

**ANÁLISIS HÍDRICO DEL MARGEN DERECHO DEL BRAZO DE MOMPOX EN  
EL CORREGIMIENTO DE LOS NEGRITOS, PERTENECIENTE AL MUNICIPIO  
DEL BANCO MAGDALENA**

**PROPUESTA DE TRABAJO DE GRADO**

**OPCIÓN DE GRADO: DIPLOMADO**

**ETILVIO BAENA RODRIGUEZ**

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA**

**FACULTAD DE ESTUDIOS A DISTANCIA - FAEDIS**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL**

**BOGOTÁ D.C., SEPTIEMBRE DE 2021**

**ANÁLISIS HÍDRICO DEL MARGEN DERECHO DEL BRAZO DE MOMPOX EN  
EL CORREGIMIENTO DE LOS NEGRITOS, PERTENECIENTE AL MUNICIPIO  
DEL BANCO MAGDALENA**

**ETILVIO BAENA RODRIGUEZ**

**CÓDIGO: 7302357**

**Propuesta de grado presentada como requisito parcial para optar al Título de  
Ingeniero Civil**

**Director:**

**Ing. Oswald Rene Santos Buitrago**

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA  
FACULTAD DE ESTUDIOS A DISTANCIA - FAEDIS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
BOGOTÁ D.C., SEPTIEMBRE DE 2021**

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar a Dios que me dio la fuerza y la voluntad para culminar mis estudios, a mi Familia, en especial a mi madre por no dejar de creer en mí y ser mi apoyo en cada momento que los necesité. A mi esposa por estar ahí dándome aliento cuando sentía que no iba poder lograrlo, a mis hijos que fueron mi motor para seguir a delante con mi carrera, a aquellos compañeros con los que establecí un gran lazo de amistad que perdurará en el tiempo que Dios nos dé.

A mis compañeros de trabajo que de una u otra manera se tomaron su tiempo para enseñarme cuando me sentía perdido y creyeron en mí.

Hoy cumplo una promesa de no desfallecer hasta haberlo logrado.

Gracias a todos por creer en mí.

Bogotá, D.C., septiembre de 2021

Señores:

**COMITÉ DE OPCIÓN DE GRADO  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
FACULTAD DE ESTUDIOS A DISTANCIA  
UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA**  
Ciudad.-

**Ref.:** Presentación propuesta

En cumplimiento del reglamento de la Facultad para el desarrollo de la Opción de Grado, me permito presentar para los fines pertinentes la propuesta titulada:  
**“Análisis Hídrico Del Margen Derecho Del Brazo De Mompox En El Corregimiento De Los Negritos, Perteneciente Al Municipio Del Banco Magdalena”.**

El Director es el Ingeniero **Oswald René Santos Buitrago**

Atentamente,

*Etilvio Baena R.*

---

**Etilvio Baena Rodriguez**

Código: 7302357

Estudiante de Ingeniería Civil

## APROBACIÓN

La propuesta de grado titulada “**análisis hídrico del margen derecho del brazo de mompox en el corregimiento de los negritos, perteneciente al municipio del banco magdalena**”, opción de grado Diplomado, presentada por el estudiante Etilvio Baena Rodríguez, en cumplimiento parcial de los requisitos para optar al título de “Ingeniero Civil” fue aprobada por el Director:

---

**Ing. Oswald Rene Santos Buitrago**  
Director

# Tabla de contenido

Tabla de contenido .....6

Tabla De Figuras .....7

Título .....10

Áreas.....10

Planteamiento del problema .....10

Justificación.....12

Objetivo General .....14

Marco Referencial .....14

Diseño Metodológico .....16

Resultados .....32

Impacto.....38

Conclusiones .....39

Referencias bibliográficas .....40

Anexos.....41

## Tabla De Figuras

Imagen A. tomada el 27 agosto 2021. Fuente: elaboración propia Imagen B. tomada el 07/ Septiembre 2021. Fuente: elaboración propia.....	11
Figura 1 Delimitación de área de trabajo en google earth pro ver.7.3.4.8248 Fuente: elaboración propia.....	17
Figura 2 Importación de archivo KML con área de trabajo al software Arc Map Fuente: elaboración propia .....	18
Figura 3. Establecer la proyección WGS84 A Magna Bogotá en el software Arc Map Fuente: elaboración propia .....	19
Figura 4. Superposición de los <i>feature clases</i> del IGAC en el software Arc Map Fuente: elaboración propia .....	19
Figura 5. Corte de <i>feature clases</i> en el polígono de trabajo en el software Arc Map Fuente: elaboración propia .....	20
Figura 6.Descarga de Imágenes satelitales desde sitio web earthdata.nasa.gov. Fuente: elaboración propia .....	20
Figura 7. <i>Generación del mosaico DEM de área de trabajo.</i> Fuente: elaboración propia .....	21

Figura 8.Corte o clip de área de trabajo en raster DEM. Fuente: elaboración propia.....	22
Figura 9. Asignación de proyección al raster DEM. Fuente: elaboración propia .....	22
Figura 10. Modelación de raster de pendientes. Fuente: elaboración propia .....	23
Figura 11. Modelación de raster de sombras. Fuente: elaboración propia.....	24
Figura 12 Modelación de curvatura. Fuente: elaboración propia.....	24
Figura 13.Generación de curvas de nivel. Fuente: elaboración propia .....	25
Figura 14. Generación de modelo de orientaciones. Fuente: elaboración propia .....	26
Figura 15 . Remoción de sumideros errados. Fuente: elaboración propia .....	26
Figura 16. Generación de modelo de dirección de flujo. Fuente: elaboración propia .....	27
Figura 17. Generación de modelo de Cuencas Hidrográficas. Fuente: elaboración propia .....	27
Figura 18. Generación de modelo de Acumulación de Flujo. Fuente: elaboración propia .....	28
Figura 19.Reclasificación de drenajes. Fuente: elaboración propia.....	28



Figura 20. Generando orden jerárquico de flujo. Fuente: elaboración propia .....	29
Figura 21. Vectorización de raster de flujo. Fuente: elaboración propia .....	30
Figura 22. Punto de fluidez Los Negritos. Fuente: elaboración propia.....	30
Figura 23. Generación de cuenca que afecta el punto de fluidez. Fuente: elaboración propia .....	30
Figura 24. Generación de longitud de cauce principal. Fuente: elaboración propia .....	31

## **Título**

El título seleccionado para el proyecto es:

*“Análisis hídrico del margen derecho del brazo de Mompo en el corregimiento de Los Negritos, perteneciente al municipio de El Banco, Magdalena”*

## **Áreas**

Hidráulica, Topografía.

## **Planteamiento del problema**

El Banco, es un municipio ubicado en el cono sur del departamento del Magdalena, en el que confluyen la desembocadura del Río Cesar, la Ciénaga de Zapatoza, el Río Magdalena y en el que inicia el brazo de Mompo el cual es un ramal del Río Magdalena, el municipio de El Banco tiene una extensión rural de 252,1 KM<sup>2</sup> los cuales en su mayoría se encuentran a orillas de los cuerpos de agua que rodean su territorio. El área de estudio es el corregimiento Los Negritos, que se encuentra a 14 km de la cabecera municipal en el margen derecho del brazo de Mompo. En época de invierno y teniendo en cuenta que estos corregimientos se ubican después de la desembocadura del Río Cesar, el cual incrementa el caudal que fluye en el brazo de Mompo, quedan expuestos a inundaciones, las cuales no solo pone en riesgo sus vidas, sino que también en el mejor de los casos les hacen perder cultivos o animales de los cuales dependen para su diario vivir.

En el caso específico de El Banco, Magdalena, la cota de desbordamiento está definida a los 27,91 m.s.n.m según CORMAGDALENA (Corporación Autónoma Regional del Río Grande de la Magdalena ), sin embargo en el corregimiento las cotas de terreno están entre los 25 m.s.n.m y los 27 m.s.n.m y está asentado en terrenos que en su mayoría son aluviales por tanto es muy común que en época de invierno esta cota de terreno mínima sea alcanzada y superada entre otros motivos por la sedimentación del río y del brazo de Mompox, sumado a que no se le realizan dragados constantes en puntos específicos de la topografía local, en donde sus corregimientos son los más afectados por estos fenómenos, a tal punto que para mitigar los efectos causados por estas inundaciones en estructuras de uso público, el gobierno ha destinado dineros para la construcción de colegios, puentes, y construcción de casas temporales tipo palafíticas. Sin embargo, en los corregimientos que se ubican en el margen del río, y que pertenecen a El Banco, Magdalena, no se ha diseñado o construido ningún elemento de protección de carácter definitivo para evitar que esto siga sucediendo, por lo cual cada temporada invernal los pobladores deben tomar medidas rudimentarias para evitar el avance de las aguas hacia sus terrenos.

Las figuras 1 y 2 corresponden a fotografías con 11 días de diferencia entre sí y fueron tomadas desde la misma ubicación en terrenos aluviales 5 km antes del corregimiento Los Negritos.



Figura 1. Tomada el 27 agosto 2021. Fuente: elaboración propia.



Figura 2. Tomada el 07 de septiembre 2021. Fuente: elaboración propia

En las anteriores imágenes, se puede evidenciar cómo el agua se toma poco a poco el terreno aluvial, lo que demuestra la problemática que se estudia en este documento.

Bajo este contexto, se plantea el siguiente problema:

*La falta de un análisis hídrico del brazo de Mompox sobre el margen derecho del río, ha traído como consecuencia que a la fecha no se tengan estructuras de contención adecuadas y bien ubicadas para solucionar un problema que por años ha azotado a los habitantes de las veredas de este municipio.*

De acuerdo con esta situación, el interrogante principal del proyecto propuesto se define como:

*¿Se pueden identificar los sitios de mayor probabilidad de inundaciones en el corregimiento de Los Negritos, Magdalena y diseñar estructuras para evitar dicha situación?*

## **Justificación**

Este análisis se realiza con el fin de identificar los puntos sobre el margen derecho del Brazo de Mompox en el corregimiento de Los Negritos, perteneciente al municipio de El Banco Magdalena en donde las aguas del río ingresan a la población ribereña generando inundaciones, y una vez identificados, considerar cuáles son las opciones más viables para la protección del corregimiento, así mismo establecer las bases para posteriores análisis de soluciones definitivas, y que también pueda servir de apoyo para cualquier población de la ribera del río que presente este mismo problema.

El Brazo de Mompox es una de las zonas más críticas de la depresión Momposina, conformada por tierras bajas inundables (llanuras aluviales), tierras altas ribereñas (terrazas terciarias de espesor, altura y drenaje variables), y colinas y estribaciones de la Serranía de San Lucas, Perijá, Ayapel y San Jacinto. Sus interconexiones con cuerpos de agua existentes en la depresión Momposina (ciénagas y humedales) favorecen el incremento del nivel del agua debido

al ascenso de los niveles freáticos, sobresaturando el suelo e impidiendo las escorrentías, ocasionando que las aguas se estanquen y desborden, causando eventos de inundación en la mayoría de la zona (R. A. Castro Padilla et al., 2021).

Si bien en entidades como IDEAM, UNGRD y CORMAGDALENA han realizado estudios en donde se puede conseguir información valiosa referente a las inundaciones que se han presentado en el país, éstas no hacen énfasis en cada una de las áreas inundadas. Por tanto, para el análisis de este ensayo, es necesario desarrollar mapas más puntuales del área de estudio.

De esta manera, este trabajo busca no solo definir los puntos críticos en donde el agua genera inundaciones, sino buscar soluciones viables que se puedan adaptar a las condiciones topográficas del área objeto de estudio, y con esto mejorar las condiciones de vida de los lugareños, en cuanto que puedan vivir tranquilos y confiados que sus viviendas no volverán a quedar anegadas y que a su vez perderán sus cultivos y animales.

Así mismo al aplicar los conocimientos adquiridos en el diplomado SIG, el proceso de análisis de datos e imágenes satelitales se facilita y se agiliza, ya que con las herramientas del software ArcMap se pueden tomar grandes extensiones de terreno y realizar diferentes análisis para obtener resultados de una manera rápida y efectiva, y de esta manera identificar aquellos puntos que representan un riesgo en época de invierno, para así tomar medidas correctivas en época de verano y evitar calamidades en el corregimiento.

¿Significaría una mejoría importante en la calidad de vida de algunos individuos?

El análisis y posterior identificación de estos puntos críticos de la topografía local, permitiría plantear posibles soluciones definitivas para evitar que el agua entre a sus viviendas, y de esta manera evitar que los habitantes de Los Negritos, Magdalena, estén con la zozobra de una posible inundación, lo cual les brindaría tranquilidad en todas las épocas del año, ya que al dejar atrás estas calamidades pueden mejorar sus condiciones de vida.

