

**DETERMINACIÓN DE ÁREAS DE COBERTURA Y USO DEL SUELO  
AFECTADAS POR UNA ZONA DE INUNDACIÓN MEDIANTE HERRAMIENTAS  
SIG EN ARCGIS**



**UNIVERSIDAD MILITAR  
NUEVA GRANADA**

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Alexander Suarez Gamboa".

**ALEXANDER SUAREZ GAMBOA  
D7301100**

**TUTOR: JUAN CAMILO VEGA APONTE**

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA  
FACULTAD DE ESTUDIOS A DISTANCIA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
2021**

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	6
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	8
2. JUSTIFICACIÓN.....	10
3. OBJETIVOS.....	12
3.1 GENERAL.....	12
3.2 ESPECÍFICOS.....	12
4. MARCO REFERENCIAL .....	13
4.1 MARCO TEÓRICO .....	13
4.1.1 Sistema de información geográfica (SIG).....	13
4.1.2 Áreas de cobertura.....	16
4.1.3 Uso del suelo .....	17
4.2 MARCO CONTEXTUAL .....	18
5. DISEÑO METODOLÓGICO .....	20
5.1 METODOLOGÍA PARA ESTABLECER EL ÁREA DE UNA CUENCA .....	20
5.1.1 Área de cuenca (A). .....	21
6. RESULTADOS .....	22
6.1 CONSTRUCCIÓN DE BASE DE DATOS .....	22
6.2 PROCEDIMIENTO .....	22
6.2.1 Área de cuenca. ....	29
6.2.2 Volumen del dique (Isolinea_Dique.shp).....	32
CONCLUSIONES .....	51
REFERENCIAS .....	53

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Cálculo de áreas en hectáreas .....	48
<b>Tabla 2.</b> Cálculo de áreas a inundar .....	50

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Subzonas del departamento del Huila .....	19
<b>Figura 2.</b> Metodología para establecer el área de una cuenca .....	21
<b>Figura 3.</b> Insumos necesarios para determinar el área de la cuenca.....	23
<b>Figura 4.</b> Cuadro de dialogo para aplicar el Filtro de relleno.....	23
<b>Figura 5.</b> Modelo de elevación filtrado .....	24
<b>Figura 6.</b> Cuadro de diálogo.....	24
<b>Figura 7.</b> Ráster de Dirección de Flujo .....	25
<b>Figura 8.</b> Ingreso de datos para obtención de Ráster de acumulación de flujo.....	26
<b>Figura 9.</b> Ráster de acumulación de flujo.....	26
<b>Figura 10.</b> Procedimiento para creación de Shapefile para delimitación de cuenca .....	27
<b>Figura 11.</b> Ventana para crear Shapefile .....	28
<b>Figura 12.</b> Shapefile tipo punto <i>P_Cierre</i> .....	28
<b>Figura 13.</b> Identificación de elementos que se interceptan .....	29
<b>Figura 14.</b> Ventana de Cuenca Hidrográfica .....	30
<b>Figura 15.</b> Área de la Cuenca resultante del procedimiento anterior .....	30
<b>Figura 16.</b> Procedimiento para convertir Raster a shp tipo polígono.....	31
<b>Figura 17.</b> Shapefile tipo polígono.....	32
<b>Figura 18.</b> Área inundable de la presa .....	33
<b>Figura 19.</b> Procedimiento para el corte del polígono .....	33
<b>Figura 20.</b> División a partir de una línea.....	34
<b>Figura 21.</b> Detalle de recorte de polígono .....	35
<b>Figura 22.</b> Polígonos: área de la cuenca y área de inundación .....	35
<b>Figura 23.</b> Extracción de polígono área de inundación .....	36
<b>Figura 24.</b> Shapefile Represa.....	36
<b>Figura 25.</b> Extracción de curvas dentro del área de la represa .....	37
<b>Figura 26.</b> Cuadro de diálogo Clip.....	37
<b>Figura 27.</b> Curvas de nivel de represa .....	38
<b>Figura 28.</b> Ventana de ENTIDAD A POLIGONO.....	39



<b>Figura 29.</b> Área entre curvas de nivel .....	39
<b>Figura 30.</b> Cuadro de diálogo CALCULAR GEOMETRIA .....	40
<b>Figura 31.</b> Área en metros cuadrados .....	41
<b>Figura 32.</b> Ventana Add Field para cálculo de volúmen .....	41
<b>Figura 33.</b> Ventana Calculadora de campo para cálculo de volumen .....	42
<b>Figura 34.</b> Resultado cálculo de volumen .....	42
<b>Figura 35.</b> Porcentajes de áreas de cobertura y/o uso del suelo .....	43
<b>Figura 36.</b> Procedimiento Herramienta RECORTAR .....	44
<b>Figura 37.</b> Cuadro de diálogo Clip.....	44
<b>Figura 38.</b> Cobertura de uso de suelo sobre la cuenca.....	45
<b>Figura 39.</b> Add Field de Shapefile generado .....	45
<b>Figura 40.</b> Herramienta Dissolve, para establecer el área por cobertura vegetal .	46
<b>Figura 41.</b> Cuadro de diálogo Dissolver .....	47
<b>Figura 42.</b> Resultado COBERTURA_DISSOLV_CUENCA.....	47
<b>Figura 43.</b> Resultado corte cobertura vegetal .....	49
<b>Figura 44.</b> Resultado corte cobertura vegetal .....	49

## INTRODUCCIÓN

La ingeniería civil ha progresado significativamente en los últimos años, apalancada por el uso de nueva tecnología. Los sistemas de información geográfica (SIG) son un tipo de tecnología que ayuda a los ingenieros civiles modernos en la minimización de riesgos, logrando realizar cálculos complejos. Los ingenieros pueden utilizar las herramientas SIG para recopilar y evaluar datos geográficos. Los mapas geográficos digitales se pueden utilizar para mostrar los datos en imágenes en capas y superponerlas sobre mapas geográficos, lo que permite a los ingenieros y otras personas tomar decisiones más informadas. La información que utiliza las herramientas SIG para construir mapas puede provenir de un número casi infinito de lugares, tomando cualquier fuente de datos relevantes y convertirla en un mapa interactivo, desde hojas de cálculo hasta satélites y bases de datos de información.

Este estudio tiene como propósito hacer uso de las herramientas SIG, específicamente el programa ArcGIS para lograr determinar el área de la cuenca y la cobertura del suelo afectada en una zona a inundarse por la construcción de un embalse en la cuenca del río Iquira, en el Departamento del Huila. El presente documento esboza los pasos que se tuvieron en cuenta en la realización de dicho propósito, donde se inició con una conceptualización y referenciación teórica de los constructos y términos clave que se contemplan en este tema, tales como los propios sistemas de información geográfica, sus características y ventajas, así como el conocimiento profundo de las áreas de cobertura y el uso del suelo. En materia contextual se definieron las características de la zona contemplando las subzonas alrededor del afluente hídrico y el lugar preciso de construcción del embalse.

Seguido, se evaluaron los aspectos metodológicos teniendo en cuenta el tipo de trabajo que se ejecuta, definiendo que se trata de un estudio experimental de tipo cuantitativo al trabajarse con datos numéricos en la herramienta SIG. Así mismo, en términos del establecimiento del área de cuenca, se siguió la metodología de curvas

de nivel, DEM y punto descarga como datos de entrada necesarios para lograr el resultado requerido. En este caso, se utilizaron las herramientas “hydrology” de la toolbox “Spatial Analyst”.

Luego se continuó con el procedimiento en la herramienta SIG donde se analizó e integró una variedad de imágenes y datos con una precisión significativa, demostrando las características únicas de la zona y del suelo mediante superposiciones de datos relevantes teniendo en cuenta las restricciones y perspectivas del sitio, y por último, lograr el cumplimiento de lo planteado.



## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las presas son grandes barreras físicas construidas a través de los ríos para retener el flujo del agua del río. El área inundada detrás de ellos crea un lago o embalse artificial. El almacenamiento de grandes volúmenes de agua retenida por presas y embalses se ha utilizado durante mucho tiempo para diversos fines, algunos de los cuales incluyen generación de energía hidroeléctrica, riego, control de inundaciones y recreación. Si bien las presas pueden tener beneficios, también pueden tener importantes costos ambientales. La ubicación, el tamaño, la función y la permeabilidad de las orillas y la base de la presa influirán en los impactos que tiene en el medio ambiente local.

Por lo general, cuanto más grande es la presa, mayor es el potencial de un impacto ambiental adverso. Sin embargo, las pequeñas presas construidas cerca de ecosistemas altamente sensibles también pueden tener impactos significativos. Varias pequeñas presas construidas en una vía fluvial, por ejemplo, tendrán un efecto similar en el flujo total de la corriente hacia una presa grande. La forma en que el proponente opera la presa también podría afectar el riesgo que representa la presa para los recursos hídricos. Las prácticas de uso de la tierra de captación tienen una fuerte influencia en la calidad de las fuentes de agua superficial. Los impactos ambientales potenciales de la construcción de presas rurales sobre los recursos hídricos incluyen: cambios en los regímenes de flujo de las vías fluviales y la calidad del agua como resultado de la construcción de presas, impactos causados durante la operación de la presa, por ejemplo, liberación de agua contaminada, formación de una barrera fluvial que impide el movimiento de la fauna acuática (Stehr, 2012).

Visiblemente, la construcción de una presa representa impactos sobre el medio ambiente que deben ser considerados, entre los cuales se encuentra el potencial de provocar cambios en la cobertura del suelo y, posteriormente, afectar la

composición de la fauna y la flora. Dichos cambios en la cobertura del suelo afectan material físico de la tierra tales como el césped, asfalto, árboles, tierra, agua, etc. y juega un papel importante en el desarrollo sostenible y previsión de cambios ambientales globales. Estos cambios en la cobertura del suelo pueden afectar los procesos climáticos locales, regionales y globales y continuaría afectando la vulnerabilidad al cambio climático (Oviedo-Ocaña, 2018).

Los métodos tradicionales para estimar el área de cobertura y uso del suelo son costosos y requieren mucho tiempo para actualizarlos, y es difícil comprender y evaluar información confiable sobre el cambio de la cobertura terrestre del pasado al presente y predecir cambios futuros. De acuerdo a lo anterior, surge la pregunta guía de investigación, a saber, ¿Cómo el uso de herramientas SIG permite determinar las áreas de cuenca y área de inundación para evitar un impacto ambiental adverso en la planeación de la construcción de una presa?



## 2. JUSTIFICACIÓN

En un estudio de prefactibilidad para la construcción de una presa, se requiere determinar tanto el volumen que ocupara el dique como el volumen de agua que se puede represar a la altura o cota de 1400 msnm. Adicionalmente es necesario determinar los porcentajes de áreas de cobertura y/o uso del suelo que se van a afectar en la construcción de la presa.

El análisis de la cobertura del suelo apoya la gestión y toma de decisiones de los responsables de la gestión del territorio, pues permite evaluar las condiciones ambientales de la cobertura y la dinámica del territorio presentado, y sirve como insumo para el desarrollo de los necesarios productos para la gestión ambiental, como mapas de riesgo y mapas de conflictos de uso del suelo (Swanson & Bohlman, 2021).

La teledetección, los sistemas de información geográfica (SIG) y las técnicas de aprendizaje automático están surgiendo recientemente como algunos de los enfoques más apropiados para comprender los sitios de las represas. En los últimos años, el avance en el poder de los satélites y computacional ha mejorado la oportunidad de manejar diferentes parámetros hidrológicos y características del terreno. La teledetección y SIG ofrecen una alta adaptabilidad de unir información espacial con diferentes estrategias numéricas, fácticas y de toma de decisiones progresadas, como lógica difusa, procesos analíticos jerárquicos, lógica booleana, análisis de superposición ponderada, técnicas de evaluación multicriterio y técnicas de evaluación de inteligencia artificial (Al-Ruzouq et al., 2019).

Como herramienta, el SIG tiene una amplia gama de aplicaciones en diferentes campos de investigación. En concreto, en el campo de la ingeniería civil, se ha convertido en una herramienta potencial para las diferentes etapas de la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA). Tiene un marco integrado que se puede dividir en

diferentes pasos. Los pasos principales de todo el marco son generar, almacenar y mostrar información temática relacionada con la vulnerabilidad / sensibilidad de los recursos afectados. Se pueden utilizar varias herramientas de evaluación para predecir el impacto de los recursos afectados, lo que ayudará a respaldar la toma de decisiones. Desde un punto de vista analítico, el uso de SIG en la evaluación de impacto ambiental tiene varios propósitos. Algunos de ellos son; gestión de datos, análisis de superposición y análisis de tendencias (de San Pedro et al., 2014).

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 GENERAL**

Determinar el área de la cuenca y la cobertura del suelo afectada en una zona a inundarse por la construcción de un embalse en la cuenca del río Iquira, en el Departamento del Huila a partir del uso de sistemas de información geográfica SIG

#### **3.2 ESPECÍFICOS**

- Construir una Geodatabase o Base de Datos Espacial de ArcGIS donde se genere y almacene la información necesaria
- Ejecutar los procedimientos idóneos para la identificación de las particularidades del área de cuenca y el área de inundación
- Identificar a través del uso del SIG las zonas afectadas sobre la cuenca y zona de inundación

## 4. MARCO REFERENCIAL

### 4.1 MARCO TEÓRICO

#### 4.1.1 Sistema de información geográfica (SIG)

El término sistema de información geográfica (SIG) no cuenta con una definición específica reconocida por el mundo académico, sin embargo, representa la integración de diferentes disciplinas. Una definición aproximada consiste en que el sistema de información geográfica SIG es un sistema de hardware, software y programas que facilita la gestión, operación, análisis, modelado, representación y visualización de datos georreferenciados (Rodríguez & Olivella, 2009).

Los sistemas de información geográfica se han convertido en una herramienta importante para la planificación y gestión urbana y de recursos en la última década. Su capacidad para almacenar, recuperar, analizar, modelar y mapear grandes áreas con grandes cantidades de datos espaciales ha llevado a una proliferación de aplicaciones (Siabato, 2018).

Entonces el SIG es un sistema informático que analiza y muestra información referenciada geográficamente, haciendo uso de datos que se adjuntan a una ubicación única. La mayor parte de la información que se tiene sobre el mundo contiene una referencia de ubicación geográfica específica. El software conecta datos a un mapa, integrando datos de ubicación (dónde están las cosas) con todo tipo de información descriptiva (cómo son las cosas allí). Esto proporciona una base para el mapeo y el análisis que se utiliza en la ciencia y en casi todas las industrias. El SIG ayuda a los usuarios a comprender patrones, relaciones y contexto geográfico. Los beneficios incluyen una mejor comunicación y eficiencia, así como una mejor gestión y toma de decisiones (Mena, 2007).



#### 4.1.1.1 Aplicaciones SIG.

El software de SIG es diverso:

- ArcGIS for Desktop 10.6.1
- ArcGIS Pro 2.2.0
- ArcGIS Maps for Office (Excel, PowerPoint)
- GeoDa
- QGIS
- Google Earth Pro
- Entre otros

Las aplicaciones de los SIG se distribuyen en tres amplias áreas, a saber, científicas, de gestión y empresariales.

Entre las aplicaciones científicas se destacan aquellas que manejan procesos en ciencias medioambientales y relacionadas con el espacio. Para el desarrollo de modelos empíricos, por ejemplo, existen algunas que relacionan temperatura con altitud, orientación, etc. a partir de medidas tomadas en el lugar. Para la modelización cartográfica (aplicación de modelos empíricos para hacer mapas de temperatura a partir de mapas de altitud, orientación, etc.) y los modelos dinámicos se hace uso de las leyes de la termodinámica y la dinámica de fluidos para hacer un mapa de temperatura utilizando un mapa de elevaciones, entre otros, como condiciones de contorno. En temas de teledetección, las imágenes de satélite son estructuras raster que se manejan de forma óptima en un SIG. Para los Mapeos de ubicaciones, los SIG pueden mapear ubicaciones, así mismo, permiten la creación de mapas a través de mapeo automatizado, captura de datos y herramientas de análisis topográfico; también para el Mapeo de cantidades, para encontrar lugares que cumplan con sus criterios y tomar medidas, o para ver las relaciones entre



lugares. Esto brinda un nivel adicional de información más allá de simplemente mapear la ubicación de las características.

En torno al mapeo de densidades, si bien puede ver las concentraciones simplemente mapeando las ubicaciones de las características, en áreas con muchas características puede ser difícil ver qué áreas tienen una concentración más alta que otras. Un mapa de densidad permite medir la cantidad de entidades utilizando una unidad de área uniforme, como acres o millas cuadradas, para poder ver claramente la distribución.

