

**APLICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA EN EL
DISEÑO Y TRAZADO DE LA VÍA LA CORDILLERA – LLANOS DE URARCO,
MUNICIPIO DE BURITICÁ-ANTIOQUIA**



AUTOR

RENÉ ALEJANDRO RESTREPO PÉREZ

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:

INGENIERIA CIVIL

Director:

ING. ÁLVARO ANDRÉS CASTAÑEDA SÁNCHEZ

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA

FACULTAD DE ESTUDIOS A DISTANCIA

PROGRAMA INGENIERIA CIVIL

BOGOTÁ, 20 JUNIO 2021



Trabajo Opción de Grado para optar por el título de Ingeniería Civil
René Alejandro Restrepo Pérez

DIPLOMADO EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA-SIG

**APLICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA EN EL
DISEÑO Y TRAZADO DE LA VÍA LA CORDILLERA LLANOS DE URARCO,
MUNICIPIO DE BURITICÁ-ANTIOQUIA**

RENÉ ALEJANDRO RESTREPO PÉREZ

CÓDIGO: D7302000

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

**Director:
ÁLVARO ANDRÉS CASTAÑEDA SÁNCHEZ**

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



Trabajo Opción de Grado para optar por el título de Ingeniería Civil
René Alejandro Restrepo Pérez



Trabajo Opción de Grado para optar por el título de Ingeniería Civil
René Alejandro Restrepo Pérez

Bogotá, D.C., junio 11 de 2021

Señores:

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

Ref.: Solicitud opción de grado

En cumplimiento del reglamento de la Facultad para el desarrollo de la Opción de Grado, me permito presentar para su estudio y aprobación la opción de trabajo de grado: **“Diplomado en Sistemas de Información Geográfica SIG”- APLICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA EN EL DISEÑO Y TRAZADO DE LA VÍA LA CORDILLERA – LLANOS DE URARCO, MUNICIPIO DE BURITICÁ-ANTIOQUIA**

Atentamente,

René Alejandro Restrepo Pérez
Código: D7302000
Estudiante de Ingeniería Civil



Trabajo Opción de Grado para optar por el título de Ingeniería Civil
René Alejandro Restrepo Pérez

APROBACIÓN

La propuesta de grado titulada **“APLICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA EN EL DISEÑO Y TRAZADO DE LA VÍA LA CORDILLERA – LLANOS DE URARCO, MUNICIPIO DE BURITICÁ-ANTIOQUIA”**, opción de grado: trabajo de grado, presentada por el estudiante René Alejandro Restrepo Pérez, en cumplimiento parcial de los requisitos para optar al título de “Ingeniero Civil” fue aprobada por el director:

Director Universidad Militar Nueva Granada

TABLA DE CONTENIDO

1.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	10
2.	JUSTIFICACIÓN	11
3.	OBJETIVO GENERAL	12
3.1	Objetivos específicos	12
4.	MARCO REFERENCIAL	13
5.	DISEÑO METODOLÓGICO	14
5.1	Elaboración del mapa con ArcGIS	14
5.2	Herramientas de ArcGIS	15
5.3	Búsqueda de información geográfica en la red	15
5.4	Determinar el tipo de imagen a buscar	18
5.5	Realizar búsqueda	19
5.6	Selección y descarga de la imagen	21
5.7	Análisis espectral	23
5.8	Selección del modelo digital de elevación	28
5.9	Cálculo de variables topográficas para la descripción del terreno	31
5.10	Conversión de curvas de nivel de ArcGIS a AutoCAD	34
6.	DISEÑO GEOMÉTRICO PLANTA-PERFIL	36
6.1	Definición de elementos de diseño	36
6.2	Metodología	36
6.3	Criterios de diseño	37
6.4	Factores de diseño	38
6.5	Parámetros de diseño	39
6.6	Creación del modelo digital	40
6.7	Ubicación del proyecto	41
7.	RESULTADOS	43
7.1	Trazado vía nueva desde La Cordillera hasta el corregimiento Llanos de Urarco	43
7.2	Coberturas y usos del suelo	49
7.2.1	Determinación de demanda ambiental	49
7.2.2	Análisis e interpretación de cobertura	51
7.2.3	Análisis e interpretación de suelos	53
7.3	Análisis e interpretación de fallas	58
7.4	Cuerpos de agua	61
7.5	Carreteables existentes	63
8.	IMPACTO	65
9.	CONCLUSIONES	66
10.	BIBLIOGRAFÍA	68

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1	Ejemplo de capas temáticas en SIG	14
Fig. 2	Página de Earth Explorer del USGS	16
Fig. 3	Diligenciamiento de los campos para crear un nuevo usuario	16
Fig. 4	Ubicación de la zona de desarrollo del proyecto	17
Fig. 5	Coordenadas de la zona de desarrollo del proyecto	17
Fig. 6	Botón “Data Set” para desplegar el tipo de datos	18
Fig. 7	Árbol desplegado de tipos de datos que se pueden descargar	18
Fig. 8	Selección de archivos de Landsat	19
Fig. 9	Link de resultados	19
Fig. 10	Listado de imágenes disponibles	20
Fig. 11	Ventana de previsualización de una imagen seleccionada	20
Fig. 12	Previsualización de una imagen seleccionada	21
Fig. 13	Cuadro de diálogo para descarga de la información	22
Fig. 14	Archivos descargados descomprimidos utilizados	23
Fig. 15	Carga de imágenes en el programa ArcGIS	24
Fig. 16	Empaquetado de la imagen con la herramienta “Composite Band”	24
Fig. 17	Proceso de carga de la imagen	25
Fig. 18	Composición de color verdadero	26
Fig. 19	Combinación de bandas	26
Fig. 20	Recortar un DEM (ráster) en ArcGIS	29
Fig. 21	Creación de un shapefile a partir del MDE seleccionado	29
Fig. 22	Como dar coordenadas y valores de Z al shapefile en ArcGIS	30
Fig. 23	Función de análisis espacial	31
Fig. 24	Mapa de pendientes	32
Fig. 25	Reclasificación de pendientes	33
Fig. 26	Mapa de sombras	33
Fig. 27	Tabla de herramientas para curvas de nivel	34
Fig. 28	Exportar curvas de nivel de ArcGIS a AutoCAD	35
Fig. 29	Curvas de nivel en AutoCAD	35
Fig. 30	Creación del modelo digital del terreno	40
Fig. 31	Tramo de vía existente entre Tabacal y El Siento	42
Fig. 32	Importación del trazado de la vía de AutoCAD a ArcGIS	44
Fig. 33	Creación del buffer	45
Fig. 34	Secuencia para la obtención del clip	46
Fig. 35	Creación del buffer y el clip con las curvas de nivel	47
Fig. 36	Perfil longitudinal K0+000 a K5+400	48
Fig. 37	Cálculo de las áreas de cobertura vegetal	49
Fig. 38	Cálculo de las áreas de cobertura del suelo	50
Fig. 39	Tabla de áreas de cobertura	51



Trabajo Opción de Grado para optar por el título de Ingeniería Civil
René Alejandro Restrepo Pérez

Fig. 40 Cobertura bosques de galería y ripario	52
Fig. 41 Unidad de suelo HBf1	53
Fig. 42 descripción unidad de suelo HBf1	54
Fig. 43 Unidad de suelo POdp	55
Fig. 44 Descripción unidad de suelo POdp	55
Fig. 45 Unidad de suelo ALd1	56
Fig. 46 Descripción unidad de suelo ALd1	56
Fig. 47 Unidad de suelo SBf2	57
Fig. 48 Descripción unidad de suelo SBf2	57
Fig. 49 Falla Tonusco	58
Fig. 50 Falla Cañasgordas	59
Fig. 51 Distribución porcentual por grupo de uso de las coberturas	60
Fig. 52 Distribución porcentual de unidad de suelo	61
Fig. 53 Quebrada 1 – K0+850	62
Fig. 54 Quebrada 2 – K3+220	62
Fig. 55 Quebrada 3 – K7+870	62
Fig. 56 Quebrada 4 – K8+330	63
Fig. 57 Quebrada 5 – K16+380	63
Fig. 58 Vía que comunica las veredas La Cordillera – La Vega	64



Trabajo Opción de Grado para optar por el título de Ingeniería Civil
René Alejandro Restrepo Pérez

ÍDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Bandas de Landsat8 y sus características	27
Tabla 2.	Composición de bandas de Landsat8	28
Tabla 3.	Tabla de áreas de unidades de suelo	54
Tabla 4.	Resumen de áreas de coberturas	59
Tabla 5.	Resumen porcentaje de áreas de coberturas	60
Tabla 6.	Resumen porcentajes de áreas unidad de suelo	61



Trabajo Opción de Grado para optar por el título de Ingeniería Civil
René Alejandro Restrepo Pérez



1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La cordillera occidental plantea un desafío por su topografía de alta pendiente, se muestra como un obstáculo al momento de buscar una posible salida desde la cabecera municipal de Peque hacia la capital del departamento de Antioquia.

La única vía que da salida hacia Medellín y el Urabá antioqueño es por el municipio de Uramita, con una longitud de 63 kilómetros, vía que históricamente se ha mantenido en mal estado, en parte por fallas geológicas.

El tiempo que tarda en llegar a el municipio de Uramita es de 7 a 8 horas cuando no hay derrumbes. Adicional a esto, se tiene la pérdida de banca en varios puntos del trayecto, situación que empeora en época de invierno, dejando incomunicada a una comunidad de más de 10.000 personas

De los 63 kilómetros que hay entre estos dos municipios, solo 1.3 están pavimentados, situación que hacen de Peque uno de los 23 municipios de Antioquia que aún no cuentan con un acceso pavimentado.

A pesar de las dificultades, se plantea una posible salida que conecte a dicho municipio con el corregimiento Tabacal del municipio de Buriticá, aprovechando ciertos carretables existentes, con un trazado que cumple con normas de diseño.

En la actualidad se está construyendo un tramo de vía desde el sector de El Siento hasta la vereda La Cordillera, pensando en darle continuidad en un futuro con el Corregimiento de Llanos de Urarco, el más lejano del municipio de Buriticá.



2. JUSTIFICACIÓN

Es innegable la necesidad que tienen las comunidades de interconectarse por cualquier medio de comunicación, más aún cuando son comunidades muy alejadas de los centros de actividad económica. Las vías son una urgencia manifiesta, en zonas del territorio nacional que han sido muy afectadas por fenómenos naturales, de violencia sistemática a través de los tiempos, falta de educación de calidad, aún en muchas zonas no disponen de servicio de energía, de agua potable entre otros.

El objetivo de este trabajo de grado es presentar una alternativa de comunicación entre dos municipios del departamento de Antioquia haciendo uso principalmente del programa ArcGIS, aplicado al diseño de vías, al menos en etapa de factibilidad.

El programa Arc GIS nos permite plantear una o varias alternativas de solución al problema de comunicación que presenta el municipio de Peque, diferente a la única vía de comunicación con que cuenta dicho municipio. Además del programa, también se dispone de imágenes satelitales que se adquieren de forma gratuita en la red, y con un grado de precisión aceptable.

El resultado que se espera es tener finalmente un proyecto que cumpla normas de diseño, una mínima afectación al medio ambiente, brindar otra vía de acceso a la zona, una mejor calidad de vida de los pobladores.



Trabajo Opción de Grado para optar por el título de Ingeniería Civil
René Alejandro Restrepo Pérez

3. OBJETIVO GENERAL

Implementar un Sistema de Información Geográfica en la planeación y control del diseño y trazado de la vía La Cordillera y el corregimiento de Llanos de Urarco, municipio de Buriticá-Antioquia.

3.1 Objetivo específico

Obtener imágenes de sensores remotos activos (radar Alos Palsar) y pasivos (Landsat8).

Obtener información secundaria base de suelos y de cobertura vegetal para posterior análisis.

Generar un modelo de elevación digital para obtener la topografía y diseñar el trazado y el perfil.

Analizar la información obtenida para identificar riesgos, manejo de cobertura y obras para protección de cauces.



4. MARCO REFERENCIAL

Tema: Trazado de una vía alterna que comunique al municipio de Peque, pasando por el corregimiento de Llanos de Urarco del municipio de Buriticá, hasta Medellín.

Antecedentes: Solo se hace reseña de la vía que se construye actualmente entre el corregimiento de Tabacal y la vereda La Cordillera, tiene una longitud de 4 kilómetros y unirá el 50% de la población rural con su cabecera municipal. No hay investigaciones al respecto, ni estudios previos; para ir al corregimiento de Llanos de Urarco se hace por un tramo de moto ruta, el resto por camino de herradura

Bases teóricas: A causa de la difícil topografía en todo el municipio, la comunicación rural se hace en su mayoría por caminos veredales y senderos ecológicos.

- ¿Cuál es el contexto social y político sobre el cual se han llevado a cabo las políticas públicas para llevar el desarrollo a las zonas más apartadas del municipio y que no cuentan con vías de acceso eficientes y seguras, que garanticen el acceso a los mercados tanto internos como externos?
- ¿Cuál es la posición de los gremios económicos y políticos para impulsar obras de gran calado en el medio rural que jalonen el desarrollo sostenido de la zona impactada con una obra como esta?

5. DISEÑO METODOLÓGICO

5.1 Elaboración del mapa con ArcGIS

Los Sistema de Información Geográfica (SIG) son programas que permiten la integración de la información geográfica de una zona de referencia. Son herramientas que permite analizar los resultados producto del uso de información espacial como mapas.

Los SIG ofrecen la posibilidad de separar en capas temáticas, toda la información almacenándola de forma independiente, permite relacionar la información con el fin de generar otra capa con otras características y con otro fin.

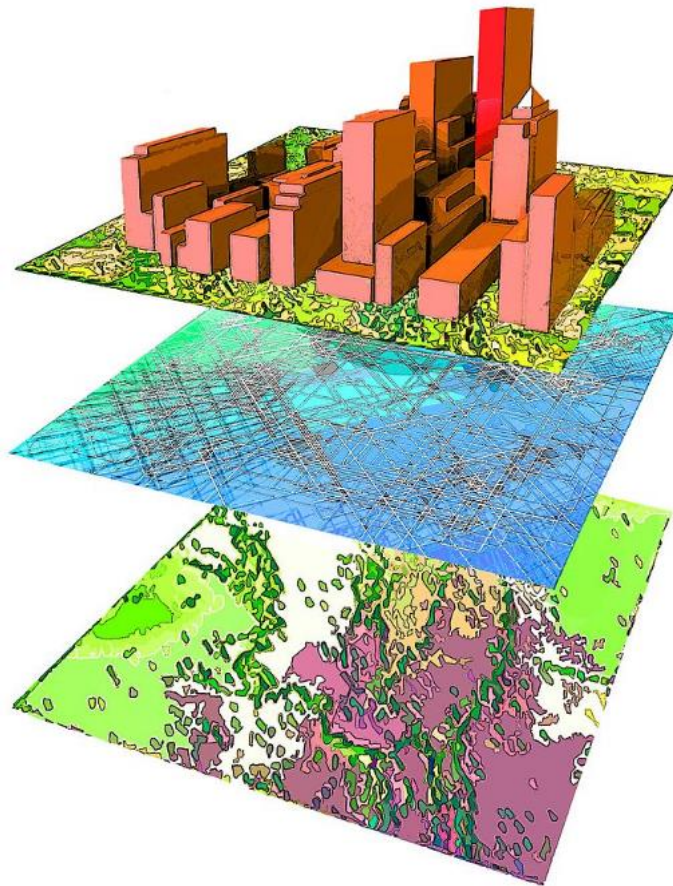


Figura 1. Ejemplo de capas temáticas en SIG. (Fuente: UNSW Escuela de Topografía y Geoespacial Ingeniería (SAGE))

Los sistemas de información geográfica se almacenan de dos formas: Ráster y Vectorial. Con el sistema vectorial se tiene la ventaja de poder integrar la información con el sistema CAD fácilmente, además de proporcionar una elevada precisión con mejor calidad de imagen y crear ficheros de poco tamaño.

5.2 Herramientas de ArcGIS

El programa ArcGIS es un producto de la empresa ESRI, el cual tiene varias aplicaciones para la captura, edición, análisis, tratamiento, diseño, publicación e impresión de la información geográfica. A continuación, algunas de ellas:

- **ArcMap:** Es aplicación central para la visualización y manipulación de datos geográficos.
- **ArcCatalog:** Es la aplicación que se utiliza para gestionar los archivos que se van a utilizar: mapas, bases de datos, etc. Ayuda a organizar la información geográfica y es imprescindible para mantener un orden.
- **ArcToolBox:** Sirve para realizar operaciones de procesamiento de la información geográfica: análisis de datos espaciales, conversión de formatos, gestión de datos y muchas operaciones más.
- **ArcScene:** Permite visualizar los datos en tercera dimensión (3D).

5.3 Búsqueda de información geográfica.

Se lleva a cabo con programas satelitales, con la localización de satélites que se encuentran en el espacio actualmente y descargando una imagen gratuita desde la página del Earth Explorer del USGS ((United State Geological Survey) para elaborar el presente trabajo. Se entra a la página de Earth Explorer y se registra en: <https://earthexplorer.usgs.gov/>.

Luego se procede a registrarse en la página para poder tener acceso a los mapas e imágenes. Una vez dentro de la página citada, (Fig. 2), dirigirse al enlace de registro, dar clic en **Login** y luego en **Create New Account**, y se desplegará el formulario de registro.

Luego se diligencia los campos para crear un nuevo usuario, crear la respectiva contraseña, diligenciar la pregunta de seguridad (Fig. 3); Dar clic en continuar y terminar de diligenciar la información solicitada en los espacios dispuestos para ello.

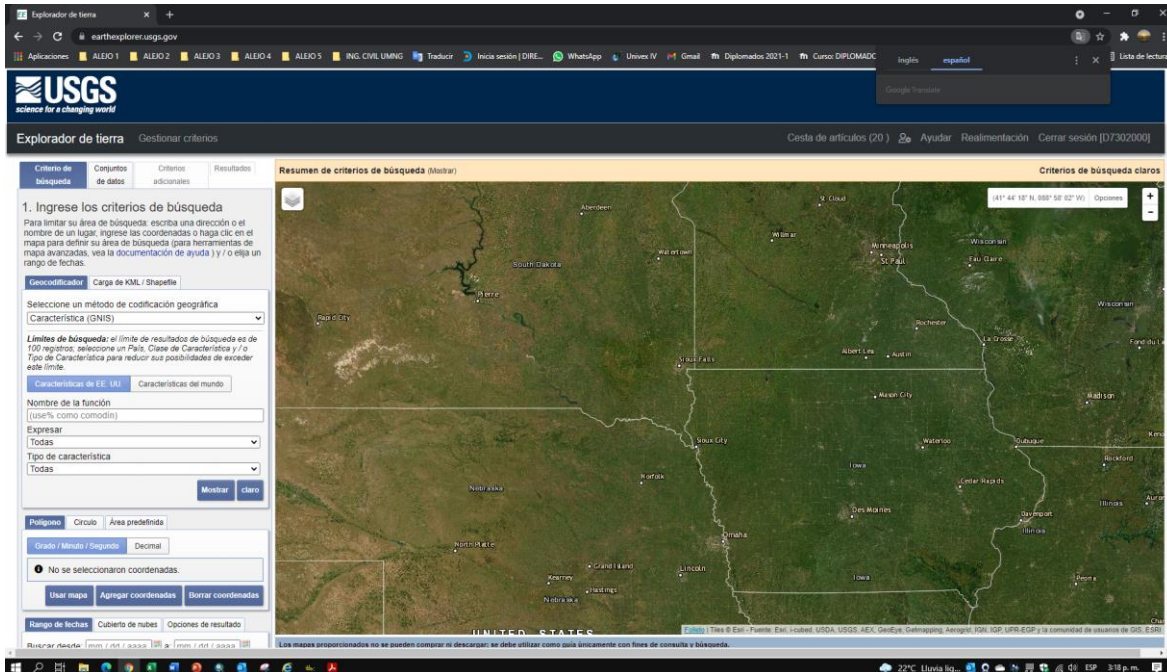


Figura 2. Página del Earth Explorer del USGS

Username

Username Requirements

- Must be between 4 and 30 characters
- May contain alphabetic and numeric characters
- May only contain the following special characters
 - period "."
 - at sign "@"
 - underscore "_"
 - dash "-"


New Password

Password Requirements

- Must be between 12 and 24 characters
- Must contain at least one alphabetic character
- Must contain at least one numeric character
- May only contain the following special characters

Confirm New Password

No soy un robot



[Privacidad](#) - [Términos](#)

Continue

Figura 3. Diligenciamiento de los campos para crear un nuevo usuario.

Una vez registrado, se puede consultar y descargar imágenes, recordar que si no se está registrado se puede consultar mas no se puede descargar información.

*Trabajo Opción de Grado para optar por el título de Ingeniería Civil
René Alejandro Restrepo Pérez*

Una vez registrado, volver a **“home”** del sitio web haciendo clic en el enlace del lado derecho, luego en el visor, navegar con la herramienta interactiva de paneo hasta el sitio donde se desarrollará el proyecto, en este caso busco la zona entre los corregimientos Tabacal y Llanos de Urarco del municipio de Buriticá, departamento de Antioquia. (Fig. 4).

