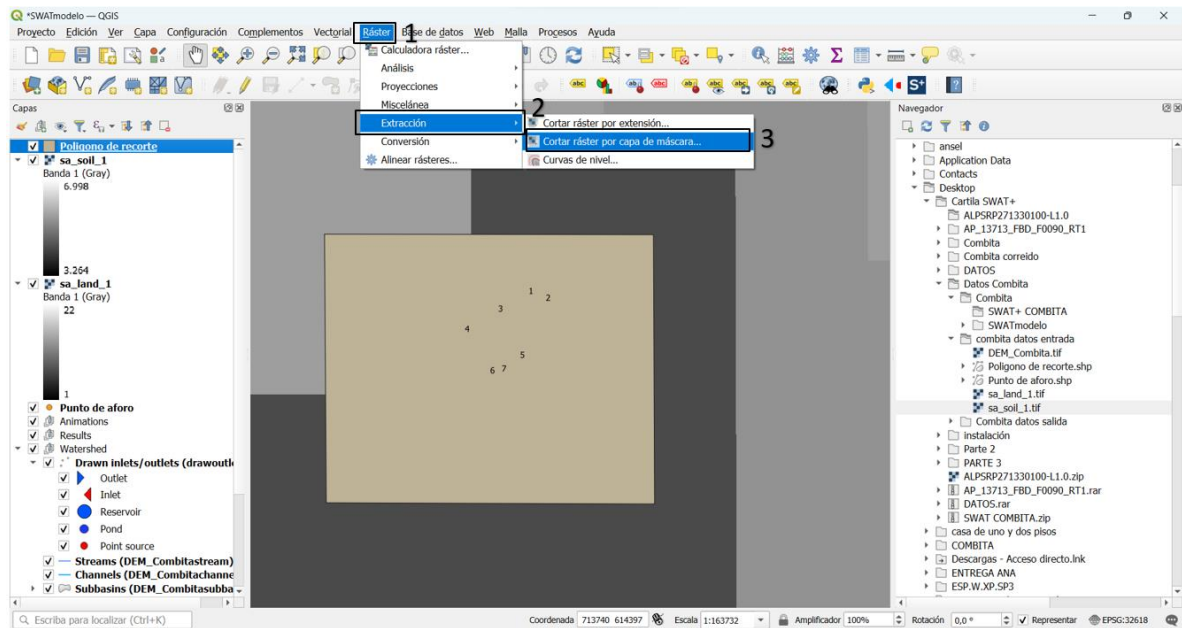
6.1. El resultado obtenido será el siguiente:



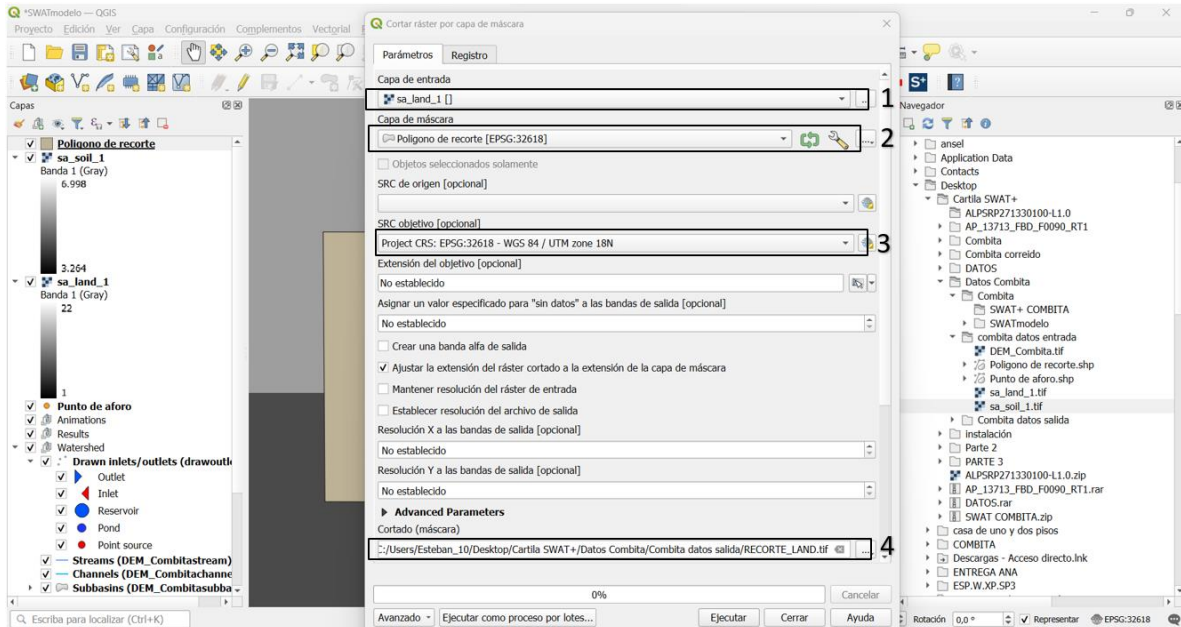
Paso 7. Cargar el polígono en el proyecto hidrológico que se venía trabajando



Paso 8. Se procede a hacer el primer recorte de que se hará cortar con base al polígono que se realizó



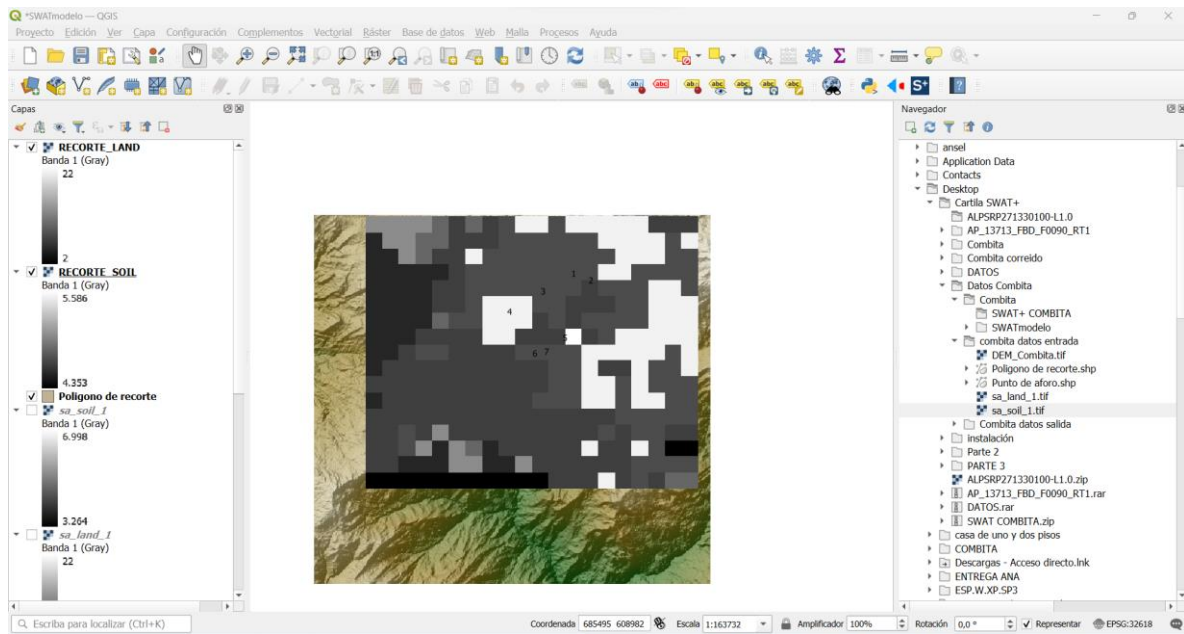
Paso 9. Se deberá recortar al tamaño del recuadro para geo procesar solo lo necesario que es nuestro lugar de interés siguiendo los siguientes pasos.



- (1) en este se deberá poner el ráster que se desea recortar, en este caso será *sa_land_1* y se debe hacer este mismo proceso con *sa_soil_1*.
- (2) Se dirige el formato .shp, que impondrá el tamaño del recorte.
- (3) Se deberá corregir las coordenadas sobre las que se ha venido trabajando el proyecto.
- (4) Sera la ruta de guardado

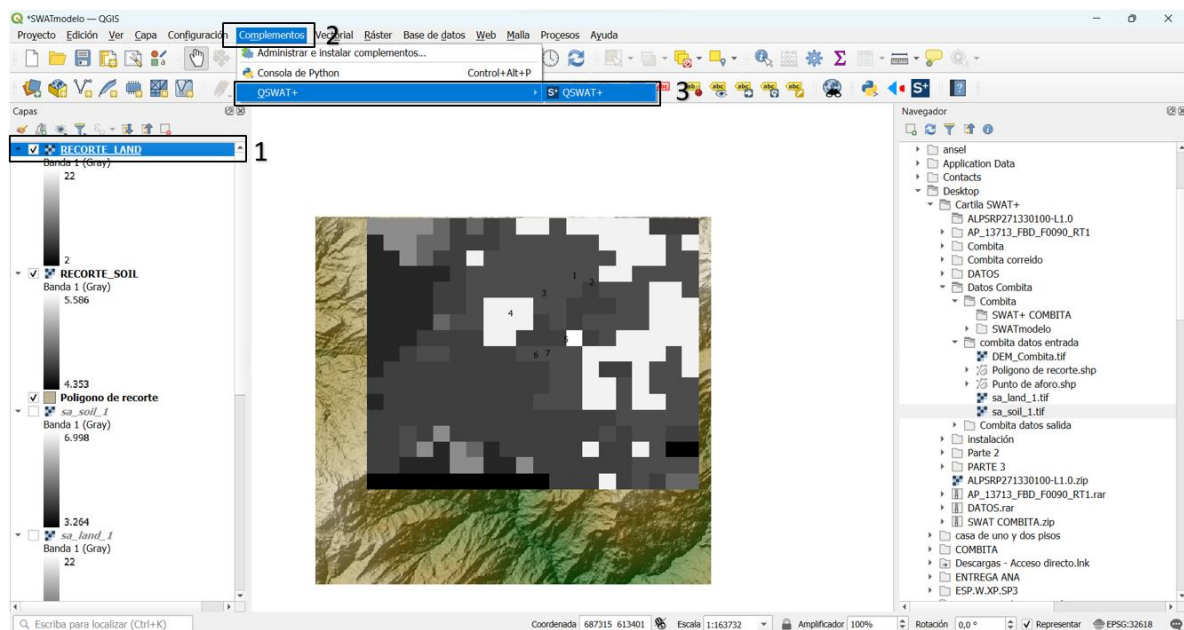
Nota: repetir el proceso anterior con la capa de “*soil*”

9.1. El resultado una vez se apaguen las capas de *sa_land* y *sa_soil*, será el siguiente:



Paso 10. Creación de los HRU's

- (1) Seleccionar el recorte que se creó en el paso anterior.
- (2) Se dará clic en complementos.
- (3) Se ingresa en QSWAT+



Paso 11. En este paso es importante tener en cuenta la peligrosidad por erosión hídrica según la pendiente, donde para este caso de análisis se hará según la tabla del artículo de Cartography of water erosion Hazard in Brazzaville city. [1]

Tabla 1. Peligrosidad por erosión hídrica según la pendiente

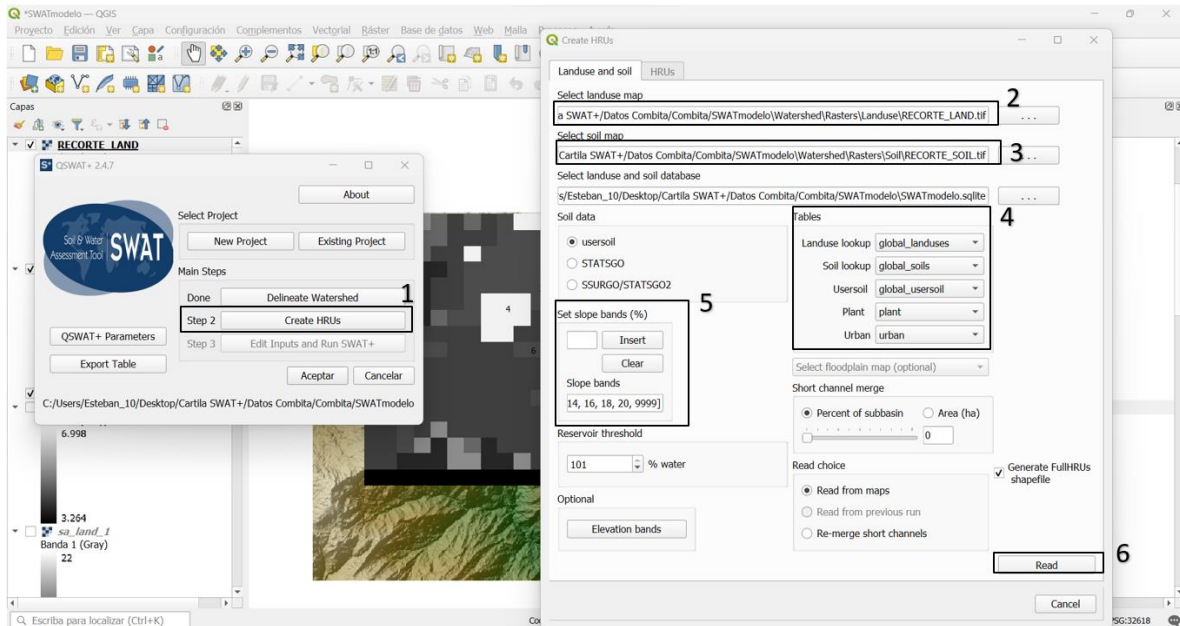
Clase	Pendiente (%)	Peligrosidad de erosión
1	0 - 3	Muy baja
2	3,1 - 12	Baja
3	12,1 - 20	Media
4	20,1 - 35	Alta
5	>35	Muy alta

La peligrosidad por erosión hídrica se puede evaluar según la pendiente del terreno de la zona de estudio que por la acción del agua puede favorecer en mayores proporciones este suceso, donde la erosión solo es el simple hecho de desgaste y transporte de partículas de suelo que se ven afectadas por lluvia o escorrentía afectando el suelo.

