

	MACROPROCESO DE APOYO	CODIGO: AAAR113
	PROCESO GESTION APOYO ACADEMICO	VERSION:1
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	PAGINA: 1 de 8

FECHA	domingo, 11 de junio de 2017
--------------	------------------------------

Señores
UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA
 BIBLIOTECA
 Ciudad Fusagasugá, Cundinamarca

SEDE/SECCIONAL/EXTENSIÓN	Sede Fusagasugá
---------------------------------	-----------------

DOCUMENTO	Trabajo De Grado
------------------	------------------

FACULTAD	Ciencias Agropecuarias
-----------------	------------------------

NIVEL ACADÉMICO DE FORMACIÓN O PROCESO	Pregrado
---	----------

PROGRAMA ACADÉMICO	Tecnología en Cartografía
---------------------------	---------------------------

El Autor(Es):

APELLIDOS COMPLETOS	NOMBRES COMPLETOS	NO. DOCUMENTO DE IDENTIFICACIÓN
TELLEZ VARGAS	LINA MARCELA	1006549988

	MACROPROCESO DE APOYO	CODIGO: AAAR113
	PROCESO GESTION APOYO ACADEMICO	VERSION:1
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	PAGINA: 2 de 8

Director(Es) del documento:

APELLIDOS COMPLETOS	NOMBRES COMPLETOS
SARMIENTO	FRANCISCO JAVIER

TÍTULO DEL DOCUMENTO
CARACTERIZACION DE LAS ZONAS DONDE LAS CONDICIONES GEOTECNICAS SON ADECUADAS PARA LA CONSTRUCCION DE INFRAESTRUCTURA

SUBTITULO (Aplica solo para Tesis, Artículos Científicos, Disertaciones, Objetos Virtuales de Aprendizaje)

TRABAJO PARA OPTAR AL TITULO DE: Aplica para Tesis/Trabajo de Grado/Pasantía
TECNOLOGA EN CARTOGRAFIA

AÑO DE EDICION DEL DOCUMENTO	NÚMERO DE PÁGINAS (Opcional)
07/06/2017	74

DESCRIPTORES O PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLES: (Usar como mínimo 6 descriptores)	
ESPAÑOL	INGLES
1.zonificacion	zoning
2.geologia	geology
3.geotecnica	geotechnical
4.infraestructura	infrastructure
5.drenajes	drainage
6.terreno	Ground

	MACROPROCESO DE APOYO	CODIGO: AAAr113
	PROCESO GESTION APOYO ACADEMICO	VERSION:1
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	PAGINA: 3 de 8

RESUMEN DEL CONTENIDO EN ESPAÑOL E INGLÉS: (Máximo 250 palabras – 1530 caracteres):

RESUMEN: Este proyecto de grado realizo la zonificación geotécnica; es decir zonificación (división de la superficie de la tierra en áreas más pequeñas) geotécnica (estudio de los materiales de la corteza terrestre) actualizada para el municipio de Fusagasugá, Cundinamarca; con el fin de identificar las zonas con las condiciones más favorables y las condiciones menos convenientes para soportar obras de infraestructura tales como, vías, edificaciones, tuberías entre otro tipo de obras civiles, y además identificar las construcciones existentes en que zonas se encuentran localizadas.

Todo esto fue posible haciendo un estudio y análisis detallado de la estructura geomorfológica que presenta la ciudad de Fusagasugá, para categorizar la capacidad portante del suelo teniendo en cuenta la geología, geomorfología, fracturas, pendientes, curvas de nivel, hidrología.

ABSTRACT :This degree project carried out the geotechnical zoning; That is to say zoning (division of the surface of the earth in smaller areas) geotechnical (study of the materials of the terrestrial crust) updated for the municipality of Fusagasugá, Cundinamarca; In order to identify the areas with the most favorable conditions and the less convenient conditions to support infrastructure works such as roads, buildings, pipelines among other types of civil works, and also to identify the existing constructions in which areas are located.

All this was possible by doing a detailed study and analysis of the geomorphological structure that presents the city of Fusagasugá, to categorize the bearing capacity of the soil taking into account the geology, geomorphology, fractures, slopes, contours, hydrology.

	MACROPROCESO DE APOYO	CODIGO: AAAR113
	PROCESO GESTION APOYO ACADEMICO	VERSION:1
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	PAGINA: 4 de 8

AUTORIZACION DE PUBLICACIÓN

Por medio del presente escrito autorizo (Autorizamos) a la Universidad de Cundinamarca para que, en desarrollo de la presente licencia de uso parcial, pueda ejercer sobre mí (nuestra) obra las atribuciones que se indican a continuación, teniendo en cuenta que, en cualquier caso, la finalidad perseguida será facilitar, difundir y promover el aprendizaje, la enseñanza y la investigación.

En consecuencia, las atribuciones de usos temporales y parciales que por virtud de la presente licencia se autoriza a la Universidad de Cundinamarca, a los usuarios de la Biblioteca de la Universidad; así como a los usuarios de las redes, bases de datos y demás sitios web con los que la Universidad tenga perfeccionado un alianza, son:

Marque con una "x":

AUTORIZO (AUTORIZAMOS)	SI	NO
1. La conservación de los ejemplares necesarios en la Biblioteca.	x	
2. La consulta física o electrónica según corresponda.	x	
3. La reproducción por cualquier formato conocido o por conocer.	x	
4. La comunicación pública por cualquier procedimiento o medio físico o electrónico, así como su puesta a disposición en Internet.	x	
5. La inclusión en bases de datos y en sitios web sean éstos onerosos o gratuitos, existiendo con ellos previa alianza perfeccionada con la Universidad de Cundinamarca para efectos de satisfacer los fines previstos. En este evento, tales sitios y sus usuarios tendrán las mismas facultades que las aquí concedidas con las mismas limitaciones y condiciones.	x	
6. La inclusión en el Repositorio Institucional.	x	

De acuerdo con la naturaleza del uso concedido, la presente licencia parcial se otorga a título gratuito por el máximo tiempo legal colombiano, con el propósito de que en dicho lapso mi (nuestra) obra sea explotada en las condiciones aquí estipuladas y para los fines indicados, respetando siempre la titularidad de los derechos patrimoniales y morales correspondientes, de acuerdo con los usos honrados, de manera proporcional y

	MACROPROCESO DE APOYO	CODIGO: AAAR113
	PROCESO GESTION APOYO ACADEMICO	VERSION:1
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	PAGINA: 5 de 8

justificada a la finalidad perseguida, sin ánimo de lucro ni de comercialización.

Para el caso de las Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía, de manera complementaria, garantizo(garantizamos) en mi(nuestra) calidad de estudiante(s) y por ende autor(es) exclusivo(s), que la Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía en cuestión, es producto de mi(nuestra) plena autoría, de mi(nuestro) esfuerzo personal intelectual, como consecuencia de mi(nuestra) creación original particular y, por tanto, soy(somos) el(los) único(s) titular(es) de la misma. Además, aseguro (aseguramos) que no contiene citas, ni transcripciones de otras obras protegidas, por fuera de los límites autorizados por la ley, según los usos honrados, y en proporción a los fines previstos; ni tampoco contempla declaraciones difamatorias contra terceros; respetando el derecho a la imagen, intimidad, buen nombre y demás derechos constitucionales. Adicionalmente, manifiesto (manifestamos) que no se incluyeron expresiones contrarias al orden público ni a las buenas costumbres. En consecuencia, la responsabilidad directa en la elaboración, presentación, investigación y, en general, contenidos de la Tesis o Trabajo de Grado es de mí (nuestra) competencia exclusiva, eximiendo de toda responsabilidad a la Universidad de Cundinamarca por tales aspectos.

Sin perjuicio de los usos y atribuciones otorgadas en virtud de este documento, continuaré (continuaremos) conservando los correspondientes derechos patrimoniales sin modificación o restricción alguna, puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación de los derechos patrimoniales derivados del régimen del Derecho de Autor.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, “*Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores*”, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables. En consecuencia, la Universidad de Cundinamarca está en la obligación de RESPETARLOS Y HACERLOS RESPETAR, para lo cual tomará las medidas correspondientes para garantizar su observancia.

NOTA: (Para Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía):

Información Confidencial:

Esta Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía, contiene información privilegiada, estratégica, secreta, confidencial y demás similar, o hace parte de la investigación que se adelanta y cuyos resultados finales no se han publicado. **SI** ___ **NO** ___ **X** ___.

En caso afirmativo expresamente indicaré (indicaremos), en carta adjunta tal situación con el fin de que se mantenga la restricción de acceso.

	MACROPROCESO DE APOYO	CODIGO: AAAR113
	PROCESO GESTION APOYO ACADEMICO	VERSION:1
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	PAGINA: 6 de 8

LICENCIA DE PUBLICACIÓN

Como titular(es) del derecho de autor, confiero(erimos) a la Universidad de Cundinamarca una licencia no exclusiva, limitada y gratuita sobre la obra que se integrará en el Repositorio Institucional, que se ajusta a las siguientes características:

a) Estará vigente a partir de la fecha de inclusión en el repositorio, por un plazo de 5 años, que serán prorrogables indefinidamente por el tiempo que dure el derecho patrimonial del autor. El autor podrá dar por terminada la licencia solicitándolo a la Universidad por escrito. (Para el caso de los Recursos Educativos Digitales, la Licencia de Publicación será permanente).

b) Autoriza a la Universidad de Cundinamarca a publicar la obra en formato y/o soporte digital, conociendo que, dado que se publica en Internet, por este hecho circula con un alcance mundial.

c) Los titulares aceptan que la autorización se hace a título gratuito, por lo tanto, renuncian a recibir beneficio alguno por la publicación, distribución, comunicación pública y cualquier otro uso que se haga en los términos de la presente licencia y de la licencia de uso con que se publica.

d) El(Los) Autor(es), garantizo(amos) que el documento en cuestión, es producto de mi(nuestra) plena autoría, de mi(nuestro) esfuerzo personal intelectual, como consecuencia de mi (nuestra) creación original particular y, por tanto, soy(somos) el(los) único(s) titular(es) de la misma. Además, aseguro(aseguramos) que no contiene citas, ni transcripciones de otras obras protegidas, por fuera de los límites autorizados por la ley, según los usos honrados, y en proporción a los fines previstos; ni tampoco contempla declaraciones difamatorias contra terceros; respetando el derecho a la imagen, intimidad, buen nombre y demás derechos constitucionales. Adicionalmente, manifiesto (manifestamos) que no se incluyeron expresiones contrarias al orden público ni a las buenas costumbres. En consecuencia, la responsabilidad directa en la elaboración, presentación, investigación y, en general, contenidos es de mí (nuestro) competencia exclusiva, eximiendo de toda responsabilidad a la Universidad de Cundinamarca por tales aspectos.

e) En todo caso la Universidad de Cundinamarca se compromete a indicar siempre la autoría incluyendo el nombre del autor y la fecha de publicación.

f) Los titulares autorizan a la Universidad para incluir la obra en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

g) Los titulares aceptan que la Universidad de Cundinamarca pueda convertir el documento a cualquier medio o formato para propósitos de preservación digital.

	MACROPROCESO DE APOYO	CODIGO: AAAR113
	PROCESO GESTION APOYO ACADEMICO	VERSION:1
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	PAGINA: 7 de 8

h) Los titulares autorizan que la obra sea puesta a disposición del público en los términos autorizados en los literales anteriores bajo los límites definidos por la universidad en las “Condiciones de uso de estricto cumplimiento” de los recursos publicados en Repositorio Institucional, cuyo texto completo se puede consultar en biblioteca.unicundi.edu.co

i) Para el caso de los Recursos Educativos Digitales producidos por la Oficina de Educación Virtual, sus contenidos de publicación se rigen bajo la Licencia Creative Commons : Atribución- No comercial- Compartir Igual.



j) Para el caso de los Artículos Científicos y Revistas, sus contenidos se rigen bajo la Licencia Creative Commons Atribución- No comercial- Sin derivar.



Nota:

Si el documento se basa en un trabajo que ha sido patrocinado o apoyado por una entidad, con excepción de Universidad de Cundinamarca, los autores garantizan que se ha cumplido con los derechos y obligaciones requeridos por el respectivo contrato o acuerdo.

La obra que se integrará en el Repositorio Institucional, está en el(los) siguiente(s) archivo(s).

Nombre completo del Archivo Incluida su Extensión (Ej. Título Trabajo de Grado o Documento.pdf)	Tipo de documento (ej. Texto, imagen, video, etc.)
--	---

	MACROPROCESO DE APOYO	CODIGO: AAAr113
	PROCESO GESTION APOYO ACADEMICO	VERSION:1
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	PAGINA: 8 de 8

1.CARACTERIZACION DE LAS ZONAS DONDE LAS CONDICIONES GEOTECNICAS SON ADECUADAS PARA LA CONSTRUCCION DE INFRAESTRUCTURA.PDF	TEXTO
2.	
3.	
4.	

En constancia de lo anterior, Firmo (amos) el presente documento:

APELLIDOS Y NOMBRES COMPLETOS	FIRMA
LINA MARCELA TELLEZ VARGAS	<i>L. Tellez</i>

**CARACTERIZACIÓN DE LAS ZONAS DONDE LAS CONDICIONES GEOTÉCNICAS SON
ADECUADAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE INFRAESTRUCTURA**

LINA MARCELA TELLEZ VARGAS

**TRABAJO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARA
OBTENER EL TÍTULO DE TECNÓLOGO EN CARTOGRAFÍA.**

**UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
TECNOLOGÍA EN CARTOGRAFÍA
FUSAGASUGÁ
2017**

**CARACTERIZACIÓN DE LAS ZONAS DONDE LAS CONDICIONES GEOTÉCNICAS SON
ADECUADAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE INFRAESTRUCTURA**

LINA MARCELA TELLEZ VARGAS

DIRECTOR

**Francisco Sarmiento
Ingeniero Geodesta y Catastral**

**TRABAJO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OBTENER EL TÍTULO DE
TECNÓLOGO EN CARTOGRAFÍA**

**UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
TECNOLOGÍA EN CARTOGRAFÍA
FUSAGASUGÁ
2017**

NOTA DE ACEPTACIÓN

Francisco Sarmiento
Director de proyecto

Socrates Cardona Giraldo
Jurado

Edier Fernando Ávila
Jurado

DEDICATORIA

Dedico esta tesis primeramente a mis padres Cecilia Vargas Muños y Adolfo Téllez Mosquera por su apoyo incondicional y por demostrarme siempre su cariño y en todo lo que hago, a mi familia en general, porque me han brindado su apoyo incondicional y por compartir conmigo buenos y malos momentos.

a todos los profesores que dedicaron parte de su tiempo para orientarme en este proceso y todo el apoyo que recibí de parte de ellos.

A aquellas personas que conocí durante el desarrollo de este proyecto y que me brindaron acompañamiento, conocimiento e insumos

LINA MARCELA TELLEZ VARGAS

AGRADECIMIENTOS

En esta tesis le agradezco a Dios por permitirme llegar donde he llegado, contando con salud y sabiduría para enfrentar los inconvenientes.

Agradezco a la Universidad de Cundinamarca por darme la oportunidad de estudiar y terminar mi carrera.

A mi director de tesis al Ing. Francisco Javier Sarmiento por haberme brindado parte de su tiempo y conocimiento para llevar a cabo la realización de esta tesis.

También agradezco a los docentes jurados de esta tesis Ing. Socrates Cardona el Ing. Edier Fernando Ávila por el apoyo brindado en este proceso.

Por ultimo a las personas que han formado parte de mi vida profesional a las que me encantaría agradecerles su amistad, consejos, apoyo, ánimo y compañía en los momentos más difíciles de mi vida. Algunas están aquí conmigo y otras en mis recuerdos y en mi corazón, sin importar en donde estén quiero darles las gracias por formar parte de mí, por todo lo que me han brindado y por todas sus bendiciones.

LINA MARCELA TELLEZ VARGAS

RESUMEN

Este proyecto de grado realizó la zonificación geotécnica; es decir zonificación (división de la superficie de la tierra en áreas más pequeñas) geotécnica (estudio de los materiales de la corteza terrestre) actualizada para el municipio de Fusagasugá, Cundinamarca; con el fin de identificar las zonas con las condiciones más favorables y las condiciones menos convenientes para soportar obras de infraestructura tales como, vías, edificaciones, tuberías entre otro tipo de obras civiles, y además identificar las construcciones existentes en que zonas se encuentran localizadas.

Todo esto fue posible haciendo un estudio y análisis detallado de la estructura geomorfológica que presenta la ciudad de Fusagasugá, para categorizar la capacidad portante del suelo teniendo en cuenta la geología, geomorfología, fracturas, pendientes, curvas de nivel, hidrología.

Para tal efecto primero se estructuró toda la información espacial que se obtuvo, del área de estudio que fue la ciudad de Fusagasugá, Cundinamarca; por lo que se trabajó con información primeramente del IGAC, información que facilitó la Alcaldía municipal y toda la información que se requirió al Servicio Geológico Colombiano, además de información que facilitó para esta investigación una empresa privada dedicada a la producción de cartografía geológica y relacionados.

Una vez toda esta información fue estructurada y analizada, se trabajó toda en un mismo sistema de coordenadas que en este caso se usó MAGNA COLOMBIA BOGOTÁ, se hizo una clasificación de todos los datos, ya posteriormente se aplicó la categorización y clasificación propuesta para aportar a la planificación territorial con una cartografía de zonificación geotécnica donde se encuentra toda el área trabajada dividida por zonas que muestran la más adecuada para realizar obras de infraestructura hasta las zonas menos indicadas para la construcción de obras civiles.

Palabras claves: zonificación, geología, geotécnica, infraestructura, drenajes, terreno.

ABSTRACT

This degree project carried out the geotechnical zoning; That is to say zoning (division of the surface of the earth in smaller areas) geotechnical (study of the materials of the terrestrial crust) updated for the municipality of Fusagasugá, Cundinamarca; In order to identify the areas with the most favorable conditions and the less convenient conditions to support infrastructure works such as roads, buildings, pipelines among other types of civil works, and also to identify the existing constructions in which areas are located.

All this was possible by doing a detailed study and analysis of the geomorphological structure that presents the city of Fusagasugá, to categorize the bearing capacity of the soil taking into account the geology, geomorphology, fractures, slopes, contours, hydrology.

For this purpose, first all the spatial information was obtained that was obtained, of the study area that was the city of Fusagasugá, Cundinamarca; So it was worked with information first IGAC, information provided by the City Hall and all the information that was required to the Colombian Geological Service, as well as information that facilitated for this research a private company dedicated to the production of geological and related cartography.

Once all this information was structured and analyzed, they all worked on the same coordinate system that in this case MAGNA COLOMBIA BOGOTA was used, a classification of all the data was made, and later the categorization and classification proposed was applied to contribute to The territorial planning with a map of geotechnical zoning where the entire area is divided divided by areas that show the most suitable to carry out infrastructure works to the areas less indicated for the construction of civil works.

Keywords: zoning, geology, geotechnical, infrastucture, drainage, ground.