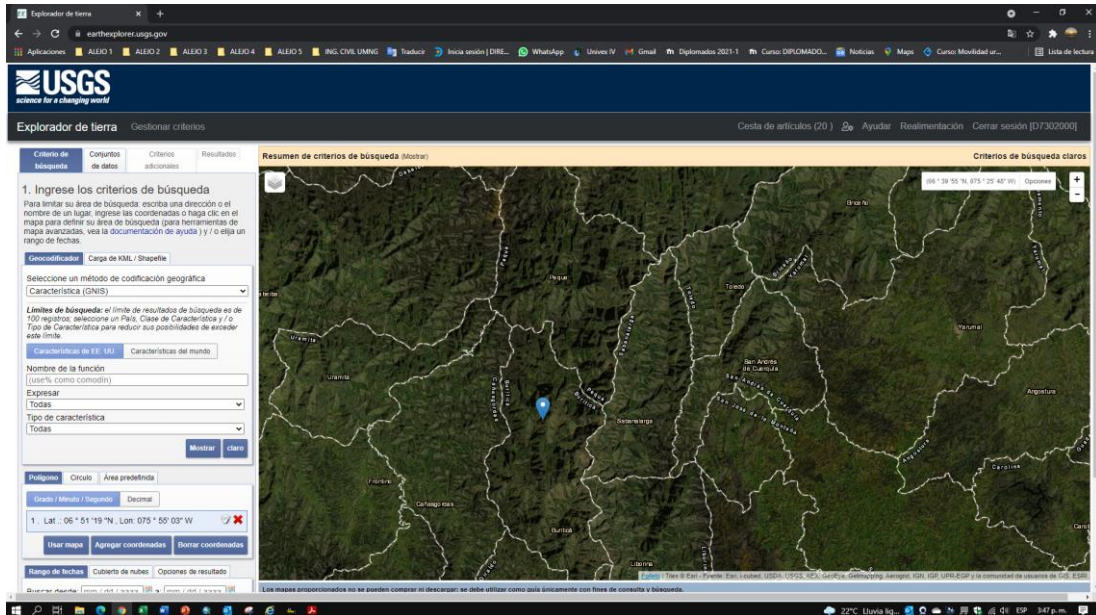


Figura 4. Ubicación de la zona de desarrollo del proyecto.

Con el mouse se da clic izquierdo en el punto de interés como se observa en la figura anterior y se verifica que las coordenadas sí correspondan al sitio de interés.

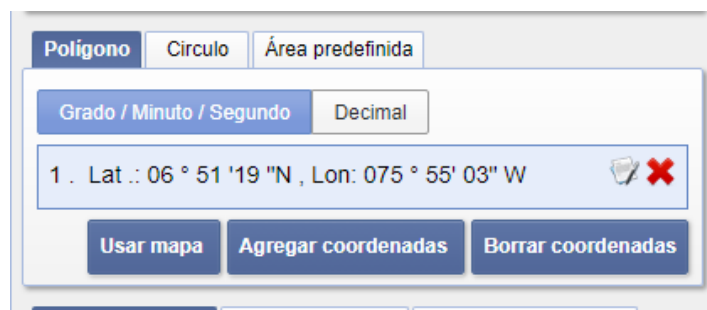


Figura 5. Coordenadas de la zona de desarrollo del proyecto.

5.4 Determinar el tipo de imagen de interés.

Continuando con el proceso, se procede a dar clic donde dice **“data sets”** y ver como se despliega una ventana con la información que se necesita, Figuras 6 y 7.

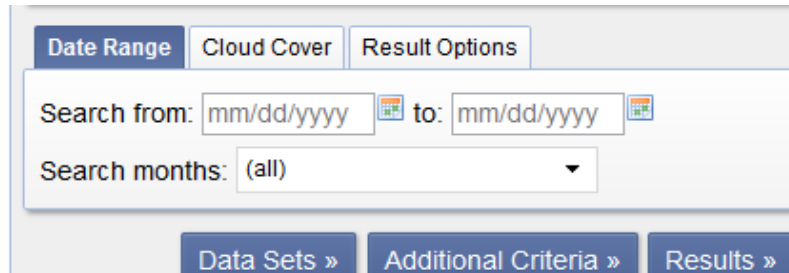


Figura 6. Botón **“Data Sets”** para el despliegue del tipo de datos.

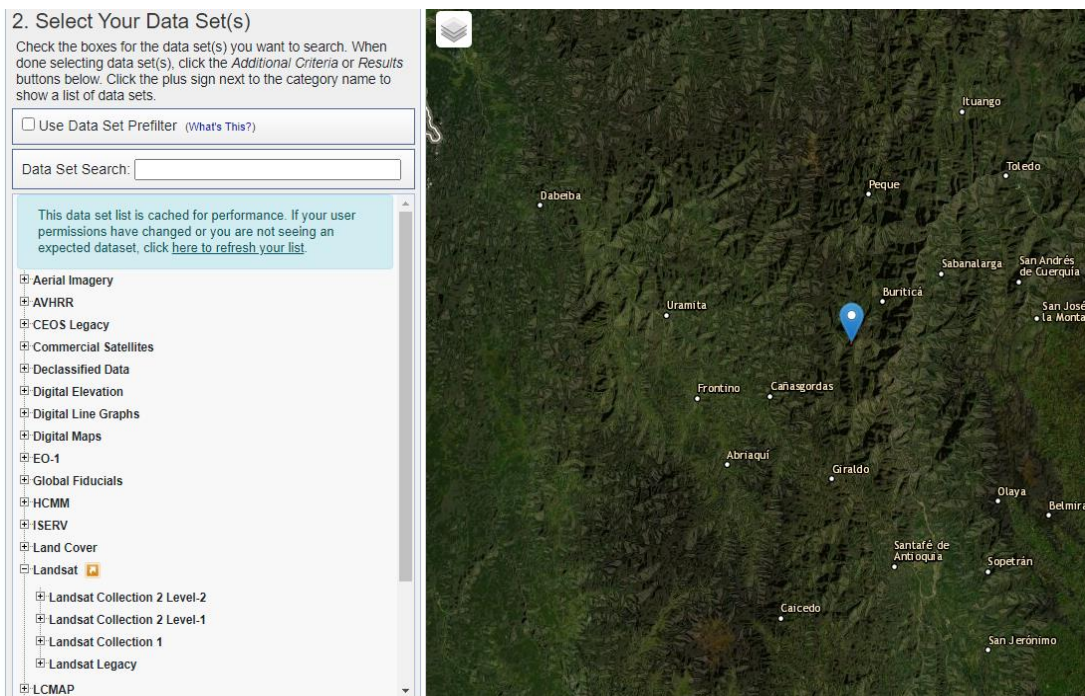


Figura 7. Árbol desplegado de tipos de datos que se pueden consultar.

Al desplegarse una ventana, se abre el vínculo **“Landsat”** y allí nuevamente en **“Landsat Collection 2 Level-1”**, selecciona los elementos,

allí nuevamente en “**Landsat Collection 2 Level-1**” selecciones los elementos como se observa en la siguiente imagen.

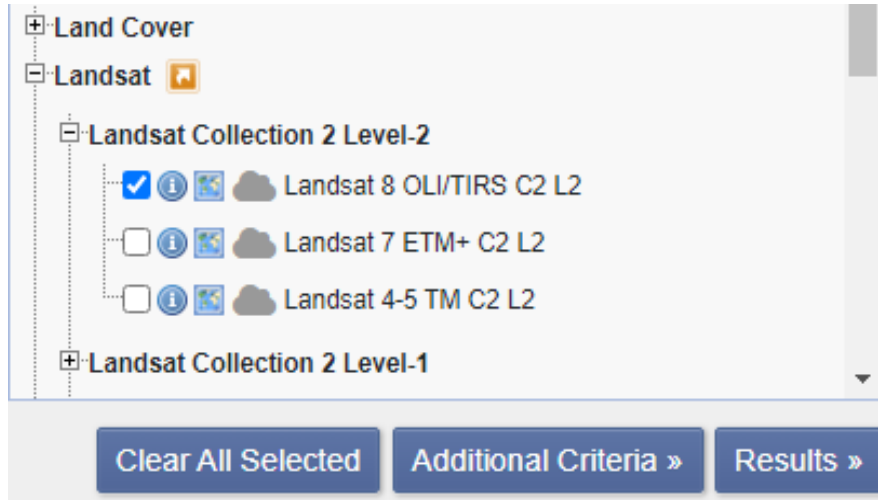


Figura 8. Selección de archivos de Landsat.

Una vez llevado a cabo, se procede a ir al menú de la parte derecha que dice “**Results**” resultados (Fig. 9) y el programa inicia la búsqueda de la imagen.

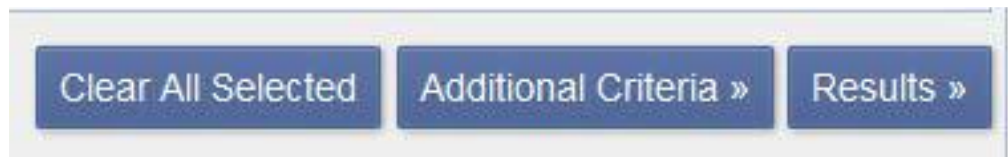


Figura 9. Link de resultados.

5.5 Realizar la búsqueda.

Al dar clic en “**Results**” resultados, aparece una nueva ventana que muestra las diferentes imágenes de satélite disponibles para ser evaluadas y seleccionar la que cumpla con las características deseadas.

Luego se da clic sobre cada pequeña imagen de la parte izquierda para ver si cumple con lo que se busca. Lo principal es que tenga poca o ninguna cobertura de nubes. Fig. 11.

*Trabajo Opción de Grado para optar por el título de Ingeniería Civil
René Alejandro Restrepo Pérez*



Figura 10. Listado de imágenes disponibles.

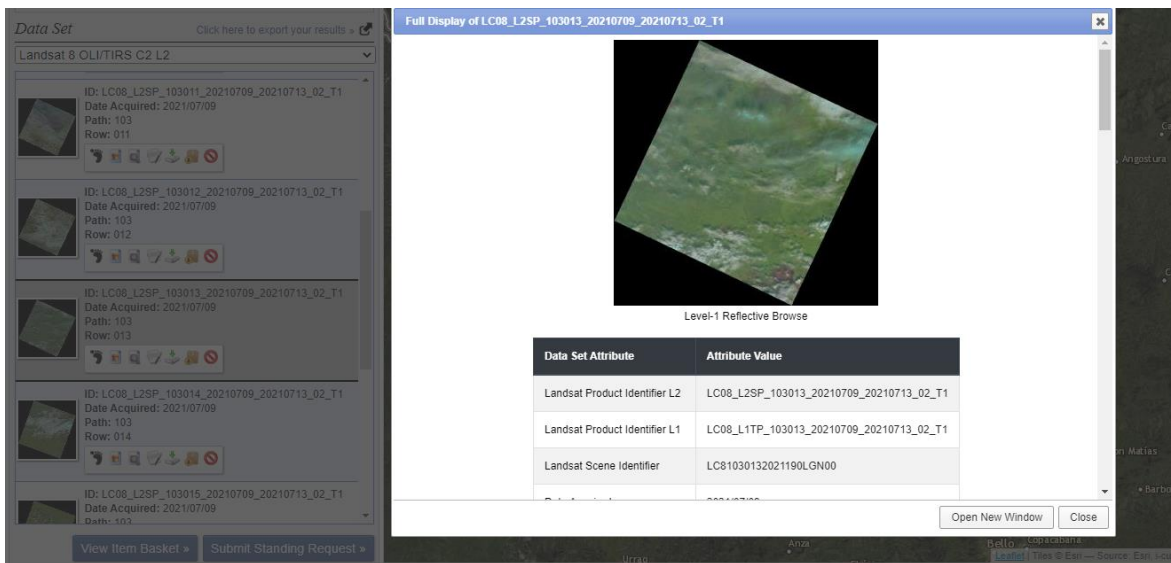


Figura 11. Ventana de previsualización de una imagen seleccionada.

5.6 Selección y descarga de la imagen.

Una vez tenga seleccionada la imagen, en las opciones de visualización de la escena, en el visor geográfico se da clic al segundo ícono. Éste permite visualizar la zona que cubre dicha imagen en la superficie terrestre en forma de cuadrado.

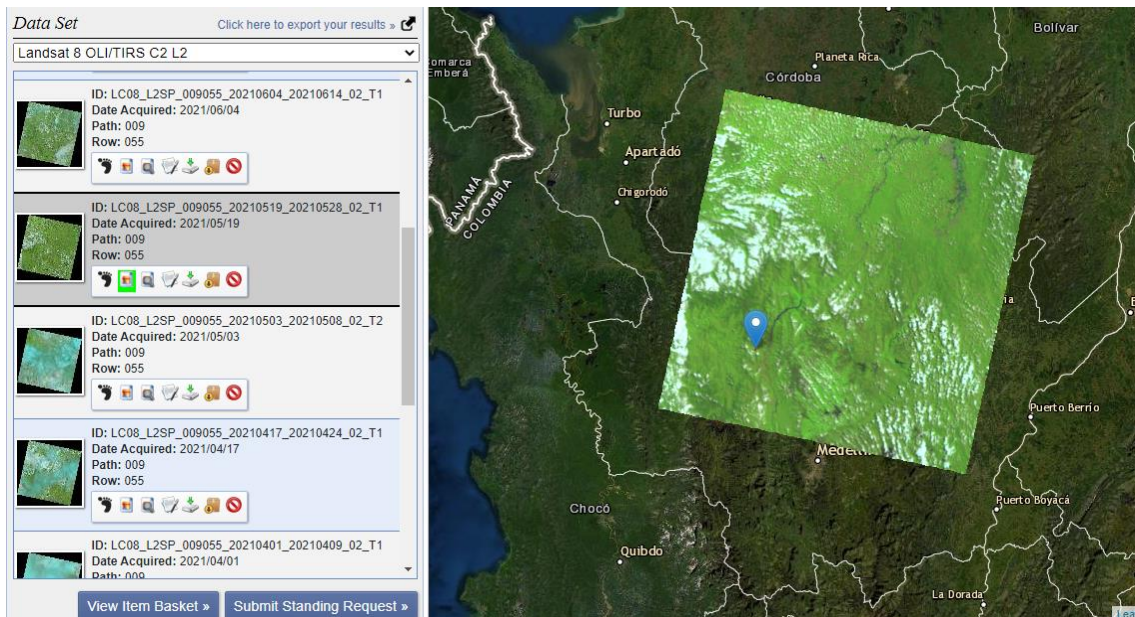


Figura 12. Previsualización de una imagen seleccionada.

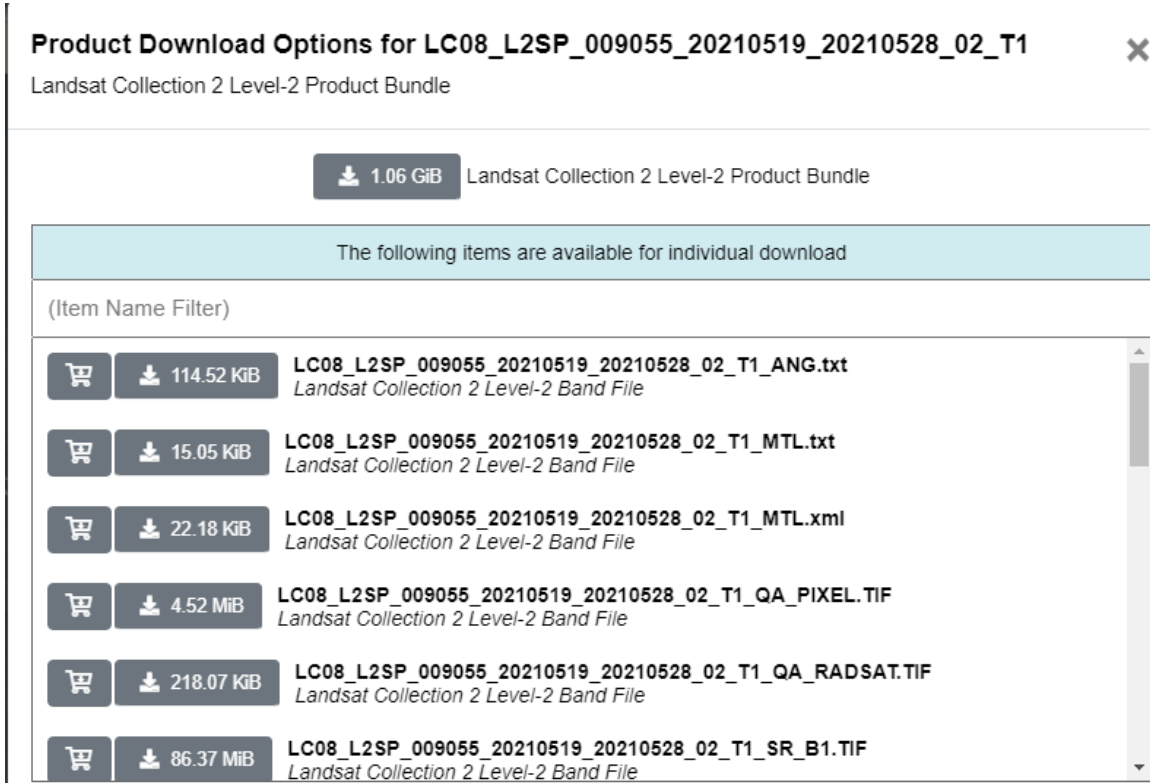
Una vez seleccionada la imagen se procede a la descarga dando clic en el quinto ícono de izquierda a derecha del menú mostrado en el Data Set:



A continuación, saldrá un cuadro de diálogo con las diferentes opciones de descarga, que van desde el conjunto de todas las bandas que componen la imagen hasta la composición en color de ésta (Figura 13). Está también el tamaño del archivo en megabytes, el cual descarga comprimido, lo que obliga a contar con un programa para descomprimirlo.

Vale la pena recordar que para descargar la información se debe contar con un registro previo en la plataforma.

Los programas para descomprimir pueden ser WinRAR o Winzip.



Product Download Options for LC08_L2SP_009055_20210519_20210528_02_T1 ✕

Landsat Collection 2 Level-2 Product Bundle

1.06 GiB Landsat Collection 2 Level-2 Product Bundle

The following items are available for individual download

(Item Name Filter)













	 114.52 KiB	LC08_L2SP_009055_20210519_20210528_02_T1_ANG.txt <i>Landsat Collection 2 Level-2 Band File</i>
	 15.05 KiB	LC08_L2SP_009055_20210519_20210528_02_T1_MTL.txt <i>Landsat Collection 2 Level-2 Band File</i>
	 22.18 KiB	LC08_L2SP_009055_20210519_20210528_02_T1_MTL.xml <i>Landsat Collection 2 Level-2 Band File</i>
	 4.52 MiB	LC08_L2SP_009055_20210519_20210528_02_T1_QA_PIXEL.TIF <i>Landsat Collection 2 Level-2 Band File</i>
	 218.07 KiB	LC08_L2SP_009055_20210519_20210528_02_T1_QA_RADSAT.TIF <i>Landsat Collection 2 Level-2 Band File</i>
	 86.37 MiB	LC08_L2SP_009055_20210519_20210528_02_T1_SR_B1.TIF <i>Landsat Collection 2 Level-2 Band File</i>

Figura 13. Cuadro de diálogo para descarga de la información.

En la imagen 14 se puede apreciar con que tipo de información cuenta, es importante tener en cuenta el tipo de formato de las bandas (.tif) y los metadatos que son los archivos de apoyo.

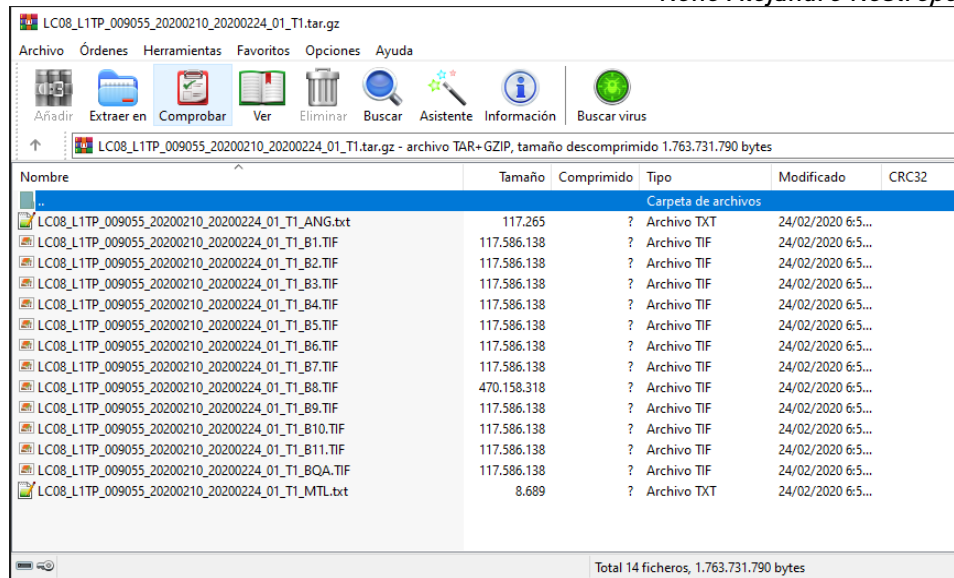




Figura 14. Archivos descargados y descomprimidos utilizados.

Con esto concluye el trabajo de descarga de la imagen de Satélite Landsat de la página Earth Explorer del USGS de los Estados Unidos.