La pendiente es un factor importante debido que a mayor pendiente causara mayor velocidad de agua, lo que puede aumentar la afectación por erosión.

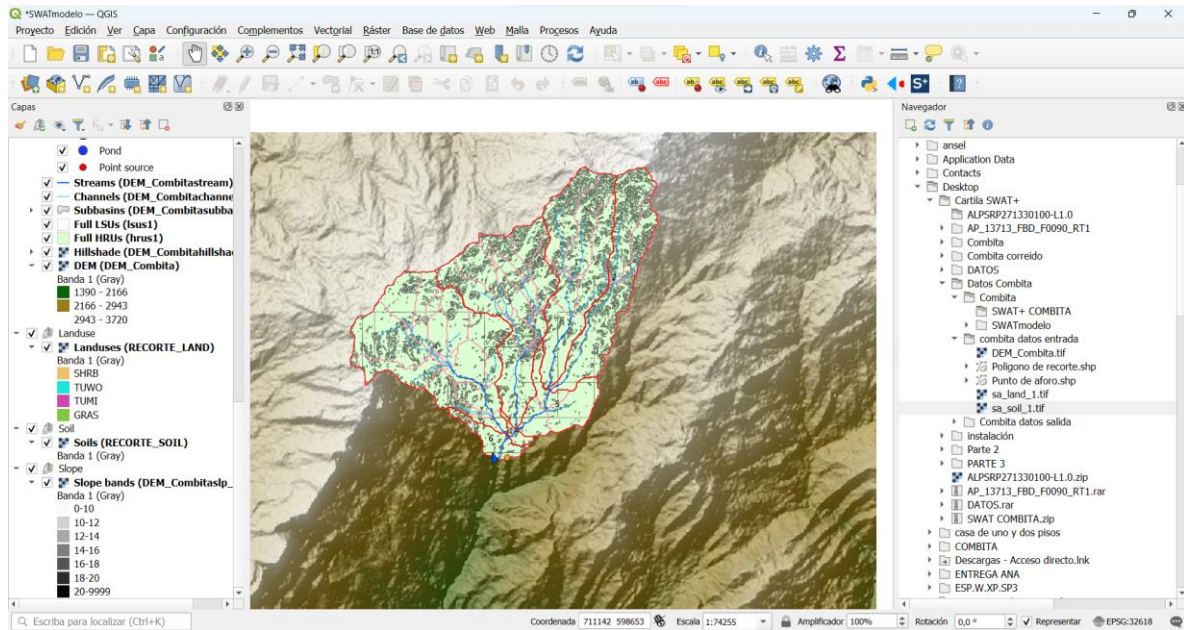
Combita. Según lo investigado se obtiene que combita es una zona compuesta por medias y altas pendiente, donde está conformado en gran parte por abanicos aluviales que se conoce que es de las formaciones más jóvenes en formarse con pendientes de 7 a 12% y de 12 a 25%, según la Gobernación de Boyacá, dicho esto se tomara una pendiente de 14, 16, 18, 20 para el ejercicio académico, tal como se muestra media a alta.

Paso 12. Ingresar lo previamente hablado, al programa SWAT+, tal como se muestra a continuación

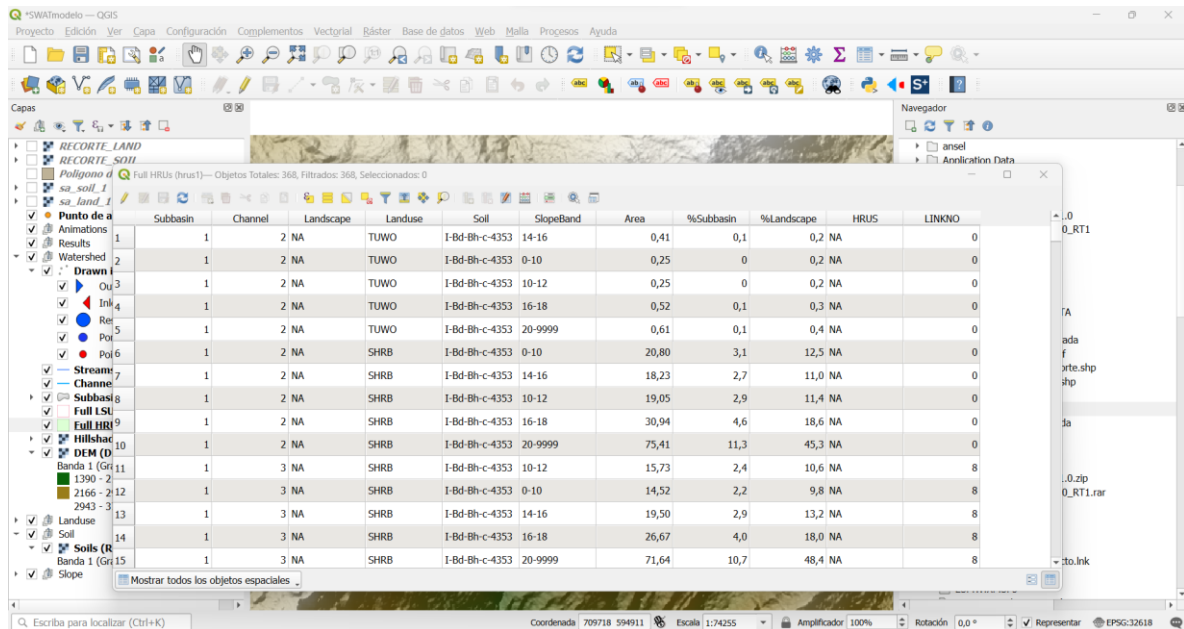


- (1) Dar clic en create HRU's
- (2) En este espacio se dará entrada del recorte que se realizó de *Land*, realizado en el paso 9.
- (3) En el segundo espacio se dará entrada del recorte soil que también se hizo en el paso 9.
- (4) Se deberá modificar tal como se muestra en el pantallazo.
- (5) Insertar las pendientes que se propusieron según la zona que uno analizo en los cuales insertamos una pendiente de 10, 12, 14, 16, 18, 20.
- (6) Por último, se dará clic en *read*
- (7) No cerrar la pestaña

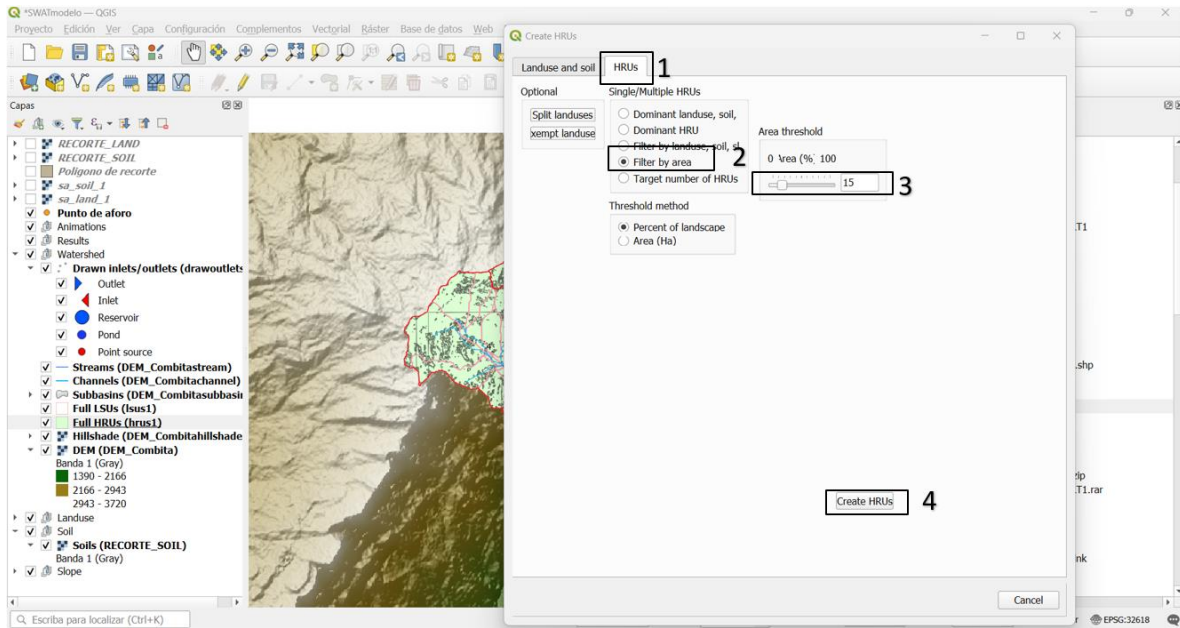
12.1. Ingresar lo previamente hablado, al programa SWAT+, tal como se muestra a continuación.



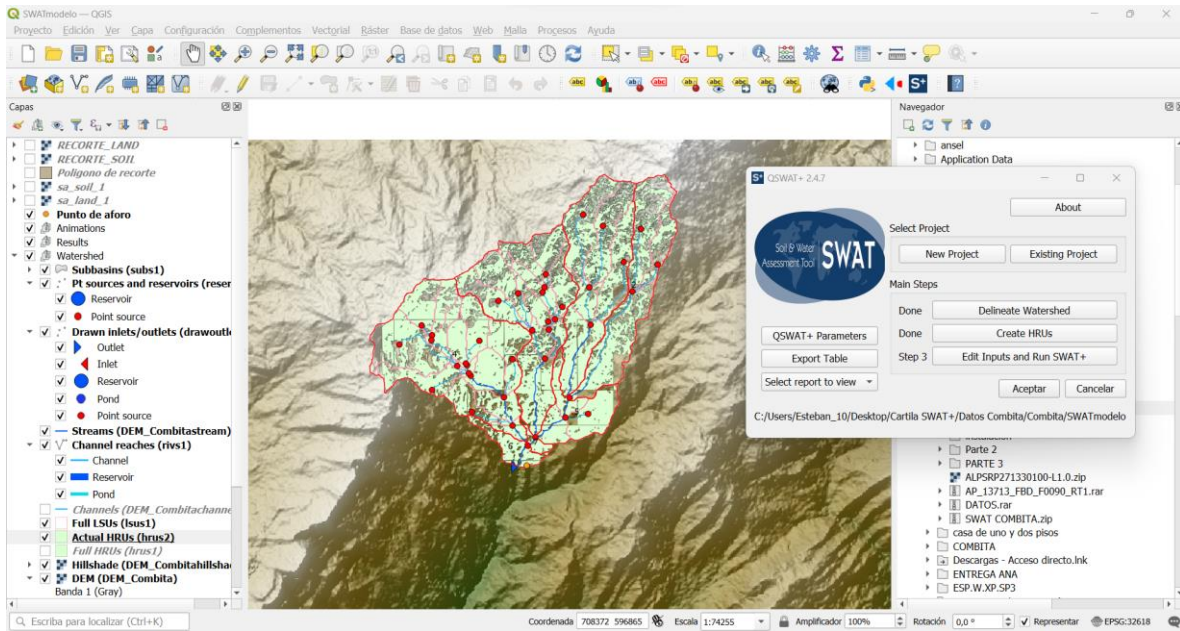
12.2. Abrir la tabla de atributos para encontrar el área de aportación y el porcentaje de aportación, identificando la existencia de áreas muy pequeñas, para no sobre exigir el pc se puede realizar un filtro.



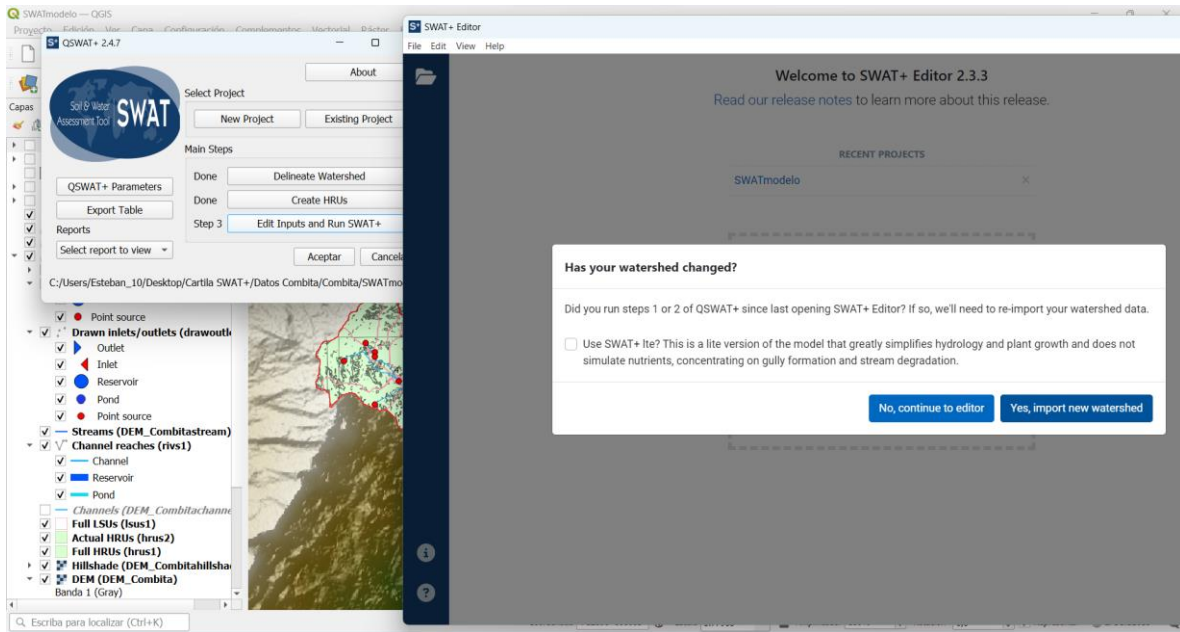
Paso 13. Proceso para filtrar la información, donde se va a modificar para trabajar con filtros mayores al 15%, siguiendo los 4 pasos siguientes