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE IMAGENES	10
LISTA DE TABLAS	11
LISTA DE MAPAS	12
lista de fotos	13
1. INTRODUCCIÓN	14
2. Justificación	15
3. Objetivos.....	17
3.1. OBJETIVO GENERAL	17
3.2. Objetivos Específicos	17
4. DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO	18
4.1. TIPOS DE FORMACIONES ROCOSAS EN FUSAGASUGA	19
5. Marco REFERENCIAL.....	24
5.1. ESTADO DEL ARTE.....	24
5.2. MARCO LEGAL	28
6. METODOLOGIA.....	31
6.1. Estado del arte.....	32
6.2. LEVANTAMIENTO DE INFORMACION	32
6.3. Estructuración de los datos	34
6.3.1. Modelo de Pendientes:	34
6.4. MODELADO.....	39
6.4.1. Esquema Modelado.....	41
6.5. CONCEPTUALIZACIÓN MODEL BUILDER.....	42
7.1. Drenajes.....	53

7.2. Geomorfología.....	54
7.3. Geología.....	55
7.4. Fracturas “Estructurales”.....	56
7.5. Categorización de la información.....	57
7.5.1. Geología.....	58
7.5.2. Geomorfología.....	58
7.5.3. Fallas estructurales.....	58
7.5.4. Pendientes.....	59
7.5.5. Ronda Hídrica	59
7.5.6. Algebra de mapas.....	60
8. CONCLUSIONES.....	68
9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	72



CARACTERIZACIÓN DE LAS ZONAS DONDE LAS CONDICIONES GEOTÉCNICAS SON ADECUADAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE INFRAESTRUCTURA

LISTA DE IMAGENES

<i>Imagen 1 Ubicación del Municipio de Fusagasugá</i>	18
<i>Imagen 2 metodología Fuente: elaboración propia</i>	31
<i>Imagen 3 Geología Regional y Prospección Fuente: Informe final proyecto ADA.docx</i>	32
<i>Imagen 4 Digitalización Geología Fuente: Planchas 246 “Servicio Geológico Colombiano”, georreferenciación y digitalización (Elaboración propia)</i>	33
<i>Imagen 5 curvas de nivel del municipio de Fusagasugá</i>	35
<i>Imagen 6 página web Fuente: https://vertex.daac.asf.alaska.edu/</i>	36
<i>Imagen 7 Especificaciones del sensor Alos Fuente: http://en.alos-pasco.com/alos-2/palsar-2/</i>	37
<i>Imagen 8 Modelo Digital de Elevación Fuente: Elaboración propia</i>	38
<i>Imagen 9 Modelo de Sombras Fuente: Elaboración propia</i>	39
<i>Imagen 10 Esquema Modelado Fuente: Elaboración Propia</i>	41
<i>Imagen 11 Diseño Model Builder Fuente: Elaboración Propia</i>	43
<i>Imagen 12 Validación Model Builder Fuente: Elaboración Propia</i>	44
<i>Imagen 13 Model Builder Ejecutado Fuente: Elaboración Propia</i>	44
<i>Imagen 14 Capa Vectorial Fuente: Elaboración propia</i>	45
<i>Imagen 15 tabla de atributos Fuente: Elaboración propia</i>	45
<i>Imagen 16 Capa Vectorial Categorizada Fuente: Elaboración Propia</i>	46
<i>Imagen 17 Unidades Geológicas</i>	47
<i>Imagen 18 Conversión de Polígono a Raster Fuente: Elaboración Propia</i>	47
<i>Imagen 19 Unidades Geológicas en Formato Raster Fuente: Elaboración Propia</i>	48
<i>Imagen 20 Ecuación Para el Algebra de Mapas Fuente: Elaboración Propia</i>	49
<i>Imagen 21 Algebra de Mapas – Raster Fuente: Elaboración Propia</i>	50
<i>Imagen 22 Pendientes – Municipio de FusagasugáFuente: Elaboración Propia</i>	52
<i>Imagen 23 Rondas Hídricas – Municipio de Fusagasugá Fuente: Elaboración Propia</i>	53
<i>Imagen 24 Unidades Geomorfológicas – Municipio de Fusagasugá Fuente: Elaboración Propia</i>	54
<i>Imagen 25 Unidades Geológicas – Municipio de Fusagasugá Fuente: Elaboración Propia</i>	56
<i>Imagen 26 Fracturas Estructurales – Municipio de Fusagasugá Fuente: Elaboración Propia</i>	57



CARACTERIZACIÓN DE LAS ZONAS DONDE LAS CONDICIONES GEOTÉCNICAS SON ADECUADAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE INFRAESTRUCTURA

LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1 P.O.T. (Plan de Ordenamiento Territorial)</i>	28
<i>Tabla 2 Ley 1523 de 2012 LEY 1523 DE 2012 (Plan Nacional de la Gestión del Riesgo de Desastres)</i>	29
<i>Tabla 3 Categorización Unidades Geológicas Fuente: Elaboración Propia</i>	58
<i>Tabla 4 Categorización Unidades Geomorfológicas Fuente: Elaboración Propia</i>	58
<i>Tabla 5 Categorización Fallas Estructurales Fuente: Elaboración Propia</i>	58
<i>Tabla 6 Categorización de las Pendientes Fuente: Elaboración Propia</i>	59
<i>Tabla 7 Categorización Ronda Hídrica Fuente: Elaboración Propia</i>	59



CARACTERIZACIÓN DE LAS ZONAS DONDE LAS CONDICIONES GEOTÉCNICAS SON ADECUADAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE INFRAESTRUCTURA

LISTA DE MAPAS

<i>Mapa 1 Unidades Geológicas – Municipio Fusagasugá Fuente: Elaboración Propia</i>	<i>61</i>
<i>Mapa 2 Unidades Geomorfológicas – Municipio Fusagasugá Fuente: Elaboración Propia</i>	<i>62</i>
<i>Mapa 3 Pendientes – Municipio Fusagasugá Fuente: Elaboración Propia</i>	<i>63</i>
<i>Mapa 4 – Municipio Fusagasugá Fuente: Elaboración Propia</i>	<i>64</i>
<i>Mapa 5 Rondas Hídricas – Municipio Fusagasugá Fuente: Elaboración Propia</i>	<i>65</i>
<i>Mapa 6 Zonificación Geotécnica – Municipio Fusagasugá Fuente: Elaboración Propia</i>	<i>66</i>
<i>Mapa 7 Caracterización Geotécnica – Municipio Fusagasugá Fuente: Elaboración Propia</i>	<i>67</i>



CARACTERIZACIÓN DE LAS ZONAS DONDE LAS CONDICIONES GEOTÉCNICAS SON ADECUADAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE INFRAESTRUCTURA

LISTA DE FOTOS

<i>Foto 1 Formación Guaduas – Arcillolitas Abigarradas</i>	20
<i>Foto 2 Formación Chipaque Fuente: Informe final proyecto ADA.docx</i>	21
<i>Foto 3 Lodolitas de Fusagasugá</i>	22
<i>Foto 4 Formación Arenisca Dura</i>	22



CARACTERIZACIÓN DE LAS ZONAS DONDE LAS CONDICIONES GEOTÉCNICAS SON ADECUADAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE INFRAESTRUCTURA

1. INTRODUCCIÓN

Existen zonas específicas, que, por sus condiciones de suelo únicas, son potencialmente de alto riesgo, ante la ocurrencia de desastres naturales relacionados a la superficie terrestre tales como; deslizamientos, terremotos, hundimientos, inundaciones entre otros.

En la actualidad existen estudios cada vez más especializados para determinar las condiciones y capacidad de suelo, geológicamente, geomorfológicamente, hidrogeológicamente, entre otros estudios muy detallados; pero no existen estudios que integren todas estas variables para poder identificar con mayor exactitud, zonas que reúnan las peores condiciones, dando como resultado zonas altamente riesgosas y de alto impacto de desastre, para zonas específicas.

Es precisamente esto lo que este proyecto realiza, integrar todas estas variables de suelo determinando cuáles zonas son las que reunieron las mejores y peores condiciones, de acuerdo a los niveles presentados por cada punto específico, sobre la zona de estudio. Todo esto se logra rasterizando toda la información previamente tratada y estructurada, para aplicar así álgebra de mapas que permitió, obtener zonas geotécnicas con diferentes puntajes para cada zona.



CARACTERIZACIÓN DE LAS ZONAS DONDE LAS CONDICIONES GEOTÉCNICAS SON ADECUADAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE INFRAESTRUCTURA

2. JUSTIFICACIÓN

Basada en lo expresado por Carvajal en el libro que usa el Servicio Geológico Colombiano para la generación de geomorfología a partir de las unidades geológicas; se evidencia la importancia de una caracterización geológica del territorio para la planeación del territorio “La globalización de la información y el desarrollo de los sistemas de información geográfica SIG, han provocado que las diferentes entidades que producen y manejan información, busquen la manera de estandarizar su información con el fin de usarla y compartirla. La geomorfología y geología ha adquirido mucha importancia en las últimas tres décadas, no solo la utilidad de la información proporcionada para los Planes de Ordenamiento Territorial, sino también por el carácter estructurante e integrado que le dan otros tipos de morfología, para definir zonas y su respectiva descripción en el territorio.” (Perico, 2016)

En la Ciudad de Fusagasugá no existe una cartografía actualizada que muestre a nivel municipal características geotécnicas que permitan determinar cuáles son las zonas más propicias para realizar algún tipo de infraestructura de orden privado o público. Por esta razón se buscó realizar una cartografía que muestra la zonificación geotécnica de la ciudad de Fusagasugá.

En esta cartografía se logra identificar las zonas que por sus características del suelo son adecuadas para realizar algún tipo de infraestructura. La razón por la cual se llevó a cabo este proyecto fue porque en Fusagasugá no se encuentra fácilmente cartografía de zonificación geotécnica y con estándares de calidad cartográfica.

La finalidad de la cartografía y el análisis geomorfológico es mostrar información de las formas del terreno, como lo son propiedades de rocas y suelos que las constituyen y los procesos superficiales que los afectan, de tal manera que permitan la reconstrucción de historia, antigua,



CARACTERIZACIÓN DE LAS ZONAS DONDE LAS CONDICIONES GEOTÉCNICAS SON ADECUADAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE INFRAESTRUCTURA

presente y futura (génesis, proceso y edad), siendo esta información básica para el componente ambiental y territorial de una región, dado el carácter de geomorfología que tiene la superficie terrestre al mostrar los más recientes procesos geológicos, propios de la dinámica tanto interna como externa de la tierra.

En la actualidad la ciudad está presentando un alto índice de urbanización tanto en el centro de la ciudad como en sus alrededores y algunas urbanizaciones ilegales y que se encuentran en lugares inadecuados según lo dispuesto en la ley 388 de 1997 y los usos del suelo. De hecho, se presentó un evento en el año 2014 donde una población resultó afectada por una avalancha debido a que tenían sus viviendas ubicadas en ese sector. Actualmente, son más de 100 proyectos de urbanización que se llevan a cabo en la ciudad de Fusagasugá donde algunos están interrumpidos porque no cumplen a cabalidad con normas exigidas por el municipio.

“El análisis y la cartografía geomorfológica son aplicables a la evolución ambiental y a los planes de ordenamiento territorial, en particular al manejo de tierras, zonificaciones geotécnicas y sísmicas de ciudades, planificación del desarrollo de recursos, del uso de la tierra, de proyectos y a la política de riesgos naturales (Slaymaker, 2001)”. Según lo expuesto por el autor se evidencia la importancia de la producción de cartografía temática a nivel geológico y geomorfológico; importantes para la determinación de posibles riesgos que se pueden dar por condiciones, ambientales, sociales entre otras sobre el territorio, por efectos de la estructura de la tierra que se presenta en el área de estudio



CARACTERIZACIÓN DE LAS ZONAS DONDE LAS CONDICIONES GEOTÉCNICAS SON ADECUADAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE INFRAESTRUCTURA

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

- Caracterizar las zonas donde las condiciones geotécnicas son adecuadas para la construcción de infraestructura a partir de técnicas de análisis.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obtener los datos geográficos necesarios para llevar a cabo la zonificación geotécnica en el municipio de Fusagasugá.
- Realizar cartografía temática con la zonificación geotécnica obtenida.



CARACTERIZACIÓN DE LAS ZONAS DONDE LAS CONDICIONES GEOTÉCNICAS SON ADECUADAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE INFRAESTRUCTURA

4. DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO

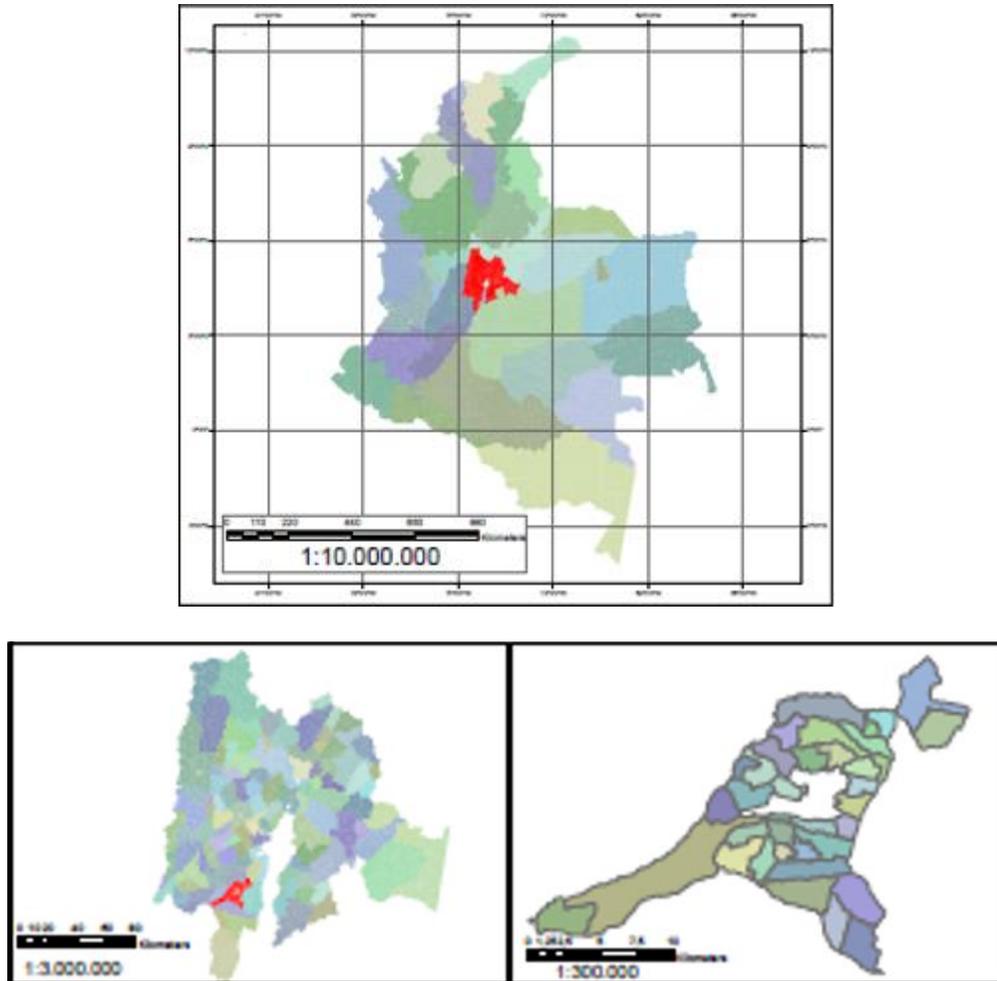


Imagen 1 **Ubicación del Municipio de Fusagasugá** Fuente: Elaboración propia

Fusagasugá es un municipio muy cercano a Bogotá, es la capital de la región del Sumapaz, con una temperatura promedio de 19° C, actualmente ha venido presentando un acelerado crecimiento demográfico, actualmente cuenta con más de 100.000 habitantes, con una altura promedio de 1714 metros sobre el nivel del mar el área aproximada es 19418 hectáreas, Fusagasugá está conformada por 36 veredas.

La actividad principal del municipio es el turismo, agricultura y al momento es una de las zonas de preferencia donde personas de edad avanzada viven o es su lugar de descanso. Debido



CARACTERIZACIÓN DE LAS ZONAS DONDE LAS CONDICIONES GEOTÉCNICAS SON ADECUADAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE INFRAESTRUCTURA

a esto y otras razones el municipio en los últimos años ha presentado una acelerada expansión urbana.

Geográficamente el municipio se encuentra en las coordenadas geográficas 4°20'00" N, 74°22'00" W el área urbana se encuentra en una meseta que se encuentra ubicada en el centro de Fusagasugá.

Es importante mencionar que actualmente el municipio debido a su rápida evolución se encuentra en un proyecto de tener su propia red geodésica la cual será desarrollada por la universidad de Cundinamarca en convenio con la alcaldía de Fusagasugá y el IGAC, que permita la correcta y pronta actualización cartográfica que evidentemente servirá para una adecuada planeación de las diferentes zonas y principales actividades económicas del municipio.

4.1. TIPOS DE FORMACIONES ROCOSAS EN FUSAGASUGA

“En Fusagasugá se encuentran formaciones geológicas con edades que van desde el cretáceo hasta el cuaternario.” (Plan de Ordenamiento Territorial-Municipio de Fusagasuga-Diagnostico Subsistema Biofisico)

➤ Formación Guaduas

Se puede encontrar en una franja delgada que se observa al W (oeste) del Cerro Peñas Blancas y al sur del Cerro Quininí, esta formación también se puede observar cerca al municipio de Tibacuy, sobre la vía Tibacuy-Fusagasugá, como se puede ver en la siguiente foto obtenida del *Informe final proyecto ADA.docx*



CARACTERIZACIÓN DE LAS ZONAS DONDE LAS CONDICIONES GEOTÉCNICAS SON ADECUADAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE INFRAESTRUCTURA



Foto 1 Formación Guaduas – Arcillolitas Abigarradas Fuente: Informe final proyecto ADA.docx

- Formación Chipaque: Estratigrafía(turoniano – santoniano)

La Formación Chipaque fue definida por Hubach (1931) como “Conjunto Chipaque” y luego en 1957 definió esta unidad como Formación Chipaque.

Esta unidad se encuentra al oriente del municipio de Fusagasugá, en unas franjas con dirección SW – NE y cerca de la quebrada Filadelfia en dirección NW del municipio de Pasca y está formada por lodolitas y arcillolitas gris oscura a negras con algunas intercalaciones de areniscas de grano muy fino gris oscuro, a continuación se encuentra una foto de esta formación obtenida del *Informe Final Proyecto ADA. Docx*.



CARACTERIZACIÓN DE LAS ZONAS DONDE LAS CONDICIONES GEOTÉCNICAS SON ADECUADAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE INFRAESTRUCTURA



Foto 2 Formación Chipaque Fuente: Informe final proyecto ADA.docx

➤ Lodolitas de Fusagasugá

Unidad definida por Acosta & Ulloa (2001), la cual podemos encontrar entre los municipios de Fusagasugá y silvania, también sobre la cuenca de los ríos Panche y Sumapaz.

Según el *Informe Final Proyecto ADA.docx* esta unidad geológica se conforma por Lodolitas y limolitas negras y moradas intercaladas con capas medias a gruesas de arenitas líticas.



CARACTERIZACIÓN DE LAS ZONAS DONDE LAS CONDICIONES GEOTÉCNICAS SON ADECUADAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE INFRAESTRUCTURA



Foto 3 Lodolitas de Fusagasugá Fuente: Informe final proyecto ADA.docx

➤ Formación Arenisca Dura

Se observa en franjas alargadas sobre la vía Fusagasugá – Alto de San Miguel y en las veredas San Rafael y Los Robles.



Foto 4 Formación Arenisca Dura Fuente: Informe final proyecto ADA.docx



CARACTERIZACIÓN DE LAS ZONAS DONDE LAS CONDICIONES GEOTÉCNICAS SON ADECUADAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE INFRAESTRUCTURA

➤ Sabana de Bogotá - Depósitos Fluvio Glaciares

Se encuentran distribuidos en dos abanicos al E (este) de Pasca y Fusagasugá, se trata de coluviones matriz soportados con clastos de areniscas y lodolitas mal seleccionados en tamaños que llegan hasta bloques de más de 5 m de diámetro y matriz arcillosa. (LTDA, MARZO 2013)

➤ Grupo Guadalupe

Este grupo se divide en tres formaciones: Arenisca Dura, Plaeners y labor y tierna.

➤ Formación Plaeners

Aflora generando pequeños valles que se destacan dos unidades duras; se caracteriza por la presencia de limolita silicea, en capas delgadas a medias, con intercalaciones de lodolita y arenita fina de cuarzo. Esta formación se presenta en las veredas San Rafael y Los Robles. (Plan de Ordenamiento Territorial-Municipio de Fusagasuga-Diagnostico Subsistema Biofisico)

➤ Región del Tequendama – Terrazas Altas

La formación se encuentra ubicada hacia el sur del casco urbano del municipio de Fusagasugá y el sector de chinauta.

➤ Valle del Magdalena – Depósitos Aluviales

Esta formación es la más reciente y se encuentra sobre los ríos Cuja y Choco, esta se ubica en franjas alargadas.



CARACTERIZACIÓN DE LAS ZONAS DONDE LAS CONDICIONES GEOTÉCNICAS SON ADECUADAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE INFRAESTRUCTURA

5. MARCO REFERENCIAL

5.1. ESTADO DEL ARTE

La zonificación geotécnica se puede utilizar en distintos campos como lo son la cartografía, topografía, agricultura entre otros. Un ejemplo es el mapa de zonificación geotécnica de Santafé De Bogotá D.C. que fue realizado por la Universidad de los Andes¹

“La zonificación es parte del proceso de ordenamiento territorial. Consiste en definir zonas con un manejo o destino homogéneo que en el futuro serán sometidas a normas de uso a fin de cumplir los objetivos para el área. El modelo de zonificación es útil para distintos tipos de uso seleccionados, lo que implica una homogenización previa de las variables a detectar en terreno y un trabajo claro con respecto a la recopilación y análisis de esa información. Las variables son integradas en un modelo matricial de asociación de variables utilizando un programa de modelado”²

“La geotecnia es la rama de la geología que trata de la aplicación de los principios geológicos en la investigación de los materiales naturales -como las rocas- que constituyen la corteza terrestre implicados en el diseño, la construcción y la explotación de proyectos de ingeniería civil, como autopistas, vías férreas, puentes, presas, oleoductos, acueductos, unidades habitacionales, sitios de confinamiento y edificios en general.

El conocimiento preciso de las propiedades mecánicas del suelo donde se pretende edificar y de las condiciones físicas del ambiente, constituyen el mejor medio de prevención ante

¹ http://seisan.sgc.gov.co/RSNC/Mapa_Zonifica_Geotecnica.pdf

² <http://ceachile.cl/zonificacion.htm>



CARACTERIZACIÓN DE LAS ZONAS DONDE LAS CONDICIONES GEOTÉCNICAS SON ADECUADAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE INFRAESTRUCTURA

desastres naturales que pueden causar graves daños a las obras civiles y a los seres humanos que las habitan”³

“La hidrología: se encarga de estudiar el comportamiento del agua en el ambiente geológico según las leyes de la hidráulica. Comprende la hidráulica de pozos, es decir de perforaciones para obtener agua con diferentes fines y el control de su comportamiento en el entorno, según el tipo de material perforado”⁴

“Aspectos Geológicos: las formaciones geológicas definen la estructura, composición y desarrollo del material rocoso que compone el subsuelo (litosfera). Este análisis permite orientar el uso de los recursos minerales que tiene el territorio y determinar mediante el estudio de los procesos geológicos los posibles riesgos y amenazas que puedan presentarse en el municipio”⁵

“Aspectos Geomorfológicos: La repartición de los sedimentos terciarios en el marco del cretáceo se relaciona con la evolución tectónica y con la erosión reciente. Las capas cretácicas fueron plegadas a lo largo de todo el terciario con varios paroxismos tectónicos y se presentan ahora en sinclinales amplios rellenados en el terciario, con discordancia nítida. El Sinclinal de Fusagasugá formado por anticlinales estrechos del cretáceo afectados por muchas fallas a menudo inversas y con cabalgaduras.

Los sedimentos terciarios han sepultado en algunas partes los anticlinales, pero la erosión cuaternaria los ha arrastrado casi completamente, ejemplo gran falla de la Aguadita; este estilo tectónico debe atribuirse en parte a la rigidez de las capas gruesas de areniscas y además a las arcillas sedimentarias bastante consolidadas (lutitas). La génesis del relieve de Fusagasugá se

³ (Servicio Geológico Mexicano – algunos derechos reservados © 2016 – políticas de privacidad). Última actualización: (04/12/2013 - 10:00).

⁴ (Servicio Geológico Mexicano – algunos derechos reservados © 2016 – políticas de privacidad). Última actualización: (04/12/2013 - 10:00).