5.7 Análisis espectral

Con la imagen Landsat descargada se realiza un proceso preliminar, el cual permite hacer un análisis visual por medio de varias composiciones de color; para ello se hace lo siguiente:

- Se descomprimen las bandas que componen la imagen mediante WinRAR y se guardan en una carpeta.
- Se abre el programa ArcGIS en blanco y se cargan las bandas haciendo clic en el ícono “añadir datos” (Add Dat) , ver figura 15.

Aparecen las imágenes en la tabla de contenidos de ArcGIS, luego se realiza el empaquetado de la imagen con la herramienta “**Composite Band**” ubicada en **ArcToolBox** .

Se abre **ArcToolBox** y se despliega una caja de herramientas donde luego se abre el composite Band de la siguiente manera y como se ve en la Figura 16. **ArcToolBox** → **Data Management Tools** → **Raster** → **Raster Processing** → **Composite Band**

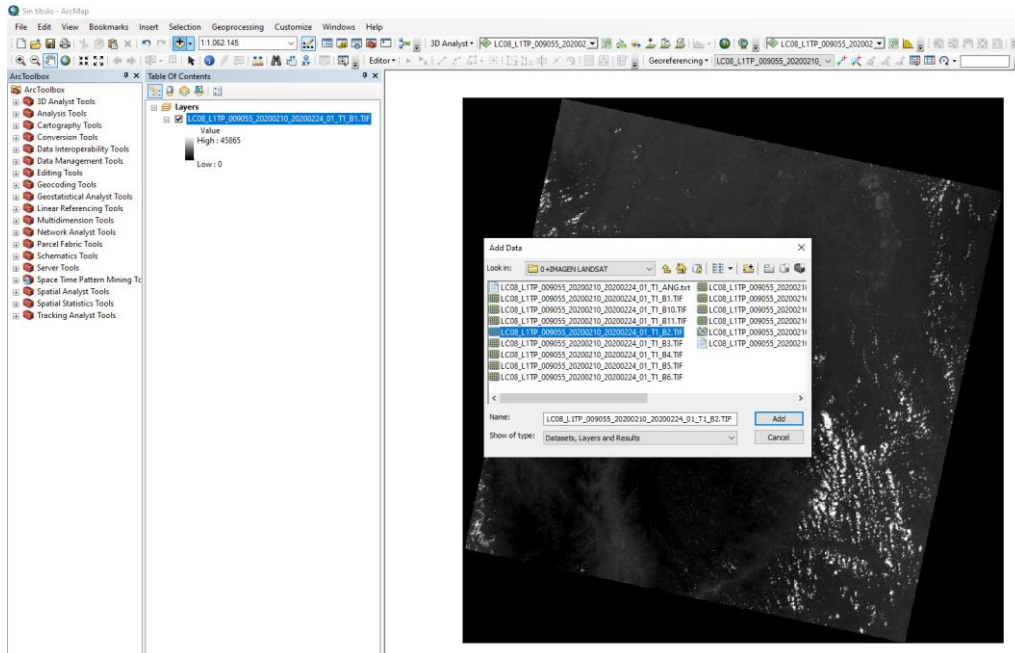


Figura 15. Carga de imágenes en el programa ArcGIS

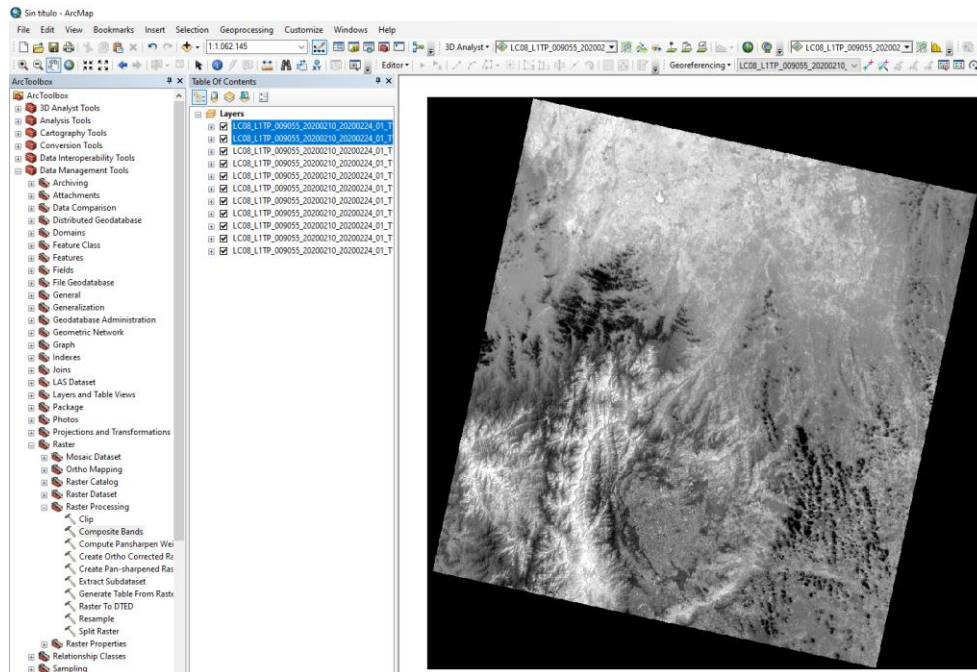


Figura 16. Empaquetado de la imagen con la herramienta “**Composite Band**”

Se da doble clic en **“Composite Band”** y se despliega una ventana donde se ingresan las bandas que componen la imagen en orden numérico del 1 al 11 a través de **“Imput Ráster”**. En **“Output Ráster”** se guarda un nuevo archivo con un nombre definido por el usuario y terminado con la extensión **.tif**, para nuestro caso será **Cordillera.tif**.

Luego de terminar este proceso la imagen se carga automáticamente en ArcGIS, ver figura 17.

Luego se crea una composición en color verdadero con la imagen, ver figura 18, para ello se da clic en el **nombre.tif** y en **“Properties”**, donde se despliega una ventana, ver figura 19.

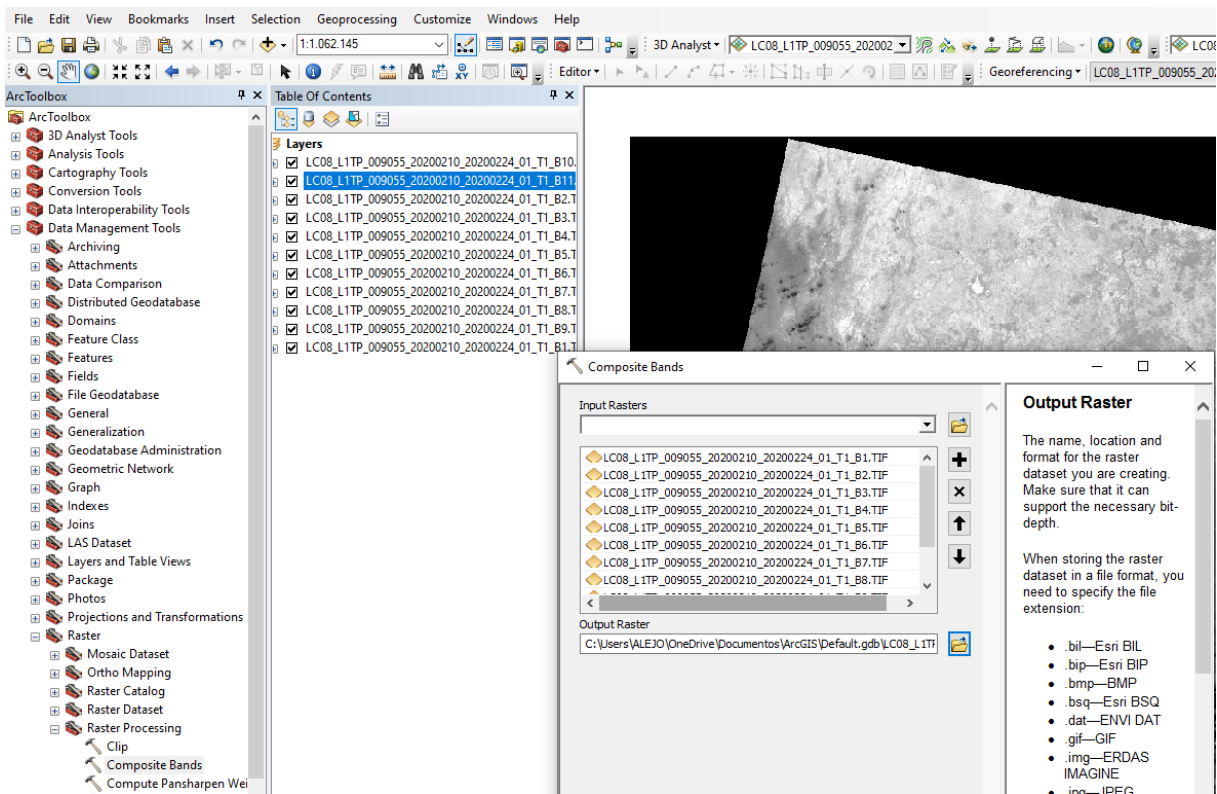


Figura 17. Proceso de carga de la imagen.

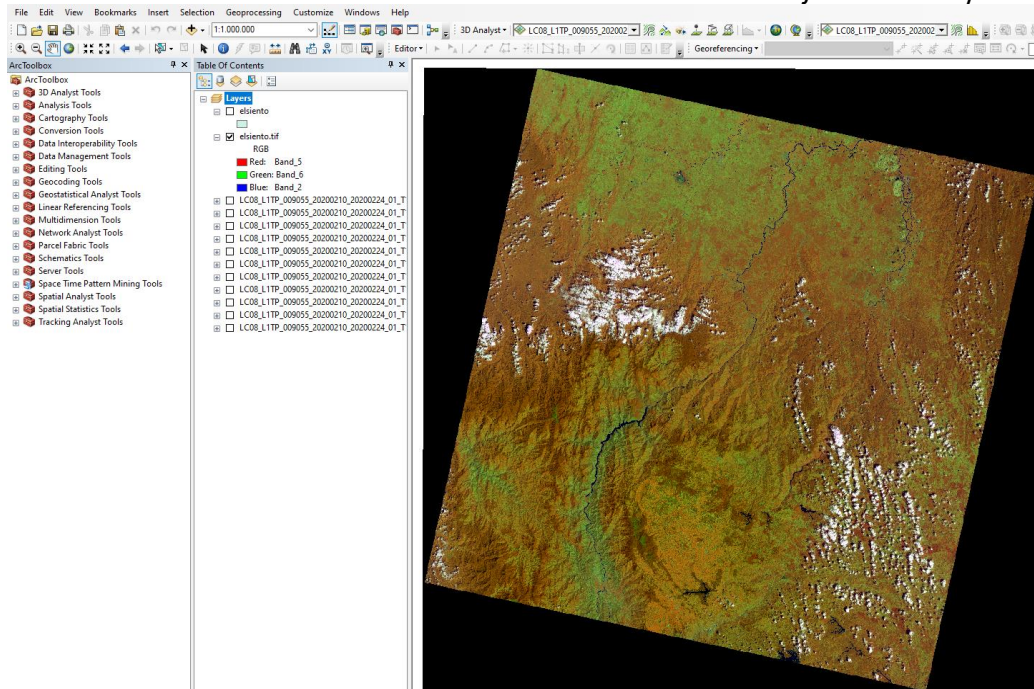


Figura 18. Composición de color verdadero.

En la pestaña **“simbology”** se da las diferentes combinaciones de banda de acuerdo con las composiciones que se quieran buscar.

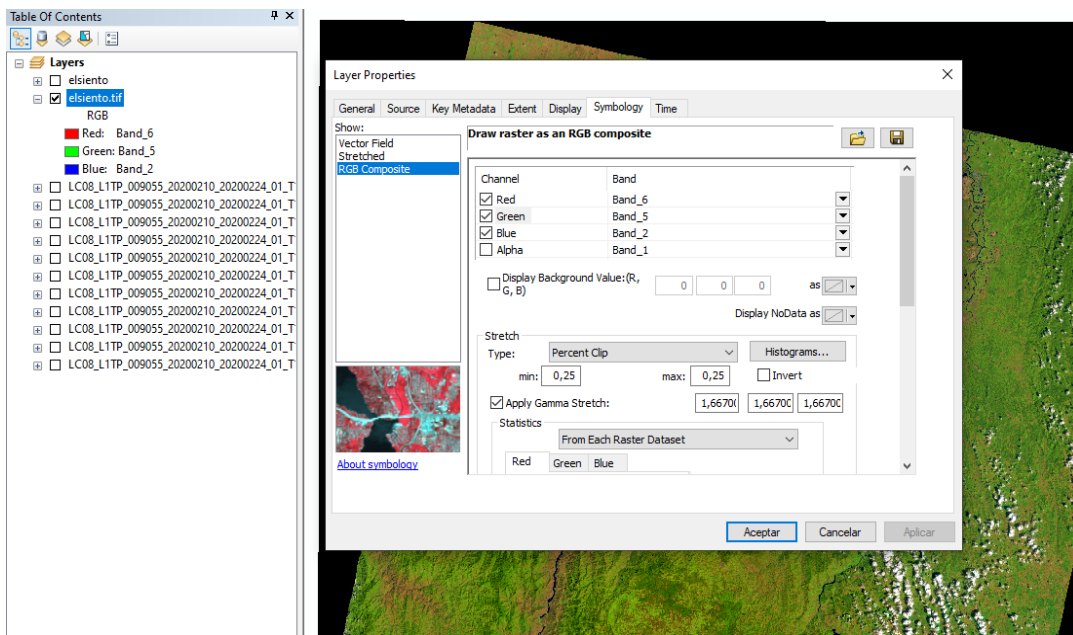


Figura 19. Combinación de bandas.

Luego se selecciona el **RGC composite** para asignar el número de las bandas de acuerdo a lo que se quiera representar, en la siguiente tabla se puede observar algunas características de las bandas de Landsat:

Sensor	Número de Banda	Amplitud	Resolución
OLI	1 Coastal aerosol	0,43-0,45 μ m	30m
	2 Blue	0,45-0,51 μ m	30m
	3 Green	0,53-0,59 μ m	30m
	4 Red	0,64-0,67 μ m	30m
	5 Near Infrared (NIR)	0,85-0,88 μ m	30m
	6 SWIR 1	1,57-1,65 μ m	30m
	7 SWIR 2	2,11-2,29 μ m	30m
	8 Panchromatic	0,50-0,68 μ m	15m
	9 Cirrus	1,36-1,38 μ m	30m
TIRS	10 Thermal Infrared 1	10,6-11,9 μ m	100m
	11 Thermal Infrared 2	11,5-12,51 μ m	100m

Tabla 1. Bandas de Landsat 8 y sus características.

El sensor OLI (*Operational Land Imager*)

A bordo del **Landsat 8**, se encuentra el sensor **OLI**, puesto en órbita en febrero del 2013. Las bandas espectrales capturadas por este sensor son muy parecidas a las del sensor **ETM+** (a bordo del Landsat 7), aunque se han añadido dos nuevas: un nuevo canal en azul visible (banda 1) diseñado específicamente para observar la calidad del agua en lagos someros y zonas costeras, así como para detectar aerosoles, y otro canal en el infrarrojo (banda 9) para determinar la presencia de nubes - fundamentalmente cirrus-. Asimismo, junto a cada escena del Landsat 8 se incluye también una banda de valoración de calidad (**Quality Assurance band**), que ofrece información respecto anomalías en la toma de datos por problemas en el instrumental o la presencia de elementos como nubes, agua y nieve. ⁵

El sensor TIRS (*Thermal Infrared Sensor*)

El sensor TIRS capta información acerca de la temperatura de la superficie terrestre a través de dos bandas del infrarrojo térmico (banda 10 y banda 11). Permite distinguir entre la temperatura de la superficie terrestre y la temperatura atmosférica. Tienen una resolución de 100 m. ⁵

Combinación de bandas

Las bandas multiespectrales de una imagen de satélite pueden visualizarse mediante distintas composiciones en color. Basta por ello aplicar cada uno de los tres colores primarios (rojo, verde y azul) a una banda distinta de la imagen, seleccionada con el criterio y el orden que se estime más oportuno. El proceso permite visualizar simultáneamente, imágenes de distintas regiones del espectro, lo que facilita la delimitación visual de algunas cubiertas. La elección de las bandas para realizar la composición, y el orden de los colores destinados a cada una, dependen del sensor sobre el que se trabaje y de la aplicación última del proyecto.

REPRESENTACIÓN	RGB
Color natural	4 -3- 2
Falso color (urbano)	7- 6- 4
Color infrarrojo (vegetación)	5- 4- 3
Agricultura	6- 5- 2
Penetración atmosférica	7- 6- 5
Vegetación saludable	5- 6- 2
Tierra/agua	5- 6- 4
Natural con remoción atmosférica	7- 5- 3
Infrarrojo de onda corta	7- 5- 4
Análisis de vegetación	6- 5- 4

Tabla 2. Composición de bandas de Landsat 8.

5.8 Selección del Modelo Digital de Elevación.

Desde el campo de herramientas de **ArcGIS** es posible acceder a las opciones de recorte de archivos ráster de manera individual o mediante recortes masivos de múltiples ráster. Dispondremos de la opción de recorte de archivos ráster desde ArcToolBox dentro de las herramientas de: **Spatial Analyst > Extraction > Extract by Mask**.⁸

También se puede recortar una parte de un DEM (ráster). En la caja de herramientas de ArcToolBox se dispone de varias que permiten tomar un trozo de área siguiendo la ruta Extraction → Spatial Analyst → y cualquiera de los atributos como mask, polygon, rectangle y otros más. Ver figura 20.

Con **Input ráster** seleccionamos el archivo DEM, luego en la ventana **Input ráster or feature mask data**, damos click en polígono, y, en **Output ráster** indicamos la carpeta y nombre del ráster.

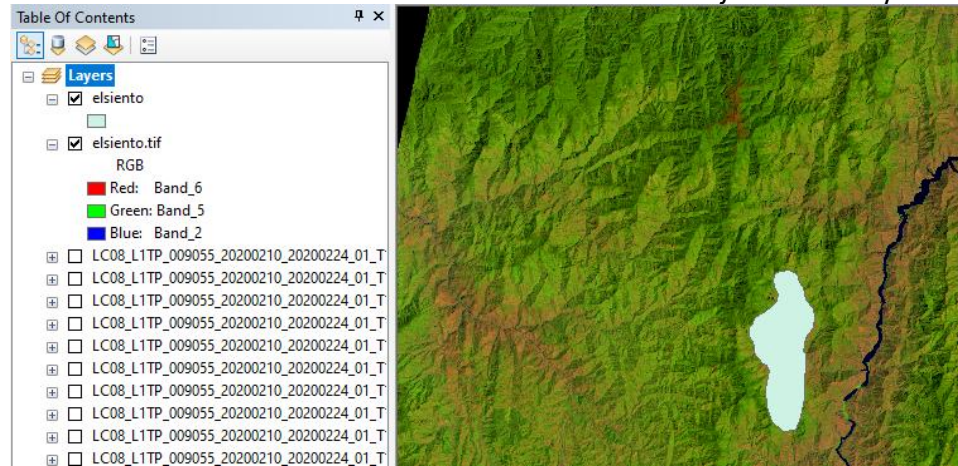


Figura 20. Recortar un DEM (ráster) en ArcGIS

Para crear finalmente el trozo de terreno que se requiere para desarrollar el trazado de la vía, se crea un **Shapefile** nuevo siguiendo la siguiente ruta (ver figura 21).

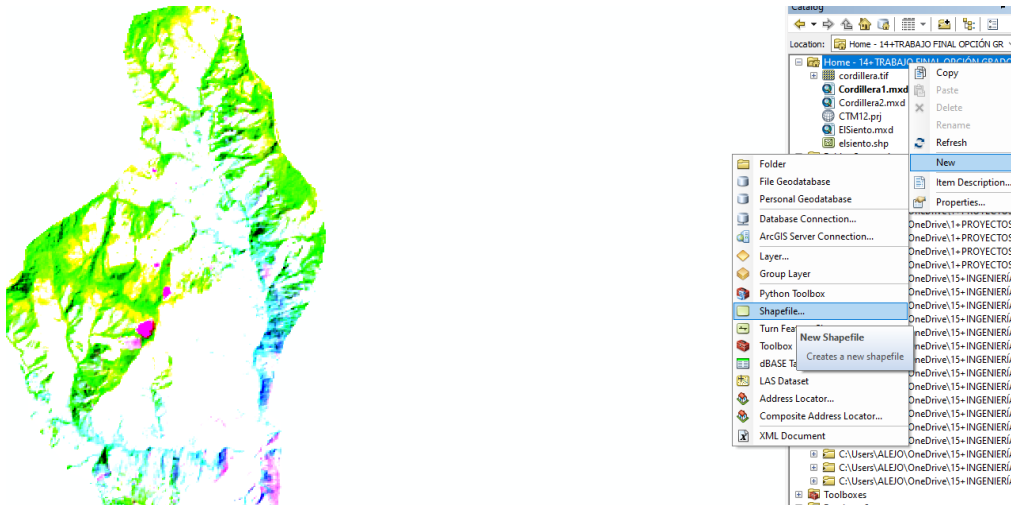


Figura 21. Creación de un shapefile a partir del MDE seleccionado.

Creado el shapefile se procede al cálculo de las variables topográficas para la descripción del terreno.