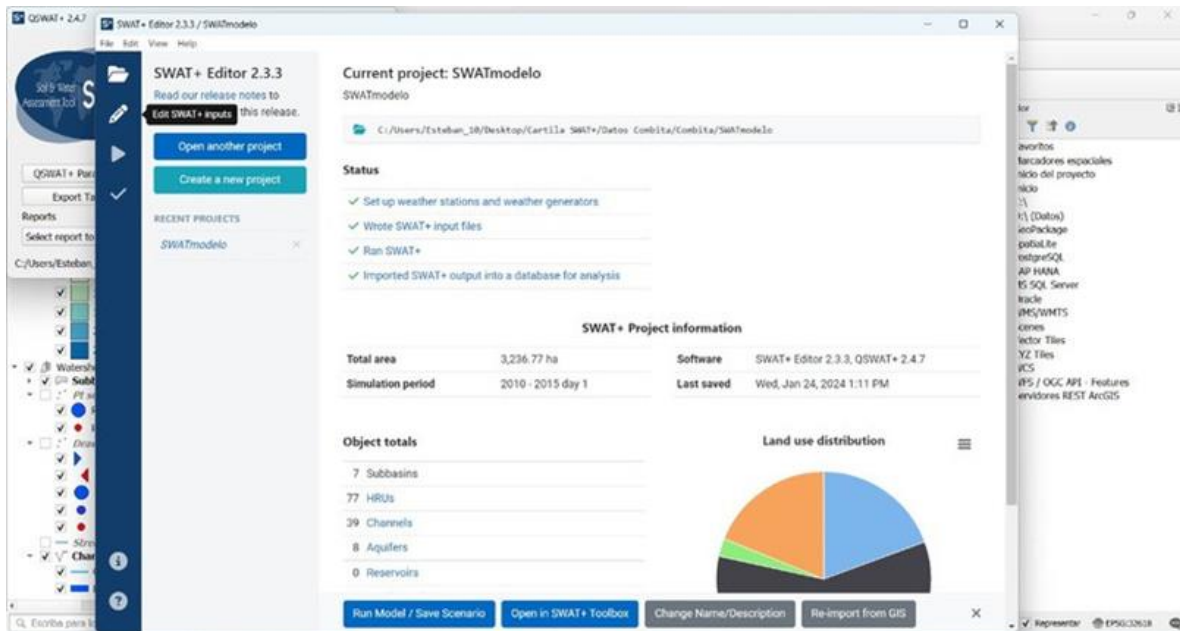
13.1. El resultado será el que se presenta a continuación, y se activará un nuevo botón en SWAT+.



Paso 14. Se seleccionará la opción número 3 “Edit inputs and Run SWAT+”



14.1. Se abrirá un recuadro en el que se podrán encontrar la cantidad de: subcuencas, HRU's, canales, acuíferos y reservorios presentes en la cuenca que se encuentra en estudio.

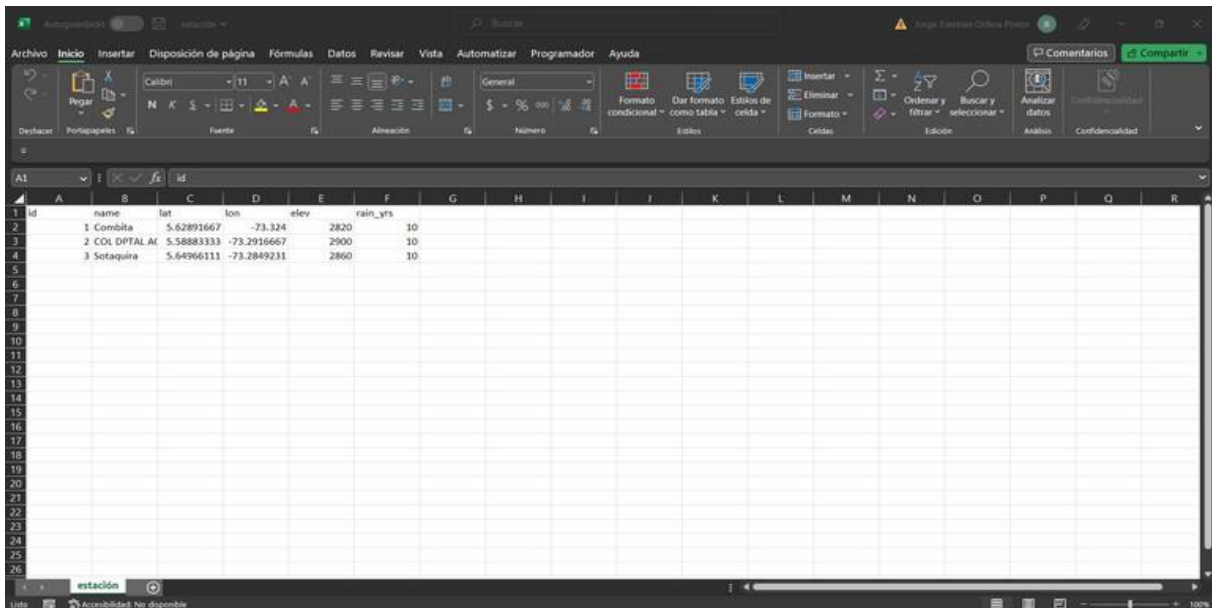


Para este caso se evidenciaron subcuencas (7), HRU's (77), canales (29) y acuíferos (8), pero no se encontró ningún reservorio.

Paso 15. Se importarán los datos de la nueva cuenca

Paso 16. Para esto será necesario hacer una compilación de información hidrológica, que obtenemos directamente del IDEAM. Se realizará la importación de archivos CSV, para este caso serán dos archivos CSV.

16.1. El primero será el archivo de estaciones y estará compuesto por la información de la geolocalización y la identificación de las estaciones, las columnas se denominarán: id, name, lat, lon, elev, rain_yrs. Tal como se muestra a continuación:



id	name	lat	lon	elev	rain_yrs
1	Combita	5.62891667	-73.324	2820	10
2	COL DPTAL AL	5.58883333	-73.2916667	2900	10
3	Sotaquirá	5.64966111	-73.2849231	2860	10

Nota: la columna de id deberá tener un número único, es decir, que el número otorgado a cada una de las estaciones no podrá repetirse en ningún caso, de lo contrario el programa no leerá el archivo.

16.2. El segundo archivo contiene valores mensuales, la identificación para cada columna será: id, wgn_id, month, tmp_max_ave, tmp_min_ave, tmp_max_sd, tmp_min_sd, pcp_ave, pcp_sd, pcp_skew, wet_dry, wet_wet, pcp_days, pcp_hhr, slr_ave, des_ave, wnd_ave. [16]

Se realiza la respectiva tabulación de los datos climáticos, para este caso fueron obtenidos del IDEAM, entre los cuales se encuentra tmp (temperatura), pcp (precipitación), slr (radiación solar), dew (punto de rocío), wnd (velocidad del viento).

Autoguardado

estación.monC1

Guardar

Revisión de Cambios

Compartir

ArchivoInicioInsertarDisposición de páginaFórmulasDatosRevisarVistaAutomatizarProgramadorAyuda

ComentariosCompartir

Revisar

Formato condicional

Formato como tabla

Estilos de celdas

Insertar

Eliminar

Formato

Celdas

Formato condicional

Formato como tabla

Estilos de celdas

Insertar

Eliminar

Formato

Celdas

Formato condicional

Formato como tabla

Estilos de celdas

Insertar

Eliminar

Formato

Celdas

Formato condicional

Formato como tabla

Estilos de celdas

Insertar

Eliminar

Formato

Celdas

Formato condicional

Formato como tabla

Estilos de celdas

Insertar

Eliminar

Formato

Celdas

Formato condicional

Formato como tabla

Estilos de celdas

Insertar

Eliminar

Formato

Celdas

Formato condicional

Formato como tabla

Estilos de celdas

Insertar

Eliminar

Formato

Celdas

Formato condicional

Formato como tabla

Estilos de celdas

Insertar

Eliminar

Formato

Celdas

Formato condicional

Formato como tabla

Estilos de celdas

Insertar

Eliminar

Formato

Celdas

Formato condicional

Formato como tabla

Estilos de celdas

Insertar

Eliminar

Formato

Celdas

Formato condicional

Formato como tabla

Estilos de celdas

Insertar

Eliminar

Formato

Celdas

Formato condicional

Formato como tabla

Estilos de celdas

Insertar

Eliminar

Formato

Celdas

Formato condicional

Formato como tabla

Estilos de celdas

Insertar

Eliminar

Formato

Celdas

Formato condicional

Formato como tabla

Estilos de celdas

Insertar

Eliminar

Formato

Celdas

Formato condicional

Formato como tabla

Estilos de celdas

Insertar

Eliminar

Formato

Celdas

Formato condicional

Formato como tabla

Estilos de celdas

Insertar

Eliminar

Formato

Celdas

Formato condicional

Formato como tabla

Estilos de celdas

Insertar

Eliminar

Formato

Celdas

Formato condicional

Formato como tabla

Estilos de celdas

Insertar

Eliminar

Formato

Celdas

Formato condicional

Formato como tabla

Estilos de celdas

Insertar

Eliminar

Formato

Celdas

Formato condicional

Formato como tabla

Estilos de celdas

Insertar

Eliminar

Formato

Celdas

Formato condicional

Formato como tabla

Estilos de celdas

Insertar

Eliminar

Formato

Celdas

Formato condicional

Formato como tabla

Estilos de celdas

Insertar

Eliminar

Formato

Celdas

Formato condicional

Formato como tabla

Estilos de celdas

Insertar

Eliminar

Formato

Celdas

Formato condicional

Formato como tabla

Estilos de celdas

Insertar

Eliminar

Formato

Celdas

Formato condicional

Formato como tabla

Estilos de celdas

Insertar

Eliminar

Formato

Celdas

Formato condicional

Formato como tabla

Estilos de celdas

Insertar

Eliminar

Formato

Celdas

Formato condicional

Formato como tabla

Estilos de celdas

Insertar

Eliminar

Formato

Celdas

Formato condicional

Formato como tabla

Estilos de celdas

Insertar

Eliminar

Formato

Celdas

Formato condicional

Formato como tabla

Estilos de celdas

Insertar

Eliminar

Formato

Celdas

Formato condicional

Formato como tabla

Estilos de celdas

Insertar

Eliminar

Formato

Celdas

Formato condicional

Formato como tabla

Estilos de celdas

Insertar

Eliminar

Formato

Celdas

Formato condicional

Formato como tabla

Estilos de celdas

Insertar

Eliminar

Formato

Celdas

Formato condicional

Formato como tabla

Estilos de celdas

Insertar

Eliminar

Formato

Celdas

Formato condicional

Formato como tabla

Estilos de celdas

Insertar

Eliminar

Formato

Celdas

Formato condicional

Formato como tabla

Estilos de celdas

Insertar

Eliminar

Formato

Celdas

Formato condicional

Formato como tabla

Estilos de celdas

Insertar

Eliminar

Formato

Celdas

Formato condicional

Formato como tabla

Estilos de celdas

Insertar

Eliminar

Formato

Celdas

Formato condicional

Formato como tabla

Estilos de celdas

Insertar

Eliminar

Formato

Celdas

Formato condicional

Formato como tabla

Estilos de celdas

Insertar

Eliminar

Formato

Celdas

Formato condicional

Formato como tabla

Estilos de celdas

Insertar

Eliminar

Formato

Celdas

Formato condicional

Formato como tabla

Estilos de celdas

Insertar

Eliminar

Formato

Celdas

Formato condicional

Formato como tabla

Estilos de celdas

Insertar

Eliminar

Formato

Celdas

Formato condicional

Formato como tabla

Estilos de celdas

Insertar

Eliminar

Formato

Celdas

Formato condicional

Formato como tabla

Estilos de celdas

Insertar

Eliminar

Formato

Celdas

Formato condicional

Formato como tabla

Estilos de celdas

Insertar

Eliminar

Formato

Celdas

Formato condicional

Formato como tabla

Estilos de celdas

Insertar

Eliminar

Formato

Celdas

Formato condicional

Formato como tabla

Estilos de celdas

Insertar

Eliminar

Formato

Celdas

Formato condicional

Formato como tabla

Estilos de celdas

Insertar

Eliminar

Formato

Celdas

Formato condicional

Formato como tabla

Estilos de celdas

Insertar

Eliminar

Formato

Celdas

Formato condicional

Formato como tabla

Estilos de celdas

Insertar

Eliminar

Formato

Celdas

Formato condicional

Formato como tabla

Estilos de celdas

Insertar

Eliminar

Formato

Celdas

Formato condicional

Formato como tabla

Estilos de celdas

Insertar

Eliminar

Formato

Celdas

Formato condicional

Formato como tabla

Estilos de celdas

Insertar

Eliminar

Formato

Celdas

Formato condicional

Formato como tabla

Estilos de celdas

Insertar

Eliminar

Formato

Celdas

Formato condicional

Formato como tabla

Estilos de celdas

Insertar

Eliminar

Formato

Celdas

Formato condicional

Formato como tabla

Estilos de celdas

Insertar

Eliminar

Formato

Celdas

Formato condicional

Formato como tabla

Estilos de celdas

Insertar

Eliminar

Formato

Celdas

Formato condicional

Formato como tabla

Estilos de celdas

Insertar

Eliminar

Formato

Celdas

Formato condicional

Formato como tabla

Estilos de celdas

Insertar

Eliminar

Formato

Celdas

Formato condicional

Formato como tabla

Estilos de celdas

Insertar

Eliminar

Formato

Celdas

Formato condicional

Formato como tabla

Estilos de celdas

Insertar

Eliminar

Formato

Celdas

Formato condicional

Formato como tabla

Estilos de celdas

Insertar

Eliminar

Formato

Celdas

Formato condicional

Formato como tabla

Estilos de celdas

Insertar

Eliminar

Formato

Celdas

Formato condicional

Formato como tabla

Estilos de celdas

Insertar

Eliminar

Formato

Celdas

Formato condicional

Formato como tabla

Estilos de celdas

Insertar

Eliminar

Formato

Celdas

Formato condicional

Formato como tabla

Estilos de celdas

Insertar

Eliminar

Formato

Celdas

Formato condicional

Formato como tabla

Estilos de celdas

Insertar

Eliminar

Formato

Celdas

Formato condicional

Formato como tabla

Estilos de celdas

Insertar

Eliminar

Formato

Celdas

Formato condicional

Formato como tabla

Estilos de celdas

Insertar

Eliminar

Formato

Celdas

Formato condicional

Formato como tabla

Estilos de celdas

Insertar

Eliminar

Nota: ¹Ambos archivos deberán ser guardados en un formato que este delimitado por comas un formato CSV para que resulte compatible con SWAT+. ² wgn_is es la columna id del archivo CSV de estaciones mostrado en el paso 16.1.