## **Objetivo General**

Identificar los puntos de mayor riesgo de inundación en el corregimiento de Los Negritos, Magdalena, sobre el margen derecho del brazo de Mompox, empleando herramientas de Sistemas de Información Geográfica

## **Objetivos específicos**

- Utilizar los conocimientos adquiridos en el diplomado SIG para realizar análisis de imágenes satelitales e identificar características topográficas del área de estudio.
- Identificar los puntos críticos sobre el margen del Río Magdalena en el corregimiento de Los Negritos para establecer el comportamiento de los mismos en época de invierno utilizando herramientas propias del software ArcMap.
- Analizar los riesgos de inundación en el corregimiento de Los Negritos, teniendo en cuenta los resultados obtenidos.

## **Marco Referencial**

Las inundaciones son un fenómeno natural ocasionado por fuertes lluvias que generan grandes volúmenes de agua que llegan a superar los cauces de ríos y canales, es un fenómeno que ha existido a través de la historia en el cual, las civilizaciones se han visto afectadas por su accionar. Algunas de ellas, como la egipcia, se adaptaron y utilizaron ese tiempo esperado para cultivar aprovechando lo fértil que quedaba la tierra luego del retiro de estas aguas. En la antigua China estas inundaciones también eran utilizadas para el cultivo de alimentos y de esta manera estos fenómenos antes de ser temidos, eran símbolos de producción. Sin embargo, con el paso de tiempo, las inundaciones pasaron de ser eventos esperados a convertirse en sinónimo de desastres y catástrofes humanas, debido al cambio climático y a un crecimiento desordenado de la población en áreas vulnerables y propensas a sufrir por este tipo de fenómenos.

A lo largo de este documento se encontrarán términos que hacen referencia a conceptos técnicos los cuales pertenecen al área que nos compete, que es: análisis hídrico y mapeo mediante el uso de Sistemas de información Geográfica.

Inundación: del latín. Inundatio, -ōnis. 1. f. Acción y efecto de inundar. 2. f. Cantidad excesiva de algo. (RAE, 2021). La UNESCO en su Glosario Internacional de Hidrología, define inundación como: 1) Desbordamiento del agua fuera de los confines normales de un río o cualquier masa de agua. 2) Acumulación de agua procedente de drenajes en zonas que normalmente no se encuentran anegadas. 3) Encharcamiento controlado para riego (WMO, 2012),

Análisis Hídrico: Se entiende por análisis hidrológico la evaluación cualitativa y cuantitativa de las relaciones entre pluviometría y fluviometría de una determinada cuenca, y de los registros que de ella se generarán, con el fin de determinar los recursos hídricos disponibles. Esta disponibilidad podrá ser superficial o subsuperficial.(Arumí et al., 2008)

El periodo invernal de 2010-2011 durante el llamado fenómeno de LA NIÑA en Colombia generó un incremento anormal de las lluvias, lo que trajo consigo grandes inundaciones y a su vez una emergencia humanitaria por pérdidas tanto de vidas como materiales. En su mayoría estas grandes pérdidas se centraron en el área rural colombiana, siendo el departamento del Magdalena uno de los más golpeados por este fenómeno. A la fecha todavía existen familias que desde esa época viven en casas que fueron diseñadas como refugios temporales y que al perderlo todo no tienen a dónde ir o cómo reiniciar su vida.

El gobierno colombiano ha destinado recursos para realizar estudios a nivel general encargando a las siguientes entidades: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD),

Corporación Autónoma Regional del Río Grande de la Magdalena (CORMAGDALENA), para que realice análisis de las zonas inundables o expuestas a desastres en el país. Estos estudios han dado como resultado varios textos que sirven de apoyo para un análisis general, textos como: Atlas de riesgos de Colombia ( UNGRD, 2018a), Estudio nacional del agua (IDEAM, 2015), e Impacto de fenómenos recurrentes ( UNGRD, 2018b).

## **Diseño Metodológico**

Basado en los conocimientos adquiridos en el Diplomado de Sistemas de Información Geográficos, se realizaron mapas según la necesidad del estudio, para el caso particular se utilizó el software ArcMap versión 10.7.1 provisto en el diplomado y el software Google Earth Pro. Según las necesidades requeridas, se siguieron los pasos establecidos para obtener los resultados deseados.

En primer lugar, se llevó a cabo la localización y delimitación del área de estudio, la cual fue el corregimiento de Los Negritos, perteneciente al municipio de El Banco, Magdalena, el cual se encuentra a 17 kilómetros del casco urbano a un costado de la carretera Nacional 78 que comunica a los municipios de El Banco con Guamal, ambos en el departamento del Magdalena.

Para el desarrollo del análisis, se siguió la secuencia aprendida en el diplomado. En primer lugar, se necesita delimitar un área de trabajo en Google Earth Pro como herramienta de análisis inicial, para lo cual se genera un polígono de 30 km<sup>2</sup>, como se muestra en la figura 3, en la cual se puede ver el área delimitada de trabajo.



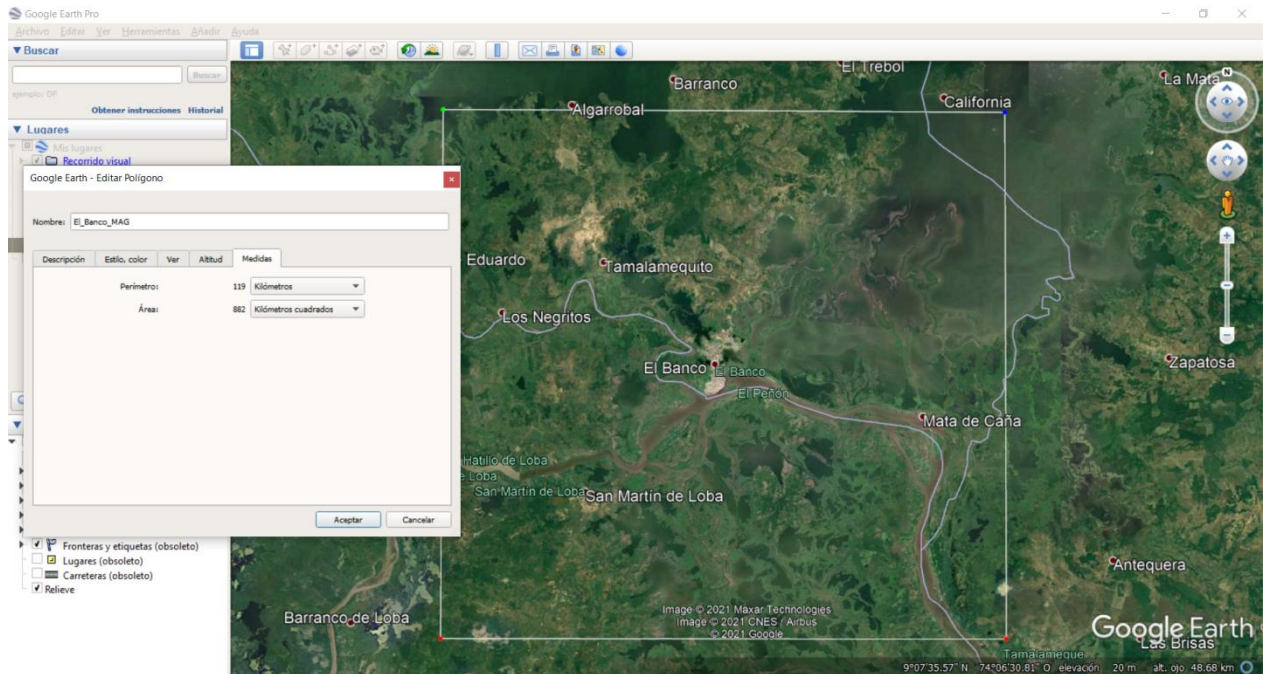


Figura 3 Delimitación de área de trabajo en Google Earth Pro ver.7.3.4.8248. Fuente: elaboración propia

- Una vez delimitada el área de trabajo, se procedió a guardar el archivo en una extensión KML, y posteriormente importar dicho archivo en el software ArcMap versión 10.7.1.11595, con el cual se desarrollaron los mapas para el análisis espacial e hídrico. En la figura 4 se muestra el proceso de importación del archivo KML



Figura 4 Importación de archivo KML con área de trabajo al software ArcMap. Fuente: elaboración propia

- Una vez importado el archivo KML se procedió a establecer la proyección con la cual se trabajaría durante el mapeo, proceso que se indica en la Figura 5. La proyección escogida fue WGS84 a Magna origen Bogotá, acción que se realizó con el comando *Project*.

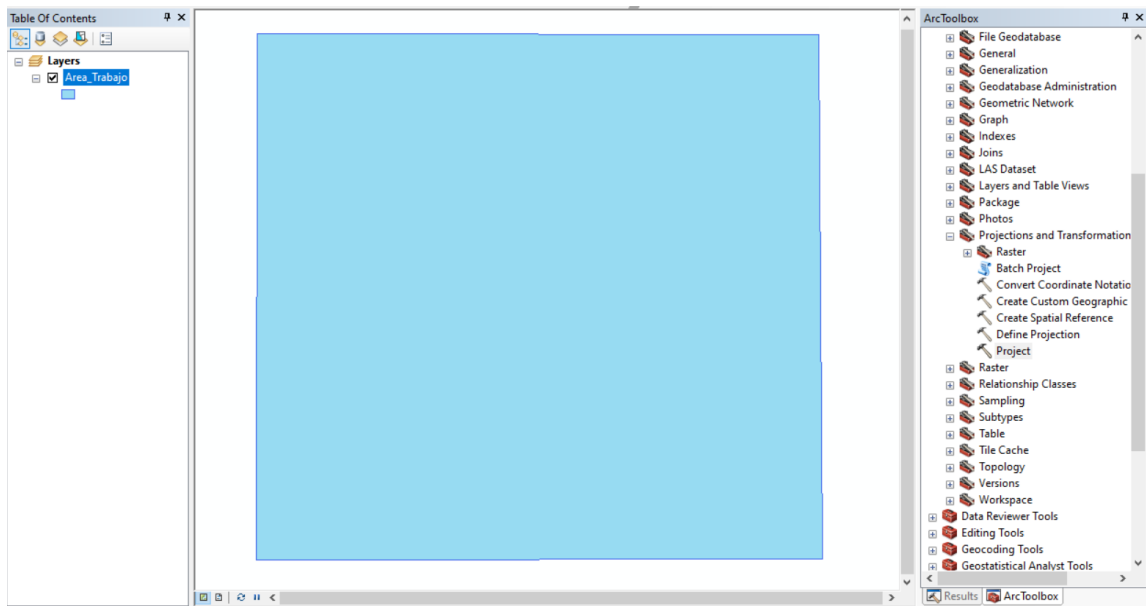


Figura 5. Establecer la proyección WGS84 A Magna Bogotá en el software ArcMap. Fuente: elaboración propia

- Luego de tener claro bajo qué proyección se iba a realizar el trabajo, se procedió a descargar información del IGAC para superponer los *feature classes* de la *geodatabase* del IGAC 100.000 que intervienen en el área de trabajo. En la figura 6 se pueden ver los *feature classes* encontrados en la *geodatabase* del IGAC, los cuales dan una base de análisis de las cuencas que se encuentran en el área.

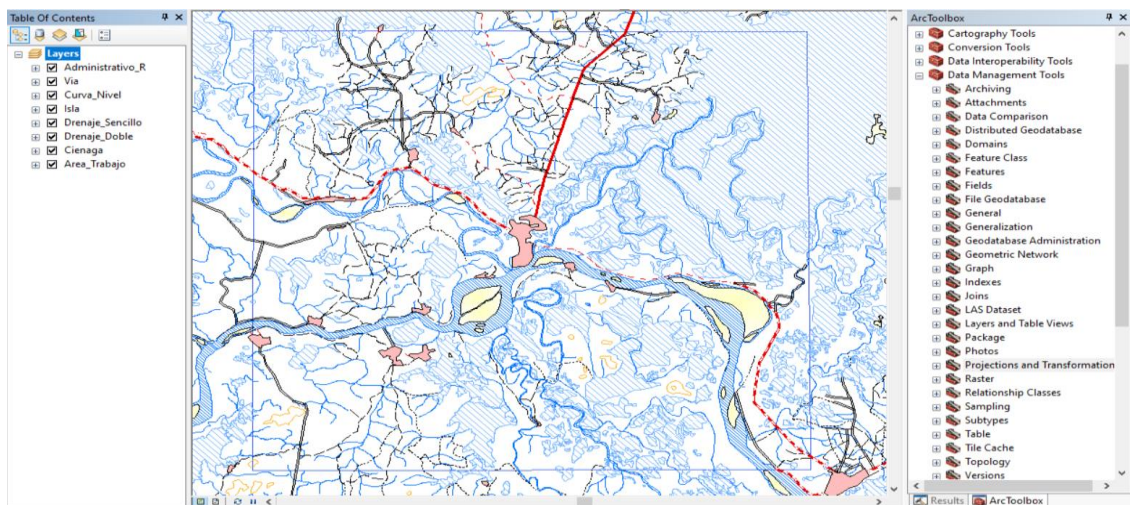


Figura 6. Superposición de los *feature classes* del IGAC en el software ArcMap Fuente: elaboración propia

- Tras llevar a cabo la superposición de los *feature classes*, se procede a realizar los cortes de cada uno de ellos con el polígono del área de trabajo. En la figura 7 se puede ver el corte realizado a los *feature classes* del IGAC, donde se muestra el área de trabajo con en el cual se realizó el análisis de este documento.