Para dar coordenadas y valores de Z al Shapefile en ArcGIS, primero hay que tener el modelo de elevación digital .tif o el DEM o TIN, luego se hace

la siguiente ruta: **ArcToolBox** → **3D Analyst Tools** → **Functional Surface** → **Add Surface Information**, luego, en **Input Features Class**, seleccionamos el archivo de puntos **.shp**, en **Input Surface** se selecciona el modelo **.tif** y, en **Output Property** marcar la columna correspondiente a la cota o Z, de esta forma aparece una columna con los datos de elevación o cotas en la tabla de atributos.

Para georreferenciar la imagen a coordenadas WGS 1984, damos clic derecho en **Layer** y abrimos Propiedades, a continuación, seguimos la siguiente ruta: **Properties** → se abre la ventana **Data Frame Properties** → luego la pestaña **Coordinate System** → entramos a **Projected Coordinate System** → **Magna Colombia Bogotá**.

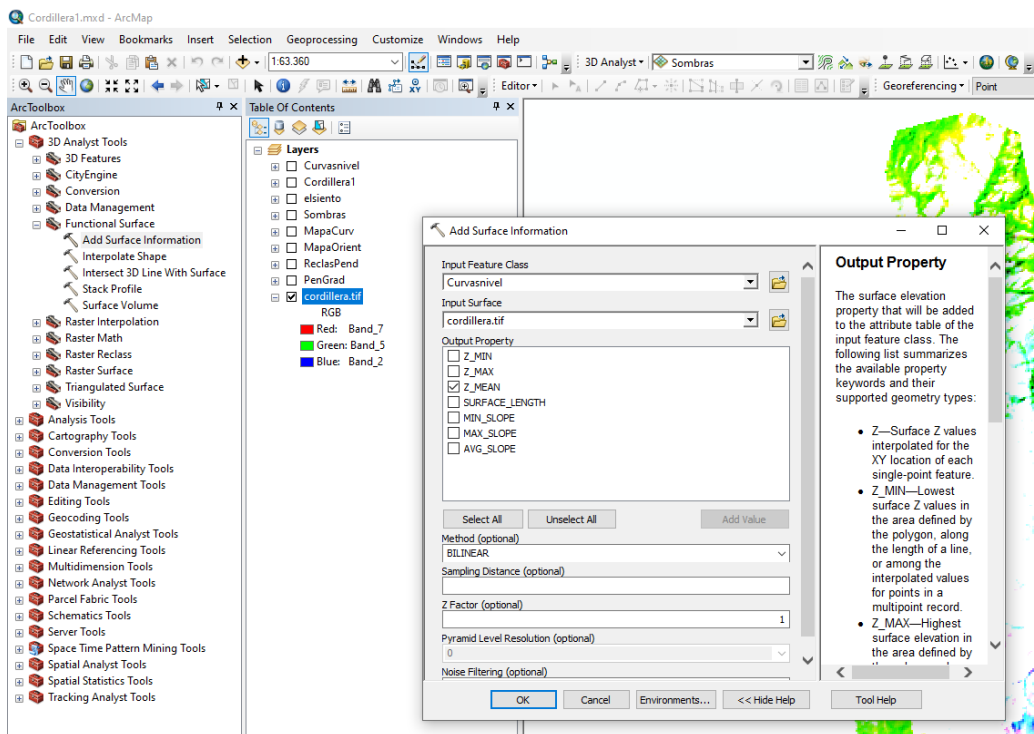


Figura 22. Como dar coordenadas y valores de Z al Shapefile en ArcGIS

Finalmente, para delimitar la zona donde se desarrolla el proyecto vamos a utilizar la herramienta **Editor** haciendo la siguiente ruta: **Editor** → **Start Ending** → **indicamos el archivo shapefile, en nuestro caso Cordillera1.shp** → **Ok** → **Ok**.

Aparece una ventana llamada **“Créate Features”**, damos clic en **“Cordillera.shp”**, apareciendo en la parte inferior

un cuadro de herramientas llamado “**Construction Tools**”, allí seleccionamos “**Polygon**”, luego en el editor “**Editor**” damos “**Stop Ending**” y salvamos.

Ahora se extrae el nuevo shapefile siguiendo la siguiente ruta: **ArcToolBox** → **Spatial Analyst Tools** → **Extraction** → **Extract by Mask** → en **Import ráster** incluimos el archivo **.tif**, en este caso **Urarco2.tif**, en **Output ráster** incluimos el archivo **shapefile**, en este caso, **Cordillera1.shp**. En guardar se le da finalmente el nombre con la extensión **.tif**, para este caso, **Cordillera2.tif**.

5.9 Cálculo de variables topográficas para descripción del terreno.

Se calcularán las variables topográficas, basándose en el modelo de elevación digital del terreno. Se pretende de esta forma, llegar al cálculo de curvas de nivel, por medio de las herramientas que trae el **Spatial Analyst** de **ArcGIS**.

Para poder realizar funciones de análisis espacial, se hace uso de la herramienta **Spatial Analyst**. En el menú, dar clic en **Customize** y luego dar clic en **Extensions**, para hacer activa la extensión dar clic en la caja de diálogo que corresponde a **Spatial Analyst**.

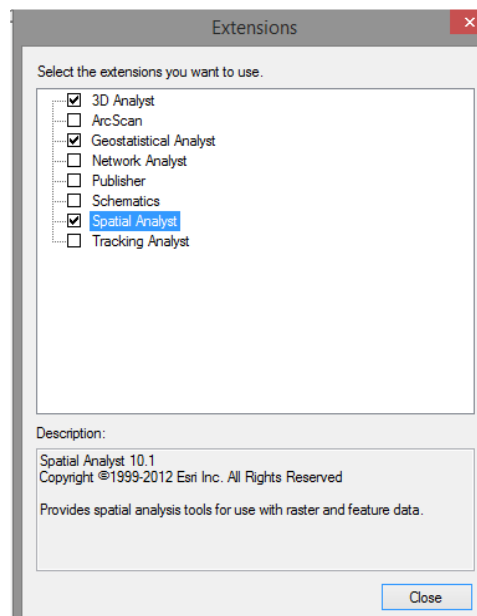


Figura 23. Función de análisis espacial.

Mapa de pendientes

La siguiente es la ruta para el mapa de pendientes: **ArcToolbox** → **Spatial Analyst** → **Surface** → **Slope**

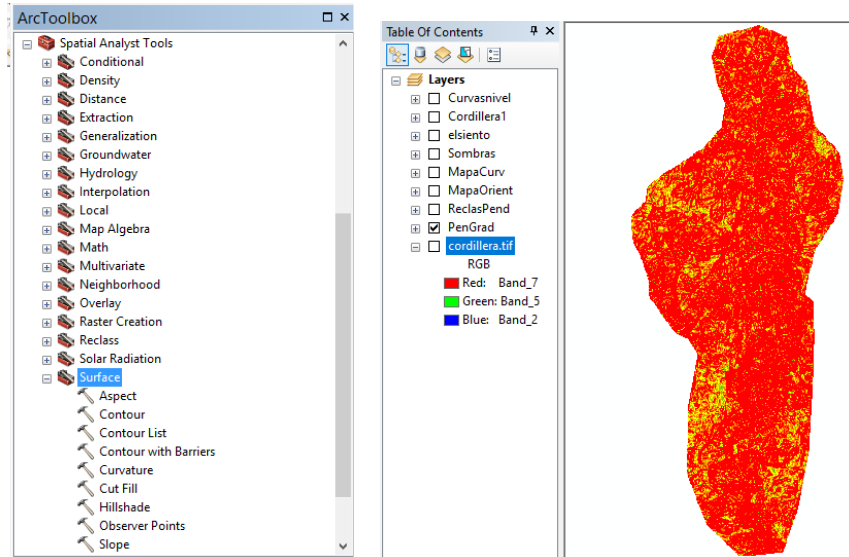


Figura 24. Mapa de pendientes.

Luego se procede a hacer una reclasificación de pendientes utilizando cinco rangos. Con la herramienta **Reclassify** se crea un nuevo mapa ráster con los nuevos valores de acuerdo con una reclasificación del mapa original.

La ruta por seguir es la siguiente: **ArcToolbox** → **Spatial Analyst** → **RECLASS** → **Reclassify**.

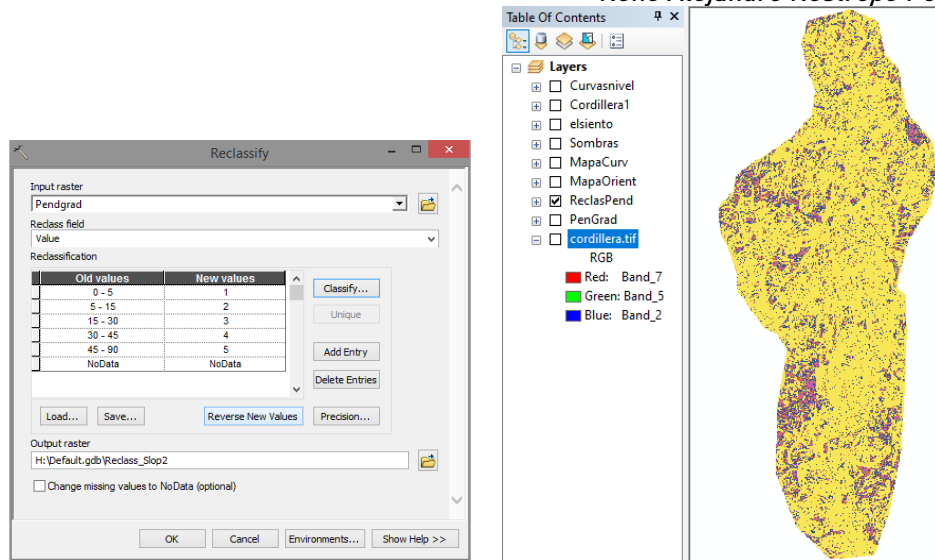


Figura 25. Reclasificación de pendientes.

Mapa de sombras (Hillshade)

Este mapa simula la morfología del relieve y sirve para visualizar el terreno antes de hacer el trazado definitivo. La ruta por seguir es la siguiente: **ArcToolbox** → **Spatial Analyst** → **SURFACE** → **Hillshade**.

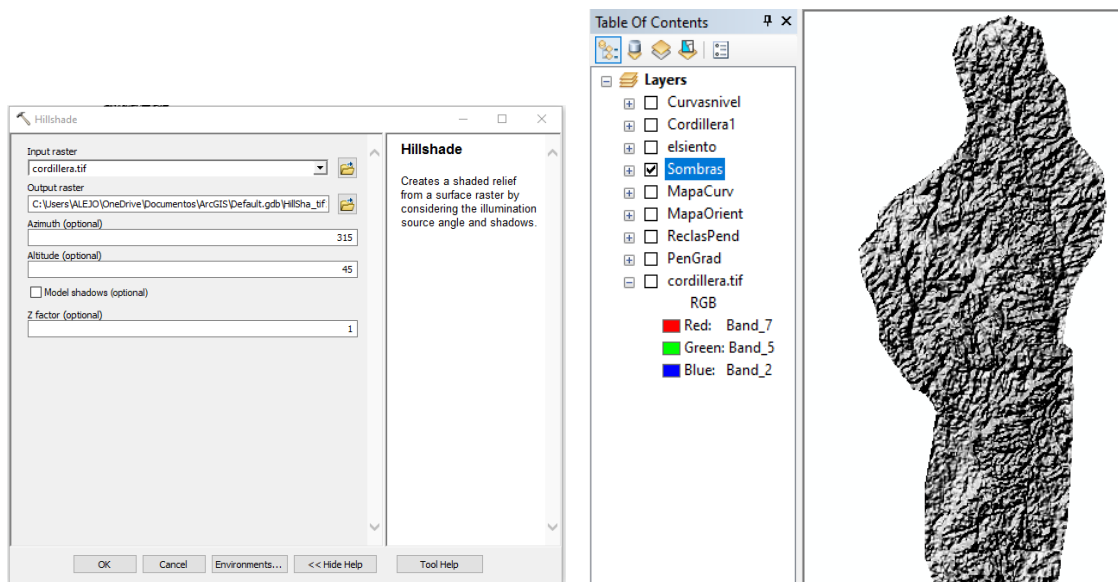


Figura 26. Mapa de sombras.

Curvas de nivel (*Contour*)

Con esta herramienta se obtiene las curvas de nivel del área determinada para el trazado final de la vía. La ruta por seguir es la siguiente: **ArcToolbox** → **Spatial Analyst** → **SURFACE** → **Contour**

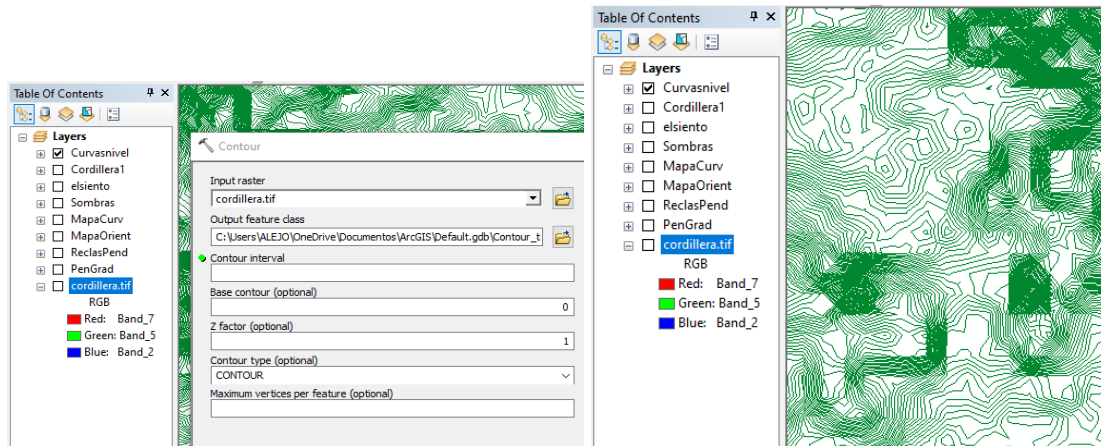


Figura 27. Tabla de herramientas para el cálculo de curvas de nivel.

El intervalo de las curvas de nivel es de 10 m.

5.10. Conversión de curvas de nivel de ArcGIS a AutoCAD.

Para pasar los puntos con cota o curvas de nivel con cota, primero hay que añadir al shapefile con nombre **“elevación”** para que luego, AutoCAD lo reconozca; los datos de altura o “z” se copian y se pegan en el nuevo campo creado con la herramienta **“Field calculator”** y se guarda. Finalmente se exporta a AutoCAD con **“Export to cad”**.

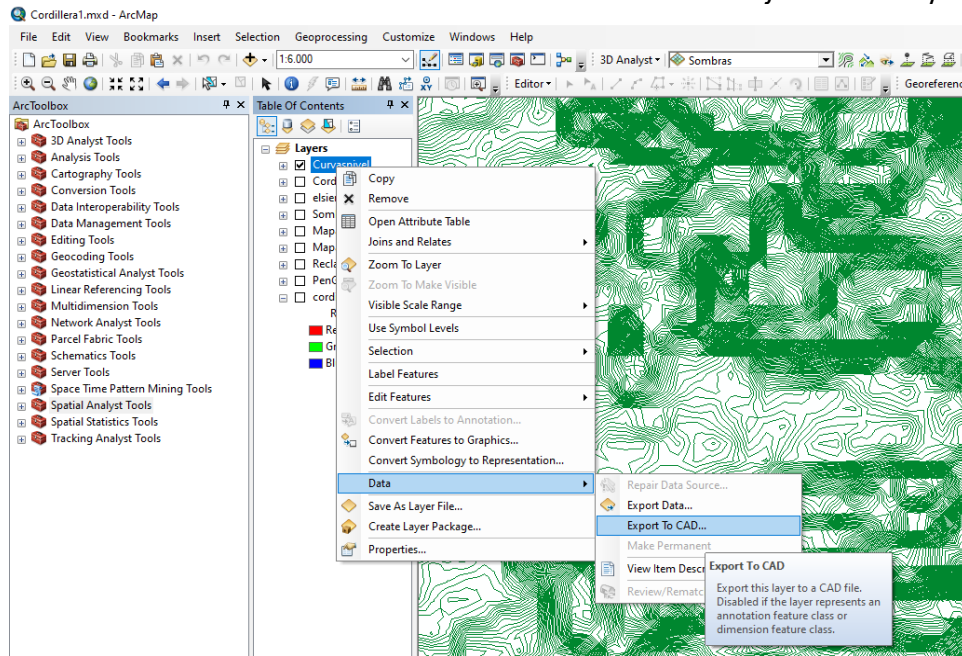


Figura 28. Exportar curvas de nivel de ArcGIS a AutoCAD.

Esta herramienta crea archivos CAD DWG, DXF o DGN. Para poder **transformar un archivo shapefile en un archivo CAD** damos clic derecho sobre el shapefile deseado y seleccionar la opción **Data** → **Export to CAD**. Otra de las opciones posibles es recurrir a las herramientas de **ArcToolBox** desde la ruta **Conversion Tools** → **To Cad** → **Export to CAD**.

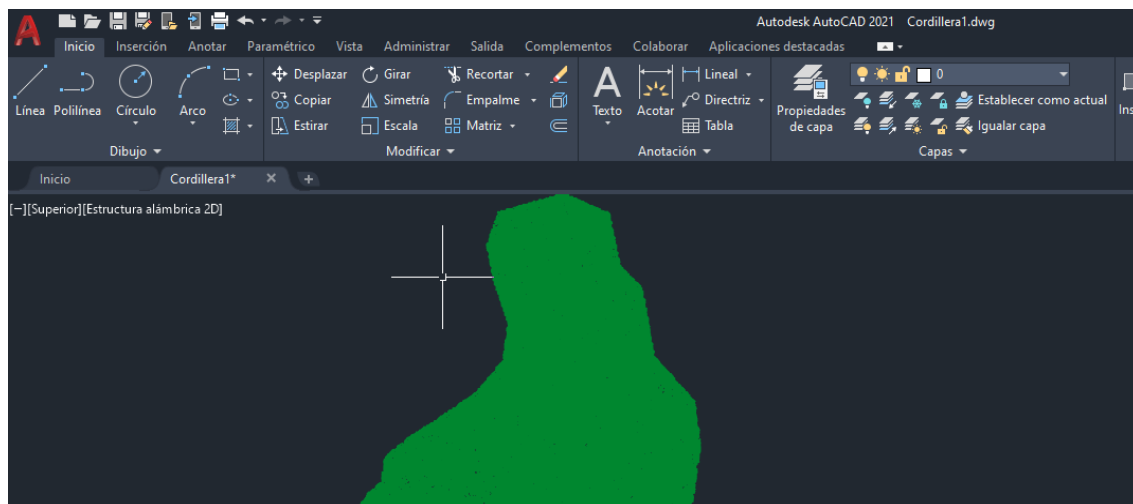


Figura 29. Curvas de nivel en AutoCAD.

6. DISEÑO GEOMÉTRICO PLANTA PERFIL

6.1 Definición de elementos de diseño

Partimos diciendo que nuestro proyecto está pensado en un terreno de difíciles condiciones, tanto de topografía, pues es un terreno en su totalidad montañoso y escarpado, como la presencia de fallas geológicas y la presencia de un buen número de cuerpos de agua.

Dado el avance tecnológico en los últimos tiempos, las modificaciones en la normatividad para el diseño de vías son comunes, no solo por la velocidad de diseño que son cada vez más altas, sino también por el tamaño de los vehículos que en algunos casos son más pequeños y livianos y en otros mucho más grandes y pesados.

Se presenta en estas notas la geometría, las ecuaciones y las ventajas para la utilización de curvas circulares para este tipo de carreteras de difícil topografía, tangentes muy cortas y una velocidad de diseño muy baja.

6.2 Metodología

Para la realización del diseño geométrico, se consideraron las siguientes actividades:

- Definición de la velocidad de diseño del proyecto, la cual se estableció en 30 kph considerando la importancia del proyecto y la topografía que presenta condiciones favorables para aceptar dicha velocidad de diseño.
- Con base en la velocidad de diseño se definieron los parámetros básicos, como son el radio mínimo, el ancho de sección transversal, la pendiente longitudinal máxima.
- Se definió el alineamiento horizontal del proyecto, conservando en general el corredor del camino actual.
- La definición del alineamiento vertical se basó en la economía de explanación adaptándose en lo posible al terreno existente. Las curvas verticales cumplen para la velocidad de diseño del proyecto.
- Con el proyecto definido horizontal y verticalmente, se procedió al dibujo de las secciones transversales cada 10 metros y en escala 1:200. Con el



Trabajo Opción de Grado para optar por el título de Ingeniería Civil
René Alejandro Restrepo Pérez

software especializado se obtienen las áreas de explanación y con éstas, se obtienen los volúmenes de corte y terraplén.

6.3 Criterios de diseño

Atributos como la estética, la comodidad, la economía, la funcionalidad, entre otros, son los llamados a tener en cuenta en el momento de diseñar una carretera, de tal manera que satisfaga al usuario final, y por ende determine el trazado definitivo de la vía.