16.3. Los datos hidrometeorológicos mostrados anteriormente fueron descargados del IDEAM, como se muestra a continuación. [12]

- (1) Ingresar al portal del IDEAM, mediante el link: <http://www.ideam.gov.co/>
- (2) Dar clic en el recuadro de “CONSULTA-DESCARGA DATOS HIDROMETEOROLOGICOS”



- 2.1. Se seleccionará la fecha en la que se desea obtener la información
- 2.2. Seleccionar el parámetro puede ser: precipitación, punto de rocío, evapotranspiración etc.
- 2.3. Establecer el tiempo que se quiere analizar.
- 2.4. Establecer el departamento y municipio, para este caso fue el municipio de Combita ubicado en el departamento de Boyacá.
- 2.5. Seleccionar las estaciones y descargar la información, se generará un archivo Excel en el cual se deberá filtrar la información.

Consulta y Descarga de Datos Hidrometeorológicos

Período: 21
 Fecha Inicial: 01/01/2011
 Fecha Final: 01/01/2015

Serie de Tiempo y Frecuencia
☒ Estándar ☐ Especial (decadal/multianual)
 Parámetro: Seleccione Parámetro...
 Variable: ☒ Lista Comp ☐ Lista abreviado
 22
 PRECIPITACION
 PRECIPITACION
 PUNTO ROCIO
 RAD SOLAR

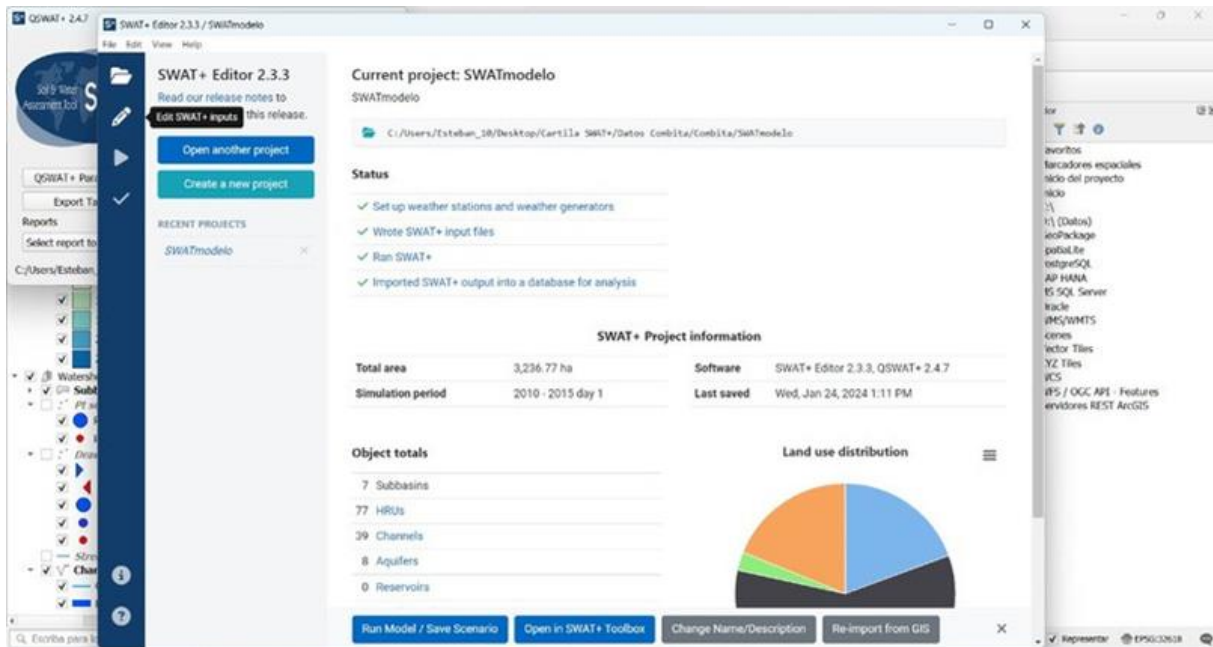
Serie de Tiempo y Frecuencia
☒ Estándar ☐ Especial (decadal/multianual)
 Parámetro: PRECIPITACION
 Variable: ☒ Lista Completa ☐ Listado abreviado
 Descripción
☐ Precipitación acumulada 10 minutos
☐ Precipitación total horaria
☐ Dias con lluvia >= 0,1 mm
☐ Dia pluviométrico (convencional)
☐ Precipitación total diaria (automática)
☒ Precipitación total mensual 23
☐ Precipitación total anual

Datos Estación
 Departamento: Boyacá 24
 Municipio: Cómbita

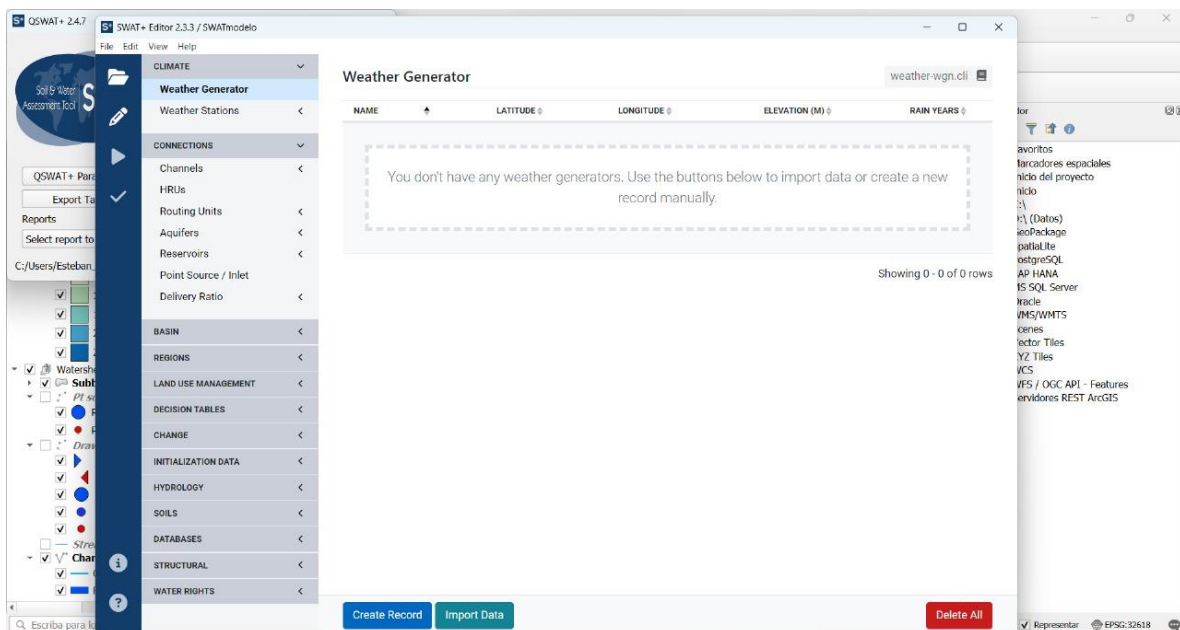
Código	Nombre	FechaIn
24030310	COMBITA(24030310)	2010-12-31

Nota: Se deberán repetir estos pasos con cada uno de los parámetros solicitados por el programa SWAT.

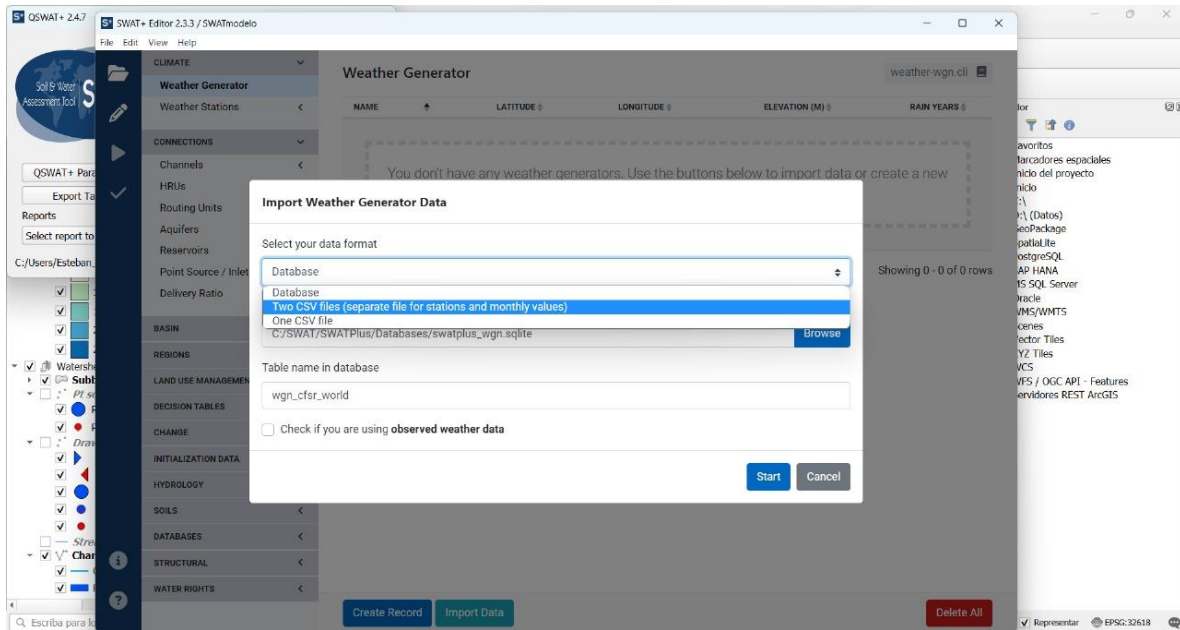
Paso 17. Se dirigen a la opción de Edit. SWAT+ inputs



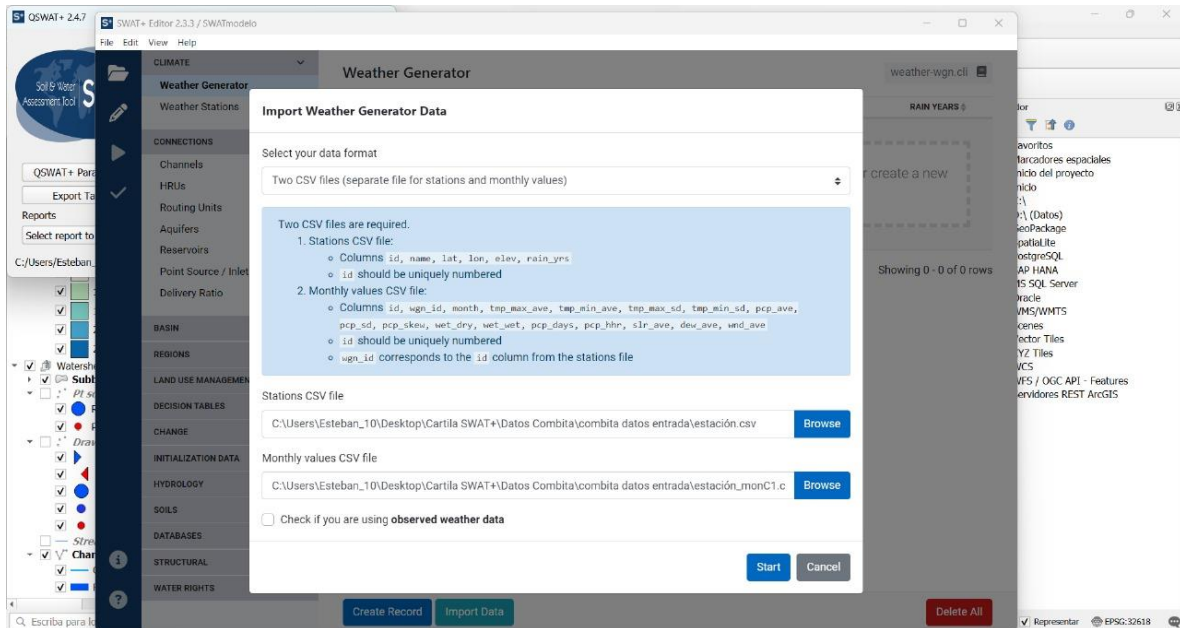
17.1. En la opción Weather Generator se cargarán los documentos tabulados anteriormente.



