

**Evaluación de la amenaza sísmica y de la amenaza por movimientos en masa tomando en cuenta el factor detonante sismo a partir de la evaluación de la actividad sísmica registrada entre los años 1993 y 2018 en el casco urbano del municipio de Túquerres, Nariño**

**Luis Javier Leon Cardenas**

**UNIVERSIDAD DE CALDAS  
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES  
PROGRAMA DE GEOLOGÍA  
MANIZALES  
2021**

**Evaluación de la amenaza sísmica y de la amenaza por movimientos en masa tomando en cuenta el factor detonante sismo a partir de la evaluación de la actividad sísmica registrada entre los años 1993 y 2018 en el casco urbano del municipio de Túquerres, Nariño**

**Luis Javier León Cárdenas.**

**Trabajo de grado para obtener el título de Geólogo  
Modalidad práctica profesional en Alcaldía municipal de Túquerres**

**Asesor Académico**

**Santiago Cano Bedoya – Geólogo, Ingeniero Civil, Esp Geotecnia.**

**Asesor Institucional**

**Julio Andrés Mora Chávez – Ingeniero AgroForestal**

**UNIVERSIDAD DE CALDAS  
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES  
PROGRAMA DE GEOLOGÍA  
MANIZALES  
2021**

Nota de aceptación:

APROBADO

---

---

---

---

---

Santiago Cano B.

---

Director de trabajo de grado

## Contenido

<b>Resumen</b> .....	6
<b>Introducción</b> .....	8
<b>Reseña Histórica</b> .....	12
<b>1. Objetivos</b> .....	15
<b>2. Localización</b> .....	16
<b>3. Marco Geológico</b> .....	17
<b>3.1 Geología regional</b> .....	17
<b>3.2 Geología Local</b> .....	19
<b>3.3 Geomorfología</b> .....	26
<b>3.4 Hidrología</b> .....	31
<b>3.4.1 Cuenca Hidrografica río Guáitara</b> .....	31
<b>3.4.2 Microcuenca el Recreo:</b> .....	32
<b>3.4.3 Humedad Relativa</b> .....	33
<b>3.4.4 Cuerpos de Agua</b> .....	34
<b>4. Marco Teórico</b> .....	35
<b>5. Metodología</b> .....	38
<b>5.1 Fase I</b> .....	38
<b>5.1.1.1 Descripción de Muestras</b> .....	51
<b>5.1.2 Trabajo de campo para mapa geomorfológico escala 1:2000</b> .....	54
<b>5.1.3 Trabajo de campo para el Mapa de movimientos en masa del casco urbano del municipio de Túquerres escala 1:2000</b> .....	59
<b>5.2 Fase II</b> .....	62
<b>5.2.1 Parametrización de los datos sísmicos recolectados a partir de las bases de datos del servicio geológico colombiano.</b> .....	62
<b>5.2.2 Cálculo y ubicación del sismo de diseño a partir de la base de datos del SGC</b> .....	64
<b>5.2.3 Aplicación de las leyes de atenuación a los sismos de diseño con respecto al municipio de Túquerres.</b> .....	67
<b>5.2.4 Digitalización del Mapa de amenaza sísmica del municipio de Túquerres a partir de las isoaceleraciones</b> .....	70
<b>5.2.5 Aplicación del método heurístico</b> .....	74
<b>5.2.5.1 Aplicación del método heurístico para susceptibilidad de movimientos en masa en el casco urbano del municipio de Túquerres</b> .....	74
<b>5.2.5.2 Aplicación del método heurístico para la amenaza de movimientos en masa con escenario de sismo en el casco urbano del municipio de Túquerres</b> .....	78

5.2.6 Probabilidad de ocurrencia de al menos un evento sísmico de Magnitud determinada, para un periodo de tiempo de 10 años.....	79
5.2.7 Rasterización de los datos obtenidos a partir del método heurístico en el software ArcMap 10.5 .....	80
<b>6. Resultados Generales .....</b>	<b>82</b>
6.1.1Elaboración del mapa geológico del casco urbano del municipio de Túquerres .....	82
6.1.2 Elaboración de Mapa de unidades geológicas superficiales del casco urbano Municipio de Túquerres.....	84
6.2 Geomorfología del casco urbano del municipio de Túquerres.....	86
6.2.1 Elaboración del Mapa geomorfológico del casco urbano Municipio de Túquerres.....	87
6.3 Elaboración del mapa de movimientos en masa del casco urbano del municipio de Túquerres.....	88
6.4 Elaboración de los mapas de amenaza sísmica del municipio de Túquerres a partir de las fuentes sismogénicas de sismos someros e intermedios .....	89
6.5 Método heurístico a susceptibilidad y amenaza en el casco urbano del municipio de Túquerres.....	91
6.6 Elaboración del mapa de susceptibilidad por movimientos en masa del casco urbano del municipio de Túquerres.....	94
6.7 Elaboración del Mapa de amenaza por movimiento en masa con escenario de sismo del casco urbano del municipio de Túquerres .....	96
<b>Discusión .....</b>	<b>98</b>
<b>Conclusiones Y Recomendaciones .....</b>	<b>100</b>
<b>Referencias Bibliográficas .....</b>	<b>101</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>103</b>

## Resumen

En este trabajo se presenta una propuesta de zonificación a la amenaza sísmica para el municipio de Túquerres, a partir de un catálogo sísmico que se origina en 1993 y finaliza en 2018, este catálogo se obtuvo desde los datos libres que ofrece el servicio geológico colombiano; en primer lugar, se identificó fuentes sismogénicas de mayor influencia para el municipio, esto con la finalidad de evaluar el detonante sísmico en los movimientos en masa del casco urbano del municipio de Túquerres. El trabajo se desarrolló en 2 fases, la fase I se limita al estudio del casco urbano del municipio de Túquerres, consiste en la recopilación de información obtenida en campo, la cual se relaciona con aspectos geológicos y geomorfológicos para la elaboración de los siguientes mapas a escala 1:2000: mapa de unidades geológicas superficiales, mapa geomorfológico (morfo genético y morfodinámico) y mapa geológico, insumos básicos para realizar el mapa de susceptibilidad por movimientos en masa a través del método heurístico, donde se tienen en cuenta los siguientes factores: geología, geomorfología, uso de suelos y distancia a ríos.

La fase II comienza con la parametrización de los datos sísmicos recolectados, posterior a esto en el software Arcmap 10.5 se discriminó fuentes sismogénicas en base a: la profundidad y la magnitud, seguidamente se calculó un sismo de diseño que fue ubicado en las zonas correspondientes a dichas fuentes. La distancia y magnitud del sismo de diseño fueron evaluadas por medio de ecuaciones de atenuación sísmica, las cuales permitieron conocer los diferentes valores de aceleración del terreno, estos fueron representados en mapas de isoaceleraciones que posteriormente se categorizaron según el reglamento colombiano de construcción sismorresistente (NSR-10), el cual establece diferentes niveles de amenaza sísmica que se representan en el insumo final (mapa de amenaza sísmica para el municipio de Túquerres).

Posterior a la elaboración del mapa de amenaza sísmica se aplica el método heurístico de la misma manera como se lo hizo con el mapa de susceptibilidad por movimientos en masa, en este caso incorporando la amenaza sísmica, dando como resultado el mapa de amenaza por movimientos en masa con escenario de sismo.

La Discusión se centra en la poca rigurosidad de las metodologías de trabajo e incluso en la inexistencia de las mismas, estas han sido establecidas por entes científicos o gubernamentales (IGAC), y no han sido aplicadas a los insumos cartográficos realizados por parte de la alcaldía municipal de Túquerres, imposibilitando la formulación de estrategias asertivas que se fundamenten en estudios científicos básicos o detallados por parte de los organismos de control del riesgo.

Se concluye que La configuración geológica específicamente la Tectónica y estructural de la Zona de estudio sumado a las características deficientes de los suelos hace que la amenaza sísmica represente un riesgo para el municipio de Túquerres no solo como amenaza individual, sino que además desencadena otro fenómeno natural y no de menos relevancia como lo son: los movimientos en masa.

## Introducción

Los sismos representan uno de los principales fenómenos naturales que Colombia ha tenido que soportar a lo largo de su historia principalmente en el sistema montañoso que atraviesa gran parte del territorio colombiano, es ahí donde se concentra la mayor cantidad de población y donde ocurren los grandes asentamientos urbanísticos. Estos fenómenos naturales son muy peligrosos y han ocasionado grandes pérdidas económicas y sociales, la severidad del daño depende de la magnitud del sismo. Cabe resaltar que algunos sismos de reducida magnitud han causado daños considerables debido a los diferentes factores característicos de cada región.