- **Seguridad.**
Es el aspecto más importante en el diseño de una carretera. La curvatura debe ser uniforme y la visibilidad suficiente, tanto vertical como horizontal, además debe contar con una buena señalización.
- **Comodidad**
Mientras más uniforme es el diseño, más cómoda es la carretera. Con un diseño uniforme aumenta la comodidad porque los cambios en la velocidad bajan, al igual que las aceleraciones y desaceleraciones. Si no se cumple con esta premisa, se debe diseñar el carretable con transiciones adecuadas en su curvatura.
- **Funcionalidad**
Se debe garantizar a los vehículos (conductores) que transiten por esta vía, una velocidad de 30 kph, siendo ésta una velocidad adecuada para lograr uniformidad y buena movilidad.
La funcionalidad al fin al cabo la define la capacidad y los niveles de servicio entre otra característica, la definición del TPD, el volumen y la composición vehicular.
- **Entorno**
Causar en menor impacto posible al medio ambiente antes, durante y después de la construcción de la carretera. Adaptar el diseño de la mejor forma al relieve de la zona, más teniendo en cuenta que es una topografía muy quebrada.
- **Economía**
Sin castigar de alguna forma la calidad del proyecto se debe lograr un equilibrio entre diseño y los costos de construcción.
- **Estética**



Trabajo Opción de Grado para optar por el título de Ingeniería Civil
René Alejandro Restrepo Pérez

Se debe hacer una carretera con no afecte el paisaje, esto desde el punto de vista exterior; y desde el interior que el conductor se sienta cómodo y que el conducir sea agradable.

- **Elasticidad**

Consiste en hacer posible que la vía diseñada tenga la posibilidad de ser ampliada en un futuro y posibilitar la conexión con otras vías que permitan la comunicación entre las diferentes comunidades. También se refiere a la interacción de ésta con otros tipos de transporte multimodal como por ejemplo las vías fluviales, aéreas y ferrocarriles.

6.4 Factores de diseño

- **Externos**

Estos corresponden a las condiciones preexistentes tales como:

- ✓ Por características físicas, esta vía tiene una topografía escarpada que la hacen particular en cuanto a geología y geotecnia.
- ✓ La zona tiene poco desarrollo urbanístico, pero posiblemente cuente con otros previstos para desarrollar en el futuro.
- ✓ El uso de la tierra es de vocación netamente agrícola y ganadera.
- ✓ La zona registra un índice de desocupación muy alto.
- ✓ Se hace énfasis en la seguridad vial, la cual debe ser reforzada con una buena señalización.

- **Internos**

Corresponden a la propia vía, pero también dependen de algunos externos como:

- ✓ Los vehículos y sus características.
- ✓ La geometría de la vía y sus efectos.
- ✓ El tipo de tráfico.
- ✓ La capacidad de la vía.
- ✓ El comportamiento de los usuarios.
- ✓ Las facilidades de acceso a las propiedades y a otras vías.
- ✓ La velocidad.

6.5 Parámetros de diseño

Hay que partir de datos conocidos para el cálculo de los diversos elementos del trazado de una curva circular.

Una curva circular simple es un arco cuya función es unir dos líneas rectas de la vía.

La componen los elementos descritos a continuación:

Ángulo de deflexión [Δ]: Es el ángulo formado por dos líneas rectas que se cortan en el trazado de la vía, puede ser ángulo agudo, obtuso, recto y convexo. También pueden ser ángulos derechos o izquierdos según el sentido de la vía.

Tangente [T]: La tangente es una línea recta que une dos curvas, bien sea curvas circulares o curvas espirales, se llama entretangencia y va desde el PT hasta el PC siguiente o viceversa.

$$T = R \cdot \tan\left(\frac{\Delta}{2}\right)$$

- **Radio [R]:** Es la distancia que va desde el centro de la circunferencia de la curva que compone el arco.

$$R = \frac{T}{\tan \frac{\Delta}{2}}$$

- **Cuerda larga [CL]:** Es la línea recta que une el PC y el PT de una curva de la vía.

$$CL = 2 \cdot R \sin \frac{\Delta}{2}$$

- **Externa [E]:** Es la distancia que hay entre el vértice del ángulo formado entre las dos líneas tangentes y el punto más próximo a la curva.

$$E = T \tan \frac{\Delta}{4}$$

$$E = R \left(\frac{1}{\cos\left(\frac{\Delta}{2}\right)} - 1 \right)$$

- **Ordenada Media [M] (o flecha [F]):** Es la línea recta que une el punto medio de la cuerda con el punto medio de la curva.

$$M = R(1 - \cos \frac{\Delta}{2})$$

- **Grado de curvatura [G]:** Es la longitud que mide la curva de un arco.

$$G_c = 2 \arcsin \frac{c}{2R}$$

- **Longitud de la curva [L]:** Es la longitud de una curva medida desde el PC y el PT en el trazado de una vía.

$$L_c = \frac{c \cdot \Delta}{G_c}$$

6.6 Creación del modelo digital



Figura 30. Creación del modelo digital del terreno.



Trabajo Opción de Grado para optar por el título de Ingeniería Civil
René Alejandro Restrepo Pérez

El siguiente paso se da cuando se tiene certeza de que la información ya ha pasado por un filtro de correcciones y ajustes que haga confiable el producto. La precisión y el ajuste de errores es primordial y deben cumplir con la tolerancia permitida.

Con un archivo creado con extensión .cvs se da paso al uso del programa Strato, el archivo debe contener el número de detalle, coordenada este, coordenada norte y cota o altura, en ese orden. Al importar esta información al programa Strato aparece una nube de puntos interpolables que crea el modelo digital del terreno, luego de depurar y corregir los puntos erróneos.

Por medio de una herramienta propia del programa Strato llamada polilínea, se perfeccionan las curvas de nivel, obligando de cierta forma a que la triangulación tenga en cuenta las características más relevantes del terreno como son los hombros del talud o llamadas también coronas del talud, la pata del talud, los bordes de vía, los bordes de quebrada, etc.

Finalmente se exporta el modelo digital del terreno a AutoCAD para proceder a hacer el diseño de la vía.

6.7 Ubicación del proyecto

El proyecto Vía El Siento-La Cordillera se ubica en el corregimiento de Tabacal, del municipio de Buriticá, y se proyecta como un tramo de vía que comunicaría en el futuro con el municipio de Peque, en el extremo occidente del departamento de Antioquia. Esta vía dará acceso no solo a este municipio sino también al corregimiento Llanos de Urarco de Buriticá.

El estudio preliminar de alternativas recomendó dos posibles trazados entre La Cordillera y Llanos de Urarco, ya que la topografía es de alta pendiente y con recurrentes fallas geológicas.

Un primer tramo es la vía existente entre el corregimiento de Tabacal hasta la vereda El Siento, la cual cuenta en gran parte con placa huella hecha recientemente, y con buenas características físicas tanto en lineamiento horizontal como vertical, lo que le da un buen margen de seguridad al conductor. En la imagen siguiente se puede observar, figura 30.

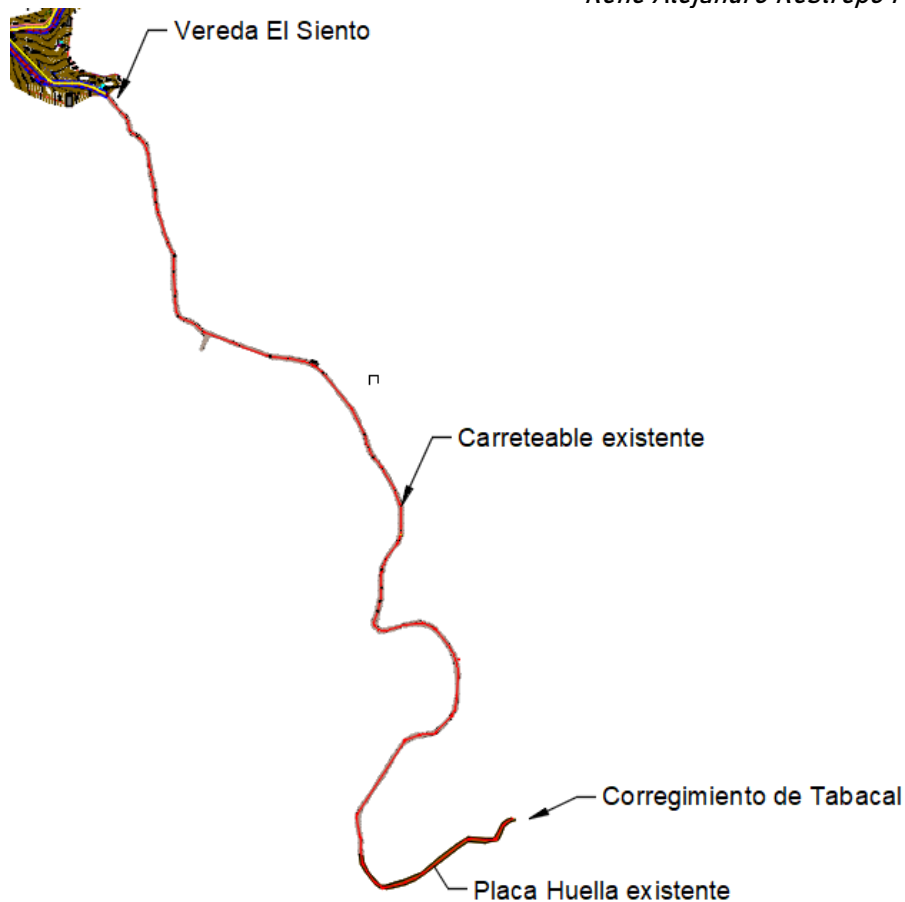


Figura 31. Tramo de vía existente entre Tabacal y El Siento.

El tramo a continuación es el tramo al cual se le hizo un estudio más detallado, haciendo uso de diferentes programas como el ArcGIS, el Strato y el AutoCAD, y cuyo tramo se extrajo del shapefile objeto del presente trabajo.

En el numeral 5.8, “selección del modelo digital de elevación”, se generó el archivo DWG de curvas de nivel, se extraen las curvas de nivel del proyecto en el tramo que va desde la vereda El Siento hasta la vereda La Cordillera, las curvas de nivel se generaron cada 5 metros. Este archivo DWG se convierte a uno DXF para poderlo importar al programa Strato.

Una de las alternativas va hacia el lado izquierdo de la vereda La Cordillera que está a una altura de 2035 msnm, por un carreteable existente que llega hasta la Vereda La vega, de allí parte un camino hasta la vereda Las Cuatro



Trabajo Opción de Grado para optar por el título de Ingeniería Civil
René Alejandro Restrepo Pérez

y Palenque a una altura de 960 msnm. El desnivel es de 1075 metros aproximadamente, en un tramo de 7 kilómetros entre estas dos veredas.

7 RESULTADOS

7.1 Trazado vía nueva desde la vereda La Cordillera al corregimiento Llanos de Uarco

Con el objetivo de dar continuidad a la vía existente y dar otra alternativa de comunicación entre el municipio de Peque y la capital del departamento, se plantea el siguiente trazado entre la vereda La Cordillera, que ya cuenta con una vía que cumple con normas INVIAS, y el corregimiento Llanos de Uarco, en el municipio de Buriticá.

Dado que las imágenes “bajadas” del satélite Lansat no generaron curvas de nivel de calidad, se procedió a “bajar” una imagen de la plataforma EarthData ([Búsqueda de datos ASF \(alaska.edu\)](http://alaska.edu)), del satélite **Alos Palsar** que cuenta con una resolución de 10 m, mucho más confiable que la resolución de 30 m del Landsat.

Con las curvas de nivel creadas con la imagen de Alos Palsar se procede a definir el trazado luego de convertirlas a AutoCad, se hace tratando en lo posible, cumplir con las normas de diseño geométrico planta-perfil para una vía de segunda categoría o secundaria. Entre otras normas, se tiene especial cuidado en manejar pendiente longitudinal no superiores al 17% y curvas horizontales mayores a 18 m con sobrecancho, y velocidad de diseño de 30 kph.

Con el trazado de la vía definida se importa al programa ArcGIS con el comando Add Data, una vez en la tabla de contenido se da click derecho a la capa de la vía, y se sigue la siguiente ruta: Data → Export Data y se da la ruta de la carpeta destino, el nombre y se asegura de guardarlo como shapefile. Ver la imagen siguiente.

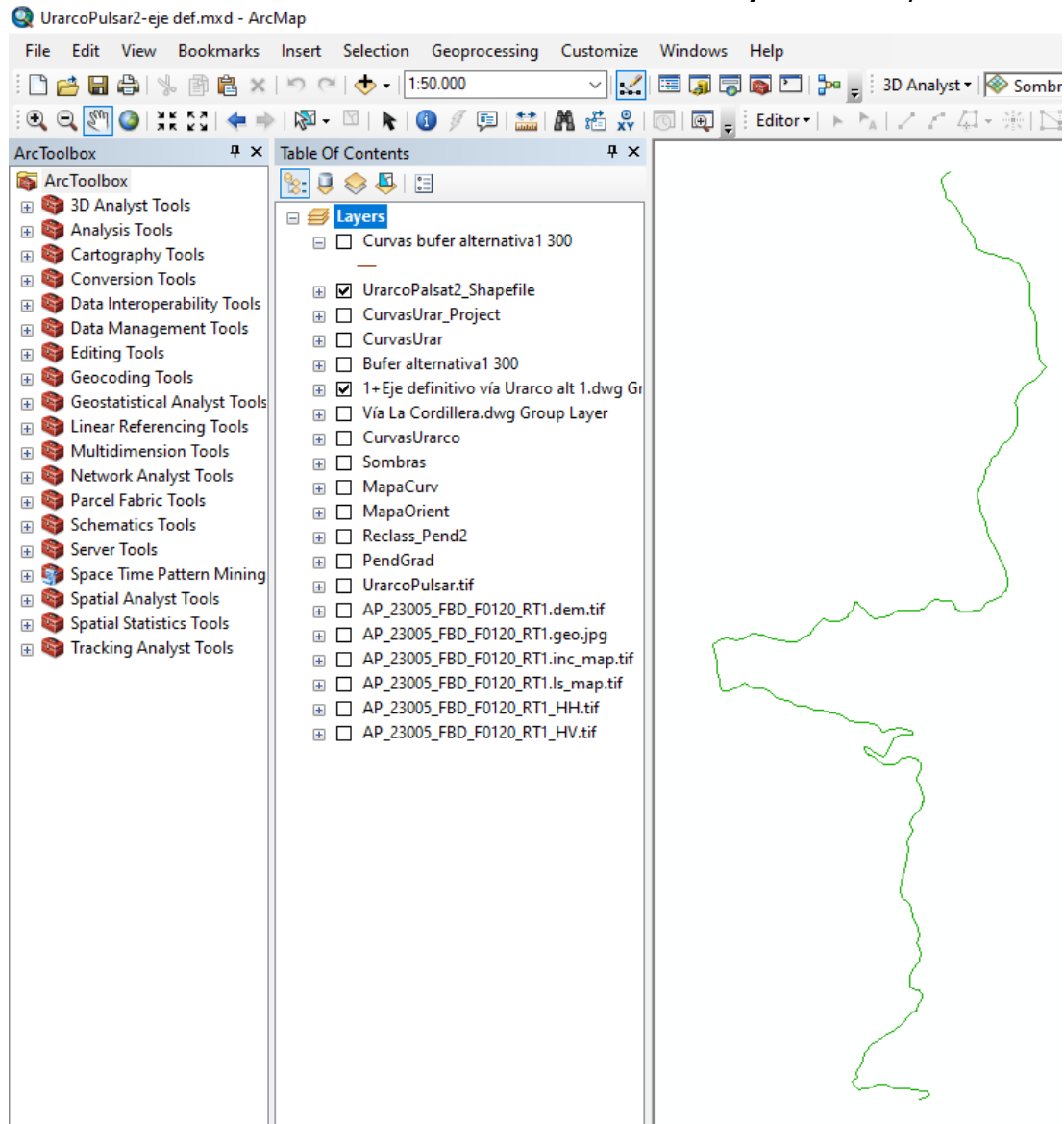


Figura 32. Importación del trazado de la vía de AutoCad a ArcGIS.

A continuación, creamos un Buffer con ancho 300 metros a partir del eje de la vía como se ve en la imagen 33.

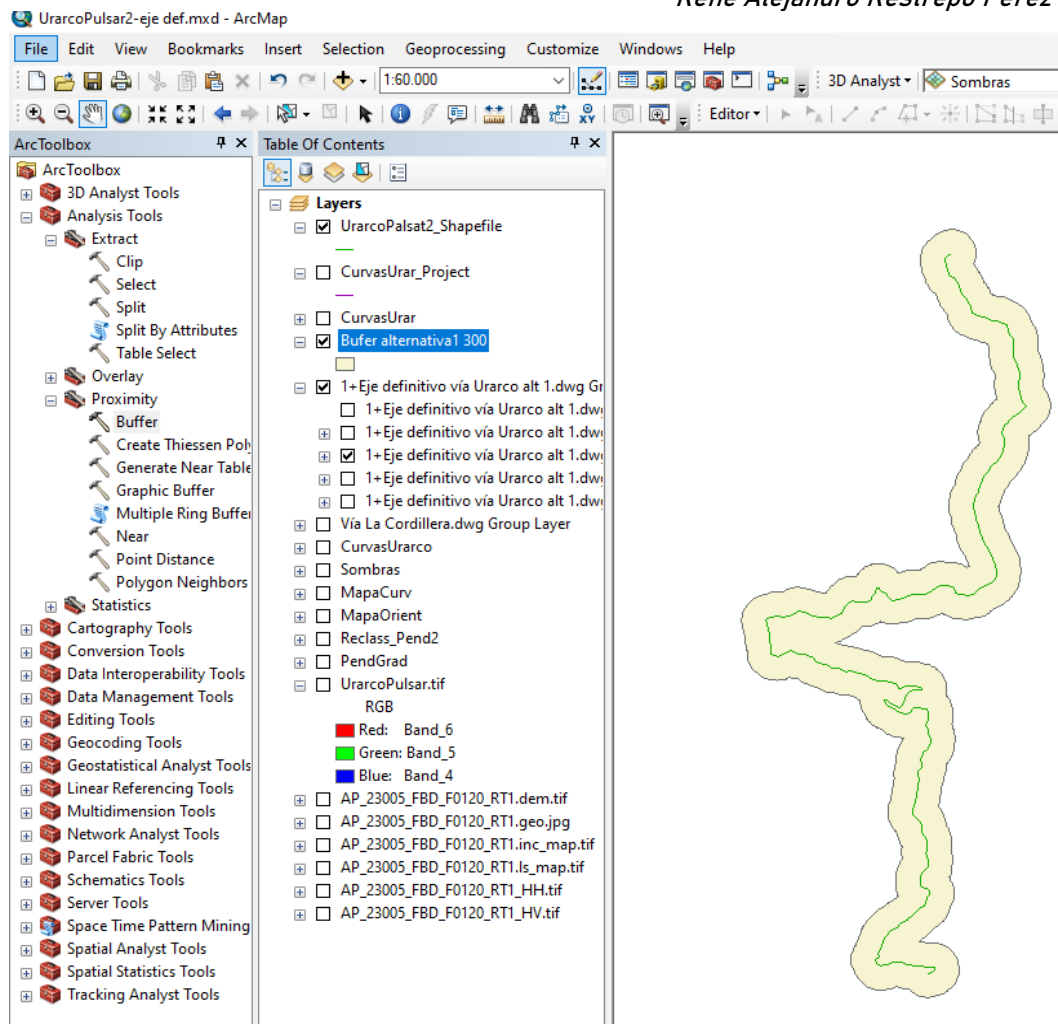


Figura 33. Creación del buffer.

Con el buffer creado se procede a cortar las curvas de nivel, se toma la información del layer CurvaUrar_Projerct, la cual tiene la georreferenciación correcta, con coordenadas Magna Origen Oeste (no se trabajó con el nuevo sistema de coordenadas Origen Nacional, resolución 471 de mayo 14 de 2020). La ruta es la siguiente: **ArcToolbox** → **Analyst Tools** → **Proximity** → **Buffer**.

Luego se hace un Clip para cortar las curvas de nivel correspondientes al buffer creado, se hace la ruta siguiente: **ArcToolbox** → **Analyst Tools** → **Extract** → **Clip**.