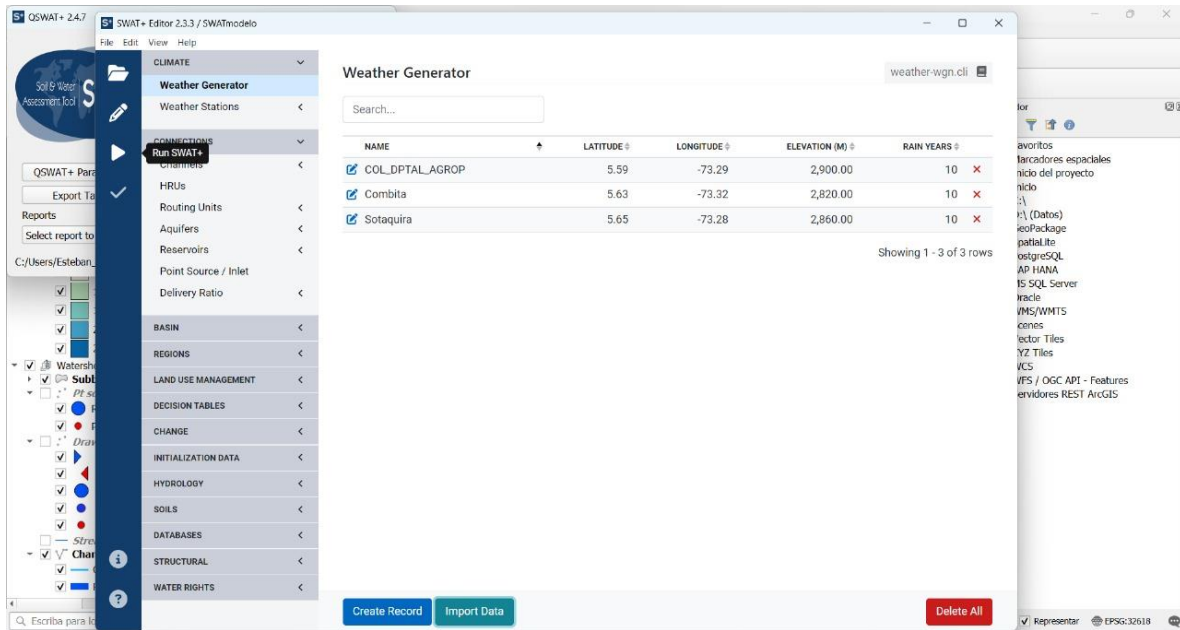
17.2. Seleccionar la opción de formato "Two CSV files"



17.3. Se cargarán los archivos de Excel, primero el archivo de las estaciones y después se cargará el archivo que contiene la información de los datos climáticos obtenidos de la cuenca, finalmente se le da clic en la opción de “start”.

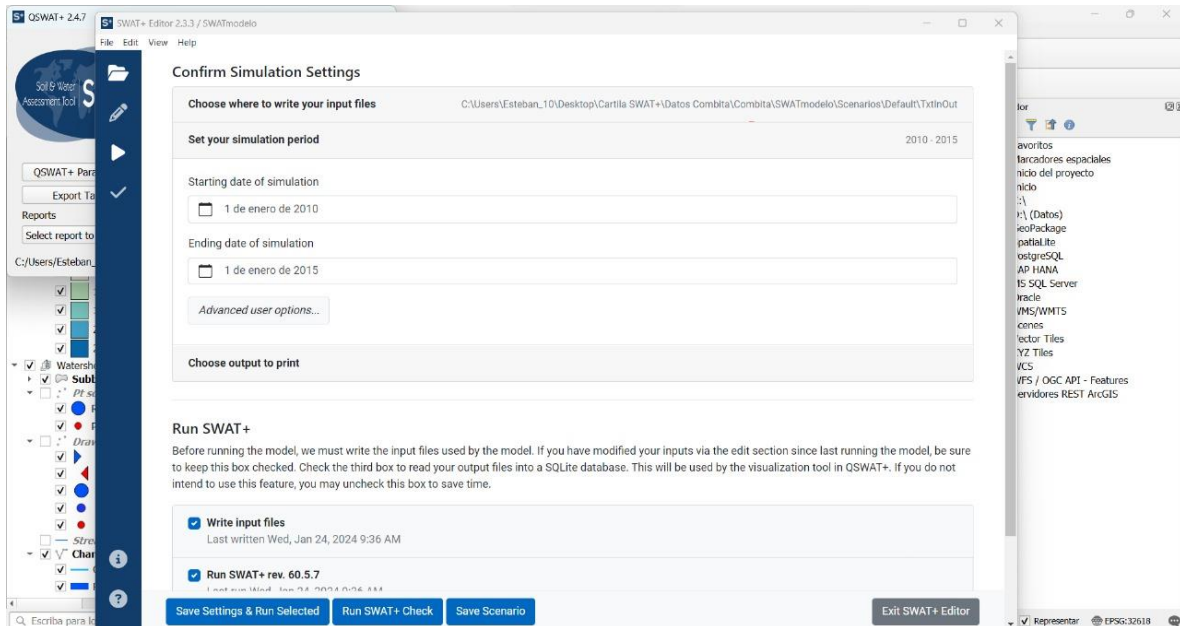


17.4. El resultado esperado deberá contener las estaciones que se plantean en el primer Excel donde se encuentra con las coordenadas de la siguiente manera.

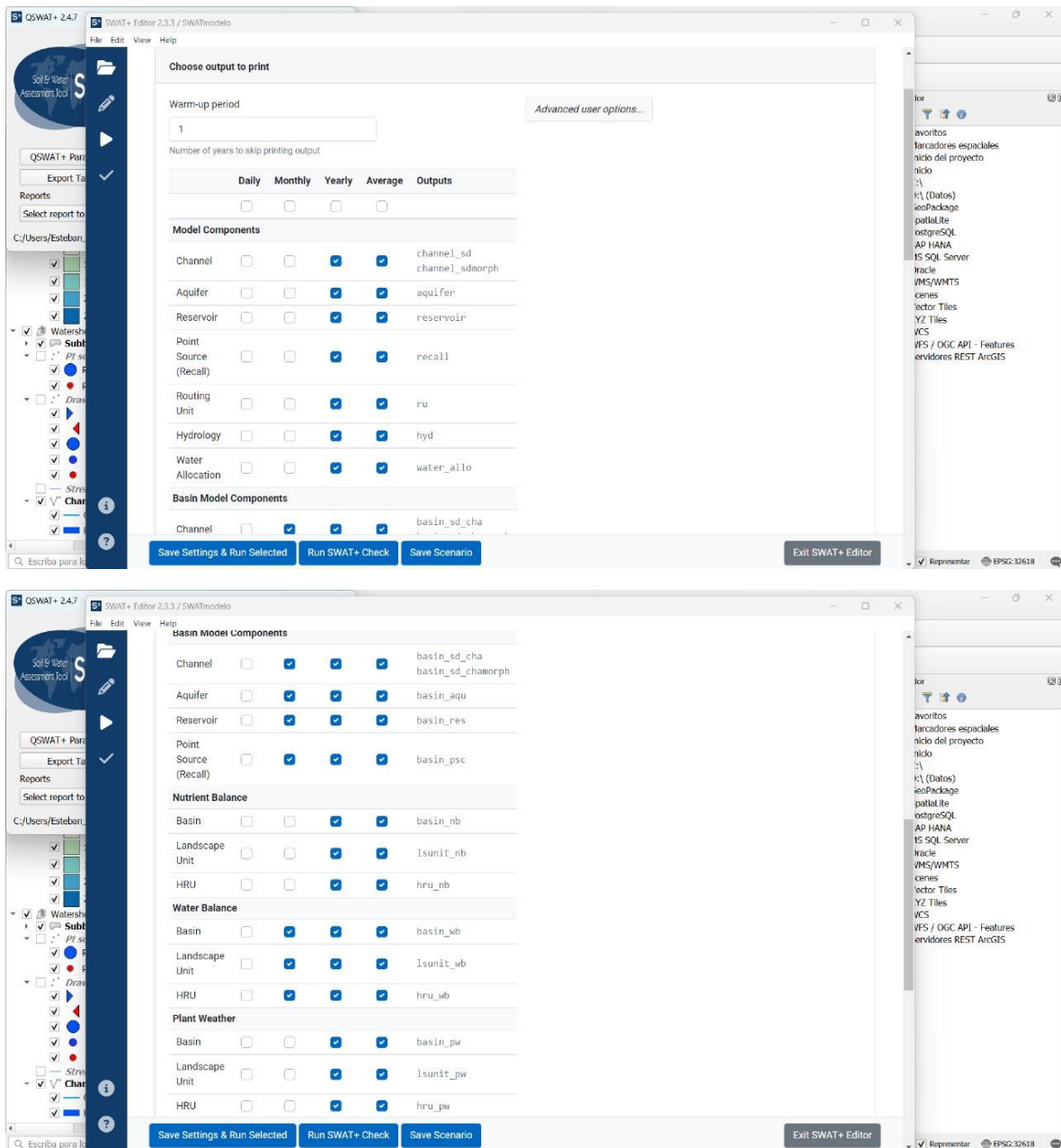


Paso 18. Dirigirse a la opción “Run SWAT+”

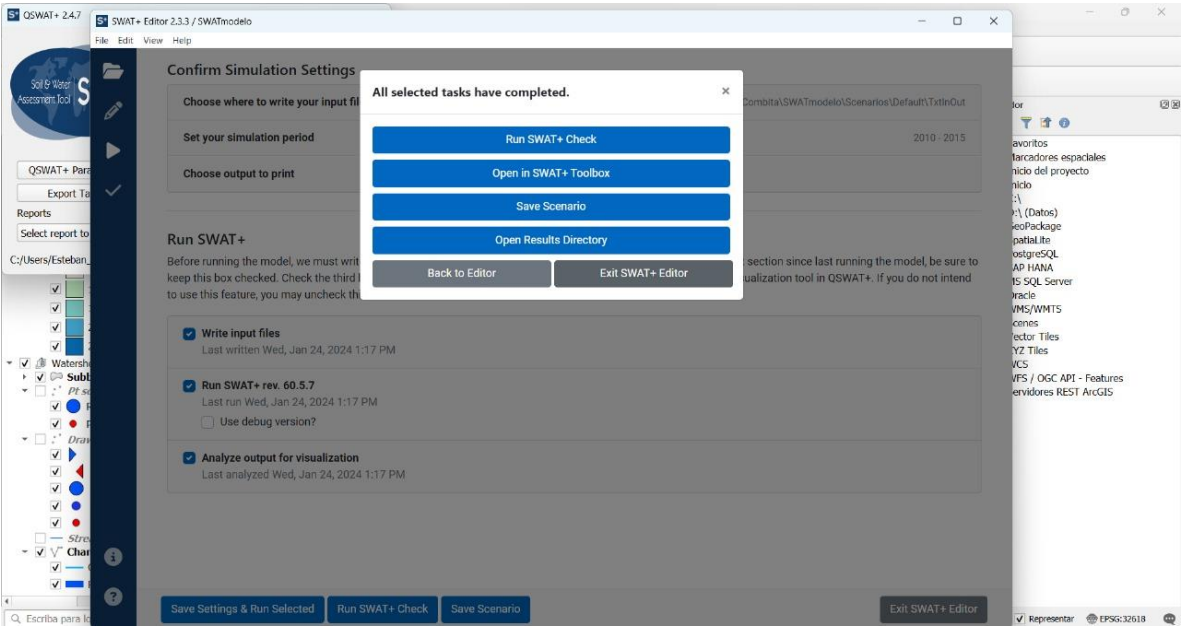
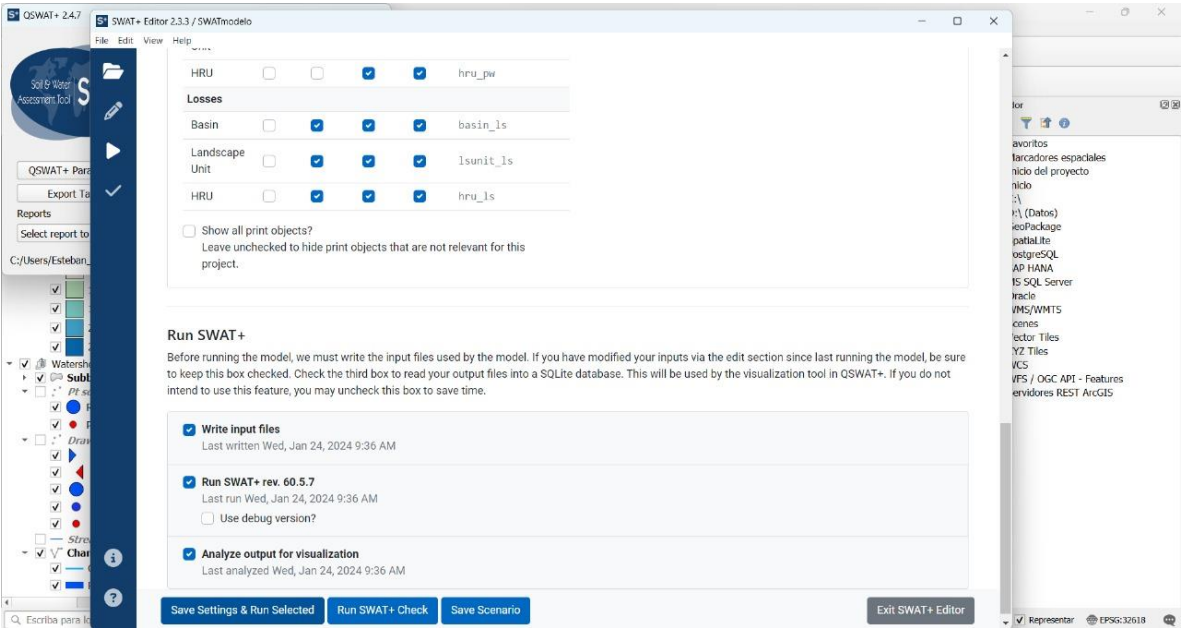
18.1. Antes de ejecutar el modelo, es necesario escribir los archivos de entrada utilizados por el modelo editando los periodos en los que se desea obtener la simulación.



18.2. Se editarán los componentes seleccionando únicamente las casillas que se desean tener en cuenta para el análisis respectivo del modelo, a continuación, se muestran las casillas seleccionadas para el caso en estudio:



18.3. Finalmente se dará clic en "Save settings & run selected", aparecerá un nuevo cuadro en el cual se deberá dar clic en "Exit SWAT+Editor" para así poder dirigirse a la pestaña de inicio y observar la nueva opción que se activó para continuar con la modelación.



05.