⁵ (Plan de Ordenamiento Territorial-Municipio de Fusagasuga-Diagnostico Subsistema Biofisico)



CARACTERIZACIÓN DE LAS ZONAS DONDE LAS CONDICIONES GEOTÉCNICAS SON ADECUADAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE INFRAESTRUCTURA

conformó a partir de una tectónica intensa, las formas menores fueron labradas con relación a cambios sucesivos en los climas sobre todo en la era del cuaternario”⁶

Amenaza: Peligro latente asociado con un fenómeno físico de origen natural, tecnológico o provocado por el hombre que puede manifestarse en un sitio específico y en un tiempo determinado produciendo efectos adversos en las personas, los bienes, servicios y / o el ambiente. Técnicamente se refiere a la probabilidad de ocurrencia de un evento con una cierta intensidad en un sitio específico y en un período de tiempo determinado. (POT, 2001)

Curva de nivel: Línea que une los puntos que tiene igual altura con respecto a un plano de referencia a al nivel del mar. (POT, 2001)

Geología: Es la que determina la red hidrográfica y el tipo de roca y suelo que predominan en una región. Para realizar prácticas de conservación y restauración de suelos debe conocerse primordialmente el material de origen de los suelos. (Perico, 2016)

Geomorfología: Trata de la forma que posee la corteza terrestre. La geomorfología se relaciona estrechamente con algunos factores formantes del suelo. (Clima, relieve, tiempo de formación de los suelos) La geomorfología suministra datos de carácter práctico como condiciones de drenaje, peligro de erosión o deslizamientos, presencia de materiales de construcción. (Perico, 2016)

Licencia de construcción: Documento expedido por la autoridad competente (Alcaldía o S.P.M.), por medio de la cual se autoriza la ejecución de las obras o edificaciones solicitadas. (POT, 2001)

Riesgo: Es la probabilidad de ocurrencia de unas consecuencias económicas, sociales, ambientales o de otra índole, en un sitio particular y durante un tiempo de exposición

⁶ (Plan de Ordenamiento Territorial-Municipio de Fusagasuga-Diagnostico Subsistema Biofisico)



CARACTERIZACIÓN DE LAS ZONAS DONDE LAS CONDICIONES GEOTÉCNICAS SON ADECUADAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE INFRAESTRUCTURA

determinado. Se obtiene de relacionar la amenaza con la vulnerabilidad de los elementos expuestos. Se puede clasificar en alto, medio y bajo a través de su respectiva zonificación. (POT, 2001)

Zonificación: División por zonas del área urbana, suburbana o rural de un municipio, según sus características y actividades que en ella se realice, con el fin de promover y controlar su ocupación gradual y ordenada a través de las acciones, estímulos y la aplicación de las normas establecidas para cada una. (POT, 2001)

CLOPAD: comité local para la prevención y atención de desastres, previenen y atienden las situaciones de desastres y emergencia. (POT, 2001)

Álgebra de Mapas: se entiende por álgebra de mapas el conjunto de técnicas y procedimientos que, operando sobre una o varias capas en formato raster, nos permite obtener información derivada, generalmente en forma de nuevas capas de datos. Aunque nada impide que este proceso se lleve a cabo sobre capas vectoriales, se entiende que el álgebra de mapas hace referencia al análisis desarrollado sobre capas raster, pues estas, por su estructura regular y sus características inherentes, son mucho más adecuadas para plantear los algoritmos y formulaciones correspondientes. (Álgebra de mapas, s.f.)

ModelBuilder: es un lenguaje de programación visual para crear flujos de trabajo de geoprocésamiento. Los modelos de geoprocésamiento automatizan y documentan los procesos de análisis espacial y de administración de datos. Los modelos de geoprocésamiento se crean y modifican en ModelBuilder, donde un modelo se representa como un diagrama que encadena secuencias de procesos y herramientas de geoprocésamiento utilizando la salida de un proceso como entrada de otro proceso. (ESRI, 2017)



CARACTERIZACIÓN DE LAS ZONAS DONDE LAS CONDICIONES GEOTÉCNICAS SON ADECUADAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE INFRAESTRUCTURA

5.2. MARCO LEGAL

Tabla 1 P.O.T. (Plan de Ordenamiento Territorial)

Artículo	Descripción
<p>33. Áreas Expuestas a Amenazas y Riesgos.</p>	<p>“Ante la posibilidad de eventos de alto riesgo ligados a desastres por deslizamientos, inundaciones, incendios forestales, etc., generados por fenómenos naturales y antrópicos, ubicados en las zonas urbanas y rurales del Municipio, es necesario tener particular atención a las áreas aferentes al sector del río Batán, La Aguadita, Bosachoque, Pekín, (Urbanización Santa María de los Ángeles) y los sitios identificados por los estudios de la Universidad Industrial de Santander UIS y las del inventario del Plano de Amenazas y Riesgos rurales y urbanas. (Ver planos No 14 y 15)” (POT, 2001)</p>
<p>Parágrafo</p>	<p>“La Administración Municipal en asocio con la Corporación Autónoma Regional CAR, elaborarán en el corto plazo los planes de mitigación en las siguientes zonas con algún nivel de riesgo:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Estudios de identificación de las zonas inestables de la margen del Río Batán - Caracterización zona inestable Urbanización Santa María de los Ángeles. - Estudios de identificación de las zonas inestables de La Aguadita. - Estudios de identificación de las zonas inestables de Bosachoque. - Estudios de identificación de las zonas inestables de Pekín. (Urbanización Santa María de los Ángeles) - Estudios de las zonas inestables identificadas por los estudios de la Universidad Industrial de Santander UIS y las del inventario del Plano de Amenazas y Riesgos rurales y urbanas” (POT, 2001)



CARACTERIZACIÓN DE LAS ZONAS DONDE LAS CONDICIONES GEOTÉCNICAS SON ADECUADAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE INFRAESTRUCTURA

<p>72. Zonas con Presencia de Fallas y Fracturas Geológicas.</p>	<p>“Se deberá evitar el desarrollo urbano sobre ellas y se recomiendan los siguientes usos: Parques, zonas recreativas y deportivas, cementerios, zonas de reforestación, minas e industrias extractivas, estacionamientos a nivel y usos agropecuarios. Se deberá evitar particularmente la construcción de vivienda y equipamiento. Se adelantarán los estudios geotécnicos para determinar las zonas con fallas y de recarga de acuíferos de particular riesgo” (POT, 2001)</p>

Tabla 2 Ley 1523 de 2012 LEY 1523 DE 2012 (Plan Nacional de la Gestión del Riesgo de Desastres).

Articulo	Descripción
<p>1. De la Gestión del Riesgo de Desastres.</p>	<p>“La gestión del riesgo de desastres, en adelante la gestión del riesgo, es un proceso social orientado a la formulación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas, estrategias, planes, programas, regulaciones, instrumentos, medidas y acciones permanentes para el conocimiento y la reducción del riesgo y para el manejo de desastres, con el propósito explícito de contribuir a la seguridad, el bienestar, la calidad de vida de las personas y al desarrollo sostenible” (Secretaria General de la Alcaldia Mayor de Bogota D.C., 2012)</p>
<p>39. Integración de la Gestión del Riesgo en la Planificación Territorial y de Desarrollo.</p>	<p>“Los planes de ordenamiento territorial, de manejo de cuencas hidrográficas y de planificación del desarrollo en los diferentes niveles de gobierno, deberán integrar el análisis del riesgo en el diagnóstico biofísico, económico y socio ambiental y, considerar, el riesgo de desastres, como un condicionante para el uso y la ocupación del territorio, procurando de esta forma evitar la configuración de nuevas</p>



CARACTERIZACIÓN DE LAS ZONAS DONDE LAS CONDICIONES GEOTÉCNICAS SON ADECUADAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE INFRAESTRUCTURA

	condiciones de riesgo” (Secretaria General de la Alcaldia Mayor de Bogota D.C., 2012)
--	---



CARACTERIZACIÓN DE LAS ZONAS DONDE LAS CONDICIONES GEOTÉCNICAS SON ADECUADAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE INFRAESTRUCTURA

6.1. ESTADO DEL ARTE

El proyecto se desarrolló en diferentes fases donde la primera consistió específicamente en el estado del arte, haciendo un estudio detallado del contexto de la tesis, revisando trabajos similares, documentos técnicos similares, identificando la historia, trayectoria y alcances de la geotecnia y su importancia en el país. Identificando así problemas que se presentan en estudios geotécnicos en Colombia, revisión de casos de estudio e investigaciones similares al propuesto en el presente proyecto, verificación del POT y documentos técnicos que muestren la importancia de un estudio geotécnico en Fusagasugá. Posteriormente se definieron los insumos y actividades para desarrollar la investigación revisión de fuentes de información confiables.

6.2. LEVANTAMIENTO DE INFORMACION

Búsqueda de capas de cartografía básica, encontrando; Cartografía base a escala 1:25.000: drenajes, curvas de nivel, vías, construcciones, entre otras capas se trabajaron, desde los datos disponibles del Instituto Geográfico Agustín Codazzi en las planchas disponibles a escala 1: 25.000.

Cartografía Temática: Unidades Geológicas, pliegues, fallas, puntos estructurales, se obtienen del Servicio Geológico Colombiano a escala 100.000 Geomorfología, se deriva de las unidades geológicas, mediante metodología Carvajal.

Algunos de los insumos fueron compartidos por la empresa GRP y bajo los conceptos de expertos y profesionales en el área, apoyaron la producción de algunas capas derivadas.



Imagen 3 Geología Regional y Prospección Fuente: Informe final proyecto ADA.docx



CARACTERIZACIÓN DE LAS ZONAS DONDE LAS CONDICIONES GEOTÉCNICAS SON ADECUADAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE INFRAESTRUCTURA

6.3. ESTRUCTURACIÓN DE LOS DATOS

6.3.1. *Modelo de Pendientes:*

Esta capa geográfica se generó a partir de:

Curvas de Nivel Fusagasugá; estas se generaron a partir de la cartografía básica que dispone el IGAC a escala 25.000 donde 5 planchas cubrieron gran parte del área de Fusagasugá, en las partes que no presentaban cobertura de curvas de nivel se completaron a partir de vectores que se encontraron anexos en el Plan de Ordenamiento Territorial del municipio en formato .dwg de Auto CAD que se migraron y editaron en el software ARCGIS , para obtener la cobertura total del municipio, para esto se utilizó la herramienta Apends para unir las diferentes planchas; si bien las curvas corresponden a escala 1:25.000 las curvas se encontraban con intervalos de 50 metros.

De las curvas de nivel se generó el Modelo Digital de Elevación con un tamaño de pixel de 20 metros, con este se generó el modelo de pendientes; sin embargo la precisión del modelo no era muy detallada, por esta razón se vio la necesidad de obtener el modelo de pendientes por otro método.



CARACTERIZACIÓN DE LAS ZONAS DONDE LAS CONDICIONES GEOTÉCNICAS SON ADECUADAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE INFRAESTRUCTURA

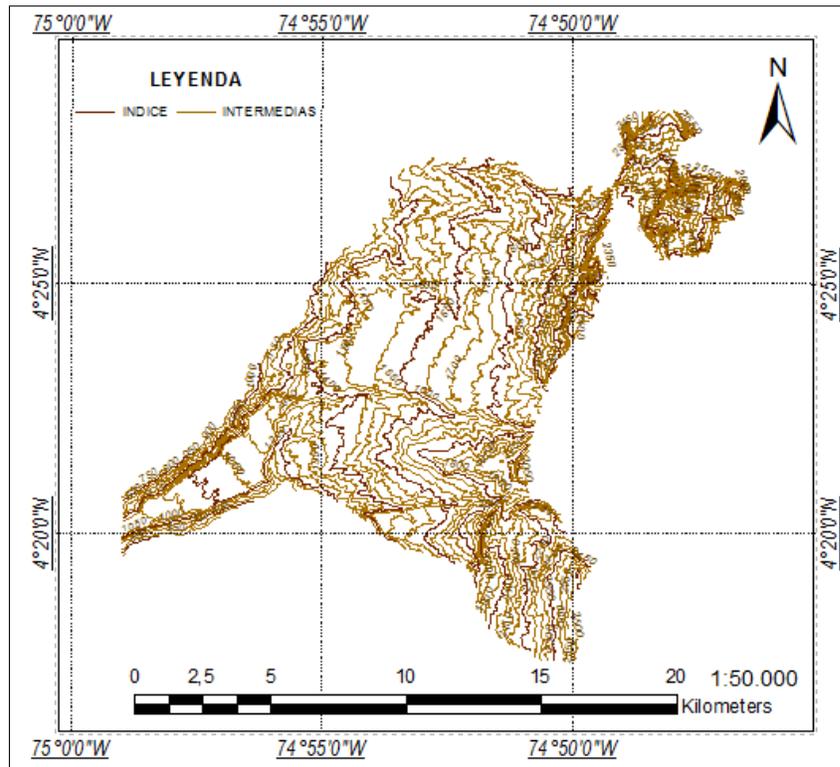


Imagen 5 **curvas de nivel del municipio de Fusagasugá Fuente:** elaboración propia

A partir del sensor Alos PALSAR 2, que son imágenes de radar de buena resolución, es posible obtener un modelo de pendientes muy aproximado ya que la resolución del pixel para este caso es 12.5, con el Modelo Digital de Elevación fue posible generar un Modelo de Pendientes más preciso ya que todos los valores de elevación que presenta el DEM son calculados por interferometría que “es una técnica novedosa de teledetección que, como su propio nombre indica, genera una nueva imagen (interferograma) a partir de dos imágenes SAR de una misma zona. Se trata de una técnica en desarrollo y de gran precisión la cual, combinada con datos como pueden ser geológicos, morfológicos, sismológicos, etc., se muestra muy eficaz en la cuantificación de deformaciones superficiales en el terreno. Aplicada al estudio de movimientos de ladera, esta técnica aporta la información necesaria para determinar la actividad de dichos movimientos” (Fernández et al. 2009; Tomás et al.2010; Sousa et al. 2010; Delgado et al. 2011). , a diferencia del obtenido de las curvas de nivel, donde los pixeles de elevación salen de métodos



CARACTERIZACIÓN DE LAS ZONAS DONDE LAS CONDICIONES GEOTÉCNICAS SON ADECUADAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE INFRAESTRUCTURA

de interpolación, que para las pendientes en curvas de mucho distanciamiento pierden veracidad. Por esta razón para toda la zonificación se trabajó con el modelo de pendientes generado por la imagen de radar.

The screenshot displays the Vertex Alaska Satellite Facility web portal. The header includes 'EARTHDATA' and navigation links for 'Data Discovery', 'DAACs', 'Community', and 'Science Disciplines'. The main title is 'ALASKA SATELLITE FACILITY' with a sub-header stating 'Vertex is the Alaska Satellite Facility's data portal for remotely sensed imagery of the Earth.' The sidebar on the left offers navigation options: 'Geospatial', 'Granule', and 'Missions'. Under 'Geographic Region', it provides two options: 'Option 1: Click on map and move cursor' and 'Option 2: Enter coordinates:'. A text input field is provided for coordinates, with an example: 'e.g., -102,37.59,-94,37,-94,39,-102,39,-102,37.59'. Below this, there are expandable sections for 'Date', 'Dataset', and 'Path & Frame (optional)'. The main map area shows a topographic view of a region with various place names. A legend at the bottom of the map indicates the 'Number of Frames' with a color scale: 1 (blue), 2-5 (green), 6-15 (yellow), 16-20 (orange), and 21+ (red). The footer of the page includes 'Copyright © 2017 Alaska Satellite Facility' and 'Vertex: ASF's Data Portal V2.22.00-14'.

Imagen 6 página web Fuente: <https://vertex.daac.asf.alaska.edu/>



CARACTERIZACIÓN DE LAS ZONAS DONDE LAS CONDICIONES GEOTÉCNICAS SON ADECUADAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE INFRAESTRUCTURA

PALSAR-2 Specifications					
Observation Mode	Stripmap *			Full (Quad.) Polarimetry *	
	[3m]	[6m]	[10m]	[6m]	[10m]
Obs. Mode ID (code)	UBS/UBD	HBS/HSD	FBS/FBD	HBQ	FBQ
Width (East-West) (Length of Range Direction)	55km (max)	55km (max)	70km (max)	40-50km	30km
Length (North-South) (Length of Azimuth Direction)	70km	70km	70km	70km	70km
Time Duration of Azimuth Direction	10 sec	10 sec	10 sec	10 sec	10 sec
Range Resolution*1	3.0m	6.0m	9.1m	5.1m	8.7m
Azimuth Resolution*1	3.0m	4.3m	5.3m	4.3m	5.3m
Pixel Spacing Levels 1.5/3.1	2.5m	3.125m	6.25m (2look)	3.125m	6.25m (2look)
Pixel Spacing Level 2.1	2.5m/5.0m /10.0m	3.125m/6.25m /12.5m	6.25m /12.5m	3.125m/6.25m /12.5m	6.25m /12.5m
Polarization	Single (HH, HV, VH, or VV) Dual (HH+HV or VH+VV)			Full (Quad.) Polarimetry (HH+HV+VH+VV)	

Imagen 7 Especificaciones del sensor Alos Fuente: <http://en.alos-pasco.com/alos-2/palsar-2/>

El sensor remoto PALSAR-2 a bordo de ALOS-2 es un sensor de radar de apertura sintética (SAR) de banda L, sensor de microondas que emite ondas de radio de banda L y recibe su reflejo desde el suelo para obtener información.

El PALSAR-2 tiene tres modos:

Modo Spotlight: El modo de observación más detallado con una resolución de 1 por 3 metros (ancho de observación de 25 km)

Modo Mapa de bandas: Un modo de alta resolución con la opción de 3, 6 o 10 metros de resolución (ancho de observación de 50 o 70 km)



CARACTERIZACIÓN DE LAS ZONAS DONDE LAS CONDICIONES GEOTÉCNICAS SON ADECUADAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE INFRAESTRUCTURA

Modo ScanSAR: Un modo de observación de área amplia con una anchura de observación de 350km o 490km y una resolución de 100m o 60m respectivamente

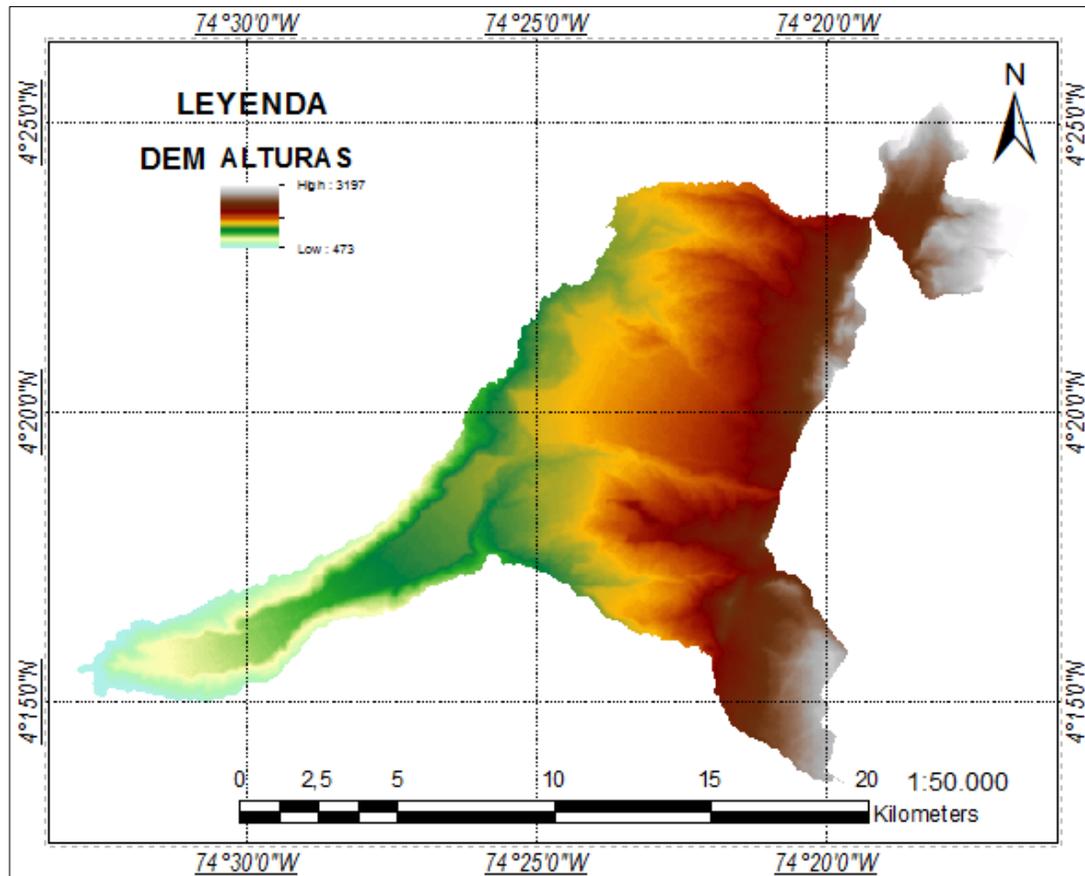


Imagen 8 **Modelo Digital de Elevación** Fuente: Elaboración propia

Modelo Digital de Elevación, en un modelo hipsométrico, que a través de las diferentes tonalidades representa las distintas elevaciones que se presentan, teniendo alturas que van de los 3200 a los 470 metros sobre el nivel del mar, aproximadamente. Además se presenta el modelo de sombras que aproxima el real comportamiento de la superficie respecto a la topografía.



