

**ANÁLISIS DEL CRECIMIENTO RURAL Y SU RELACIÓN CON EL USO DEL SUELO
Y EL RIESGO DE AMENAZA POR REMOCIÓN EN MASA EMPLEANDO
HERRAMIENTAS SIG EN LA ZONA NOROCCIDENTAL DEL MUNICIPIO DE
IBAGUÉ**



AUTOR

JESSICA PAOLA PERALTA MUÑOZ

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

INGENIERIA CIVIL

Director:

MIGUEL ANGEL OSPINA GARCIA

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA

FACULTAD DE ESTUDIOS A DISTANCIA

PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

BOGOTÁ, 12 JULIO 2021

TABLA DE CONTENIDO

1.	RESUMEN	6
2.	INTRODUCCIÓN	7
3.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	8
4.	JUSTIFICACIÓN	8
5.	OBJETIVOS	10
3.1	Objetivo general	10
3.2	Objetivos específicos	10
4.	MARCO REFERENCIAL	11
4.1	MARCO CONCEPTUAL	11
4.1.1	Uso del suelo	11
4.1.2	Amenaza por fenómenos de remoción en masa	18
4.1.3	Software ArcGIS	19
4.1.4	Sistema de proyección cartográfico “origen único” para Colombia	20
4.2	MARCO JURÍDICO	21
4.2.1	Decreto 1000-0823 de 2014	21
4.3	MARCO GEOGRÁFICO	22
4.3.1	Aspectos Generales	22
5.	DISEÑO METODOLÓGICO	24
5.1	RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	24
5.1.1	Identificación del área de estudio	24
5.1.2	Cartografía DWG – Decreto 1000-0823 de 2014	25
5.1.3	Obtención de imagen multibanda de sensor pasivo (Landsat-8)	26
5.1.3	Imagen satelital SAS Planet	28
5.2	ADOPCIÓN DEL “ORIGEN NACIONAL”	29
5.3	CONVERSIÓN DE CARTOGRAFÍA	30
5.3.1	Mapa R1 - División Político Administrativa	31
5.3.2	Mapa R2 - Usos del Suelo	33
5.3.3	Mapa R4 - Infraestructura y Equipamientos	33
5.3.4	Mapa R5 - Amenaza por Remoción en Masa	35
5.4	PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN	36
5.4.1	Identificación de veredas	36

5.4.2	Composición de imagen multiespectral Landsat 8.....	37
5.4.3	Selección de imágenes	38
5.4.4	Actualización del crecimiento rural y vías veredales	41
5.4.5	Polígonos usos del suelo y amenaza por remoción en masa	42
5.5	ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	44
6.	RESULTADOS.....	45
6.1	MAPA ÁREA DE INFLUENCIA	45
6.2	MAPA ANÁLISIS CRECIMIENTO RURAL - AMENAZA POR REMOCIÓN EN MASA.....	48
6.3	MAPA ANÁLISIS CRECIMIENTO RURAL - USO DEL SUELO.....	50
7.	PLANIFICACIÓN Y DOCUMENTACIÓN.....	52
8.	IMPACTO	56
9.	CONCLUSIONES.....	56
10.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	60

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica de la zona de estudio. Elaboración propia.....	23
Figura 2. Identificación del área de Estudio. Google Earth Pro.	24
Figura 3. Selección de imagen Landsat. USGS.	27
Figura 4. Imagen multiespectral Landsat 8. Elaboración propia. ArcGIS.	27
Figura 5. Imagen zona de estudio programa SAS Planet. SAS Planet.	29
Figura 6. Creación del sistema de proyección cartográfico "Origen Único". Elaboración propia. ArcGIS 10.7.1.	30
Figura 7. Cartografía - División Político Administrativa del municipio de Ibagué. Plan de Ordenamiento Territorial.....	31
Figura 8. Layer mapa División Político Administrativa. Elaboración propia. ArcGIS 10.7.1.	32
Figura 9. Conversión Mapa R1_División Político Administrativa. Elaboración propia. ArcGIS 10.7.1.	32
Figura 10. Cartografía - Usos del suelo del municipio de Ibagué. Plan de Ordenamiento Territorial.	33
Figura 11. Cartografía - Infraestructura y Equipamientos del municipio de Ibagué. Plan de Ordenamiento Territorial.....	34
Figura 12. Conversión Mapa R4_Infraestructura y Equipamientos. Elaboración propia. ArcGIS 10.7.1.	34
Figura 13. Cartografía - Amenaza por remoción en masa del municipio de Ibagué. Plan de Ordenamiento Territorial.....	35
Figura 14. Capa Corregimientos_Veredas. Elaboración propia. ArcGIS 10.7.1.	36
Figura 16. Proceso Imagen Analysis. Elaboración propia. ArcGIS 10.7.1.....	37
Figura 17. Composición de imagen multiespectral. Elaboración propia. ArcGIS 10.7.1.....	38
Figura 18. Composición de bandas 7, 6, 4 imagen Landsat. Elaboración propia. ArcGIS 10.7.1.	39
Figura 19. Imagen Landsat 8 pixelada. Elaboración propia. ArcGIS 10.7.1.	40
Figura 20. Imagen SAS Planet para el área de estudio. Elaboración propia. ArcGIS 10.7.1.	40
Figura 21. Acercamiento imagen SAS Planet. Elaboración propia. ArcGIS 10.7.1.....	41
Figura 22. Digitalización de capas. Elaboración propia. ArcGIS 10.7.1.	42
Figura 23. Capa Usos del Suelo. Elaboración propia. ArcGIS 10.7.1.	43
Figura 24. Capa Amenaza por remoción en masa. Elaboración propia. ArcGIS 10.7.1.	43
Figura 25. Análisis Crecimiento rural - Amenaza por remoción en masa. Elaboración propia. ArcGIS 10.7.1.	44
Figura 26. Análisis Crecimiento rural - Uso del suelo. Elaboración propia. ArcGIS 10.7.1.....	45
Figura 27. Mapa área de influencia. Elaboración propia. ArcGIS 10.7.1.....	47
Figura 28. Análisis Crecimiento rural - Amenaza por remoción en masa. Elaboración propia. ...	49
Figura 29. Análisis Crecimiento rural – Uso del Suelo. Elaboración propia.....	50
Figura 30. Porcentaje de uso del suelo afectado por el crecimiento rural. Elaboración propia. ArcGIS 10.7.1.	52
Figura 31. Mapa Área de Influencia. Elaboración propia. ArcGIS 10.7.1.	53

Figura 32. Mapa Crecimiento Rural - Amenaza por Remoción en Masa. Elaboración propia. ArcGIS 10.7.1.	54
Figura 33. Mapa Crecimiento Rural - Usos del Suelo. Elaboración propia. ArcGIS 10.7.1.	55

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Usos del suelo rural. Basada en Alcaldía Municipal de Ibagué, Decreto 1000-0823 de 2014, 2014.	18
Tabla 2. Parámetros de la proyección cartográfica "origen único". Elaboración propia. Resolución 471 de 2020.	21
Tabla 3. Corregimientos y veredas área de influencia. Elaboración propia.	23
Tabla 4. Coordenadas geográficas área de estudio. Elaboración propia.....	25
Tabla 5. Áreas de cada vereda para la zona de influencia. Elaboración propia. ArcGIS 10.7.1. ..	46
Tabla 6. Viviendas según la cantidad de tipos de amenazas por remoción en masa. Elaboración propia.....	49
Tabla 7. Área total y de viviendas para cada uso del suelo. Elaboración propia.	51

ANÁLISIS DEL CRECIMIENTO RURAL Y SU RELACIÓN CON EL USO DEL SUELO Y EL RIESGO DE AMENAZA POR REMOCIÓN EN MASA EMPLEANDO HERRAMIENTAS SIG EN LA ZONA NOROCCIDENTAL DEL MUNICIPIO DE IBAGUÉ

1. RESUMEN

La expansión del territorio es un suceso espacial que cobra una mayor importancia cada día en Colombia y todo el mundo, debido al vínculo directo que existe con la afectación que se puede originar al medio ambiente y por consiguiente a la calidad de vida de las personas. Debido a esto, se ha buscado identificar y controlar este problema social a través de los Planes de Ordenamiento Territorial dispuestos para cada municipio, para este caso Ibagué, donde se expone el uso de los suelos y las zonas que presentan riesgo de amenaza por remoción en masa usados en este análisis.

Para esta zona noroccidental del municipio de Ibagué se realiza la actualización poblacional mediante imágenes satelitales o de sensores pasivos para luego mediante superposición sobre los polígonos generados a partir de la cartografía existente en el Plan de Ordenamiento Territorial del municipio de Ibagué analizar el empleo del uso del suelo y la identificación del riesgo de amenaza por remoción en masa al cual se encuentran expuestos los habitantes de la zona de estudio.

Con este análisis se busca conocer el impacto que tiene este crecimiento urbano sobre el desarrollo del suelo y la viabilidad que tienen estos territorios de ser habitados garantizando la calidad de vida de los habitantes. Además de dar a conocer a la comunidad los riesgos presentes en esta zona de estudio.

Palabras Claves

Crecimiento urbano, Plan de Ordenamiento Territorial, uso del suelo, riesgo de amenaza por remoción en masa, software ArcGIS, sistemas de información geográfica.

2. INTRODUCCIÓN

El municipio de Ibagué cuenta con un Plan de Ordenamiento Territorial vigente donde se enmarcan las directrices de crecimiento urbano y rural siguiendo unas condiciones que aseguran calidad humana, ambiente sano, seguridad y desarrollo sostenible.

Con estos lineamientos se busca analizar el crecimiento rural en la zona noroccidental del municipio de Ibagué y su relación con el uso del suelo y el riesgo de amenaza por remoción en masa expresado en el POT empleando herramientas SIG. Esto, con la finalidad de identificar si el empleo de los territorios se encuentra acorde a lo expresado en este decreto 1000-0823 de 2014, al igual que detallar el riesgo de amenaza por remoción en masa al cual se encuentran expuestas las viviendas construidas en este sector.

Con los resultados obtenidos se busca concienciar a los habitantes sobre el riesgo potencial que tienen sus viviendas de sufrir una amenaza por remoción en masa, emplear los suelos en actividades que garanticen su conservación y desarrollo, la expansión responsable del territorio mediante el uso sostenible.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Teniendo en cuenta las disposiciones del Plan de Ordenamiento Territorial del municipio de Ibagué, el cual rige para toda la extensión del territorio urbano y rural, se hace necesario la revisión del crecimiento rural de un sector perteneciente al corregimiento de Calambeo del municipio de Ibagué, con el fin de comparar la utilización del suelo actual con la planeación del uso del suelo proyectado y la expansión responsable del territorio sobre superficies que no representan amenaza por remoción en masa. Esto, para garantizar un ambiente seguro e idóneo para la comunidad y una organización integral del territorio, procurando el bienestar de la población.

El incumplimiento de estas directrices generaría un uso ineficiente del suelo al permitir el desarrollo urbano en terrenos importantes para garantizar la estructura ecológica y ambiental del territorio, y dadas las condiciones topográficas permitir la concentración de población en zonas de alto riesgo de amenaza por remoción en masa poniendo en peligro la seguridad, el bienestar, la calidad de vida de los habitantes y el desarrollo sostenible del territorio.

4. JUSTIFICACIÓN

El desarrollo integral del municipio de Ibagué en sus territorios urbano y rural debe estar enmarcado no solo en proveer las necesidades básicas de la población como son los servicios fundamentales de acueducto, alcantarillado y vivienda, sino que a su vez debe garantizar un crecimiento ordenado del territorio, por lo tanto, se adoptó el Plan de Ordenamiento Territorial del

municipio de Ibagué según el decreto 1000-0823 de 2014, como instrumento técnico y normativo orientado a cumplir este objetivo.

Dentro del Plan de Ordenamiento Territorial del municipio de Ibagué existen directrices y planes para la preservación, protección, conservación y manejo del suelo, y se ha realizado una identificación y zonificación del riesgo de amenaza por remoción en masa, los cuales se deben atender y velar por un correcto desarrollo.

A partir de los SIG se puede evidenciar si el crecimiento rural, para el caso de este proyecto, ha sido siguiendo estos lineamientos propuestos de desarrollo, con el fin de garantizar que estas viviendas rurales están construidas sobre terrenos seguros para sus pobladores y que se ha dado el trato debido a los suelos sin poner en peligro el desarrollo y equilibrio de los recursos naturales renovables.

La importancia de este análisis por una parte es identificar si se están usando los suelos en las condiciones apropiadas dispuestas en el Plan de Ordenamiento Territorial, con el objetivo de cuidar estas zonas, además de permitir su preservación y garantizar el goce seguro de estos territorios por parte de la comunidad y del municipio de Ibagué.

Por otra parte, está reconocer sobre qué clase de amenaza por remoción en masa se encuentran las viviendas rurales que se han construido en este sector, para así informar a sus habitantes sobre los riesgos a los cuales pueden estar enfrentados, como manejarlos y prevenirlos, con el propósito de garantizar su seguridad, bienestar y calidad de vida.

Con esto, no solo se beneficia la población rural del municipio de Ibagué, el departamento del Tolima y todo el país, sino que además entidades como la Corporación Autónoma Regional del

Tolima – CORTOLIMA, la Alcaldía de Ibagué junto a la Secretaria de Planeación y Vivienda y el Consejo Municipal de Gestión del Riesgo y Manejo de Desastres (CMGRD).

5. OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Identificar según el Plan de Ordenamiento Territorial del municipio de Ibagué, el uso del suelo y el riesgo de amenaza por remoción en masa de las viviendas rurales en el sector norte del municipio de Ibagué, a través del empleo de herramientas SIG, con el propósito de evaluar el empleo actual de los suelos, y conocer la clase de amenaza a la cual está expuesta la población.

3.2 Objetivos específicos

- Analizar la información disponible en el Plan de Ordenamiento Territorial del municipio de Ibagué de la zona rural seleccionada.
- Identificar el riesgo de amenaza por remoción en masa al cual se encuentra expuesta la población rural en estudio.
- Determinar el uso actual del suelo con respecto al expresado en el Plan de Ordenamiento Territorial del municipio de Ibagué en el área de trabajo.

4. MARCO REFERENCIAL

4.1 MARCO CONCEPTUAL

4.1.1 Uso del suelo

“La vocación de uso del suelo se refiere a la clase mayor de uso que una unidad de suelo está en capacidad natural de soportar con características de sostenibilidad, evaluada sobre una base biofísica” (IGAC, 2012, p. 50).

Los usos del suelo en el territorio rural del municipio de Ibagué se definen de acuerdo con las siguientes áreas: áreas de producción agropecuaria; áreas de producción silvicultural; áreas para el desarrollo de la actividad minera, áreas para el desarrollo de actividad turística y áreas para el desarrollo de actividad industrial; así (Alcaldía Municipal de Ibagué, 2014, p. 321):

Categoría	Área	Sub áreas	Usos
PROTECCIÓN	PNNN	Parque Natural Los Nevados	Uso principal: protección, conservación de los recursos naturales, actividades científicas.
			Uso compatible: recuperación ecosistémica, recreación contemplativa, investigación y educación.
			Uso Condicionado: ecoturismo y dotación de infraestructura básica (mínima necesaria y de poco impacto) para su cuidado.
			Uso prohibido: adjudicación de baldíos, venta de tierras, actividad industrial, hotelera, ganadera, agrícola, minera, petrolera, construcción y/o urbanización, quema y tala, rocería, caza, pesca o cualquier actividad extractiva.

	PÁRAMO	Páramo Faunístico y Florístico	Uso principal: conservación, actividades encaminadas a la protección y la conservación de los recursos naturales frente al desarrollo de cualquier tipo de intervención antrópica. Se priorizaron proceso de repoblamiento de fauna y flora, ecoturismo contemplativo y desarrollo de investigación in situ (no destructivas).
			Uso compatible: restauración, actividades en pro de restablecer las condiciones ecológicas originales o que se encuentren alteradas en las zonas de páramo, incluye: prácticas culturales de recuperación de suelos; desarrollo de acciones encaminadas a la prevención y mitigación de incendios; y la eliminación de especies vegetales introducidas.
			Uso Condicionado: Uso sostenible, actividades de tipo ecoturístico o encaminadas al fomento de los bienes y servicios ambientales que ofrecen las zonas de páramo, incluye: la recolección controlada de flora, para procesos de investigación o mercados de auto sustento, institucional operativo, pesca de autoabastecimiento.
			Uso prohibido: Institucional administrativo.
	BOSQUE SECO	Bosque seco	Uso principal: protección, conservación, investigación controlada, aprovechamiento domestico sostenible.
			Uso compatible: restauración y rehabilitación ecológica, recreación contemplativa, aprovechamiento maderable o no maderable doméstico sostenido.
			Uso Condicionado: recreación general, infraestructura básica, investigación controlada, educación ambiental.

			Uso prohibido: Agricultura intensiva, ganadería, reforestación comercial, aprovechamiento forestal comercial, pesca, caza, industria, minería, urbanismo.
	ÁREAS QUE PRESTAN UN ALTO SERVICIO ECOSISTEMICO	Sistema Municipal de Áreas Protegidas	Uso principal: conservación de la cobertura vegetal y recursos conexos, actividades encaminadas a la protección y la conservación de los recursos naturales, igualmente tendientes al mejoramiento de los atributos necesarios para optimizar la prestación de los servicios ecosistémico (hábitat, provisión de agua, regulación climática y captura de carbono).
		Reservas Naturales del Estado	
		Reserva Sociedad Civil	
		Forestal Protector	
		Forestal Protector-productor	
		Bosques Municipales	Uso compatible: restauración ecológica; investigación controlada.
		Reservas CORTOLIMA	Uso condicionado: construcción de obras de infraestructura básica, recreación contemplativa, ecoturismo y educación ambiental; extracción de material de arrastre; aprovechamiento forestal doméstico.
		Áreas Erosionadas o Degradadas	
		Área de Alta Fragilidad Ambiental	
		Distrito de Conservación de Suelos	Uso prohibido: minería, reforestación comercial, explotación agropecuaria intensiva; aprovechamiento forestal comercial; industriales; urbanos y suburbanos; loteo con fines de construcción de vivienda, otras que causen deterioro ambiental como quemas, tala, corte de vegetación nativa, caza, pesca y extracción de flora y fauna.
		Áreas Erosionadas o Degradadas POMCA Coello	
		Áreas Prioritarias para la conservación de las Cuencas Río Combeima, Río Cocora y Río Toche y un sector alto de la Cuenca del Río Coello.	
		Complejo Humedal	
	CORREDOR BIOGEOGRÁFICO	Corredor Biogeográfico	Uso principal: conservación de la cobertura vegetal y recursos conexos (suelo, agua, diversidad biológica, recursos genéticos) permitiendo la comunicación de la fauna a través de los relictos boscosos existentes para el soporte de los procesos ecológicos.