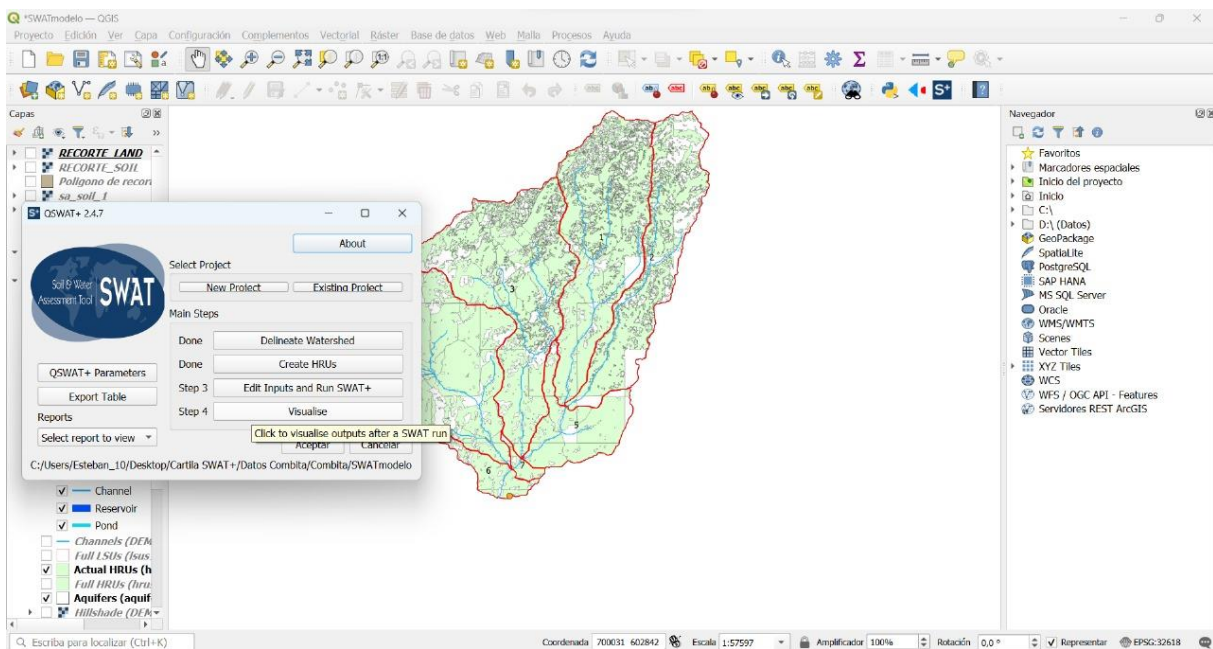


**SIMULACION Y
VISUALIZACION
RESULTADOS
MODELO
HIDROLOGICO**

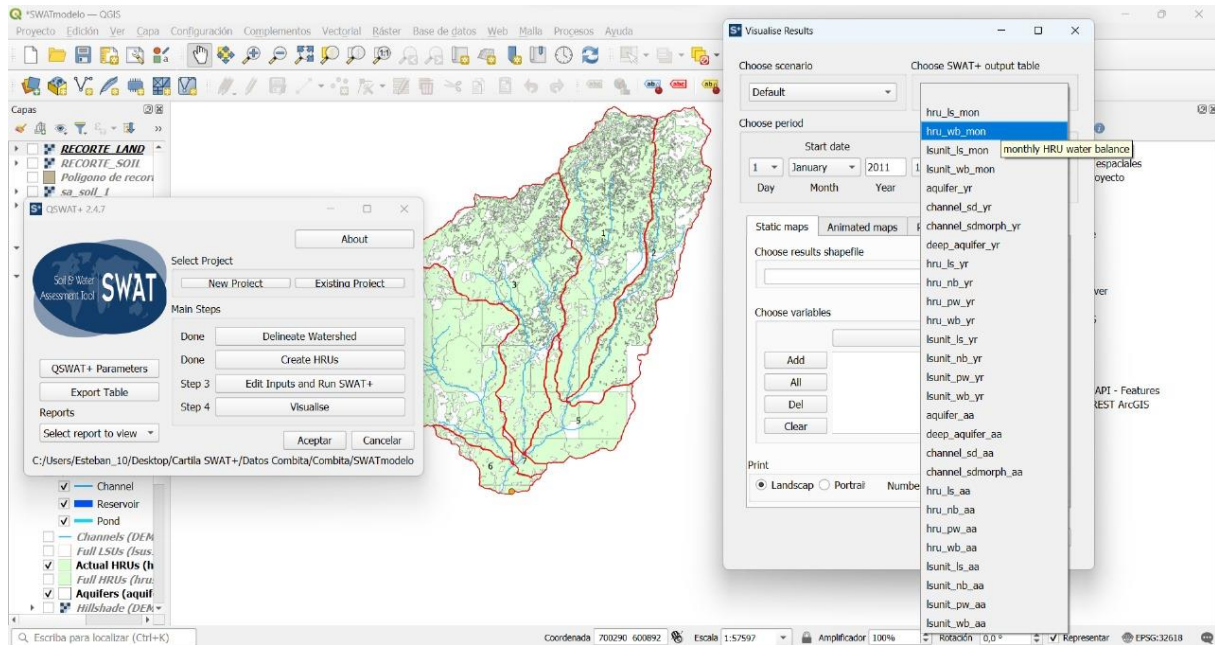


SIMULACIÓN Y VISUALIZACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL MODELO HIDROLOGICO

Paso 1. Se activará la cuarta opción de SWAT+ denominada “visualise”

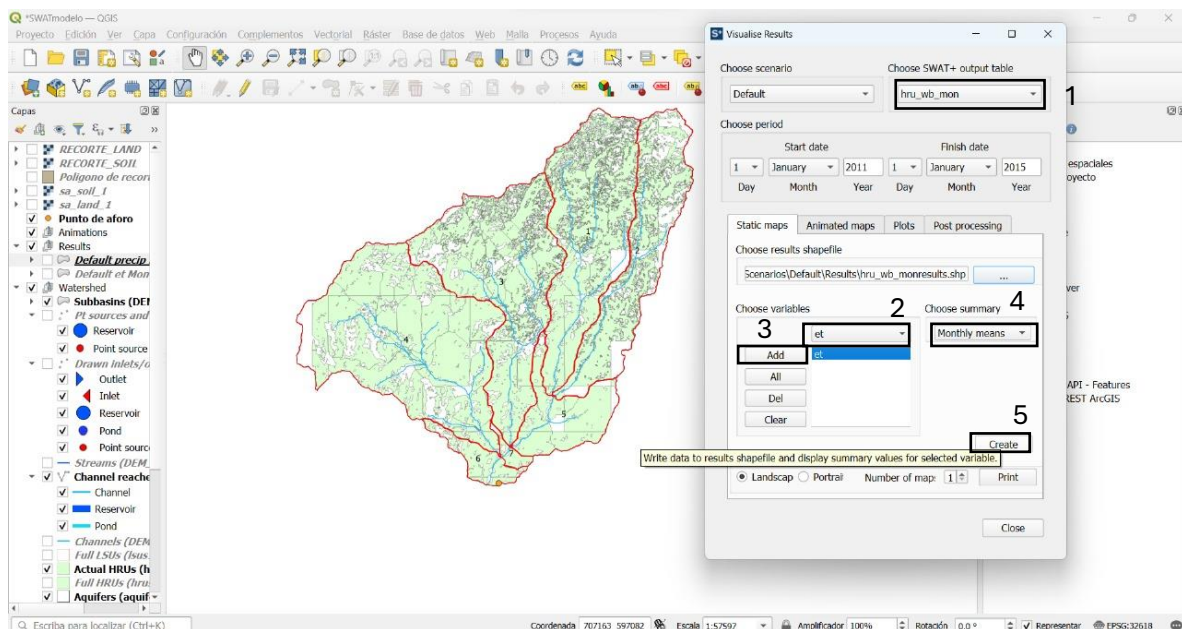


Paso 2. Visualizar a nivel de HRU's

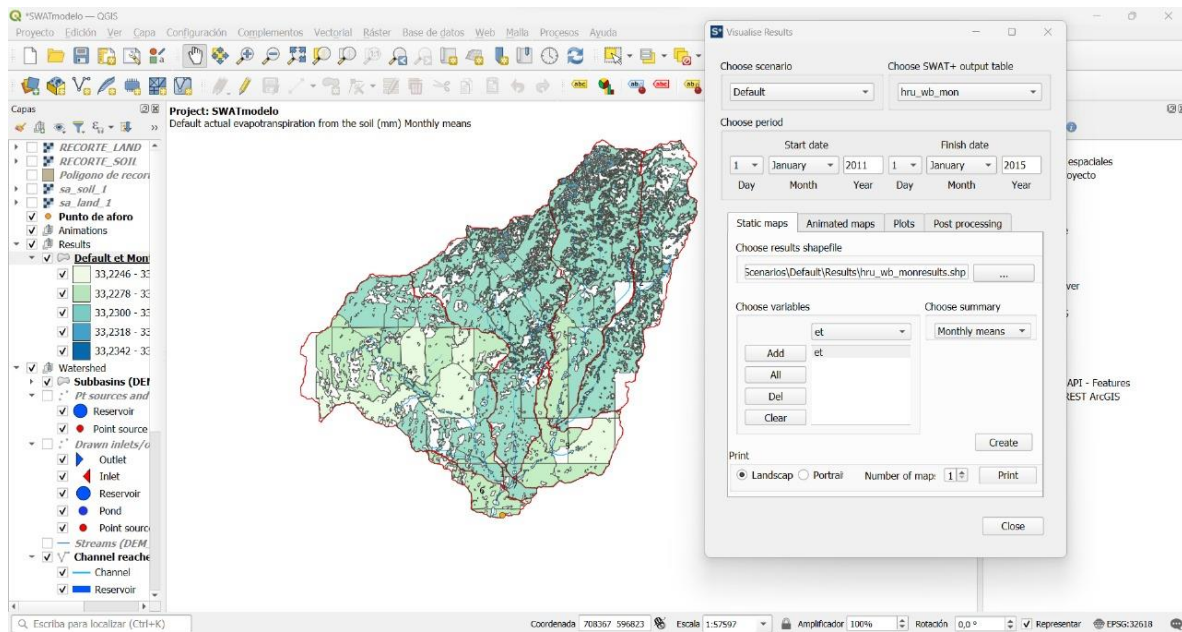


2.1. Se escoger el parámetro que deseamos visualizar a nivel de HRUs

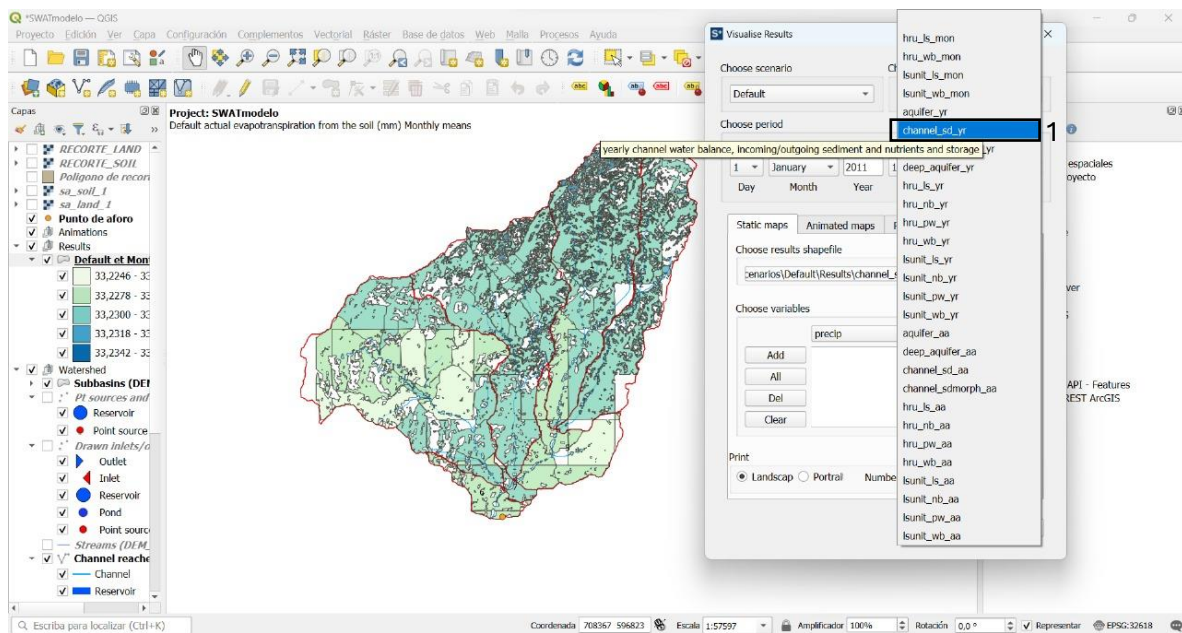
- (1) Se seleccionará la opción hru_wb_mon
- (2) Elegir el parámetro que se quiere analizar para este caso fue evapotranspiración
- (3) Seleccionar "add"
- (4) Configurar el periodo que se desea analizar
- (5) Dar clic en la opción "créate"