Según el Servicio Geológico Colombiano el municipio de Túquerres al igual que el departamento de Nariño se encuentra ubicado en una zona de gran actividad sísmica, producto de la convergencia de placas tectónicas, fallas regionales activas e incluso actividad volcánica que involucra fracturamiento de roca. Los sismos son uno de los principales detonantes de movimientos en masa (SGC), fenómenos causantes de decenas de miles de muertes y billones de dólares en pérdidas económicas alrededor del mundo, para el caso de Colombia algunos ejemplos son los siguientes:

*Tabla 1. Base nacional de deslizamientos inducidos por sismos.*

FECHA	ZONA	ML	DESCRIPCIÓN
1530-09-0	Cumaná, N.E Colombia		Deslizamientos, agrietamientos en el suelo, hundimientos, licuefacción y expulsiones de agua.
1610-02-03	Límite con Venezuela		Grandes deslizamientos en el valle de Bailadores, represamiento del río.
1743-10-18	Fómeque		Varios deslizamientos represaron ríos y bloquearon las carreteras.
1785-07-14	Región central		Deslizamientos represaron el río principal y Magdalena. Deslizamientos alrededor de Santa Fé.
1790-	Barcelona (Quindío),		Un gran deslizamiento genera un lago natural de unos 600 m de perímetro

	San Pedro Alcántar		
1805-06-16	Región central		Deslizamientos de tierra en Bogotá represaron la Quebrada Agua vieja, la cual hace parte del sistema de abastecimiento de agua.
1827-11-16	Regiones del centro y sur		<p>Un deslizamiento de tierra represo el río Cauca cerca de Popayán. El represamiento causó graves daños.</p> <p>En Neiva muchos deslizamientos fueron generados. La Quebrada La Honda fue represada muchos días después se rompió la represa causando la muerte de 161 personas.</p> <p>Grandes deslizamientos en ambos lados del río Suaza en Timaná, formando un lago que falló un mes después produciendo muertes adicionales e inundaciones a lo largo del río Magdalena. Muchos deslizamientos en la zona también fueron reportados.</p>
1834-01-20	Nariño		Sibundoy fue totalmente destruido por un gran deslizamiento.
1875-05-18	Cúcuta		Cúcuta y Villa del Rosario quedaron destruidas. Muchos deslizamientos alrededor de la región.
1906-01-31	Tumaco	8.9	Licuefacción y deslizamientos reportados.
1936-01-09	Nariño		Un deslizamiento de 600 x 500 represo el río Sapuyes y destruyó el pueblo de La Chorrera causando la muerte de 300 personas
1936-08-14	Nariño		Grandes deslizamientos represaron el río Juanambú formando una represa, de al menos 40m

			de altura, la cual se rompió causando la muerte de 18 personas
1947-07-14	Nariño		Muchos deslizamientos, algunos bastante grandes.
1950-07-18	Arboledas Norte de Santander		Cucutilla fue bloqueada por muchos deslizamientos. Muchos deslizamientos dentro del área epicentral.
1962-07-30	Caldas	6.0-6.8	Muchos deslizamientos dentro del área epicentral.
1967-02-09	Huila		Agrietamientos en el suelo y deslizamientos difundidos alrededor del área epicentral. Vías bloqueadas y algunos ríos represados entre ellos los ríos La Ceiba y El Motilón. Expulsiones de agua fueron observadas.
1970-09-26	Bahía Solano	6.5	Muchos deslizamientos en Bahía Solano, Puerto Mutis, El Valle y Mecana. En Bahía Solano se produjo un deslizamiento de 300m el cual causó graves daños en el cementerio, y bloqueo la vía al aeropuerto. Golpes de arenas se observaron.
1979-11-23	Límite con Panamá.	6.5	Muchos deslizamientos a lo largo de las vías de Cali-Buenaventura y Honda – Manizales. Intensas lluvias se consideran que influenciaron al proceso de deslizamientos
1979-12-12	Tumaco	8.0	Muchos colapsos de terraplenes.
1983-03-31	Popayán, Cauca	5.5	Muchos deslizamientos en el área del Alto de Cauca afectaron la estación de energía de Florida I.

*Fuente. Rodríguez, J. A et. al. (1998). Deslizamientos Inducidos por Sismo.*

En el municipio de Túquerres, según las estadísticas de la PMGRD (Plan Municipal de Gestion del Riesgo de Desastres), se tiene que por amenaza de remoción en masa se encuentran afectadas 26,61 hectáreas (SGC). Además, los registros históricos afirman que hubo dos deslizamientos de gran importancia en el municipio de Túquerres hacia los años de 1935 y 1936. El municipio de Túquerres adolece de estudios sobre amenazas y riesgos

en la zona urbana, sin embargo, a pesar de los escasos estudios se han identificado las siguientes áreas como zonas susceptibles a deslizamientos Sector Divino Niño y Los Barrios: El Carmen, El Voladero, El Mirador y Barrio El Gólgota.

La remoción en masa sobre quebradas constituye una amenaza para toda la red hídrica del municipio ya que estas se encuentran encañonadas presentando pendientes mayores a 45°, en su mayoría son objeto de intervenciones humanas que dejan desprovista de vegetación las vertientes y por tanto las hacen susceptibles a deslizamientos con acumulación de material de arrastre sobre el cauce de las quebradas, afectando a la población que se encuentre ubicadas aguas abajo.

Aunque la ciencia y la tecnología han avanzado en temas de sismicidad, su estudio y conceptualización representan un gran reto. Debido a la cantidad de variables que involucran las condiciones meteorológicas, geológicas, topográficas y antrópicas es difícil relacionar dos tipos de fenómenos naturales como son los sismos y los deslizamientos. Para Colombia la baja inversión en áreas de investigación dificulta que se mejoren los niveles de respuesta ante futuros deslizamientos detonados por sismos.

Este trabajo es un punto de partida para el estudio del municipio de Túquerres desde una perspectiva geológica, involucrando la sismicidad y la remoción en masa, dos temáticas que sin lugar a duda merecen investigaciones detalladas por el contexto y el riesgo que han representado a lo largo de la historia y actualidad del municipio, además constituyen una herramienta básica para el plan de gestión del riesgo municipal de desastres (PMGRD), la estrategia municipal de respuesta a la emergencia (EMRE) y el plan de desarrollo municipal (PMD), esto en materia de planificación territorial y futura expansión de Túquerres.

## Reseña Histórica

Históricamente en el departamento de Nariño se han registrado sismos de alta magnitud e intensidad. Entre los que se destacan está el de Tumaco en 1906 considerado el tercer sismo más fuerte en la historia mundial, con una magnitud de 8.5 en la escala de Richter. El municipio de Túquerres ha sido víctima de importantes sismos que han dejado cuantiosas pérdidas económicas y un registro no oficial de muertes, desde su fundación.

Figura 1. Portada del periódico “La Patria” donde se describe la tragedia ocasionada por el sismo de 1935 y sus réplicas en el municipio de Túquerres.



Figura 2 y 3. Tomadas de página de Facebook, donde se muestra el colapso de 2 de las iglesias más emblemáticas del municipio de Túquerres tras los sismos de 1935 y 1936.



## SISMOS, PROVINCIAS DEL SUR Y PERSONAJES

Según la Red Sismológica Nacional de Colombia e INGEOMINAS, el Departamento de Nariño ha sido afectado de forma severa por sismos, cuyo origen está relacionado con las estructuras geológicas presentes, que en términos generales se pueden agrupar así:

1. Asociados a la zona de subducción (1906, 1958, 1979); han registrado alta magnitud, destrucción significativa tanto en el litoral como en la parte andina y se acompañan de efectos secundarios como licuación de suelos y tsunamis.
2. Asociados al relieve andino, los sismos del altiplano nariñense cuyas estructuras se agrupan como fallas del Sistema Cauca-Romeral (1923, 1933, 1935, 1936, 1947, 1953); se presentan con alta frecuencia. Aunque son de magnitud moderada entre 5 y 6, son superficiales y causan destrucción local.
3. Asociados también al relieve andino, al lado oriental del departamento se encuentran unas fallas del Sistema Afiladores-Sibundoy (1834); el único registro histórico señala que fue un sismo de gran magnitud, que alcanzó a causar destrucción en varios municipios de Nariño, Pasto en particular, Putumayo y Cauca, así como efectos secundarios significativos (grandes deslizamientos).
4. Las repercusiones de estos eventos han sido importantes, no sólo porque han causada destrucción, sino también porque han dejado un número considerable de víctimas, han generado traslado y migración de población, cambios en el paisaje en pérdidas económicas, entre otras. (Ponce, 2013, p.40)

En el municipio de Túquerres se originó un deslizamiento en un punto conocido como la chorrera en el cual murieron cerca de 200 personas y se sepultó el caserío en el que vivían, esto tras el sismo de 1936.

En referencia al deslizamiento en "La Chorrera", escribe el padre Ramírez:

La comisión investigadora enviada por el gobierno nacional explicaba la catástrofe de la siguiente manera: el pequeño caserío estaba rodeado por un semicírculo de pequeñas

colinas de 15 a 60 metros de altura y de suave pendiente. Las colinas, lo mismo que el terreno donde se hallaba la población, estaban formadas por material volcánico reciente

y por piedras pizarreñas. El material volcánico se saturó de agua y las piedras porosas aumentaron en volumen y peso, por lo cual su fuerza de resistencia disminuyó. Un ligero movimiento era más que suficiente para causar el derrumbe y poner todo aquel

material saturado y debilitado en un nuevo estado de equilibrio". (Ponce, 2013,p.52)

*Figura 4. Imagen recopilada de algún periódico local en donde se retrata a los sobrevivientes del deslizamiento asociado al sismo de 1936*



*Figura 5, 6 y 7. Fotos tomadas después de que sucediera el sismo de 1936 en el punto conocido como la chorrera*



## **1. Objetivos**

### **1.1 Objetivo General:**

Evaluar la amenaza sísmica y la amenaza por movimientos en masa tomando en cuenta el factor detonante sismo a partir de la evaluación de la actividad sísmica registrada entre los años 1993 y 2018 en el casco urbano del municipio de Túquerres, Nariño

### **1.2 Objetivos Especificos.**

- Identificar fuentes sismogénicas a partir de las bases de datos del servicio geológico colombiano.
- Elaborar mapa de amenaza sísmica para el municipio de Túquerres empleando las leyes de atenuación y teniendo en cuenta la normatividad vigente.
- Elaborar a partir de datos recolectados en campo: mapa de unidades geológicas superficiales y mapa geomorfológico del casco urbano del municipio de Túquerres.
- Elaborar el mapa de amenaza por movimientos en masa a partir del método heurístico.

## 2. Localización

El municipio de Túquerres se ubica en el departamento de Nariño – Colombia, en lo que se denomina el altiplano nariñense, a 70 kilómetros de la capital del departamento San Juan de Pasto y al pie del volcán Azufreal, es la cabecera municipal con más de 10.000 habitantes más alta del país, situándose a unos 3070 msnm.