			Uso compatible: recreación contemplativa, enriquecimiento vegetal e investigación controlada.
			Uso Condicionado: pesca, construcción de viviendas aisladas, infraestructura básica, aprovechamiento persistente de recursos secundarios del bosque para cuya obtención no se requiera cortar los árboles, arbustos o plantas en general.
			Uso prohibido: agropecuarios intensivos, industriales, urbanos institucionales, minería, parcelación para fines de construcción de vivienda y/o actividades que causen deterioro ambiental como la quema, la tala de vegetación nativa y la caza.
	CORREDOR RIPIARIO	Corredor Ripiario	Uso principal: protección, conservación y restauración de vegetación adecuada para la protección y mantenimiento de la fauna asociada a los cuerpos de agua.
			Uso compatible: restauración y rehabilitación ecológica, recreación contemplativa e investigación.
			Uso Condicionado: construcción de obras de captación de aguas, incorporación de vertimientos tratados, construcción de infraestructura básica.
			Uso prohibido: agropecuarios intensivos, industriales, urbanos institucionales, minería, parcelación para fines de construcción de vivienda y/o actividades que causen deterioro ambiental como la quema, la tala de vegetación nativa y la caza.
	CORREDOR TRANSVERSAL	Corredor Transversal	Uso principal: protección, conservación de la vegetación nativa y conservación de la fauna.

			Uso compatible: restauración y rehabilitación ecológica, recreación contemplativa e investigación controlada, educación ambiental.
			Uso Condicionado: construcción de infraestructura básica.
			Uso prohibido: agropecuarios intensivos, industriales, urbanos institucionales, minería, parcelación para fines de construcción de vivienda y/o actividades que causen deterioro ambiental como la quema, la tala de vegetación nativa y la caza.
	DISTRITO DE MANEJO INTEGRADO	Distrito de Manejo Integrado	Uso principal: conservación y restauración ecológica.
			Uso compatible: actividades agrosilvopastoriles con especies nativas y menores. Parcelación para vivienda aislada de baja densidad, vivienda campestre.
			Uso Condicionado: explotación agropecuaria, agroindustria, institucionales, recreación general, vías de comunicación e infraestructura de servicios.
			Uso prohibido: quema, caza, tala, rasa, rocería, industria, usos urbanos como parcelaciones y asentamientos nucleados.
	ÁREAS DE AMENAZA Y RIESGO	Amenaza Volcánica	Uso principal: protección ambiental.
		Flujos de Escombros	
		Flujos Piroclásticos de Cenizas y Pómez	Uso compatible: obras que permitan la recuperación ambiental del área y manejo del riesgo.
		Suelo Protección Ambiental por Amenaza Alta	Uso Condicionado: obras de infraestructura de carácter municipal, entiéndase puentes, vías, equipamientos que sean productos de estudios especializados en gestión del riesgo.

	ÁREAS DE SERVICIOS PÚBLICOS DOMICILIARIOS	Áreas Alta Contaminación Hídrica		Uso prohibido: todos los demás diferentes a los anteriormente mencionados.
		Abastecimiento Hídrico Urbano/Centros Poblados		Uso principal: protección, conservación, restauración y rehabilitación ecológica.
		Abastecimiento Hídrico Rural		Uso compatible: recreación pasiva, investigación controlada y educación ambiental.
		Rendimiento Hídrico		Uso Condicionado: prácticas silviculturales.
		Humedal Natural		Uso prohibido: agricultura, ganadería, reforestación comercial, aprovechamiento forestal comercial, pesca, caza, industria, comercio, construcción y cualquier otro diferente a los enunciados anteriormente.
		Ronda Hídrica		
ZONAS DE PROTECCIÓN	ÁREAS DE PRODUCCIÓN AGROPECUARIA	Agropecuaria alta	Ganadería de doble propósito, producción agrícola mecanizada alta	Uso principal: agropecuario mecanizado altamente tecnificado y forestal. Se debe dedicar como mínimo el 10% del predio para uso forestal protector para promover la formación de la malla ambiental.
				Uso compatible: vivienda del propietario, y de trabajadores y establecimientos institucionales de tipo rural, turismo y recreación.
				Uso Condicionado: granjas avícolas; cunícolas y porcinas.
				Uso prohibido: procesos de urbanizaciones y parcelación para vivienda permanente. Industria y agroindustria.
		Agropecuaria media	Ganadería de doble propósito en clima cálido, medio y frío	Uso principal: actividades agropecuarias con cultivos permanentes o frutales, rotación de cultivos semestrales con prácticas de conservación bajo sistemas de labranza mínima, sistemas pecuarios semi-estabulados.

				Uso compatible: vivienda del propietario, y de trabajadores y establecimientos institucionales de tipo rural. Equipamientos Turísticos y recreacionales, vías carreteables.
				Uso prohibido: procesos de urbanizaciones y parcelación para vivienda permanente.
		Agropecuaria baja	Hortalizas - Maíz - Frijol - Frutales - Forestales - Arracacha, Café, Caña panelera	Uso principal: actividades agropecuarias en baja densidad, agroforestería, silvicultura y piscicultura, coberturas vegetales en cítricos.
				Uso compatible: vivienda del propietario, y de trabajadores, vivienda campestre y establecimientos institucionales de tipo rural, sistemas agrosilvopastoriles, plantaciones forestales, turismo y recreación.
				Uso prohibido: ganadería y agricultura intensiva bajo métodos de labranza convencional, ganadería extensiva (leche, carne), cultivos semestrales, procesos de urbanizaciones y parcelación para vivienda permanente.
	ÁREAS DE PRODUCCIÓN SILVICULTURAL	Café - Banano - Forestales		Uso principal: establecimiento de modelos agroforestales, silvopastoriles, agrosilvopastoriles, plantaciones productoras, investigación controlada y rehabilitación.
				Uso compatible: agropecuarios tradicionales con mínima labranza, ecoturismo, establecimientos institucionales de tipo rural, turismo y recreación.

	ÁREAS PARA EL DESARROLLO DEL TURISMO	Con/Sin restricciones	Uso prohibido: industria, procesos de urbanizaciones y parcelación para vivienda permanente, agropecuarios tradicionales intensivos, caza y tala rasa sin manejo (debe hacerse ordenación y manejo del bosque plantado, para garantizar que siempre exista cobertura).
			Uso principal: turismo recreativo, agroturismo y temáticos, recreación activa, pasiva y contemplativa. Establecimiento de infraestructura de servicios públicos, servicios a la vía.
			Uso compatible: equipamiento turístico, desarrollo de vivienda campestre, comercio de bajo impacto, institucional y servicios de cobertura básica, vivienda del propietario y de trabajadores. Agropecuario y/o forestal altamente tecnificado o mecanizado.
			Uso prohibido: industria en general, actividad minera a cielo abierto y en socavón, jardines cementerios, cementerios, hornos crematorios y plantas de manejo de residuos sólidos y líquidos, urbanizaciones de vivienda de alta densidad, cría de especies menores y sacrificio de todo tipo de animales.

Tabla 1. Usos del suelo rural. Basada en Alcaldía Municipal de Ibagué, Decreto 1000-0823 de 2014, 2014.

4.1.2 Amenaza por fenómenos de remoción en masa

Oscar Cuanalo y Romel Gallardo (2016) afirman que

Los fenómenos de inestabilidad de laderas o procesos de remoción en masa se presentan frecuentemente en zonas de morfología montañosa y escarpada, donde los procesos erosivos y la meteorización son intensos, trayendo como consecuencia el origen de

importantes caídas de grandes masas, flujo de detritos y deslizamientos, llegando a constituir riesgos geológicos potenciales para las personas y sus bienes económicos (p. 1).

En el Plan de Ordenamiento Territorial, las categorías de Amenaza por Fenómenos de Remoción en Masa - FMR - corresponden a:

- **Niveles de riesgo alto (A):** Se afectan gravemente las viviendas y sus habitantes, en este nivel de riesgo se ubican los predios cuya amenaza por FRM en alta y su vulnerabilidad es muy alta o alta.
- **Niveles de riesgo medio (M):** El nivel de afectación de la persona y viviendas es medio, en este nivel de riesgo se ubican los predios cuya vulnerabilidad es media al igual que la amenaza.
- **Niveles de riesgo bajo (B):** El nivel de afectación de la persona y viviendas es bajo, en este nivel de riesgo se ubican los predios con una amenaza baja o media y vulnerabilidad alta o media (Alcaldía Municipal de Ibagué, 2014, p. 295).

4.1.3 Software ArcGIS

ESRI (2021), afirma que

ArcGIS es un completo sistema que permite recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir información geográfica. Es la plataforma líder mundial para crear y utilizar Sistemas de Información Geográfica (SIG), ArcGIS es utilizada por personas de todo el mundo para poner el conocimiento geográfico al servicio de los sectores del gobierno, la empresa, la ciencia, la educación y los medios (p. 1).

4.1.4 Sistema de proyección cartográfico “origen único” para Colombia

El Instituto Geográfico Agustín Codazzi es la entidad para Colombia encargada de “Determinar las especificaciones mínimas para adelantar trabajos aerofotográficos, fotogramétricos, cartográficos, geodésicos y edafológicos”, buscando constantemente la actualización y la creación de herramientas que permitan el intercambio y entendimiento de la información (Numeral 3 artículo 6 del Decreto 2113 de 1992, p. 2).

Es por esto, que a través de la Resolución 471 de 2020 “establece un sistema de proyección cartográfico con un único origen para Colombia, denominado «origen nacional», con el objetivo de proporcionar una continuidad única y de referencia de la información cartográfica del país” (IGAC, 2021, p. 3).

Los lineamientos técnicos a seguir para “todos los productos de la Cartografía Básica Oficial de Colombia”, emplean como sistema de referencia horizontal “el Marco Geocéntrico Nacional de Referencia MAGNA SIRGAS, establecido mediante Resolución 068 de 2005, o aquel que lo modifique o lo sustituya”. Definiendo como parámetros de la proyección cartográfica con un único origen los siguientes (IGAC, 2021, p. 1):

Parámetro	Valor
Proyección	Transversa de Mercator
Elipsoide	GRS80
Origen: Latitud	4° N
Origen: Longitud	73° W
Falso Este	5.000.000
Falso Norte	2.000.000
Unidades	Metros
Factor de escala	0.9992

Tabla 2. Parámetros de la proyección cartográfica "origen único". Elaboración propia. Resolución 471 de 2020.

4.2 MARCO JURÍDICO

Este análisis está basado principalmente en el decreto 1000-0823 de 2014 Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Ibagué.

4.2.1 Decreto 1000-0823 de 2014

Mediante el cual se adopta la revisión y ajuste del Plan de Ordenamiento Territorial para el Municipio de Ibagué y se dictan otras disposiciones.

La Alcaldía Municipal de Ibagué (2014) afirma que

El Plan de Ordenamiento Territorial es el instrumento técnico y normativo que busca ordenar el territorio municipal, que comprende el conjunto de objetivos, directrices, políticas, estrategias, metas, programas, actuaciones y normas, destinadas a orientar y administrar el desarrollo físico del territorio y la eficiente utilización del suelo (p. 14).

Su ámbito de aplicación comprende la extensión urbana, crecimiento urbano, suburbano y rural del municipio de Ibagué. Tiene una vigencia en tiempo de la administración actual a la firma de este y tres periodos constitucionales complementarios de administraciones municipales.

4.3 MARCO GEOGRÁFICO

4.3.1 Aspectos Generales

El municipio de Ibagué, “se encuentra situado en la zona centro-occidente de Colombia sobre la Cordillera Central de los Andes y es la capital del departamento del Tolima” (Alcaldía Municipal de Ibagué, 2021, p. 1).

Según el Centro de Información Municipal Para la Planeación Participativa del municipio de Ibagué, “el suelo urbano tiene una extensión de 4317 hectáreas dividido en 13 comunas, los suelos de expansión urbana equivalen a 1336 hectáreas, el suelo de protección está constituido por 675 hectáreas y el suelo rural tiene un área de 136031 hectáreas distribuido en 19 centros poblados” (CIMPP, 2019, p. 1).

La zona de estudio se encuentra administrativamente bajo jurisdicción del municipio de Ibagué. Tiene un perímetro de 20 km y un área de 24 km². Se ubica sobre los cerros noroccidental del municipio de Ibagué y la cuenca media del Río Chipalo. Su relieve es montañoso y su malla vial está constituido en gran parte por vías de orden terciaria o veredal afirmada, en un estado regular o malo. Está área tiene aptitud para el desarrollo del ecoturismo y actividades al aire libre como caminatas y travesías en bicicleta.

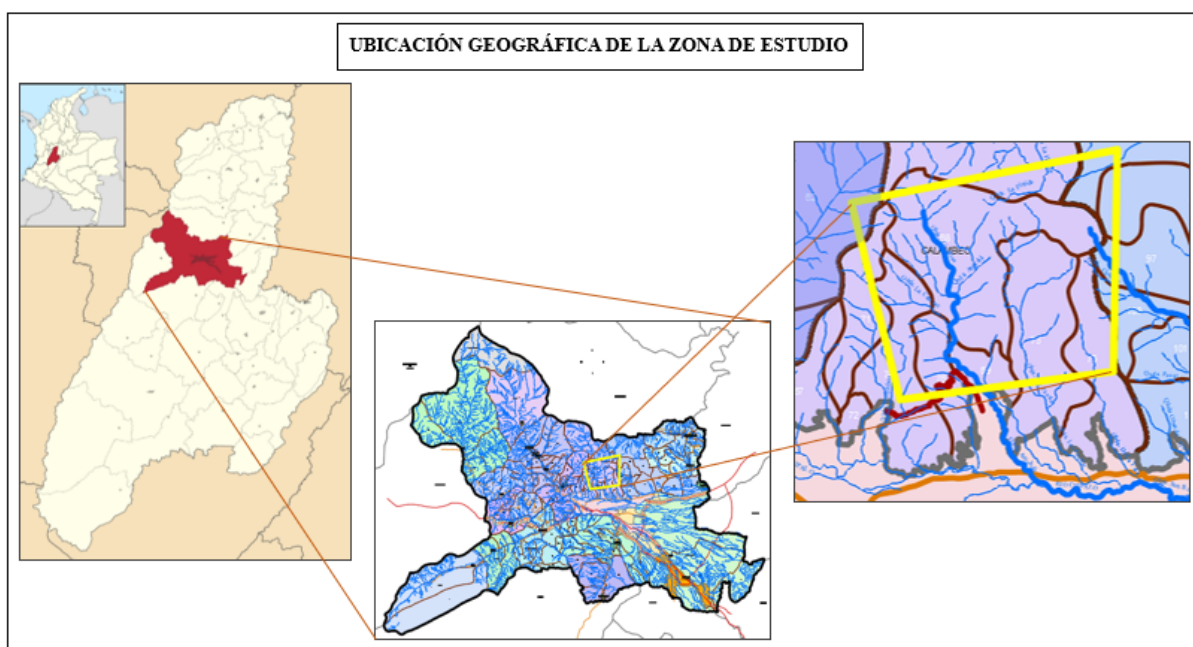


Figura 1. Ubicación geográfica de la zona de estudio. Elaboración propia.

Esta zona se encuentra conformada por una parte de territorio urbano, pero en su mayoría por territorio rural perteneciente a 3 corregimientos y 13 veredas, las cuales son:

Corregimientos	Veredas
Cay	La Cascada
Calambeo	Ambalá parte alta
	Ambalá sector El Triunfo
	Ancón Tesorito parte alta
	Ancón Tesorito parte baja
	Bellavista
	Calambeo
	La Pedregoza
	San Antonio-Ambalá
Salado	Carrizales
	Chembe
	La Belleza
	La Palmilla

Tabla 3. Corregimientos y veredas área de influencia. Elaboración propia.

5. DISEÑO METODOLÓGICO

5.1 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

5.1.1 Identificación del área de estudio

A través de la herramienta de libre descarga Google Earth Pro se realiza la identificación y delimitación del área de trabajo, obteniéndose un archivo en formato KML y KMZ, el cual es compatible con el programa ArcGIS.