Otro aspecto importante hace referencia a encontrar distancias, pues los SIG se pueden utilizar para averiguar qué está ocurriendo dentro de una distancia determinada de una característica. Para el mapeo y seguimiento del cambio, los SIG se pueden utilizar para mapear el cambio en un área para anticipar condiciones futuras, decidir un curso de acción o evaluar los resultados de una acción o política (Alonso, 2006).

Entre las aplicaciones de gestión se destacan la cartografía automática, la Información pública, catastro, planificación de espacios protegidos, ordenación territorial, planificación urbana, estudios de impacto ambiental, evaluación de recursos y seguimiento de las consecuencias de determinadas actuaciones (presas, diques, carreteras) (Alonso, 2006).

Para las aplicaciones empresariales, se destacan las de Marketing (envío de propaganda a los residentes cerca del local que cumplan determinadas condiciones), Estrategias de distribución (optimización de las rutas que una flota de camiones debe realizar para distribuir mercancía desde varios almacenes a varios clientes) y de localización óptima de una sucursal en función de los clientes potenciales situados alrededor (Alonso, 2006).

#### 4.1.1.2 Geodatabase.

Como su nombre lo indica, se trata de bases de datos geoespaciales que tienen componentes espaciales y temáticos. Conceptualmente, los datos geográficos se pueden dividir en dos elementos: observación o entidad y atributo o variable. Los SIG deben poder gestionar ambos elementos. Componente espacial: Las observaciones tienen dos aspectos en su localización: localización absoluta basada en un sistema de coordenadas y relación topológica referida a otras observaciones. Componente temático: Las variables o atributos se pueden estudiar considerando el aspecto temático (estadísticas), el aspecto local (análisis espacial) o ambos (SIG) (Gutiérrez & Castellanos, 2016).

#### 4.1.2 Áreas de cobertura

La cobertura del suelo se refiere a la cobertura física y biológica sobre la superficie de la tierra, que incluye agua, vegetación, suelo desnudo y / o estructuras artificiales. La cobertura del suelo se define comúnmente como la vegetación (natural o plantada) o las construcciones hechas por el hombre (edificios, etc.) que se encuentran en la superficie de la tierra. El agua, el hielo, la roca desnuda, la arena y superficies similares también cuentan como cobertura terrestre. La cobertura del suelo se refiere a la cobertura de la superficie del suelo por tanto no describe el uso de la tierra, y el uso de la tierra puede ser diferente para tierras con el mismo tipo de cobertura. Por ejemplo, un tipo de bosque de cobertura terrestre puede usarse para la producción de madera, el manejo de la vida silvestre o la recreación; puede ser un terreno privado, una cuenca hidrográfica protegida o un parque natural (MINAMBIENTE, 2016).

Si bien la cobertura terrestre puede observarse directamente en el campo o mediante sensores remotos, las observaciones del uso de la tierra y sus cambios generalmente requieren la integración de métodos científicos naturales y sociales (conocimiento experto, entrevistas con administradores de tierras) para determinar



qué actividades humanas están ocurriendo en diferentes áreas y partes del paisaje, incluso cuando la cobertura del suelo parece ser la misma. Por ejemplo, las áreas cubiertas por vegetación leñosa pueden representar un matorral natural no perturbado, una reserva natural que se recupera de un incendio (uso = conservación), rebrote después de la cosecha de árboles (silvicultura), una plantación de árboles de caucho inmaduros (agricultura de plantación), parcelas de agricultura de quema que se encuentran entre períodos de limpieza para la producción de cultivos anuales, o una plantación de té de regadío. Como resultado, la investigación científica de las causas y consecuencias en las áreas de cobertura requiere un enfoque interdisciplinario que integre los métodos científicos naturales y sociales, que ha surgido como la nueva disciplina de la ciencia del cambio de tierras (Rodríguez-Galiano et al., 2012).

#### **4.1.3 Uso del suelo**

El uso de la tierra se define comúnmente como una serie de operaciones en la tierra, realizadas por humanos, con la intención de obtener productos y / o beneficios mediante el uso de los recursos de la tierra. Es decir, se refiere al propósito de la tierra, por ejemplo, recreación, hábitat de vida silvestre o agricultura. Se proponen varios enfoques en la literatura. Se pueden distinguir dos escuelas principales. El uso del suelo en términos de dimensión funcional corresponde a la descripción de áreas en términos de su propósito socioeconómico: áreas utilizadas con fines residenciales, industriales o comerciales, agrícolas o forestales, con fines recreativos o de conservación, etc. Los vínculos con la cobertura terrestre son posible; puede ser posible inferir el uso de la tierra a partir de la cobertura terrestre y viceversa. Pero las situaciones suelen ser complicadas y el vínculo no es tan evidente. Otro enfoque, denominado secuencial, se ha desarrollado especialmente para fines agrícolas. La definición es una serie de operaciones en tierra, realizadas por humanos, con la intención de obtener productos y / o beneficios mediante el uso de los recursos de la tierra (Rico & Rico, 2014).

El uso de la tierra es un término más complicado. Los científicos naturales definen el uso de la tierra en términos de síndromes de actividades humanas como la agricultura, la silvicultura y la construcción de edificios que alteran los procesos de la superficie terrestre, incluida la biogeoquímica, la hidrología y la biodiversidad. Los científicos sociales y los administradores de tierras definen el uso de la tierra de manera más amplia para incluir los propósitos y contextos sociales y económicos para y dentro de los cuales se administran (o se dejan sin administrar) las tierras, como agricultura de subsistencia versus agricultura comercial, alquilada versus propiedad o privada versus pública (Burbano-Orjuela, 2016).

A diferencia de la cobertura terrestre, el uso de la tierra es difícil de observar. Por ejemplo, a menudo es difícil decidir si los pastizales se utilizan o no con fines agrícolas. La información que proviene de la fuente de observación puede no ser suficiente y puede requerir información adicional. En el caso del uso agrícola, los agricultores pueden traer información, por ejemplo, si hay ganado o no, si están pastando. También es posible utilizar características in situ que indiquen la presencia o ausencia de ganado. Para el enfoque funcional, la inferencia a partir de la cobertura terrestre puede resultar útil. Para el enfoque secuencial, se necesitará un registro más exhaustivo de varios atributos, por ejemplo, un enfoque multitemporal. En adelante, el uso del suelo se entenderá funcional (Delgado, 2019).

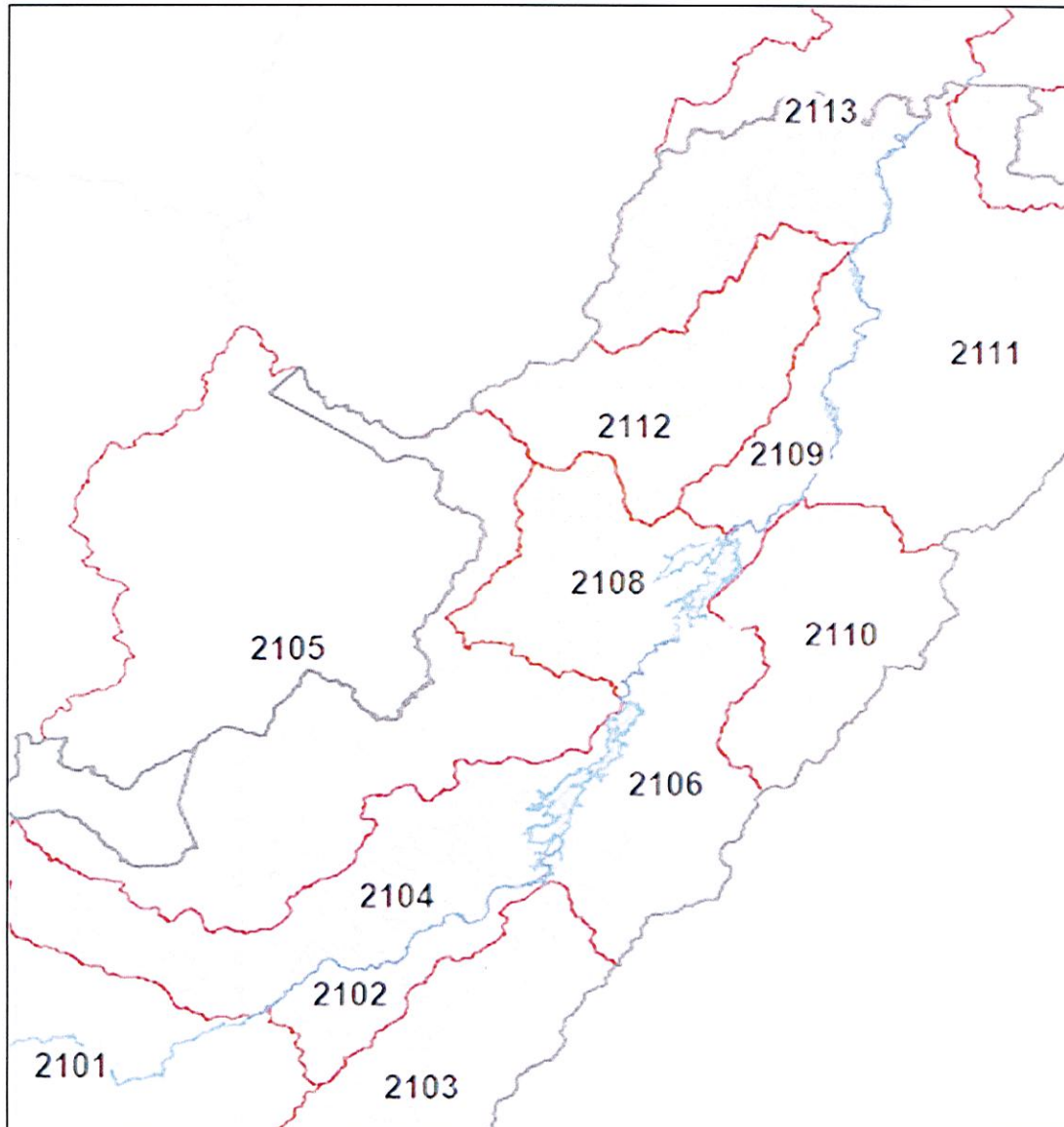
## **4.2 MARCO CONTEXTUAL**

El proyecto del embalse en la cuenca del río Iquira, en el Departamento del Huila se desarrolla en la subzona hidrográfica del Río Yaguará el cual cuenta con una oferta hídrica superficial de 888,8 m<sup>3</sup> y cuyas principales corrientes hídricas son el Río Yaguará Alto y el Río Iquira con un caudal de desembocadura de 54,6 m<sup>3</sup>/s.

El 12,3% del departamento del Huila pertenece a la subregión Occidente, siendo este la subregión que menos cantidad de oferta hídrica genera al departamento. La subzona de Río Páez – 2105 es la que más oferta agua para la zona, esta recorre

los municipios de Teruel, Íquira, Nátaga, Tesalia y Paicol; en el que convergen el 90% de las fuentes hídricas del municipio de Paicol (Gobernación del Huila; Unidad de Planificación Agropecuaria - UPRA, 2019).

**Figura 1.** Subzonas del departamento del Huila



Fuente: Adaptado de: (Gobernación del Huila; Unidad de Planificación Agropecuaria - UPRA, 2019).



## **5. DISEÑO METODOLÓGICO**

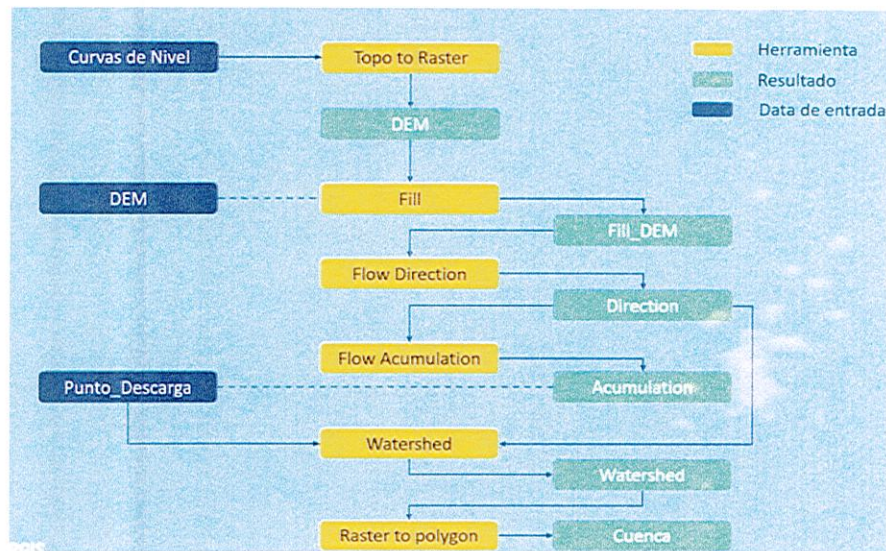
El presente estudio hizo uso del diseño experimental y el método cuantitativo como tipo y enfoque ideal para realizar procesos de cálculos y levantamiento de datos en un momento del tiempo o períodos específicos, para hacer inferencias respecto a posibles cambios, así como evidencia de la ejecución del proyecto. Se contempló la metodología cuantitativa dado que el uso de los programas SIG contemplan mediciones numéricas sobre las cuales se realizan procesos y análisis para determinar medidas promedio derivadas de las necesidades de información del estudio. Tal y como lo indica Hernández-Sampieri (2014) esta metodología funciona en el propósito de medir datos sobre el comportamiento de variables, lo que determina su claridad, es decir, enfatizando en mediciones objetivas y el análisis de los datos con diferentes técnicas. La investigación cuantitativa se centra en reunir datos numéricos y generalizarlos entre grupos de personas o también funciona para explicar un fenómeno particular

La investigación experimental es un estudio que se adhiere estrictamente a un diseño de investigación científica. Incluye variables que pueden ser manipuladas por el investigador y variables que se pueden medir, calcular y comparar. Lo más importante es que la investigación experimental se completa en un entorno controlado. El investigador recopila datos y los resultados apoyarán o rechazarán la proyección del investigador (Ramos-Galarza, 2021).

### **5.1 METODOLOGÍA PARA ESTABLECER EL ÁREA DE UNA CUENCA**

Para establecer el área de una cuenca, se utilizaron las herramientas “hydrology” de la toolbox “Spatial Analyst”. En la Figura 2 se muestra la secuencia metodológica para el trazado de la cuenca.

**Figura 2.** Metodología para establecer el área de una cuenca



Fuente: Autor

### 5.1.1 Área de cuenca (A).

Para el Área de una cuenca se define como el total de la superficie proyectada sobre un plano horizontal, que contribuye con el flujo superficial a un segmento de cauce de orden dado, incluyendo todos los tributarios de orden menor. Es el espacio delimitado por la curva del perímetro. Para determinar el área de la cuenca, se implementó los siguientes elementos:

ALOS PALSAR: Dicho proyecto fue lanzado por la Agencia de Exploración Aeroespacial de Japón (JAXA) entre el 2006 y el 2011. Es un sensor que capturó imágenes de Radar en escenas de 70 Km x 50 Km alrededor de toda la superficie terrestre. Entre los varios productos del sensor ALOS PALSAR, se encuentran los DEM (MODELOS DIGITALES DE ELEVACIÓN), cuya resolución son de **12.5** metros por cada celda. Los Modelos Digitales de Elevación del Satélite se pueden descargar de forma gratuita.

El shp de punto de cierre, la georreferenciación de la estructura hidráulica.