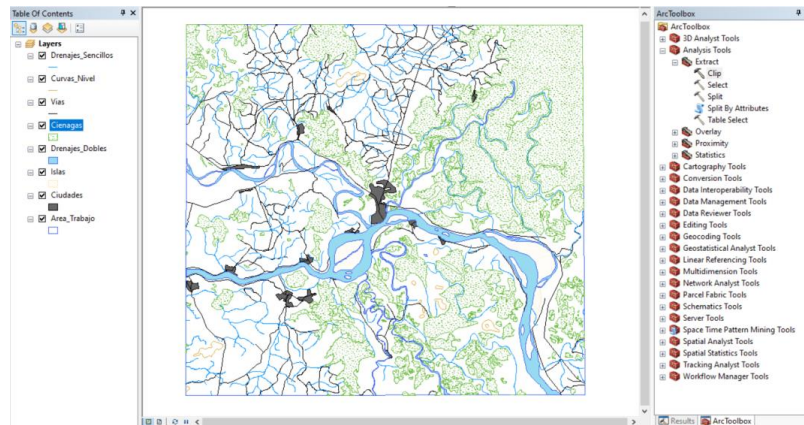


Figura 7. Corte de *feature classes* en el polígono de trabajo en el software ArcMap Fuente: elaboración propia

- Realizado el corte de los *feature classes* del IGAC, se procedió a descargar las imágenes satelitales DEM del satélite ALOS PALSAR desde la página web de la NASA, tal como se puede ver en la figura 8, en donde se muestra el paso a paso de selección de los DEM en los que el área de estudio esté incluida.

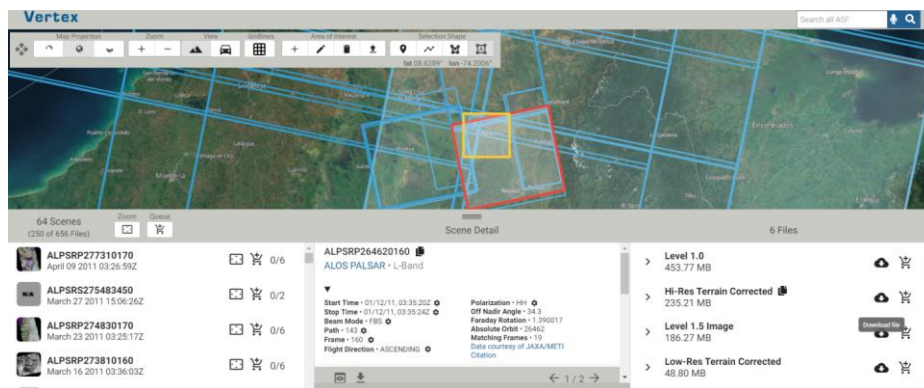


Figura 8. Descarga de Imágenes satelitales desde sitio web earthdata.nasa.gov. Fuente: elaboración propia

Obtenidos los raster de los DEM descargados, se procedió a generar el mosaico con el comando *mosaic*, el cual se puede ver en la figura 9, donde se realiza un clip al raster para obtener el mosaico.

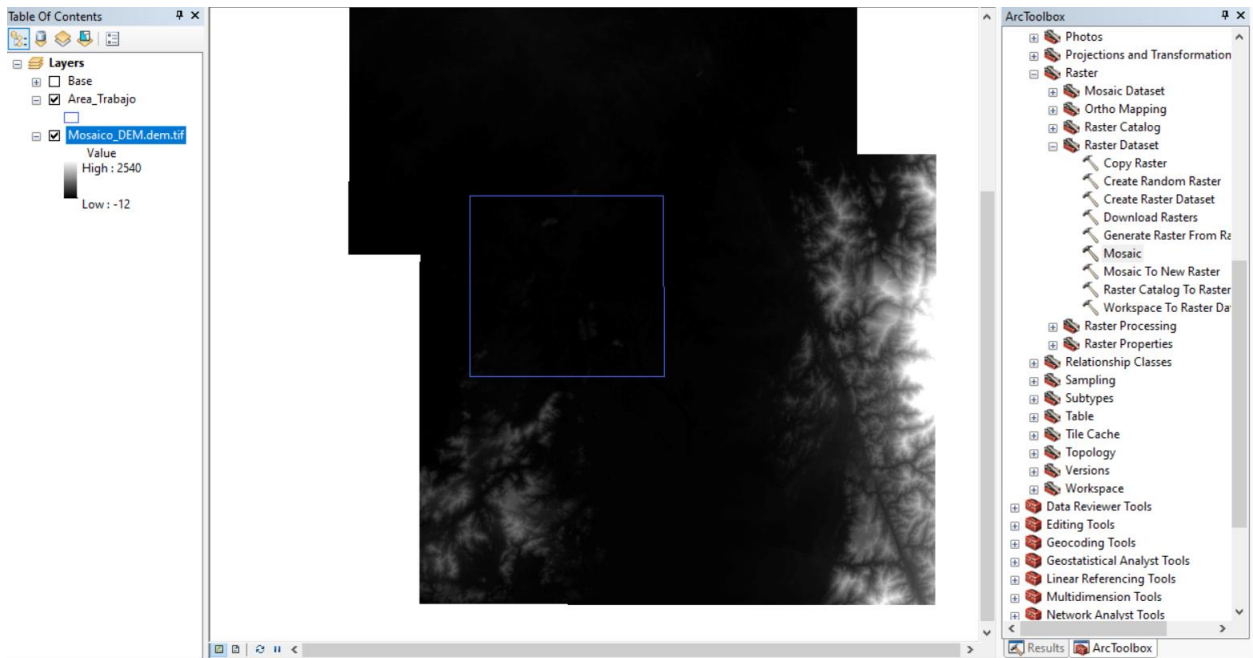


Figura 9. Generación del mosaico DEM de área de trabajo. Fuente: elaboración propia

- Generado el mosaico, se realizó el corte o clip del raster para delimitar el área de trabajo en dicho raster. La figura 10 muestra el clip realizado para delimitar el área de trabajo en el DEM obtenido previamente.

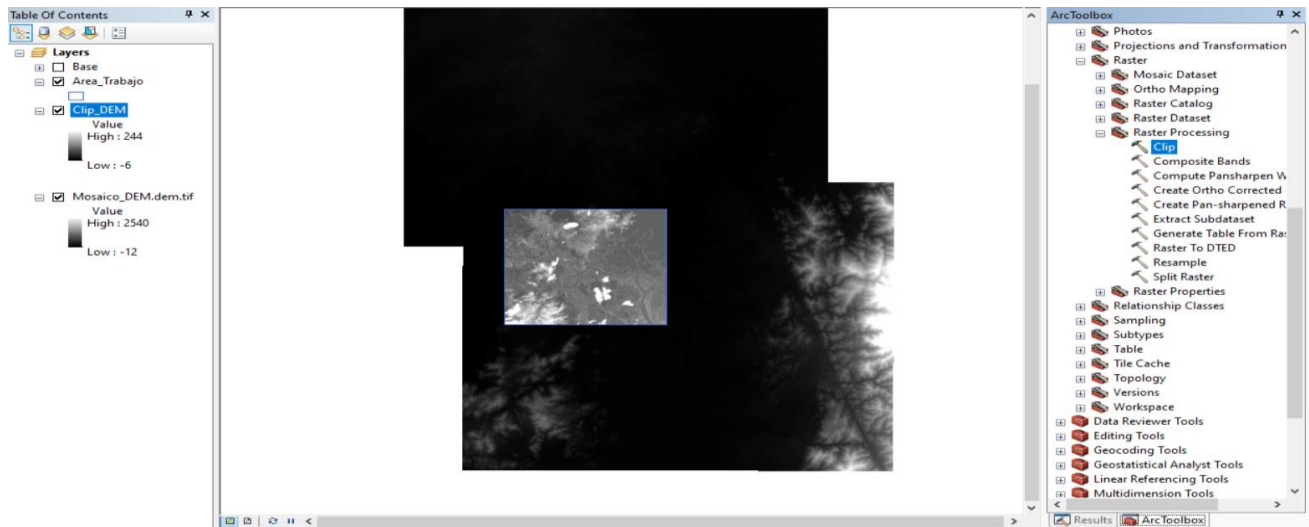


Figura 10. Corte o clip de área de trabajo en raster DEM. Fuente: elaboración propia

- Establecido el área a trabajar con el raster, se le asigna la proyección WGS84 MAGNA origen Bogotá al clip, utilizando el comando Project raster, como se muestra en la figura 11.

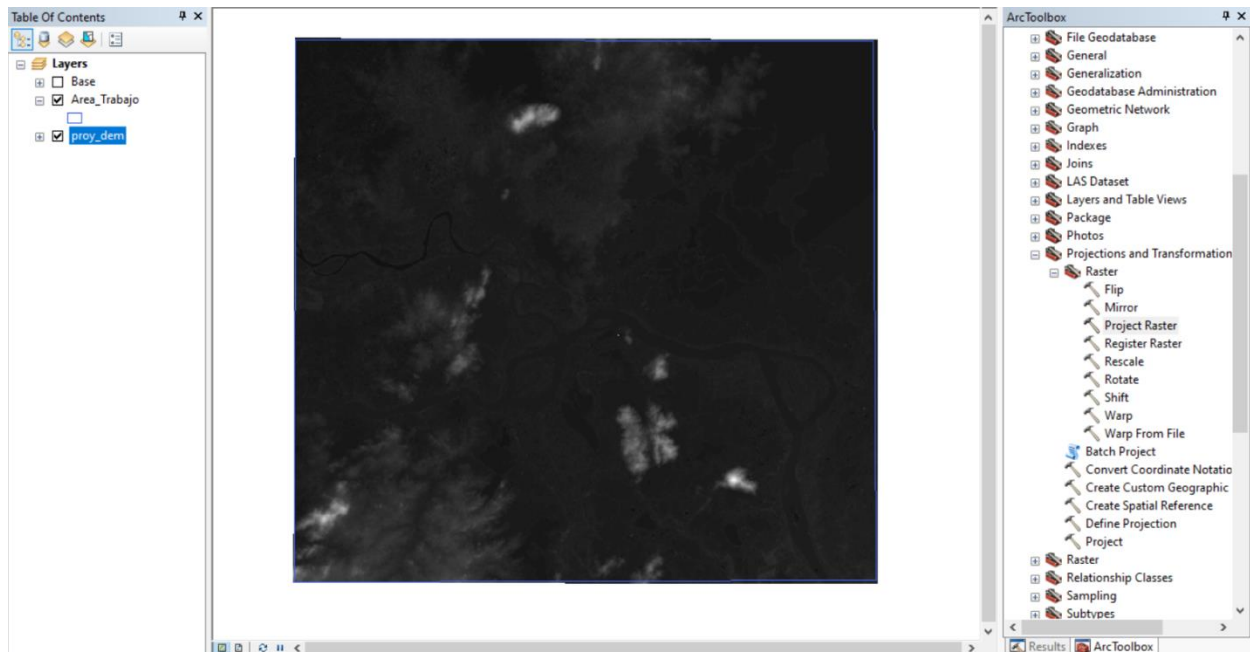


Figura 11. Asignación de proyección al raster DEM. Fuente: elaboración propia

- Una vez asignada la proyección se genera el modelo de pendientes utilizando el comando *slope* del Arctoolbox. Tal como se muestra en la figura 12, el modelado de pendientes indica cuáles sectores del área de trabajo tienen terrenos elevados.