En la próxima imagen se observa la secuencia para la obtención del Clip

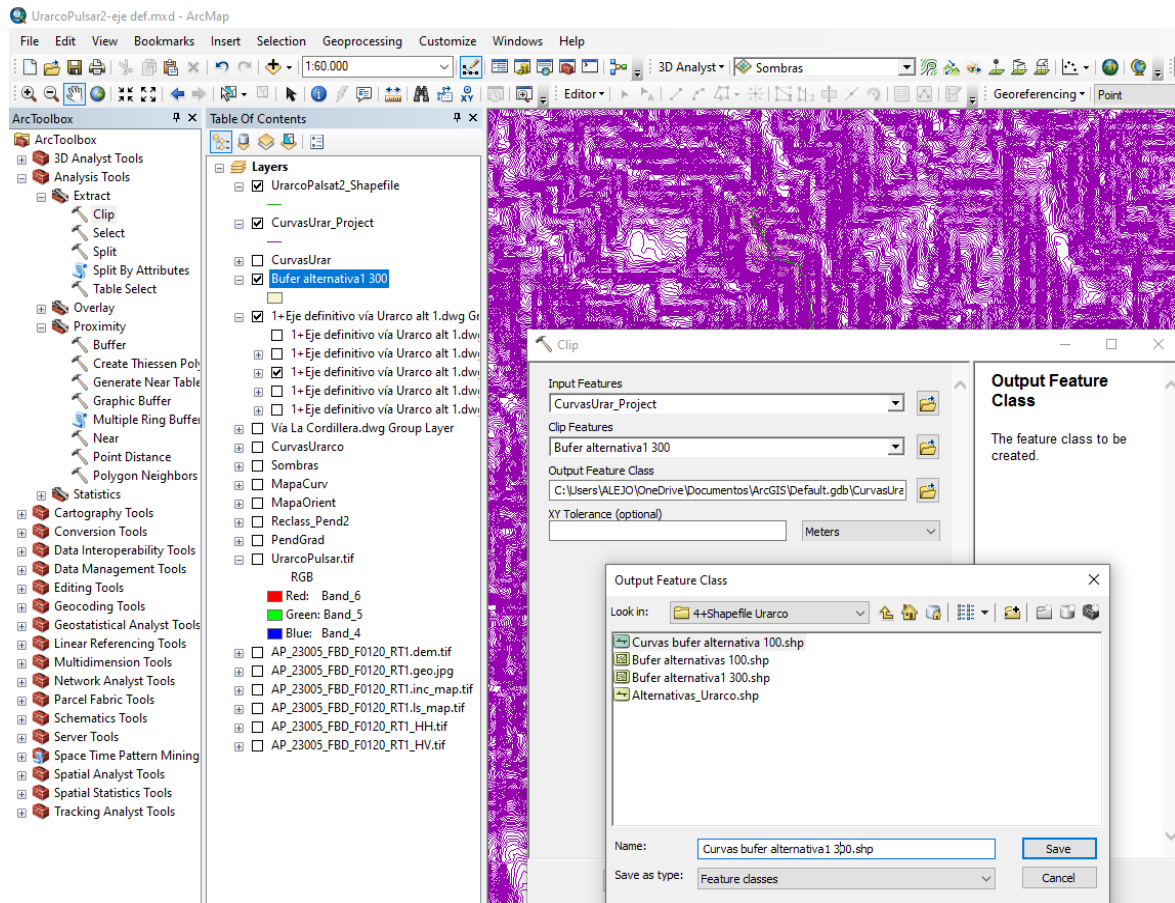


Figura 34. Secuencia para la obtención del Clip.

Resumiendo, para extraer las curvas de nivel se necesitan básicamente dos elementos. El primero es contar con los datos para generar dichas curvas de nivel. Deben de provenir de diferentes fuentes, se hace referencia a dos más concretamente, una es poder contar con una nube de puntos de elevación que se puedan interpolar para obtener líneas o curvas de nivel.

La otra fuente poder contar con un archivo ráster que contenga información altimétrica, es decir, un modelo digital de elevación del terreno MDE, siendo esta última la opción seleccionada para el presente trabajo.

Además, vamos a requerir de una serie de herramientas en nuestro **Sistema de Información Geográfica**. Nos referimos a Buffer y Clip de la caja de herramientas ArcToolbox

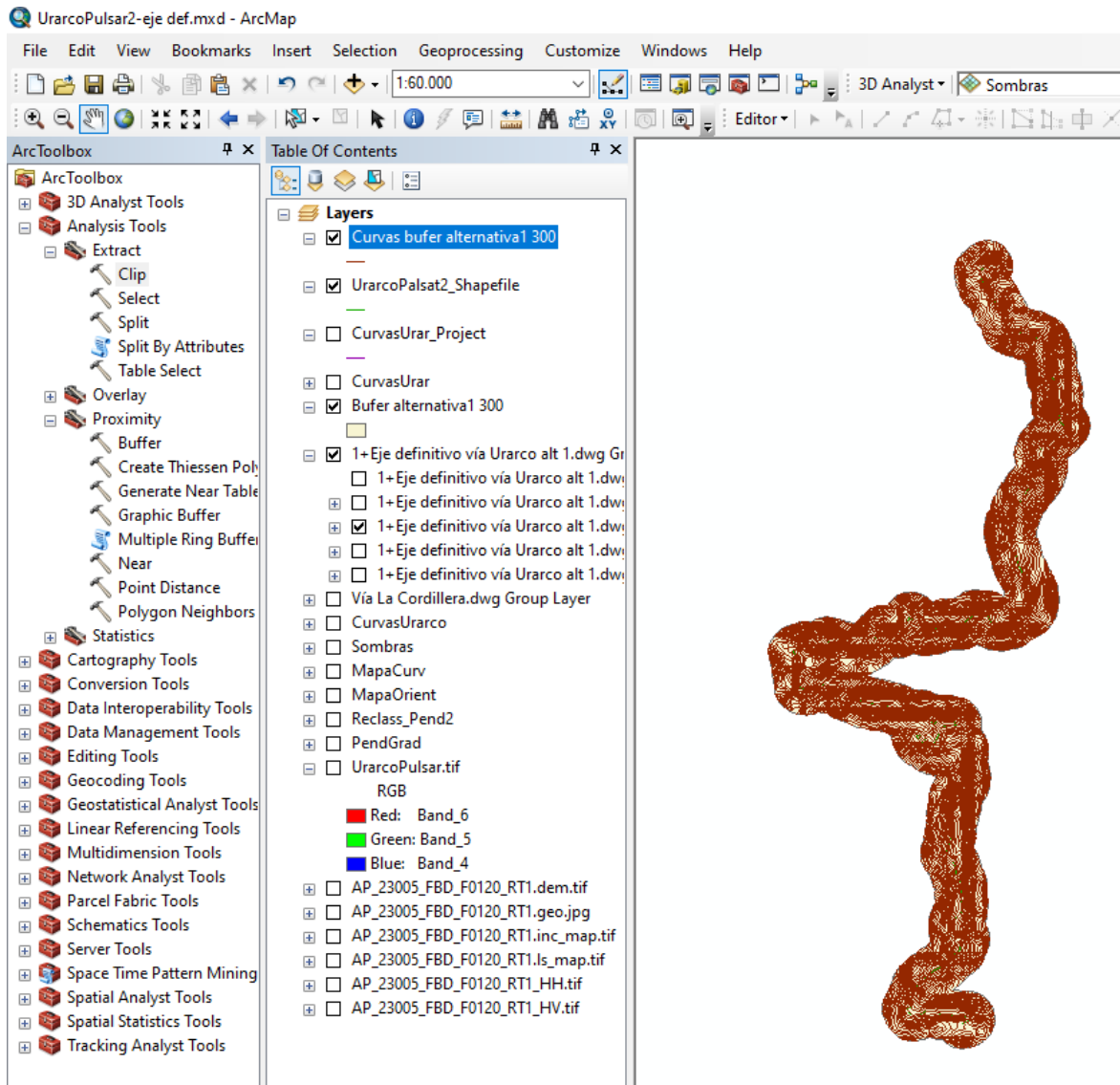


Figura 35. Creación del buffer y el clip con las curvas de nivel.

El perfil topográfico se puede apreciar en la siguiente imagen, se observa algunos picos que se deben corregir cuando el proyecto esté en fase III o en etapa de ingeniería de detalle, es allí donde se hacen los ajustes en todos

los frentes.

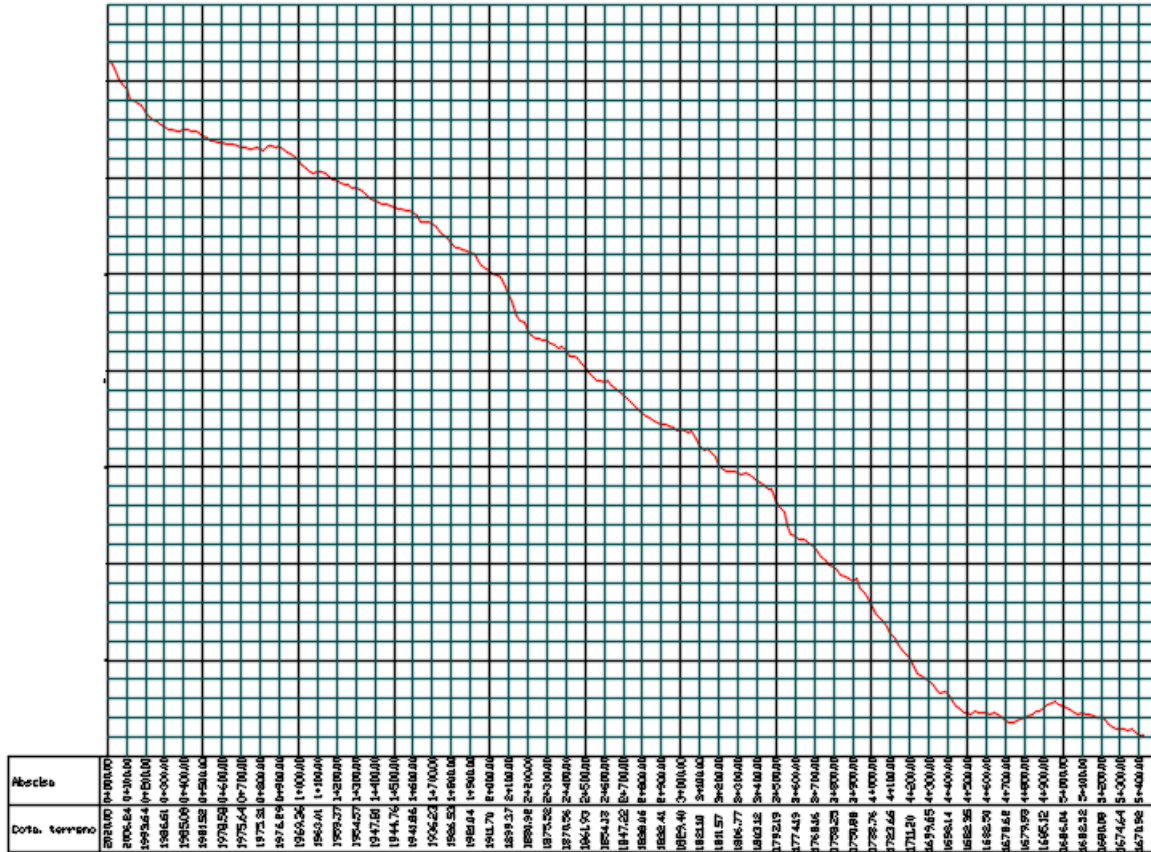


Figura 36. Perfil longitudinal K0.000 a K5+400.

El alineamiento vertical lo conforma la rasante, la inclinación depende de la topografía de la zona, del alineamiento horizontal, de la visibilidad, de la velocidad de diseño, de los costos de construcción, los costos de operación y el porcentaje de vehículos pesados. El relieve del terreno del proyecto está en montañoso y escarpado, en la parte montañosa está limitado a las condiciones topográficas y, en las zonas escarpadas, el alineamiento vertical está definido por las divisorias de agua.

Según la norma, la relación entre pendiente máxima (%) y la velocidad de diseño, nos dice que, para una vía con las características del proyecto, se tiene un tipo de carretera Secundaria si se llegase a terminar la vía hasta el municipio de Peque, para un tipo de terreno montañoso, una velocidad de diseño de 40 k/h, la pendiente será de $P=15\%$, y para terreno escarpado, una velocidad de 30 k/h, la pendiente será $P=15\%$.

Si la vía solo fuera de tipo terciaria, la pendiente máxima para el terreno escarpado será del 16%, y para el terreno montañoso del 14%.⁹

7.2 Coberturas y uso del suelo

La cobertura del suelo o **Land Cover** es un término que se emplea para describir el tipo de material físico que cubre la superficie de la tierra, entre las coberturas tenemos el agua, los árboles, el tipo de pavimento o superficie de las vías o carretables, el tipo de hierba, etc.

7.2.1 Determinación de demanda ambiental

La metodología CORINE Land Cover es una metodología para realizar el inventario de la cobertura de la tierra, fue promovido por la Comunidad Europea dentro del programa CORINE (Coordination of information on the environment) en el año 1990.

Colombia cuenta con una base de datos llamada Corine Land Cover Colombia (CLC) que permite caracterizar, describir, comparar y clasificar las características de la cobertura de la tierra, haciendo uso de imágenes de satélite de resolución media (Landsat). Otras imágenes de satélite utilizadas son SPOT, Sentinel2+Landsat 8, IRS.

Para determinar el uso y cobertura de la zona de influencia de la vía objeto de estudio, con la imagen descargada del satélite Alos Palsar, recurrimos a ArcGIS y seguimos la siguiente ruta:

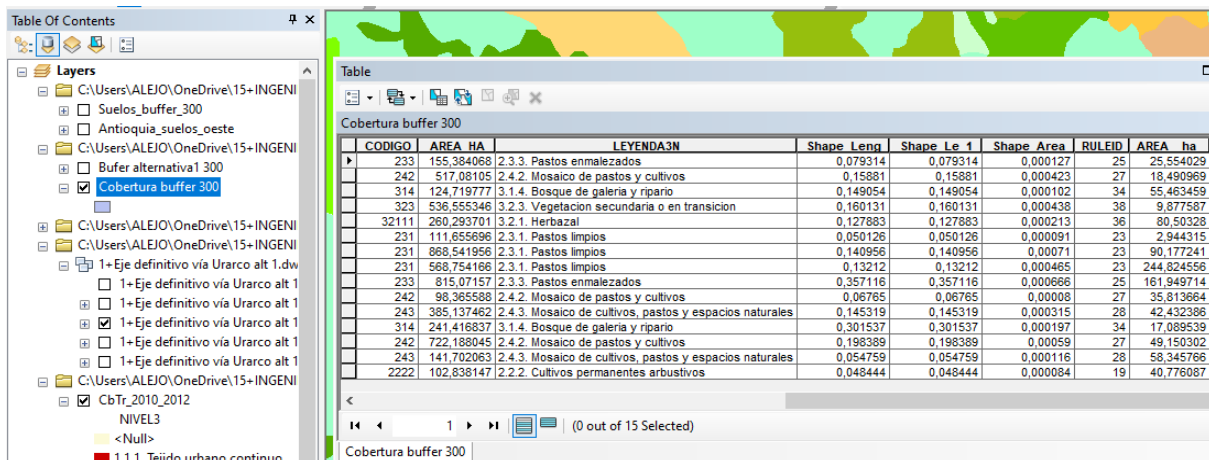


Figura 37. Cálculo de las áreas de cobertura vegetal.

Sobre el layer “**Cobertura buffer 300**” hacemos click derecho y abrimos la tabla de Atributos – **Open Attribute Table** – ya en la tabla creamos una nueva columna la cual llamaremos **Área ha**, Click derecho sobre la columna **UCS-F** → **click derecho en Summarize** → **buscamos Área ha y damos click en Sum**, → **definimos la ruta de destino** → **definimos el tipo de archivo (dbf)**.

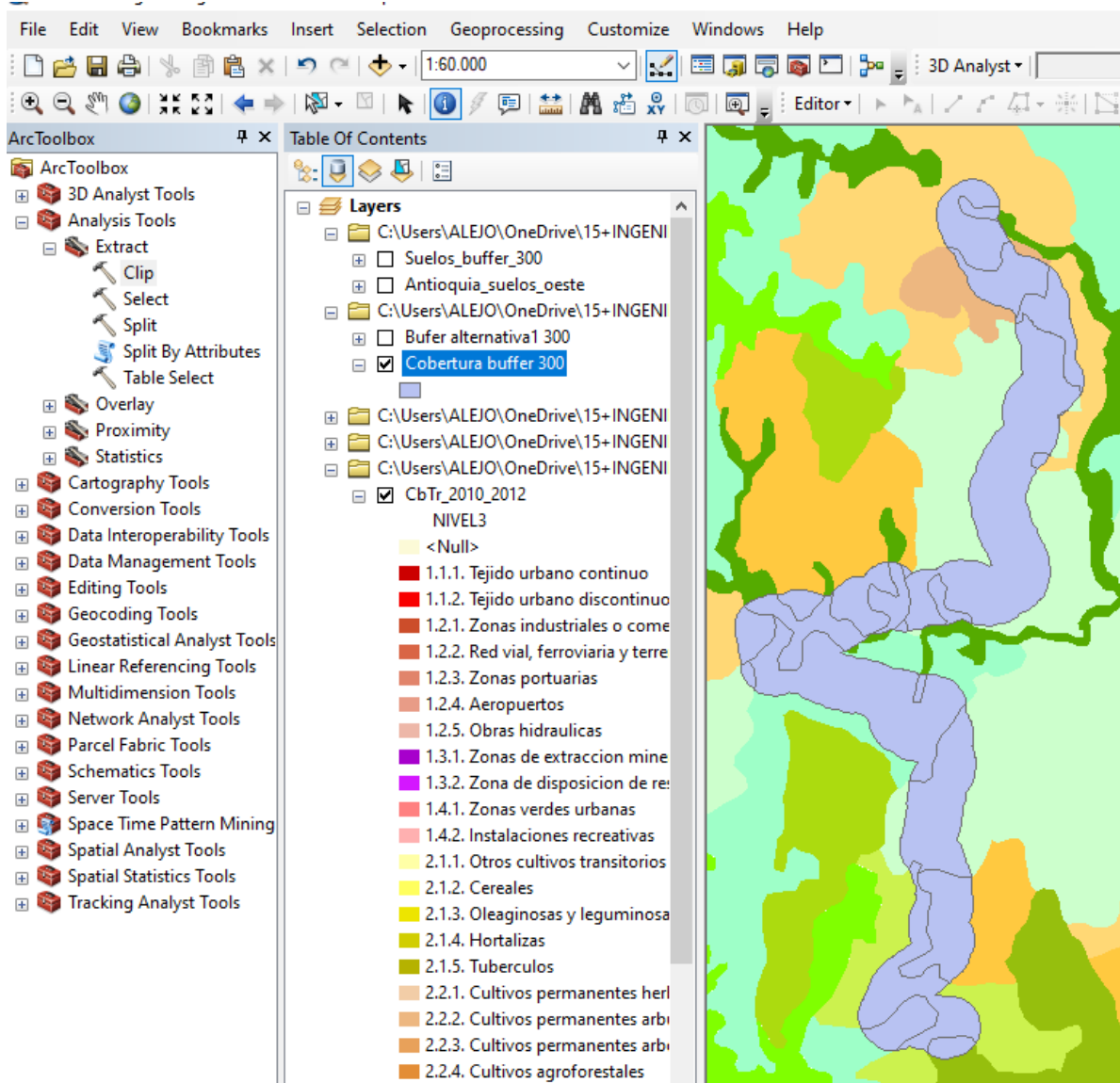
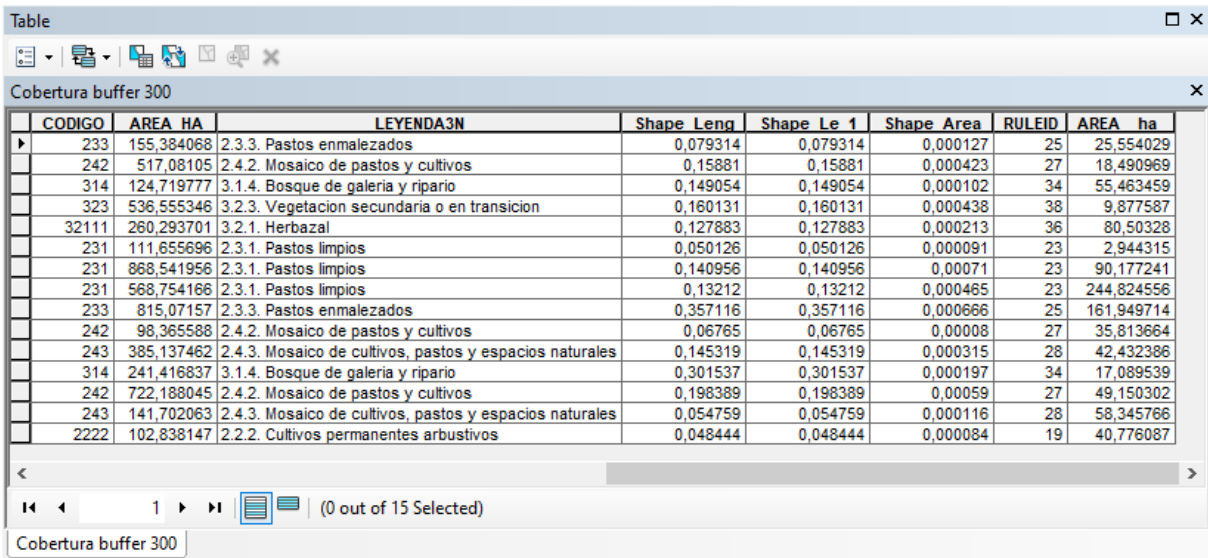


Figura 38. Cálculo de las áreas de cobertura del suelo.

7.2.2 Análisis e interpretación de coberturas

La interpretación de las imágenes se lleva a cabo a través del uso del software ArcGIS, el resultado de las áreas en las diferentes coberturas del trazado y la zona de afectación se puede observar en la siguiente imagen y el resumen en la unidad de Resultados.