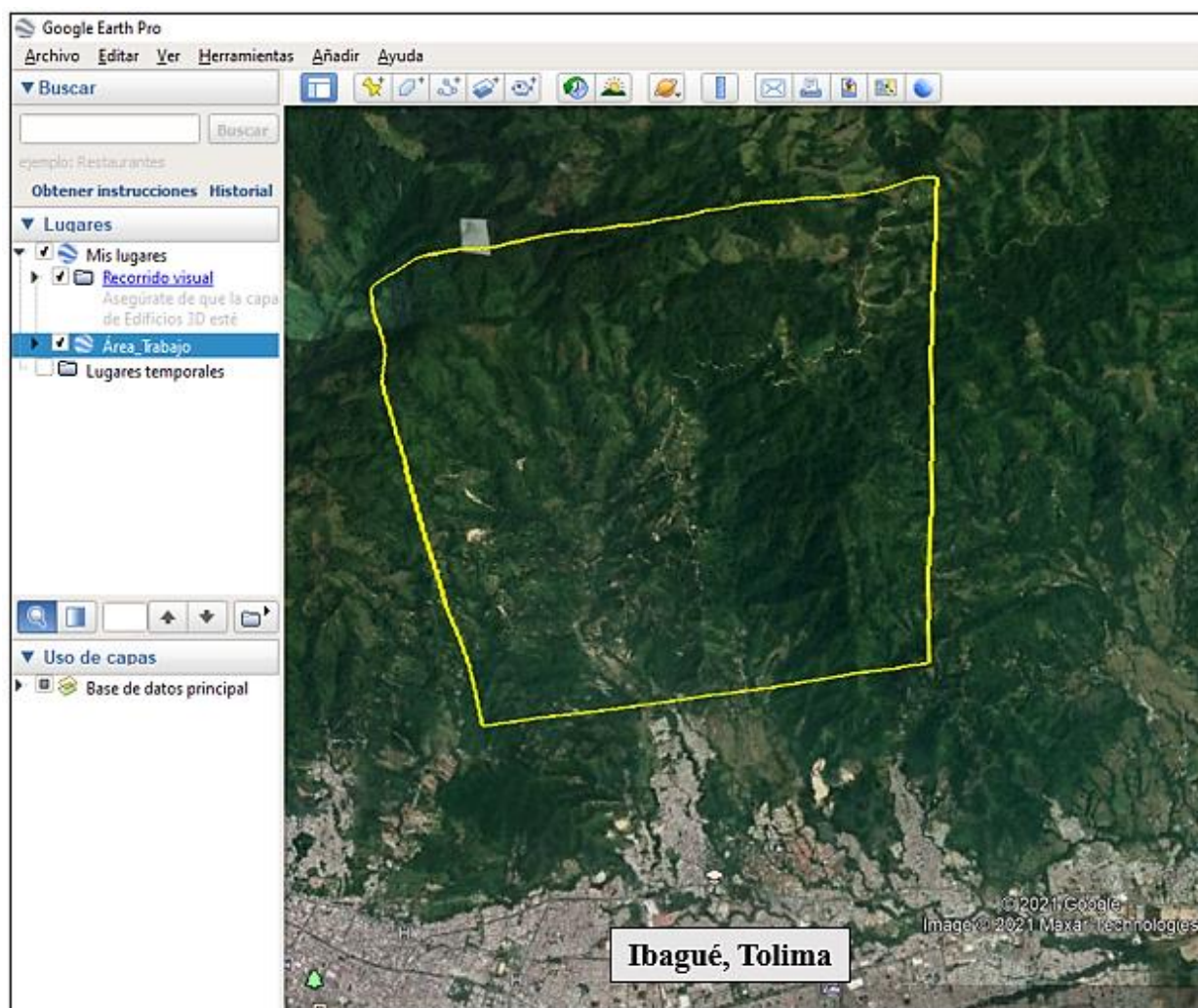


Figura 2. Identificación del área de Estudio. Google Earth Pro.

Su ubicación en coordenadas geográficas es:

Ubicación	Latitud	Longitud
Punto superior izquierdo	4°31'57.73''N	75°13'14.17''O
Punto superior derecho	4°32'56.85''N	75°10'28.73''O
Punto inferior derecho	4°30'41.01''N	75°10'05.19''O
Punto inferior izquierdo	4°30'06.31''N	75°12'34.14''O

Tabla 4. Coordenadas geográficas área de estudio. Elaboración propia.

5.1.2 Cartografía DWG – Decreto 1000-0823 de 2014

La Curaduría Urbana Uno del municipio de Ibagué, cuenta con una página web para realizar consultas cartográficas en formatos PDF y DWG, pertenecientes al actual Plan de Ordenamiento Territorial del municipio. Esta información se encuentra con nomenclaturas donde G – General, R – Rural y U – Urbano, que logran una búsqueda ágil y precisa de los planos que se desean consultar.

Una vez obtenida esta cartografía, se determina usar la información en formato DWG debido a su mayor compatibilidad con las herramientas SIG, y se realiza la revisión, análisis y selección de los planos a usar para el desarrollo del presente análisis, los cuales son:

- R1 División Político-Administrativa
- R2 Uso Del Suelo
- R4 Infraestructura Y Equipamientos
- R5 Amenaza Por Remoción En Masa

5.1.3 Obtención de imagen multibanda de sensor pasivo (Landsat-8)

El Servicio Geológico de Estados Unidos o USGS posee un portal de datos llamado USGS Earth Explorer en el cual se pueden obtener datos geoespaciales disponibles de la Tierra, como “imágenes de satélite Landsat, datos de radar, datos de UAS, gráficos de líneas digitales, datos de modelos de elevación digitales, fotos aéreas, datos de satélites Sentinel, algunas imágenes de satélites comerciales, incluidos IKONOS y OrbView3, datos de cobertura terrestre, datos de mapas digitales del Mapa Nacional y muchos otros conjuntos de datos”, que hacen de esta página web un medio de búsqueda masivo de información actual, confiable y gratuita (USGS, 2021, p.1).

Para acceder a la información geoespacial es necesario crear una cuenta de registro, y una vez se ingresa, el sistema permite cargar un archivo KML, KMZ o SHP del área de estudio. A continuación, se elige el tipo de imagen deseado, en este caso es una imagen Landsat perteneciente a Landsat Collection 1 Level-2 (On-demand) que nos indica que es una imagen con corrección atmosférica, ya que al generarse por medio de sensores pasivos se debe ajustar la nubosidad y la calidad de los colores.

Una vez se muestran los conjuntos de datos, se selecciona Landsat 8 OLI/TIRS C1 Level-2 para tener la información más reciente tomada.

Con esta elección y sin seleccionar ningún criterio adicional se generan los resultados, donde cada imagen muestra su identificación, la fecha de adquisición, la trayectoria y la fila.

Para el área de estudio se selecciona la imagen más reciente, con menor nubosidad y se procede a realizar su descarga para posteriormente hacer su tratamiento.

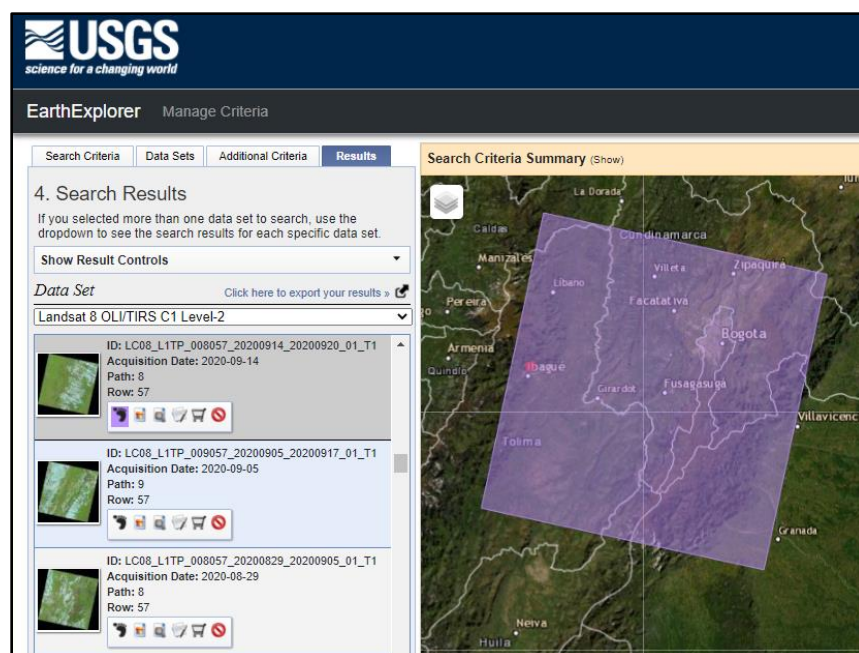


Figura 3. Selección de imagen Landsat. USGS.

Como resultado se obtiene la siguiente imagen, donde a simple vista se observa una gran presencia de nubes, pero las cuales no se presentan sobre el área de estudio.

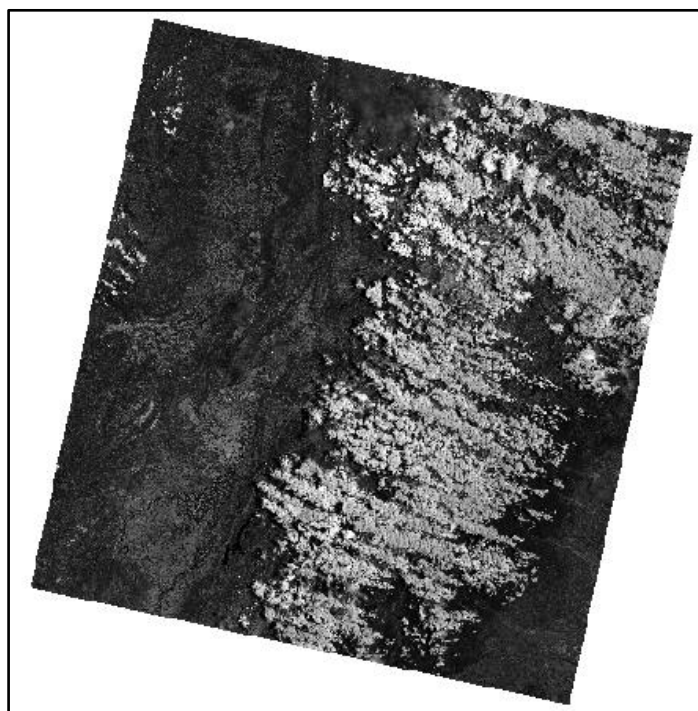


Figura 4. Imagen multispectral Landsat 8. Elaboración propia. ArcGIS.

5.1.3 Imagen satelital SAS Planet

El software libre (freeware con licencia GNU) de origen ruso SAS Planet “es un programa gratuito diseñado para ver y descargar imágenes satelitales de alta resolución y mapas convencionales proporcionados por servicios como Google Earth, Google Maps, Bing Maps, DigitalGlobe, Kosmosnimki, Yandex.Maps, Yahoo! Mapas, VirtualEarth, Gurtam, OpenStreetMap, eAtlas, mapas de iPhone, mapas de personal general, etc.”. Lo más importante de esta herramienta es que “todos los mapas descargados permanecerán en la computadora y podrán verse incluso sin una conexión a Internet” (SASGIS Mapeo y navegación web, 2021, p.1).

Para descargar la imagen de la zona de estudio, inicialmente se carga el archivo KML del área a analizar, luego se selecciona el proveedor que nos muestre la imagen con mejor calidad del sector, que para este caso fue Bing Maps – satellite y se define la escala Z18 como pertinente para el área de estudio.

Con esta escala determinada, se realiza el escaneo de la zona de trabajo moviéndose a través de todas las celdas del mapa para que éstas queden guardadas en la memoria cache y se procede a guardar la imagen final.

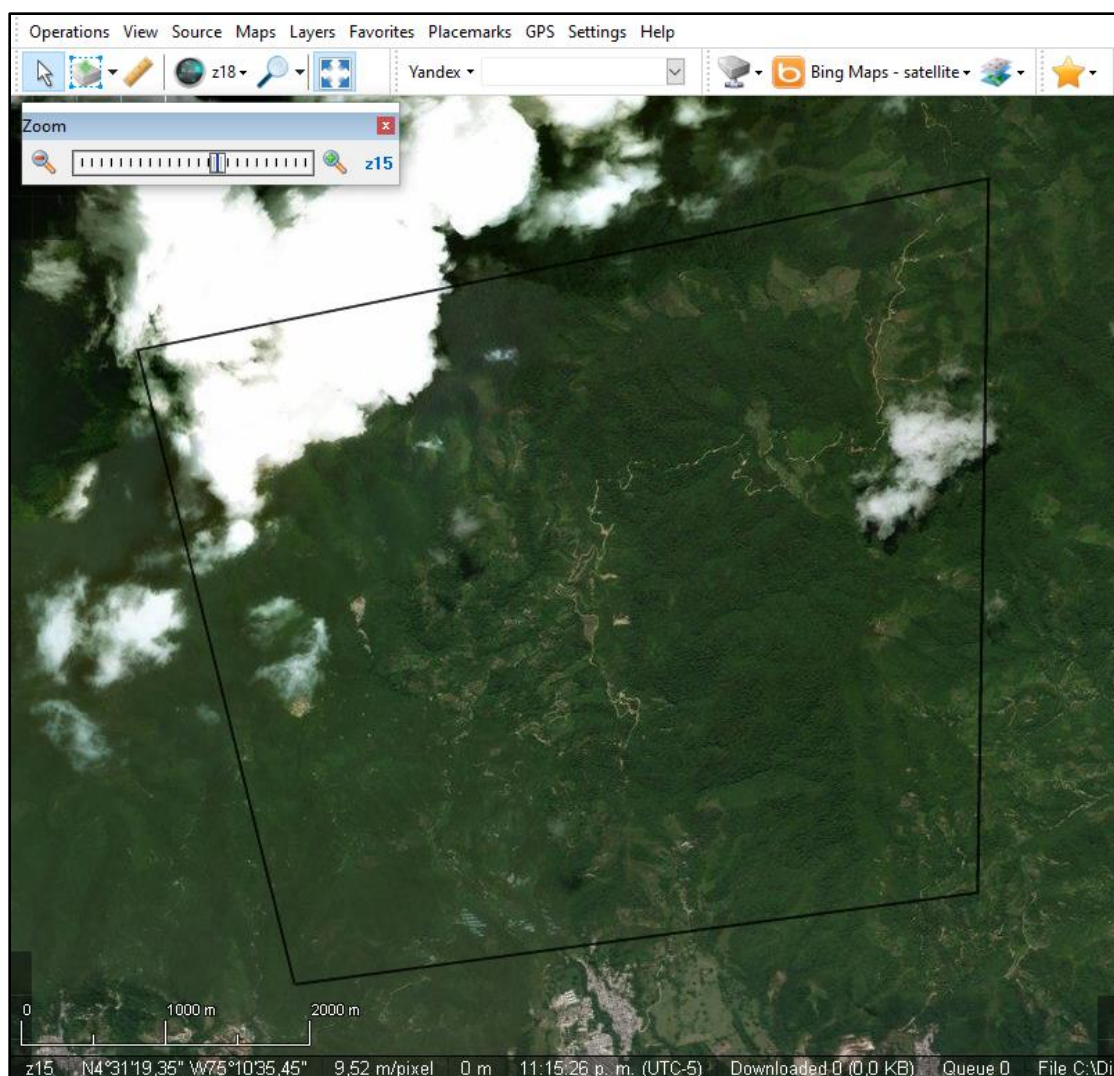


Figura 5. Imagen zona de estudio programa SAS Planet. SAS Planet.

5.2 ADOPCIÓN DEL “ORIGEN NACIONAL”

Debido a la implementación del sistema de proyección cartográfico “origen único” como origen nacional para Colombia y a que esté aún no se encuentra predeterminado en el programa ArcGIS, se procede a su creación siguiendo los parámetros establecidos en la resolución 471 de 2020 del Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

Esto se realiza con la caja de herramientas ArcToolbox, en la función Data Management Tools – Projections and Transformations – Project, y en esta ventana se selecciona la opción de elegir el

Output Coordinate System, aquí se va a Add Coordinate System – New – Projected Coordinate System, y en este espacio es donde se procede a incluir los parámetros determinados:

New Projected Coordinate System

General

Name: MAGNA_Colombia_Origen_Unico

Projection Name: Transverse_Mercator

Parameter	Value
False_Easting	5000000,0
False_Northing	2000000,0
Central_Meridian	-73,0
Scale_Factor	0,9992
Latitude_Of_Origin	4,0000000000000000

Linear Unit Name: Meter

Meters per unit: 1

Geographic Coordinate System

Name: GCS_WGS_1984
 Angular Unit: Degree (0,0174532925199433)
 Prime Meridian: Greenwich (0,0)
 Datum: D_WGS_1984
 Spheroid: WGS_1984
 Semimajor Axis: 6378137,0

Change...

Aceptar Cancelar Aplicar

Figura 6. Creación del sistema de proyección cartográfico "Origen Único". Elaboración propia. ArcGIS 10.7.1.

Después de aceptar los datos incluidos, se observa que el sistema de proyección ya se encuentra establecido y puede ser usado para referenciar la cartografía creada con herramientas SIG para este análisis.

5.3 CONVERSIÓN DE CARTOGRAFÍA

El Plan de Ordenamiento Territorial del municipio de Ibagué tiene como producto una serie de mapas, los cuales se seleccionaron para ser implementados en este análisis y por lo tanto debe

realizarse una conversión de la información de formato DWG a SHP, y con esto poder ser usados en el desarrollo de este proyecto.

Para convertir esta cartografía inicialmente se abre cada mapa en el programa ArcGIS donde se despliegan 5 capas que contienen la información agrupada, con esto, se elige la capa o las capas con la información deseada y por medio de la función Data – Export Data se convierten a formato SHP.

Con el archivo SHP se procede a recortar la capa con la función Analysis Tools – Extract – Clip y se obtiene una nueva capa de polilíneas, menos pesada y con solo la información concerniente al área de estudio.