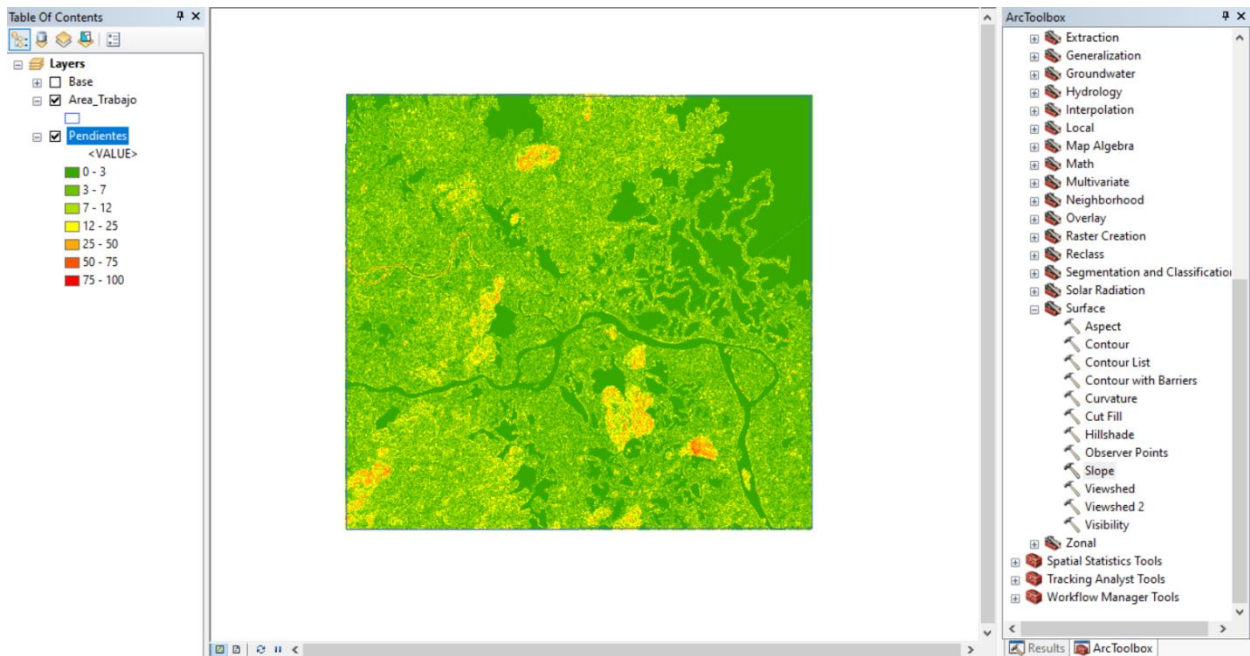


Figura 12. Modelación de raster de pendientes. Fuente: elaboración propia

- En la figura 13 se muestra el resultado de la generación del modelo de sombras, el cual sumado al modelo de pendientes confirma que el área de trabajo es plana en su mayoría.

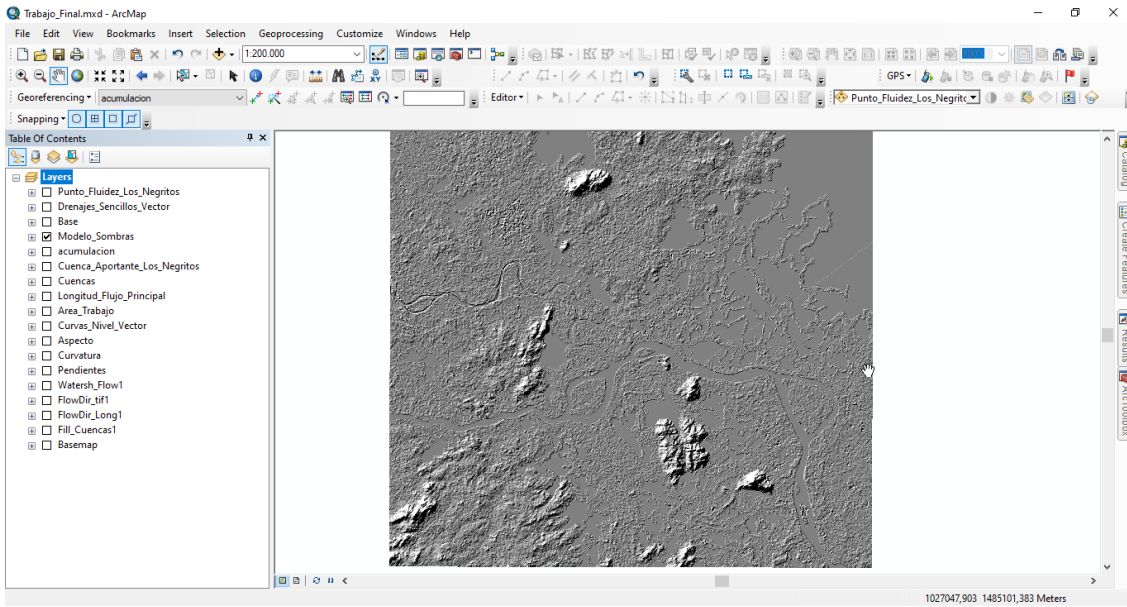


Figura 13. Modelación de raster de sombras. Fuente: elaboración propia

- Generados los modelos de pendientes y de sombras, en la figura 14 se muestra el resultado de generar el modelo de curvatura con el comando *curvature*, el cual sirve para identificar las zonas más cóncavas y las zonas más convexas del área de trabajo.

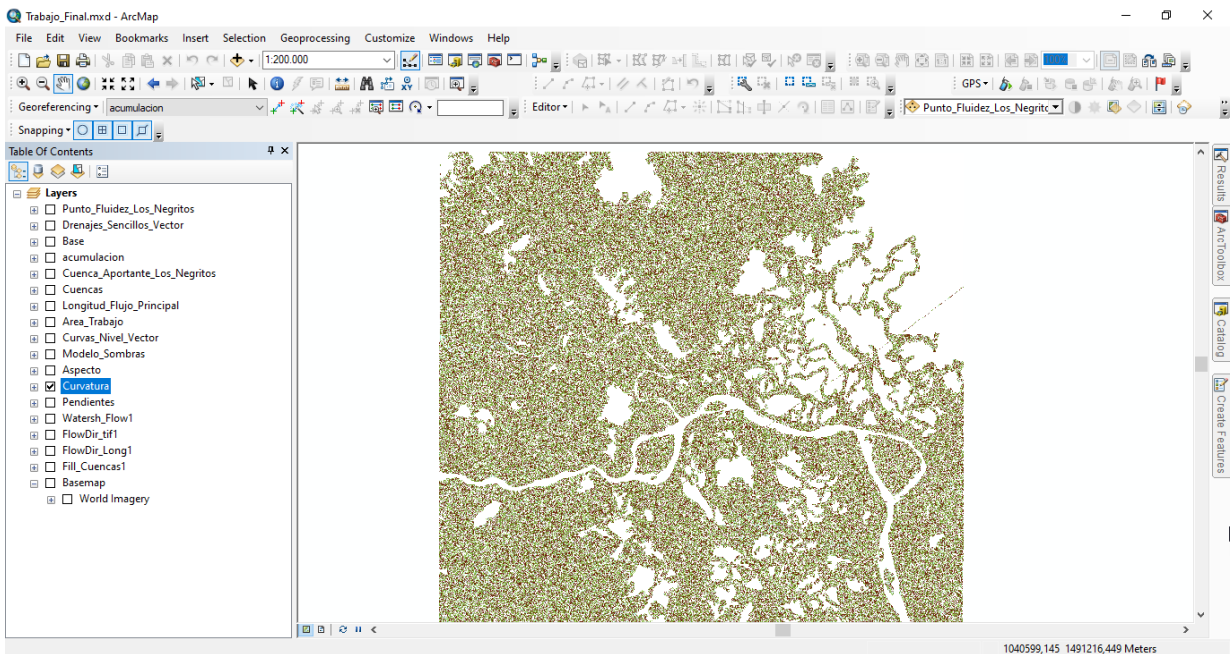


Figura 14 Modelación de curvatura. Fuente: elaboración propia



- Para continuar con la modelación y obtener la información más veraz del área de trabajo, en la figura 15 se puede ver cómo se procede a generar las curvas de nivel con un intervalo de 15 metros del área de estudio.

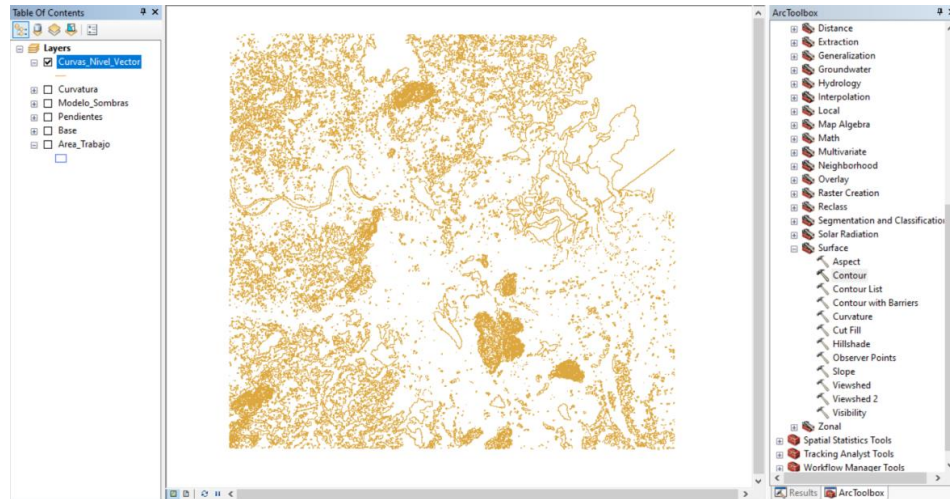


Figura 15. Generación de curvas de nivel. Fuente: elaboración propia

- Con el fin de identificar la orientación espacial de cada pixel en el área de trabajo, se procedió a generar el modelo de orientaciones. En la figura 16 se observa el modelo obtenido donde cada pixel indica la orientación de las pendientes del área de trabajo y de esta manera se pudo corroborar la información obtenida en el modelo de sombras, que muestra pocos puntos elevados en la topografía.

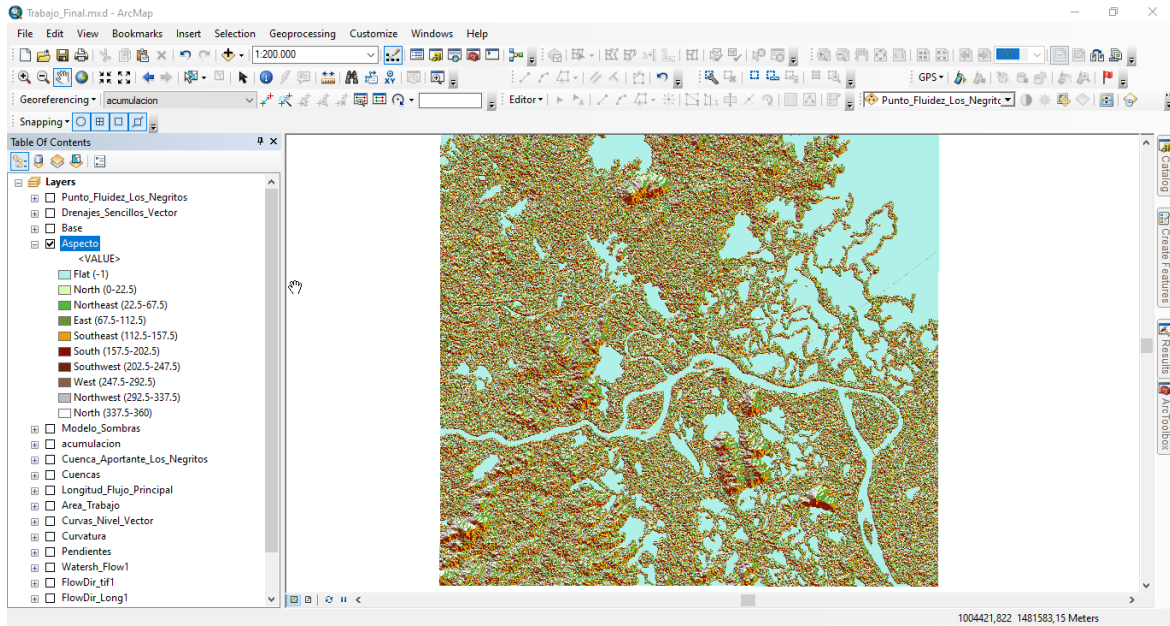


Figura 16. Generación de modelo de orientaciones. Fuente: elaboración propia

- Teniendo en cuenta que para el programa no le es fácil distinguir valles naturales a menor escala, esto puede generar errores al asumirlos como sumideros, por lo tanto, se procedió a remover esos sumideros errados con el comando *fill*. En la figura 17 se puede observar el resultado del relleno de sumideros obtenidos por error.