## 6. RESULTADOS

### 6.1 CONSTRUCCIÓN DE BASE DE DATOS

**DEM.mdb:** Geodatabase personal que contiene el Modelo Digital de Elevación DEM. *Fuente: ALOS PALSAR.*

**Cobertura Uso Suelo.shp:** Capa en shapefile que contiene la cobertura y uso del suelo. *Fuente: Corporacion Autonoma Regional del Alto Magdalena - CAM, 2017.*

**Cota Inundacion.shp:** Capa en shapefile que contiene la cota de inundación.

**Curva Nivel IGAC.shp:** Capa en shapefile que contiene las curvas a nivel. *Fuente: IGAC.*

**Drenaje IGAC 25K.shp:** Capa en shapefile que contiene los drenajes a escala 1:25.000. *Fuente: IGAC.*

**Isolinea Dique.shp:** Capa en shapefile que contiene las isolíneas o alturas de la base

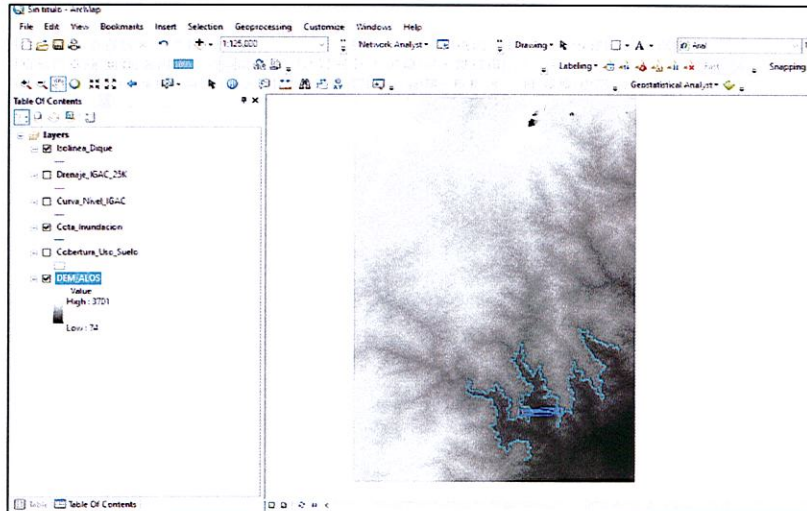
Una vez obtenidos los datos, se carga la información en el programa SIG usando las funciones de combinación de tablas para fusionar los conjuntos de datos. La combinación de tablas funciona eligiendo una columna de los datos del mapa y la hoja de cálculo que contienen valores únicos compartidos. El sistema GIS encontrará todos los registros que coincidan y los unirá agregando las columnas de su hoja de cálculo al final de los atributos de los datos del mapa.

### 6.2 PROCEDIMIENTO

En primera instancia, se carga la información descrita anteriormente en el programa SIG ArcGIS, proceso que se observa en la Figura 2:



**Figura 3.** Insumos necesarios para determinar el área de la cuenca.



Posteriormente, se aplica un FILL (relleno), sobre el modelo de elevación, con el objetivo de rellenar los vacíos que se tengan dentro del RASTER. Para ello, se hace necesario dirigirse a la caja de herramientas ArcTool Box, \Spatial Analyst Tools\Hidrologia\Relleno, e introducir en el input el modelo de elevación, y sobre el output, indicar la ruta de salida del producto filtrado. En la Figura 4 se muestra la ventana en donde deben ingresarse los archivos de entrada y salida y en la Figura 5 se muestra el Modelo de elevación filtrado resultante del anterior procedimiento.

**Figura 4.** Cuadro de dialogo para aplicar el Filtro de relleno

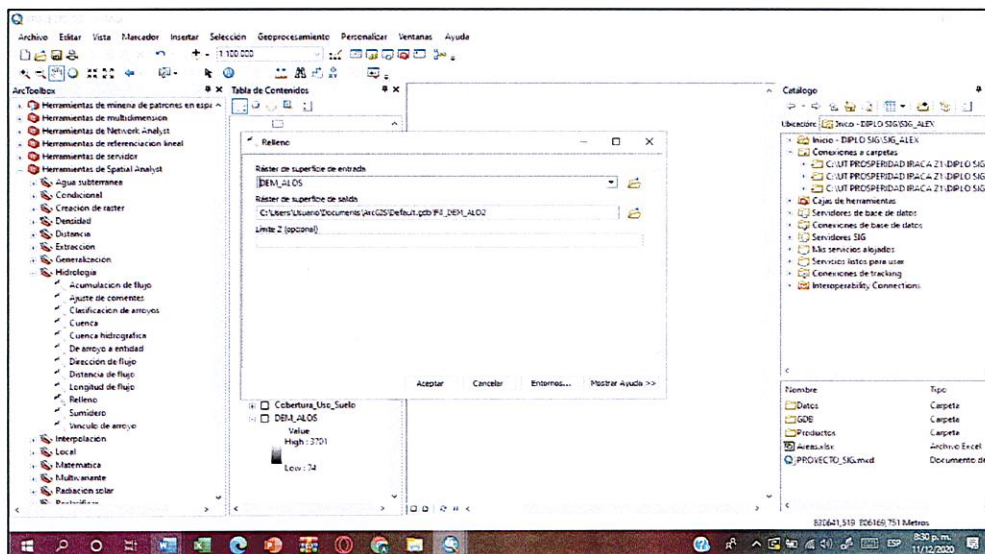
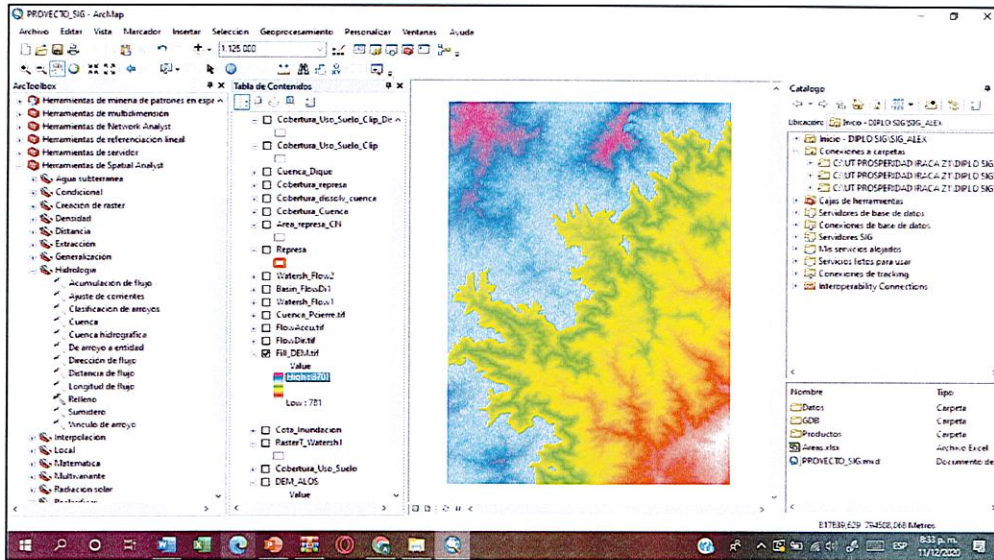
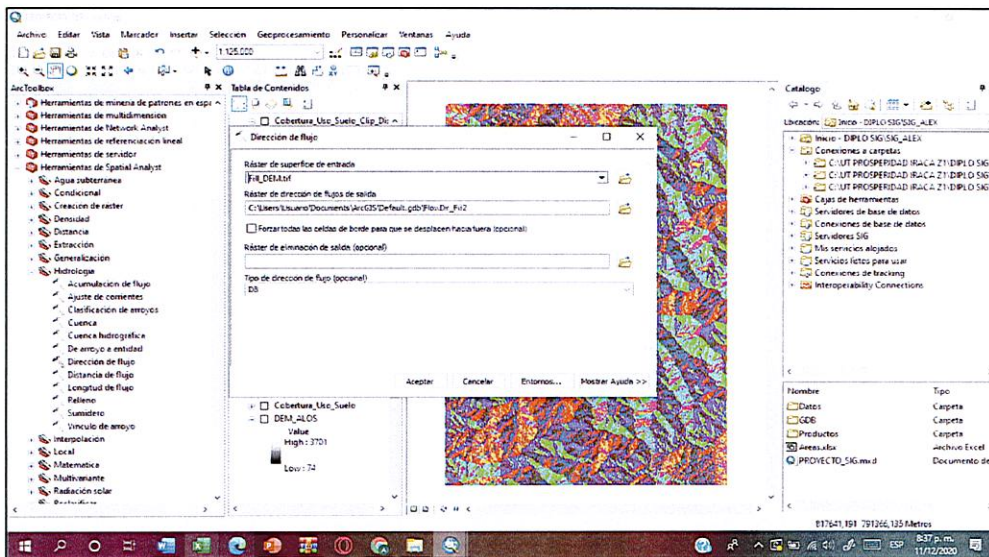


Figura 5. Modelo de elevación filtrado



En cuanto a la siguiente herramienta a utilizar, a saber, Dirección de Flujo, a partir del Modelo de Elevación Rellenado y obtenido con anterioridad, ingresándolo como dato de entrada, como resultado se genera un ráster que muestra la dirección de flujo que sale desde cada celda hasta su celda vecina con la pendiente descendente más empinada. En la Figura 6 se muestra la ventana de ingreso de datos de Dirección de Flujo.

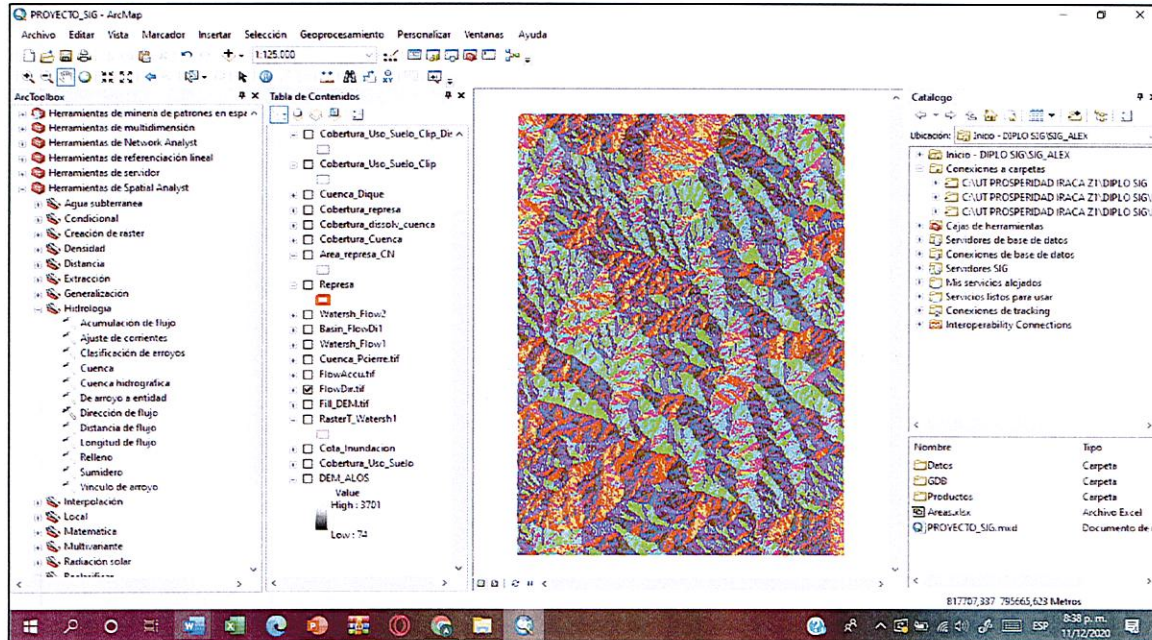
Figura 6. Cuadro de diálogo





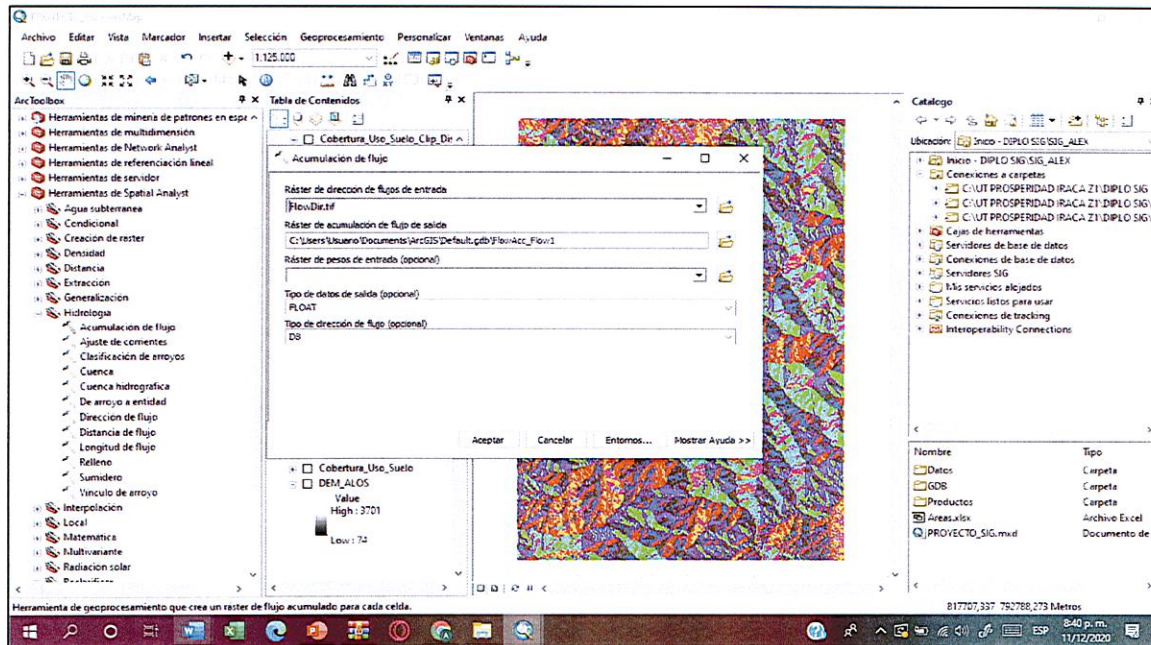
En la siguiente Figura, se muestra el Ráster resultante de Dirección de Flujo

Figura 7. Ráster de Dirección de Flujo



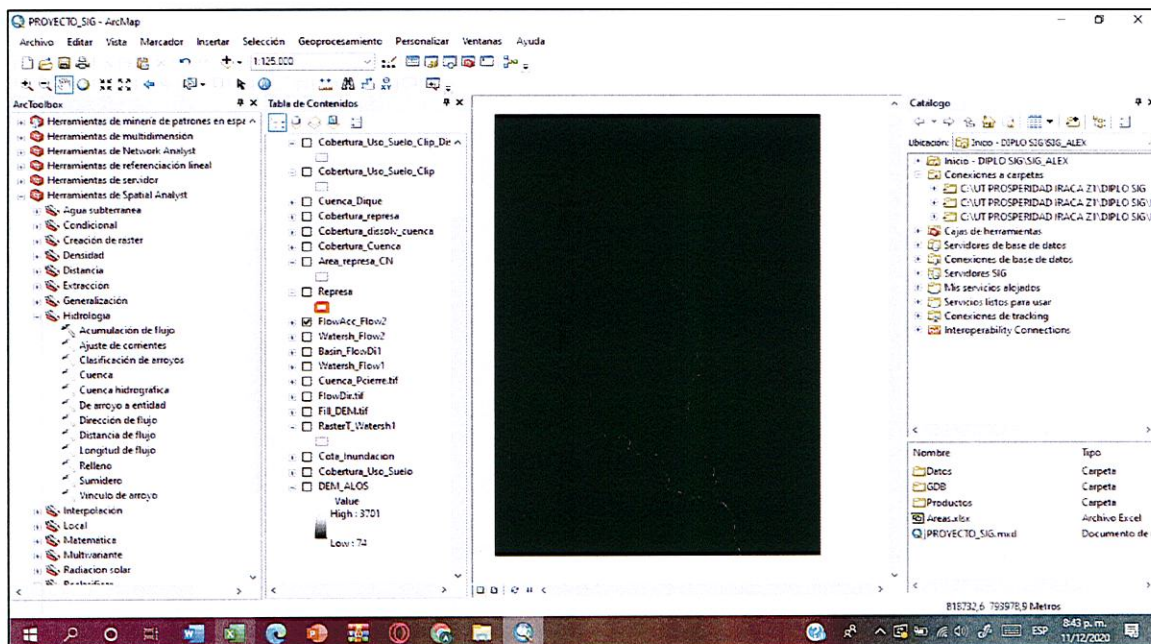
Seguidamente, se calcula con la herramienta Acumulación de Flujo, el siguiente ráster, que se obtiene tal cual como se observa en la Figura 8, ingresando como dato de entrada el ráster obtenido de *Dirección de Flujo*.

Figura 8. Ingreso de datos para obtención de Ráster de acumulación de flujo



En la Figura 9 se observa el Ráster generado que muestra la acumulación de flujo por cada celda.