5.3.1 Mapa R1 - División Político Administrativa

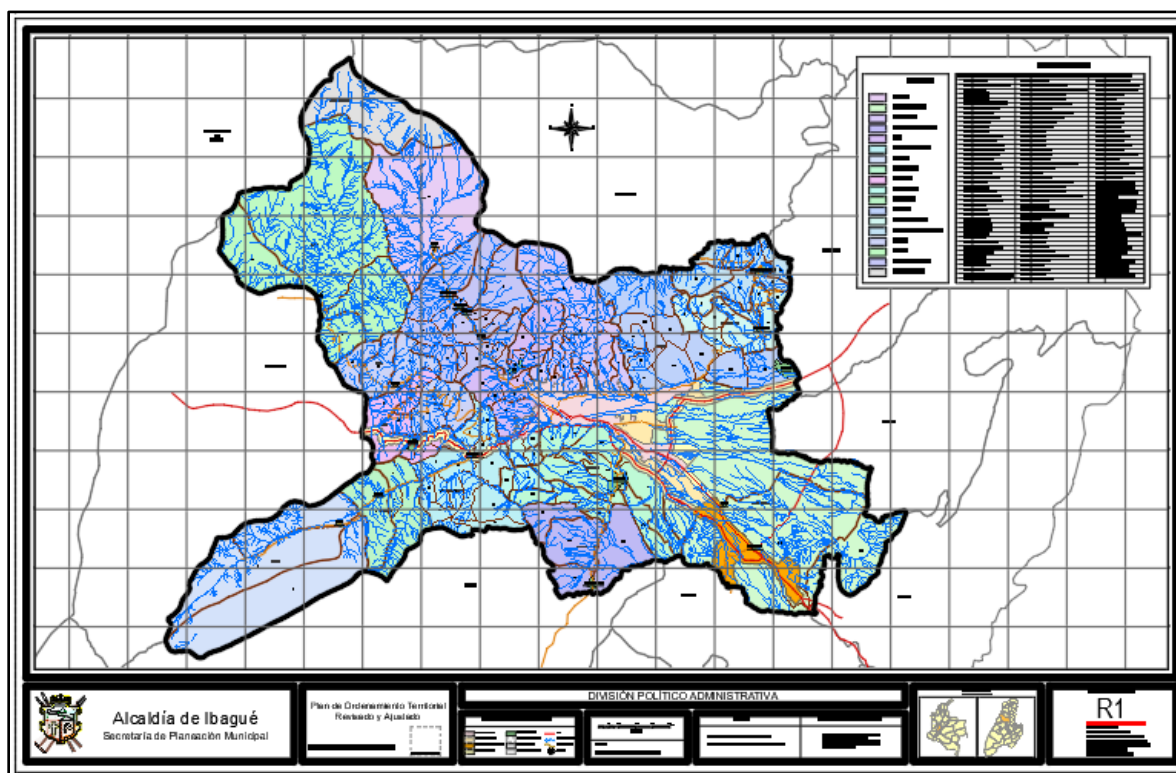


Figura 7. Cartografía - División Político Administrativa del municipio de Ibagué. Plan de Ordenamiento Territorial.

En el mapa *R1 División Político Administrativa* perteneciente al componente rural se encuentran delimitados los corregimientos, las veredas, el perímetro urbano, las vías principales, los ríos y drenajes del municipio de Ibagué.

Una vez subida la información a ArcGIS y de ser revisada se elige el siguiente layer:

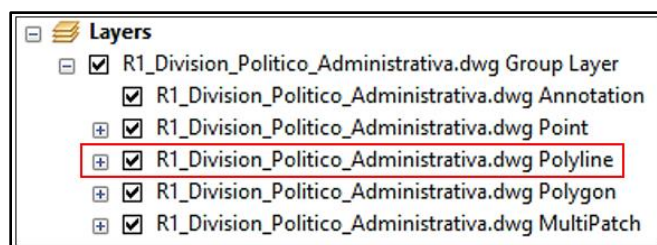


Figura 8. Layer mapa División Político Administrativa. Elaboración propia. ArcGIS 10.7.1.

Luego se continua con el proceso de exportar la capa a SHP y recortar la información dando lugar a la capa final:

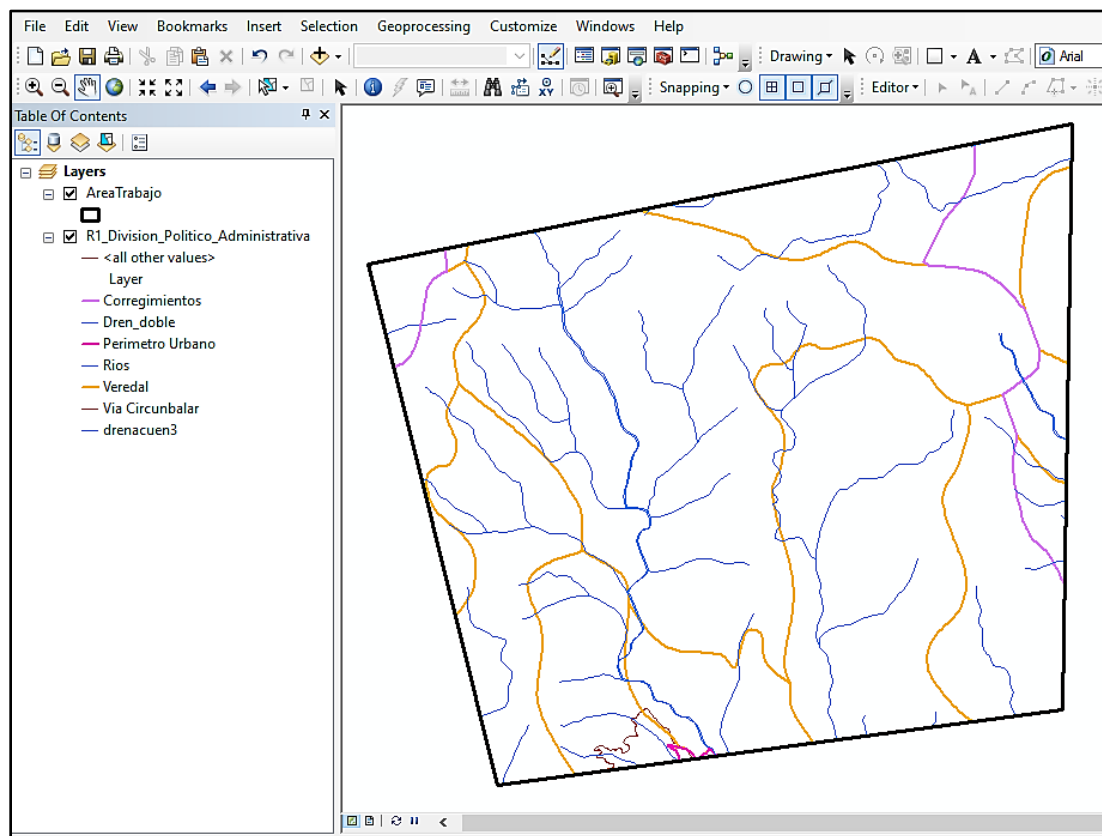


Figura 9. Conversión Mapa R1_División Político Administrativa. Elaboración propia. ArcGIS 10.7.1.

5.3.2 Mapa R2 - Usos del Suelo

En el Plan de Ordenamiento Territorial el mapa *R2 Usos del Suelo* contiene la vocación de empleo que debe tener el territorio rural para un adecuado desarrollo, uso y conservación, denotando las categorías, áreas y subáreas existentes.

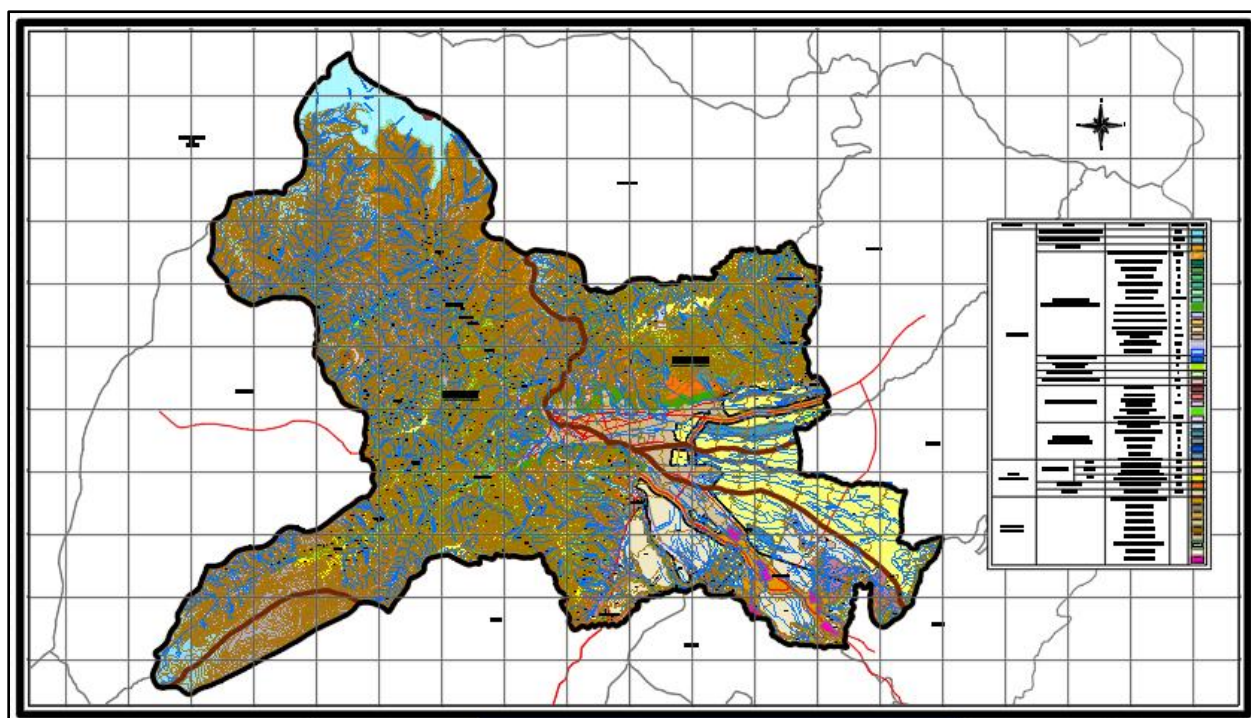


Figura 10. Cartografía - Usos del suelo del municipio de Ibagué. Plan de Ordenamiento Territorial.

5.3.3 Mapa R4 - Infraestructura y Equipamientos

En el mapa *R4 Infraestructura y Equipamientos* perteneciente al componente rural se encuentra información de las vías y su estado, las redes eléctricas, el suelo industrial, las zonas de expansión, el suelo sub-urbano, así como los equipamientos de salud, educación, deportes, transportes, relleno sanitario y escombrera del municipio de Ibagué.

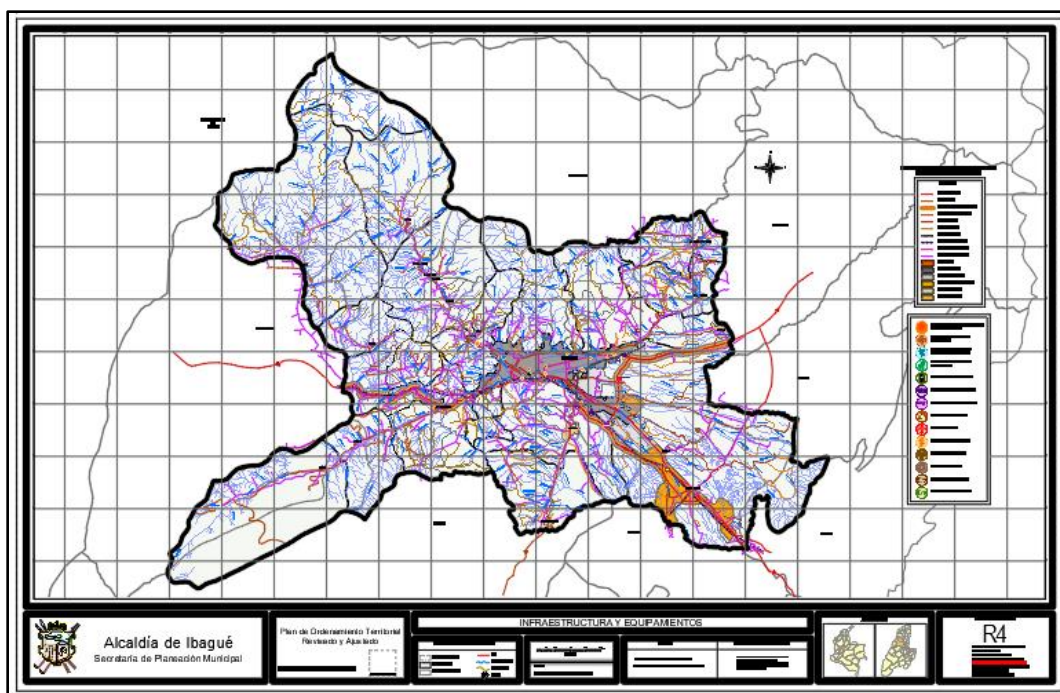


Figura 11. Cartografía - Infraestructura y Equipamientos del municipio de Ibagué. Plan de Ordenamiento Territorial.

Realizado el proceso de conversión se obtiene información adicional sobre los caminos veredales, las vías veredales sin pavimentar, la vía circunvalar y la red eléctrica 13.2 KVA para el área de trabajo, como se evidencia en la siguiente imagen:

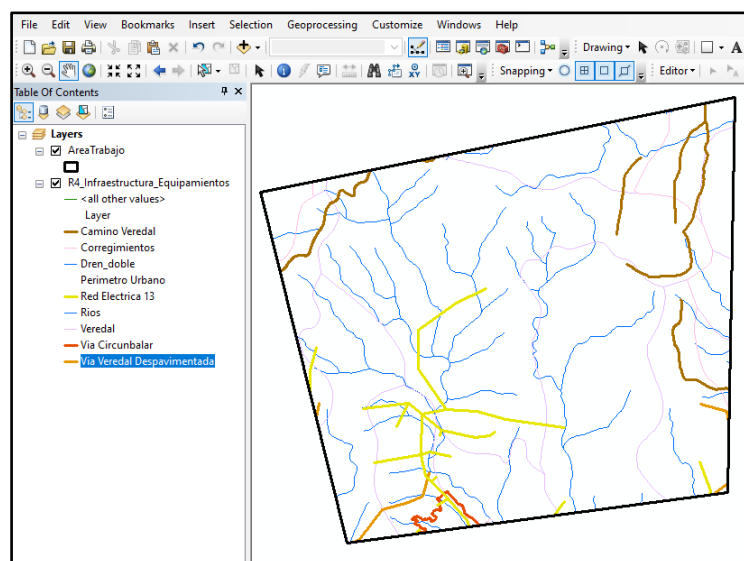


Figura 12. Conversión Mapa R4_Infraestructura y Equipamientos. Elaboración propia. ArcGIS 10.7.1.

5.3.4 Mapa R5 - Amenaza por Remoción en Masa

En el mapa *R5 Amenaza de remoción en masa* que hace parte del componente rural se encuentra especificado las clases de amenaza por remoción en masa a las cuales se encuentra expuesto el municipio de Ibagué. Además, se muestran las fallas cubiertas, fallas inderidas, fallas definidas, foliaciones verticales, orientación de las foliaciones y la orientación de las diaclasas.

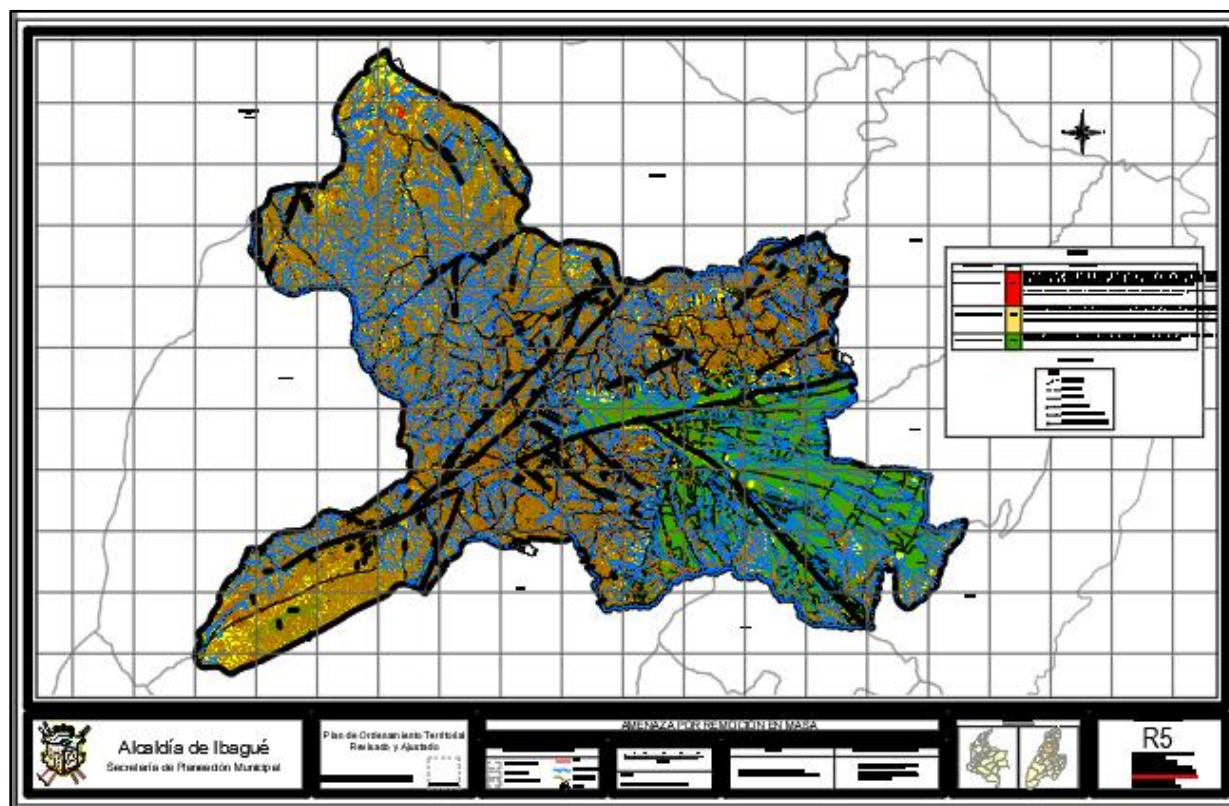


Figura 13. Cartografía - Amenaza por remoción en masa del municipio de Ibagué. Plan de Ordenamiento Territorial.

5.4 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

5.4.1 Identificación de veredas

Para detallar y conocer la zona de estudio de una manera específica, se toma la información obtenida del mapa de división político administrativa sobre los corregimientos y las veredas, y se procede a pasar las entidades de polilíneas a polígonos para lograr una mejor visualización de las estas últimas.

Para obtener esto, primero se traza una polilínea por todo el contorno del área de estudio para obtener zonas cerradas y a través de la caja de herramientas Data Management Tools – Features – Feature To Polygon se crean los polígonos para cada vereda generando una nueva capa llamada *Corregimientos_Veredas*. Luego se realiza la identificación de cada vereda en el mapa original R1_División Político Administrativa para añadir estos nombres a la capa obtenida, para esto, se va a Attribute Table y se añade un nuevo All Field al que se denomina *Vereda* y se dirige a la función Editor e Identify para incluir los nombres de forma exacta.