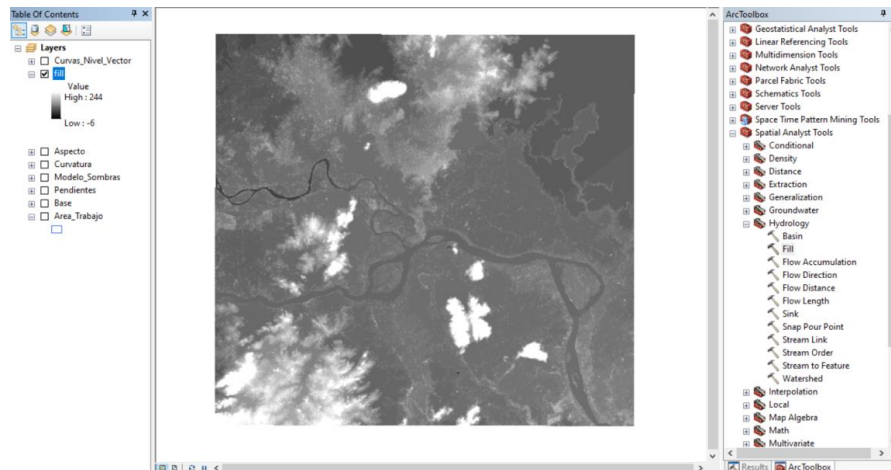


Figura 17. Remoción de sumideros errados. Fuente: elaboración propia

- Una vez removidos los sumideros errados, se generó el modelo de dirección de flujo con el comando *flow dirección*. En la figura 18 se muestra la dirección del flujo del área de trabajo.

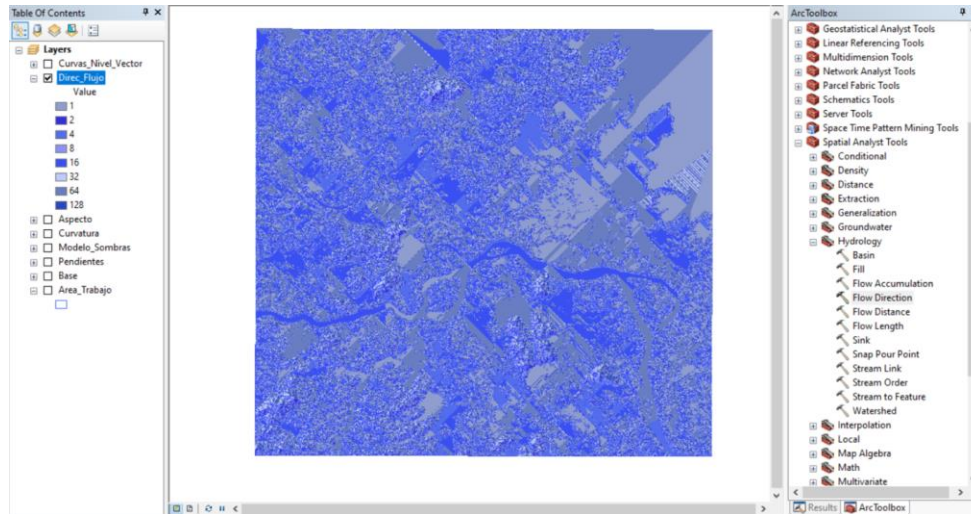


Figura 18. Generación de modelo de dirección de flujo. Fuente: elaboración propia

- Establecidas las direcciones del flujo, se procede a generar las cuencas hidrográficas del área de estudio utilizando el comando *basinc*. En la figura 19, se puede ver que el área de estudio se encuentra rodeada de cuencas de gran tamaño, las cuales se muestran en una tonalidad más oscura.

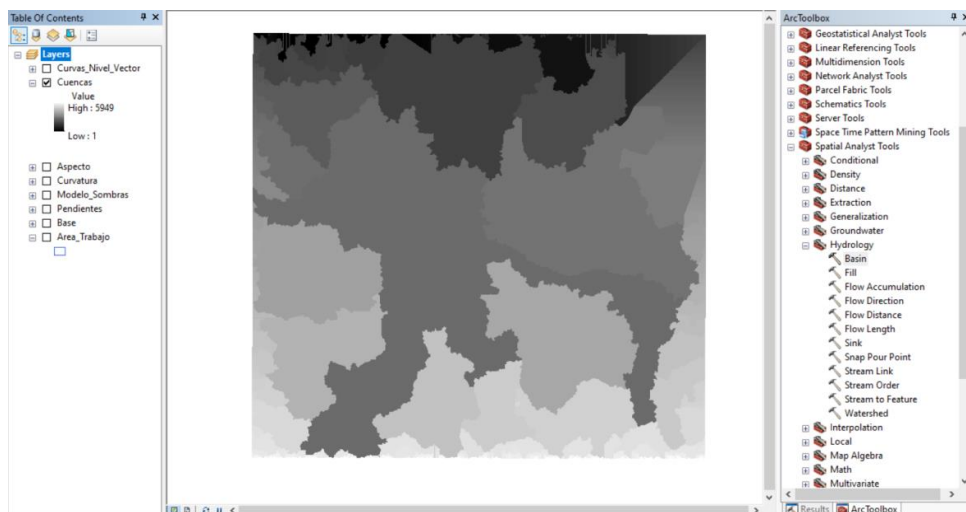


Figura 19. Generación de modelo de Cuencas Hidrográficas. Fuente: elaboración propia

- Obtenido el modelo de cuencas, es necesario identificar cuales áreas son las que acumulan flujo y para eso se generó el modelo de acumulación de flujo. El cual se puede evidenciar en la figura 20, en donde se muestran los drenajes principales de agua en todo el raster.

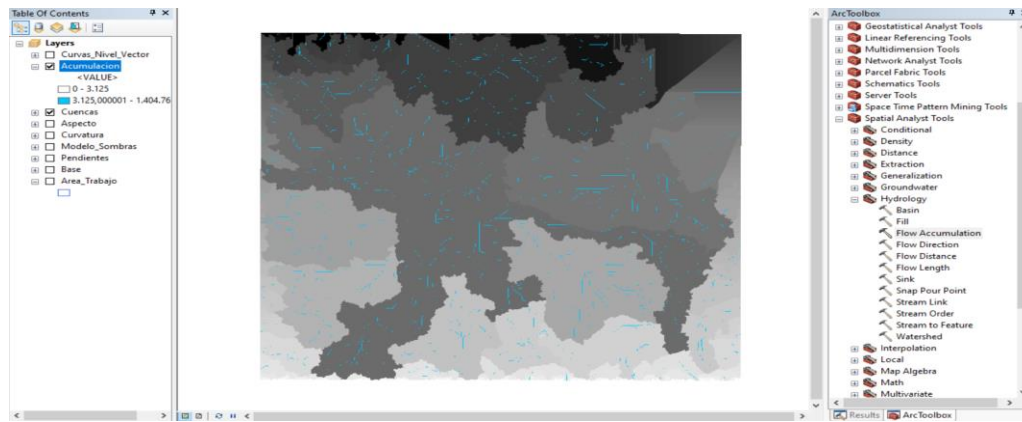


Figura 20. Generación de modelo de Acumulación de Flujo. Fuente: elaboración propia

- Identificados los puntos de acumulación de flujo, es necesario reclasificarlos para separar los drenajes, asumiendo un área mínima para la formación de un drenaje de 0.45 km<sup>2</sup>. En la figura 21 se pueden observar cuáles son los drenajes que cumplen con el requerimiento específico de que realmente sean drenajes importantes en la cuenca.

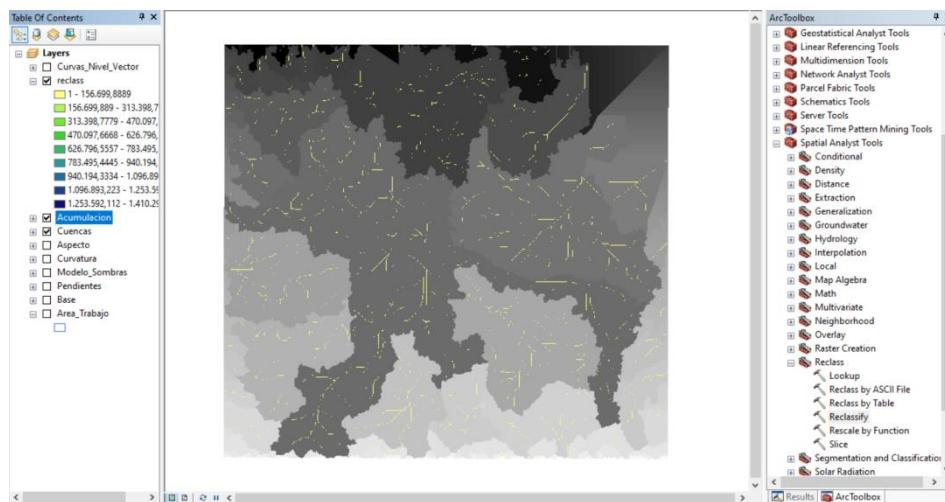


Figura 21. Reclasificación de drenajes. Fuente: elaboración propia

- Luego de la reclasificación, es necesario establecer un orden jerárquico de flujo, para así identificar cuáles aportan más. Esto se observa en la Figura 22, en donde se puede ver el resultado de la reclasificación.

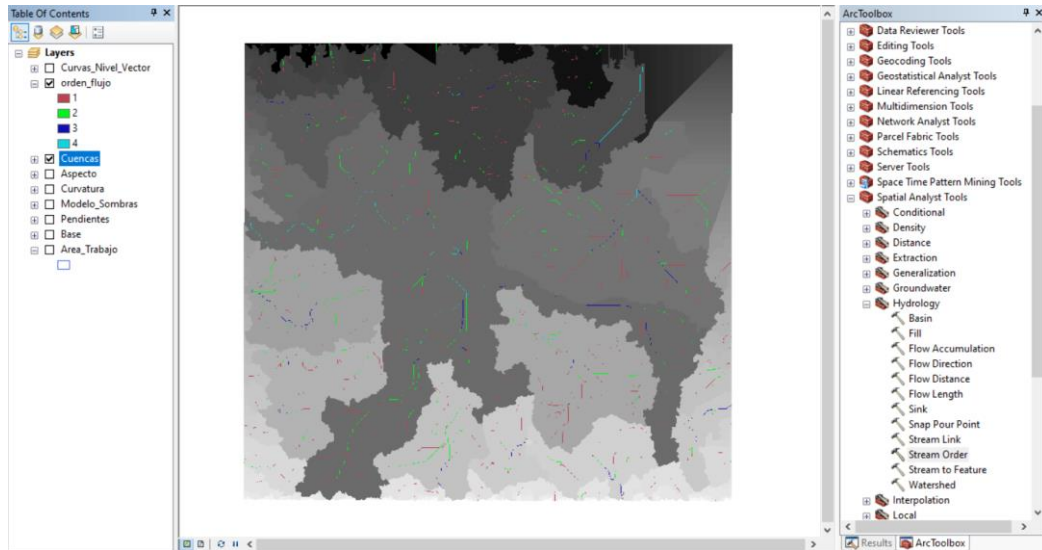


Figura 22. Orden jerárquico de flujo. Fuente: elaboración propia

- Una vez establecidos los drenajes por jerarquía, se procedió a realizar la vectorización del Raster de flujo con el comando *stream order*, En la Figura 23 se puede evidenciar la precisión que se obtuvo con el software para generar los drenajes a partir del DEM.

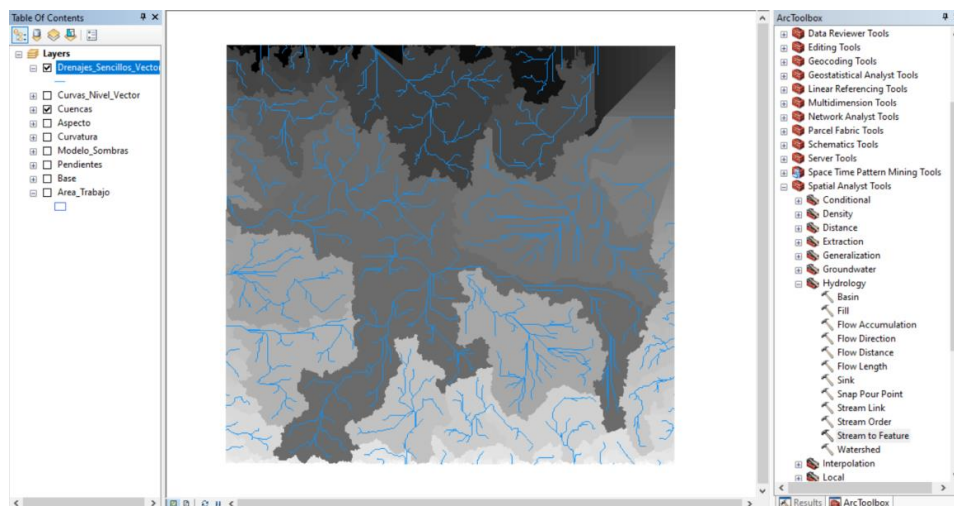


Figura 23. Vectorización de raster de flujo. Fuente: elaboración propia

- Teniendo en cuenta que es necesario establecer un punto de fluidez en el área de estudio, para ser más específico, en el corregimiento de Los Negritos, se estableció el punto que se muestra en la figura 24, en donde además se pueden ver los drenajes que afectan al corregimiento.