CARACTERIZACIÓN DE LAS ZONAS DONDE LAS CONDICIONES GEOTÉCNICAS SON ADECUADAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE INFRAESTRUCTURA

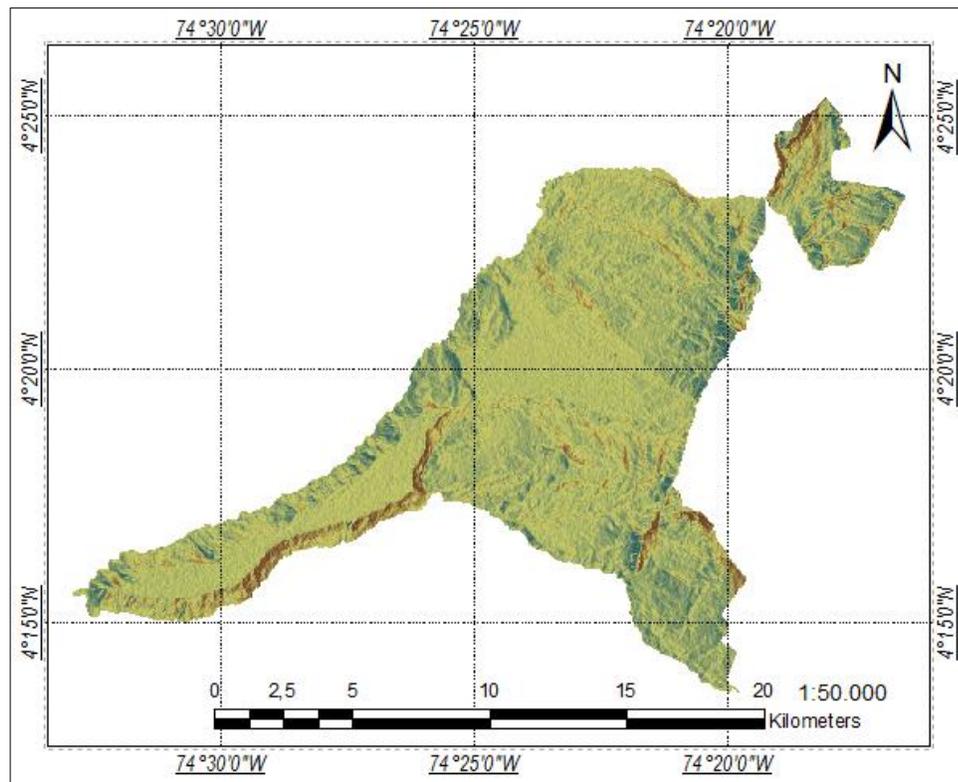


Imagen 9 **Modelo de Sombras** Fuente: Elaboración propia

6.4. MODELADO

En esta fase se dio la definición de geoprocesos, capas base, intermedias y finales, para llegar a la zonificación. Para esto lo primero fue definir el problema y objetivo principal, definiendo el objeto de cada capa vectorial en la zonificación, definiendo así también las diferentes capas intermedias y categorizaciones para obtener el producto final.

Una vez se tienen definidos todos los insumos; se procede a descargarlos y al disponer toda la información en formato shapefile. En el caso de los datos geológicos fue necesario realizar la digitalización del mapa geológico del municipio de Fusagasugá, obteniendo los diferentes datos de tipo, línea, punto y polígono en formato shapefile. Revisar que todas las capas se encuentren



CARACTERIZACIÓN DE LAS ZONAS DONDE LAS CONDICIONES GEOTÉCNICAS SON ADECUADAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE INFRAESTRUCTURA

en el mismo sistema de coordenadas, en este caso toda la Información se dejó en Magna Colombia Bogotá.

Cumpliendo con lo expuesto en el modelamiento se llevó a cabo la debida reclasificación de las capas intermedias finales para la obtención de la zonificación, donde se realizó la asignación de valores numéricos que de acuerdo al valor definen la calidad de las variables trabajadas por capa temática, es decir la categorización asigna números menores a los datos que son mejores y por lo contrario los valores de alta denominación indican una mala calificación.

Todas las capas intermedias finales, se convirtieron a formato raster, con el fin de generar el producto final a partir de la herramienta algebra de mapas, definiendo a manera de ponderación, las capas más importantes a tener en cuenta en el estudio.

Re categorización y definición del producto del algebra de mapas, dando una breve descripción de la situación en las diferentes áreas obtenidas. Superposición de la base predial e infraestructura para revisar la situación de los diferentes elementos respecto a los resultados del estudio. A partir del análisis y resultados, definir las áreas más indicadas y menos pertinentes para la construcción de infraestructura en la expansión urbana que presenta el municipio. Producción de mapas finales y mapas intermedios, definiendo las situaciones que se presentan en cada uno de los mismos.



CARACTERIZACIÓN DE LAS ZONAS DONDE LAS CONDICIONES GEOTÉCNICAS SON ADECUADAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE INFRAESTRUCTURA

6.4.1. Esquema Modelado

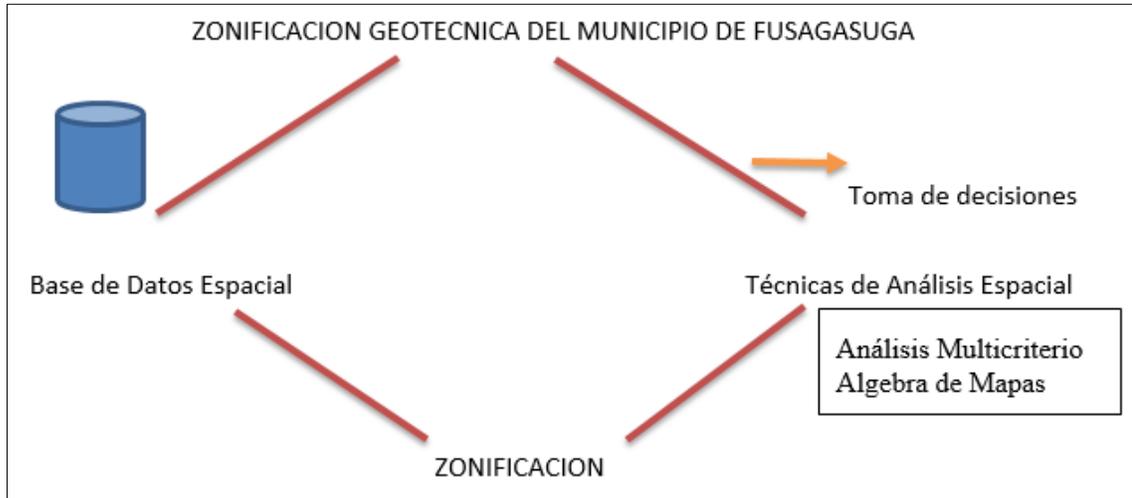


Imagen 10 **Esquema Modelado Fuente:** Elaboración Propia

Se definieron como fuentes primarias, modelos descriptivos que hacen referencia principalmente a los Mapas y como modelos de decisión se utilizó los resultados de la herramienta ModelBuilder, para identificar las zonas que cumplen con los parámetros establecidos para finalmente contar con un modelo predictivo que muestra el resultado a través de un mapa infiriendo lo que podría ocurrir bajo ciertas condiciones geotécnicas que se identifican, respecto a la información predial.

Problema: Zonificación geotécnica para caracterización de condiciones del suelo en el municipio de Fusagasugá, identificando las posibles áreas viables para expansión urbana.

Actualmente Fusagasugá es un municipio muy cercano a Bogotá que en los últimos años presenta una expansión urbana muy acelerada, a 2016 se estimaron más de 100.000 habitantes, “actualmente existen alrededor de 100 proyectos de propiedad horizontal en Fusagasugá; donde cerca del 20% se encuentran pausados por problemas de licencias”. Proyectos recientes presentan fallas estructurales debido a capacidad portante del suelo.



CARACTERIZACIÓN DE LAS ZONAS DONDE LAS CONDICIONES GEOTÉCNICAS SON ADECUADAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE INFRAESTRUCTURA

6.5. CONCEPTUALIZACIÓN MODEL BUILDER

Definir variables

Cartografía base y cartografía geológica debidamente categorizada.

Definir insumos (datos)

Modelo de pendientes = SENSOR ALOS PALSAR / DEM

Geología de Fusagasugá = SERVICIO GEOLOGICO COLOMBIANO / fallas, pliegues, datos estructurales, unidades geológicas.

Geomorfología Fusagasugá = SERVICIO GEOLOGICO COLOMBIANO / derivado de unidades geológicas.

Estructuras = Derivado de las demás capas temáticas y algunos datos geológicos con el respectivo modelo de pendientes.

Cuerpos de agua = IGAC cuerpos de agua

Infraestructura = Planeación Fusagasugá

Se definieron las funciones de análisis espacial a tener en cuenta: Áreas de Influencia, Uniones, selección por atributos, Reclasificaciones, Intersecciones, entre otras herramientas.

Productos intermedios: Modelo Digital de Elevación, Mapa Geológico, Mapa Geomorfológico, Mapa de pendientes, Mapa Hidrológico, Mapa Estructural, Mapa base, Modelo de sombras.

El modelo propuesto tiene como objeto determinar las zonas con las mejores condiciones geotécnicas para la expansión urbana del municipio de Fusagasugá, a través de:

Levantamiento de cartografía base y temática. Se definieron Insumos y capas intermedias como el mapa de pendientes, Estructuración de información - Base de Datos Espacial. Toda la información debe tener los campos necesarios y estar en el mismo Sistema de Referencia,



CARACTERIZACIÓN DE LAS ZONAS DONDE LAS CONDICIONES GEOTÉCNICAS SON ADECUADAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE INFRAESTRUCTURA

categorización de todos los datos, convertir información de en los respectivos formatos, hacer reclasificación asignando valores a los datos de mejor a peor.

Definición Model Builder con las capas debidamente estructuradas y las herramientas de análisis espacial definidas partiendo de las capas debidamente categorizadas.

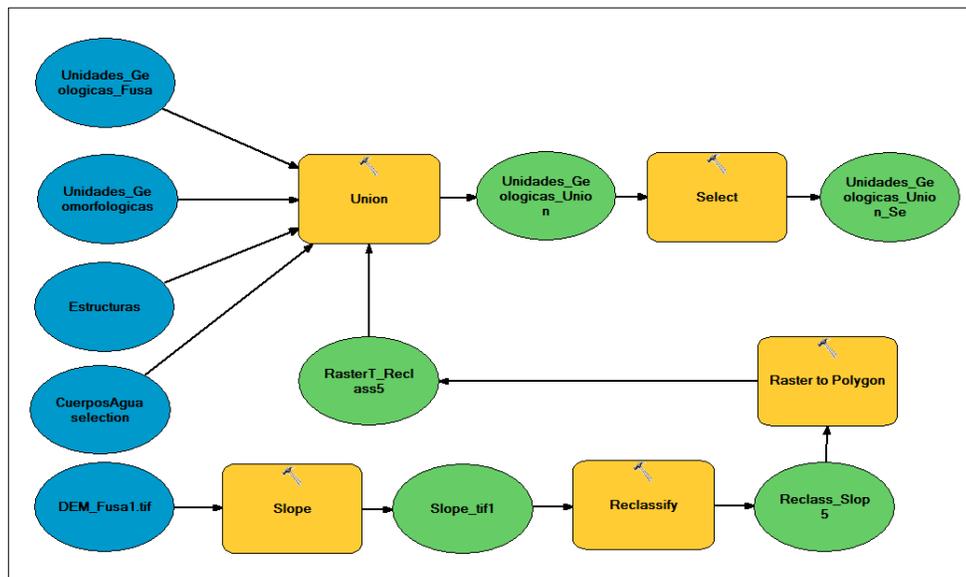


Imagen 11 **Diseño Model Builder** Fuente: Elaboración Propia

Ejecución del Model Builder, una vez se definió cada una de las herramientas de análisis espacial a aplicar, su respectivo orden y capa geográfica, se corrió el modelo, validando así el conjunto de algoritmos, para revisar la correcta ejecución, donde todas las funciones se realizaron satisfactoriamente.



CARACTERIZACIÓN DE LAS ZONAS DONDE LAS CONDICIONES GEOTÉCNICAS SON ADECUADAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE INFRAESTRUCTURA

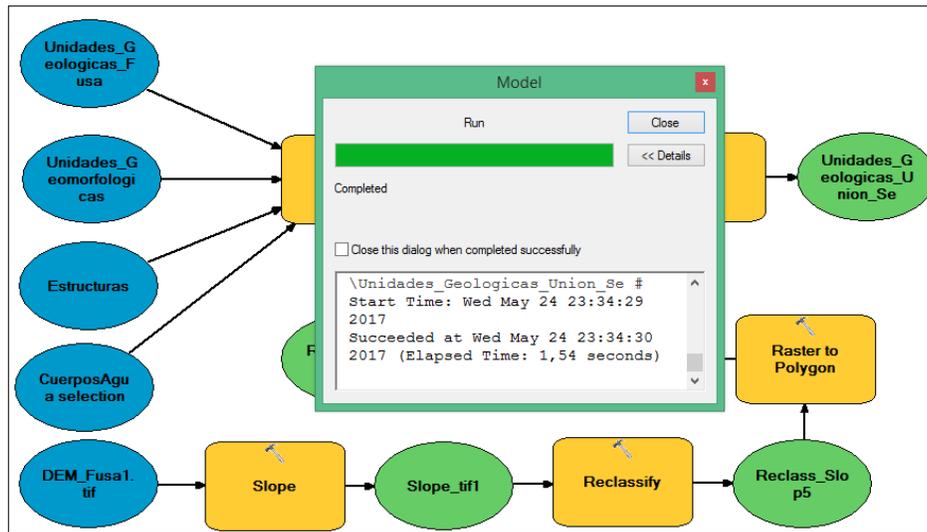


Imagen 12 Validación Model Builder Fuente: Elaboración Propia

Model Builder ejecutado correctamente, esto es posible determinarlo ya que en cada una de las capas resultantes y cada una de las herramientas ejecutadas presentan en la parte inferior un sombreado.

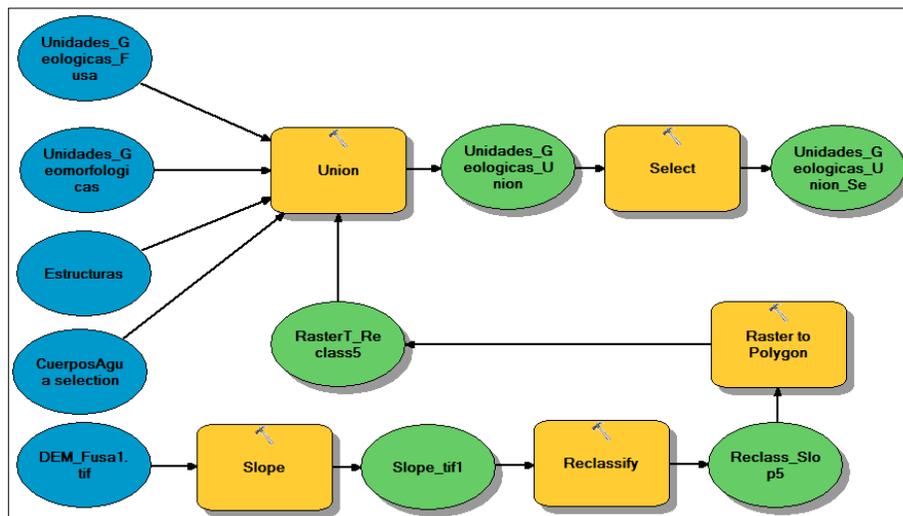


Imagen 13 Model Builder Ejecutado Fuente: Elaboración Propia



CARACTERIZACIÓN DE LAS ZONAS DONDE LAS CONDICIONES GEOTÉCNICAS SON ADECUADAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE INFRAESTRUCTURA

Se puede evidenciar la capa vectorial resultado del model Builder, donde cada uno de los poligonos que conforman la capa contienen informacion especifica.

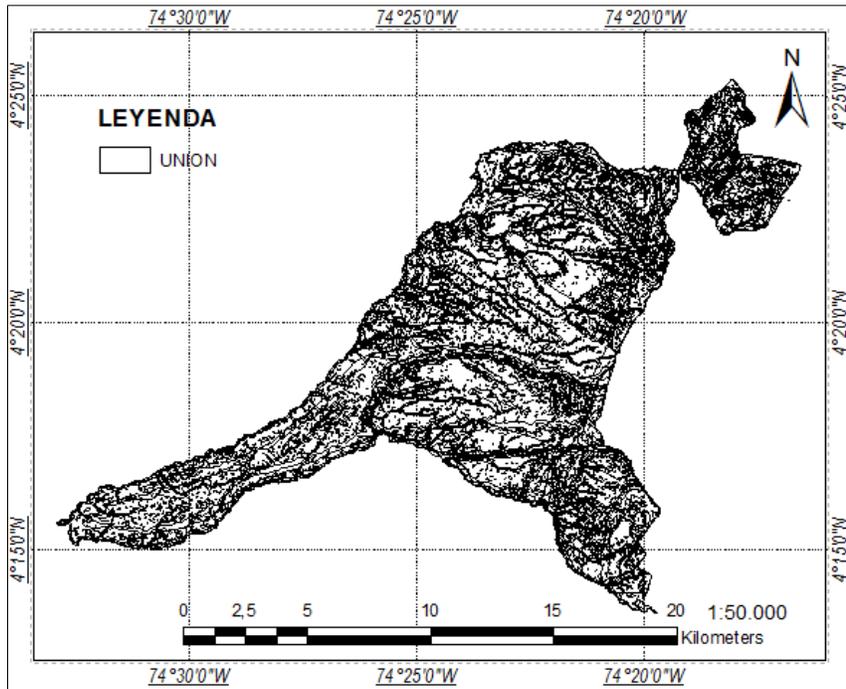


Imagen 14 Capa Vectorial Fuente: Elaboración propia

Tabla de atributos del resultado, con el campo de c_geotecnia, que es el campo creado donde se tienen la sumatoria de cada una de las capas de acuerdo a los datos que se tienen en cada una de las categorias de las diferentes capas estructuradas.

Union																
GEOMORFOLO	VALOR	geomorf_ca	Geomorf_1	FID_Estruc	Id	categoria	Fract_Cate	Shape_Leng	Shape Area	Analisis	c_ geomorf	c_ geolog	c_ fractura	c_ pendiente	c_ hidrolog	c_ geotecnia
Sima	300	Ladera Estructu	3	0	0	A1	1	0.000451	0	11	3	3	1	4	0	11
Sima	300	Ladera estructu	2	0	0	A1	1	0.001673	0	8	2	2	1	3	0	8
Sima	300	Ladera Estructu	5	0	0	A1	1	0.000427	0	13	5	5	1	2	0	13
Sima	300	Ladera Estructu	5	0	0	A1	1	0.000426	0	12	5	5	1	1	0	12
Sima	300	Ladera estructu	2	0	0	A1	1	0.000509	0	7	2	2	1	2	0	7
Sima	300	Ladera estructu	2	0	0	A1	1	0.012289	0.000002	10	2	2	1	5	0	10
Sima	300	Ladera Estructu	3	0	0	A1	1	0.000678	0	12	3	3	1	5	0	12
Sima	300	Ladera Estructu	5	0	0	A1	1	0.001481	0	14	5	5	1	3	0	14
Sima	300	Ladera estructu	2	0	0	A1	1	0.000403	0	7	2	2	1	2	0	7
Sima	300	Ladera Estructu	5	0	0	A1	1	0.001205	0	13	5	5	1	2	0	13
Sima	300	Ladera Estructu	3	0	0	A1	1	0.00223	0	12	3	3	1	5	0	12
Sima	300	Ladera contra p	9	0	0	A1	1	0.00158	0	24	9	9	1	5	0	24
Sima	300	Ladera estructu	2	0	0	A1	1	0.000426	0	8	2	2	1	3	0	8
Sima	300	Ladera estructu	2	0	0	A1	1	0.000489	0	7	2	2	1	2	0	7
Sima	300	Ladera Estructu	3	0	0	A1	1	0.00113	0	11	3	3	1	4	0	11
Sima	300	Ladera estructu	2	0	0	A1	1	0.000423	0	8	2	2	1	3	0	8
Sima	300	Ladera estructu	2	0	0	A1	1	0.000426	0	7	2	2	1	2	0	7
Sima	300	Ladera estructu	2	0	0	A1	1	0.000419	0	7	2	2	1	2	0	7
Sima	300	Ladera Estructu	3	0	0	A1	1	0.002384	0	10	3	3	1	3	0	10
Sima	300	Ladera Estructu	3	0	0	A1	1	0.000461	0	12	3	3	1	5	0	12
Sima	300	Ladera estructu	2	0	0	A1	1	0.00113	0	7	2	2	1	2	0	7
Sima	300	Ladera estructu	2	0	0	A1	1	0.000487	0	7	2	2	1	2	0	7
Sima	300	Ladera Estructu	3	0	0	A1	1	0.000451	0	12	3	3	1	5	0	12
Sima	300	Ladera estructu	2	0	0	A1	1	0.01595	0.000006	9	2	2	1	3	0	9
Sima	300	Ladera Estructu	5	0	0	A1	1	0.000984	0	14	5	5	1	3	0	14
Sima	300	Ladera Estructu	3	0	0	A1	1	0.000451	0	11	3	3	1	4	0	11
Sima	300	Ladera estructu	2	0	0	A1	1	0.004812	0.000001	9	2	2	1	3	0	9
Sima	300	Ladera estructu	2	0	0	A1	1	0.000451	0	7	2	2	1	2	0	7
Sima	300	Ladera Estructu	5	0	0	A1	1	0.000451	0	15	5	5	1	4	0	15
Sima	300	Ladera Estructu	5	0	0	A1	1	0.000451	0	14	5	5	1	3	0	14
Sima	300	Ladera contra p	9	0	0	A1	1	0.000678	0	24	9	9	1	5	0	24
Sima	300	Ladera estructu	2	0	0	A1	1	0.001096	0	8	2	2	1	3	0	8
Sima	300	Ladera estructu	2	0	0	A1	1	0.000451	0	8	2	2	1	3	0	8
Sima	300	Ladera estructu	2	0	0	A1	1	0.00133	0	7	2	2	1	2	0	7

Imagen 15 tabla de atributos Fuente: Elaboración propia



CARACTERIZACIÓN DE LAS ZONAS DONDE LAS CONDICIONES GEOTÉCNICAS SON ADECUADAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE INFRAESTRUCTURA

Aplicación de simbología a la capa final definiendo las categorías por el valor resultante, donde los menores valores hacen alusión a las condiciones más favorables y que en este caso en la representación coroplética corresponde a los valores que tienden a verde; por lo contrario, los valores que tienden a rojo son las áreas que presentan más riesgo y condiciones desfavorables.