Figura 8. Localización Municipio de Túquerres



Fuente: elaboración propia a partir de datos recolectados.

### 3. Marco Geológico

#### 3.1 Geología regional

La zona de estudio está localizada en el sector suroccidental de Colombia sobre la región andina, está constituida por rocas con edades que van desde el Mesozoico hasta el Holoceno, de composiciones volcánicas y sedimentarias principalmente. Según Murcia et al. (1986) a partir del Jurásico- Cretácico, se acrecionan al continente suramericano secuencias volcano-sedimentarias de afinidad oceánica, por procesos de subducción y obducción continuos, cuyos mayores efectos se producen en el límite Cretácico- Cenozoico, cuando se finaliza la acreción de la cordillera occidental y se produce el metamorfismo dinámico. Como lo manifiesta MMAJ-JICA (1981, 1982) y Geominas (1982) las litologías presentes en la zona son las siguientes: **El Grupo Diabásico (K2db)** constituido por rocas basálticas y diabásicas masivas y con estructuras almohadilladas, con microgabros relacionados e intercalaciones tobáceas y de sedimentitas silíceas. **El Grupo Dagua (Kmsv)** conformado por sedimentitas marinas e intercalaciones de vulcanitas básicas afectados por metamorfismo dinámico y localmente por eventos térmicos relacionados a la intrusión de plutones epizonales de edad cenozoica.

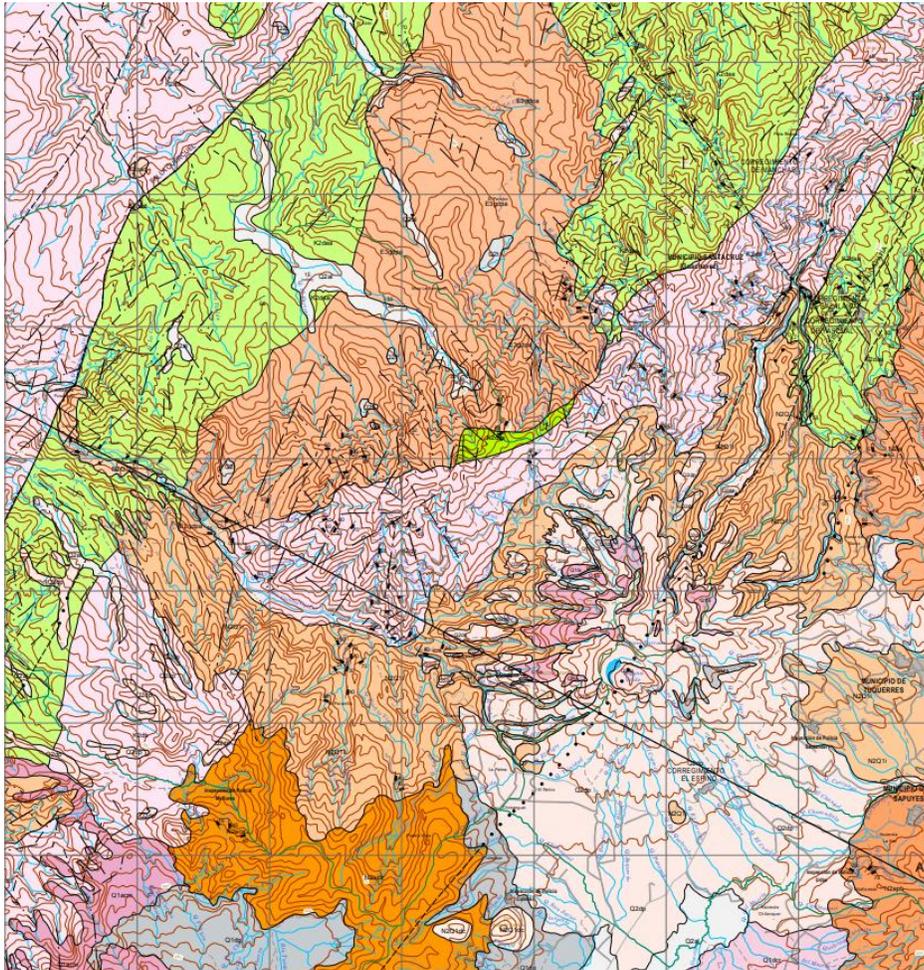
Según Groose et al (1935) un cuerpo plutónico localizado en el municipio de Mallama conocido como la **Granodiorita de Piedrancha (E3gdpa)** de edad paleogena y que intruye a los grupos Diabásico y Dagua. Este pluton forma un cuerpo en dirección noreste, paralelo a las estructuras regionales en este sector de la Cordillera Occidental. Además de la granodiorita de Piedrancha hay otros plutones hipoabisales andesíticos a dacíticos, con mineralizaciones de oro asociados a sulfuros en las áreas de Bombona y el Diamante y que según MMAJ-JICA (1981, 1982) y Geominas (1982) todos estos cuerpos plutónicos se encuentran cubiertos localmente por depósitos ignimbríticos, lávicos y laháricos del Neógeno superior - Pleistoceno y por depósitos piroclásticos del Holoceno.

Según Geominas (1982) La actividad volcánica del holoceno esta directamente relacionada a la evolución geológica del altiplano Nariñense la cual comienza con derrames lávicos de composición andesítica pasando por una actividad explosiva Riodacítica asociada con el emplazamiento de un complejo de domos y que finaliza con

la generación de depósitos piroclásticos que recubren las rocas mas antiguas de la cordillera occidental y que constituyen el basamento del volcán Azufral encubriendo las evidencias de las glaciaciones que afectaron la región.

Según Murcia et al. (1986) la geología estructural se ve dominada por megafallas que dieron lugar a depresiones interandinas y cordilleras andinas durante la orogenia andina siendo su punto más álgido en el Mioceno medio. Según MMAJ-JICA (1981, 1982) y Geominas (1982) en la actualidad la región es compleja, predominan fallas con un alto ángulo de dirección norte-noreste y con una relevante deformación sobre la cordillera occidental ocasionada por un proceso continuo de acreción ocasionado por la subducción de la placa oceánica.

*Figura 9. Mapa de Geología regional escala 1:100.000 de la zona de estudio.*



*Fuente: Plancha 428 del SGC 2002*

### 3.2 Geología Local

El municipio de Túquerres está fuertemente influenciado por procesos volcánicos y una importante actividad tectónica. A continuación, se hará una descripción de las unidades presentes en el área de estudio, en orden cronológico, desde las más antiguas hasta las más recientes.

#### **Mesozoico.**

**El Grupo Dagua (Kmsv)** Los afloramientos del Grupo Dagua en Túquerres se sitúan en el corregimiento de Yascual y el corregimiento de las Minas, donde es atravesado por la falla Cauca- Patía. Según Barrero et. al, (1979) está compuesto por rocas metavolcanicas hacia la base y metasedimentarias hacia el techo. La composición de los metabasaltos amigdalares y almohadillados con metamorfismo cataclástico es la siguiente: plagioclasa (andesina), clinopiroxeno, ferroactinolita, epidota, mica blanca, vidrio apatito, clorita, calcita, prehnita, cuarzo y opacos. Las metatobas y metas aglomerados se componen de plagioclasa zonada (labradorita – andesia) que cambian a clorita, sericita, carbonatos y prehnita, minerales maficos alterados a clorita y a carbonatos, prehnita y carbonatos asociados a fracturas, fragmentos de andesitas y basaltos. Las metasedimentitas más abundantes del conjunto son intercalaciones de metalimolitas, metachert y metagrawacas, que a veces alcanzan a desarrollar foliación, las metalimolitas son de color negro a gris verdoso oscuro, con restos de cuarzo, plagioclasa (oligoclasa), minerales arcillosos, clorita, pompellita, prehnita, muscovita, oxidos de hierro y magnetita, el metachert es de color oscuro y textura micro cristalina, las grawacas con ligera foliación se componen de cristalocalstos de plagiocalasa (andesina) levemente sericitizada, clorita, cuarzo micricristalino y de litoclastos de basaltos, esquistos micáceos, andesinas y cuarcitas. El metamorfismo de la secuencia se encuentra en las facies prehnita- pompellita y esquisto verde, posiblemente de tipo barico presión intermedia, baja temperatura, descrito por Miyashiro (1973). Las características petrográficas y faciales permiten inferir que la secuencia se originó por la depositacion de corrientes de turbidez en una fosa oceánica con aporte terrígeno bioquímico y volcánico submarino la edad asignada es de cretácico superior.

**El Grupo Diabásico (K2db)** El término litoestratigráfico de “Grupo Diabásico” ha sido utilizado en el sector meridional de la Cordillera Occidental para agrupar las rocas volcánicas básicas de afinidad oceánica y edad cretácica, y que localmente se intercalan tectónicamente con sedimentitas marinas de edad similar y agrupadas en el denominado “Grupo Dagua”. Teniendo en cuenta la nomenclatura empleada en el mapa geológico de Nariño (Arango & Ponce, 1980) y la continuidad geográfica con las unidades descritas por MMAJ - JICA (1981) y GEOMINAS (1982) en las planchas 409 Las Cruces, 447 Ipiales y 428 Túquerres, se utiliza la misma nomenclatura de Grupo Diabásico, aunque es necesario discutir y precisar su continuidad hacia el Ecuador a través de la Plancha 447 Ipiales y la nomenclatura utilizada en este país para las rocas similares en la Cordillera Occidental (Grupo Macuchi, Grupo El Piñón). Esta unidad aflora en la parte occidental de la plancha a partir de La Calera y hacia el este y noreste constituye el basamento del edificio volcánico del Azufral. Conformando una morfología abrupta altamente disecada, de pendientes fuertes, con cañones profundos y un perfil de meteorización característico definido por saprolito arcilloso de color pardo rojizo a rojo anaranjado que es fácilmente identificable en el terreno. Exposiciones de rocas no meteorizadas de esta unidad y algunas de las cuales por su continuidad pueden servir como secciones de referencia las cuales se encuentran en la carretera Túquerres-Samaniego.