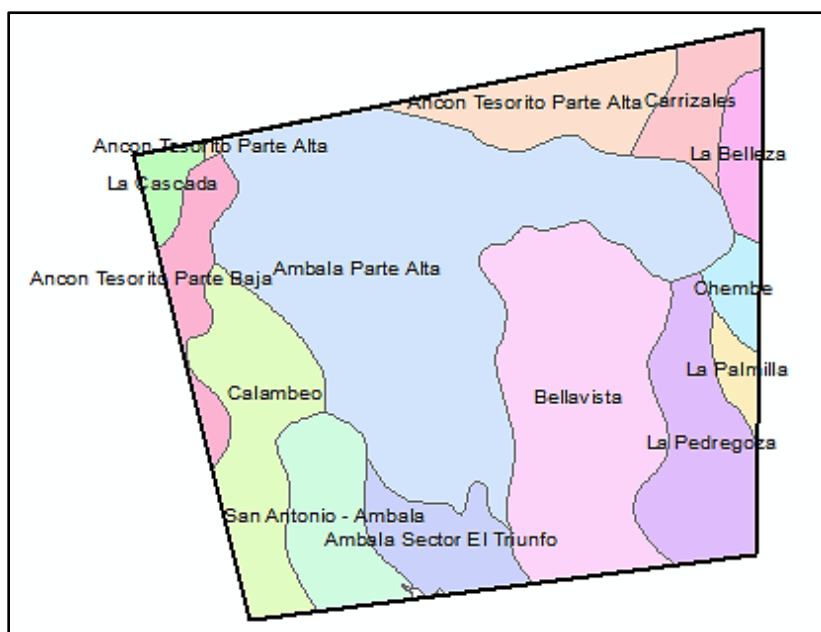


Figura 14. Capa *Corregimientos_Veredas*. Elaboración propia. ArcGIS 10.7.1.

De esta misma manera se incluye otro Field denominado Área y a través de la herramienta Calculate Geometry, se selecciona la propiedad geométrica Área, el sistema de coordenadas y las unidades en las cuales se desea obtener el valor, en este caso hectáreas, y se genera la información.

5.4.2 Composición de imagen multiespectral Landsat 8

Para la composición de una imagen multiespectral que para este caso es una obtenida en el Servicio Geológico de Estados Unidos, se inicia subiendo todas las bandas que componen la imagen al programa ArcGIS, permitiendo que el programa realice pirámides para obtener un procesamiento más ágil.

Con esto, se va al menú Windows – Imagen Analysis y se seleccionan todas las bandas cargadas y se hace clic en el botón Composite Bandas.

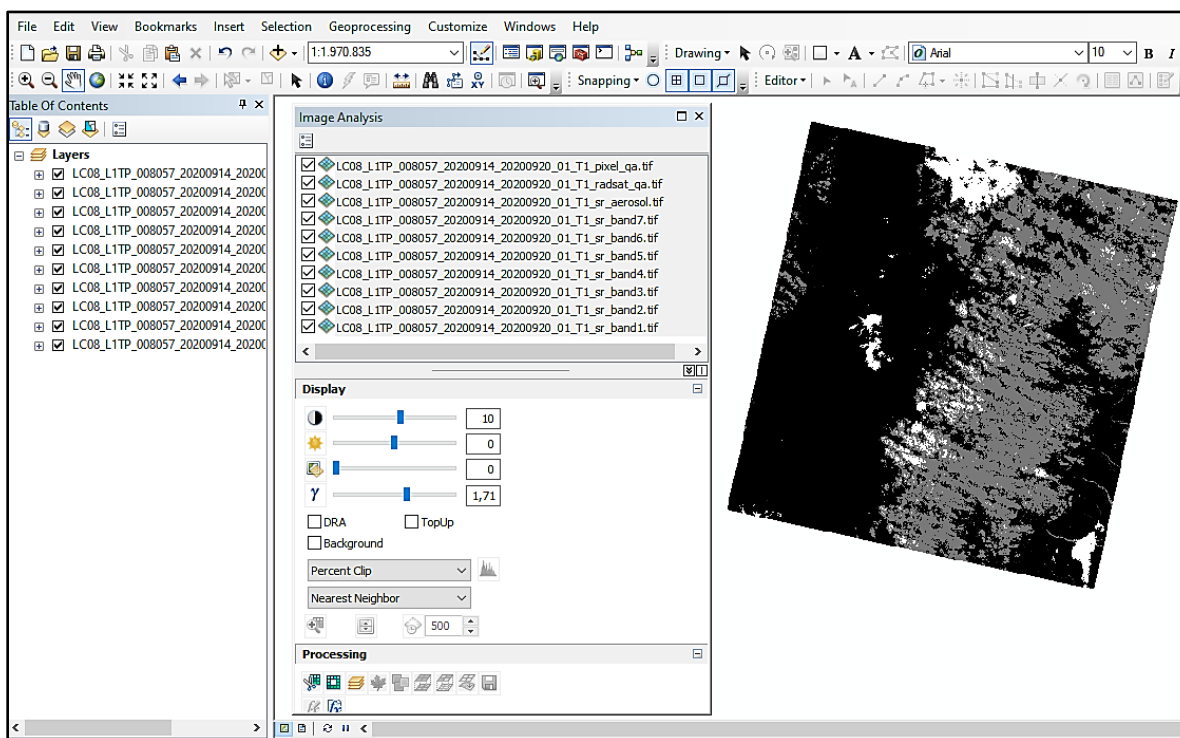


Figura 15. Proceso Imagen Analysis. Elaboración propia. ArcGIS 10.7.1.

El resultado es un archivo temporal de la composición de bandas realizada, el cual debe exportarse desde la función Data – Export Data para su almacenamiento final.

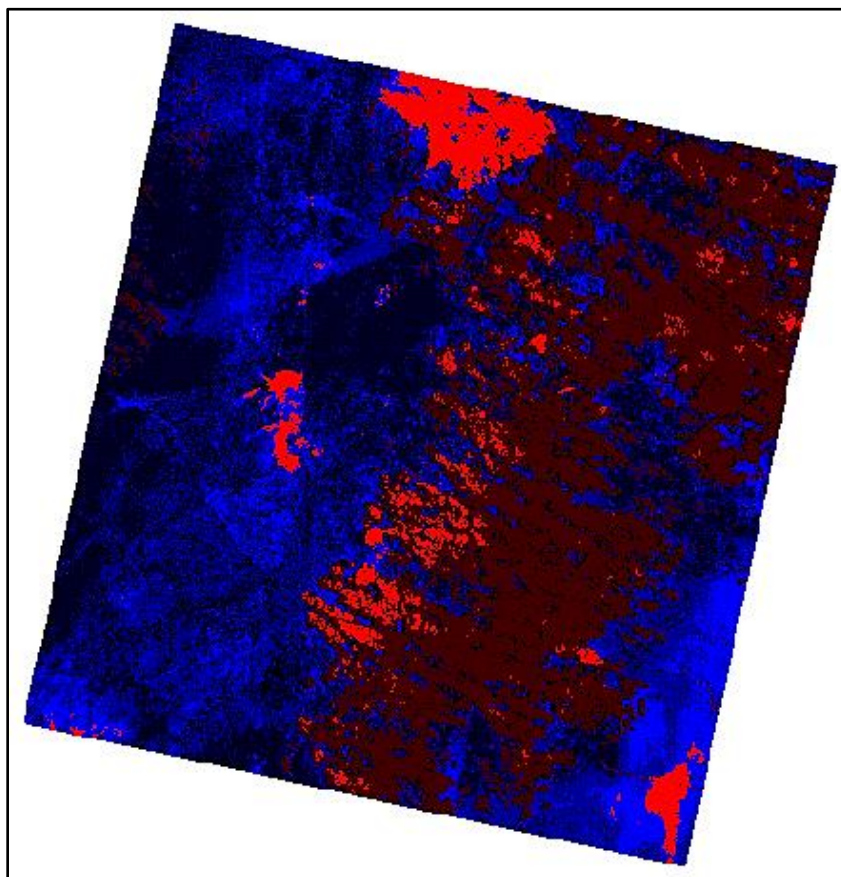


Figura 16. Composición de imagen multiespectral. Elaboración propia. ArcGIS 10.7.1.

5.4.3 Selección de imágenes

En la cartografía del Plan de Ordenamiento Territorial no se incluyen las construcciones, viviendas y edificaciones presentes en los suelos urbano y rural para visualizar la evolución demográfica del municipio de Ibagué.

Para el análisis de este proyecto, se hace necesario tener esta información, por lo cual, se cuenta con dos recursos a comparar con el objetivo de determinar cuál de estos se ajusta más para obtener el requerimiento.

El primer recurso a usar, es la imagen multiespectral Landsat 8 con la composición de bandas realizada, teniendo en cuenta que para la detección de áreas urbanas se usa la configuración de falso color, mediante la combinación de bandas 7, 6, 4 donde las zonas urbanas se representan en tonos café o tierra, y las zonas de vegetación en tonos verdes claros. Con esto se obtiene la siguiente imagen:

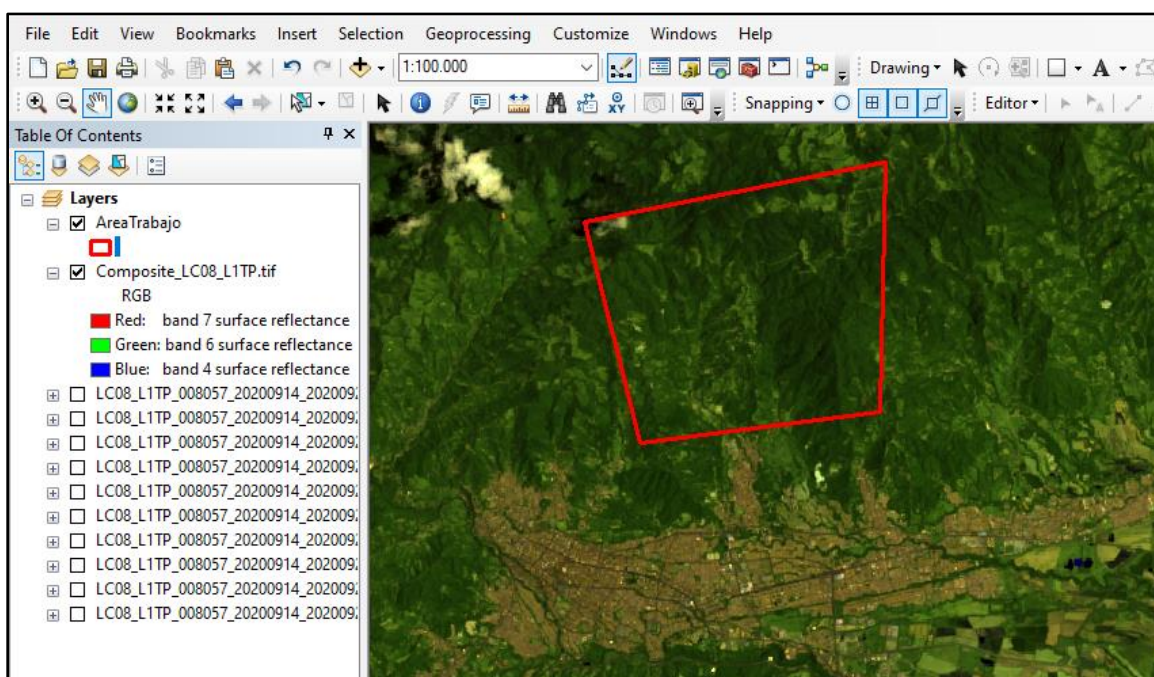


Figura 17. Composición de bandas 7, 6, 4 imagen Landsat. Elaboración propia. ArcGIS 10.7.1.

Pero al realizarse un acercamiento de zoom 1:5000 se observa una imagen pixelada, distorsionada, sin distinción de objetos ni de información apta para el proceso requerido.

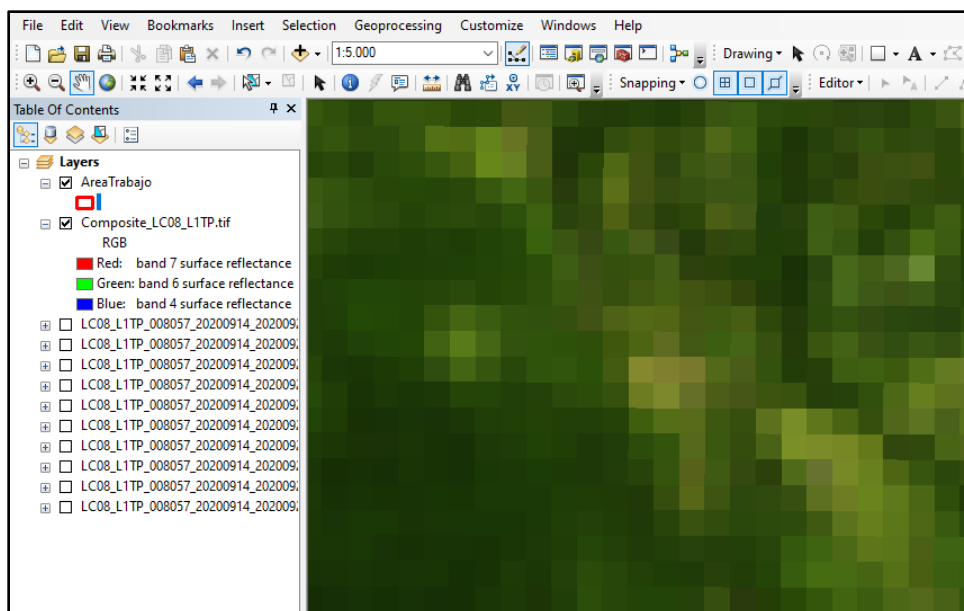


Figura 18. Imagen Landsat 8 pixelada. Elaboración propia. ArcGIS 10.7.1.

El segundo recurso a usar, es la imagen satelital SAS Planet recortada al área de estudio, donde se ve un poco de nubosidad en áreas donde no se encuentran muchas viviendas al ser áreas con alta vegetación protegida.

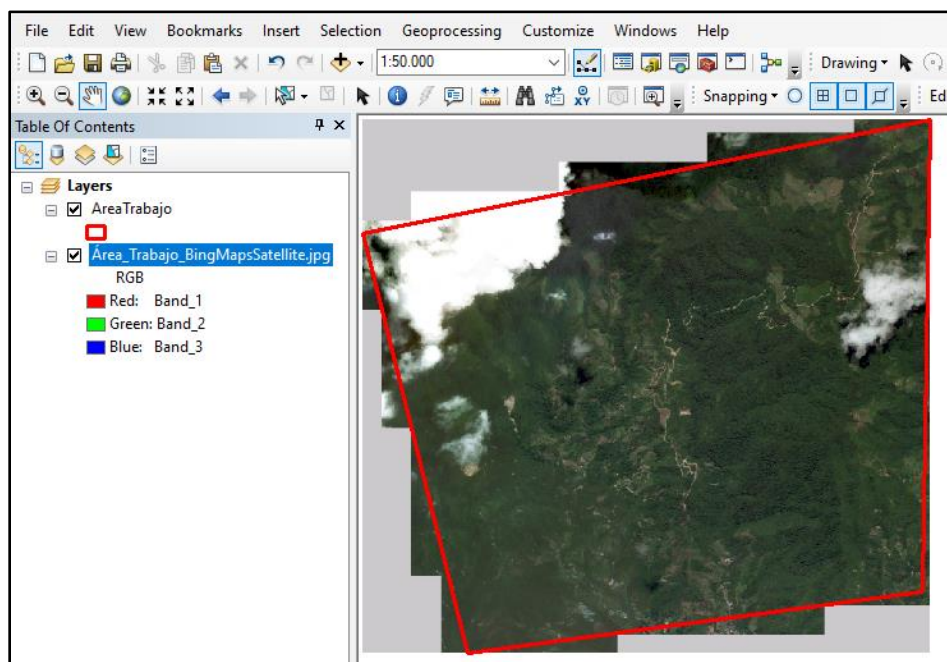


Figura 19. Imagen SAS Planet para el área de estudio. Elaboración propia. ArcGIS 10.7.1.

Ahora, al realizar el mismo acercamiento al zoom 1:5000 se obtiene la siguiente visualización:

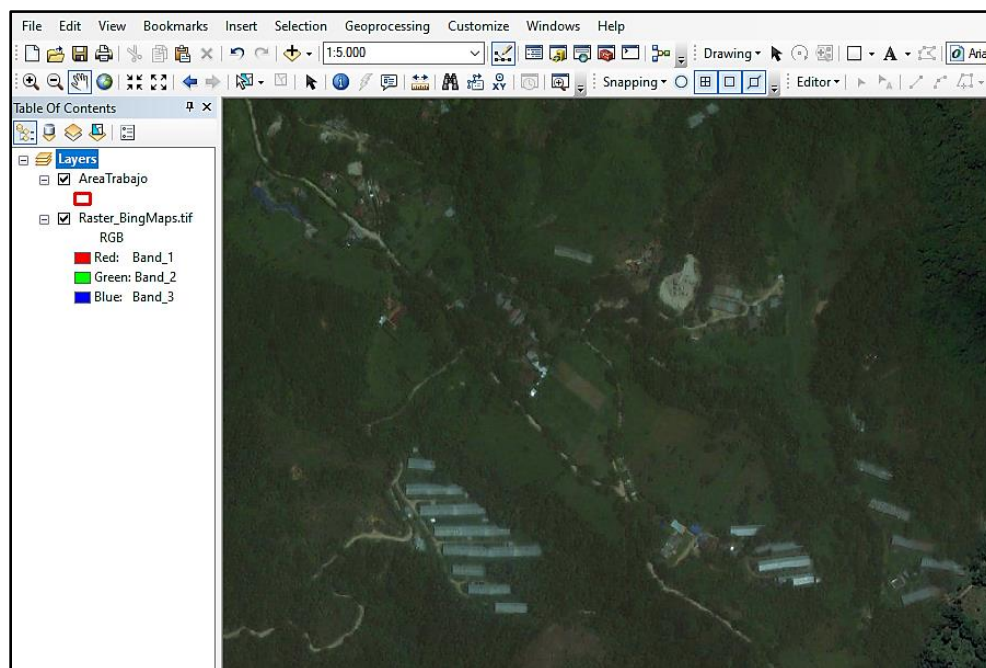


Figura 20. Acercamiento imagen SAS Planet. Elaboración propia. ArcGIS 10.7.1.