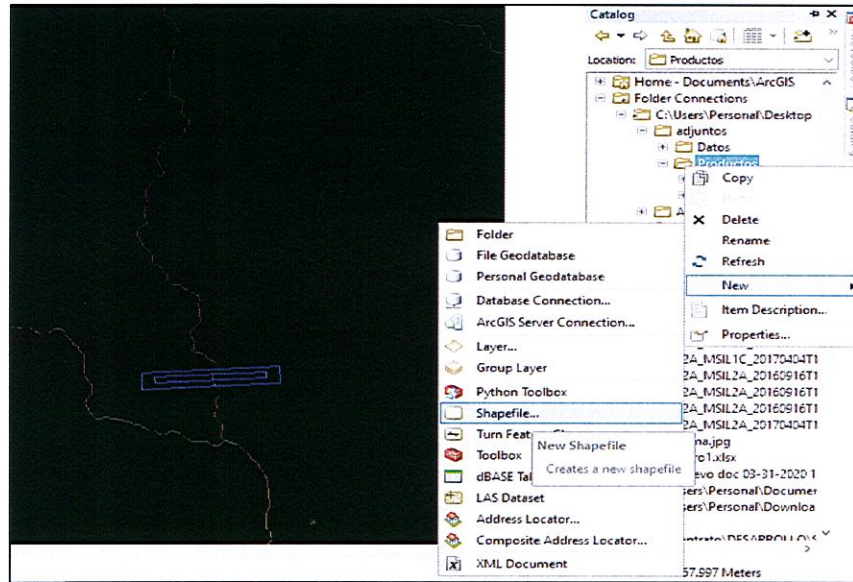
Figura 9. Ráster de acumulación de flujo





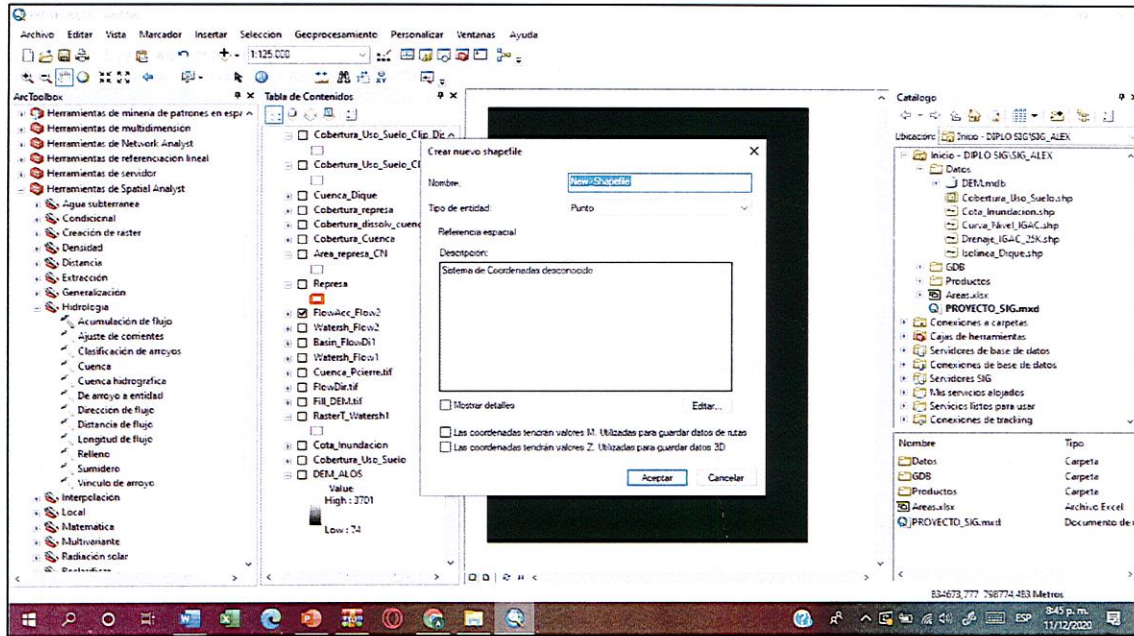
Posteriormente para delimitar la cuenca, se debe indicar el punto de cierre, para ello se crea un *shapefile* tipo punto sobre la geolocalización de la estructura hidráulica, como se observa en la Figura 10.

**Figura 10.** Procedimiento para creación de Shapefile para delimitación de cuenca



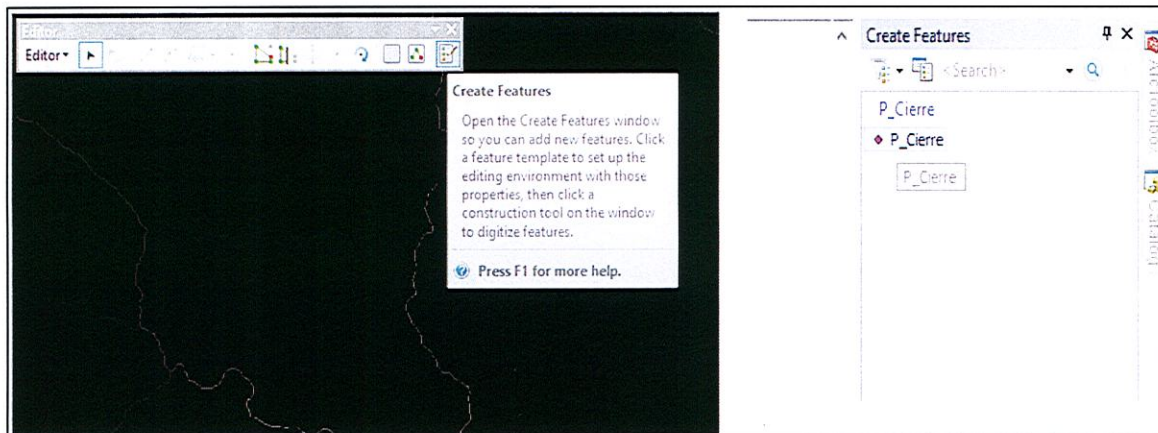
Luego se requiere dirigirse a ArcCatalog, sobre el directorio donde se desea guardar la información espacial, se da clic derecho, se indica New/Shapefile y posteriormente, se despliega el cuadro de dialogo. En la Figura 11 se muestra la ventana de creación de Shapefile.

Figura 11. Ventana para crear Shapefile



Se le dio como nombre al Shapefile tipo punto *P\_Cierre*, el cual indica el punto de cierre, y se le asigna el mismo sistema de coordenadas Magna Colombia Bogotá. En la Figura 12 se observa el procedimiento descrito.

Figura 12. Shapefile tipo punto *P\_Cierre*





Una vez creado el Shapefile, se activa la edición y se indica el primer elemento que se encuentra sobre el flujo de agua que se intercepte con el shp de isolinea\_dique como se muestra en la Figura 13.

**Figura 13.** Identificación de elementos que se interceptan

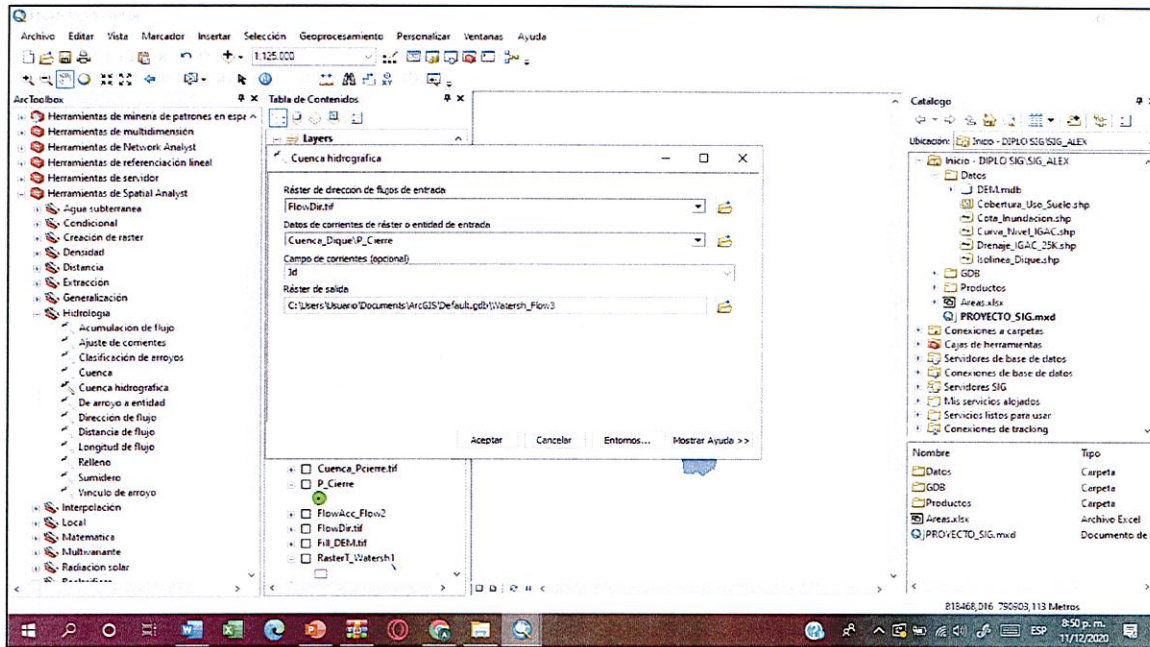


Al finalizar la creación, se detiene y guarda la edición.

### 6.2.1 Área de cuenca.

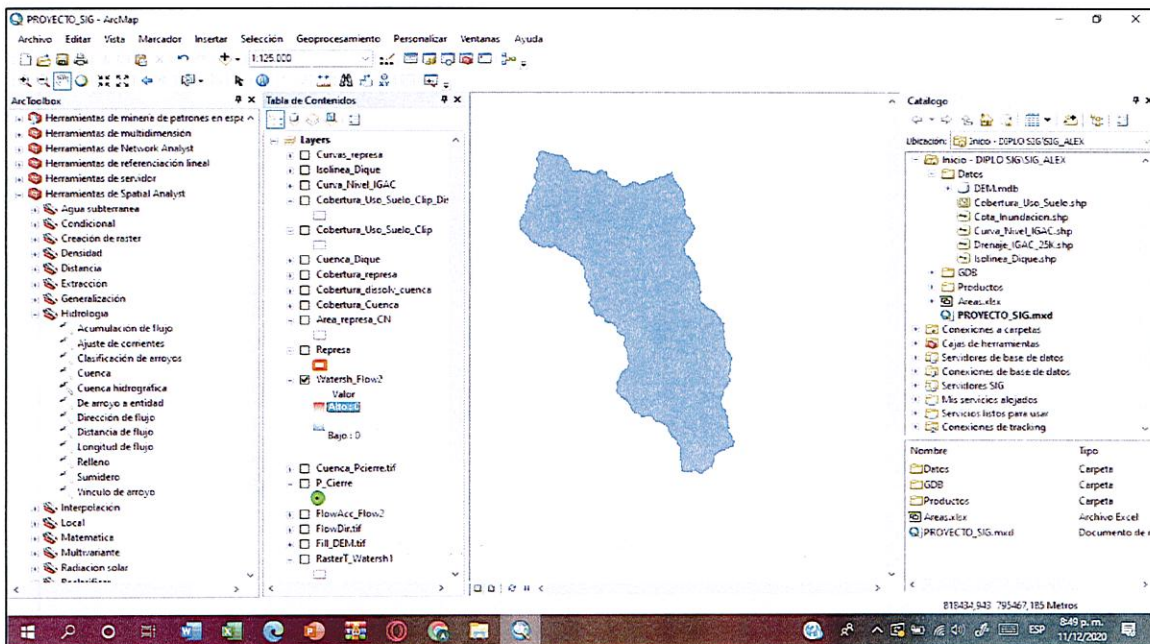
Ahora, para determinar el área de una cuenca, se debe contar con el punto de cierre en la zona del dique y con el Ráster de Dirección de Flujo, una vez obtenido los datos de entrada, procedo a indicarlos en la Figura 14.

Figura 14. Ventana de Cuenca Hidrográfica



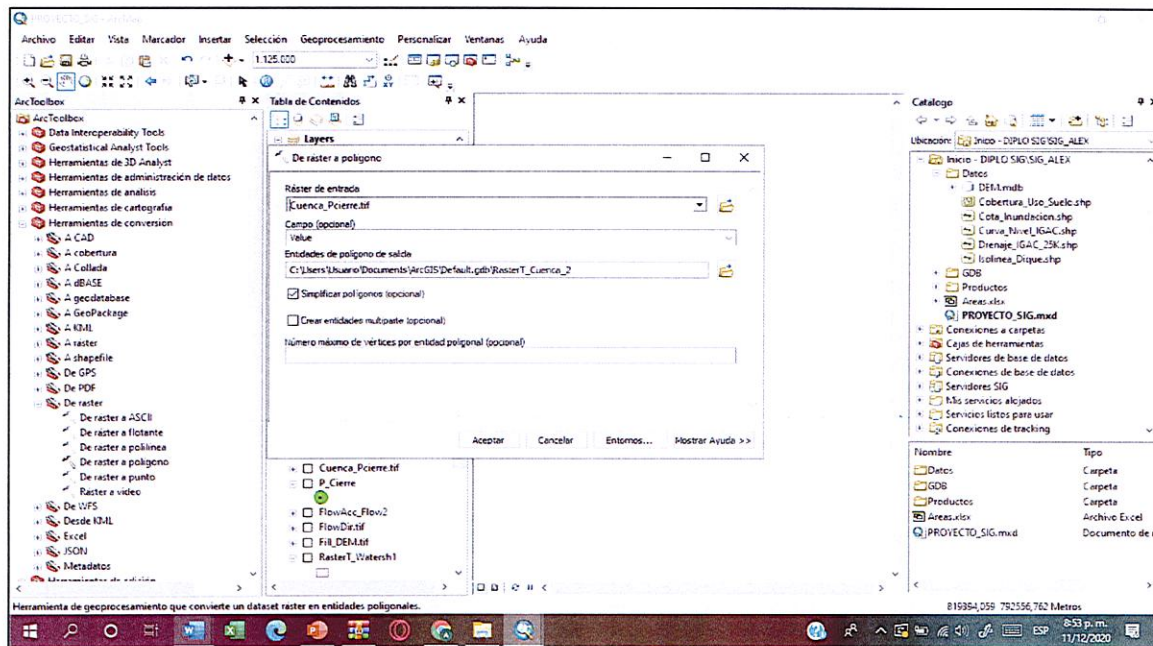
Como producto, se tiene el área de la cuenca desde el punto de cierre como se muestra en la Figura 15.

Figura 15. Área de la Cuenca resultante del procedimiento anterior



Obtenido el Ráster se procede a convertirlo a shp tipo polígono, con la siguiente función de la caja de herramientas ArcToolBox, que se muestra en la Figura 16

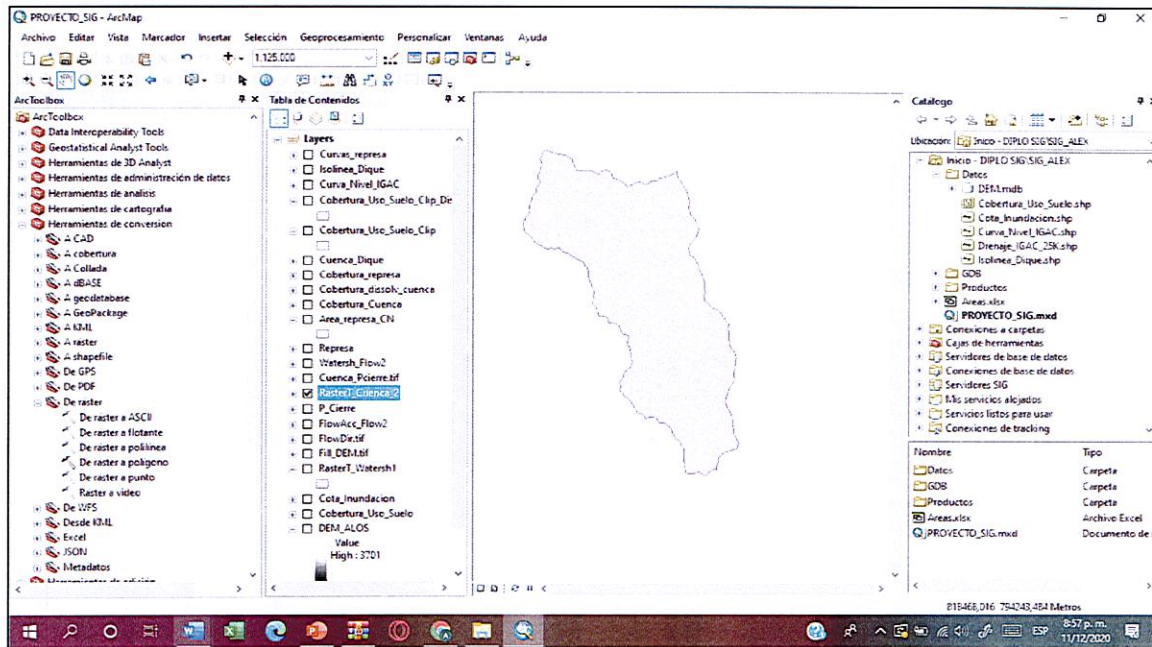
**Figura 16.** Procedimiento para convertir Raster a shp tipo polígono



En la Figura 17 el shp tipo polígono resultante de la conversión.