CODIGO	AREA HA	LEYENDA3N	Shape Leng	Shape Le 1	Shape Area	RULEID	AREA ha
233	155,384068	2.3.3. Pastos enmalezados	0,079314	0,079314	0,000127	25	25,554029
242	517,08105	2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos	0,15881	0,15881	0,000423	27	18,490969
314	124,719777	3.1.4. Bosque de galería y ripario	0,149054	0,149054	0,000102	34	55,463459
323	536,555346	3.2.3. Vegetación secundaria o en transición	0,160131	0,160131	0,000438	38	9,877587
32111	260,293701	3.2.1. Herbazal	0,127883	0,127883	0,000213	36	80,50328
231	111,655696	2.3.1. Pastos limpios	0,050126	0,050126	0,000091	23	2,944315
231	868,541956	2.3.1. Pastos limpios	0,140956	0,140956	0,00071	23	90,177241
231	568,754166	2.3.1. Pastos limpios	0,13212	0,13212	0,000465	23	244,824556
233	815,07157	2.3.3. Pastos enmalezados	0,357116	0,357116	0,000666	25	161,949714
242	98,365588	2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos	0,06765	0,06765	0,00008	27	35,813664
243	385,137462	2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	0,145319	0,145319	0,000315	28	42,432386
314	241,416837	3.1.4. Bosque de galería y ripario	0,301537	0,301537	0,000197	34	17,089539
242	722,188045	2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos	0,198389	0,198389	0,00059	27	49,150302
243	141,702063	2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	0,054759	0,054759	0,000116	28	58,345766
2222	102,838147	2.2.2. Cultivos permanentes arbustivos	0,048444	0,048444	0,000084	19	40,776087

Figura 39. Tabla de áreas de coberturas.

La cobertura que más área ocupa a lo largo del corredor son los pastos limpios con área de 337.946 ha, la de menos área es la vegetación secundaria o de transición con un área de 9.878 ha.

La metodología CORINE Land Cover considera seis niveles, el nivel uno se subdivide en cinco categorías que son: territorios artificializados, territorios agrícolas, bosques y áreas seminaturales, áreas húmedas y superficies de agua.

La cobertura que amerita especial atención es la 3.1.4 dado el aporte que representa en los componentes agua, suelo y aire por lo que se deben tomar medidas de protección para su sostenibilidad y así evitar su deterioro.

En total son 72,5 hectáreas, su distribución se puede apreciar en la figura 38. Esta cobertura es muy importante para la conservación de los recursos de flora y fauna que habitan en esta zona.

Las áreas clasificadas en el nivel 1, Territorios Agrícolas, están compuestas principalmente por los pastos: pastos limpios, pastos enmalezados, en mosaico de pastos y cultivos y mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, de éstos el de mayor área es el de pastos limpios con 337.95 ha y representa el 36.20% del territorio; en segundo lugar están los Pastos enmalezados con 187.50 ha que representa el 20.09% del territorio, en tercer lugar está el mosaico de pastos y cultivos con 103.45 ha que representa el 11.08% del territorio. El mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales cuenta con un área de 100.778 ha para un 10.80% del territorio.

Lo anterior deja claro que la vocación que predomina en la zona de influencia del proyecto es la actividad ganadera representada en los pastos, con respecto a la actividad agrícola, ésta está representada en la existencia de cultivos de café principalmente y de caña panelera, también se observan cultivos transitorios.

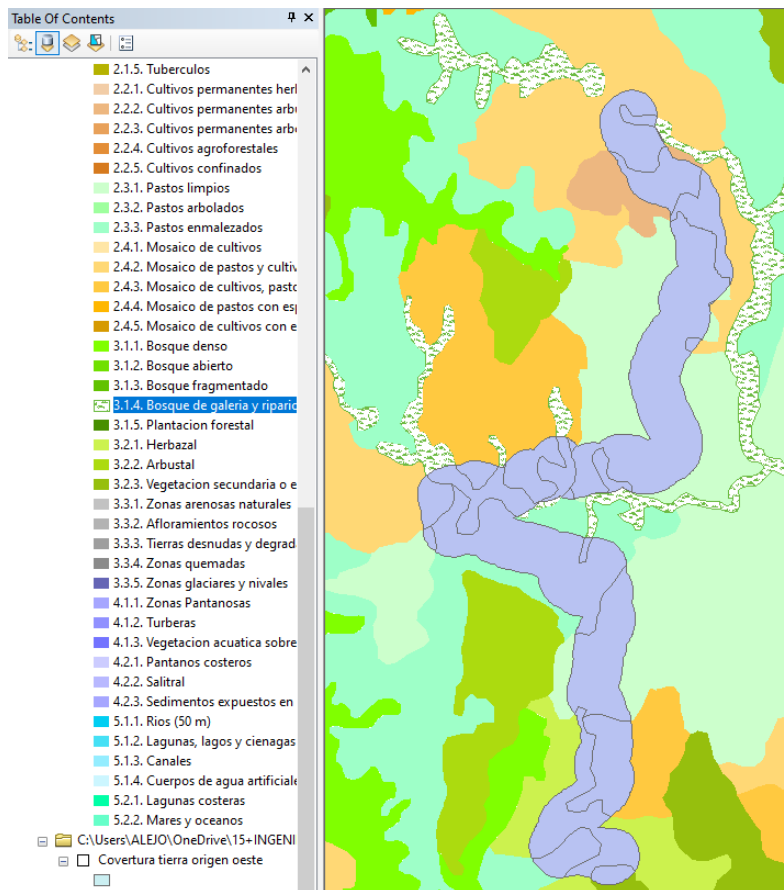


Figura 40. Cobertura bosques de galería y ripario.

7.2.3 Análisis e interpretación de suelos

Nos adentramos en el tema de la composición del suelo en la zona del proyecto partiendo como base los estudios sobre geología regional del occidente antioqueño existentes en la bibliografía.

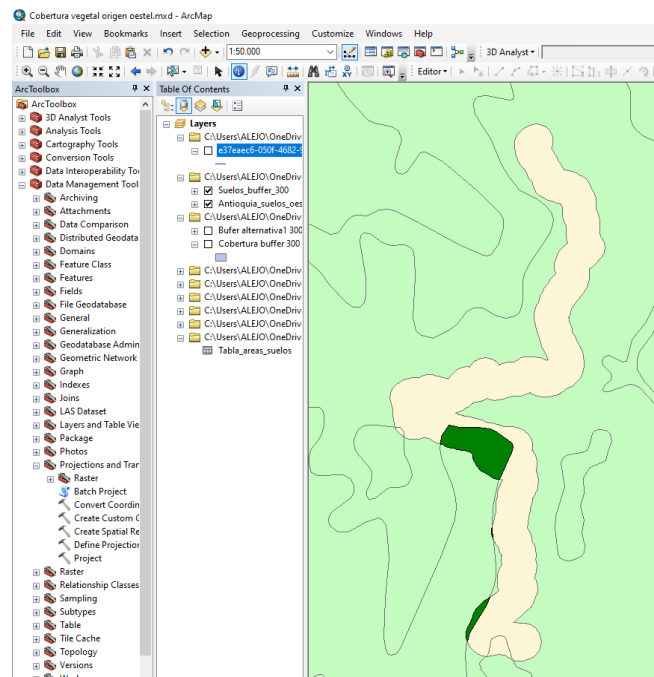


Figura 41. Unidad de suelo HBf1.

Se toma como base el estudio realizado en la referencia bibliográfica 12, donde se describe la geología de la zona. Las unidades geológicas en la zona están constituidas por rocas metamórficas, principalmente Anfibolitas que afloran como cuerpos de forma alargada y tamaño variable.

Entre los Gnéisises de Horizontes y el Batolito Antioqueño, se observan lentes de diferentes tamaños, Gnéisises, Cuarzitas, Cuarzo Feldespáticas, Esquistos y Magmatitas. Los sedimentos cuaternarios son de origen aluvial, siendo el mas importante el depósito donde se encuentra la cabecera municipal de Santafé de Antioquia.

La erosión hídrica se presenta como un fenómeno de escurrimiento intenso, erosión lineal agresiva, erosión laminar, erosión remontante y socavamiento lateral, desnudando las laderas de forma intensa en ciertas zonas.

Se tiene en la zona objeto de estudio cuatro unidades de suelo cuyas características son las siguientes: ALd1, HBf1, POdp y SBf2.

- **Unidad de suelo HBf1.** La descripción dice que el paisaje es de Montaña, el clima es frío húmedo, el tipo de relieve es filas y vigas, la litología está compuesta por rocas ígneas (diabasas y basaltos) y depósitos de cenizas volcánicas.

Características: Profundos y superficiales limitados por piedra y gravilla, bien drenados, texturas al tacto moderadamente fina y medias con fragmentos de roca, reacción muy fuerte y fuertemente ácida, fertilidad baja

Location: 1.127.506,944 1.250.905,795 Meters	
Field	Value
FID	1
Shape	Polygon
UCS	HB
UCS_F	HBf1
PAISAJE	Montaña
CLIMA	Frío húmedo
TIPO_RELIE	Filas y vigas
LITOLOGÍA	Rocas ígneas (diabasas y basaltos) y depósitos de cenizas volcánicas
CARACTERÍ	Profundos y superficiales limitados por piedra y gravilla, bien drenados, texturas al tacto moderadamente fina y medias con fragmentos de roca, reacción muy fuerte y fuertemente ácid
COMPONENTE	Asociación Horizontes: Typic Fulvudands; Typic Udorthents; Humic Dystrudepts
PERFIL	A513; A538, A335; A334
PORCENTAJE	50, 30, 20
ÁREA_ha	2445,890024
SHAPE_Leng	40728,259265
SHAPE_Area	24458900,2426
Area_ha	76,526244

Figura 42. Descripción unidad de suelo HBf1

NOMBRE UNIDAD DE SUELOS IGAC	AREA (ha)
ALd1	1,365
HBf1	76,526
POdp	10,867
SBf2	844,635

Tabla 3. Tabla de áreas de unidades del suelo.

Trabajo Opción de Grado para optar por el título de Ingeniería Civil
René Alejandro Restrepo Pérez

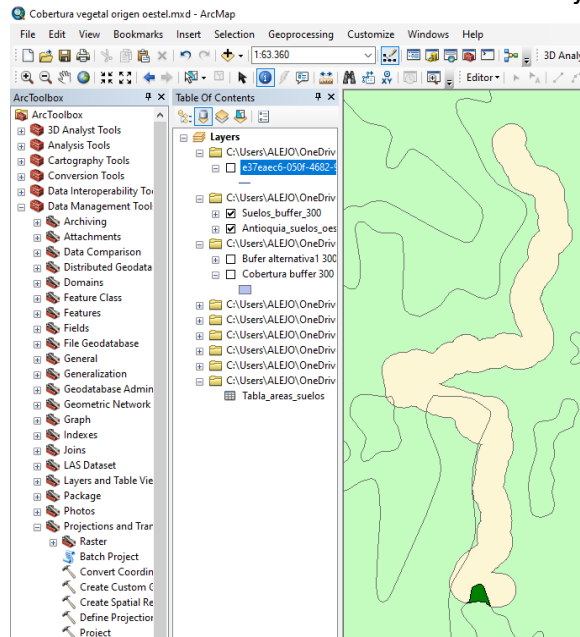


Figura 43. Unidad de suelo POdp.

Location:	1.127.716,318 1.247.380,449 Meters
Field	Value
FID	2
Shape	Polygon
UCS	PO
UCS_F	POdp
PAISAJE	Montaña
CLIMA	Templado húmedo a muy húmedo
TIPO_RELIE	Glacís y coluvios de remoción
LITOLOGÍA	Depósitos heterométricos mixtos coluviales y coluvio-aluviales
CARACTERÍ	Profundos a moderadamente profundos, bien drenados, texturas finas a moderadamente gruesas, erosión ligera a moderada, fertilidad muy baja y alta
COMPONENTE	Asociación Poblanco: Humic Dystrudepts; Oxic Dystrudepts; Fluventic Dystrudepts; Inceptic Hapludox; Typic Hapludolls; Typic Eutrudepts; Typic Udorthents; Andic Dystrudepts
PERFIL	A272, A278; A439, A275; A273, A276; A442; A567; A271; A289; A545
PORCENTAJE	35, 20, 20, 5, 5, 5, 5, 5
ÁREA_ha	495,673799
SHAPE_Leng	17529,546516
SHAPE_Area	4956737,98644
Area_ha	10,866906

Figura 44. Descripción unidad de suelo POdp.

- Unidad de suelo POdp.** La descripción dice que el paisaje es de montaña, el clima es templado húmedo a muy húmedo, el tipo de relieve es glacís y coluvios de remoción, la litología corresponde a depósitos heterométricos mixtos coluviales y coluvio-aluviales.
Características: Profundos a moderadamente profundos, bien drenados, texturas finas a moderadamente gruesas, erosión ligera a moderada, fertilidad muy baja y alta.

Trabajo Opción de Grado para optar por el título de Ingeniería Civil
René Alejandro Restrepo Pérez

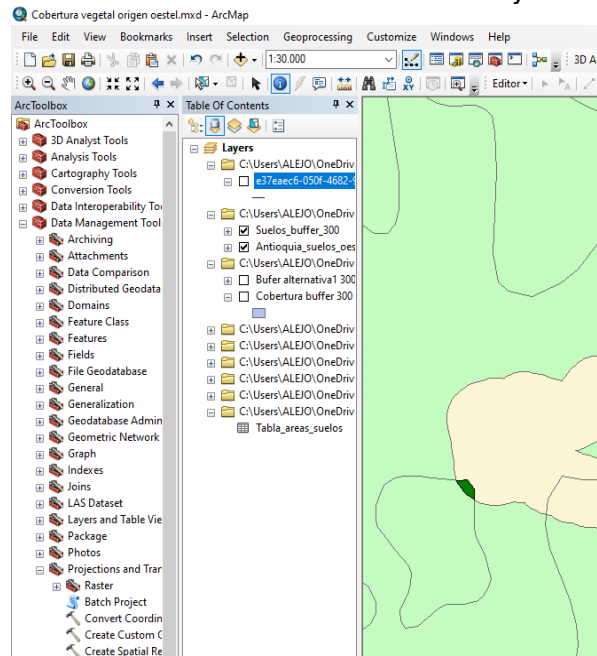


Figura 45. Unidad de suelo ALd1.

Location:	1.125.964,942 1.251.170,052 Meters
Field	Value
FID	0
Shape	Polygon
UCS	AL
UCS_F	ALd1
PAISAJE	Montaña
CLIMA	Frío húmedo a muy húmedo
TIPO_RELIE	Glacís y coluvios de remoción
LITOLOGÍA	Cenizas volcánicas depositadas sobre coluviones y aluviones heterogéneos
CARACTERÍ	Profundos a moderadamente profundos, drenaje natural bueno, texturas finas a medias, reacción fuertemente ácida, fertilidad moderada, erosión ligera a moderada
COMPONENTE	Asociación Aldana: Typic Hapludands; Typic Placudands; Fluvaquentic Dystrudepts
PERFIL	A451, A520; A371; A367, A368; A372
PORCENTAJE	40, 30, 20, 10
ÁREA_ha	90,299851
SHAPE_Leng	4011,651468
SHAPE_Area	902998,508556
Area_ha	1,36509

Figura 46. Descripción unidad de suelo ALd1.

- Unidad de suelo ALd1.** La descripción dice que el paisaje es de montaña, el clima es frío húmedo a muy húmedo, tipo de relieve glacís y coluvios de remoción, la litología cenizas volcánicas depositadas sobre coluviones y aluviones heterogéneos.
Características: profundos a moderadamente profundos, drenaje natural bueno, texturas finas a medias, reacción fuertemente ácida, fertilidad moderada, erosión ligera a moderada.

Trabajo Opción de Grado para optar por el título de Ingeniería Civil
René Alejandro Restrepo Pérez

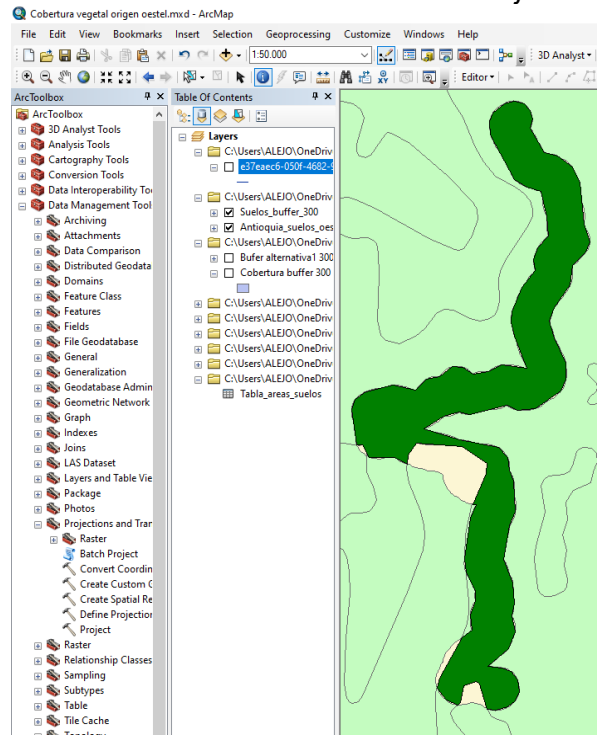


Figura 47. Unidad de suelo SBf2.

Location:	1.128.867,427 1.252.363,325 Meters
Field	Value
FID	3
Shape	Polygon
UCS	SB
UCS_F	SBf2
PAISAJE	Montaña
CLIMA	Templado húmedo a muy húmedo
TIPO_RELIE	Filas y vigas
LITOLOGÍA	Rocas ígneas (diabasas, basaltos, tobas y dioritas), con cobertura discontinua de cenizas volcánicas
CARACTERÍ	Profundos, limitados por gravilla y cascajo; bien drenados, alta saturación de aluminio, reacción extremada a ligeramente ácida, fertilidad alta a moderada erosión ligera a moderada
COMPONENTE	Asociación Santa Bárbara: Andic Dystrudepts; Typic Dystrudepts; Oxíc Dystrudepts; Húmic Eutrudépts
PERFIL	A578; A512; A214; A213
PORCENTAJE	50, 30, 10, 10
ÁREA_ha	16536,642503
SHAPE_Leng	227701,54639
SHAPE_Area	165366425,033
Area_ha	844,634652

Figura 48. Descripción unidad de suelo SBf2.

- **Unidad de suelo SBf2.** Esta unidad es la abarca casi la totalidad del terreno del proyecto, la descripción dice que el paisaje es de montaña, el clima templado húmedo a muy húmedo, el relieve filas y vigas, la litología rocas ígneas (diabasas, basaltos, tobas y dioritas), con cobertura discontinua de cenizas volcánicas.

Características: Profundos, limitados por gravillas y cascajo, bien drenados, alta saturación de aluminio, reacción extremada a ligeramente ácida, fertilidad alta a moderada, erosión ligera a moderada.

7.3 Análisis e interpretación de fallas

Los elementos geomorfológicos que conforman la estructura básica del relieve en la zona del proyecto son los frentes erosivos y cañones y las superficies de erosión

Se presenta en la siguiente imagen el mapa de lineamientos y línea de falla próximas al proyecto. Las direcciones principales de lineamiento son en sentido N-S, coincidiendo con las trazas de las fallas de Tonusco en la margen derecha y la falla de Cañasgordas a la izquierda.

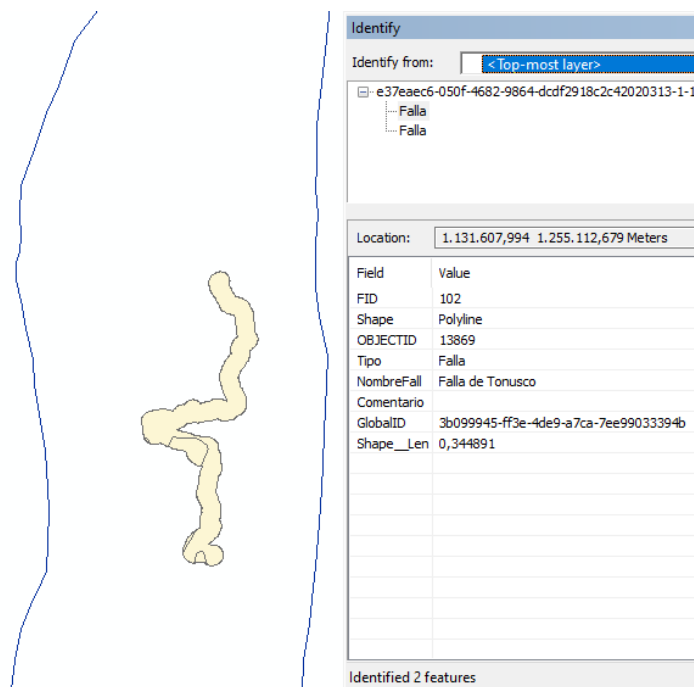


Figura 49. Falla Tonusco (lado derecho).

La falla de Cañasgordas tiene rumbo sinistral, en este tipo de fallas predomina el desplazamiento horizontal, aunque la falla paralela a la falla de Tonusco, que no tiene nombre asignado y que tiene desplazamiento vertical, también tiene dirección S-N como una derivación de la falla de Cañasgordas.