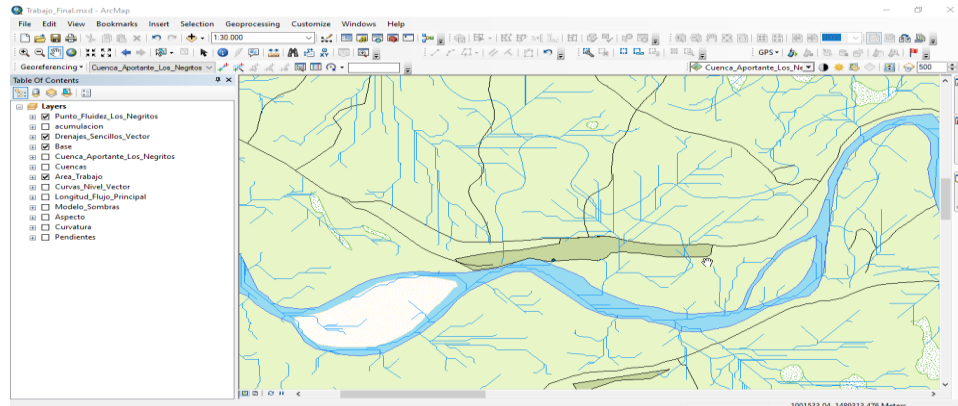


Figura 24. Punto de fluidez Los Negritos. Fuente: elaboración propia

- Habiendo establecido el punto de fluidez en el área de estudio, es necesario generar la cuenca que afecta directamente al corregimiento, para esto se utilizó el comando *watershed*. En la figura 25 se puede ver la cuenca que afecta el corregimiento en color verde.

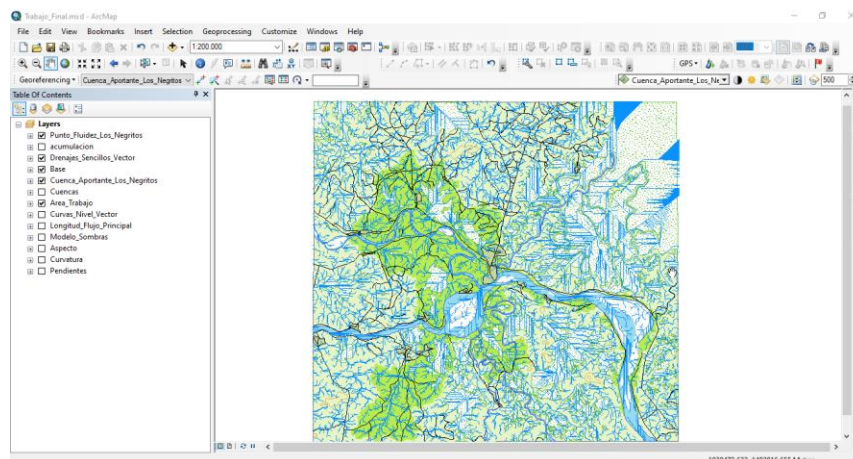


Figura 25. Generación de cuenca que afecta el punto de fluidez. Fuente: elaboración propia

- Para este momento, es necesario establecer la longitud del cauce principal, para lo cual se utilizó el comando *Flow Length*, es claro ver que el caudal principal que afecta al área de trabajo se encuentra debajo de ésta, el cual es el Río Magdalena que mantiene un constante intercambio hídrico con las ciénagas que circundan el área. En la figura 26 se observa en color verde claro el área de la cuenca del Río Magdalena, que debido a los drenajes existentes en la región mantiene un intercambio de flujo constante a las ciénagas cercanas y por tal motivo en época de fuertes inviernos estas aguas sobrepasan los bordes naturales de las mismas y comienzan a inundar zonas de pastizales y cultivos, y de igual manera comienzan a drenar por las diferentes alcantarillas hacia el corregimiento.

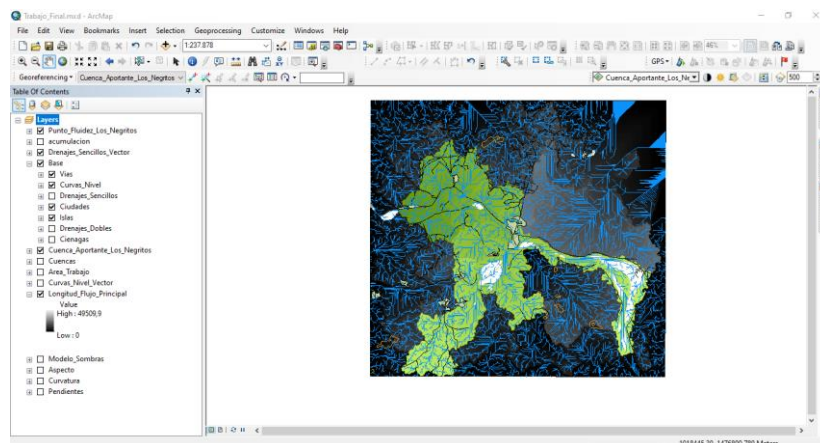


Figura 26. Generación de longitud de cauce principal. Fuente: elaboración propia

## Resultados

Los resultados obtenidos deben considerar las condiciones hídricas de la región, la cual hace parte de la depresión Momposina, que como se sabe su topografía está compuesta por una gran cuenca sedimentaria y cuerpos cenagosos temporales y permanentes, los que en invierno aumentan considerablemente su superficie, tal como se puede observar en la figura 27, en donde se muestran las características típicas de esta región y se pueden observar los diversos cuerpos de agua que rodean esta región.

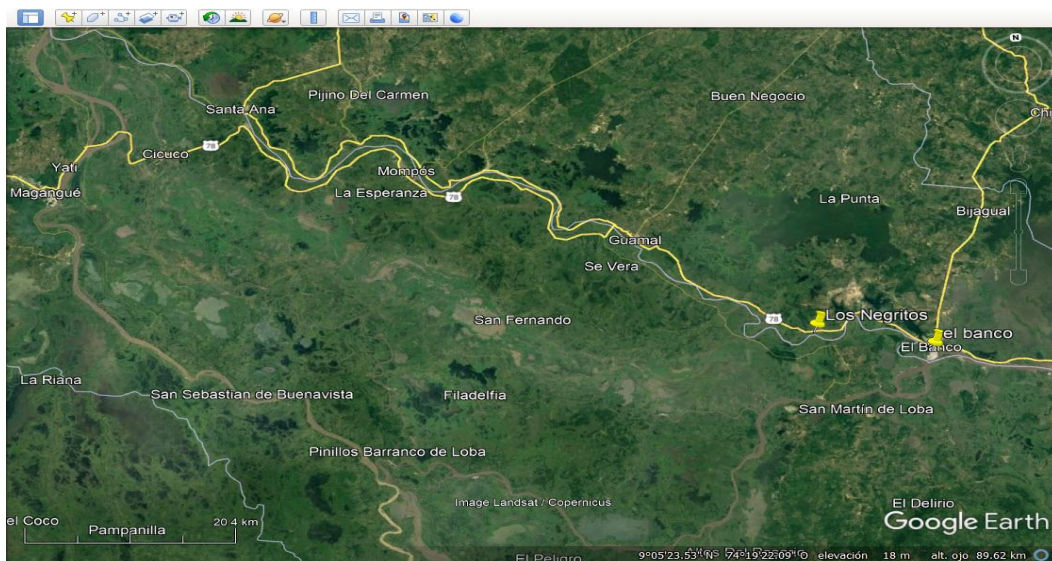


Figura 27. Ubicación general del corregimiento dentro de la región de la depresión Momposina. Google Earth 2021.

De igual manera era necesario tener en cuenta las características propias del terreno y cuáles eran sus condiciones generales, y una vez establecido cuáles eran las condiciones particulares del terreno si proceder a realizar los diferentes modelos para nuestro análisis. Para esto se requirió delimitar el área de estudio a una zona más pequeña dentro de la región de la depresión. Tal como se puede ver en la figura 28, en donde se observa el área de estudio en la que se observa que el terreno en general está rodeado por ciénagas y zonas inundables.



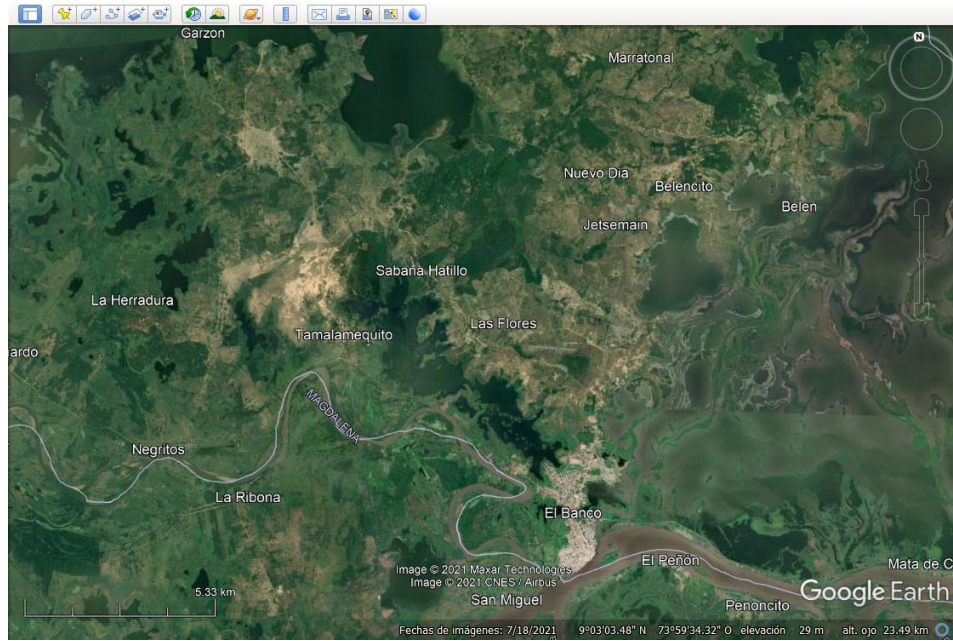


Figura 28. Ubicación del área delimitada de estudio dentro de la depresión Momposina. Google Earth 2021.

Con el área establecida, se dio inicio al procesamiento de los diferentes modelos para realizar el análisis de la información obtenida en ArcMap. Se pudo observar desde la modelación de las pendientes del área, que el terreno es prácticamente plano en su mayoría, con solo algunos puntos elevados, lo cual se pudo corroborar con el modelo de sombras (Anexo 1), para verificar cuáles áreas eran más propensas a retener agua por su condición topográfica y cuál va a evacuar las aguas de manera rápida.

Se generó el modelo de curvatura y con este dato se puede entender la escorrentía y la distribución de las aguas del terreno, lo cual al generar las curvas de nivel mostró cuáles eran los drenajes naturales por los cuales el agua escurre hacía el interior de los terrenos inundables, sin embargo ante estos datos se necesitó generar el modelo de orientaciones con el fin de ver la dirección que tiene cada pixel del DEM y de esta manera identificar la dirección de la pendiente y aquí se corroboró lo que el modelo de pendientes mostró con anterioridad, ya que las áreas con valor -1 el software las identificó como zonas planas y al revisar esas áreas, resultaron ser las

ciénagas y cauces de ríos o drenajes y los otros valores de píxeles son áreas más altas pero no con mucha pendiente.

Teniendo en cuenta que en el modelo de orientaciones se pueden presentar errores por falta de información en el DEM era necesario generar un relleno para no cometer errores de interpretación y de esta manera identificar los sumideros reales del área y no confundirlos con valles naturales, así las cosas al identificar cuáles eran los sumideros principales como lo son el Río Magdalena como el principal aportante y el brazo de Mompox como sumidero de influencia en la ribera del corregimiento se descartaron errores previos de interpretación por falta de datos reales, ya con esta información se corrobora lo que se evidencia en terreno y se genera un modelo real para el análisis de la información.

Al momento de calcular la dirección de los flujos el modelo indica que las aguas corren en dirección a las ciénagas y siguen también el cauce principal de los ríos y de igual manera se ve que las aguas rodean completamente el corregimiento, tal como se pudo observar en la figura 28, dado que la zona posterior es igual de baja pero por su poca pendiente el caudal se mantiene mínimo, a menos que la cantidad de agua que llegue a las ciénagas sea mayor de la que ellas puedan retener.