Figura 17. Shapefile tipo polígono



Se determina el área de la Cuenca mediante el cálculo de un campo “Calculate Field”, la cual da un resultado de **52.19 Km<sup>2</sup>**

### 6.2.2 Volumen del dique (Isolinea\_Dique.shp).

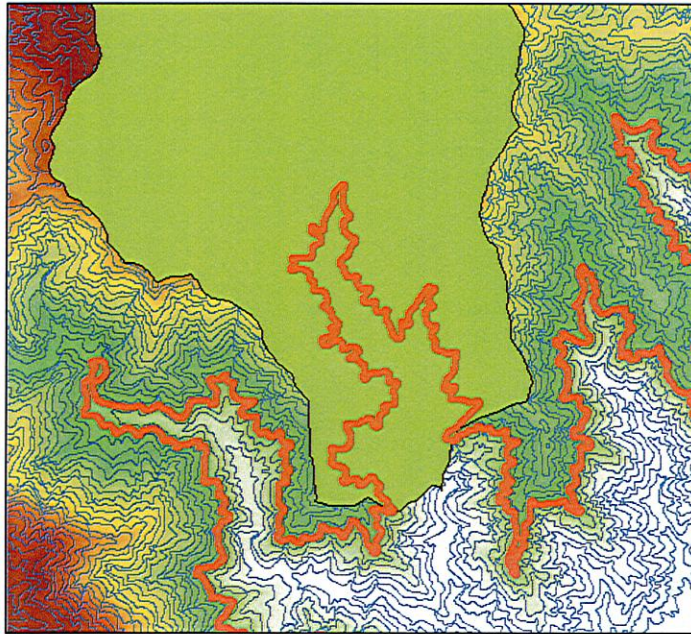
Para establecer el volumen del dique, se tiene como insumos el shapefile que indica la cota de inundación, el punto de cierre o descarga, y el área de la cuenca al punto de cierre.

El volumen se calculó de la siguiente manera:

- a. En la siguiente imagen (Figura 18), se puede visualizar el área inundable de la presa, para poder procesar y calcular su volumen debemos hacer un corte del polígono a partir de la cota de inundación.

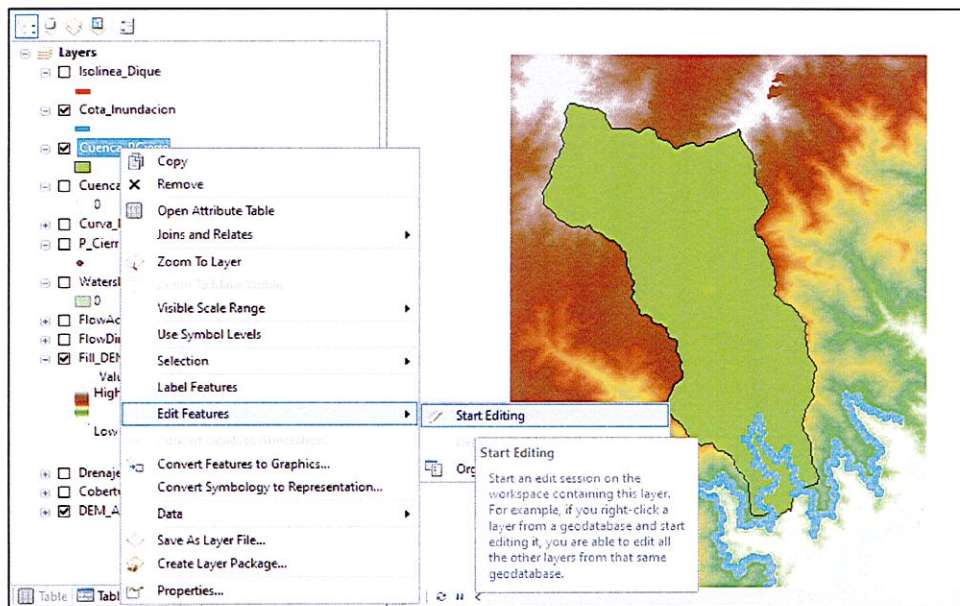


**Figura 18.** Área inundable de la presa



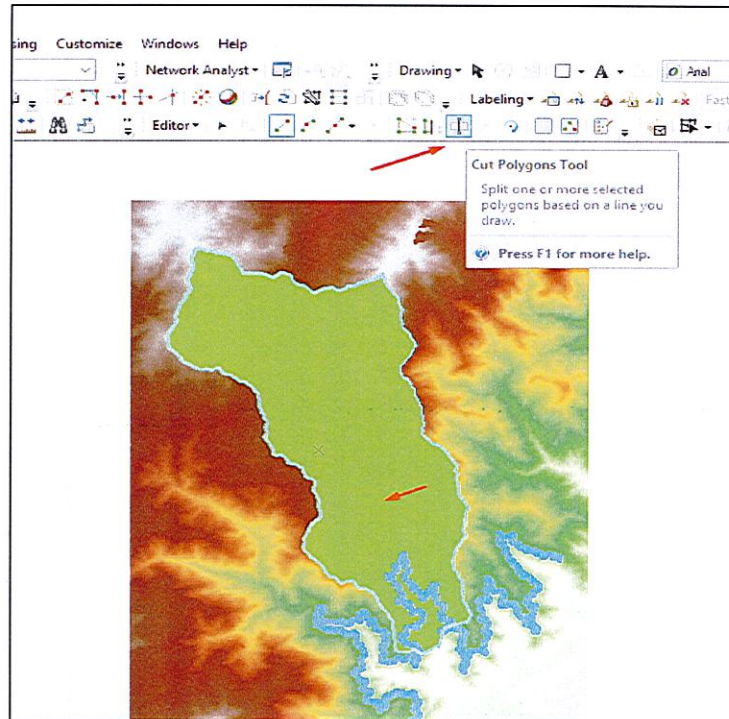
Para cortar el polígono debo editar la capa Cuenca\_Pcierre, que contiene la cuenca desde el punto de cierre o descarga, para ello, se da clic derecho/edit features/star editing como se observa en la Figura 19.

**Figura 19.** Procedimiento para el corte del polígono



Luego, para dividirlo a partir de una línea, se debe usar la herramienta cortar polígonos Tool, como se visualiza a continuación en la Figura 20.

**Figura 20.** División a partir de una línea



Para dividirlo se debe tener seleccionado el polígono a cortar, y dar clic sobre la línea de corte que para este caso va ser la cota de inundación, una vez dado el clic se debe dirigirse a la opción TRACE que se activa, para realizar el recorrido de la línea o cota de inundación. Una vez terminado el recorrido se da doble clic para que realice el recorte que se ilustra en la Figura 21. Los dos polígonos obtenidos se pueden visualizar a continuación en la Figura 22.

**Figura 21.** Detalle de recorte de polígono



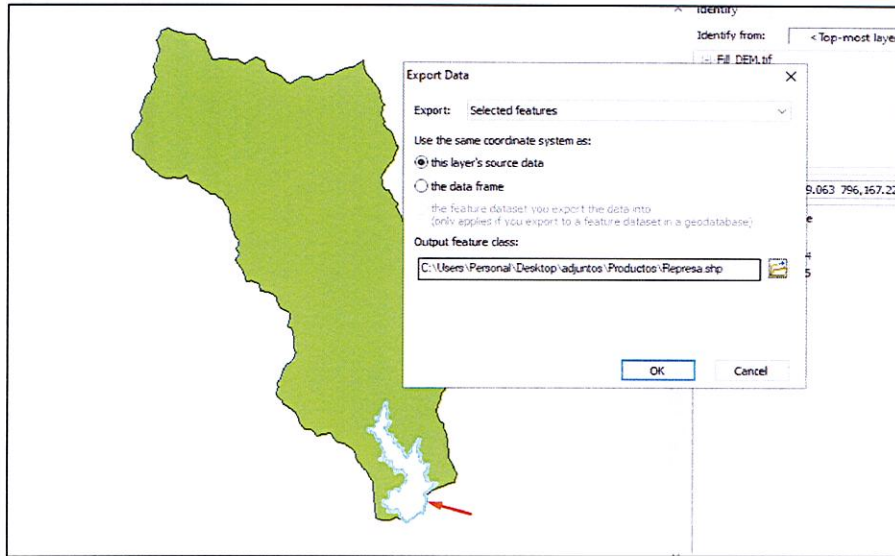
**Figura 22.** Polígonos: área de la cuenca y área de inundación



Para extraer el polígono AREA DE INUNDACIÓN en un Shapefile independiente, se selecciona y sobre la capa Cuenca\_Pcierre exportar datos y se indica en qué lugar se quiere guardar el área de inundación o REPRESA. Este procedimiento se muestra en la Figura 23.

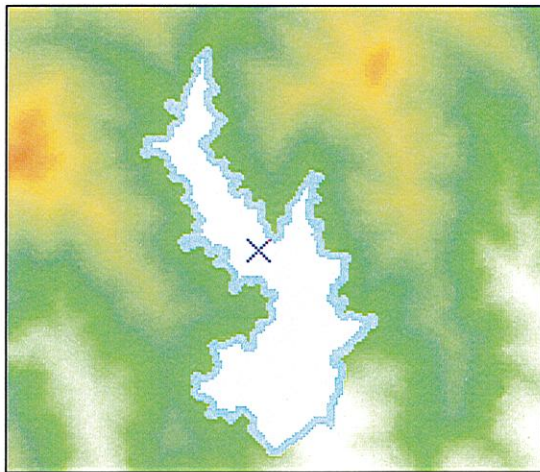


**Figura 23.** Extracción de polígono área de inundación



Una vez exportado el shapefile Represa, se visualiza de manera independiente a continuación como se muestra en la Figura 24.

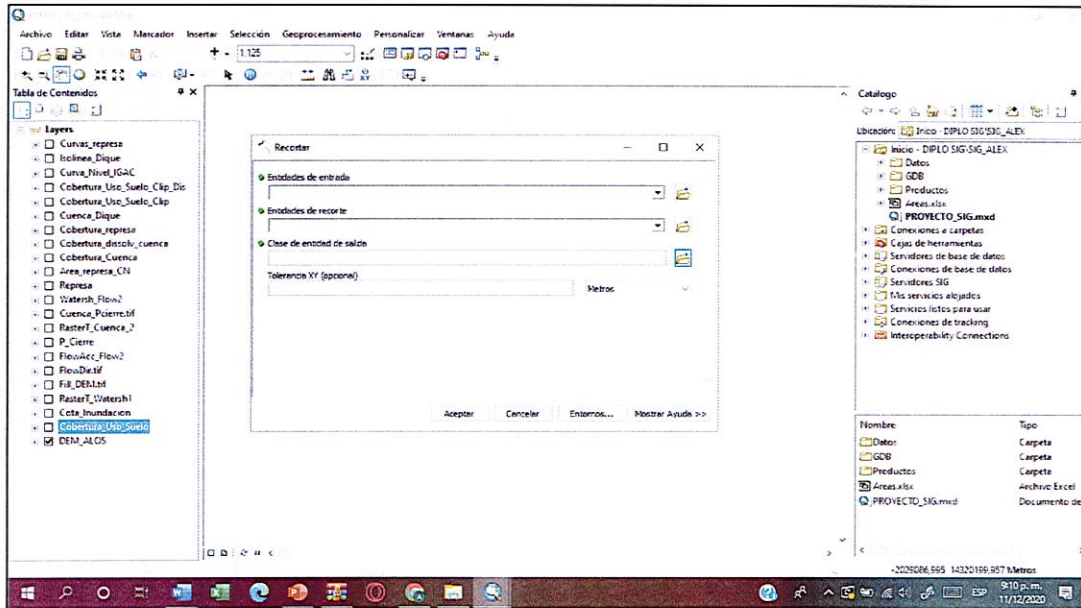
**Figura 24.** Shapefile Represa



Para determinar el volumen, se debe establecer el área que existe entre curvas de nivel, para determinar dichas áreas como insumo se requiere las curvas del IGAC, para esto se debe hacer click en **Recortar** para extraer exclusivamente las curvas que se encuentran dentro del área de represa. La herramienta se puede localizar como lo indica la siguiente Figura 25.

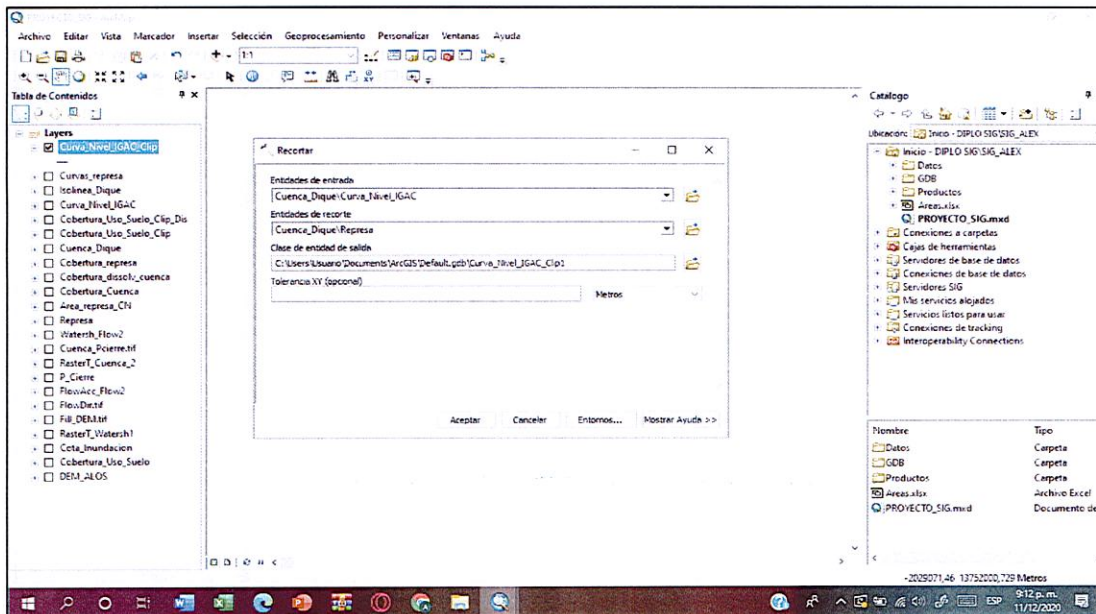


Figura 25. Extracción de curvas dentro del área de la represa



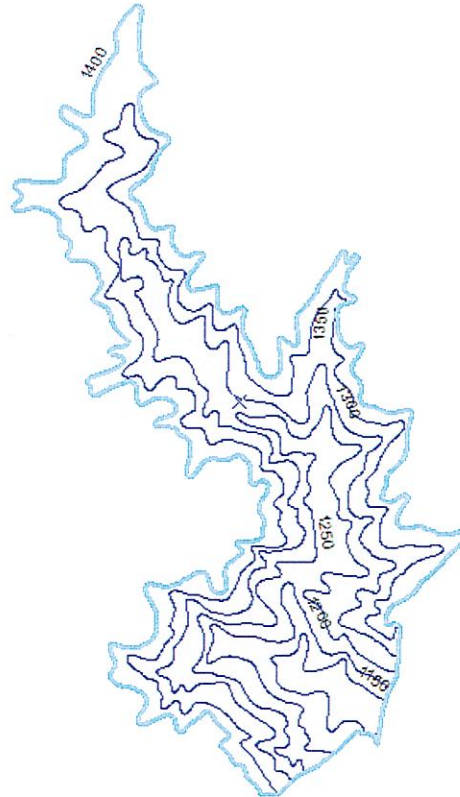
Una vez hecho lo anterior, se abre una ventana, que indica que, como dato de entrada, se requiere las curvas de nivel IGAC, y como mascara para hacer el recorte está el Shapefile que se denominó REPRESA, como se visualiza a continuación en la Figura 26.