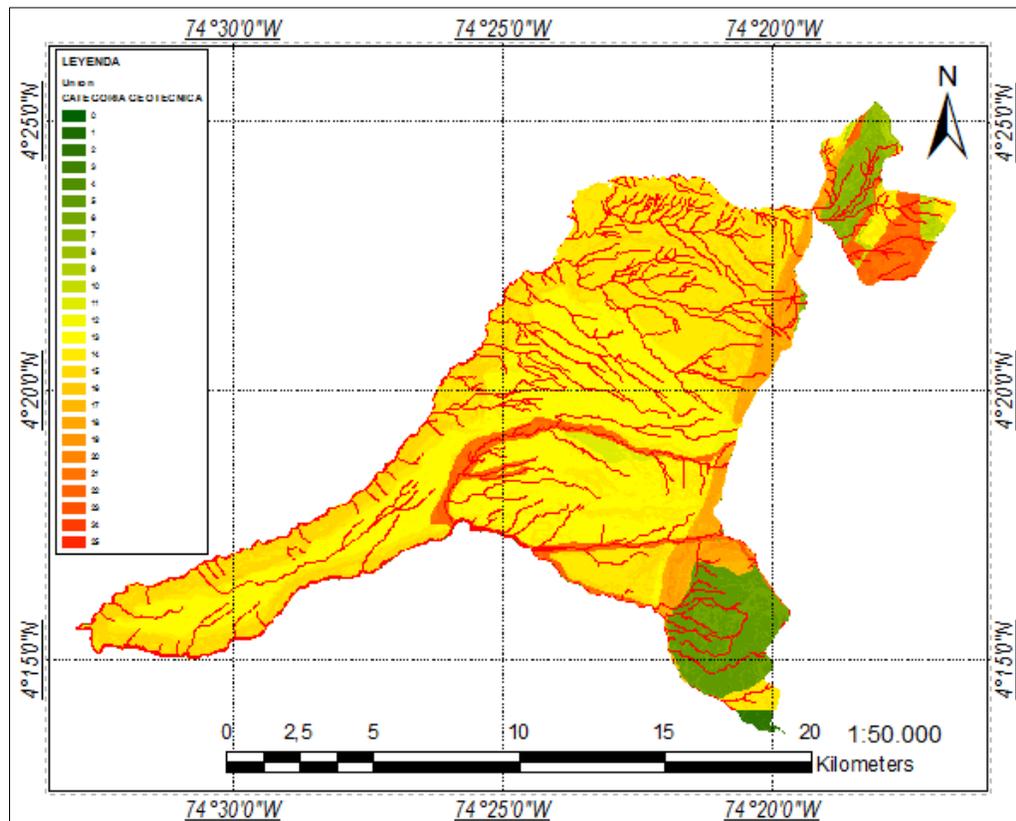


Imagen 16 **Capa Vectorial Categorizada Fuente:** Elaboración Propia

Representación de Unidades Geológicas de Fusagasugá, de tipo vectorial; donde cada polígono representa una unidad geológica que predomina.



CARACTERIZACIÓN DE LAS ZONAS DONDE LAS CONDICIONES GEOTÉCNICAS SON ADECUADAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE INFRAESTRUCTURA

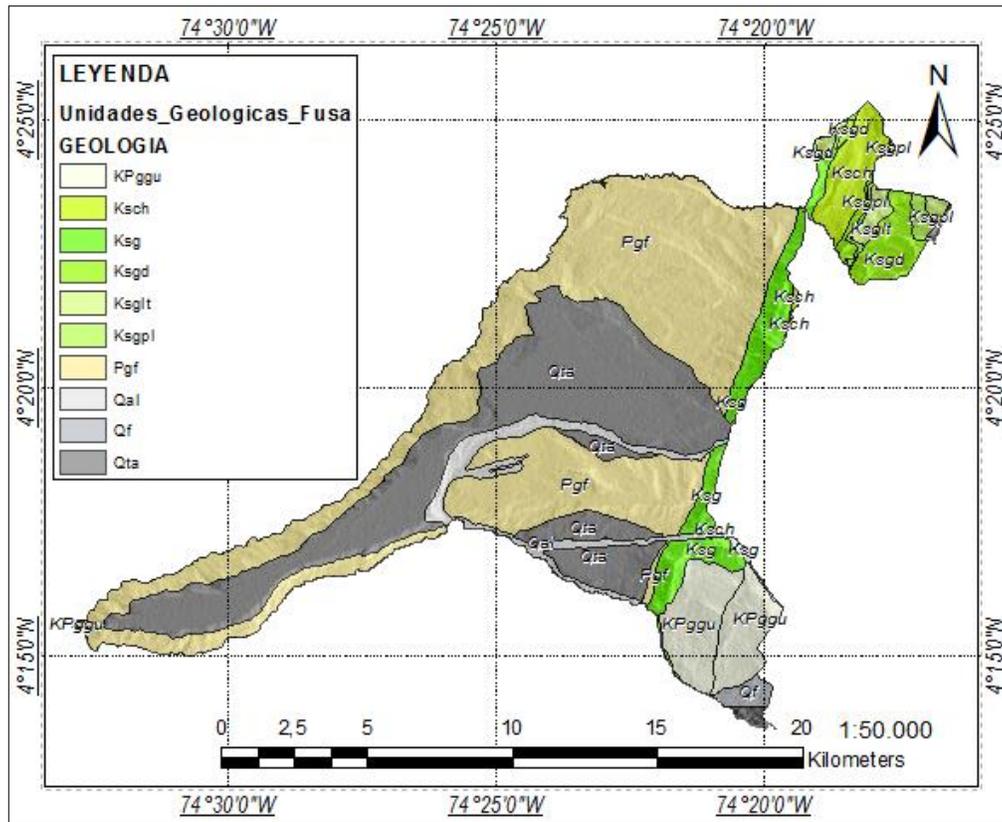


Imagen 17 Unidades Geológicas Fuente: Elaboración Propia

Convertir Unidades Geológicas de formato vectorial a raster teniendo en cuenta como parámetro el campo de categoría.

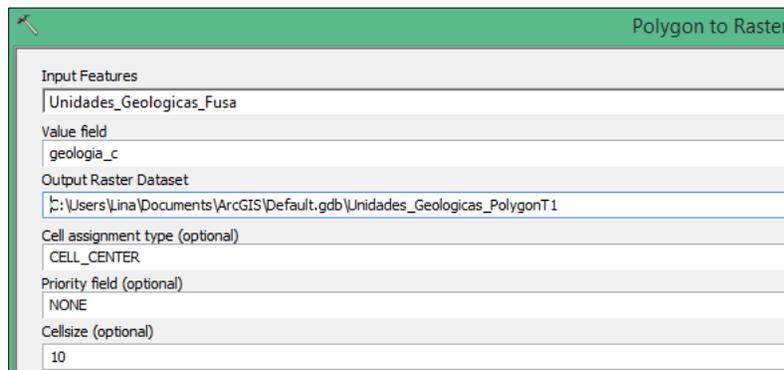


Imagen 18 Conversión de Polígono a Raster Fuente: Elaboración Propia



CARACTERIZACIÓN DE LAS ZONAS DONDE LAS CONDICIONES GEOTÉCNICAS SON ADECUADAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE INFRAESTRUCTURA

Visualización de las unidades geológicas en formato raster.

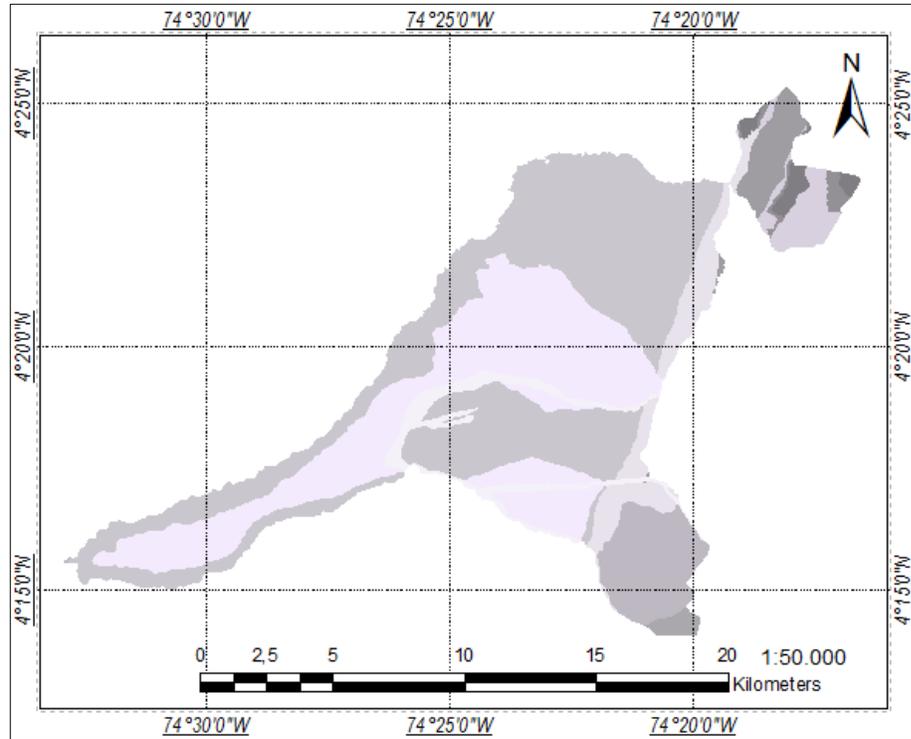


Imagen 19 **Unidades Geológicas en Formato Raster** Fuente: Elaboración Propia

Aplicación de la ecuación para introducir el álgebra de mapas, dando respectivamente ponderaciones a cada una de las capas de acuerdo a la importancia en la zonificación donde; el resultado será igual a geología por factor de 0,15 más geomorfología por factor 0.15 más estructuras por factor de 0,15 más pendientes de 0,15 más rondas hídricas por factor de 0,40, para un total de 1, donde este parámetro se le da un peso mayor puesto que es muy importante que sin importar las condiciones geotécnicas ninguna obra puede estar dentro de esta área de influencia.



CARACTERIZACIÓN DE LAS ZONAS DONDE LAS CONDICIONES GEOTÉCNICAS SON ADECUADAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE INFRAESTRUCTURA

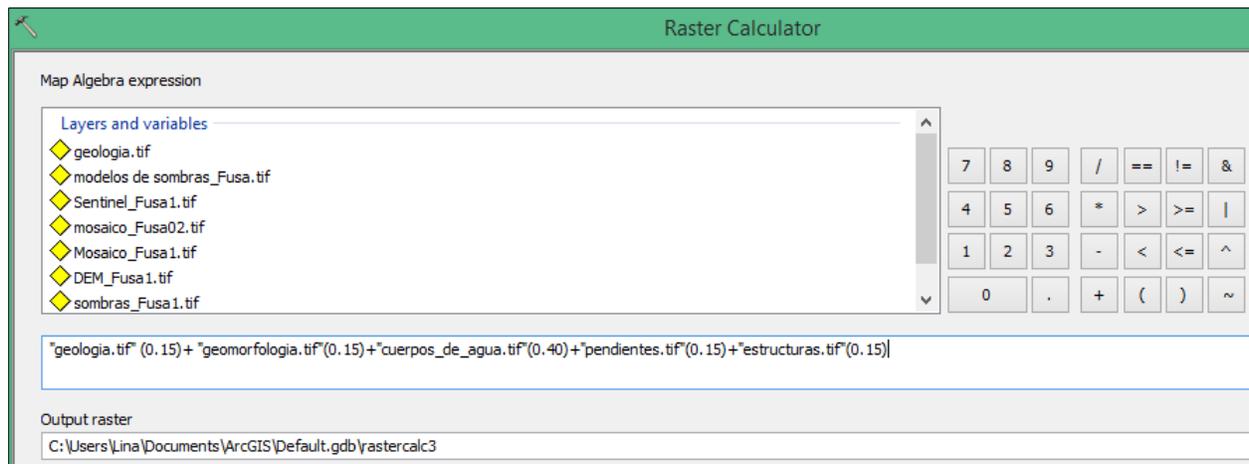


Imagen 20 Ecuación Para el Algebra de Mapas Fuente: **Elaboración Propia**

Algebra de mapas

Aplicar la herramienta de algebra de mapas, para sumar las diferentes capas finales, dando ponderaciones de acuerdo a la importancia de la capa. Identificación de zonas con mejores y peores condiciones. Del mapa resultante hacer el correspondiente análisis y superposición de capas infraestructura.



CARACTERIZACIÓN DE LAS ZONAS DONDE LAS CONDICIONES GEOTÉCNICAS SON ADECUADAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE INFRAESTRUCTURA

Resultado de la aplicación del algebra de mapas en formato raster

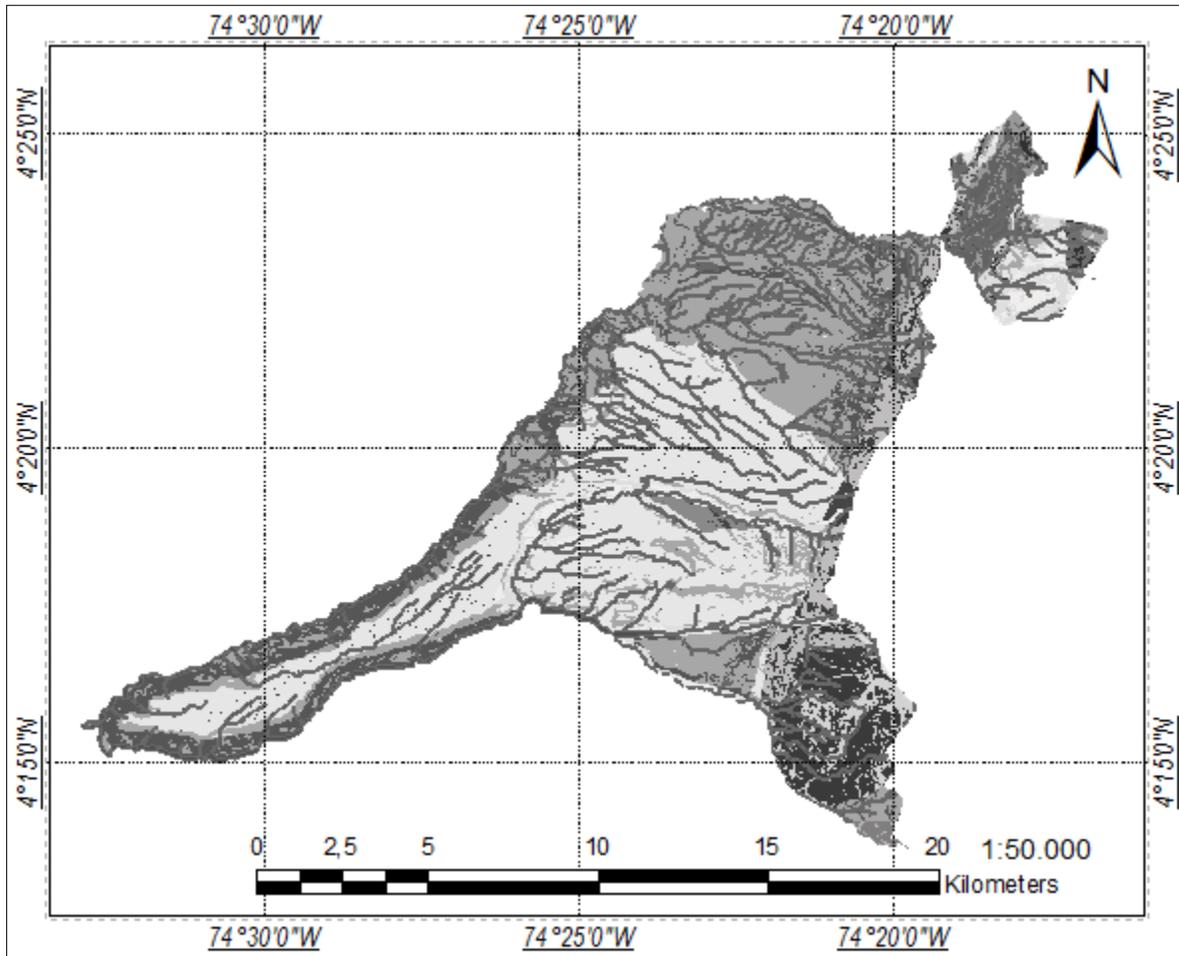


Imagen 21 Algebra de Mapas – Raster Fuente: Elaboración Propia

Validar el modelo identificando las zonas y comprobando ambos métodos a través del geoprocésamiento vectorial y el Algebra de mapas.



CARACTERIZACIÓN DE LAS ZONAS DONDE LAS CONDICIONES GEOTÉCNICAS SON ADECUADAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE INFRAESTRUCTURA

7. ANALISIS Y RESULTADOS

Teniendo claro el objetivo de esta investigación, se procede a recolectar toda la información necesaria, tales como documentos referentes al Plan de Ordenamiento Territorial de Fusagasugá, y sus respectivos anexos, como planos; además obtener los elementos cartográficos anteriormente expuestos tales como mapas geológicos de la región, curvas de nivel, mapas geomorfológicos, entre otros.

Con la información requerida se procede a estructurar todo lo que se tiene, generando una base de datos geográfica, con la temática geotécnica con los diferentes elementos vectoriales de tipo línea, punto o polígono que se tengan. Los que no se tengan de igualmente se digitalizaran para que contengan la misma estructura, esto incluye la validación de topología.

Teniendo toda la información en una estructura organizada, se diseña una ecuación que contempla en principio una reclasificación con cierto de numero de valores, por igual, para los diferentes elementos esto, se hace reagrupando toda la información que se tiene respectivamente por temática.

De esta manera ya se puede diseñar una matriz que permita obtener los valores más altos posibles y mínimos posibles, ajustándolos en grupos que definirán la viabilidad que presenta cada zona para soportar obras de infraestructura.

Teniendo claros todos los posibles valores, se retroalimentan los valores en los diferentes elementos obtenidos y se procede a convertir toda la información a formato raster, para que cada unidad adquiera como propiedad de pixel el valor que se dio para cada elemento.

En el caso de las curvas de nivel servirá como insumo, para realizar un geoprocso que permita la obtención del modelo digital de elevación, ara su posterior reclasificación, de igual forma se obtendrá a partir de este el modelo de pendientes, que se reclasificara según las clases



CARACTERIZACIÓN DE LAS ZONAS DONDE LAS CONDICIONES GEOTÉCNICAS SON ADECUADAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE INFRAESTRUCTURA

definidas por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi para este caso. El mismo procedimiento se hace para las demás capas teniendo como resultado, todas las capas rasterizadas y con un número determinado de clases-valores.

Con todos los elementos ya reclasificados es posible aplicar el álgebra de mapas, que hará una especie de sumatoria de las diferentes capas que se tienen, teniendo como resultado el mapa de zonificación donde se revisaran y redefinen los valores, para proceder a la edición cartográfica identificando la unidad mínima cartográfica de acuerdo a la escala final de los mapas.

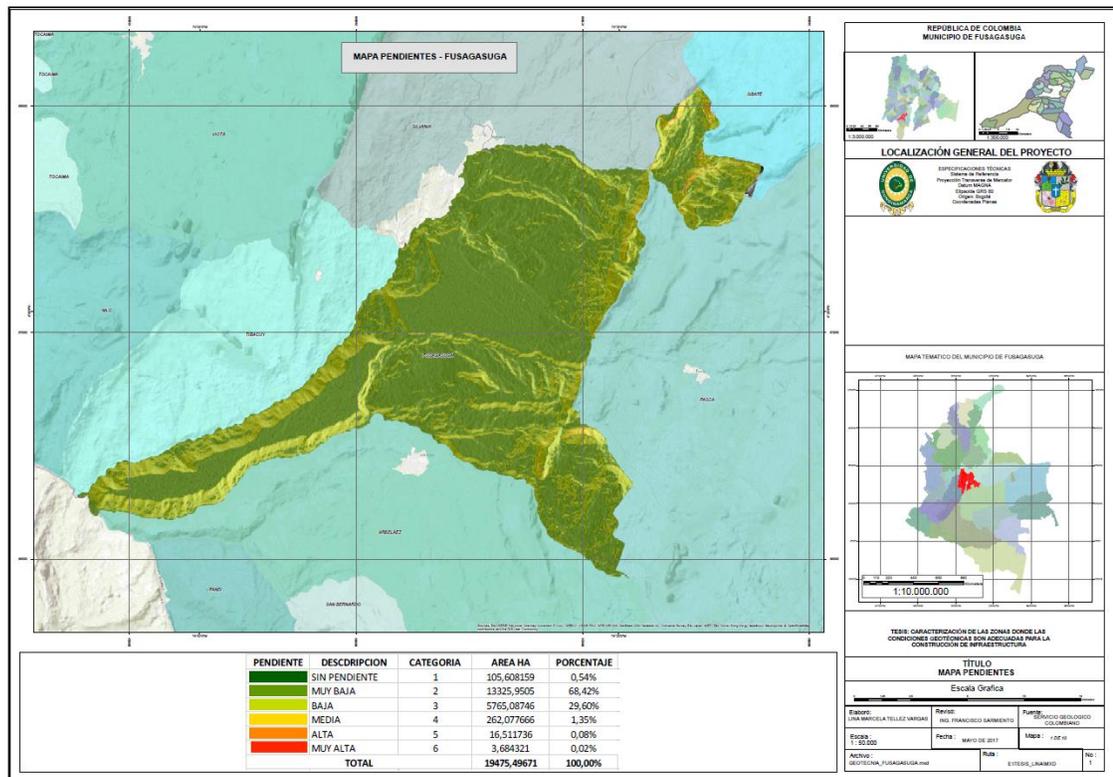


Imagen 22 Pendientes – Municipio de Fusagasugá Fuente: Elaboración Propia



CARACTERIZACIÓN DE LAS ZONAS DONDE LAS CONDICIONES GEOTÉCNICAS SON ADECUADAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE INFRAESTRUCTURA

7.1. DRENAJES

Los drenajes son el consolidado de los cuerpos de agua encontrados en la cartografía base a escala 25.000 de la región y corresponde a los drenajes dobles y sencillos. Se realizó una unión y se disolvieron para tener una única capa y un solo registro de hidrología, generando el buffer a 30 metros que es lo que sugiere la guía metodológica publicada por la CAR de Cundinamarca para Definir rondas hídricas. Esta área de influencia fue de gran importancia para los resultados esperados.