Cenozoico.

**Lavas Andesíticas (N2La)** como lo describe Gonzales et. al (2002) las lavas andesíticas asociadas tanto a la evolución geológica del volcán Azufral o sus antecesores como el volcán Cumbal o centros volcánicos no identificados, en la parte sureste del municipio de Túquerres, aparecen relacionadas a depósitos ignimbríticos, y en muchos casos es difíciles de separar de éstos, puesto que presentan características morfológicas similares y en algunos casos, han sido parcial o totalmente cubiertas por depósitos piroclásticos recientes provenientes del volcán Azufral. Algunas de estas lavas aparecen depositadas discordantemente sobre las ignimbritas a alturas superiores a los 2.600 m, mientras que otras no presentan una relación directa con estos depósitos y

parecen cubrir directamente las rocas basálticas del Grupo Diabásico que constituyen el basamento de los volcanes recientes en el área.

**Depósitos ignimbríticos (N2Q1i)** de acuerdo con Cas & Wright (1993) los Depósitos de flujos piroclásticos, provenientes de antiguas estructuras volcánicas y que por lo general están consolidados, se encuentran rellenando los valles de los ríos Guabo, Güiza, Sapuyes y Pacual y sus afluentes en la parte superior de sus cursos. Estos depósitos, por su origen en flujos piroclásticos y características generales de presentación, litología, estructuras y texturas en las unidades que los componen, se han denominado genéricamente como ignimbritas. Las ignimbritas representan flujos piroclásticos incandescentes relacionados con erupciones volcánicas explosivas y su emisión es en forma de coladas espumosas donde el magma viaja como una masa densa fluidizada a lo largo de canales preexistentes y rellenan los valles y las depresiones para formar mesetas. El volumen extruido puede variar entre unos pocos metros cúbicos y centenares o miles de metros cúbicos y el espesor acumulado está controlado por las geoformas preexistentes. Están asociados a estructuras de hundimiento, como calderas y depresiones volcanotectónicas pero su identificación y delimitación es difícil debido a la acumulación de productos piroclásticos recientes que modifican la morfología preexistente, la suavizan y la oscurecen las formas típicas de las antiguas estructuras volcánicas algunos de los mejores afloramientos están ubicados en la carretera que desde Túquerres conducen hacia el municipio de Tumaco.

**Depósitos Glaciares (Q1dg)** Según MMAJ - JICA (1981) y GEOMINAS (1982) Estos depósitos son clara evidencia de las glaciaciones, se encuentran en los alrededores del volcán Azufral y al suroccidente de la población de Túquerres en una estructura semicircular abierta hacia el noreste donde se aprecia una geoforma que correspondería a un circo glacial. Depósitos piroclásticos recientes relacionados al volcán Azufral pueden estar cubriendo evidencias de antiguas glaciaciones en el área, pues éstas han modificado las geoformas pleistocénicas y más antiguas en el Altiplano Nariñense en el borde oriental especialmente alrededor del volcán donde se tienen las alturas máximas, por encima de los 4.000 m. La erupción de  $\pm 17.000$  años. según (Calvache, 2002) se produjo el colapso del edificio volcánico con la formación de

montículos al sur del Azufral. Esta erupción dejó un anfiteatro que luego fue modificado por la acción glacial quedando algunas morrenas dentro de esta estructura, como las de las quebradas El Común y Chungel; esto confirmaría la extensión de las lenguas glaciales en el Pleistoceno tardío – Holoceno a estas elevaciones. Los depósitos morrénicos del Azufral se componen de bloques de lavas andesíticas y lavas de composición similar dispuestas en forma caótica sin ninguna clase de selección, ni de estratificación interna, en una matriz arenosa arcillosa de color amarillo a blanco amarillento y su continuidad está interrumpida por depósitos piroclásticos recientes.

**Depósitos piroclásticos (Q2dp)** Según Calvache et. al (2000) la evolución geológica de la parte oriental de Túquerres está relacionada con la acumulación de depósitos piroclásticos recientes provenientes del volcán Azufral; estos mismos depósitos suavizan la geomorfología hacia el occidente a lo largo de los cauces de varios de los ríos que nacen en este volcán donde se han acumulado sobre las rocas más antiguas que conforman el flanco occidental de la Cordillera Occidental. La cartografía geológica detallada de los depósitos piroclásticos recientes del volcán Azufral han sido objeto de diferentes estudios en los últimos años y aunque en ellos se observa un enfoque diferente de acuerdo con los objetivos y escala del trabajo, es claro que los depósitos representan varios períodos de actividad del volcán y que dentro de cada uno de éstos se puede registrar la deposición sucesiva de varias unidades, a veces separadas por períodos de quietud que quedan registrados como intervalos de meteorización o de erosión.

**Unidad Túquerres (UT)** los mejores afloramientos de esta unidad se encuentran localizados sobre los taludes de los caminos de las veredas San Roque , Chanarro , Tutachá y El Manzano , en la carretera Túquerres - Santander de Valencia. Según MMAJ - JICA (1981) y GEOMINAS (1982) la Unidad Túquerres está constituida por depósitos de flujos y de oleadas de piroclastos con espesores máximos observados hasta de 3,50 m, son correlacionables con depósitos de las unidades AF1 y AF2 de Betancur & Correa (1992) y con la unidad CP2 de Fontaine (1994). Afloran al oriente y al suroriente del Volcán Azufral,; en el carretable a la Laguna Verde en la parte alta de la vía Túquerres-Samaniego, en el sector de los Pulises sobre la vía El

Espino– Panamal y en la carretera Guachavés - La Planada , en el sector de Chapuésquer , al norte del volcán, donde constituye la base de la secuencia. En la base de las oleadas piroclásticas en la zona de Santander de Valencia se encuentran fragmentos pequeños de madera carbonizada, que han sido datados con C14, con una edad de  $101\ 17.970 \pm 190$  años A.P. Esta unidad también incluye un depósito de avalancha de escombros localizado al sur del área de estudio, desde el nacimiento de la quebrada Chimangual al sur occidente hasta las cercanías de la quebrada El Común al sur oriente en elevaciones entre 3.100 y 3.000 m.s.n.m. presentan una morfología de pequeños montículos aislados unos de otros.

**Nota:** En la recopilación de información que se realizó para la anterior descripción de la geología local, no se encontró ningún mapa que representara la respectiva configuración geológica del municipio de Túquerres.

### **3.2.1 Geología Estructural:**

Túquerres está localizada al sur del país, en cercanías de la frontera con Ecuador, sobre la Cordillera Occidental, al occidente de la depresión Cauca – Patía, que según Barrero (1979) correspondería al “Trench del Valle del Cauca”, originada durante la colisión de la placa de Nazca con la placa suramericana durante el Cretácico, por lo tanto, su estilo estructural es complejo, con predominio de fallas de ángulo alto de dirección nor – noreste.

#### **3.2.1.1 Elementos estructurales:**

##### **3.2.1.1.1 Fallas:**

Las fallas son un rasgo geológico estructural importante de la Plancha 428 Túquerres. Se describirán únicamente las fallas importantes y que tienen carácter regional. Existen dos direcciones principales de fallamiento; una con rumbo NE-SW y que está representado por el sistema de fallas Cauca – Patía, Falla Curcuel, Falla Junín – Sambiambí y Falla Río Marino. La otra dirección es transversal a la anterior, con rumbo NW-SE son fallas de menor longitud y las cuales están siendo desplazadas por la primera. En este segundo grupo están las fallas del río Güiza, del río Vegas y la del río Miraflores. El

nombre de las fallas es tomado de la nomenclatura preexistente y las denominaciones nuevas se dan de acuerdo con localidades, quebradas o ríos por donde cruza la estructura.

La Falla Cauca – Patía, también llamada Pacual (MMAJ – JICA, 1981), se localiza en el extremo noreste de la plancha, paralela al río Pacual, con dirección aproximada N35-40°E, desde la carretera Balalaica - Guachavés hasta Santa Rosa (B12) en el Municipio de Samaniego. París et al. (1989) reportan en el río Patía, en proximidades de la desembocadura del río Mayo (Plancha 410 La Unión), evidencias de actividad cuaternaria sobre la Falla Cauca – Patía, tales como desplazamiento de drenajes en sentido dextrolateral, escarpe de 5 m en un cono aluvial, que no afecta a conos aluviales más jóvenes y próximos al lugar anterior, y el desplazamiento – ruptura en un nivel de terrazas del río Mayo. En La Verbena (G9) y otros sitios sobre la carretera Túquerres – Tumaco, GEOMINAS (1982) describe estructuras tipo graben con desplazamientos de hasta 0,4 m en cenizas volcánicas recientes y paleosuelos que atribuyen a la Falla Cauca – Patía. En un afloramiento en El Enchinal (D11), sobre el trazo de la falla y cerca de la localidad de Yascual (C12), se describen dos planos de falla conjugados (F1= N50°E/70°NW y F2= N20°W/70°NE), que permiten calcular la orientación de los esfuerzos (Figura 45). Estos  $\sigma_3$  (0° → N77°W), es horizontal,  $\sigma_1$  (33° → S14°W), es subhorizontal y  $\sigma_2$  (57° → N14°E), es subvertical, lo que implicaría, al menos en este sitio, un movimiento de rumbo para esta falla. La prolongación hacia el sur de esta falla pasa por el cráter del volcán Azufral, y está cubierta con sus depósitos piroclásticos y más hacia el sur pasa por los centros volcánicos de Cumbal y Chiles - Cerro Negro, y se prolonga hacia el Ecuador.