Figura 26. Cuadro de diálogo Clip



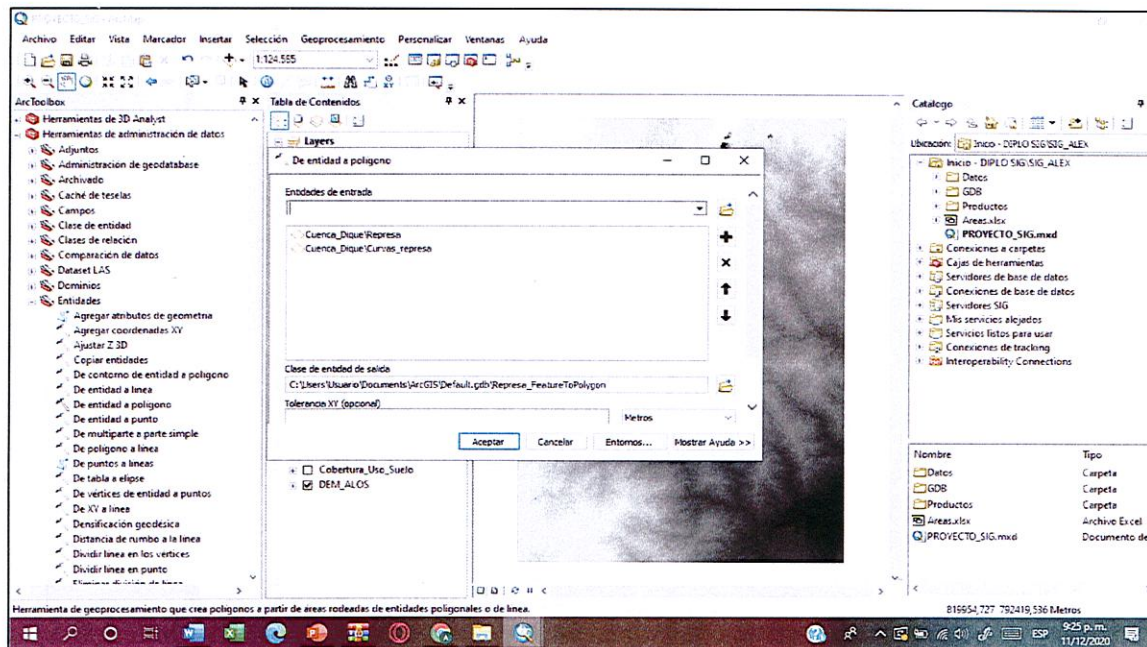
Como resultado del Recortar, se tiene el Shapefile tipo línea que contiene las curvas de nivel exclusivamente para el Shapefile de represa, como se visualiza en la Figura 27.

**Figura 27.** Curvas de nivel de represa



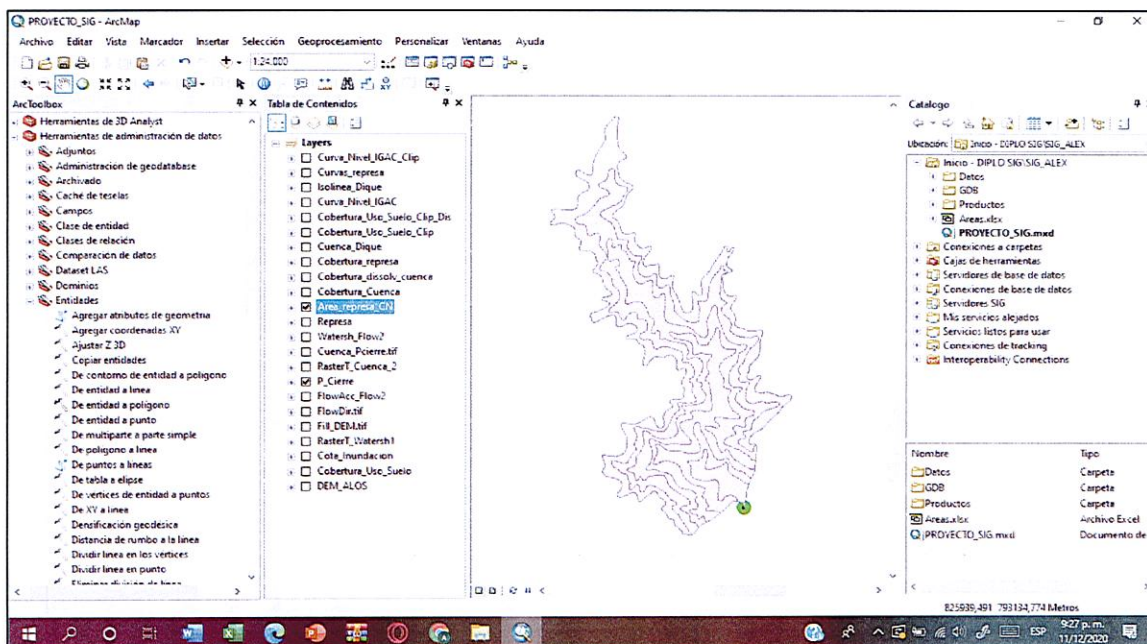
Como siguiente paso, se requiere establecer el área que existe entre las curvas de nivel generadas, para ello, se usa la opción Herramientas de administración de datos/ Entidades/ de Entidad a Polígono de la caja de herramientas de ArcToolBox, para lo cual, se requiere como información de entrada el Shapefile de represa y las curvas generadas en el paso anterior. En la Figura 28 se muestra la ventana de Entidad a Polígono y en la Figura 29 se observa el resultado las áreas entre curvas de nivel.

Figura 28. Ventana de ENTIDAD A POLIGONO



Como resultado, se obtiene un Shapefile tipo polígono, que contiene las áreas entre curvas de nivel, como se visualiza en la Figura 29.

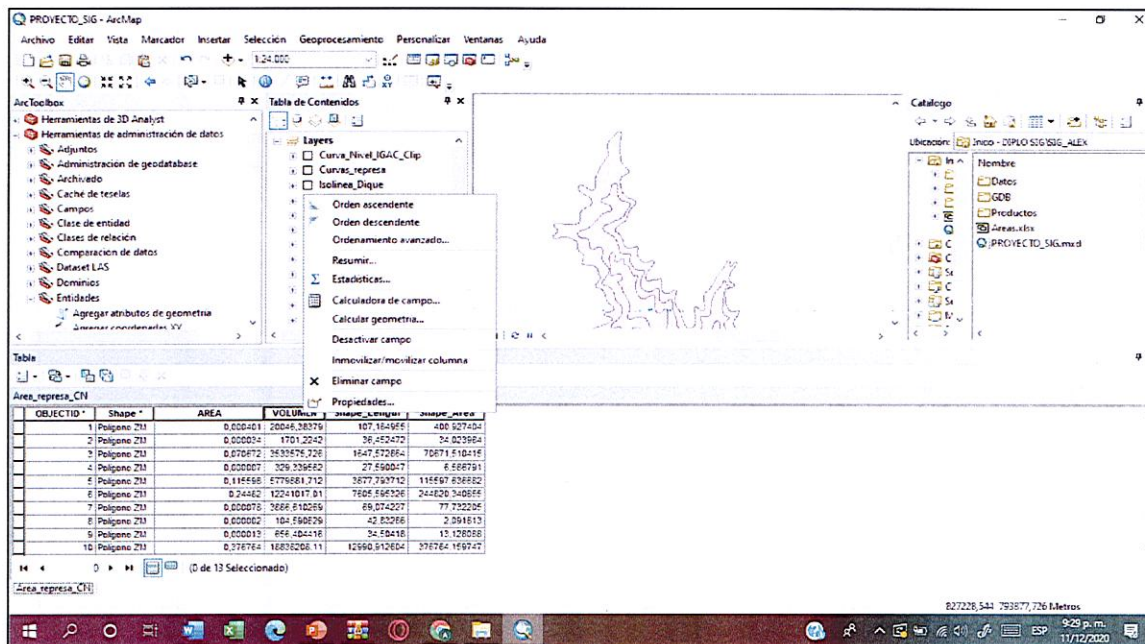
Figura 29. Área entre curvas de nivel





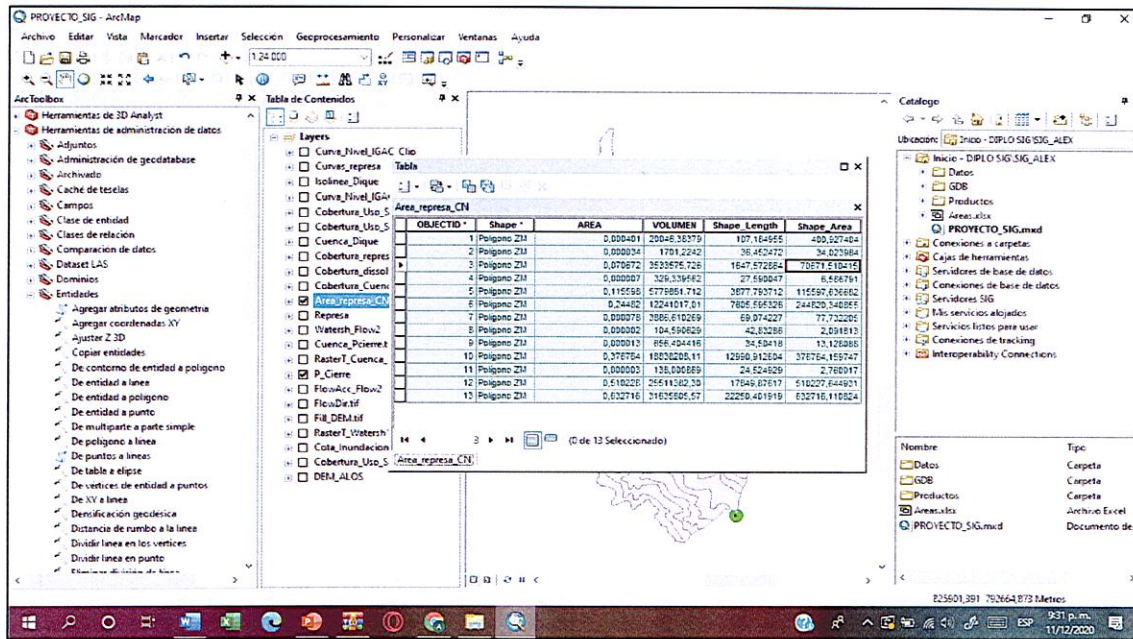
Seguidamente, sobre el Shapefile generado, se crea una columna en la tabla de atributos con nombre de ÁREA, y se da clic sobre el encabezado; luego, sobre el menú desplegado se busca la opción CALCULAR GEOMETRIA, lo cual genera automáticamente el siguiente cuadro de dialogo.

Figura 30. Cuadro de diálogo CALCULAR GEOMETRIA



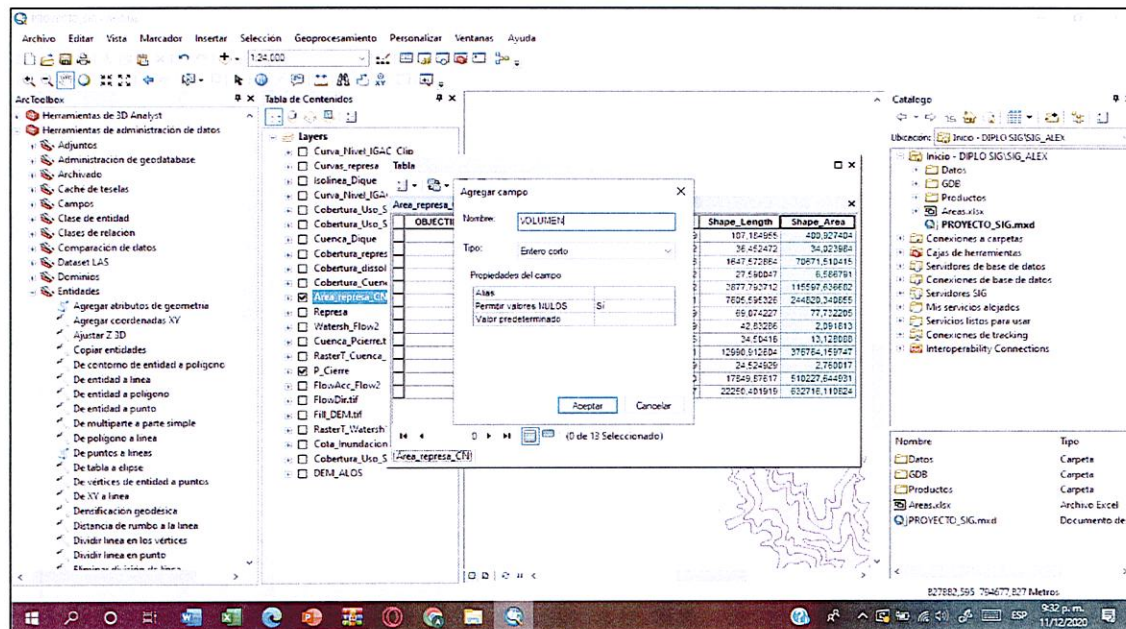
Como resultado se tiene las siguientes las áreas en hectáreas entre cada curva de nivel que contiene el área de represa o el área a inundar, delimitada por la cota de inundación, y el área total es de **195.133466 ha (1951334.66021m<sup>2</sup>)** que corresponde igualmente al espejo de agua de la represa en su llenado a cota de 1400m, que se desglosa a continuación la Figura 31.

Figura 31. Área en metros cuadrados



Ahora, para calcular el volumen, es importante crear una columna sobre la misma tabla de atributos de la capa creada en el paso anterior, con el nombre VOLUMEN de tipo Double, como se visualización a continuación

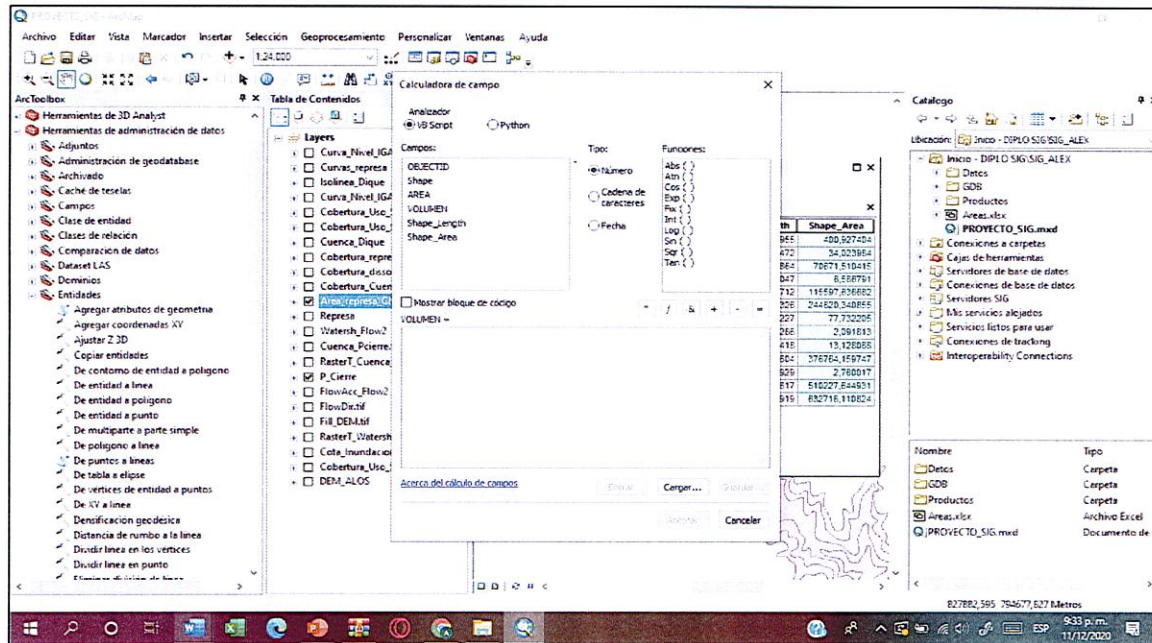
Figura 32. Ventana Add Field para cálculo de volumen





Una vez creada la columna, se procede a calcular el volumen, pero se debe tener en cuenta que cada área entre curvas está con una diferencia altimétrica de 50m, entonces para determinar el volumen se multiplica el área generada en metros cuadrados por 50m, y se obtendría el volumen total de la presa.

Figura 33. Ventana Calculadora de campo para cálculo de volumen



Obteniendo la siguiente tabla de atributos, es importante denotar que las unidades de medidas para el área están dadas en metros cuadrados y para el volumen están dadas en metros cúbicos.