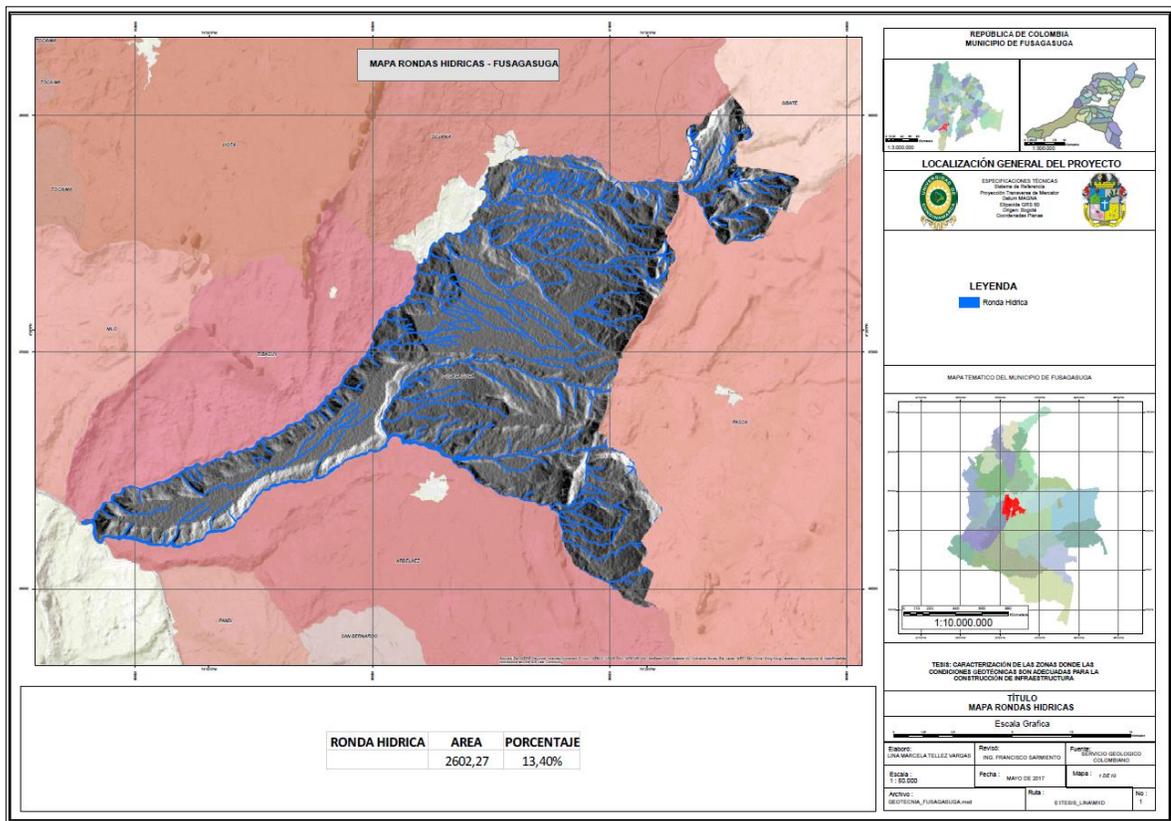


Imagen 23 Rondas Hídricas – Municipio de Fusagasugá Fuente: Elaboración Propia



CARACTERIZACIÓN DE LAS ZONAS DONDE LAS CONDICIONES GEOTÉCNICAS SON ADECUADAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE INFRAESTRUCTURA

7.2. GEOMORFOLOGÍA

La Geomorfología generada para el municipio es derivada de las unidades geológicas identificadas en el mapa geológico, producido por el servicio geológico colombiano, donde a partir del conocimiento de una profesional en Geología y especialista en el área ayudo a aplicar la metodología de Carvajal definida por el S.G.C. que propone definir las geformas a partir de la composición y otras características que se pueden identificar desde la geología.

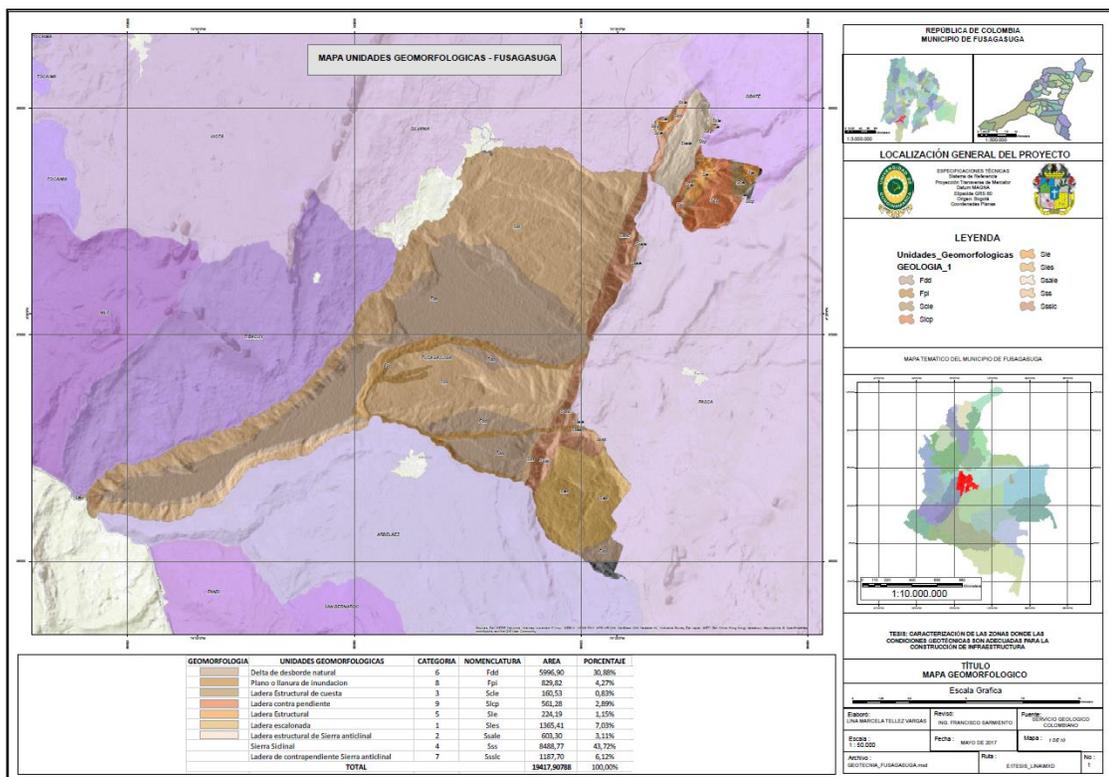


Imagen 24 Unidades Geomorfológicas – Municipio de Fusagasugá Fuente: Elaboración Propia



CARACTERIZACIÓN DE LAS ZONAS DONDE LAS CONDICIONES GEOTÉCNICAS SON ADECUADAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE INFRAESTRUCTURA

7.3. GEOLOGÍA

Para la obtención de las unidades geológicas de Fusagasugá y sus alrededores, se buscaron los vectores en el servicio geológico colombiano, donde la institución tiene la geología del país libre a escala 500.000; razón por la cual se solicitó la plancha geológica oficial de Fusagasugá a escala 100.000 en pdf donde fue necesario georreferenciarla para posteriormente digitalizarla, cumpliendo las especificaciones y validando la topología para no incurrir en errores geométricos

Las Unidades Geológicas se generaron a partir del mapa Geológico de la plancha 246, producida por el Servicio Geológico Colombiano, donde el PDF se convirtió a formato de imagen, luego se georreferencio, se crearon los shapefiles de tipo, línea, punto y polígono con los respectivos campos, para digitalizar las unidades geológicas, fallas geológicas y datos estructurales.

Grupo Guadalupe: “El Cretáceo culmina con los afloramientos del Grupo Guadalupe en el Cerro Peñas Blancas, rasgo prominente en el área con dirección N10E, y que se ve afectado por los cabalgamientos de Quininí y Pueblo Nuevo. El grupo Guadalupe configura también los Cerros Quininí, Chiculi, Loma Tierra Blanca y las Cuchillas San Bartolo y Media Luna al SW en dirección al Boquerón” (LTDA, MARZO 2013)



CARACTERIZACIÓN DE LAS ZONAS DONDE LAS CONDICIONES GEOTÉCNICAS SON ADECUADAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE INFRAESTRUCTURA

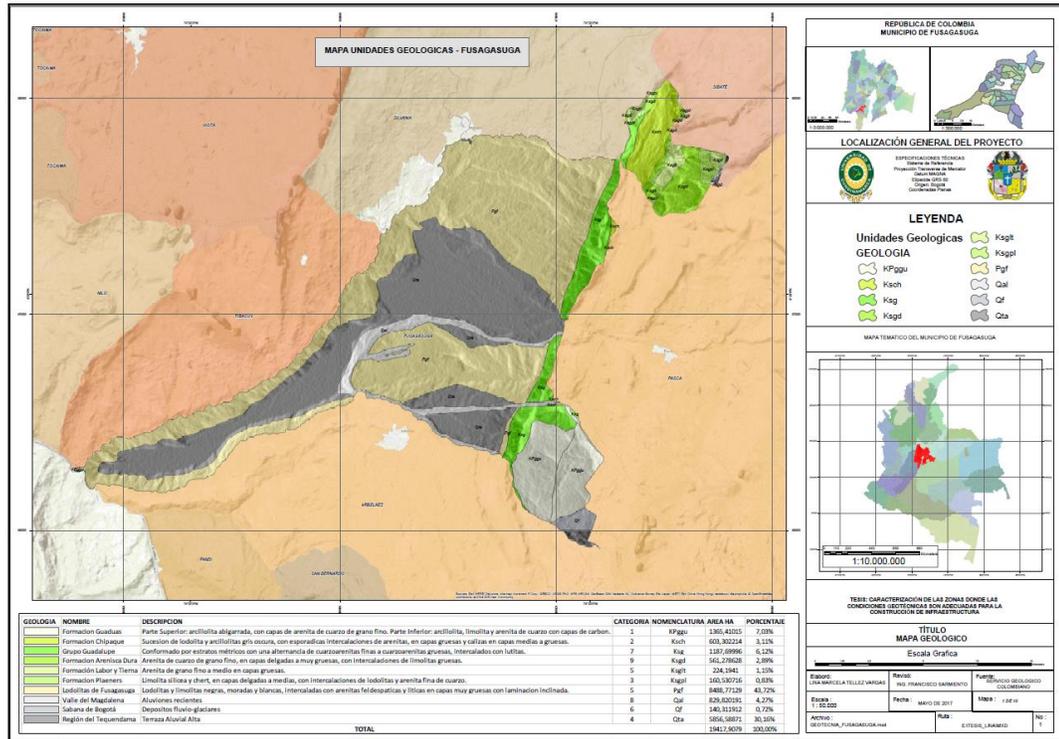


Imagen 25 Unidades Geológicas – Municipio de Fusagasugá Fuente: Elaboración Propia

7.4. FRACTURAS “ESTRUCTURALES”

Esta capa temática es el producto del análisis de datos Geológicos estructurales, es decir Fallas y Pliegues además de puntos de contacto que de acuerdo a sus valores en azimut y desviación y respecto al comportamiento frente a las curvas de nivel se generaron los polígonos que definen el patrón de la zona.



CARACTERIZACIÓN DE LAS ZONAS DONDE LAS CONDICIONES GEOTÉCNICAS SON ADECUADAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE INFRAESTRUCTURA

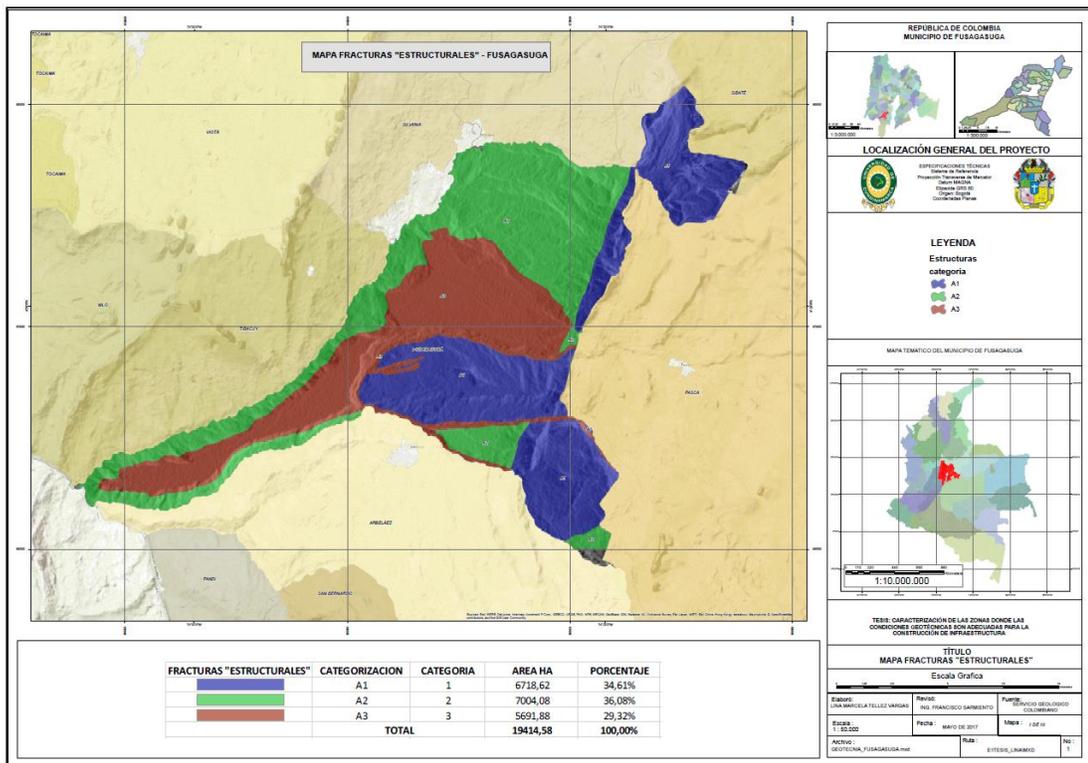


Imagen 26 Fracturas Estructurales – Municipio de Fusagasugá Fuente: **Elaboración Propia**

7.5. CATEGORIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN

La categorización de las diferentes capas temáticas geográficas, se definieron soportados en documentos técnicos del área y a criterio de una profesional del área experta y especialista en geotecnia, definiendo las mejores y peores condiciones para los diferentes elementos identificados en cada cobertura.



CARACTERIZACIÓN DE LAS ZONAS DONDE LAS CONDICIONES GEOTÉCNICAS SON ADECUADAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE INFRAESTRUCTURA

7.5.1. Geología

Tabla 3 Categorización Unidades Geológicas Fuente: Elaboración Propia

GEOLOGIA	NOMBRE	DESCRIPCION	CATEGORIA	NOMENCLATURA	AREA HA	PORCENTAJE
	Formación Guaduas	Parte Superior: arcillolita abigarrada, con capas de arenita de cuarzo de grano fino. Parte Inferior: arcillolita, limolita y arenita de cuarzo con capas de carbon.	1	KPggg	1365,41015	7,03%
	Formación Chipaque	Sucesion de lodolita y arcillolitas gris oscura, con esporadicas intercalaciones de arenitas, en capas gruesas y calizas en capas medias a gruesas.	2	Ksch	603,302214	3,11%
	Grupo Guadalupe	Conformado por estratos métricos con una alternancia de cuarzoarenitas finas a cuarzoarenitas gruesas, intercalados con lutitas.	7	Ksg	1187,69996	6,12%
	Formacion Arenisca Dura	Arenita de cuarzo de grano fino, en capas delgadas a muy gruesas, con intercalaciones de limolitas gruesas.	9	Ksgd	561,278628	2,89%
	Formación Labor y Tierra	Arenita de grano fino a medio en capas gruesas.	5	Ksglt	224,1941	1,15%
	Formación Plaensers	Limolita silicea y chert, en capas delgadas a medias, con intercalaciones de lodolitas y arenita fina de cuarzo.	3	Ksgpl	160,530716	0,83%
	Lodolitas de Fusagasuga	Lodolitas y limolitas negras, moradas y blancas, intercaladas con arenitas feldespáticas y líticas en capas muy gruesas con laminación inclinada.	5	Pgf	8488,77129	43,72%
	Valle del Magdalena	Aluviones recientes	8	Qal	829,820191	4,27%
	Sabana de Bogotá	Depositos fluvio-glaciares	6	Qf	140,311912	0,72%
	Región del Tequendama	Terraza Aluvial Alta	4	Qta	5856,58871	30,16%
TOTAL					19417,9079	100,00%

7.5.2. Geomorfología

Tabla 4 Categorización Unidades Geomorfológicas Fuente: Elaboración Propia

GEOMORFOLOGIA	UNIDADES GEOMORFOLOGICAS	CATEGORIA	NOMENCLATURA	AREA	PORCENTAJE
	Delta de desborde natural	6	Fdd	5996,90	30,88%
	Plano o llanura de inundacion	8	Fpi	829,82	4,27%
	Ladera Estructural de cuesta	3	Scle	160,53	0,83%
	Ladera contra pendiente	9	Slcp	561,28	2,89%
	Ladera Estructural	5	Sle	224,19	1,15%
	Ladera escalonada	1	Sles	1365,41	7,03%
	Ladera estructural de Sierra anticlinal	2	Ssale	603,30	3,11%
	Sierra Siclinal	4	Sss	8488,77	43,72%
	Ladera de contrapendiente Sierra anticlinal	7	Ssslc	1187,70	6,12%
TOTAL				19417,90788	100,00%

7.5.3. Fallas estructurales

Tabla 5 Categorización Fallas Estructurales Fuente: Elaboración Propia

FRACTURAS "ESTRUCTURALES"	CATEGORIZACION	CATEGORIA	AREA HA	PORCENTAJE	
	A1	1	6718,62	34,61%	19414,5803
	A2	2	7004,08	36,08%	19414,5803
	A3	3	5691,88	29,32%	19414,5803
TOTAL			19414,58	100,00%	19414,5803



CARACTERIZACIÓN DE LAS ZONAS DONDE LAS CONDICIONES GEOTÉCNICAS SON ADECUADAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE INFRAESTRUCTURA

7.5.4. Pendientes

Tabla 6 **Categorización de las Pendientes** Fuente: **Elaboración Propia**

PENDIENTE	DESCDRIPCION	CATEGORIA	AREA HA	PORCENTAJE
	SIN PENDIENTE	1	105,608159	0,54%
	MUY BAJA	2	13325,9505	68,42%
	BAJA	3	5765,08746	29,60%
	MEDIA	4	262,077666	1,35%
	ALTA	5	16,511736	0,08%
	MUY ALTA	6	3,684321	0,02%
TOTAL			19475,49671	100,00%

7.5.5. Ronda Hídrica

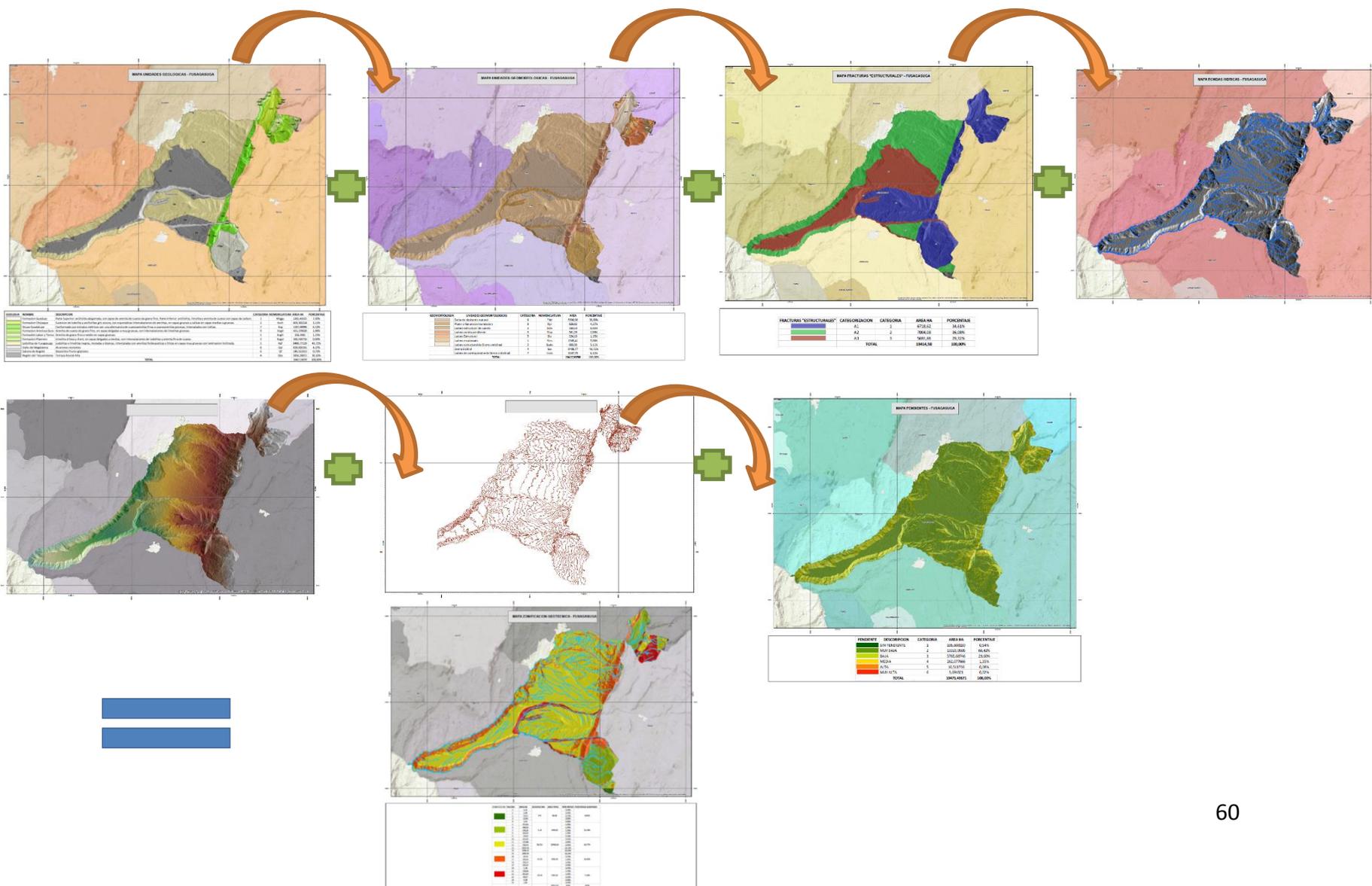
Tabla 7 **Categorización Ronda Hídrica** Fuente: **Elaboración Propia**

RONDA HIDRICA	AREA	PORCENTAJE
	2602,27	13,40%

De esta manera se asignaron valores numéricos, para cada uno de los elementos presentes en las diferentes capas geográficas trabajadas para la zonificación geotécnica, todos los valores se organizaron de manera ascendente, siendo los valores más bajos los mejores en cuanto a propiedades y capacidad portante del suelo y por lo contrario los valores más altos indican insuficiencias y debilidades respecto a propiedades de los suelos.