Falla Curcuel La Falla de Curcuel toma su nombre de la localidad de Curcuel (D6). Tiene una dirección que varía entre N40°E y N25°E y una longitud de 46 km en la Plancha 428 Túquerres. El análisis de los datos recolectados en el campo (Figura 46), indican ( $\sigma_1$  = 64° → S25°W;  $\sigma_2$  = 28° → N40° E y  $\sigma_3$  = 0° → S41°E) que esta falla en este sitio tiene un movimiento normal ( $\sigma_1$  vertical y  $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$  horizontales)

### 3.2.1.1.2 Plegamientos

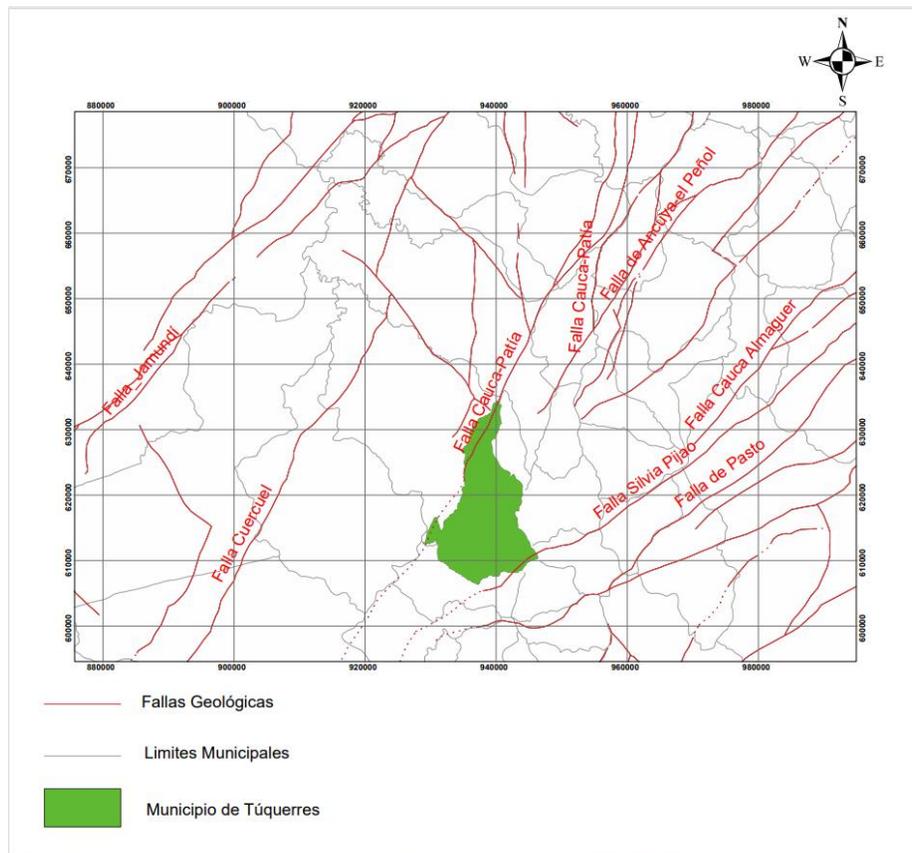
El análisis de los pliegues y el sistema de fisuras permite clarificar que la presión tanto al este como al oeste fue intensa, y produjo zonas de cizalla con sistemas NE-SW y NW-SE y planos comprimidos N-S y fracturas abiertas E-W. Se infiere que estos sistemas se pudieron producir en el período de levantamiento del basamento, al mismo tiempo que la

intrusión de las rocas ígneas y el período de mineralización (JICA – MMAJ, 1983). Las rocas metasedimentarias y principalmente los chert presentan localmente plegamiento isoclinal cuya amplitud varía aproximadamente entre 0,5 y 2 m, acompañado de fallamiento paralelo a los planos axiales de los pliegues. Los pliegues presentan un adelgazamiento de sus flancos y engrosamiento de las charnelas. La dirección de los planos axiales es NE-SW, paralelos al sistema principal de fallas y al eje de la cordillera.

### 3.2.1.1.3 Foliación

El rasgo fundamental en las rocas sedimentarias es la presencia de foliaciones S1; en las rocas grueso granulares, como areniscas, es notable la presencia de foliación microlenticular, mientras que en las rocas fino granulares, como lodolitas arcillosas, esta foliación es paralela. Con relación a la deformación, el paralelismo notable de fallas, planos axiales y foliaciones sugiere cizallamiento simple probablemente durante los eventos de subducción - acreción que soldaron estas rocas a la margen continental de Colombia (Nivia, 1997)

Figura 10. Mapa principales fallas geológicas.



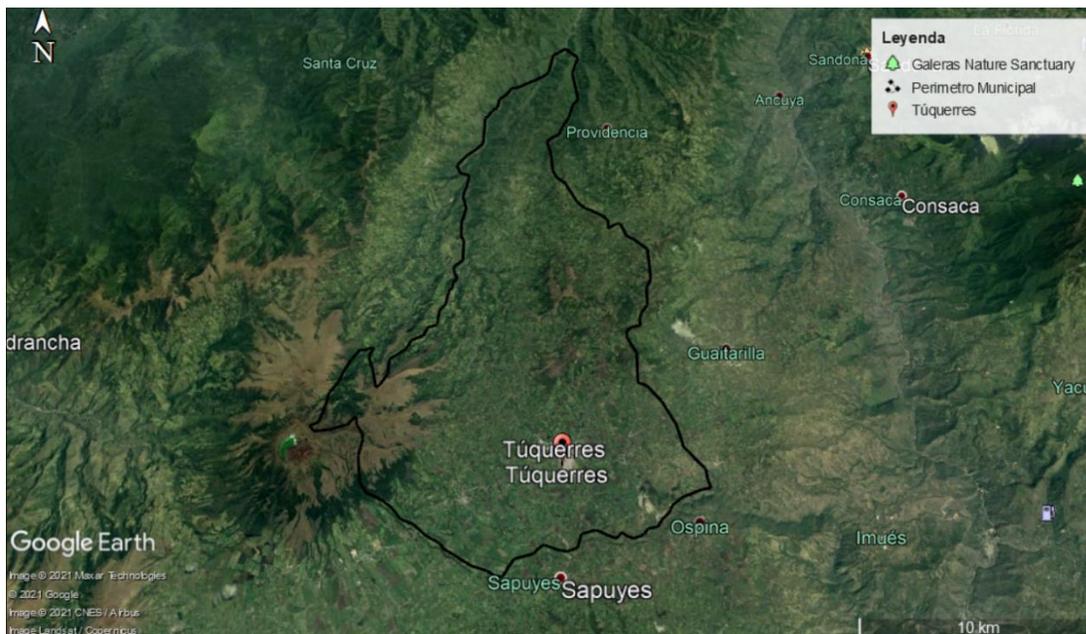
Fuente: elaboración propia basada en datos recolectados.

### 3.3 Geomorfología

Siguiendo la metodología propuesta por Carvajal (2011), se presenta a continuación la geomorfología del municipio de Túquerres escala 1:25000 a partir de la recopilación de información de las planchas 428 y 429 del servicio geológico colombiano, datos proporcionados por la alcaldía municipal de Túquerres y aportes propios basados en el análisis y discretización de la información mencionada.

El municipio de Túquerres a través de su historia geológica ha evolucionado endógena y exógenamente, factores y procesos como: vulcanismo, glaciaciones y agentes hidrometeorológicos configuraron la morfogénesis, morfología y morfoestructura que constituye la actual geomorfología del municipio de Túquerres, predominando dos unidades geomorfológicas: Colinas bajas alargadas de Túquerres (C.b.a.T) y Edificio volcánico reciente del Azufral (E.v.r.A).

*Figura 11. Imagen satelital donde se aprecia rasgos geomorfológicos del municipio de Túquerres ( colinas bajas alargadas y edificio actual del volcán Azufral).*



*Fuente Google Earth 2021*

La unidad Colinas bajas alargadas de Túquerres (C.b.a.T) Según MMAJ - JICA (1981) y GEOMINAS (1982) está localizada en el sector suroriental del municipio, ocupa un área de 150 km<sup>2</sup>, se caracteriza por formar una superficie con relieve suave. Altitudinalmente se desarrolla entre las cotas 3.000 a 3.400 m que corresponde a la base del

volcán Azufral. En ella se encuentran localizadas las cabeceras municipales de Túquerres y Sapuyes.

Esta unidad corresponde a una geoforma volcánica antigua que después de haber sido disectada y erodada en sus vertientes, fue cubierta por los depósitos volcánicos recientes, y resultaron las formas suaves actuales del paisaje; razón por la cual, las colinas reflejan una topografía preexistente que correspondía a antiguos depósitos piroclásticos del Azufral semejantes a los depósitos recientes, que cubren y suavizan la unidad.

*Figura 12. fotografía de la unidad geomorfológica colinas bajas alargadas de Túquerres.*



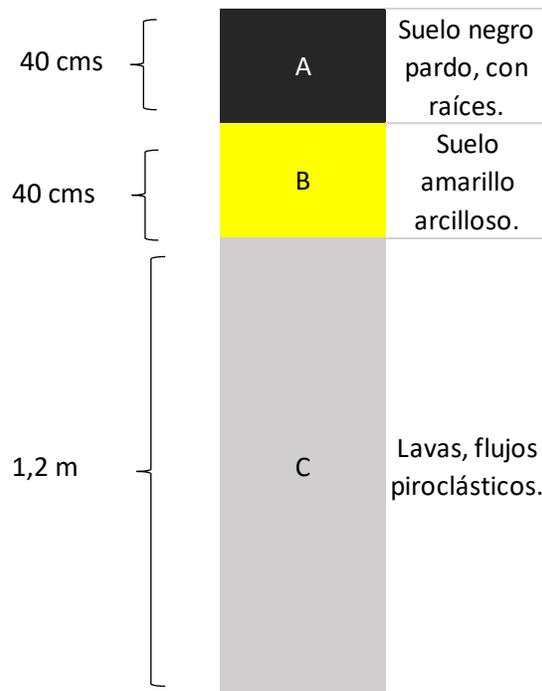
*Fuente: Memoria de la plancha 428 SGC 2002.*

Los aspectos geomorfológicos generales de esta unidad son los siguientes: colinas bajas, con alturas menores de 30 m, los filos son alargados con dirección sur, con longitud mayor a 3 km, redondeados y, en ocasiones, escalonados, lo que refleja pulsos en el levantamiento de la cordillera y la antigüedad del edificio volcánico. Las vertientes son cóncavas cortas y con pendientes de ángulos suaves ( $20^\circ$ ) y refleja también la antigüedad del basamento de esta unidad.