Figura 34. Resultado cálculo de volumen

Area\_represa\_CN

FID	Shape *	AREA	VOLUMEN
0	Polygon ZM	400.927678	20046.38379
1	Polygon ZM	34.024484	1701.2242
2	Polygon ZM	70671.514539	3533575.726
3	Polygon ZM	6.588791	329.339562
4	Polygon ZM	115597.634252	5779881.712
5	Polygon ZM	244820.340329	12241017.01
6	Polygon ZM	77.732205	3886.610269
7	Polygon ZM	2.091813	104.590629
8	Polygon ZM	13.128088	656.404416
9	Polygon ZM	376764.162357	18838208.11
10	Polygon ZM	2.760017	138.000869
11	Polygon ZM	510227.646078	25511382.30
12	Polygon ZM	832716.111581	31635605.57



Se deben efectuar los siguientes pasos antes de realizar la carga del Shapefile:

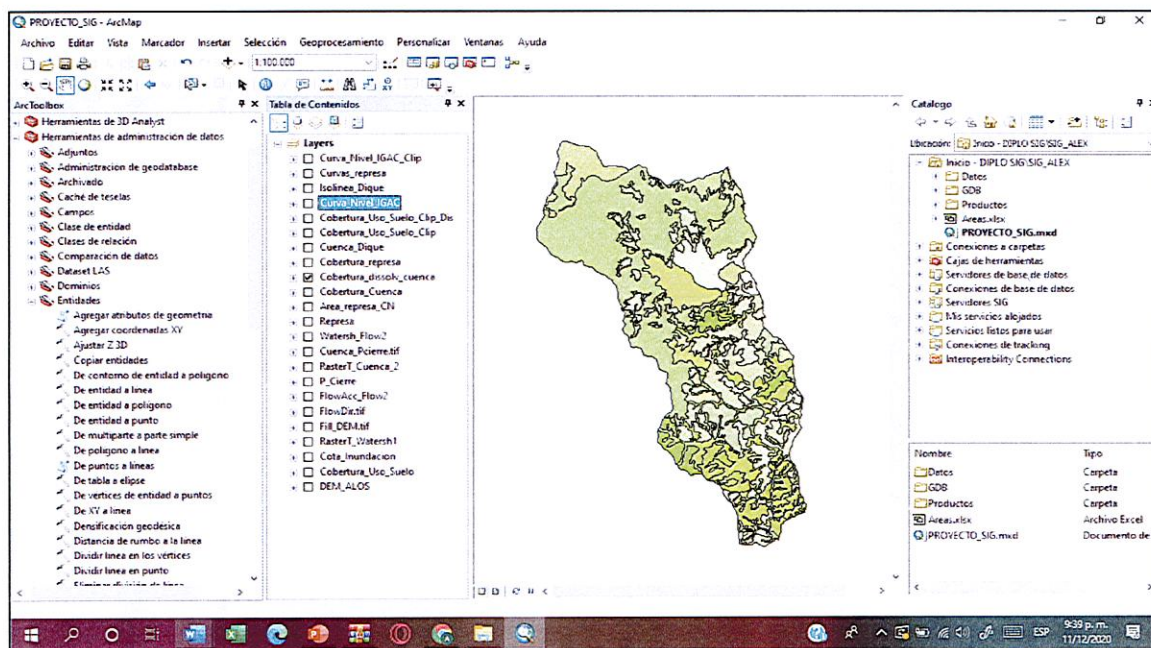
1. Determinar el área (km<sup>2</sup>) del espejo de agua que se genera una vez esté completo el llenado de la presa (Cota\_Inundacion.shp:)

El área de espejo de agua es de 1.951335 Km<sup>2</sup>.

2. Determinar los porcentajes de áreas de cobertura y/o uso del suelo (Cobertura\_Uso\_Suelo.shp) de la cuenca y los porcentajes que van a ser inundados o afectados (una tabla dentro de la Geodatabase).

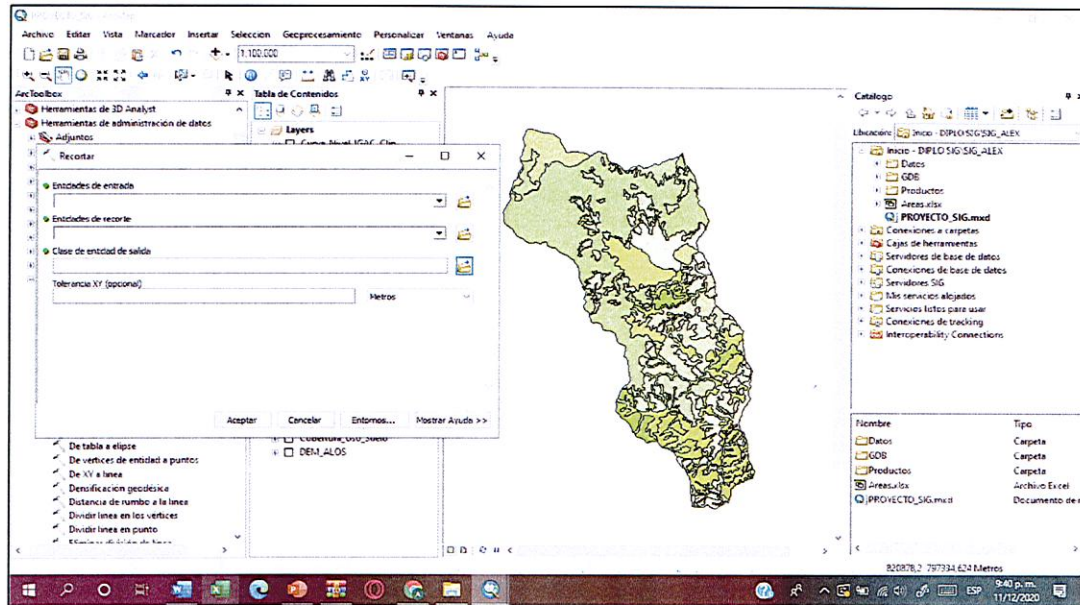
En primera instancia se carga el Shapefile de las coberturas de uso de suelo, y procede a realizar el recorte del área de interés, que corresponde al área de la cuenca. Como se realiza a continuación en la Figura 35.

**Figura 35.** Porcentajes de áreas de cobertura y/o uso del suelo



El recorte se realizó con la herramienta DISOLVER del menú de geoprocresamiento, como se evidencia en la Figura 36.

Figura 36. Procedimiento Herramienta RECORTAR



A partir de lo anterior, se genera un cuadro de diálogo, que requiere como dato de entrada la cobertura de uso de suelo, y como máscara a recortar el shp de la cuenca que se denomina Cuenca\_Pierre. Como resultado de lo anterior, se tiene la cobertura de usos del suelo presente sobre la cuenca (Figura 37).

Figura 37. Cuadro de diálogo Clip

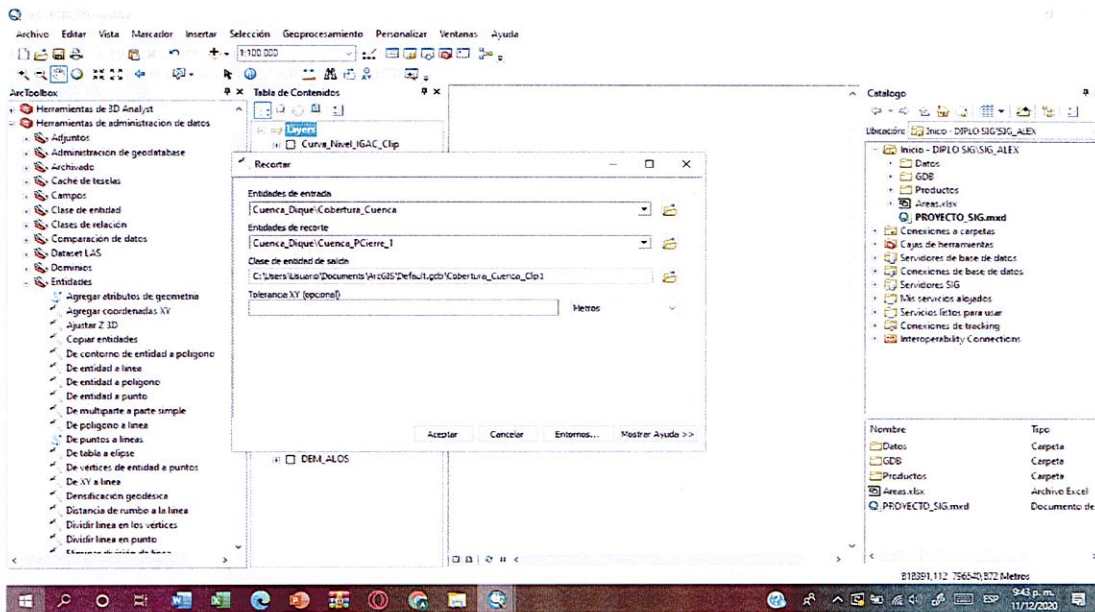
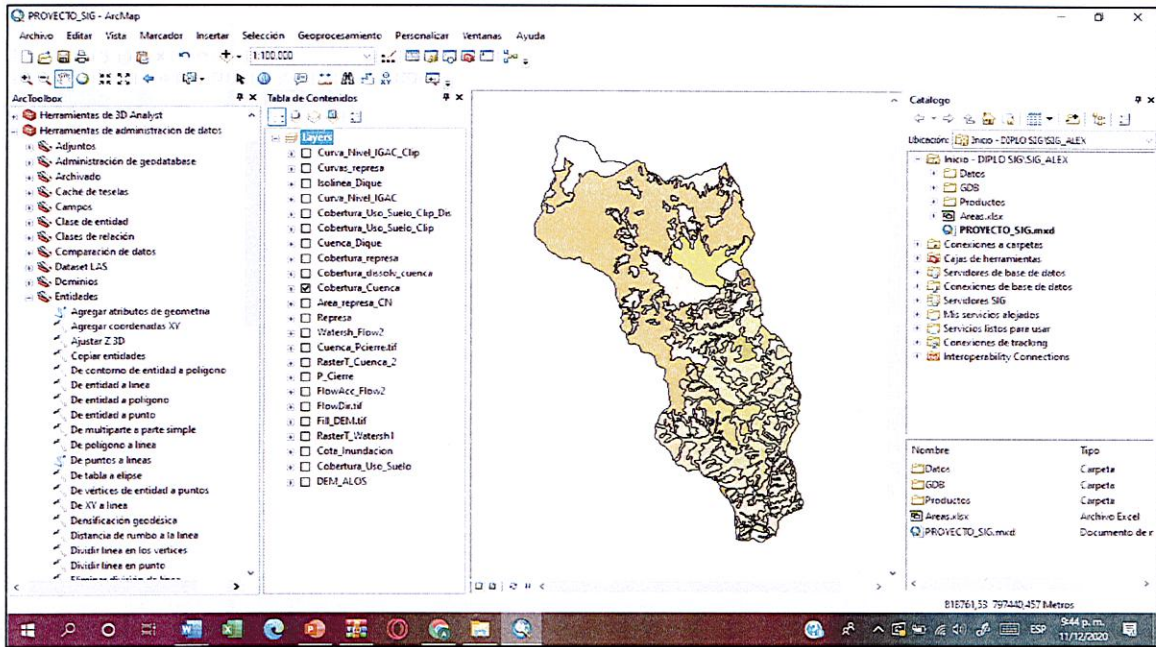


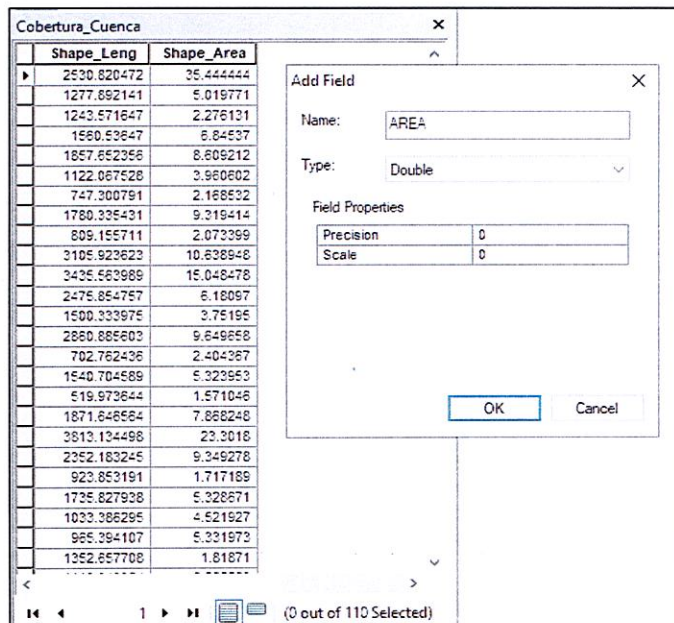


Figura 38. Cobertura de uso de suelo sobre la cuenca



A partir del shp generado, se pretende crear la columna **AREA**, tipo double, como se evidencia a continuación:

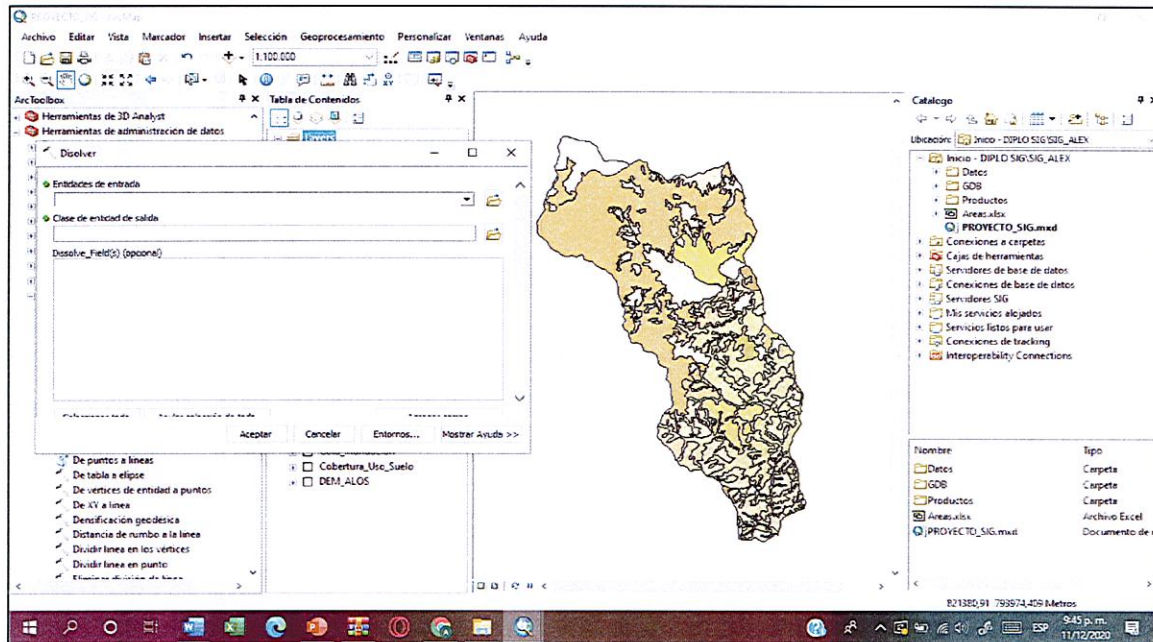
Figura 39. Add Field de Shapefile generado





Como se evidencia, hay polígonos repetidos con las mismas características. Para ello, se aplica del menú Geoprocessing la herramienta Dissolver, para sólo establecer el área por cobertura vegetal.

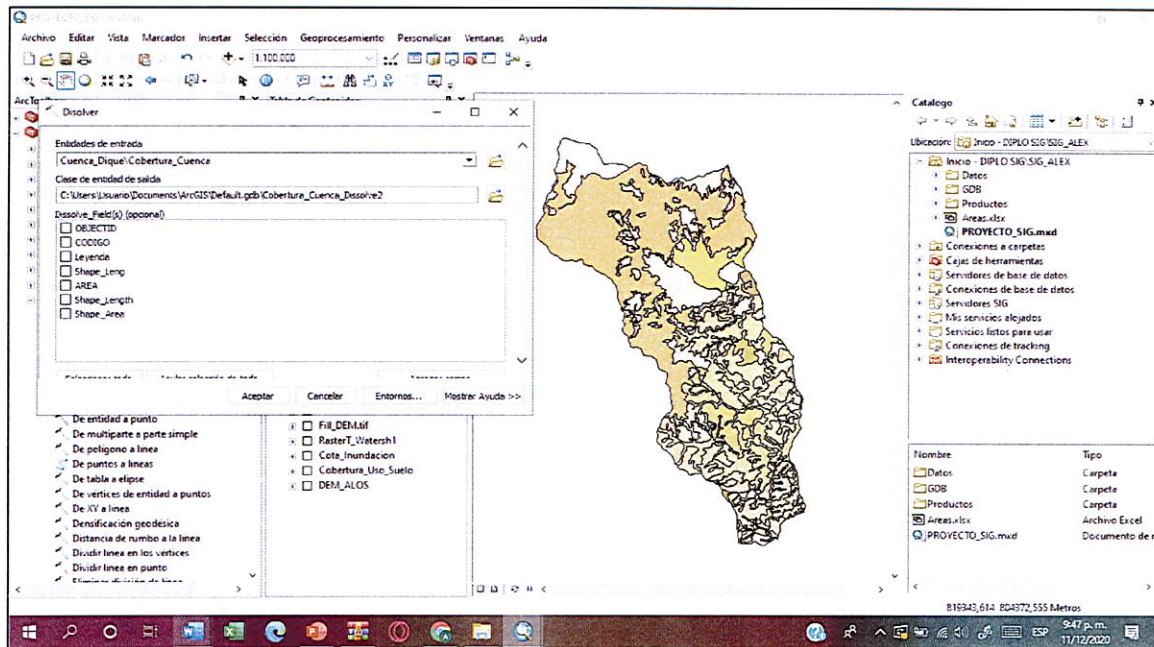
**Figura 40.** Herramienta Dissolve, para establecer el área por cobertura vegetal



Fuente: Autor

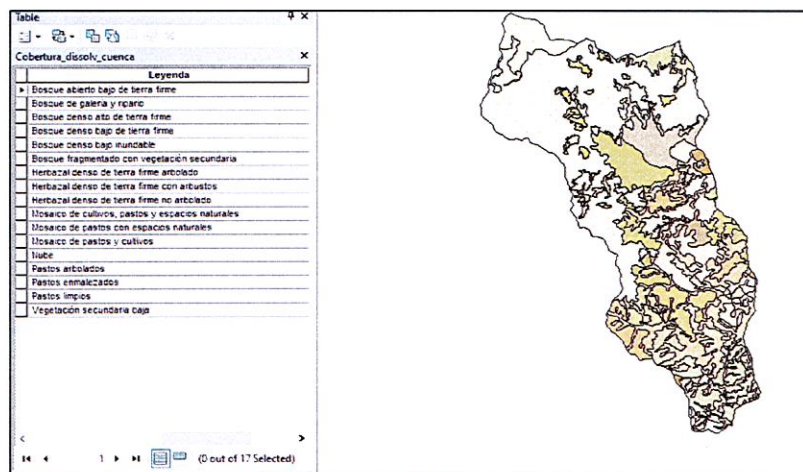
El cuadro de dialogo generado para aplicar el dissolve, requiere como datos de entrada el producto del paso anterior es decir la cobertura de la cuenca, seguidamente se selecciona la columna que se debe priorizar, es decir la que se va a dissolve y sólo se va a establecer un solo valor.