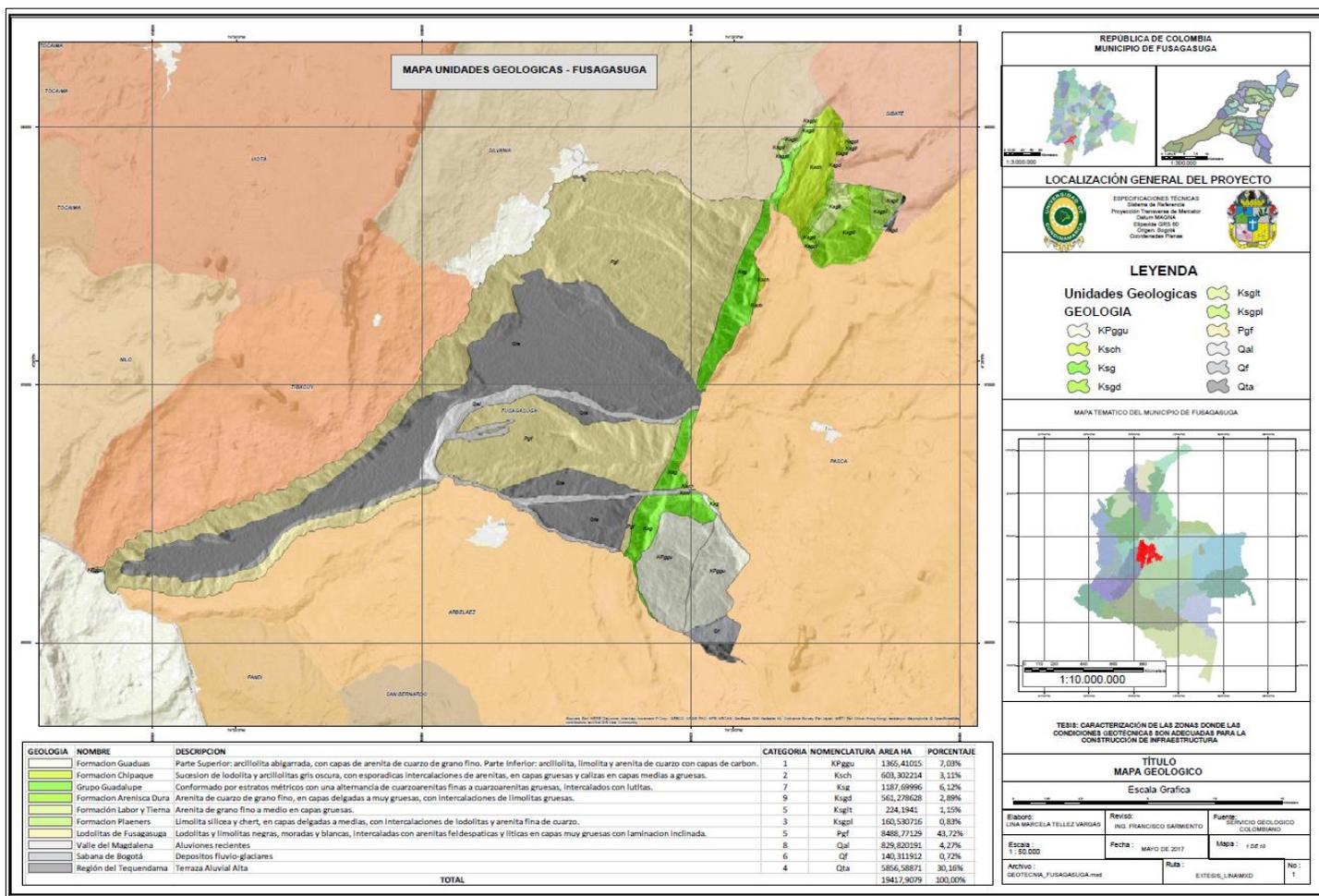
CARACTERIZACIÓN DE LAS ZONAS DONDE LAS CONDICIONES GEOTÉCNICAS SON ADECUADAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE INFRAESTRUCTURA

7.5.6. Algebra de mapas





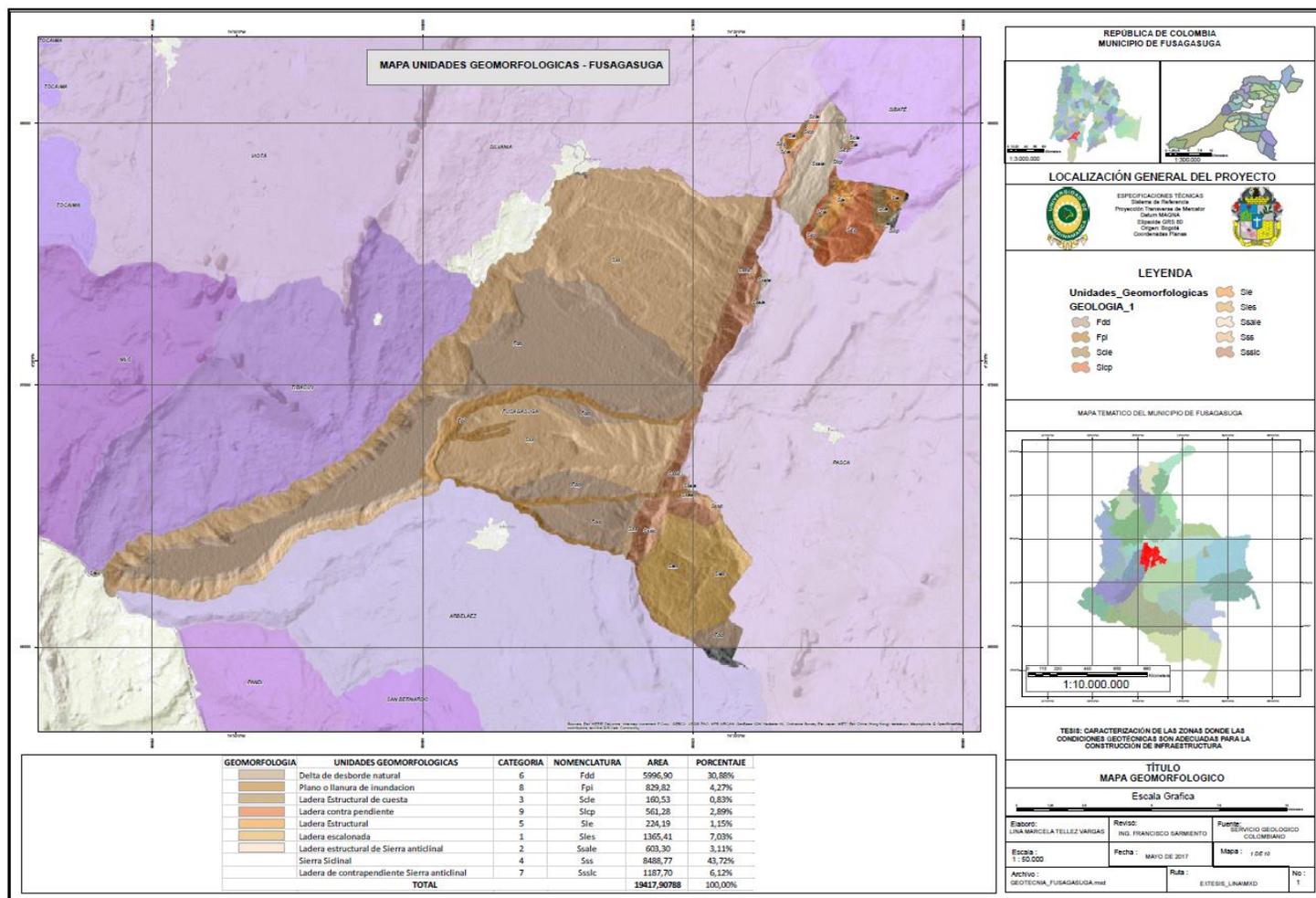
CARACTERIZACIÓN DE LAS ZONAS DONDE LAS CONDICIONES GEOTÉCNICAS SON ADECUADAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE INFRAESTRUCTURA



Mapa 1 Unidades Geológicas – Municipio Fusagasugá Fuente: Elaboración Propia



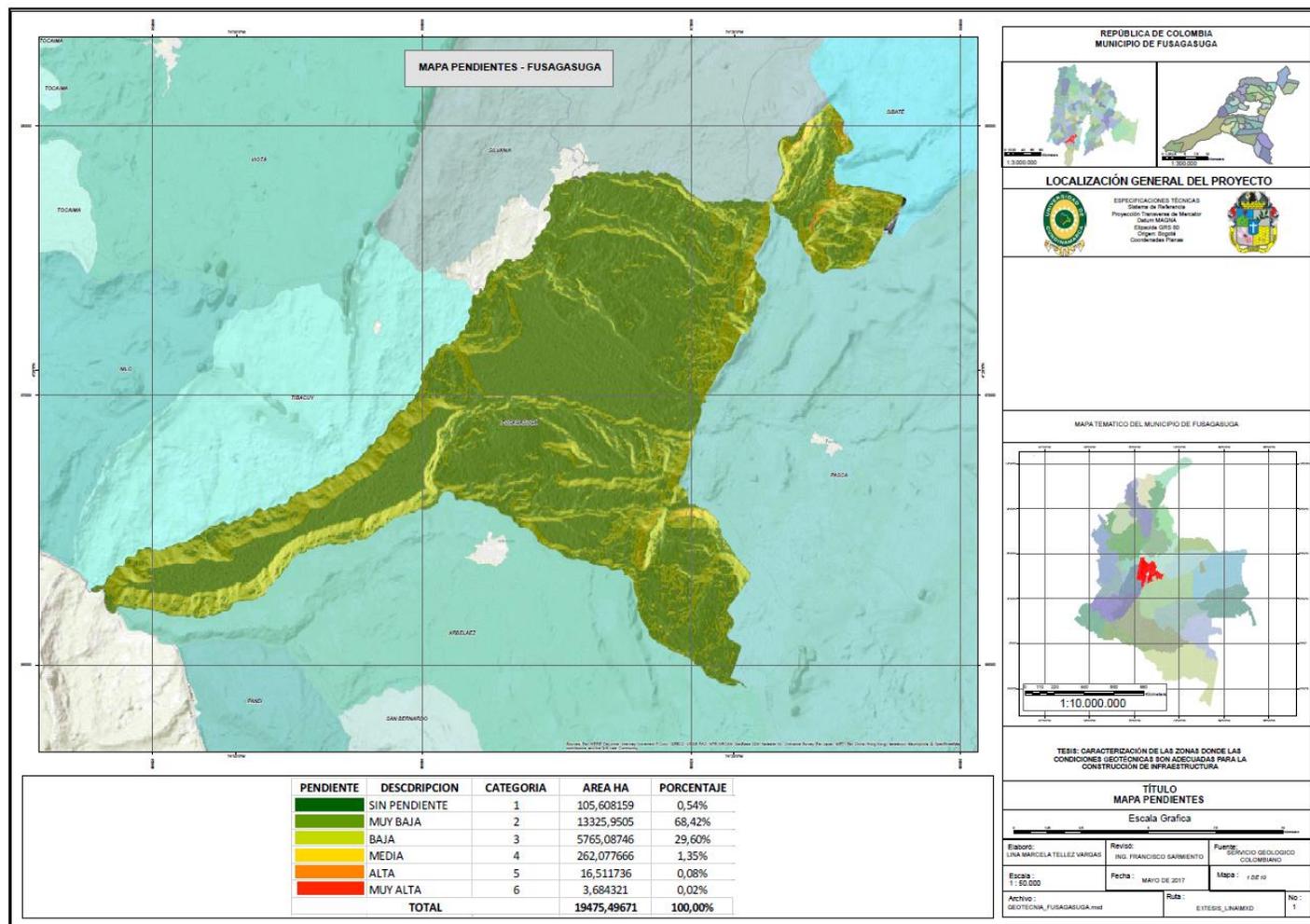
CARACTERIZACIÓN DE LAS ZONAS DONDE LAS CONDICIONES GEOTÉCNICAS SON ADECUADAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE INFRAESTRUCTURA



Mapa 2 Unidades Geomorfológicas – Municipio Fusagasugá Fuente: Elaboración Propia



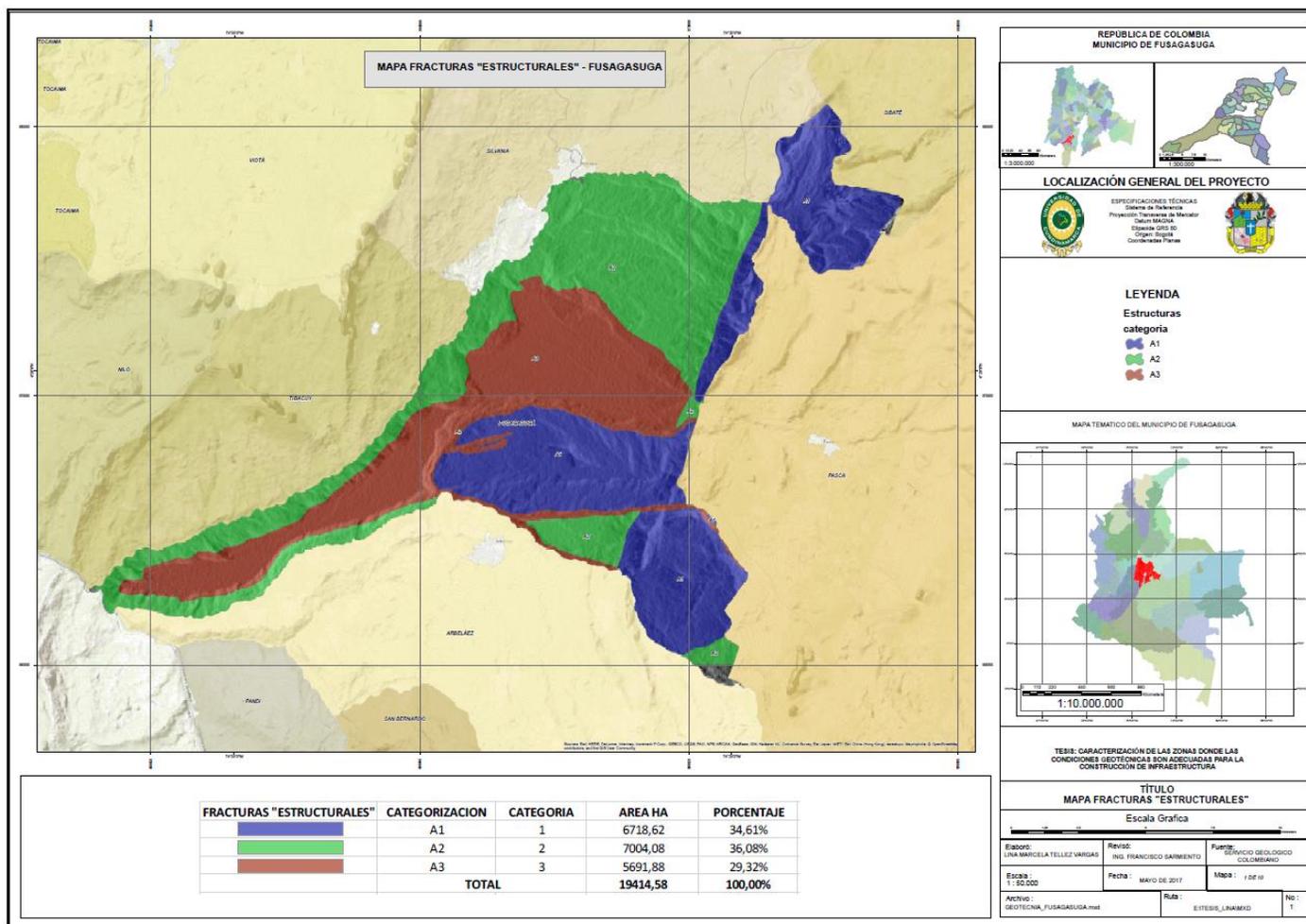
CARACTERIZACIÓN DE LAS ZONAS DONDE LAS CONDICIONES GEOTÉCNICAS SON ADECUADAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE INFRAESTRUCTURA



Mapa 3 Pendientes – Municipio Fusagasugá Fuente: Elaboración Propia



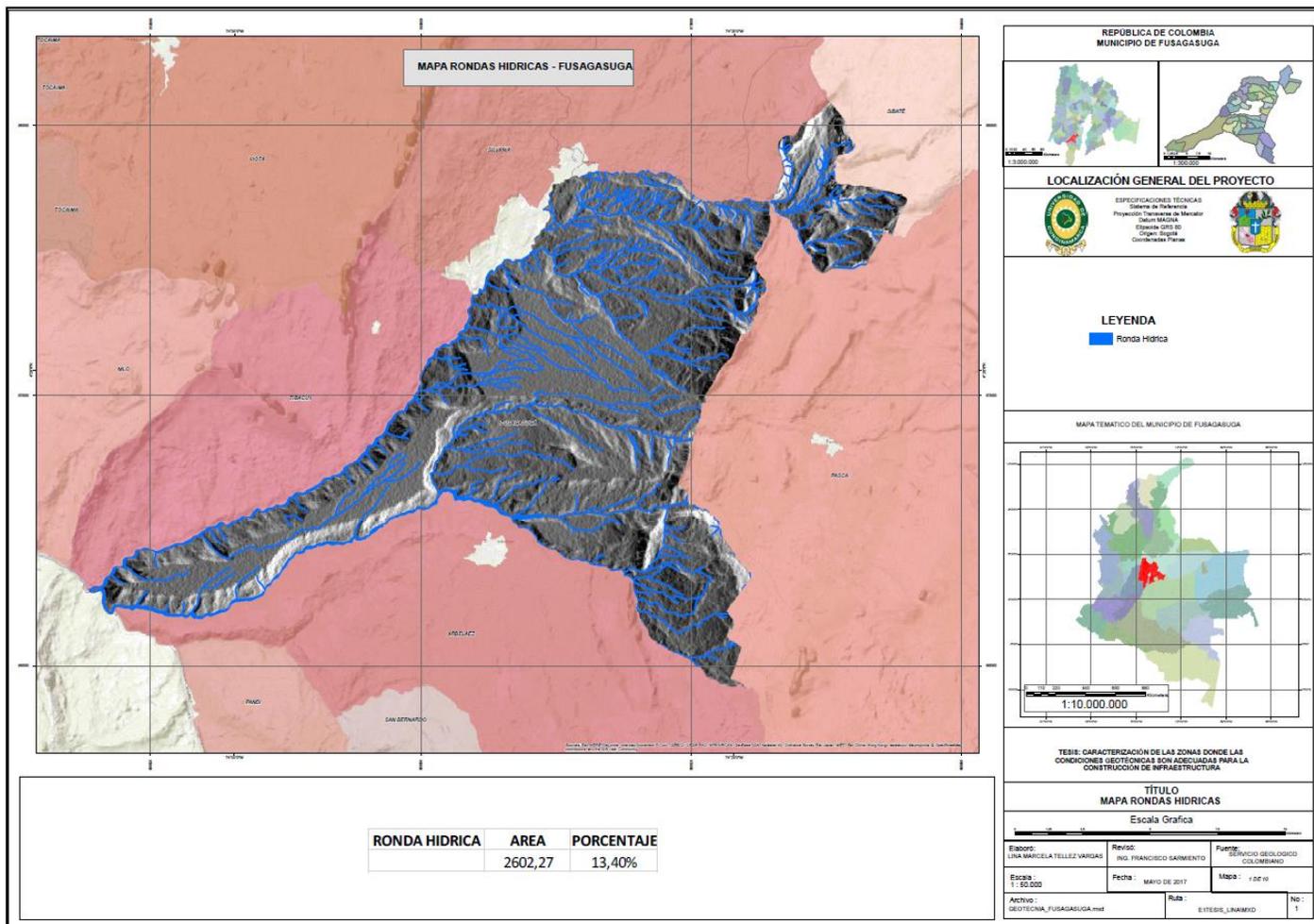
CARACTERIZACIÓN DE LAS ZONAS DONDE LAS CONDICIONES GEOTÉCNICAS SON ADECUADAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE INFRAESTRUCTURA