Con esto, se elige realizar el proceso de digitalización de las viviendas rurales del área de estudio empleando la imagen obtenida mediante el software SAS Planet, debido a su mayor alcance de detalle y a que las viviendas se identifican con una calidad competente para realizar el proceso.

Además de esto para obtener más información básica de la zona, se incluye complementar las vías rurales y veredales que no se encuentran en la información municipal.

5.4.4 Actualización del crecimiento rural y vías veredales

Con la determinación de la imagen a usar, se crea un nuevo shapefile para cada entidad a digitalizar. Para esto, desde la herramienta ArcCatalog se elige la ruta donde se desea guardar cada capa, allí se da clic derecho y se elige la opción New – Shapefile y se elige en Feature Type: Polygon para las viviendas y Polyline para las vías.

Con la función Editor – Start Editing, se elige la capa deseada, luego se da en Create Features y se vuelve a seleccionar la capa, y se inicia a digitalizar cada polígono o polilínea dando clic con el mouse para generar los vértices y darle forma a cada entidad.

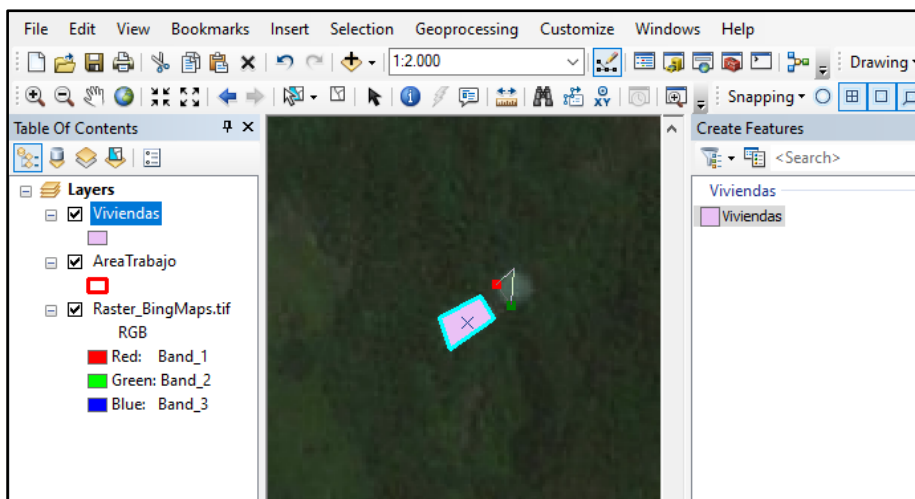


Figura 21. Digitalización de capas. Elaboración propia. ArcGIS 10.7.1.

Al terminar, se va de nuevo a la función Editor – Save Edits – Stop Editing, para guardar los cambios realizados y salir del modo edición.

Es importante realizar esta digitalización con la imagen en una escala establecida siempre, para que los elementos actualizados tengan el mismo detalle. Para este análisis y teniendo en cuenta la extensión total del área de estudio se determinó la escala 1:2000 para este tipo de procesos.

5.4.5 Polígonos usos del suelo y amenaza por remoción en masa

La información obtenida de los mapas *R2 Usos del suelo* y *R5 Amenaza por remoción en masa* se exportó en entidad de polilíneas y para realizar su conversión, se realiza el mismo procedimiento usado en la identificación de las veredas, solo que la cantidad de datos es mucho mayor y el procesamiento de la información es más dispendioso. Con esto se obtiene:

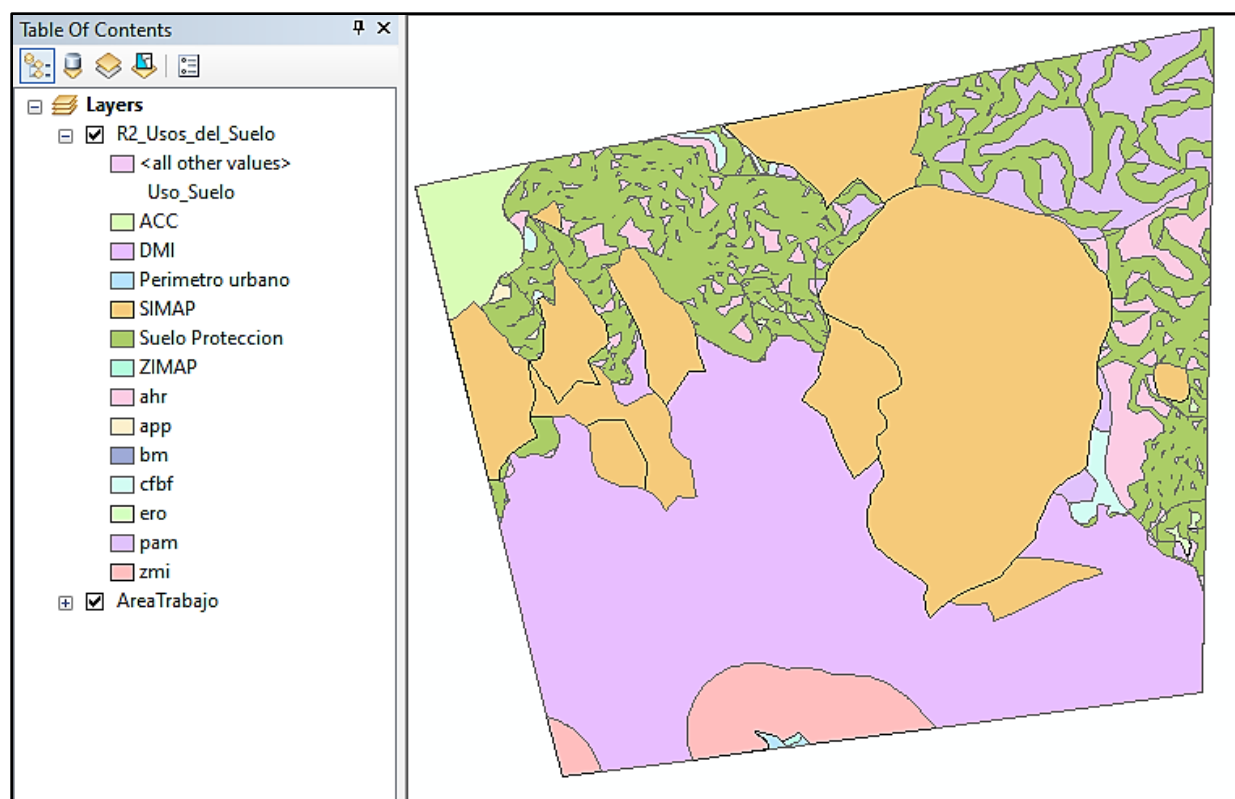


Figura 22. Capa Usos del Suelo. Elaboración propia. ArcGIS 10.7.1.

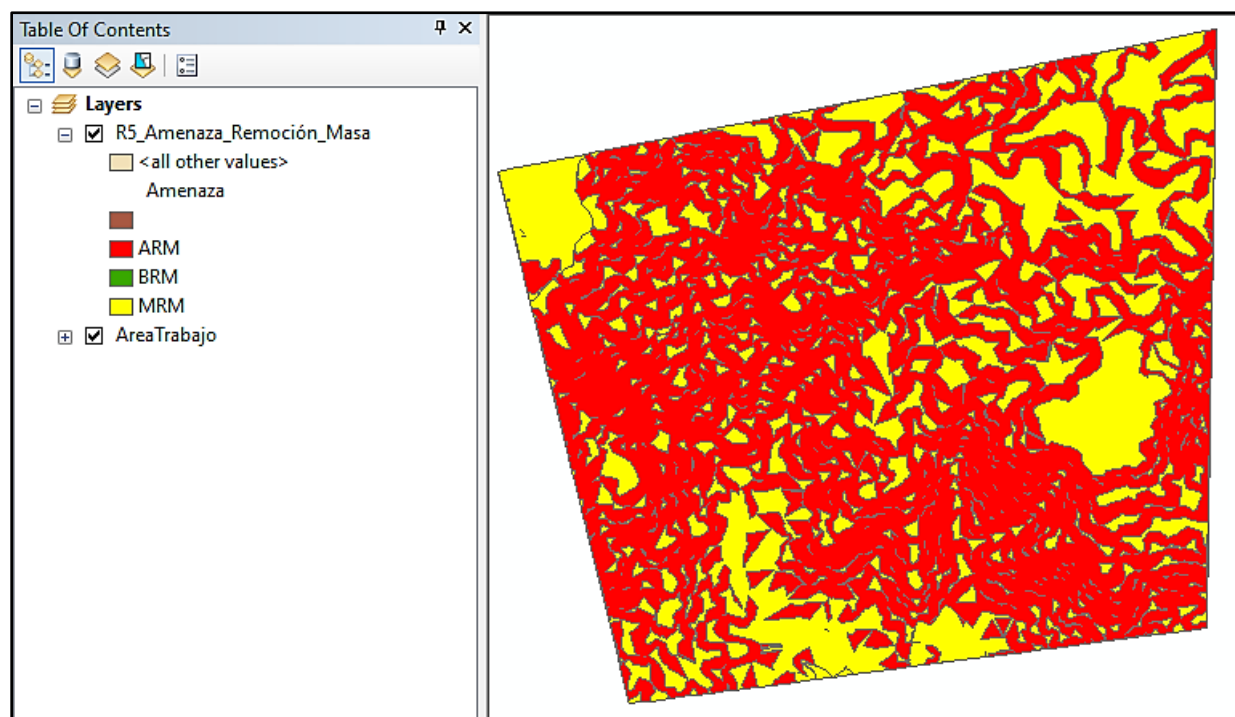


Figura 23. Capa Amenaza por remoción en masa. Elaboración propia. ArcGIS 10.7.1.

5.5 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Por medio de la aplicación Analysis Tools – Overlay – Identity situada en la caja de herramientas ArcToolbox de ArcGIS 10.7.1 se determina la relación entre las capas *Viviendas – Amenaza por remoción en masa* y *Viviendas – Usos del suelo*, donde a partir de la superposición de capas se busca obtener atributos de estas entidades, en una nueva capa y una única tabla de atributos que muestra la conexión de estas relaciones, es decir identifica sobre qué clase de amenaza de remoción en masa o uso del suelo se ha generado el crecimiento rural en la zona de estudio.

Realizando este análisis a las capas mencionadas se obtiene:

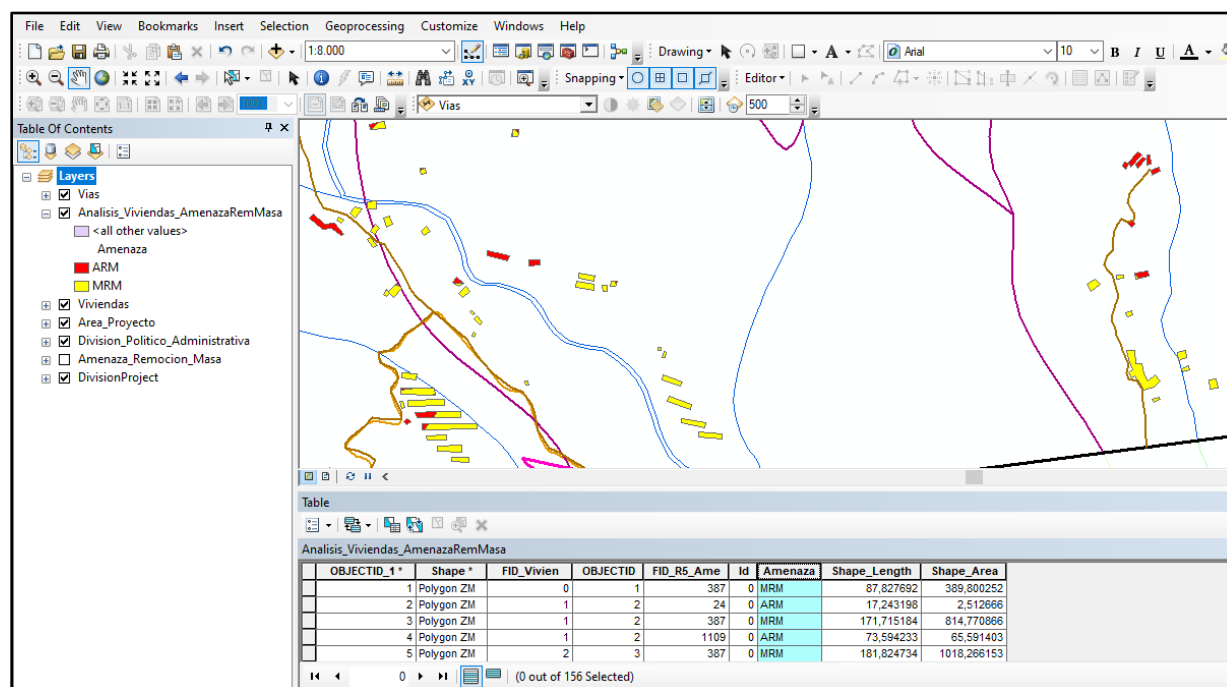


Figura 24. Análisis Crecimiento rural - Amenaza por remoción en masa. Elaboración propia. ArcGIS 10.7.1.

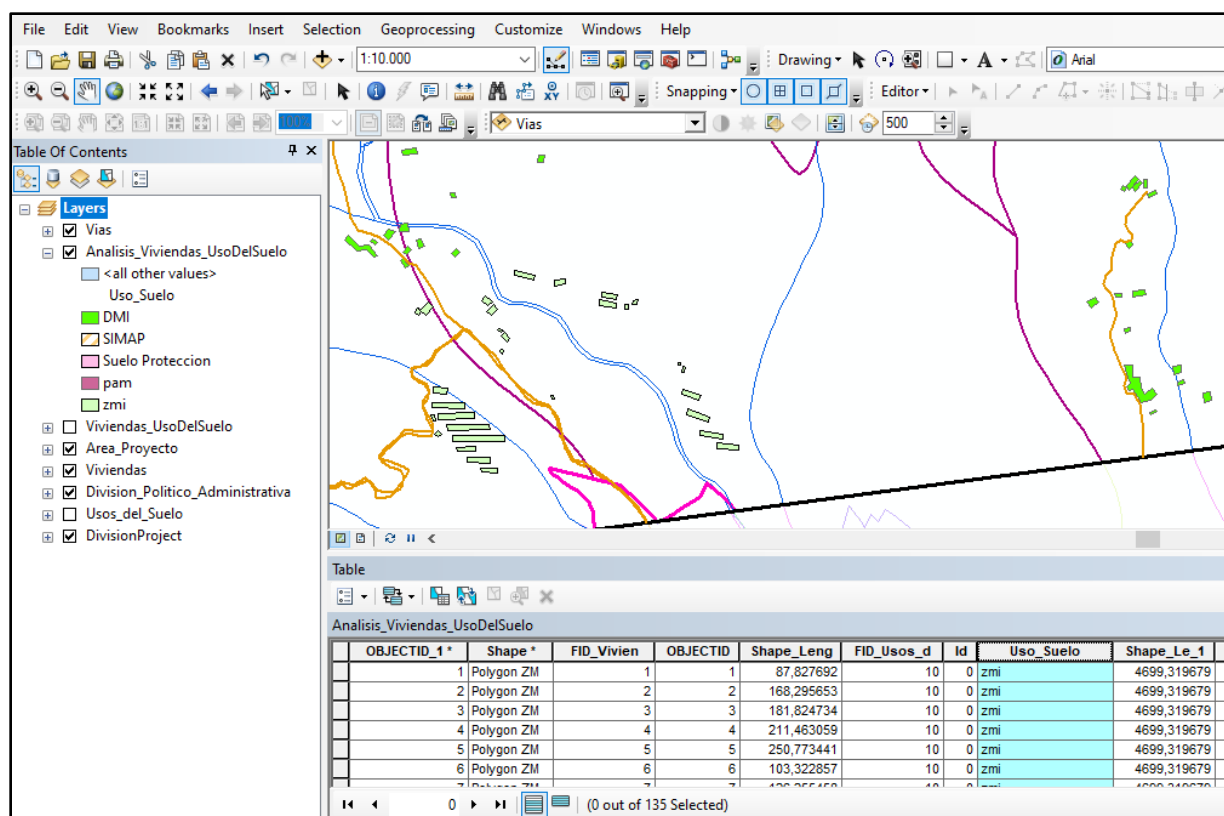


Figura 25. Análisis Crecimiento rural - Uso del suelo. Elaboración propia. ArcGIS 10.7.1.

6. RESULTADOS

Con la aplicación del diseño metodológico para la realización del análisis del crecimiento rural y su relación con el uso del suelo y el riesgo de amenaza por remoción en masa a través de las herramientas SIG en la zona noroccidental del municipio de Ibagué, se generaron una serie de resultados buscando cumplir los objetivos planteados.

Estos resultados son:

6.1 MAPA ÁREA DE INFLUENCIA

Con el propósito de generar un mapa base del área de estudio, se acudió a distintos procesamiento de los datos para obtener la información necesaria. Para esto, se usaron los mapas

R1 División Político Administrativa y R4 Infraestructura y Equipamientos obtenidos del Plan de Ordenamiento Territorial del municipio de Ibagué, los cuales se convirtieron a formato shapefile para seleccionar la información concerniente del sector y se realizó la identificación de las veredas de la zona del proyecto, con lo cual, se calcularon las áreas de cada vereda desde el software ArcGIS 10.7.1, obteniendo la siguiente tabla:

FID	Vereda	Area (Ha)
0	Ambala Sector El Triunfo	108,203565
1	San Antonio - Ambala	139,138773
2	La Palmilla	28,600538
3	La Pedregoza	193,960541
4	Calamdeo	220,094831
5	Chembe	37,462015
6	Bellavista	443,41038
7	Ancon Tesorito Parte Baja	83,76161
8	La Cascada	34,114759
9	Ancon Tesorito Parte Alta	2,832709
10	Ambala Parte Alta	895,079513
11	La Belleza	53,548267
12	Ancon Tesorito Parte Alta	144,559637
13	Carrizales	84,684655

Tabla 5. Áreas de cada vereda para la zona de influencia. Elaboración propia. ArcGIS 10.7.1.