**Figura 41. Cuadro de diálogo Dissolver**



De acuerdo al proceso anterior, se puede evidenciar que solo se tiene un valor por leyenda, es decir que cada cobertura vegetal contiene varios polígonos asociados, que darán de igual forma su valor de área. Dicho producto tiene como nombre COBERTURA DISSOLV CUENCA

**Figura 42. Resultado COBERTURA DISSOLV CUENCA**



Luego se recalcula nuevamente las áreas de polígonos y se tiene como resultado de áreas en hectáreas la siguiente relación.

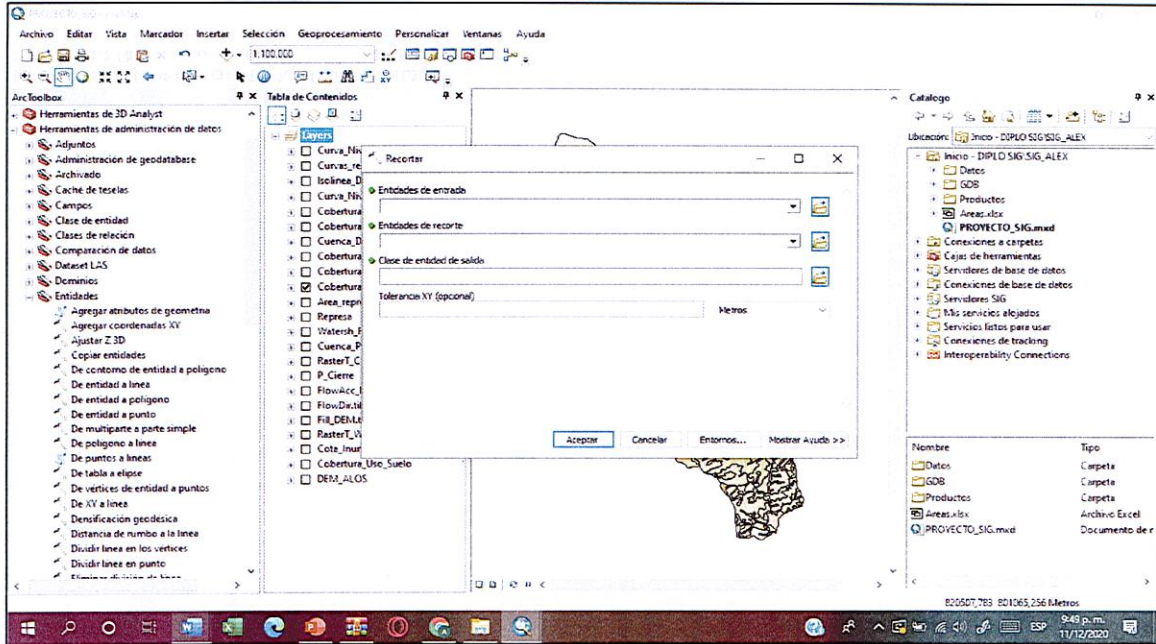
**Tabla 1.** Cálculo de áreas en hectáreas

<b>N</b>	<b>Leyenda</b>	<b>AREA (Ha)</b>
0	Bosque abierto bajo de tierra firme	196.751579
1	Bosque de galería y ripario	608.474941
2	Bosque denso alto de tierra firme	1808.207511
3	Bosque denso bajo de tierra firme	95.276372
4	Bosque denso bajo inundable	52.227282
5	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	286.225179
6	Herbazal denso de tierra firme arbolado	170.399627
7	Herbazal denso de tierra firme con arbustos	97.920136
8	Herbazal denso de tierra firme no arbolado	85.117468
9	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	175.55486
10	Mosaico de pastos con espacios naturales	295.909086
11	Mosaico de pastos y cultivos	427.573033
12	Nube	243.885879
13	Pastos arbolados	35.153952
14	Pastos enmalezados	109.453939
15	Pastos limpios	258.6823
16	Vegetación secundaria baja	271.756632
	<b>TOTAL</b>	<b>5218.569776</b>

Ahora, se requiere saber cuál es el porcentaje de coberturas vegetales a inundar, para ello, debo recortar, o aplicar con la herramienta RECORTAR, y con los datos de entrada el shp de REPRESA y COBERTURA\_DISSOLV\_CUENCA. Realizo el siguiente recorte.

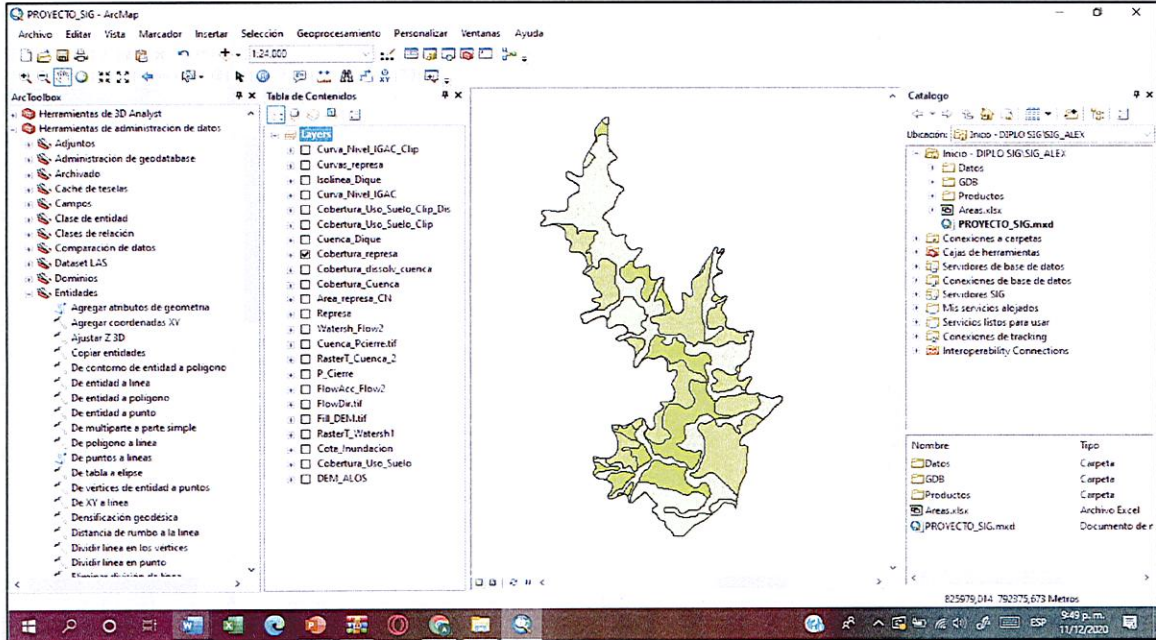


Figura 43. Resultado corte cobertura vegetal



Como resultado del recorte con RECORTAR, se tiene lo siguiente: Se evidencia el corte de la cobertura vegetal, sobre el shp de la represa o zona a inundar.

Figura 44. Resultado corte cobertura vegetal



Posteriormente, se realiza la creación del atributo ÁREA, en tipo DOUBLE, y posteriormente se recalcula en hectáreas, obteniendo como resultado lo siguiente:

**Tabla 2.** Cálculo de áreas a inundar

<b>N</b>	<b>LEYENDA</b>	<b>ÁREA A INUNDAR</b>	<b>% INUNDADOS</b>
0	Bosque de galería y ripario	74.823093	12.30
1	Herbazal denso de tierra firme arbolado	0.580668	0.34
2	Mosaico de pastos con espacios naturales	63.60353	21.49
3	Pastos limpios	17.451404	6.75
4	Vegetación secundaria baja	38.674769	14.23
	<b>TOTAL</b>	<b>195.133464</b>	

## CONCLUSIONES

Se construyó la Geodatabase o Base de Datos Espacial de ArcGIS del proyecto, donde se genera y almacena la información necesaria que permite realizar los análisis respectivos a partir de las relaciones espaciales e información de los atributos de los elementos geográficos definidos en la base de datos.

Con relación a la ejecución de los procedimientos necesarios para la identificación de las particularidades de las áreas de cuenca e inundación, se realizó la carga de datos en el programa ArcGIS ejecutando como primera medida el filtro de relleno generando un modelo que sirvió de punto de partida para el uso de la herramienta de dirección de flujo creando el ráster de trabajo fundamental. Luego se alimentó el software con los datos de acumulación delimitando la cuenca para la creación del Shapefile para lograr determinar el área de cuenca desde el punto de cierre.

Con respecto a la identificación de las zonas afectadas, se logró determinar que el área de la cuenca corresponde 52.19 Km<sup>2</sup> que en la clasificación según el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM, corresponde a una cuenca de un nivel subsiguiente de orden 4, que se compara con otras clasificaciones internacionales como una microcuenca (< 500 Km<sup>2</sup>). El área de la cuenca a ser inundada es cerca a los 2 Km<sup>2</sup>, lo cual es solo un 45% aproximadamente del área de la cuenca. El mayor tipo de cobertura afectada por el área que se va a inundar, corresponde a Bosque de galería y ripario, lo que puede conllevar a una considerable afectación ambiental de fauna y flora propio de este ecosistema.

La potencialidad de los SIG y el ArcGIS, permite no solo usar herramientas de análisis espacial para determinar variables y su comportamiento, sino modelar y automatizar algunos procesos para que puedan ser replicados en otras áreas de estudio. Estas herramientas proporcionan información detallada para los análisis



que permitan respaldar el diseño, incluidos análisis hidrológico, cálculos de volumen, análisis de carga del suelo, capacidad de tráfico, impacto ambiental, estabilidad de taludes, consumo de materiales, control de erosión y emisiones al aire. El análisis del entorno con un SIG permite a los profesionales ver patrones, tendencias y relaciones que no eran claramente evidentes sin la visualización de datos.

Así mismo, los SIG proporciona las herramientas para recopilar datos precisos del sitio y documentar las condiciones existentes. Con los datos de la infraestructura de topografía construida, se puede usar modelos de datos definidos, operativos y estándar de la industria. La topografía conforme a obra con tecnología SIG permite al topógrafo entregar datos en GIS operacional, eliminando la costosa conversión de datos y reduciendo errores.

## REFERENCIAS

- Alonso, F. (13 de Febrero de 2006). *Aplicaciones de los SIG*. Obtenido de um.es: [https://www.um.es/geograf/sigmur/temariohtml/node18\\_tf.html](https://www.um.es/geograf/sigmur/temariohtml/node18_tf.html)
- Al-Ruzouq, R., Shanableh, A., Gokhan, A., Idris, A., Mukherjee, S., Ali, M., & Barakat, M. (2019). Dam Site Suitability Mapping and Analysis Using an Integrated GIS and Machine Learning Approach. *Water*(11). doi:10.3390/w11091880
- Burbano-Orjuela, H. (2016). El suelo y su relación con los servicios ecosistémicos y la seguridad alimentaria. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 33(2), 117-124. doi:10.22267/rcia.163302.58.
- de San Pedro, M., Lasso, M., Serón, N., Carrizo, A., Montenegro, C., & Ramos, L. (2014). Sistemas de Información Geográfica como herramienta para la toma de decisiones en la solución de problemas ambientales. *WICC 2014 XVI Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación*, 198-202. Obtenido de [http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/41176/Documento\\_completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/41176/Documento_completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Delgado, M. (2019). *Uso potencial y efectivo de la tierra agrícola en Colombia: resultados del Censo Nacional Agropecuario*. Bogotá: FEDESARROLLO. Obtenido de [https://www.repository.fedesarrollo.org.co/bitstream/handle/11445/4079/Report\\_Septiembre\\_2019\\_Delgado.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.repository.fedesarrollo.org.co/bitstream/handle/11445/4079/Report_Septiembre_2019_Delgado.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Gobernación del Huila; Unidad de Planificación Agropecuaria - UPRA. (2019). *Caracterización del recurso hídrico para el sector agropecuario para el departamento del huila*. Neiva: MinAgricultura, UPRA, Gobernación del Huila, POPSPR. Obtenido de <https://www.huila.gov.co/loader.php?IServicio=Tools2&ITipo=descargas&IFuncion=descargar&idFile=36946>

- Gutiérrez, C., & Castellanos, L. (2016). *¿Qué son bases de datos geoespaciales?* Ciudad de México: Centro de Investigación en Geografía y Geomática "Ing. Jorge L. Tamayo", A.C.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2014). *Metodología de la investigación. Sexta Edición*. Ciudad de México: McGraw Hill.
- Mena, U. (2007). Aplicación de los sistemas de información geográfica en la ingeniería civil. *Boletín IIE Tendencias tecnológicas*, 59-65. Obtenido de <https://www.ineel.mx/boletin022007/tend.pdf>
- MINAMBIENTE. (2016). *Cobertura y uso de la tierra*. Obtenido de [cornare.gov.co](http://cornare.gov.co): [https://www.cornare.gov.co/POMCAS/planes-de-ordenacion/DocumentosFasesNare/Diagnostico/Capitulo4.Caracterizacion-fisico-biotica/4.11\\_Coberturas.pdf](https://www.cornare.gov.co/POMCAS/planes-de-ordenacion/DocumentosFasesNare/Diagnostico/Capitulo4.Caracterizacion-fisico-biotica/4.11_Coberturas.pdf)
- Oviedo-Ocaña, E. (2018). Las Hidroeléctricas: efectos en los ecosistemas y en la salud ambiental. *Revista de la Universidad Industrial de Santander. Salud*, 50(3), 191-192. doi:10.18273/revsal.v50n3-2018003
- Ramos-Galarza, C. (2021). Diseños de investigación experimental. *CienciAmérica*(10), 1-17. doi:10.33210/ca.v10i1.356.
- Rico, F., & Rico, H. (2014). El uso del suelo, ¿Un problema de capacidad productiva y de políticas públicas? *Revista Logos, Ciencia & Tecnología*, 5(2), 213-231.
- Rodríguez, J., & Olivella, R. (2009). *Introducción a los sistemas de información geográfica. Conceptos y operaciones fundamentales*. Barcelona: Universitat Oberta de Catalunya. Obtenido de <http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/53645/1/Introducci%C3%B3n%20a%20los%20sistemas%20de%20informaci%C3%B3n%20geogr%C3%A1fica.pdf>
- Rodríguez-Galiano, V., Ghimire, B., Rogan, J., Chica-Olmo, M., & RigolSanchez, J. (2012). An assessment of the effectiveness of a random forest classifier for land-cover classification. *ISPRS Journal of Clasificación y mapeo automático de coberturas del suelo en imágenes satelitales*(67), 93-104. doi:10.1016/j.isprsjprs.2011.11.002



- Siabato, W. (2018). Sobre la evolución de la información geográfica: las bodas de oro de los sig. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 27(1), 1-9. doi:10.15446/rcdg.v27n1.69500.
- Stehr, A. (2012). *Efectos del represamiento de ríos en países de América Latina y el Caribe sobre la biodiversidad, el agua, la alimentación y la energía*. CEPAL.
- Swanson, C., & Bohlman, S. (2021). Cumulative Impacts of Land Cover Change and Dams on the Land–Water Interface of the Tocantins River. *Frontiers in Environmental Science*, 9, 1-13. doi:10.3389/fenvs.2021.662904