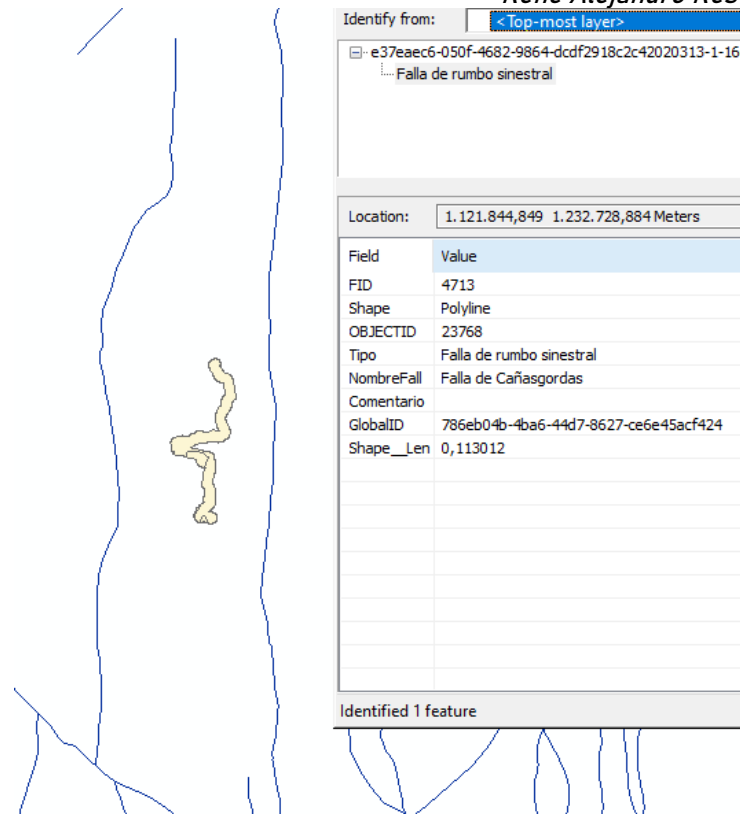


Figura 50. Falla Cañasgordas (lado inferior izquierdo).

Con los fenómenos tectónicos asociados a la aparición de la falla de Romeral, corre con una dirección aproximada Norte-Sur en las inmediaciones del río Cauca. El sistema de fallas presenta principalmente una dirección Noroeste-Suroeste siendo más o menos paralelas entre sí y afectando por igual las rocas del batolito y las anfibolitas y los metasedimentos.

USO Y COBERTURAS	AREA (ha)
2.2.2. Cultivos permanentes arbustivos	40,776
2.3.1. Pastos limpios	337,946
2.3.3. Pastos enmalezados	187,504
2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos	103,455
2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	100,778
3.1.4. Bosque de galería y ripario	72,553
3.2.1. Herbazal	80,503
3.2.3. Vegetación secundaria o en transición	9,878

Tabla 4. Resumen de áreas de coberturas.

ITEM	GRUPO DE USO	ÁREA (ha)	PORCENTAJE (%)
2.2.2	Cultivos permanentes arbustivos	40,776	4,369
2.3.1	Pastos limpios	337,946	36,206
2.3.3	Pastos enmalezados	187,504	20,088
2.4.2	Mosaico de pastos y cultivos	103,455	11,084
2.4.3	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	100,778	10,797
3.1.4	Bosque de galería y ripario	72,553	7,773
3.2.1	Herbazal	80,503	8,625
3.2.3	Vegetación secundaria o en transición	9,878	1,058
		933,393	100

Tabla 5. Resumen porcentaje de áreas de coberturas.

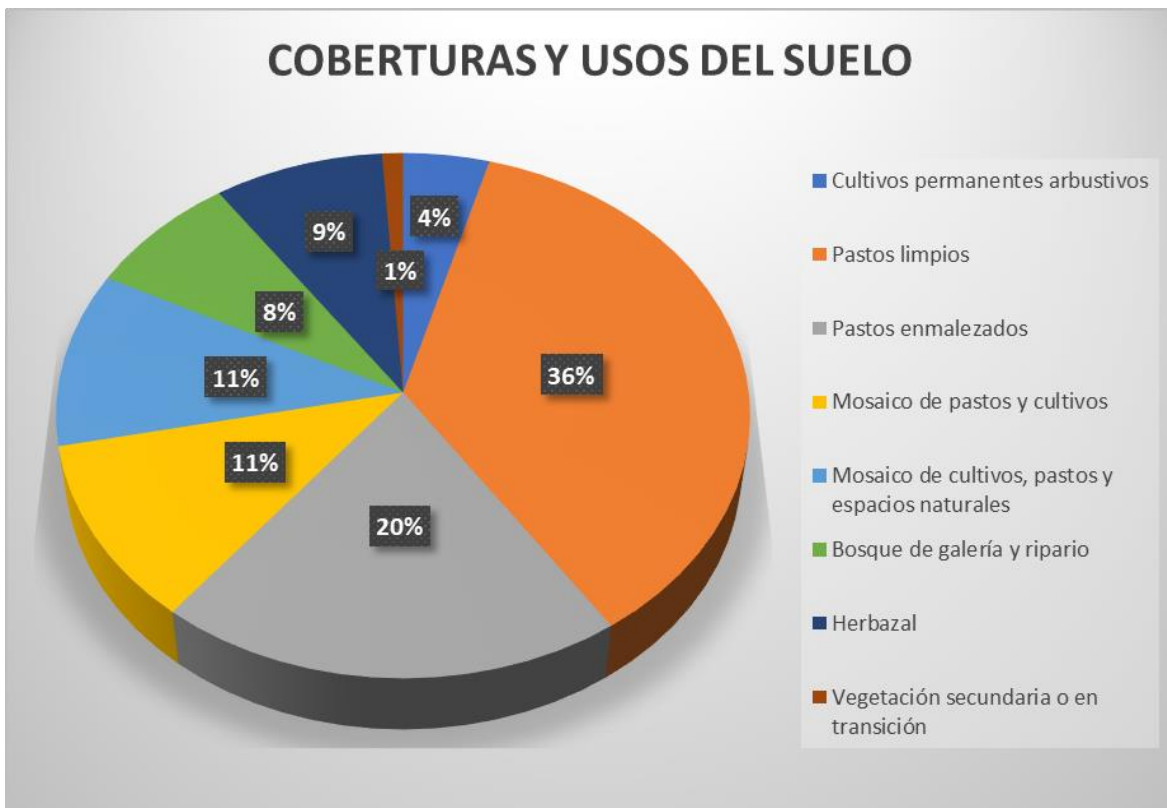


Figura 51. Distribución porcentual por grupo de uso de las coberturas.

El grupo más representativo de los ocho existentes, es el de pastoreo extensivo (PEX) con el 56%, en segundo lugar, está el de producción-protección con el 22%.

ITEM	NOMBRE UNIDAD DE SUELOS	ÁREA (ha)	PORCENTAJE (%)
1	ALd1	1,365	0,146
2	HBf1	76,526	8,199
3	Podp	10,867	1,164
4	SBf2	844,635	90,491
		933,393	100

Tabla 6. Resumen porcentaje de áreas unidad de suelos.



Figura 52. Distribución porcentual por unidad de suelos.

7.4 Cuerpos de agua.

Se sabe de la existencia de cuerpos de aguas naturales permanentes, algunas intermitentes y estacionales que comprenden cuerpos de agua en

movimiento, depósitos y estanques naturales. A continuación, se muestra la ubicación de los más representativos.

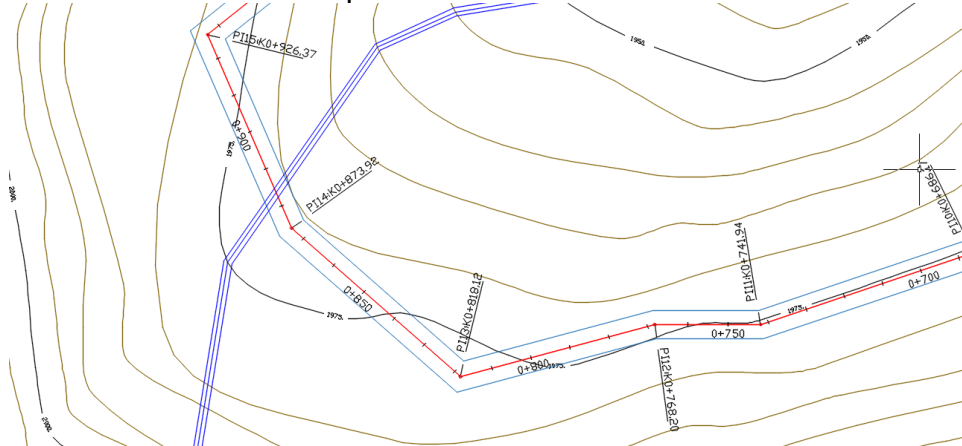


Figura 53. Quebrada 1 - K0+850.

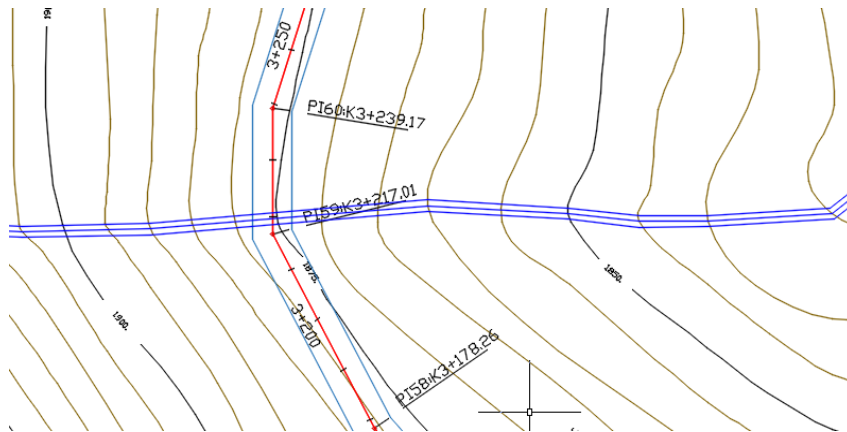


Figura 54. Quebrada 2 - K3+220.

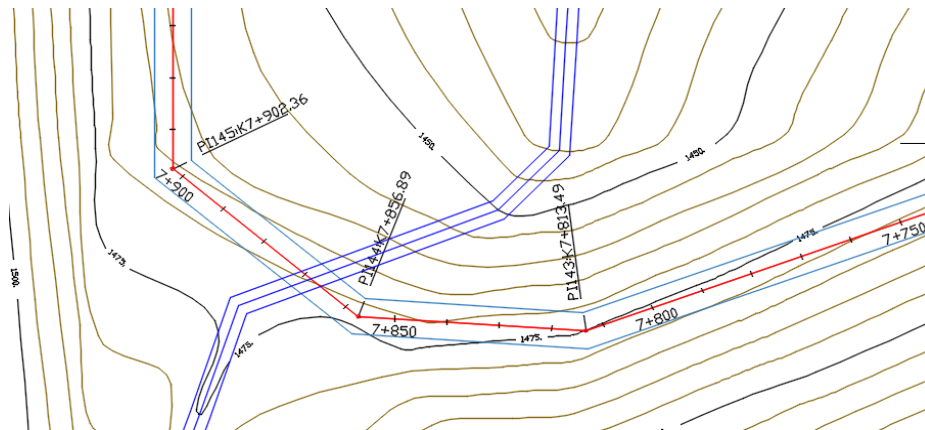


Figura 55. Quebrada 3 K7+870.

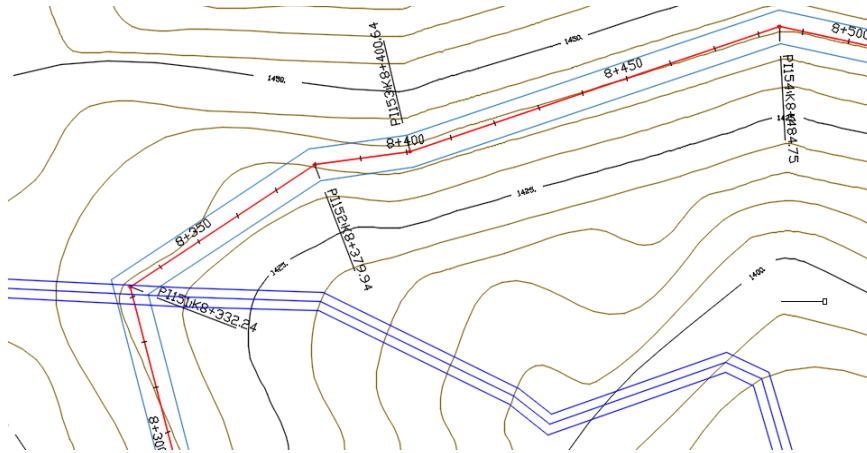


Figura 56. Quebrada 4 K8+330.

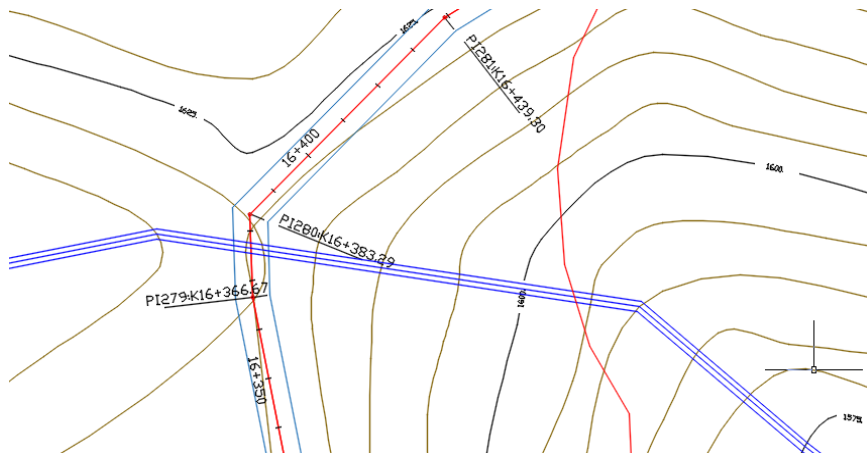


Figura 57. Quebrada 5 K16+380.

El tipo de obra debe ajustarse a las realidades y características propias de cada cuerpo de agua, al realizar los estudios preliminares, el resultado debe definir el tipo de obra adecuada que cumpla con el objetivo.

7.5 Carreteables existentes.

Existen dos vías que comunican a la vereda La Cordillera con las veredas La Vega y La vereda Las Cuatro, son vías que no cumplen con ninguna norma técnica, de difícil tránsito y muy peligrosas. Fueron construidas de forma empírica, con altas pendientes longitudinales y curvas horizontales de radio muy pequeño; no cuenta con peraltes ni obras de drenaje.

Ha ocurrido muchos accidentes con un saldo trágico, solo es posible transitarlo en vehículos 4X4 tipo campero o camiones, por lo anterior se descarta la posibilidad de emplear este corredor.

En la siguiente imagen se puede apreciar parte del trazado de la vía que conduce a la vereda La Vega, se puede apreciar en color magenta.

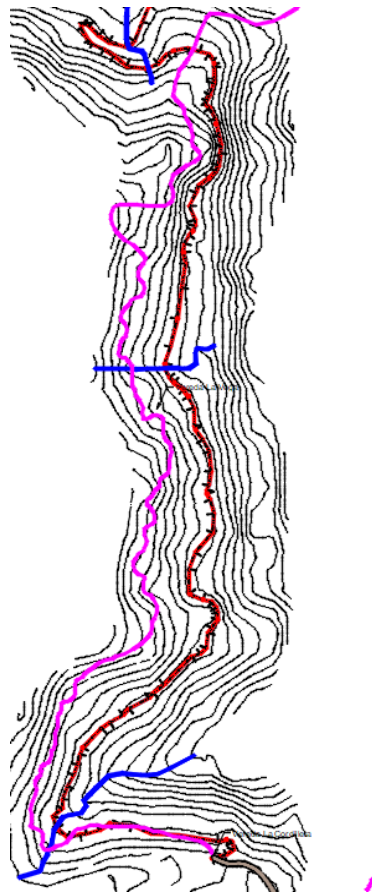


Figura 58. Vía que comunica las veredas La Cordillera-La Vega de color magenta.



8. IMPACTO

Se verán beneficiadas todas las comunidades que están entre el corregimiento Tabacal y el corregimiento Llanos de Uarco. La zona tiene mucho potencial agrícola con cultivos de café y explotación ganadera, también maíz, arroz, caña panelera, existen muchos trapiches, pero los productores tienen dificultades para sacar el producto al mercado, por lo que tienen que hacerlo en el municipio vecino de Peque.

En el futuro esta vía se puede conectar con el municipio de Peque, pues es uno de los objetivos, dándole otra salida más corta hacia la capital del departamento, además de facilitar el desarrollo de zonas que se encuentran incomunicadas.

Mejora la calidad de vida de las comunidades de las veredas Las Cuatro, Palenque, La Vega, La Cordillera entre otras, aumentando la actividad económica, mejorando los espacios rurales, incentivando mejores prácticas agrícolas.

Las variables que impactan de acuerdo con diferentes métodos de valoración dentro del marco socioeconómico, después de la construcción de una carretera están la variable económica, la demográfica, la laboral, usos del suelo y movilidad.

9. CONCLUSIONES

Se cumple con las expectativas al aplicar el programa ArcGIS en el trazado de obras de infraestructura vial. Después de plantear varias alternativas de trazado, todas partiendo de la vereda La cordillera, se llega a la selección de la vía objeto del presente estudio.

Se selecciona esta alternativa porque ofrece mejores posibilidades de tener pendientes longitudinales inferiores al 17% y radios de curvatura máximos de 20 m. Abarca una mayor cantidad de veredas que se verían beneficiadas al tener la posibilidad de sacar los productos a otros mercados, diversificar cultivos y ampliar el abanico de posibilidades comerciales.

Un insumo muy importante fueron las imágenes de sensores remotos obtenidas; las obtenidas de sensores remotos pasivos Landsat8 no se pudieron utilizar debido a la longitud de pixeles tan amplio, de 30 m, lo que no permite obtener curvas de nivel confiables y de buena calidad para este tipo de proyectos, por lo tanto, se descartaron. En su defecto, las imágenes obtenidas de sensores remotos activos Radar Alos Palsar, fueron las seleccionadas dado el tamaño de pixeles de 10 m, se generó un modelo digital de buena calidad para obtener la topografía y diseñar el trazado de planta-perfil.

Con la obtención de información secundaria de suelos, cobertura y usos del suelo y de fallas geológicas, se logra dar al proyecto claridad en componentes fundamentales para la toma de decisiones. Por ejemplo, la cobertura vegetal predominante es la de pastos lo que indica la vocación ganadera de la zona, los bosques protectores están alrededor de los cuerpos de agua, los cultivos en su mayoría son el café y productos de pancoger. Todos se verían beneficiados.

De acuerdo con la cuantificación de los suelos según su clase agrológica, se puede deducir que la mayor parte de su área debe ser dedicada al uso exclusivo de bosques protectores o áreas silvestres, pues un alto porcentaje tiene un relieve de montaña y terreno escarpado, no aptos para la agricultura ni ganadería.

Con la información obtenida se pudo identificar los riesgos, el manejo de cobertura y las obras para protección de cauces.

Solo una pequeña parte posee el suelo tipo HBf1, que se presenta como un suelo inestable, con gran propensión a movimientos en masa.



Trabajo Opción de Grado para optar por el título de Ingeniería Civil
René Alejandro Restrepo Pérez

Es indispensable contar con más tiempo para poder desarrollar el diseño mucho más completo y llegar a elaborar un mejor producto, por ejemplo, la búsqueda de las imágenes requiere de ello porque no todas nos permiten obtener buenas curvas de nivel.

Las imágenes de satélites como Landsat, que tiene los pixeles con una longitud de 30 m, no sirven para llegar al nivel de detalle que se requiere en las curvas de nivel, por lo anterior hubo que recurrir a la búsqueda de otras alternativas como los sensores remotos activos de Alos Palsar, con pixeles de 10 m de magnitud.



Trabajo Opción de Grado para optar por el título de Ingeniería Civil
René Alejandro Restrepo Pérez

10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Alexandre Busquets Josep Sitjar. (2015). Taller Teledetección. Recuperado de:
<https://sigte-tallerjornadas2015.readthedocs.io/es/latest/>
2. Alonso Diego. (2021). Combinación de Bandas en Imágenes de Satélite Landsat y Sentinel. Recuperado de:
<https://mappinggis.com/2019/05/combinaciones-de-bandas-en-imagenes-de-satelite-landsat-y-sentinel/>
3. Castañeda Sánchez, Alvaro Andrés. (2018). Sistemas de Información Geográfica. Taller 8. Universidad Militar Nueva Granada.
4. Cartoteca Rafael Mas. (2017). Tutorial básico para la elaboración de mapas utilizando ArcGIS. Universidad Autónoma de México.
5. Galán, Sergio Miguel. (2016). Los SIG en la Ingeniería, Una Cuestión de Orden y espacio. Recuperado de:
https://www.prontubeam.com/articulos/02_2016_SIG/02_2016_SIG.php
6. IDEAM, IGAC, CORMAGDALENA, (2007). "Mapa de Cobertura de la Tierra Cuenca Magdalena-Cauca, Metodología Corine Land Cover Adaptada para Colombia, escala 1:100.000". Recuperada de:
<http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/metodologia-corine-land-cover>
7. Instructivo para la Migración de Información Geográfica al Sistema de Referencia MAGNA-SIRGAS. (2019). Unidad Administrativa especial de Catastro Distrital-IDECA.
8. Jaramillo Echeverry, Carlos Marcelo. (2021). Diplomado en Sistemas de Información Geográfica. Universidad Militar Nueva Granada.
9. Rojas, Miguel David. Ramirez, Andrés Felipe. (2015). Inversión en Infraestructura Vial y su Impacto en el crecimiento Económico. U de M- Universidad de Medellín.
10. Servicio Geológico Mexicano. (2017). Sistemas de Información Geográfica - SIG. Recuperado de:
<https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/SIG/Introduccion-SIG.html>