Mapa 4 – Municipio Fusagasugá Fuente: Elaboración Propia



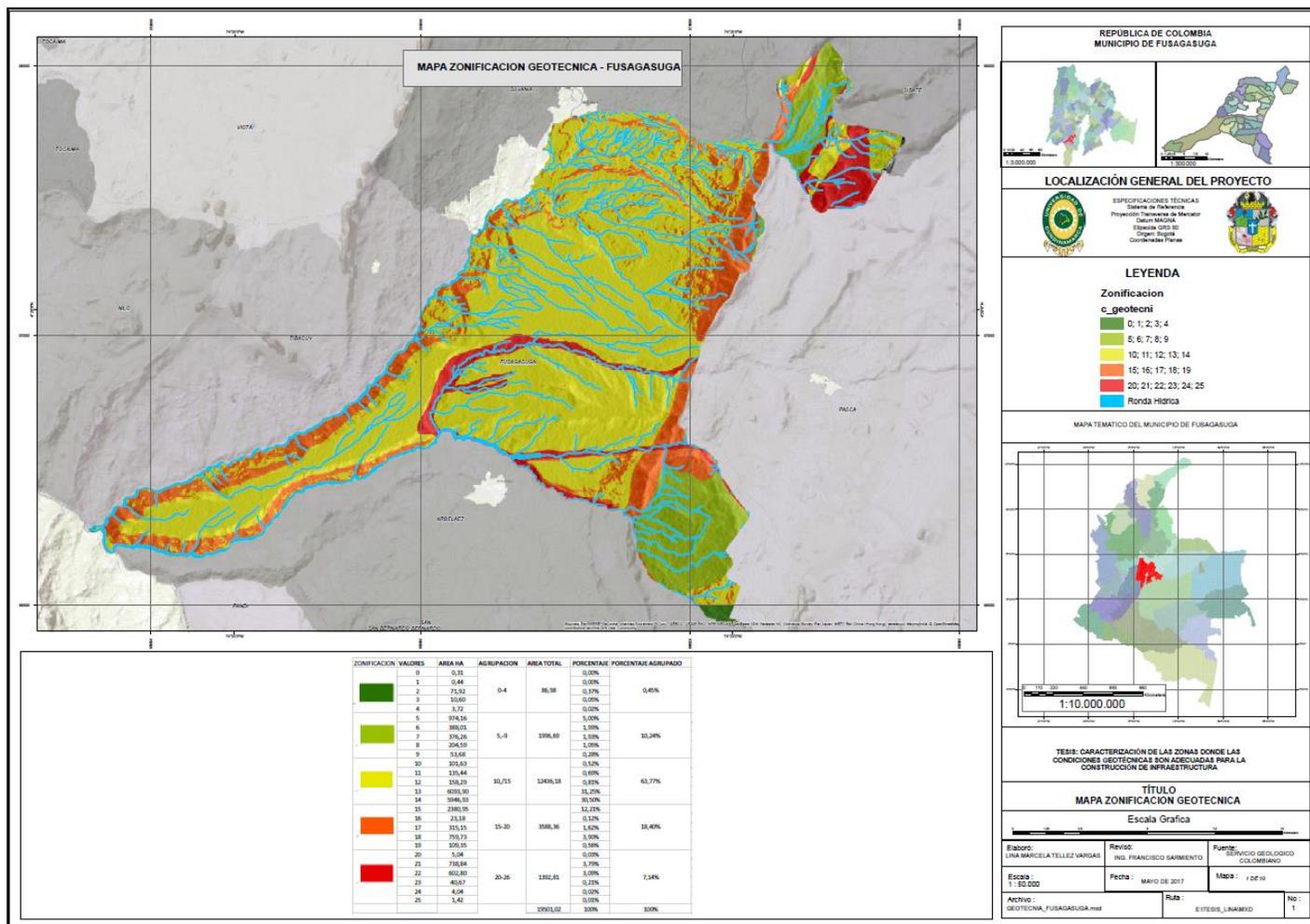
CARACTERIZACIÓN DE LAS ZONAS DONDE LAS CONDICIONES GEOTÉCNICAS SON ADECUADAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE INFRAESTRUCTURA



Mapa 5 Rondas Hídricas – Municipio Fusagasugá Fuente: Elaboración Propia



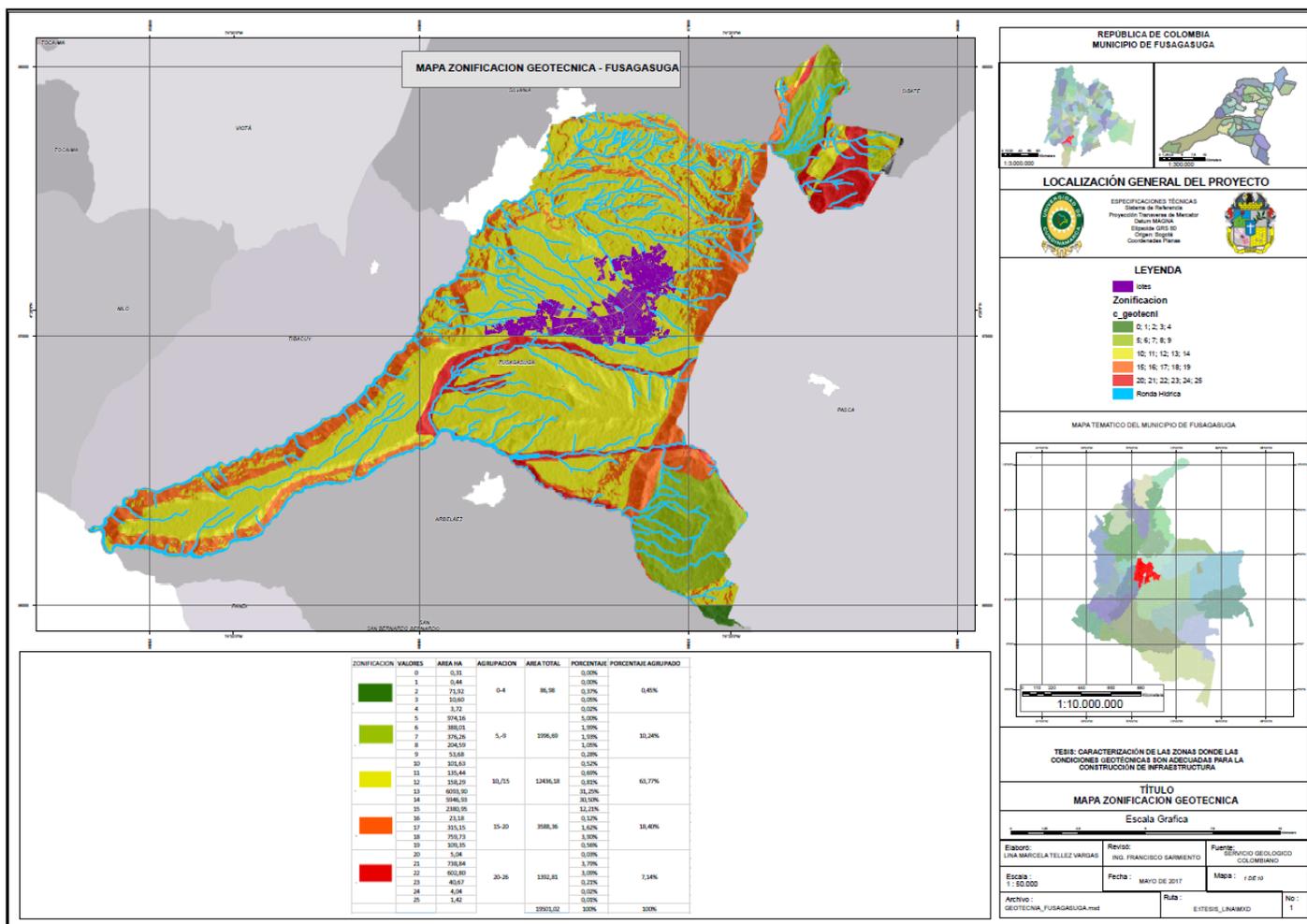
CARACTERIZACIÓN DE LAS ZONAS DONDE LAS CONDICIONES GEOTÉCNICAS SON ADECUADAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE INFRAESTRUCTURA



Mapa 6 Zonificación Geotécnica – Municipio Fusagasugá Fuente: Elaboración Propia



CARACTERIZACIÓN DE LAS ZONAS DONDE LAS CONDICIONES GEOTÉCNICAS SON ADECUADAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE INFRAESTRUCTURA



Mapa 7 Caracterización Geotécnica – Municipio Fusagasugá Fuente: Elaboración Propia



CARACTERIZACIÓN DE LAS ZONAS DONDE LAS CONDICIONES GEOTÉCNICAS SON ADECUADAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE INFRAESTRUCTURA

8. CONCLUSIONES

Se evidencia a partir de los resultados que el área urbana de Fusagasugá se encuentra en una zona que geotécnicamente es estable tal como se observa en el mapa 7 de Caracterización Geotécnica - Municipio Fusagasugá; sin embargo, la región Nororiente presenta restricciones respecto a expansión urbana, ya que no es posible construir en esta área por razones geotécnicas que muestran debilidad, tanto en la composición del suelo y a nivel de fallas geológicas.

Al sur del área urbana se encuentran limitaciones de expansión, ya que se encuentra el río Puja, que por ronda hídrica y además por las condiciones de pendientes que oscilan entre el 12% a 25%, existe riesgo para la construcción de infraestructura en esta zona.

El área urbana de Chinauta se encuentra en Terraza Aluvial Alta que facilita la construcción, debido a la composición del suelo, más sin embargo la expansión es complicada debido a que hacia el sur y hacia el norte, se encuentran las Lodolitas de Fusagasugá que se caracterizan por ser una roca sedimentaria granulosa fina cuyos componentes originales eran arcillas o fangos. El tamaño de grano es hasta 0.0625 milímetros con los granos individuales demasiado pequeños que por tales propiedades tienen una capacidad portante media tendiendo a baja, pero lo que más dificulta la construcción en estas zonas son las elevadas pendientes que se presentan.

Las herramientas de análisis espacial, tanto en formato vectorial como en modelos raster; son un recurso muy valiosos para el apoyo en la toma de decisiones ya que permiten modelar a través de las variables que se trabajen los posibles comportamientos que puede presentar al momento o a futuro un área determinada con ciertas condiciones; en este caso de acuerdo a las diferentes propiedades del suelo fue posible determinar, cuáles son las áreas donde existe mala planificación en cuanto a los predios que presentan superposición en zonas de



CARACTERIZACIÓN DE LAS ZONAS DONDE LAS CONDICIONES GEOTÉCNICAS SON ADECUADAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE INFRAESTRUCTURA

valores altos que tienden a malas condiciones ya sea por restricciones como de ronda hídrica o en general por malas condiciones en las capacidades que presenta el suelo.

De acuerdo al mapa de rondas hídricas de Fusagasugá se evidencio que existen bastantes drenajes sencillos que son aquellos que presentan flujo de agua superficial que depende de la precipitación pluvial y/o afloramiento de aguas subterráneas y va a desembocar en otra corriente, en una laguna o en el mar teniendo en cuenta los ríos con caudal mucho superior a los drenajes, muy cerca al centro poblado y expansión urbana, que en tiempos de invierno presentan un riesgo a las poblaciones más cercanas a estos cuerpos de agua, ya que contrastando esta información con el modelo de pendientes se ve que el curso de estos drenajes en la mayoría de los casos está muy bien definido con pendientes fuertes, minimizando riesgos por inundación en algunas zonas, pero dando más fuerza y caudal a los ríos cuando se acercan a los límites del centro urbano.

Con el mapa generado de geología para Fusagasugá se tiene que la mayor presencia geológica que se tiene son lodolitas de Fusagasugá que en si son Lodolitas y limonitas negras, moradas y blancas intercaladas con arenitas feldespáticas y líticas en capas muy gruesas con laminación inclinada que recibieron una categorización intermedia; es decir que si bien no son las peores condiciones de suelo, tampoco estos suelos tienen las mejores condiciones y capacidades, además la unidad que sigue con una alta presencia tienen una categoría un poco mejor, teniendo en general para este mapa que la capacidad portante del suelo es medianamente buena teniendo una capacidad media, gracias a las propiedades del terreno, donde predominan rocas muy finas y permeables.

En cuanto al mapa geomorfológico generado de la derivación de las unidades geológicas a partir de la metodología de Carvajal que utiliza el servicio Geológico Colombiano se tiene que predominar el comportamiento de Sierra Sinclinal y delta de desborde natural, teniendo unas capacidades medias tendiendo a bajas ya que por la geo forma que predominan significan algún riesgo ante eventos naturales.



CARACTERIZACIÓN DE LAS ZONAS DONDE LAS CONDICIONES GEOTÉCNICAS SON ADECUADAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE INFRAESTRUCTURA

La generación del mapa de pendientes si bien se realizó por dos métodos, tanto del insumo de curvas de nivel, como a partir del DEM del sensor Alos PALSAR 2, ambos presentan algunos cambios, identificando que el generado a partir del modelo digital de elevación da un mapa de pendientes más preciso, ya que las alturas del modelo en las curvas de nivel se generan por métodos de interpolación en cambio las alturas que se tienen por el otro método son calculadas por interferómetro, es decir cada altura se tiene por pixel calculada, dando más precisión en los datos obtenidos, teniendo que el patrón de pendientes de la región tiende a ser baja y muy baja o esta

El mapa de Fracturas estructurales es muy homogéneo, es decir de las tres categorías que se tienen cada una equivale aproximadamente a la tercera parte del total, teniendo así que el riesgo para el caso se encuentra distribuido en todas las áreas sin mostrar una tendencia en el municipio.

El mapa de la zonificación en general muestra que las regiones límite del municipio, son las que presentan mayores riesgos y los valores más altos, y esto se debe a que en muchos casos el límite se define por cursos de agua, que son definidos por pendientes fuertes, además la composición geológica de estas áreas no es la mejor. Aproximadamente el 64% del total del área del municipio se encuentran en una clasificación medio - baja en cuanto a capacidades del suelo.

El área urbana de Fusagasugá se encuentra en la zona que predomina en la región, teniendo en general unas condiciones de suelo, medio – altas en cuanto a capacidad portante del suelo de acuerdo a composición geológica, comportamiento geomorfológico y datos estructurales, sin embargo, los límites hacia el sur, este y oeste en general presentan restricciones de expansión de acuerdo a la zonificación que presenta estas áreas con riesgo medio alto.



CARACTERIZACIÓN DE LAS ZONAS DONDE LAS CONDICIONES GEOTÉCNICAS SON ADECUADAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE INFRAESTRUCTURA

Para una buena zonificación aparte de ser muy importante definir y diseñar bien los modelos es muy importante, tener unos buenos insumos cartográficos, que son el resultado de un buen ejercicio en la búsqueda de fuente confiables de información cartográfica, haciendo una adecuada estructuración de los datos, en el caso de datos análogos, es muy importante hacer una digitalización que cumpla con los parámetros es decir, hacer bien la georreferenciación en el sistema de coordenadas definido, tener en cuenta las herramientas de edición, para que al validar la topología los errores sean los mínimos; teniendo así que si la edición cartográfica y demás procesos cartográficos garantizan un buen producto final, en este caso una zonificación confiable y que cumple con la calidad de datos cartográficos.

La realización de esta tesis me permitió entender la importancia del cartógrafo en otras profesiones y el compromiso y responsabilidad que tenemos al representar datos espaciales, ya que como se expresa en el documento los mapas resultantes son muy importantes para los tomadores de decisiones y estos son el fruto de un adecuado ejercicio cartográfico, claro está con el acompañamiento de los respectivos profesionales y especialistas en el área que dan soporte a los mapas.

Aunque la zonificación resultado del modelamiento vectorial, da muy similar a la obtenida mediante el álgebra de mapas, se determina que la manipulación de todos los datos en formato vectorial da más confianza en los resultados, ya que la ecuación diseñada como producto final es más simple, que la consulta diseñada para la selección por atributos de la unión final del ModelBuilder; donde un solo carácter mal digitado, puede alterar todo el resultado final.



CARACTERIZACIÓN DE LAS ZONAS DONDE LAS CONDICIONES GEOTÉCNICAS SON ADECUADAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE INFRAESTRUCTURA

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 2000AVIATION. (s.f.). Obtenido de 2000AVIATION:
<http://www.fotosuy.com/index.php/productos-y-servicios/curvas-de-nivel>
- Álgebra de mapas. (s.f.). Obtenido de Álgebra de mapas: volaya.github.io/libro-sig/chapters/Algebra_de_mapas.html
- Alvaro Blanco Cobián portafolio. (6 de 7 de 2007). *Modelado 3D - Clase.pdf*. Obtenido de <http://abc.mitreum.net/wp-content/uploads/clase2-parte1-teoria.pdf>
- Autodesk Inc. (s.f.). *¿Qué es DWG?* Obtenido de <http://latinoamerica.autodesk.com/products/dwg>
- Espinoza, R. D. (s.f.). *Modelos de Superficie - Monografias*. Obtenido de <http://www.monografias.com/trabajos99/modelos-superficie-sig/modelos-superficie-sig.shtml>
- Esri. (7 de 11 de 2012). *¿Qué es ArcCatalog?* - *ArcGIS Resource Center Desktop 10*. Obtenido de <http://help.arcgis.com/es/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#//006m0000006900000>
- Esri. (7 de 11 de 2012). *¿Qué es ArcGIS?* - *ArcGIS Resources*. Obtenido de <http://resources.arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n00000014000000.htm>
- Esri. (7 de 11 de 2012). *¿Qué es una superficie TIN?* - *ArcGIS Resource Center Desktop 10*. Obtenido de <http://help.arcgis.com/es/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#//006000000001000000>
- Esri. (7 de 10 de 2012). *¿Qué son las entidades multiparce?* - *ArcGIS Resource Center Desktop 10*. Obtenido de <http://help.arcgis.com/es/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#//00q8000000mv000000>



CARACTERIZACIÓN DE LAS ZONAS DONDE LAS CONDICIONES GEOTÉCNICAS SON ADECUADAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE INFRAESTRUCTURA

- Esri. (7 de 11 de 2012). *¿Qué son los datos ráster?* - *ArcGIS Resource Center Desktop 10*. Obtenido de <http://help.arcgis.com/es/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#//009t00000002000000>
- Esri. (7 de 10 de 2012). *3D Analyst y ArcScene - ArcGIS Resource Center Desktop 10*. Obtenido de <http://help.arcgis.com/es/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#//00q8000000p0000000>
- Esri. (3 de 6 de 2012). *Conceptos básicos de clases de entidad - ArcGIS Resource Center Desktop 10*. Obtenido de <http://help.arcgis.com/es/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#//006m000000>
- Esri. (7 de 11 de 2012). *Que es un Shapefile - ArcGIS Resource Center Desktop 10*. Obtenido de <http://help.arcgis.com/es/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#//005600000002000000>
- Esri. (9 de 11 de 2013). *De multiparche a Collada (Conversión) - Ayuda de ArcGIS 10.1*. Obtenido de <http://resources.arcgis.com/es/help/main/10.1/index.html#//001200000049000000>
- ESRI. (2017). *¿Qué es ModelBuilder?—ArcGIS Pro | ArcGIS Desktop*. Obtenido de *¿Qué es ModelBuilder?—ArcGIS Pro | ArcGIS Desktop*: <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/help/.../modelbuilder/what-is-modelbuilder-.htm>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (s.f.). *¿Qué es un modelo digital de elevación?* Obtenido de <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continental/queesmde.aspx>
- LTDA, G. R. (MARZO 2013). *INFORME FINAL GEOLOGIA DE SUPERFICIE, ESTRATIGRAFIA Y GEOLOGIA ESTRUCTURAL DEL CONTRATO E&P*.
- LTDA., G. R. (2013). *GEOLOGIA DE SUPERFICIE, ESTRATIGRAFIA Y GEOLOGIA ESTRUCTURAL DEL CONTRATO E&P COR 4 FIRMADO CON LA ANH*.
- Perico, J. H. (2016). *Propuesta de Estandarizacion de la Cartografia Geomorfologica en Colombia*. Bogota: Servicio Geologico Colombiano.
- (s.f.). *Plan de Ordenamiento Territorial-Municipio de Fusagasuga-Diagnostico Subsistema Biofisico*. Fusagasuga.
- POT. (2001). *ACUERDO No. DE 29 DE 2001*. FUSAGASUGA, SUMAPAZ, COLOMBIA.



CARACTERIZACIÓN DE LAS ZONAS DONDE LAS CONDICIONES GEOTÉCNICAS SON ADECUADAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE INFRAESTRUCTURA

Red Gráfica Latinoamérica. (s.f.). *Visitas virtuales a ciudades 3D*. Obtenido de <http://redgrafica.com/Visitas-virtuales-a-ciudades-3D>

Secretaria General de la Alcaldia Mayor de Bogota D.C. (24 de 04 de 2012). *Ley 1523 - Consulta de la Norma*. Obtenido de Ley 1523 - Consulta de la Norma: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=47141>

SIG, A. y. (25 de 9 de 2012). *Georeferenciar en ArcGis*. Obtenido de <http://www.aguaysig.com/2012/09/georeferenciar-en-arcgis.html>

SIGMUR. (6 de 2006). *El Modelo Digital de Terreno (MDT)*. Obtenido de http://www.um.es/geograf/sigmur/sigpdf/temario_7.pdf

1. Villota, Hugo. Geomorfología aplicada a levantamientos edafológicos y zonificación física de tierras. P.imprenta: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).Bogotá, DE, CO.2005.184 p.
2. Pejon, José, osni, (2013). Suquette, lázaro, Valentín, (2013). Geología e solos. Engenharia ambiental. Pag 15-49.
3. Robinson, Arthur H. Sale, Randall D. Morrison, Joel L. Muehrcke, Phillip C. Elementos de cartografía. Omega. Barcelona. ES. 1987. 543 p.
4. Bosque, J. (1992). Sistema de Información geográfica. Ediciones Rialp. SA. I Edición. Madrid.
5. Burgl, H. (1961). Historia geológica de Colombia. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas, y Naturales, 11, 137-191.
6. Cifuentes Sabogal Luis A. (2001). Morales Gomez Hugo (2001). POT Plan de Ordenamiento Territorial.