En la etapa de generación del modelo de cuencas hidrográficas (Anexos 2 y 3), se evidenció que las cuencas que afectan la Región provienen no solo del Brazo de Mompox como se pensaría inicialmente, sino también desde la ciénaga de Zapatoza, la cual recibe las aguas del Río Cesar y que posteriormente desemboca en el Río Magdalena justo antes de ingresar al Municipio de El Banco, y presenta intercambios hídricos con aquellas ciénagas más pequeñas que por los diferentes drenajes existentes terminan transportando el agua directamente a la cuenca que se encuentra en el área del corregimiento, la cual a su vez como se indicó también recibe las aguas del Brazo de Mompox. Esto muestra que son las mismas que el modelo de dirección de flujos

indicó, por tanto, esta información es consistente con los resultados arrojados en la modelación previa.

Por otro lado, teniendo en cuenta que una de las condiciones para que se forme un drenaje es que se necesitan 0.45 km<sup>2</sup>, hubo necesidad de reclasificar los drenajes de acumulación y de esta manera obtener cuáles drenajes afectan directamente a Los Negritos. De esta manera se pudieron identificar cinco (5) drenajes que afectan directamente al pueblo desde su parte alta, de los cuales 1 viene directamente del río y recarga los terrenos bajos que se encuentran detrás de la carretera y los otros cuatro (4) sirven como aliviadero en caso de acumulación excesiva de agua, estos drenajes coinciden con las alcantarillas que hay justo en el pueblo tal como lo muestra la figura 29, en donde se muestra la ubicación de las alcantarillas que están a lo largo del tramo del corregimiento.

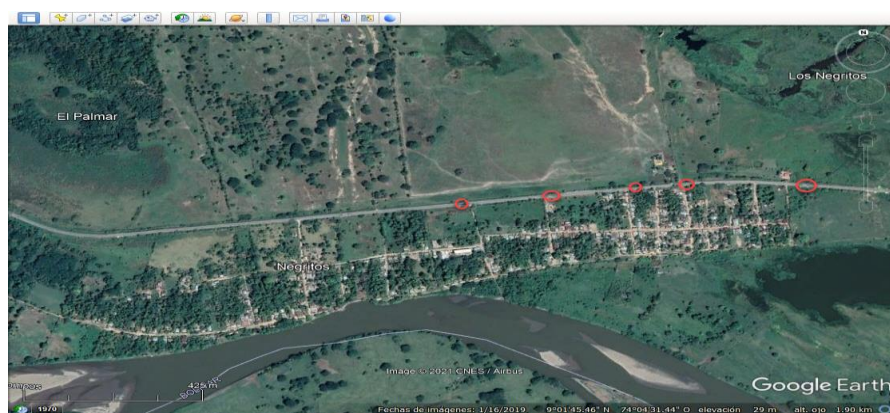


Figura 29. Localización de alcantarillas a lo largo del corregimiento. Google Earth 2021.

En las figuras 30 y 31 se puede observar cómo el agua proveniente del Brazo de Mompox, fluye hacia las zonas más bajas detrás del corregimiento. Lo que inicia el proceso de recarga hídrica de los cuerpos cenagosos en las zonas bajas y que posteriormente puede resultar en una sobrecarga que lleve las aguas por medio de los otros cuatro (4) drenajes hacia el corregimiento.



Figuras 30 y 31. Ingreso de agua por alcantarilla por drenaje directo del Brazo de Mompox. Fuente: Propia, tomada el 09-11-2021

Al modelar el orden de flujo, se confirmó que estos cuatro (4) drenajes restantes recogen el agua de otros que se encuentran pasando la carretera y que los recargan, aumentando su caudal lo que los hace los drenajes a los cuales se les debe prestar mayor atención. Si bien ya se ha identificado cuáles son los drenajes de mayor importancia, también es necesario establecer cuáles son los drenajes en general que aportan a estos. Para esto fue necesario realizar la modelación de drenajes sencillos y vectorizarlos, y ya para este punto se muestran con precisión los drenajes aportantes y se confirma el resultado obtenido con la modelación de orden de flujo.

Al tener identificados cuáles son los drenajes que descargan en el pueblo, es necesario establecer un punto de fluidez para identificar cuáles cuencas generan impacto sobre estos cuatro (4) drenajes, una vez modelado, el software nuevamente confirma los datos obtenidos en el modelo de *flow direction* y de cuencas hidrográficas. (Anexo 4)

Para este momento del análisis con la generación del modelo de longitud del cauce principal (Anexo 5), se pudo observar que debido a la recepción de las aguas del Río Cesar en el Río Magdalena unos kilómetros antes del corregimiento, aunado al caudal del mismo en época de invierno y las aguas que fluyen desde la ciénaga de Zapatoza hacia terrenos más bajos por medio de drenajes naturales, el área de estudio se ve afectada por el constante intercambio de agua que

representan tanto el Río Magdalena, como la ciénaga de Zapatoza, elementos hídricos que conforman una gran cuenca la cual se aprecia en el Anexo 5. El resultado de este modelo, es congruente con las imágenes obtenidas en sitio y por medio del programa Google Earth. En la figura 32 se puede ver cómo en época de invierno, estas tierras bajas reciben grandes cantidades de agua, lo cual confirma el resultado obtenido.



Figura 32. Imagen de tierras bajas en área de estudio. Fuente propia, tomada 09-11-2021

Lo anterior se pudo corroborar también mediante preguntas realizadas en campo, ya que al indagar acerca de la inundación del año 2010-2011 la respuesta fue “antes la carretera no estaba tan alta, y el agua entró por la parte de atrás del pueblo, el agua en la entrada daba hasta el pecho, pero a la orilla del Río no llegó”.

Así las cosas, con esta información obtenida realizando el paso a paso de los procesos SIG se pudo determinar que, si bien la elevación de la nueva vía mitiga de alguna manera estos eventos, el hecho de haber dejado alcantarillas que permiten el paso del agua a lo largo del corregimiento, generan canales de drenaje que, en época de fuerte invierno, terminarían por dar velocidad al agua, lo cual es devastador en caso de inundación ya que no daría tiempo de salvar nada a los habitantes. En este punto el software ArcMap indica que si bien el río directamente no sería el causante de una inundación a pesar de ser un corregimiento ribereño, aguas arriba las ciénagas

tienen drenajes naturales con el río y con las tierras bajas para el intercambio de aguas, lo cual termina afectando todo el terreno circundante, de esta manera al recibir más agua de la que estas ciénagas pueden contener, inmediatamente los drenajes de mayor capacidad, que a su vez se conectan con otros espejos de agua en este complejo cenagoso, tienden a transportar todo el flujo de agua hacia las pendientes más bajas, y es en este punto en donde las alcantarillas de la carretera nacional 78 se convertirían en un sistema de alivio de las aguas que salen de las ciénagas y que su vez serían las causantes de las inundaciones en el corregimiento.

## **Impacto**

El resultado de este análisis muestra aquellos puntos por los cuales se pueden presentar inundaciones en el corregimiento de Los Negritos, datos que pueden servir como punto de partida para buscar soluciones de ingeniería que permitan a la comunidad del corregimiento tener una vida digna y tranquila, sin tener que pensar que en invierno sus vidas y sus pertenencias están a merced del agua. Hay que destacar que los habitantes del corregimiento son personas que viven de la pesca, del cultivo y de la ganadería a menor escala, actividades que no representan en su mayoría grandes ingresos y por tanto son personas humildes a los que las inundaciones los dejan prácticamente sin nada y sin cómo reiniciar su vida de una manera fácil.

## Conclusiones

El uso de herramientas SIG para el análisis de comportamiento hídrico es vital, toda vez que para estudiar grandes extensiones de tierra y solo hacerlo con herramientas topográficas convencionales como estaciones y niveles, tomaría un tiempo considerable solo para la obtención de datos, sin embargo con las herramientas SIG y teniendo en cuenta el acceso a información espacial que se tiene hoy en día, la modelación de información se puede hacer muy rápidamente y es muy confiable si se tiene conocimiento de lo que se está analizando.

Para este estudio se escogió un área sobre la cual se tiene fácil acceso a datos de campo, y los resultados obtenidos en cada uno de los pasos del análisis demostraron la fiabilidad de estos resultados, ya que con ellos se pudo entender lo que ocurre realmente en el corregimiento.

De igual manera se estableció cuáles eran los puntos por los cuales es factible el ingreso de agua que genere una posible inundación y dejar las bases para que en futuros estudios de potenciales soluciones de ingeniería, esta información pueda dinamizar los resultados para beneficio de la comunidad.

## Referencias bibliográficas

Arumí, J., Jara, J., & Salgado, L. (2008). Análisis Hidrológico. *Universidad de Concepción, 1*, 1–45.

IDEAM. (2015). Estudio Nacional del Agua 2014. En *Estudio Nacional del Agua 2014*.

Castro, R. A., et al., (2021). Amenaza y vulnerabilidad por inundación del brazo de Mompóx (Río Magdalena), corregimiento de Cantera, Bolívar, Colombia. *Prospectiva*, Vol 19, N° 2, Tomado de: <https://doi.org/10.15665/rp.v19i2.2712>

UNGRD. (2018a). Atlas de Riesgo de Colombia: revelando los desastres latentes. Unidad Nacional Para La Gestión Del Riesgo de Desastres, 269. Tomado de: <https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/handle/20.500.11762/27179>

UNGRD. (2018b). *Impactos de los eventos recurrentes y sus causas en Colombia*.

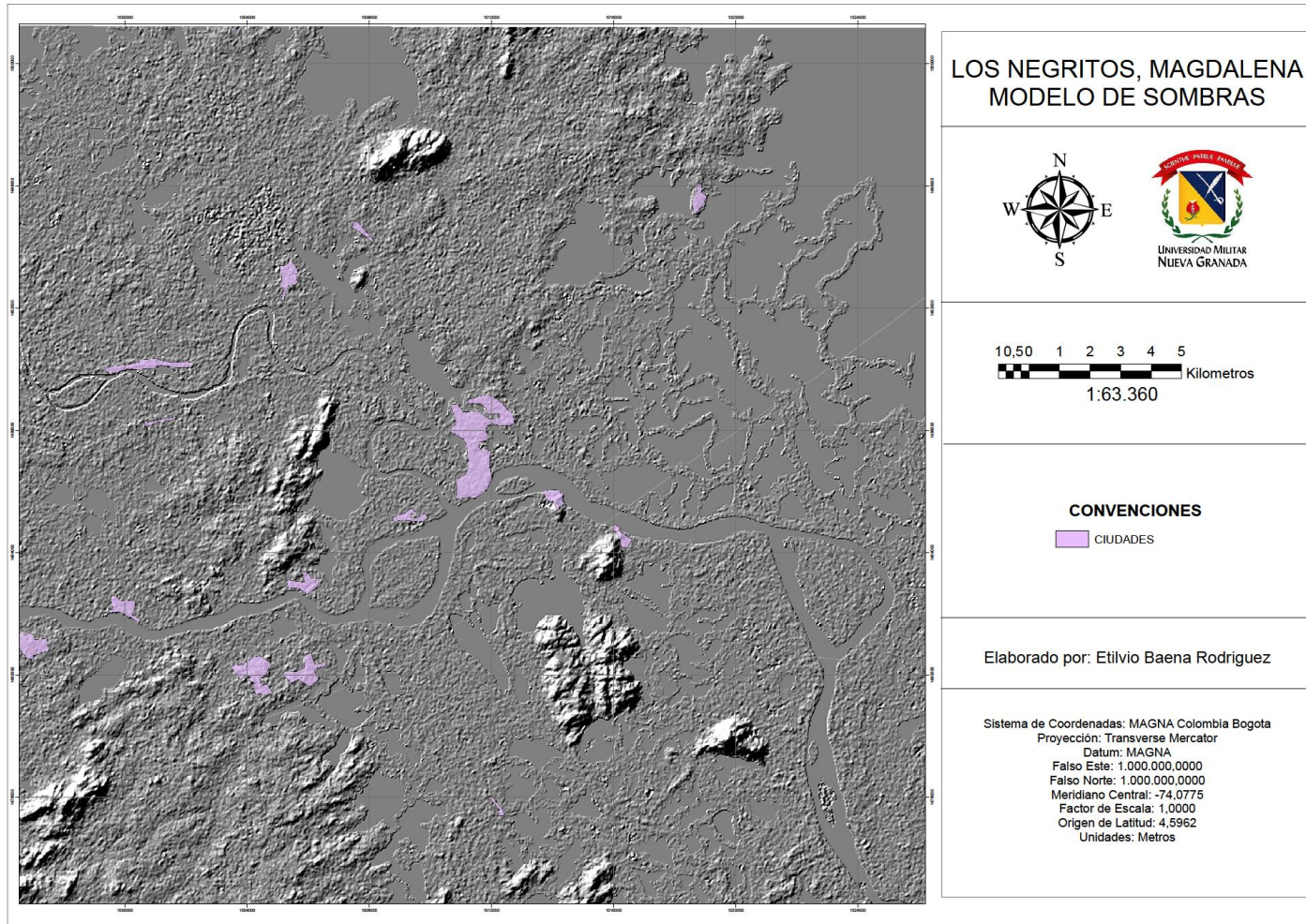
WMO. (2012). Glosario hidrológico internacional. In *IHP/OHP-Berichte* (Issue 12).