En los afloramientos observados no se encontró un perfil de meteorización por los eventos de volcanismo reciente, debido a que las repetidas emisiones volcánicas no dan

tiempo para que se desarrolle un perfil de meteorización (Calvache et al., 2000). Sin embargo, presenta un perfil de suelo, con un horizonte A de espesor variable 50-90 cm, con aporte coluvial, de color negro, con granulometría de arena, limos y arcillas por descomposición de cenizas, compacto y con numerosas raíces.

Figura 13. Perfil de suelo de la unidad geomorfológica colinas bajas alargadas de Túquerres.



Fuente: Memoria de la plancha 428 SGC 2002.

Debido a la poca cohesión de los depósitos piroclásticos que cubren esta unidad, los suelos son altamente susceptibles al lavado por aguas de escorrentía que en algunos casos pueden desarrollar surcos o cárcavas.

Edificio volcánico reciente del Azufral (E.v.r.A) Según MMAJ - JICA (1981) y GEOMINAS (1982) Tiene un área de 20 km<sup>2</sup>, se caracteriza por presentar un cráter con un ancho de 1 km, dentro del cual se encuentran los lagos conocidos como Laguna Verde y Laguna Negra, a la cual llegan numerosos drenajes subparalelos; las denominadas "lagunas" científicamente ostentan el nombre de lagos continentales; las lagunas tienen conexión con el mar.

Se puede considerar como edificio volcánico, la masa que se encuentra por encima de la cota 3.400 m, ligeramente por encima de la carretera Túquerres - Tumaco. Según MMAJ - JICA (1981) y GEOMINAS (1982) el cráter está parcialmente abierto hacia el sur y en él se observan varias geoformas dómicas y una superficie que corresponde, tal vez, a un edificio volcánico anterior, localizado al NW del cráter actual. Al este del cráter principal se observa otro más antiguo, con un ancho de 1 km y longitud de 1,5 km, abierto al suroeste y el cual presenta mayor grado de incisión.

*Figura 14. Fotografía De La Laguna Verde Correspondiente Al Cráter De La Unidad Geomorfológica Del Edificio Volcánico Reciente Del Azufra.*



*Fuente Memoria de la plancha 428 SGC 2002.*

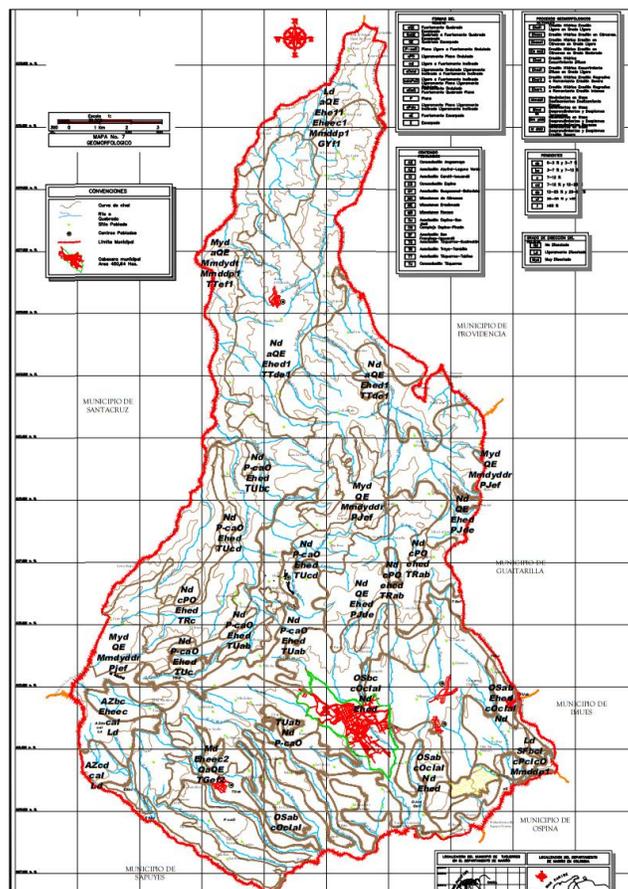
Los aspectos geomorfológicos generales de esta unidad son los siguientes: filos principales son largos, redondeados y escalonados, y responden a la superposición de edificios volcánicos. Las vertientes son escarpadas, rectas y cortas; a mitad de las vertientes presenta remanentes de flujos piroclásticos recientes a manera de terrazas que no se separaron de la unidad debido a su poca extensión, como se observa al oeste del volcán Azufra, en las proximidades del río Verde. Los valles son estrechos, en forma de V, rectos, de fondo estrecho con cauces de pendiente fuerte típicos de ríos de montaña.

No se desarrolla un perfil de meteorización debido a su edad reciente, pero presenta un suelo incipiente de 5 a 10 cm del horizonte A, que descansa directamente sobre la roca.

Esta unidad geomorfológica se desarrolla sobre lavas andesíticas correspondientes con edificios volcánicos antiguos y el edificio reciente serían los flujos piroclásticos y los domos. Según MMAJ - JICA (1981) y GEOMINAS (1982) los procesos morfodinámicos relacionados con esta unidad son; profundización de los cauces y la erosión de sus márgenes, a partir de los cuales se generan cárcavas y surcos, tal como se puede observar en la parte alta del volcán.

A partir de la información proporcionada por la alcaldía del municipio de Túquerres se obtuvo un mapa a escala 1:35000 del año 2002, en donde se destacan algunos factores geomorfológicos: Forma de relieve, procesos geomorfológicos actuales y grado de disección del relieve representados a partir de símbolos alfabéticos y numéricos sobre el área municipio.

Figura 15 Mapa de formas y procesos geomorfológicos del municipio de Túquerres.



Fuente: Alcaldía municipal de Túquerres 2011.

A continuación, se presenta los factores geomorfológicos incluidos en la leyenda del mapa anterior.

*Tabla 2. Leyenda mapa de formas y procesos geomorfológicos Municipio de Túquerres.*

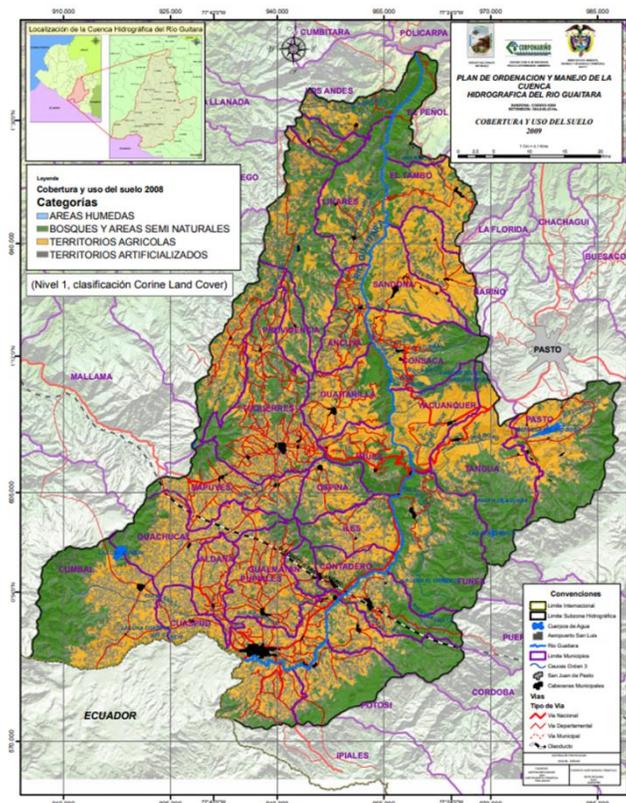
Formas de Relieve	Escarpado	E
	Fuertemente quebrado a escarpado.	aQE
	Quebrado a fuertemente quebrado a escarpado.	QaQE
	Quebrado a escarpado.	QE
	Plano ligero a fuertemente ondulado.	P-caO
	Ligeramente plano a ondulado.	cPO
	Ligero a fuertemente inclinado.	cOclal
	fuertemente inclinado a ligeramnete ondulado	calCPcO
	Ligeramente plano a ligeramnete ondulado.	aOaq
	Plano.	P
Procesos Geomorfológicos actuales.	Erosion hidrica, erosion ligera en grado ligero.	Ehel1
	Erosion hidrica, erosion en carcavas.	Eheec
	Erosion hidrica, escurrimiento difuso.	Ehed
	Erosion hidrica, erosion regresiva o remontante.	Eher3
	Movimientos en masa, deslizamiento planar.	Mmdd1
Grado de diseccion del Relieve.	No disectado.	Nd
	Ligeramente disectado.	Ld
	Muy disectado.	Myd

### 3.4 Hidrología

#### 3.4.1 Cuenca Hidrografica río Guáitara

La cuenca hidrográfica a la cual corresponde el municipio de Túquerres es la del río Guáitara la cual se encuentra ubicada entre la estribación oriental de la Cordillera Occidental y la estribación Occidental de la Cordillera Centro-Oriental; sector perteneciente a la Depresión Cauca-Patía. Esta cuenca tiene un gran componente estructural debido a la tectónica global y regional.