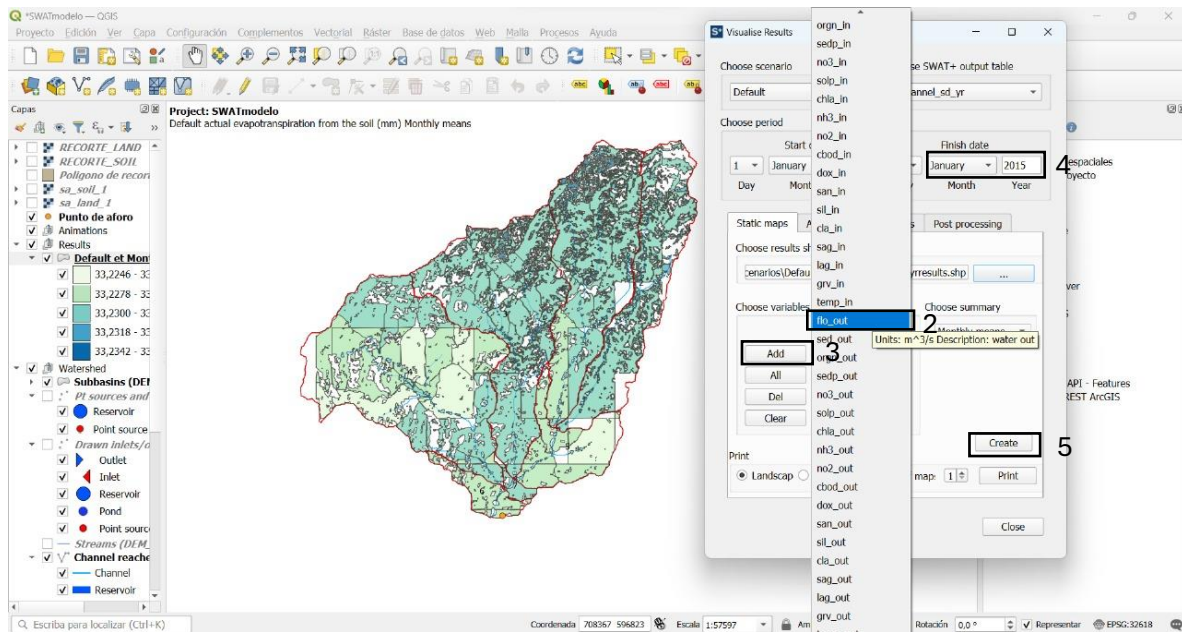
2.2. El resultado será el siguiente



Paso 3. Se visualiza nivel de canales

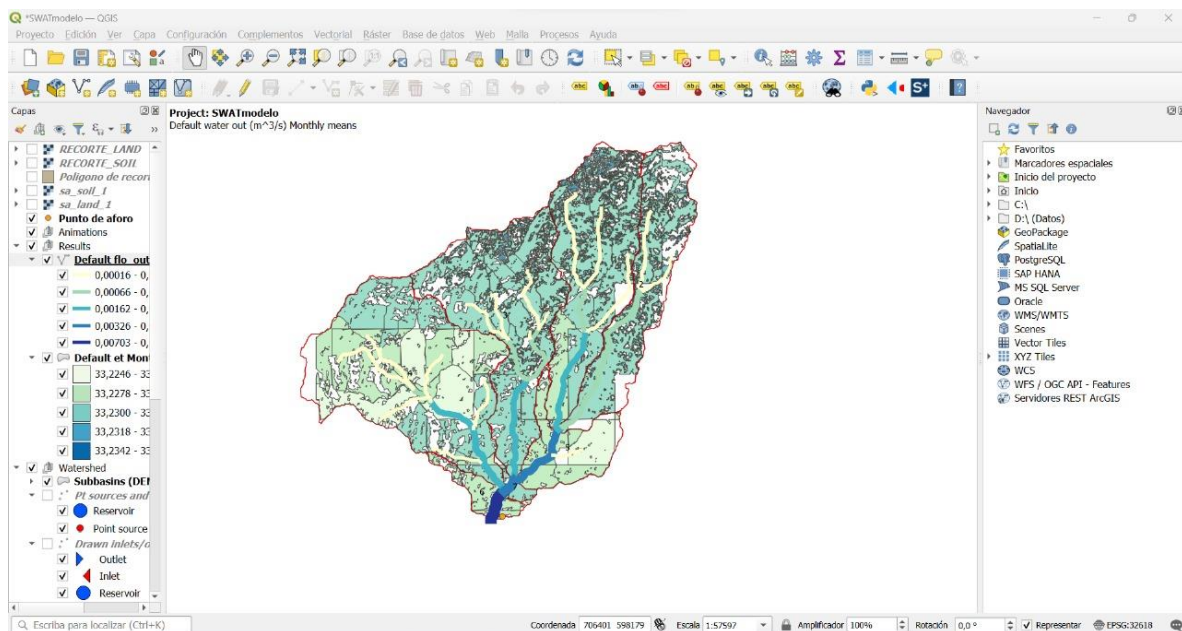


(1) Se seleccionará la opción channel_sd_yr”



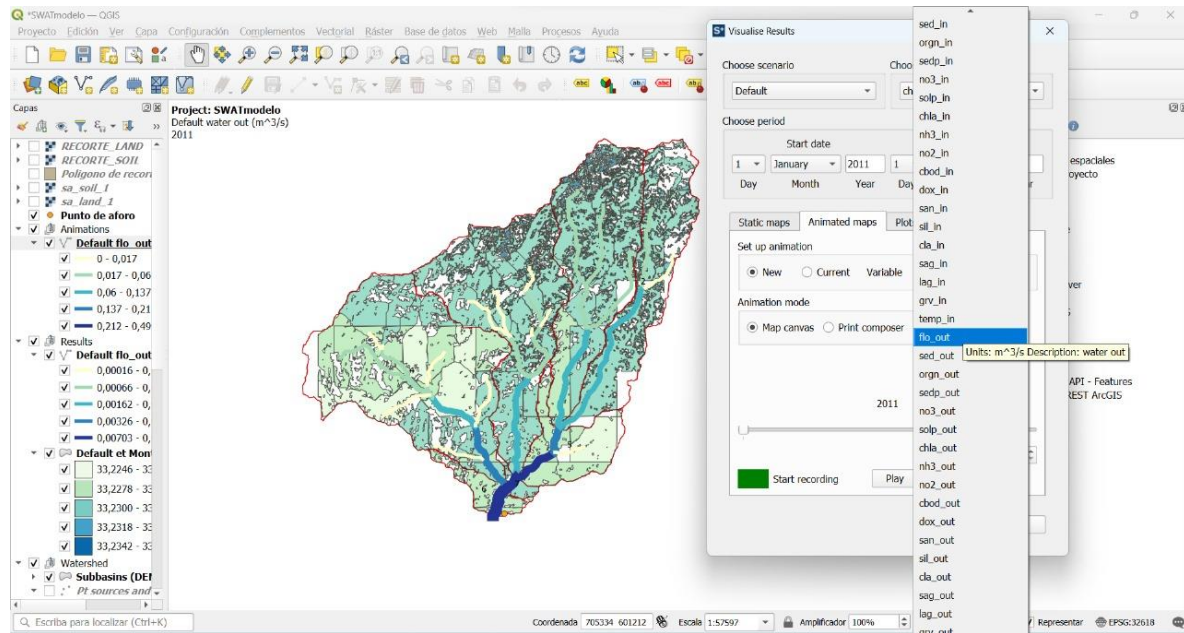
- (2) Elegir la variable de “flo_out”
- (3) Seleccionar “add”
- (4) Configurar el periodo que se desea analizar
- (5) Dar clic en la opción “créate”

3.1. Se obtiene el resultado: el caudal en el punto de salida de la cuenca, tal como se ve en la imagen a continuación es un conjunto de ramificaciones de orden cuatro, que a la salida de la cuenca hace un aporte de $0.00703 \text{ m}^3/\text{s}$.



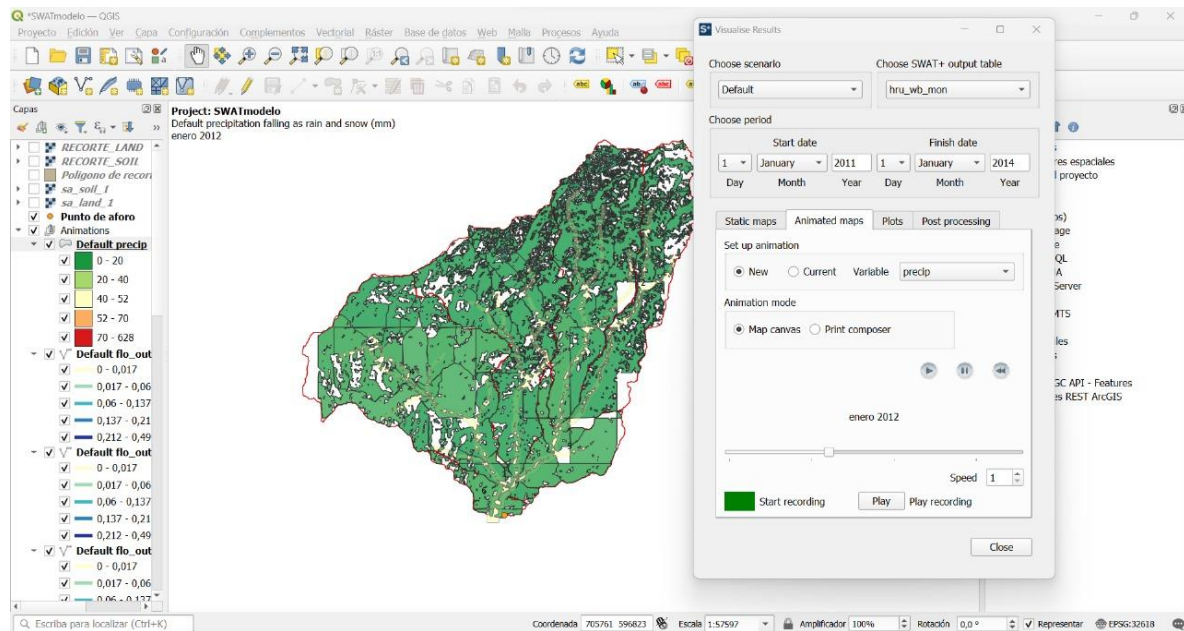
Paso 4. Ir a la opción de “animate maps”