Con esta información y la digitalización y actualización del crecimiento rural y vías veredales del sector con el uso de la imagen satelital SAS Planet usando ArcGIS, se obtiene como elemento de salida el mapa del área de influencia del proyecto:

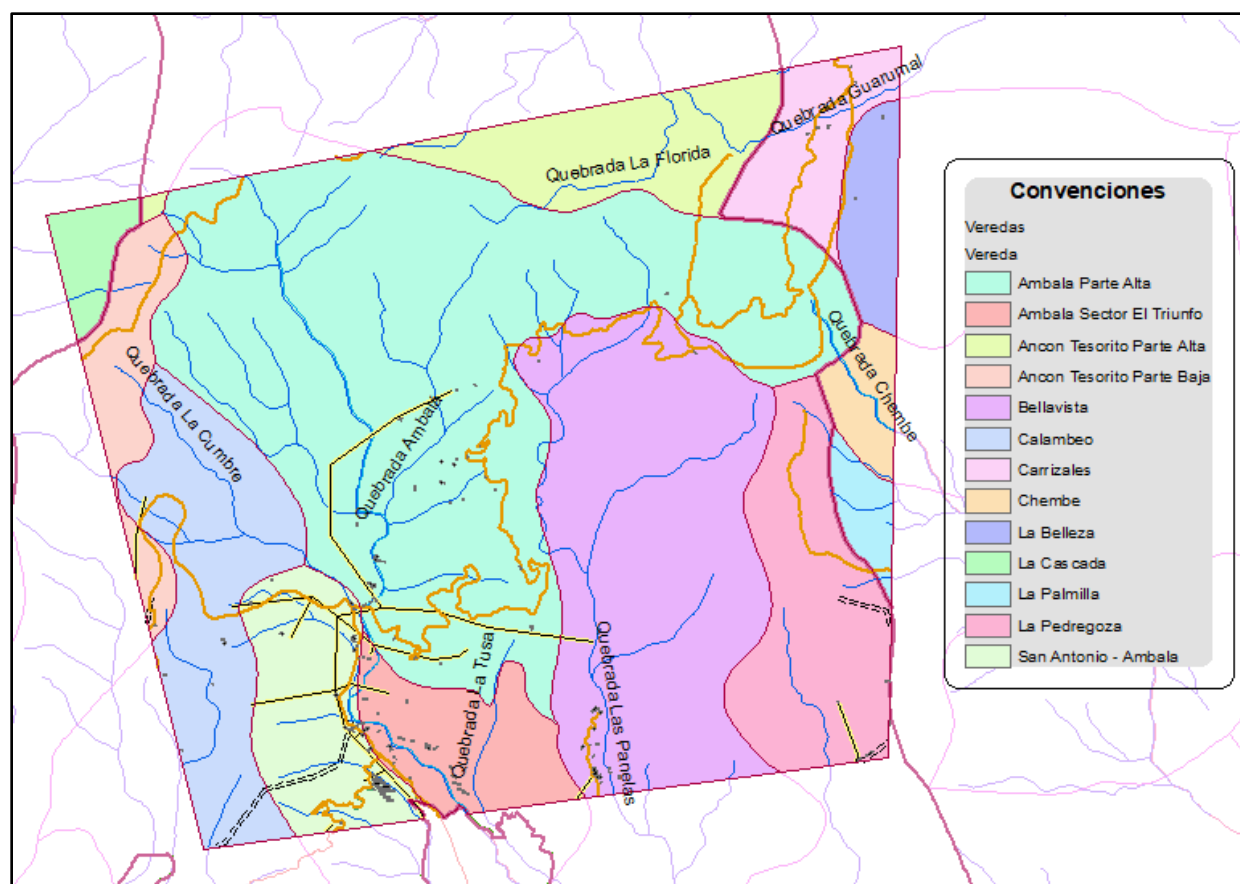


Figura 26. Mapa área de influencia. Elaboración propia. ArcGIS 10.7.1.

Esta información nos permite conocer algunos aspectos del área de estudio para alcanzar una mejor identificación de las condiciones de la zona, como son:

- El área de estudio presenta varios afluentes hídricos como son:
 - Quebrada La Cumbre.
 - Quebrada La Florida.
 - Quebrada Guarumal.
 - Quebrada Ambalá.
 - Quebrada Chembe.
 - Quebrada La Tusa.

- Quebrada Las Panelas.
- Las vías de acceso en su mayoría son carreteras de tercer orden y sin pavimento. Al igual que existen caminos veredales en las mismas condiciones que son de gran importancia para la movilidad de los habitantes del sector.
- Hay un total de 131 edificaciones existentes actualizadas en el sector de influencia.
- La red eléctrica de 13.2 KVA se extiende por la zona donde se encuentran ubicadas la mayoría de viviendas.
- El sector urbano tiene un área de 1.78 hectáreas y el sector rural de 2469.43 hectáreas del

6.2 MAPA ANÁLISIS CRECIMIENTO RURAL - AMENAZA POR REMOCIÓN EN MASA

Los elementos usados para la obtención de este producto, se adquieren del Plan de Ordenamiento Territorial y su mapa *R5 – Amenaza por remoción en masa* convertido en ArcGIS a formato shapefile para adquirir las clases de amenazas por remoción en masa presentes en el sector de influencia. Además, es necesaria la digitalización del crecimiento rural del área de estudio generado de la imagen satelital SAS Planet.

Con estas fuentes de datos se realiza el análisis de la relación *Viviendas - Amenaza por remoción en masa*, empleando la herramienta 3D Analyst de ArcGIS 10.7.1, la cual mediante la función Identity permite a partir de la superposición de capas obtener atributos de esas entidades, en una nueva capa y una única tabla de atributos que muestra las clases de amenazas a la cual se encuentran expuestas las 131 edificaciones existentes en la zona de estudio. Con este análisis se obtiene:

	N° de viviendas
Un tipo de Amenaza por remoción en masa	108
Dos tipos de Amenaza por remoción en masa	23

Tabla 6. Viviendas según la cantidad de tipos de amenazas por remoción en masa. Elaboración propia.

Teniendo en cuenta que 23 viviendas tienen dos tipos de clases de amenaza por remoción en masa debido a la variación constante de las áreas que demarcan dicha amenaza, se elige en cada una de ellas la categoría más representativa.

A partir de esto, se realiza el recuento total de las viviendas discriminadas según su categoría de amenaza por remoción en masa, arrojando:

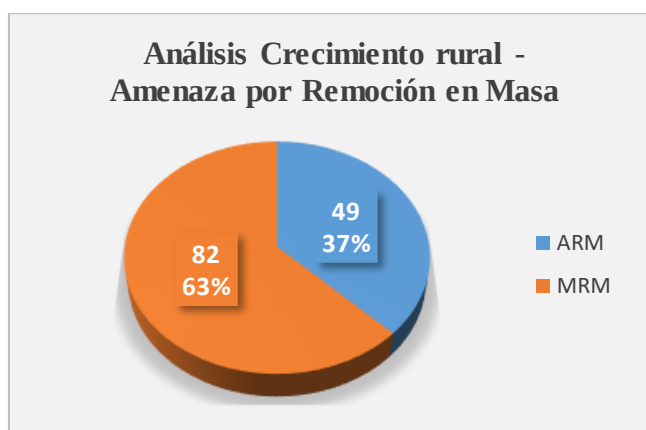


Figura 27. Análisis Crecimiento rural - Amenaza por remoción en masa. Elaboración propia.

Con este resultado, se identifica el riesgo de amenaza por remoción en masa al cual se encuentran expuestas las 131 viviendas que componen la población rural del estudio:

- El 37% de las viviendas tienen un nivel de riesgo Alto de Amenaza por Remoción en Masa – ARM.

- El 63% de las viviendas se encuentran en zonas de nivel de riesgo Medio de Amenaza por Remoción en Masa – MRM.
- El nivel de riesgo Bajo de Amenaza por Remoción en Masa – BRM no está presente en esta zona de estudio.

6.3 MAPA ANÁLISIS CRECIMIENTO RURAL - USO DEL SUELO

Para generar esta salida, se emplea el mapa *R2 – Usos del Suelo* tomado del Plan de Ordenamiento Territorial y convertido a formato shapefile para procesar los diferentes usos de suelos presentes en el sector de estudio. También, se utiliza la capa generada a partir de la digitalización del crecimiento rural del área de estudio de la imagen satelital SAS Planet.

Con esta información y el análisis de la relación *Viviendas – Usos del suelo* generado en ArcGIS 10.7.1, se crea una capa y una única tabla de atributos que expone sobre qué clase de suelo se encuentra construida cada una de las 131 viviendas existentes en la zona de estudio.

Al analizar esta información se evidencia que 4 viviendas tienen un doble uso del suelo, y por ello, se elige en cada una el que presenta mayor cobertura. A partir de esto se deduce:

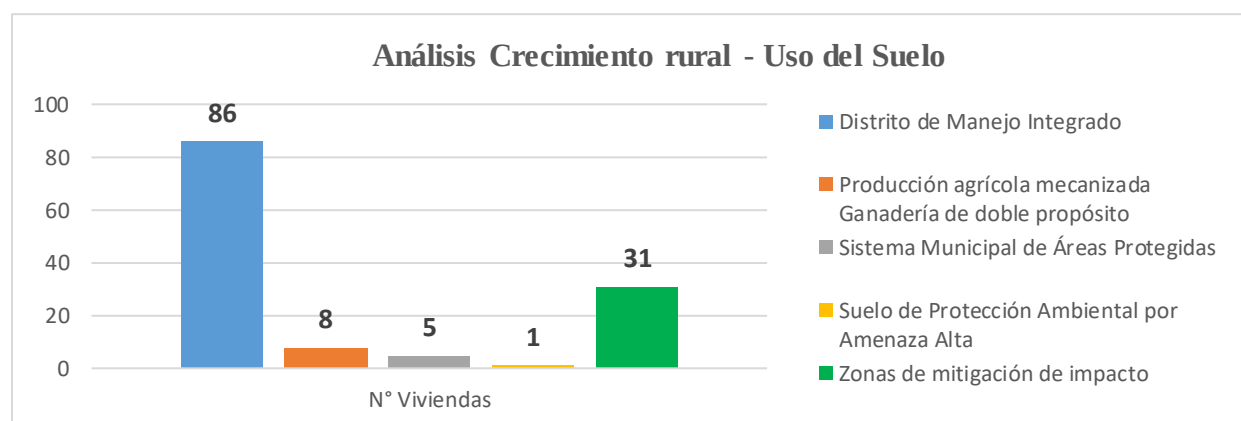


Figura 28. Análisis Crecimiento rural – Uso del Suelo. Elaboración propia.

- De las viviendas analizadas el 65.6% se encuentran en suelos destinados al *Distrito de Manejo Integrado - DMI*.
- El 6.1% de las viviendas en estudio se hallan en suelos destinados a la *Producción Agrícola Mecanizada, ganadería de doble propósito - pam*.
- Se tiene un 3.8% de viviendas en suelos del *Sistema Municipal de Áreas Protegidas – SIMAP*.
- En el *Suelo de Protección Ambiental por Amenaza Alta*, se tiene el 0.8% de las viviendas analizadas.
- En las *Zonas de Mitigación de Impacto – zmi*, hay 23.7% de las viviendas presentes en la zona de estudio.

Al determinar el área total para la zona de estudio de cada uno de estos usos del suelo y realizar una comparación con el área de las viviendas agrupadas por cada uso del suelo y, se tiene la siguiente información:

Uso del Suelo	Área Total (Ha)	Área de las Viviendas (Ha)
DMI	808.33	1.86
pam	141.09	0.12
SIMAP	753.92	0.06
Suelo Protección	479.06	0.01
zmi	93.31	1.19

Tabla 7. Área total y de viviendas para cada uso del suelo. Elaboración propia.

Con esto, se halla el porcentaje del área total afectado por la construcción de las viviendas en cada categoría de uso del suelo:

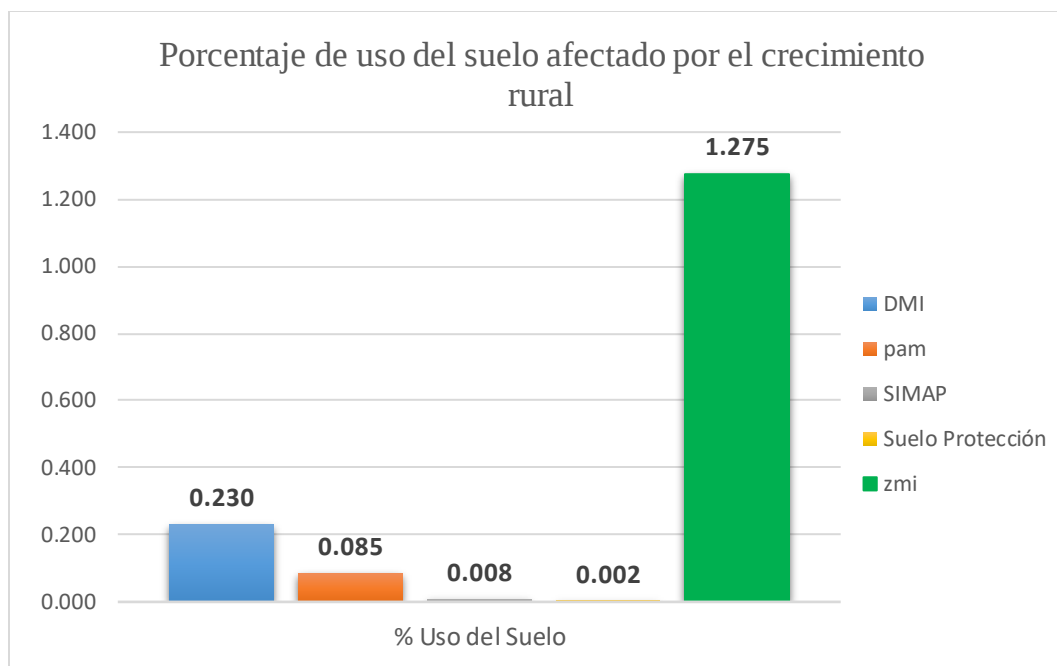


Figura 29. Porcentaje de uso del suelo afectado por el crecimiento rural. Elaboración propia. ArcGIS 10.7.1.

Estos porcentajes obedecen a cifras bajas donde solo una de ellas supera el 1% de afectación causado por la construcción de las viviendas a las áreas determinadas para cada uso del suelo.

7. PLANIFICACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

Los mapas generados a partir de este análisis muestran la información final obtenida a través del procesamiento realizado con herramientas SIG, para este caso del software ArcGIS 10.7.1. Estos productos son:

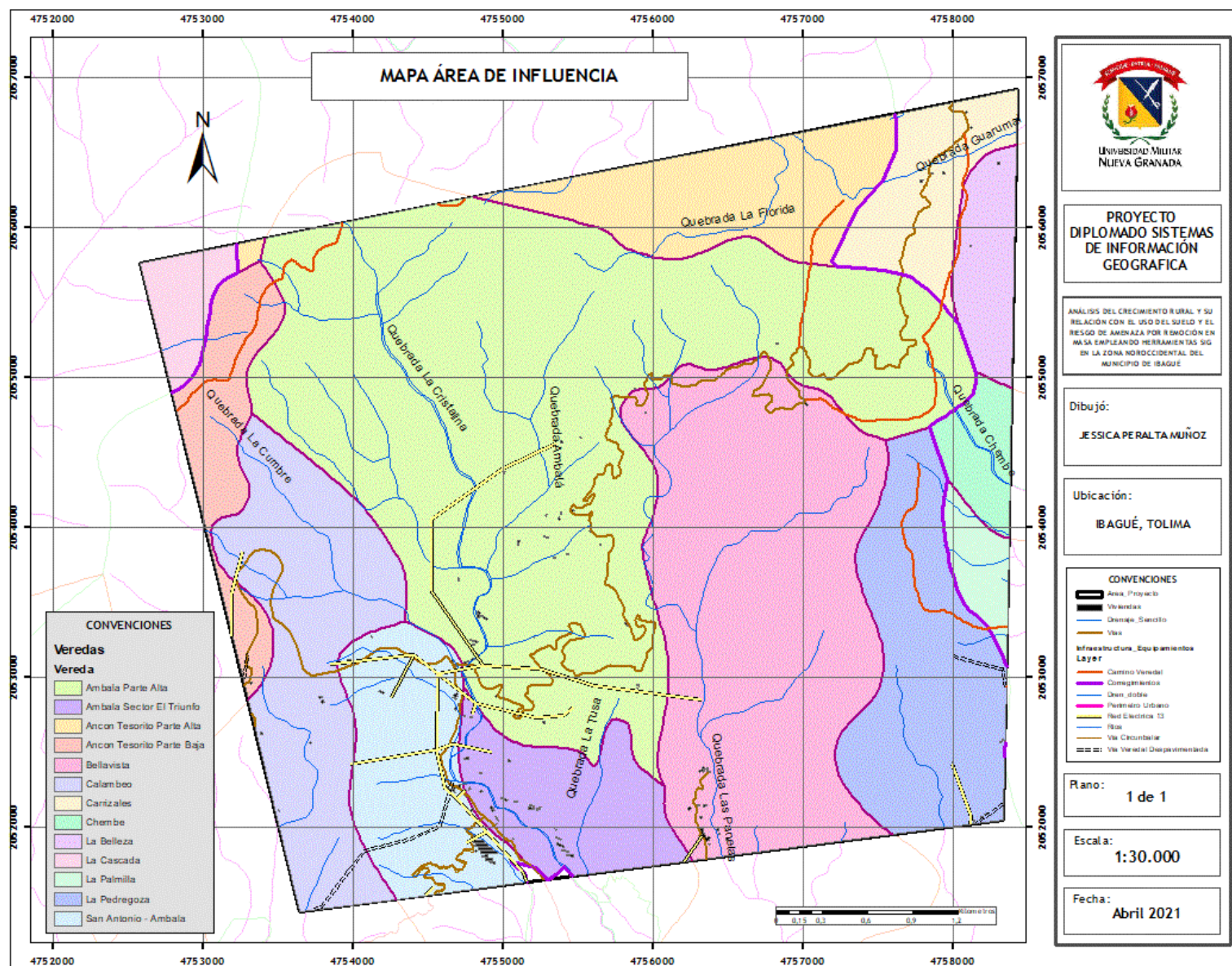


Figura 30. Mapa Área de Influencia. Elaboración propia. ArcGIS 10.7.1.