Figura 16. Cuenca hidrográfica del río Guátara.



Fuente: *Corponariño 2009*

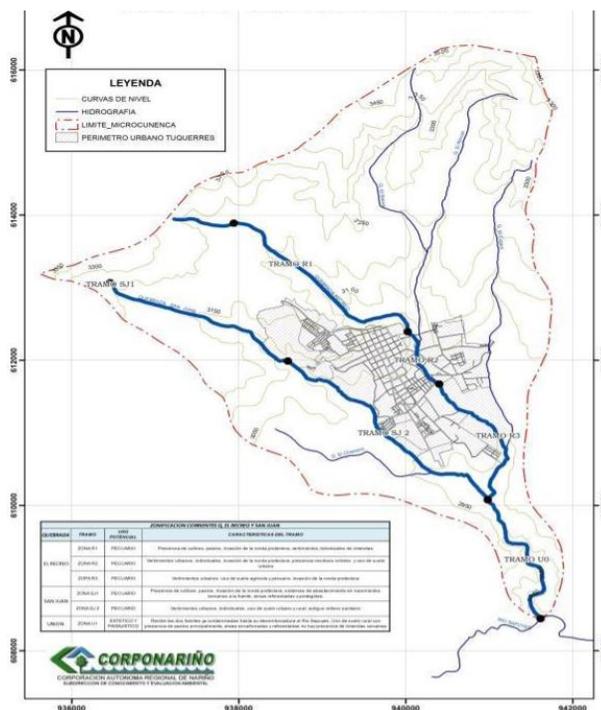
**3.4.2 Microcuenca el Recreo:** esta microcuenca hace parte de la subcuenca del Río Sapuyes, en el Departamento de Nariño, cubre el área de la cabecera urbana del Municipio de Túquerres y de los corregimientos de Tutachag, San Roque, Cuatro Esquinas, su cauce principal y afluentes recorren las veredas de Chanarro Alto, Chanarro Bajo, La Flor, El Escritorio, Iguá, San José, El Socorro, San Roque Alto, San Roque Bajo, Nangan y Guayaquila, esta microcuenca ocupa un área de 2322,4 has.

La conforman las siguientes quebradas: Pescadillo, San Juan, Chanarro y El Rincón. La microcuenca tiene un perímetro de 22953m y una Longitud Axial de 7822,74m; un Ancho Promedio 760,11 y un Coeficiente de compacidad 2,01. Los suelos presentados en la

zona alta de la microcuenca pertenecen a la formación TQsv, y TQvlc, Son suelos formados por vulcanitas y lavas, pertenecientes al Conjunto sedimentario.

La microcuenca El Recreo se encuentra ubicada entre los 2950 y 3400 m.s.n.m, pendientes del 12% al 25% principalmente, aunque se presentan zonas de pendientes entre 25% al 50%.

Figura 17. Microcuenca de la quebrada el Recreo correspondiente a la cabecera municipal del municipio de Túquerres.



Fuente: Corponariño 2011

### 3.4.3 Humedad Relativa

De acuerdo con los datos de la estación Paraíso para la zona del estudio, la humedad relativa es del 85% en promedio, para un periodo de 20 años. Esto indica el alto porcentaje de humedad que se presenta en toda el área. Los meses de máxima humedad son noviembre y diciembre, coincidentes con el periodo de lluvias y con el 86% de humedad relativa. En el periodo de verano la humedad relativa desciende a sus menores límites con el 83%, lo cual coincide con las menores temperaturas y precipitaciones.

#### **3.4.4 Cuerpos de Agua**

La red hidrográfica del Municipio tiene una longitud estimada de 267,71 Km; además cuenta con un importante cuerpo de agua como es la Laguna de la chorrera.

## **4. Marco Teórico**

### **4.1 Sismo**

Según la comisión nacional de prevención de riesgos y atención de emergencias de costa rica (CNE 2021) un sismo es el movimiento brusco de la Tierra causado por la liberación de energía acumulada durante un largo tiempo. Habitualmente estos movimientos son lentos e imperceptibles, pero en algunos casos el desplazamiento libera una gran cantidad de energía, cuando una de las placas se mueve bruscamente contra la otra, rompiéndola y originando el Terremoto. El sismo en el municipio de Túquerres a demostrado ser un detonante de baja frecuencia, pero ha desencadenado a lo largo de su historia numerosos eventos catastróficos; para 1936 en el sector denominado la chorrera ocurre uno de los más recordados deslizamientos el cual ocasionó un sinnúmero de pérdidas humanas y económicas dejando sepultado el caserío.

### **4.2 Fuente sismogénica**

Según (Salgado et al., 2010) se define como una región de la corteza terrestre que tiene características de sismicidad uniforme y distinta de las fuentes vecinas, y que es capaz de generar movimientos del suelo significativos en el sitio de interés. Por lo anterior en la zona de estudio se identificó zonas proclives a desencadenar sismos, como son las cercanas a la zona de subducción de la placa pacifico siendo estas de carácter oceánico y en la parte continental las fuentes sismogénicas se asocian al entramado componente estructural del sur-occidente colombiano.

### **4.3 Magnitud de un sismo**

Según el (SGC 2021) la magnitud de un sismo es un número que busca caracterizar el tamaño de un sismo y la energía sísmica liberada. Se mide en una escala logarítmica, de tal forma que cada unidad de magnitud corresponde a un incremento de raíz cuadrada de 1000, o bien, de aproximadamente 32 veces la energía liberada. En los datos recolectados (Base de datos SGC) se encontraron alrededor 3.663 sismos entre el periodo comprendido de 1993-2018 en donde el sismo de mayor magnitud se trataba de 6.6 ml.

### **4.4 Ecuaciones De Atenuación Sísmica**

Según (Kingland, 2008) son fórmulas matemáticas que permiten estimar las aceleraciones espectrales para cualquier localización en el área de estudio a partir de parámetros geométricos y sismológicos de un evento sísmico particular. Esta herramienta relaciona diferentes variables propias de los sismos (magnitud, distancia, profundidad, entre otras) encasillándolas en fórmulas matemáticas previamente elaboradas por diversos autores, a partir de estas herramientas se pretende describir la respuesta que tiene una región frente a un sismo.

#### **4.5 Mapa De Unidades Geológicas Superficiales**

Según el (SGC 2016) es un mapa en el cual se recopila datos que se consideran causales de movimientos en masa en los materiales geológicos superficiales que afloran en superficie los cuales pueden corresponder a suelos o rocas y que además deben ser clasificados desde el punto de vista ingenieril, entre estas características se encuentran: litología, composición mineralógica, humedad, plasticidad, dureza, resistencia, etc. Este tipo de cartografía permitió caracterizar las propiedades físicas de los suelos del casco urbano del municipio de Túquerres de tal manera que se constituye en un insumo básico para la evaluación de los movimientos en masa.

#### **4.6 Sistema De Referencia**

Según el (IGAC 2011) corresponde a las coordenadas y tipos de lineamientos para los diferentes objetos geográficos y productos los cuales deben estar debidamente referenciados.

#### **4.7 Amenaza**

Según (Hermelín 1991) es un evento físico o condición peligrosa de origen natural, o causado, o inducido por la acción humana de manera accidental, capaz de causar pérdida de vidas, lesiones u otros impactos en la salud, así como también daños y pérdidas en los bienes, la infraestructura, los medios de sustento, la prestación de servicios y los recursos ambientales.

#### **4.8 Movimiento en masa**

Según el (SGC 2016) equivale a definiciones como procesos de remoción en masa, fenómenos de remoción en masa o fallas de taludes y laderas. La identificación de estos fenómenos en el casco urbano del municipio de túquerres permitió definir áreas con mayor susceptibilidad a presentar movimientos en masa y están asociadas a los flancos de pendientes superiores a los 35 grados y que limitan con los afluentes en este caso las quebradas San Juan y el Recreo.

#### **4.9 Susceptibilidad a movimientos en masa**

Según el (SGC 2016) es una medida cualitativa o cuantitativa de la magnitud y distribución espacial de movimientos en masa existentes o que potencialmente pueden ocurrir en un área.

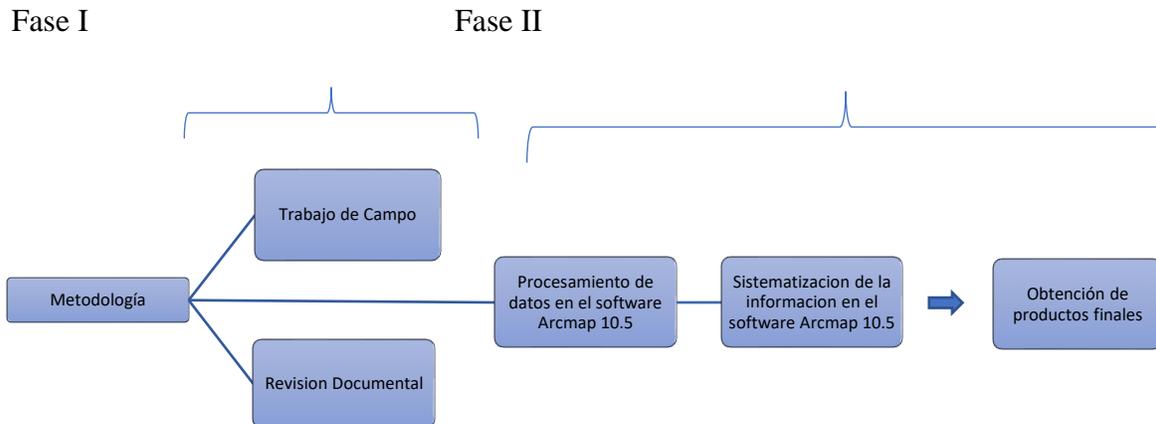
#### **4.10 Zonificación**

Según el (SGC 2016) es la división del territorio en áreas o dominios homogéneos y su categoría de acuerdo al nivel de susceptibilidad, amenaza o riesgo actual o potencial.