[http://www.wmo.int/pages/prog/hwrp/publications/international\\_glossary/385\\_IGH\\_2012.pdf](http://www.wmo.int/pages/prog/hwrp/publications/international_glossary/385_IGH_2012.pdf)

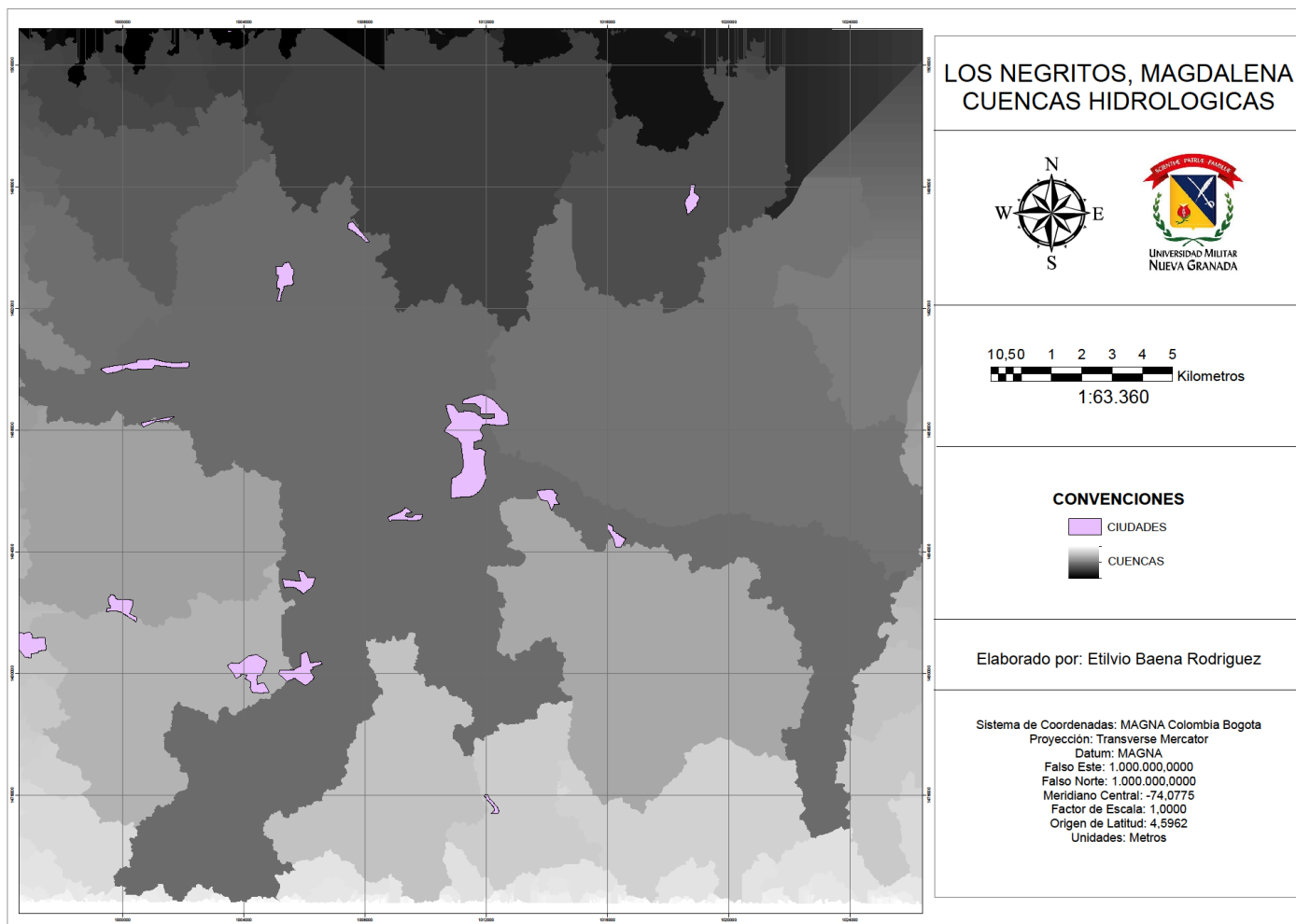


# Anexos

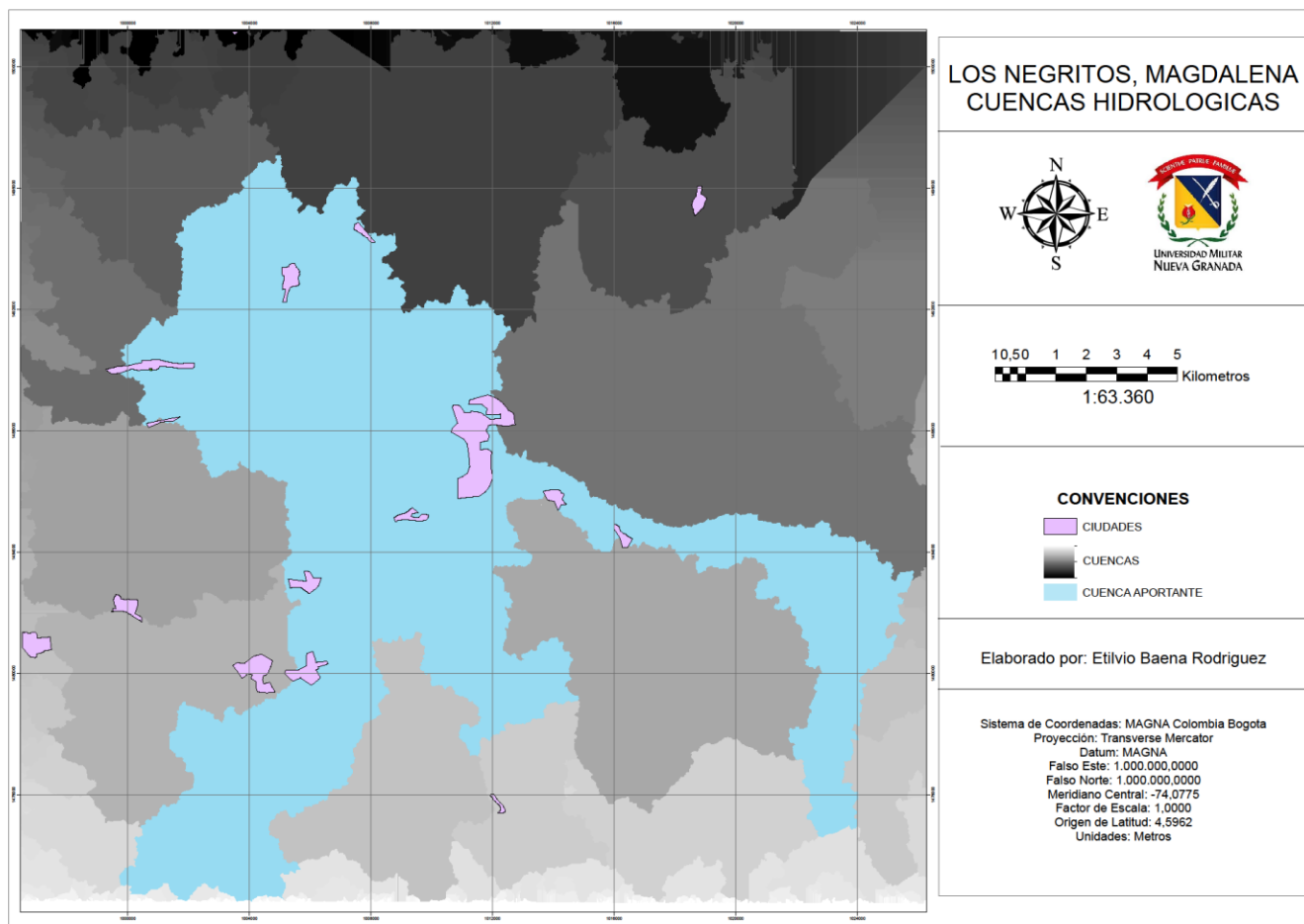
## Anexo 1. Modelo de Sombras



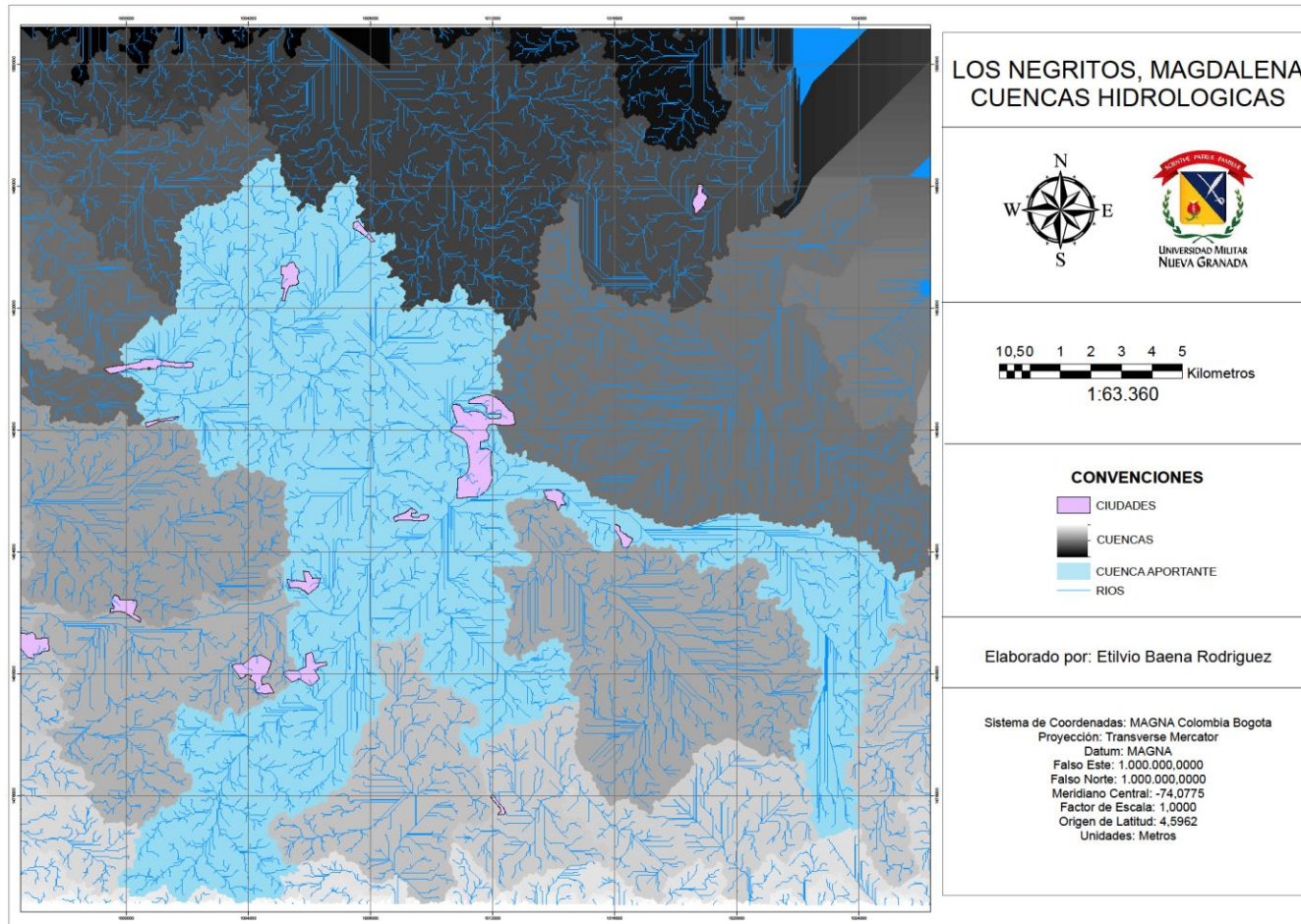
## Anexo 2. Cuencas Hidrológicas que afectan la región.



### Anexo 3 Cuencas Hidrológicas que afectan el corregimiento.



Anexo 4 Cuencas Hidrológicas y drenajes que afectan la región.



Anexo 5. Longitud de flujo principal que afecta la región.