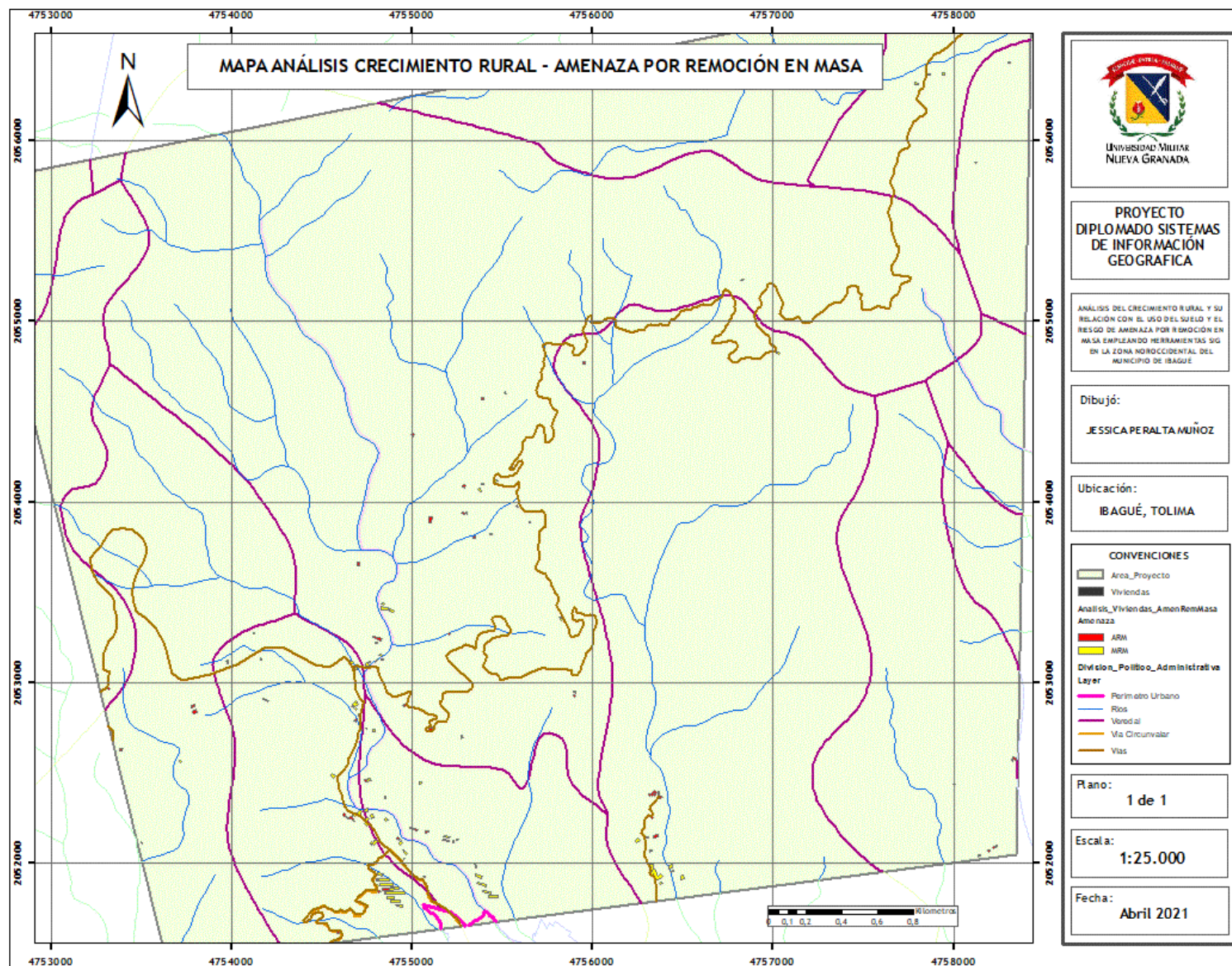


Figura 31. Mapa Crecimiento Rural - Amenaza por Remoción en Masa. Elaboración propia. ArcGIS 10.7.1.

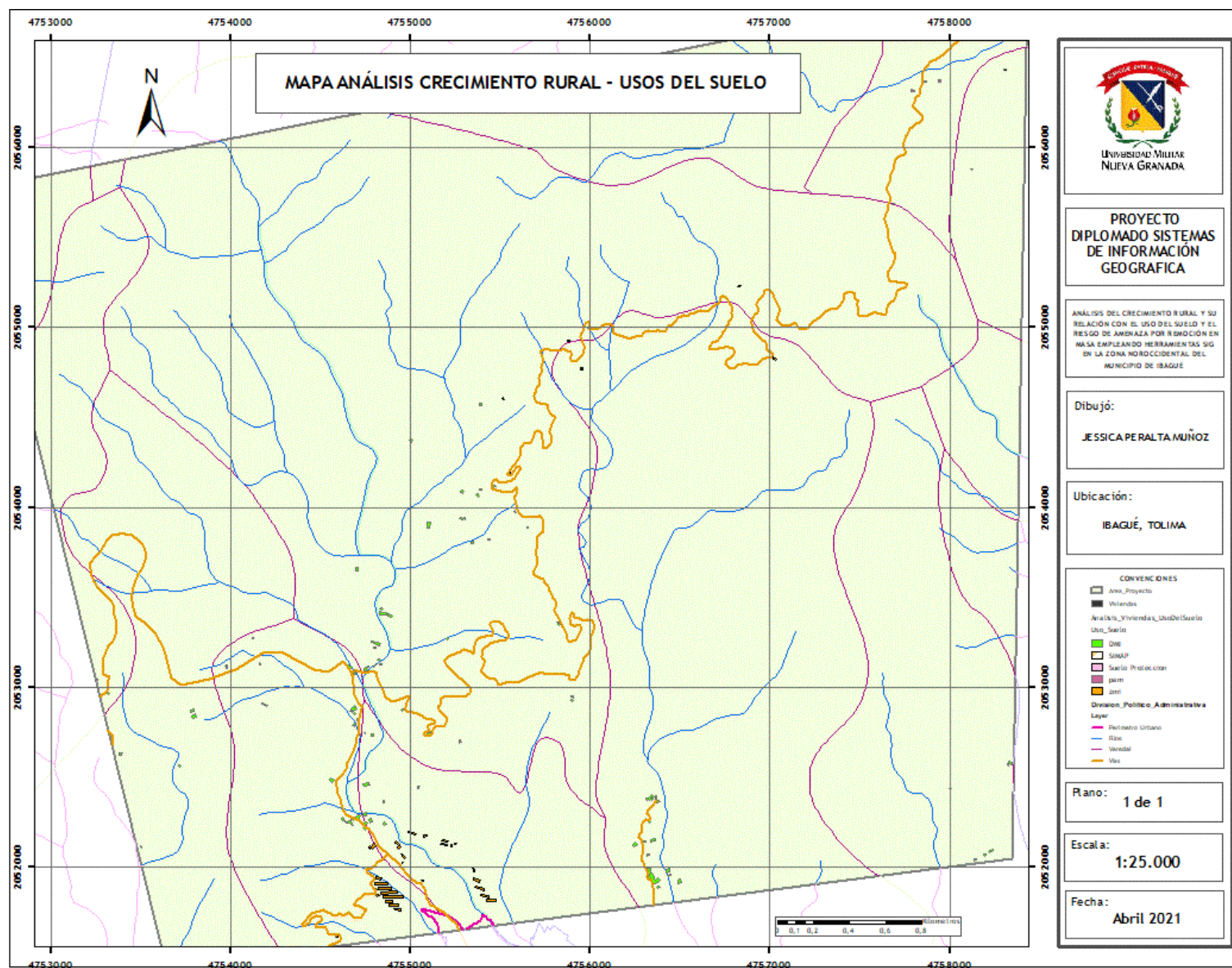


Figura 32. Mapa Crecimiento Rural - Usos del Suelo. Elaboración propia. ArcGIS 10.7.1.

8. IMPACTO

En este proyecto se tienen algunos impactos a corto plazo, como es la sensibilización de la población al conocer el riesgo potencial que tienen sus viviendas de sufrir una amenaza por remoción en masa y conocer sobre si el uso del suelo donde se encuentran estas construidas es apto para su función. Además, se ve afectada la calidad de vida de los habitantes, el desarrollo sostenible y el bienestar de toda la comunidad.

Otros impactos a mediano y largo plazo son la adopción de medidas de conservación ambiental por parte de la comunidad y las organizaciones pertinentes para garantizar el buen desarrollo de los suelos, la generación de conciencia sobre la expansión responsable del territorio a través del conocimiento de temas como el uso de los suelos y la amenaza por remoción en masa, y el monitoreo de estos suelos para vigilar su comportamiento.

9. CONCLUSIONES

En este trabajo se emplearon las herramientas SIG, con el propósito de analizar la relación del crecimiento rural con el empleo actual de los suelos e identificar la clase de amenaza por remoción en masa a la cual se encuentra expuesta la población rural de la zona noroccidental del municipio de Ibagué.

Con este objetivo se implementó el uso de la información disponible en el Plan de Ordenamiento Territorial del municipio de Ibagué, como fuente acreditada y vigente, que otorgó información en formato DWG al proyecto, al no encontrarse como conjunto de datos abiertos a

disposición libre y de forma digital en formato shapefile para facilitar el manejo y beneficio de esta información útil para este estudio. Es importante que las entidades encargadas de administrar y validar esta información la compartan abiertamente en distintas extensiones ya que son documentos valiosos de consulta para todos los habitantes.

Conforme al diseño metodológico y al análisis de la información realizado en el programa ArcGIS 10.7.1 se puede establecer que el 37% de las viviendas de la zona de estudio tienen un nivel de riesgo Alto de Amenaza por Remoción en Masa – ARM, lo cual es considerado grave por el daño que esto puede causar a los habitantes y a sus viviendas por la vulnerabilidad muy alta o alta de estos terrenos a sufrir fenómenos de inestabilidad de laderas. El otro 63% de las edificaciones se encuentran en zonas de nivel de riesgo Medio de Amenaza por Remoción en Masa – MRM, cuya vulnerabilidad es media a presentar caídas de grandes masas, flujo de detritos y deslizamientos que puedan igualmente causar daños potenciales a la vida y bienes materiales de las personas.

Este resultado obtenido de la superposición de capas, evidencia que se viene desarrollando un crecimiento rural peligroso e inadecuado en esta zona noroccidental del municipio de Ibagué, donde el sector está en constante amenaza a que ocurran movimientos del terreno de forma lenta o súbita y existe a su vez una alta vulnerabilidad de la población que habita estas viviendas.

El riesgo de amenaza por remoción en masa al ser un fenómeno natural ligado a procesos geodinámicos y/o hidrometereológicos del planeta no se puede evitar, por lo tanto, la forma de reducir este riesgo es actuando directamente sobre la vulnerabilidad de los elementos expuestos, es decir mediante medidas estructurales como rectificaciones geométricas (terraceo, etc.), elementos de drenaje, elementos estructurales de refuerzo (pilotes, anclajes, etc.), muros de contención, protección superficial (mallas metálicas, concreto lanzado, vegetación, etc.); también

con medidas instrumentales como instalación de monitoreos de Sistemas de Alerta Temprana (inclinómetros, sismógrafos, puntos topográficos, etc.); y medidas no estructurales como la difusión de información, divulgación y capacitación a la comunidad, y la intervención del Sistema de Gestión del Riesgo a nivel local, regional y departamental.

Por otra parte, con la relación crecimiento rural – uso del suelo, se evidencia que un total del 95.4% de las viviendas están construidas en las zonas de *Distrito de Manejo Integrado – DMI*, *Producción Agrícola Mecanizada, ganadería de doble propósito – pam* y *Zonas de Mitigación de Impacto – zmi*, que presentan un uso compatible para este fin campestre, cumpliéndose en estas áreas el uso del suelo expresado en el Plan de Ordenamiento Territorial del municipio de Ibagué. Pero se tiene que para el 4.6% que obedece a 6 viviendas, estas se encuentran en zonas prohibidas para este propósito por ser sectores de amenaza y riesgo o por prestar un alto servicio ecosistémico, donde solo se promueve la protección ambiental. Cabe resaltar que estas viviendas pueden pertenecer a organizaciones protectoras del medio ambiente o a personas que resguarden estas actividades, para lo cual se necesitaría realizar un trabajo de campo que visite estas zonas y defina su procedencia.

Esta información es útil para que las entidades ambientales y gubernamentales revisen el cumplimiento de sus lineamientos de desarrollo y protección de la población aplicando sus procesos de divulgación, reducción y manejo de desastres; y a su vez, permitir conservar los recursos naturales a través del resguardo biológico. También, para revisar estas zonas habitadas y realizar los debidos monitoreos a través de las entidades de gestión del riesgo. Y replicar este mismo análisis en zonas donde se evidencie crecimiento poblacional.

Para realizar una mayor comprensión de este análisis y continuar con su debate, es indispensable apoyar esté a un trabajo de campo del área social, técnica, ambiental y de seguridad que visite cada

una de estas viviendas y determine sus condiciones propias y las del ambiente que las rodea, y de esta forma incrementar los datos y disponer de medidas de tipo correctivo, prospectivo o restrictivo que actúen de forma certera.

De lo anterior se puede concluir que el uso de las herramientas SIG como el software ArcGIS con sus múltiples funciones de procesamiento y análisis, las imágenes multibanda de sensores pasivos y las imágenes satelitales, constituyen un medio óptimo para la actualización y creación de información útil para la evaluación de situaciones e implementación de soluciones civiles y ambientales que promuevan la mitigación del riesgo para la población y la protección de un ambiente sano.

10. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Alcaldía Municipal de Ibagué. (2014). *Decreto 1000-0823 del 2014 Plan de Ordenamiento Territorial*. Ibagué.
- Alcaldía Municipal de Ibagué. (2021). *Ibagué Ciudad Musical*. Disponible en <https://ibague.gov.co/portal/seccion/contenido/index.php?type=3&cnt=53>.
- ArcGIS. (2021). *ArcGIS*. Disponible en <https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-pro/overview>.
- ArcGIS Desktop. (2021). *ArcMAP*. Disponible en <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/>.
- Centro de Información Municipal Para la Planeación Participativa. (2019). *Aspectos generales*. Disponible en <http://cimpp.ibague.gov.co/aspectos-generales/#1508515653090-7aee29b9-f349>. Ibagué.
- Cuanalo O., Gallardo R. (2016). *Fenómenos de remoción en masa. Acciones para reducir la vulnerabilidad y el riesgo*. Vector 11 (2016) 30-38. Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña. Disponible en http://vector.ucaldas.edu.co/downloads/Vector11_5.pdf.
- Curaduría Urbana Uno de Ibagué. (2021). *Cartografía DWG – Decreto 1000 823 de 2014*. Disponible en <https://www.curaduriaunoibague.com/cartografia-dwg.php>.
- Curaduría Urbana Uno de Ibagué. (2021). *Plan de Ordenamiento Territorial, Decreto 1000 823 de 2014*. Disponible en <https://www.curaduriaunoibague.com/cartografia.php>.
- ESRI. (2021). *ArcGIS Blog - Band Combinations for Landsat 8*. Disponible en <https://www.esri.com/arcgis-blog/products/product/imagery/band-combinations-for-landsat-8/>.
- Google Earth. (2021). *Descargar Earth Pro para ordenadores*. Disponible en <https://www.google.com/intl/es/earth/versions/>.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi - IGAC. (2012). *Conflictos de uso del territorio colombiano*. Escala 1:100.000. Bogotá D.C. (Colombia).
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi - IGAC. (1992). *Decreto 2113 de 1992*. Disponible en <https://www.igac.gov.co/es/contenido/decreto-2113-de-1992>.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi - IGAC. (2020). *Las nuevas especificaciones técnicas para la cartografía oficial de Colombia*. Disponible en <https://www.igac.gov.co/es/noticias/las-nuevas-especificaciones-tecnicas-para-la-cartografia-oficial-de-colombia#:~:text=La%20Resoluci%C3%B3n%20471%20de%202020%20tambi%C3%A9n>.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi - IGAC. (2020). *Resolución 471 de 2020*. Disponible en <https://igac.gov.co/es/contenido/resolucion-471-de-2020?fbclid=IwAR0PreyEqdtd3fscD5eaH47zckEFjqFmks3oq1CHg7LsmynQNjHBoM>

PmPg%20establece%20un%20sistema%20de,la%20informaci%C3%B3n%20cartogr%C3%A1fica%20del%20pa%C3%ADs.

MappingGIS. (2021). *Combinación de bandas en imágenes de satélite Landsat y Sentinel*. Disponible en <https://mappinggis.com/2019/05/combinaciones-de-bandas-en-imagenes-de-satelite-landsat-y-sentinel/>.

MappingGIS. (2021). *SAS Planet: descarga imágenes de Google, Bing, etc.* Disponible en <https://mappinggis.com/2014/09/como-descargar-imagenes-de-google-bing-etc/>.

MappingGIS. (2021). *SAS Plante: descarga imágenes de Google, Bing, etc.* Disponible en <https://mappinggis.com/2014/09/como-descargar-imagenes-de-google-bing-etc/>.

SASGIS Mapeo y navegación web. (2021). *SAS Planet*. Disponible en <http://www.sasgis.org/sasplaneta/>.

SIGSA. (2021). *Plataforma ArcGIS*. Disponible en <https://www.sigsa.info/productos/esri/plataforma-arcgis>.

U. S. Geological Survey - USGS. (2021). *Earth Explorer*. Disponible en <https://www.usgs.gov/science-support/osqi/yes/resources-teachers/earth-explorer>.