4.1. Analizar a nivel de canales

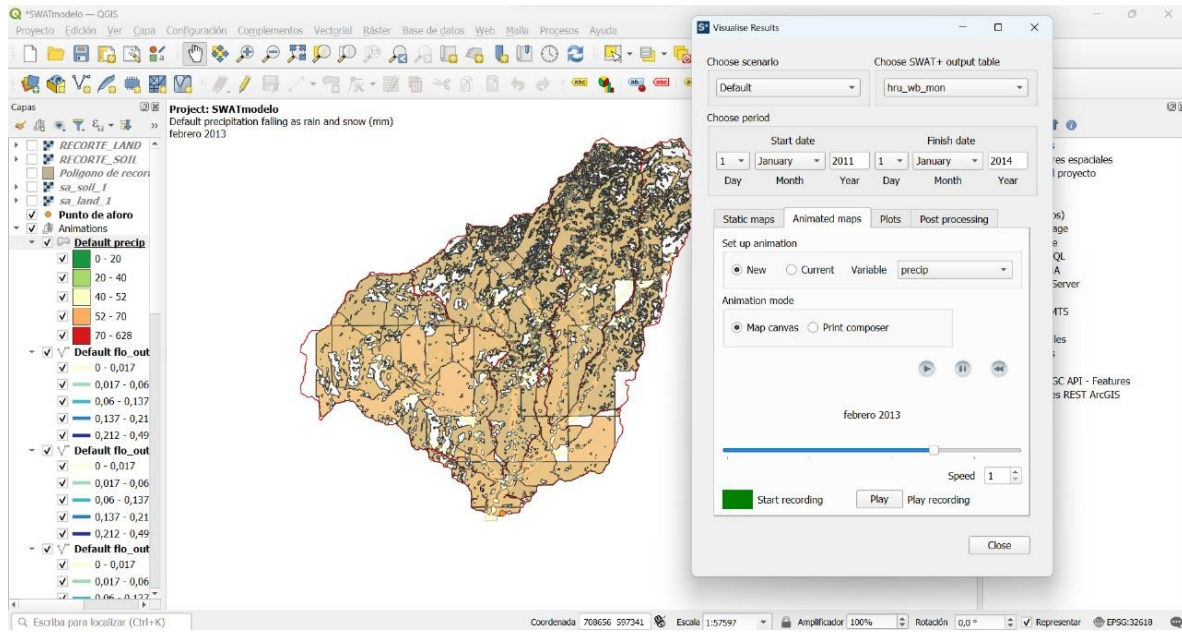


4.2. Se obtiene el siguiente resultado el comportamiento de los canales en años 2011, 2012, 2013, 2014.

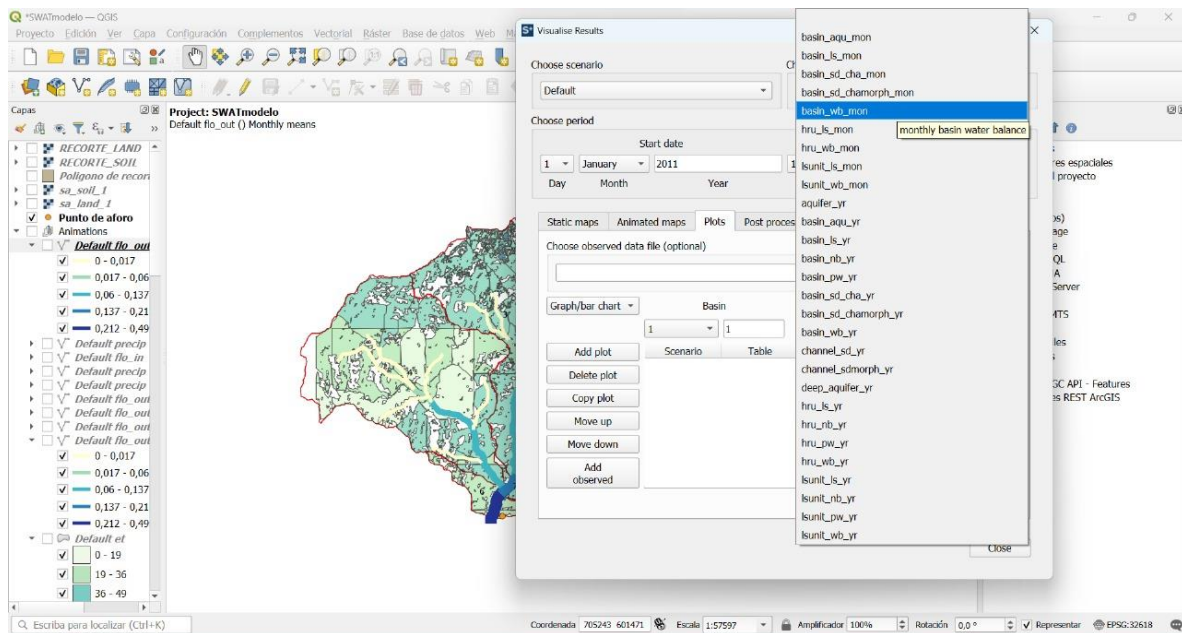
4.3. Analizar a nivel de HRU's



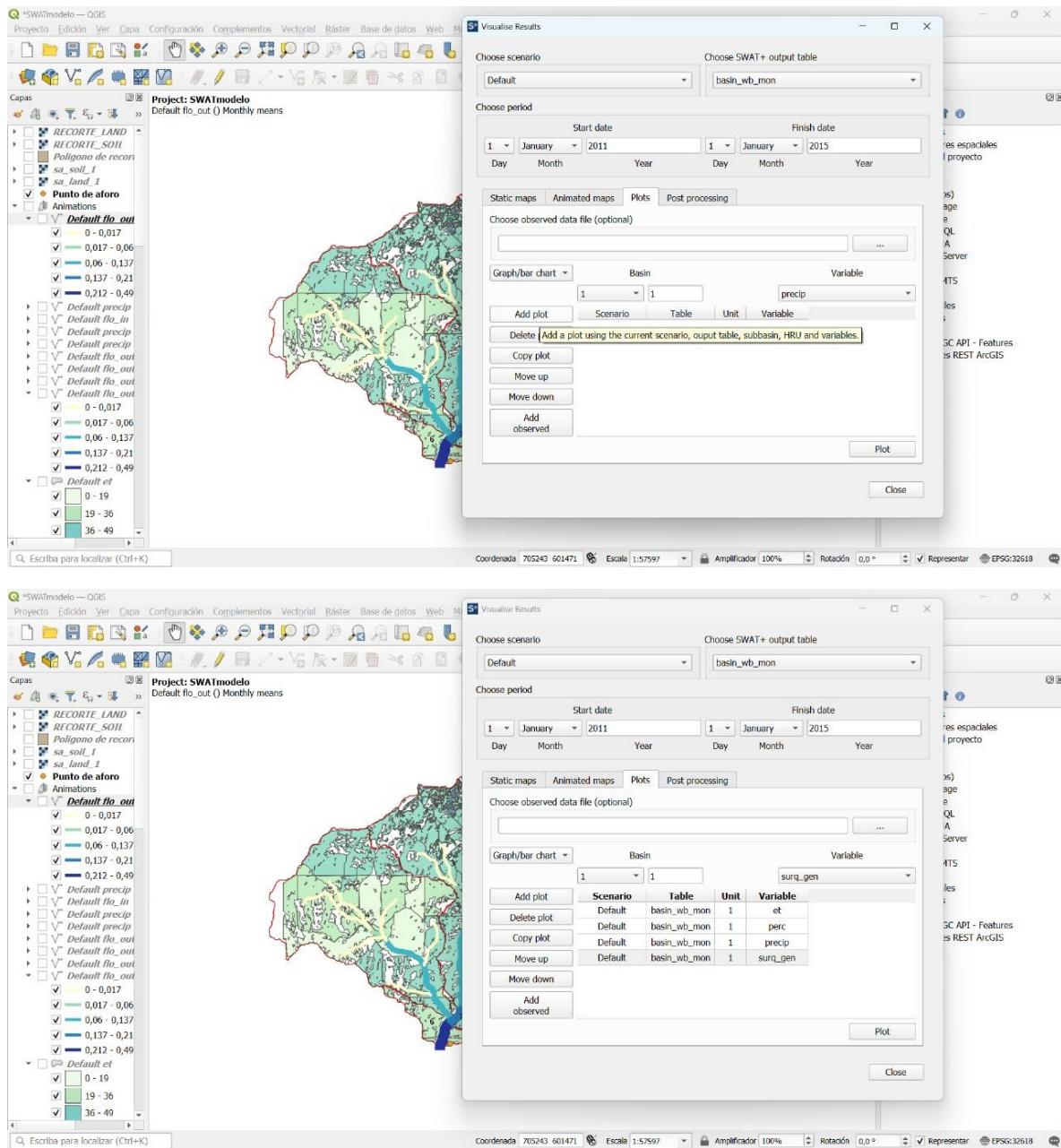
4.4. El resultado obtenido



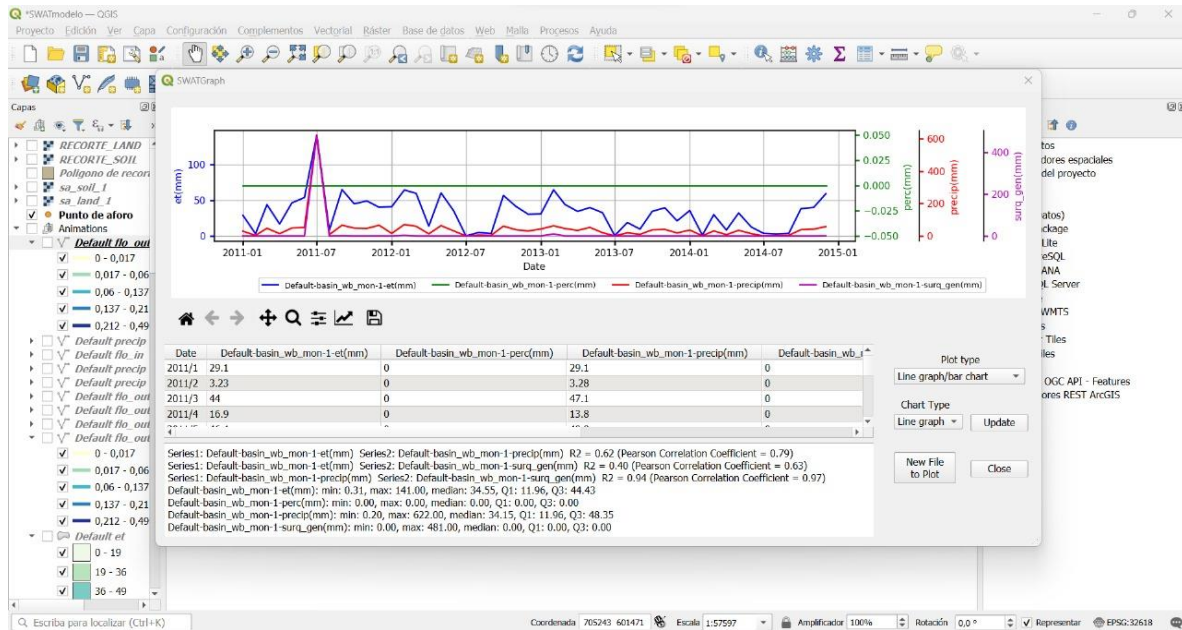
Paso 5. Ir a la opción de “plots”



5.1. Se empiezan a añadir cada una de las variables que se desea analizar, como lo son:



Paso 6. Se observa el resultado de acuerdo con el tipo de grafica que se elija, para el ejemplo a continuación se analizó mediante un diagrama de barras



En la gráfica se pudo denotar que hubo una intensidad de lluvia mucho más elevada en fechas como julio del 2011, y precipitaciones muy bajas tales como en el 2014 que hubo una depresión en lluvias.

06.

GLOSARIO

GLOSARIO

GLOSARIO

Acuífero: formación geológica que consta de una o más capas de rocas, las cuales son capaces de acumular agua en sus poros y a su vez conceder cierta cantidad agua. [13]

Canal: es un conducto estrecho, se trata de la parte más honda de un río mediante el cual se genera el flujo del caudal principal hacia otras zonas naturales. [9]

Cuenca: Se trata de un territorio en el cual las aguas se dirigen hacia un mismo lugar, bien sea: lago, río o mar. [15]

Es un área de terreno que se encarga de captar agua distribuyéndolo en una red de drenaje natural y disponerla en una quebrada, laguna, humedal, acuífero, río, etc, existen diversos tipos de cuencas como:

Cuencas exorreicas: Son aquellas que dirigen su agua captada hacia el mar.

Cuencas endorreicas: a diferencia de las pasadas no conectan en mares si no en lagos y lagunas.

Cuencas arreicas: estas cuencas no presentan un aporte a algún cuerpo de agua debido que antes de esto pasan por evaporación o filtración en el terreno [6]

DEM: es un modelo digital de elevación mediante el cual se representan valores de altura con relación al nivel del mar, permitiendo identificar el relieve y demás elementos presentes. [13]

HRU's: denominado unidades de respuesta hidrológica, consiste en regiones dentro de una cuenca que comparten similitudes en cuanto a su comportamiento hidrológico y rasgos geo-climáticos. [7]

MPI. (Message Passing Interface), es una herramienta que facilita el desarrollo de una actividad de un software que ejecuta en simultaneo varios nodos o procesos [2]

Esto da mayor rendimiento a los programas que tienen entornos de programación como lo es QGIS.

Oblonga. Una forma cuyo largo es mayor que si ancho.

RASTER: se trata de un formato de fotografías aéreas digitales, satelitales, el cual precisa la forma de almacenar los píxeles, organizado en filas y columnas, cada una de estas celdas representa información específica. [4]

Red de drenaje. son aquellos elementos que permiten realizar un drenado de las aguas, y que tienen en común su punto final de vertimiento, este tiene como cualidad que el transporte se da de manera natural y su movimiento se lleva a cabo por fuerzas gravitacionales.

Reservorio: depósito de agua, que almacena cantidades significativas de agua con el objetivo de asegurar y regular el acceso de manera sostenible y oportuna en períodos de escasez. [14]

SHAPE: formato encargado de almacenar ubicación geométrica y atributos de entidades geométricas, las cuales pueden ser representadas por medio de puntos, líneas o polígonos. [4]

Subcuenca: superficie de terreno que permite el flujo de agua hacia un curso de agua, cubren un área de 5.000 a 50.000 hectáreas. [15]

CONCLUSIONES

- La cartilla que se llevó a cabo en el proyecto cumple con los parámetros propuestos para poder ser un apoyo y una guía estudiantil, para poder llevar a cabo análisis de cuencas hidrográficas mediante la herramienta de QSWAT, teniendo como resultado un paso a paso detallado para poder modelar cuencas hidrográficas.
- En el análisis se obtuvo que la cuenca se encuentra compuesta por alrededor de seis subcuencas que la conforman, las subcuencas no tienen velocidad de respuesta hidrológica rápida debido a su forma oblonga.
- Se realizó la delimitación de la cuenca del municipio de Combita mediante el software SWAT+ respaldado por el software QGIS, para realizar la respectiva modelación de esta, y así poder predecir el impacto que se puede generar a largo plazo en suelo respecto a la circulación de agua, sedimentos y nutrientes.
- Por medio de la modelación de la cuenca se realizó la división de subcuencas, las cuales se dividieron en unidades de respuesta hidrológica (hru's) permitiendo evaluar propiedades hidrológicas relevantes como: pendiente, elevación etc. Determinándose la existencia de 7 subcuencas, 77 HRU's, 29 canales y 8 acuíferos.
- La cartilla puede ser empleada como material de apoyo y complemento para la asignatura de hidrología, para poder hacer una herramienta de apoyo en el aprendizaje usando un software innovador, esto en el futuro como profesionales será una herramienta útil.
- El modelo funciona de manera adecuada y da simulación adecuada de cuatro años 2011-2015 de manera satisfactoria.
- El software de código libre QGis, tiene un adecuado comportamiento con grandes áreas de cuenca y diversos datos de entrada, trabaja de manera adecuada con la extensión SWAT+, es adecuado y satisfactorio el rendimiento del software libre.

BIBLIOGRAFÍA

[1] K. Adolphe, R. Guardado Lacaba, Y. Viltres Milán, y T. Hernández Columbié, "Cartografía de la peligrosidad por erosión hídrica en la ciudad de Brazzaville," *Minería y Geología*, vol. 33, no. 2, pp. 144–162, 2017. [En línea]. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1993-80122017000200002

[2] AnnaDaly, "Microsoft MPI – Message Passing Interface," Microsoft.com, 27-dic-2023. [En línea]. Disponible en: <https://learn.microsoft.com/es-es/message-passing-interface/microsoft-mpi>.

[3] "ArcGIS Web Application," Ideam.gov.co, 2024. [En línea]. Disponible en: <http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>.

[4] "ArcMap," ArcMap, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/manage-data/raster-and-images/what-is-raster->.

[5] "AS Data Search," Alaska.edu, 2024. [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/wal8u>.

[6] J. Bordino, "Cuencas hidrográficas: qué son, tipos e importancia," *Ecologiaverde.com*, 26-mar-2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.ecologiaverde.com/cuencas-hidrograficas-que-son-tipos-e-importancia-3334.html>.

[7] J. Cabrera, "Universidad Nacional de Ingeniería," [En línea]. Disponible en: https://www.imefen.uni.edu.pe/Temas_interes/modhidro_8.pdf

[8] L. C. Cumbre Loazia y A. C. Roncancio Espinoza, "ANÁLISIS DE LA EFICACIA Y DEL COMPORTAMIENTO DE LOS ERRORES EN POSICIÓN PRESENTES EN LA GENERACIÓN DE MODELOS DIGITALES DE ELEVACIÓN CON SOFTWARE FOTOGRAFÉTRICO LIBRE Y COMERCIAL, PARA UNA ZONA DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C.," UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSE DE CALDAS, pp. 46–50, 2017.

[9] "GEOenciclopedia," GEOenciclopedia, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.geoenciclopedia.com/canales-80.html>

[10] gisadminbeers, "Descarga ALOS PALSAR DEM a 12,5 m y 30m-Gis&Beers," 28-ene-2018. [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/omzn3>.

[11] "Gobernación de Boyacá," MAPA DE RIESGO DE COMBITA.

[12] "IDEAM," IDEAM. [En línea]. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/web/atencion-y-participacion-ciudadana/apoyo-tareas-ninos-jovenes>

[13] "INEGI," Modelos Digitales de Elevación (MDE) – Descripción.

[14] ITM, "ITM," 11-ene-2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.itmcol.com/infraestructura-e-hidrocarburos/reservorios-de-agua/>

[15] A. Sánchez, R. García, y A. Palma, [En línea]. Disponible en: http://centro.paot.org.mx/documentos/semarnat/cuenca_hidrografica.pdf

[16] "SWAT+," SWAT+. [En línea]. Disponible en: <https://swatplus.gitbook.io/docs/user/editor/inputs/climate#weather-stations>

[17] N. URIBE, "Conceptos básicos y guía rápida para el usuario," Centro Internacional de Agricultura Tropical, 2010.