#### **4.11 Método heurístico**

Según (Bransford et al., 1984) consiste en categorizar y ponderar los factores y variables que causan la inestabilidad, según la influencia esperada en el fenómeno estudiado. se aplican a estudios regionales sin embargo introduce un grado de subjetividad pues se basa en el criterio de un experto.

## 5. Metodología



### 5.1 Fase I

Uno de los insumos básicos en la evaluación de cualquier amenaza geológica es la cartografía, para el presente trabajo se evaluó específicamente los movimientos en masa en el casco urbano del municipio de Túquerres, para lo cual se realizaron 80 estaciones aproximadamente en donde se evaluaron diferentes aspectos geológicos y geomorfológicos con la finalidad de elaborar los siguientes mapas a escala 1:2000 mapa de unidades geológicas superficiales, mapa geomorfológico y de movimientos en masa.

#### 5.1.1 Trabajo de campo para geología y unidades geológicas superficiales

El trabajo consistió en cubrir toda el área del casco urbano del municipio de Túquerres (4.6 km<sup>2</sup>), por medio de estaciones de campo en las que se recolectaba la siguiente información: litología, textura, humedad natural, permeabilidad cualitativa, estructuras, granulometría, plasticidad, densidad relativa, etc. Las estaciones del presente trabajo están divididas acorde a las diferentes unidades geológicas superficiales que se reconoció en campo, de la siguiente manera:

Estaciones correspondientes a la unidad Stcba:

Estación 1.

Coordenadas (WGS84): 1,07652°N

77,61000°W

Ubicación: Vía Túquerres- Ospina a pocos metros del casco urbano.

Altura: 2963,59 msnm

*Figura 18. Dos capas de suelo sin superficie definida de separación.*



Descripción: Suelo altamente meteorizado con espesor aproximado de (50 cms), la capa de suelo (techo) es de color negro, densa, en la cual es muy difícil apreciar su origen, pero tiene abundante material arcilloso, en esta capa se distinguen minerales como el cuarzo, micas y en mayor abundancia feldespato alterándose a arcilla, es húmedo, plástico.

La capa de suelo (base) es de color café claro tiene una textura vesicular de aproximadamente (50 cms), se distinguen minerales como feldespato en su mayoría alterado a arcilla y cuarzo estos dos minerales tienen tamaño limo, esta capa tiene alta plasticidad, es húmedo.

Estación 2.

Coordenadas (WGS84): 1,07524°N

77,61611°W

Ubicación: Antiguo relleno sanitario Cristo Rey.

Altura: no hay dato.

*Figura 19. Suelo volcánico con presencia de clastos tamaño bloque.*



Descripción: deposito volcánico altamente meteorizado y abundante vegetación de espesor aproximado 2 m, no se observan capas o si las hay no es posible diferenciarlas, el afloramiento es altamente caótico, hay diferentes tamaños de clastos que van desde tamaño limo a arena muy gruesa se distinguen minerales como feldespatos en su mayoría alterándose a arcilla, cuarzo en menor porcentaje y minerales maficos como biotita y otros a los cuales no se los pudo identificar , también se encuentra un clasto tamaño bloque (roca extrusiva) el cual se lo clasifíco como una Andesita, la mayor parte de este afloramiento tiene baja plasticidad, es húmedo, clastos subangulares y mala selección.

Estación 3.

Coordenadas (WGS84): 1,07555°N

77,61618°W

Ubicación: Barrio Cristo Rey- quebrada San Juan.

Altura: 2930.41 msnm.

*Figura 20. Paleosuelos con intercalación de pequeñas capas volcánicas.*



Descripción: El afloramiento está conformado por 3 capas de paleosuelo separadas por 2 capas volcánicas, los paleosuelos son húmedos, altamente plásticos no se distinguen minerales, el paleosuelo que se ubica hacia el techo del afloramiento tiene un espesor aproximado de 70cms y los otros dos tienen espesores aproximados de 30 cms. Las capas volcánicas presentan clastos tamaño gravas y arena gruesa correspondientes a piedra pómez y otros clastos que por su tamaño es muy difícil su reconocimiento, seco, baja plasticidad, mala selección espesores de 5 cms.

Estación 10.

Coordenadas (WGS84): 1,07593°N

77,61604°W

Ubicación: Quebrada San Juan.

Altura: no hay dato.

*Figura 21. Paleosuelo con presencia de clastos tamaño bloque.*



Descripción: Paleosuelo de aproximadamente 1m de espesor con una pequeña e irregular capa volcánica conformada principalmente de piedra pómez, altamente meteorizado con presencia de vegetación se encuentran 2 clastos de tamaño bloque (roca extrusiva) clasificada como andesita, este afloramiento es húmedo, plástico, mal seleccionado.

Estaciones correspondientes a la unidad Rbari y Rbai:

Estacion 31.

Coordenadas (WGS84): 1,08848°N

77,62967°W

Ubicación: cantera Chanarro Alto.

Altura: no hay dato.

*Figura 22. Cantera de arena chanarro alto, (escala una persona).*



*Figura 23. Acercamiento a una zona de la cantera se aprecia un depósito masivo sin estratificación (escala martillo).*



Descripción: Ignimbrita con composición mineralógica de piedra pómez, cuarzo, minerales maficos y feldespatos, el afloramiento tiene un componente arcilloso importante, los tamaños de los clastos son muy variables siendo los más grandes los clastos de piedra pómez tamaño grava, el afloramiento presenta sectores masivos y sectores donde existen capas que denotan diferentes eventos, el afloramiento es seco, no plástico, mal seleccionado, muy denso.

Estacion 28.

Coordenadas (WGS84): 1,08795°N

77,62808°W

Ubicación: Antigua Mina de arena barrio el Carmen.

Altura: 3040.11msnm.

*Figura 24. Contacto entre parte estratificada (techo) y parte masiva (base) de la ignimbrita.*



*Figura 25. Estratificación de la ignimbrita.*



Descripción: Ignimbrita con composición mineralógica de piedra pómez, cuarzo, minerales maficos y feldespatos, el afloramiento tiene un componente arcilloso importante, los tamaños de los clastos son muy variables siendo los más grandes los clastos de piedra pómez tamaño grava, el afloramiento presenta sectores masivos y sectores donde existen capas que denotan diferentes eventos, el afloramiento es seco, no plástico, mal seleccionado, muy denso.

Estación 26.

Coordenadas (WGS84): 1,08966°N  
77,62876°W

Ubicación: barrio el Carmen.

Altura: no hay dato.

*Figura 26 Ignimbrita masiva.*



*Figura 27. Clastos de piedra pómez tamaño Grava.*



Descripción: Ignimbrita con composición mineralógica de piedra pómez, cuarzo, minerales maficos y feldespato, el afloramiento tiene un componente arcilloso importante, los tamaños de los clastos son muy variables siendo los más grandes los clastos de piedra pómez tamaño grava, el afloramiento presenta sectores masivos y sectores donde existen

capas que denotan diferentes eventos, el afloramiento es seco, no plástico, mal seleccionado, muy denso.

Estaciones correspondientes a la unidad Stvaram:

Estación 59.

Coordenadas (WGS84): 1,09190°N

77,61563°W

Ubicación: barrio el Partidero.

Altura: 3005.45msnm.

*Figura 28. Capa gravo-arenosa sobre capa arcillosa meteorizada.*



Descripción: el afloramiento tiene 2 capas una capa gravo-arenosa hacia el techo seca, no plástica, densa, mal seleccionada con granos de angulares a subangulares granodecrecientes de aproximadamente 30cms de espesor conformada por piedra pómez, líticos, cuarzo y un poco de matriz arcillosa, limitada por una superficie bien definida que indica un evento anterior, una capa arcillosa hacia la base de aproximadamente 1m de espesor seca, plástica, densa conformada por minerales tamaño limo como feldespatos en su mayoría alterándose a arcilla, cuarzo en menor porcentaje y algunas micas y predominantemente una matriz arcillosa.

Estación 50.

Coordenadas (WGS84): 1,09246°N  
77,62778°W

Ubicación: barrio Vista Hermosa.

Altura: 3127.79msnm.

*Figura 29. Capa granodecreciente gravo-arenosa sobre capa arcillosa meteorizada.*



Descripción: el afloramiento tiene 2 capas una capa gravo-arenosa hacia el techo seca, no plástica, densa, mal seleccionada con granos de angulares a subangulares granodecrecientes de aproximadamente 50cms de espesor conformada por piedra pómez, líticos, cuarzo y un poco de matriz arcillosa, limitada por una superficie bien definida que indica un evento anterior, una capa arcillosa hacia la base de aproximadamente 50cms de espesor seca, plástica, densa conformada por minerales tamaño limo como feldespato en su mayoría alterándose a arcilla, cuarzo en menor porcentaje y algunas micas y predominantemente una matriz arcillosa.

Estación 62.

Coordenadas (WGS84): 1,0934°N  
77,61335°W

Ubicación: barrio el Voladero.

Altura: no hay dato.

*Figura 30. Capa granodecreciente irregular gravo-arenosa sobre capa arcillosa meteorizada.*



Descripción: el afloramiento tiene 2 capas una capa gravo-arenosa irregular hacia el techo seca, no plástica, densa, mal seleccionada con granos de angulares a subangulares granodecrecientes de aproximadamente 30cms de espesor conformada por piedra pómez, líticos, cuarzo y un poco de matriz arcillosa, limitada por una superficie bien definida que indica un evento anterior, una capa arcillosa hacia la base de aproximadamente 20cms de espesor seca, plástica, densa conformada por minerales tamaño limo como feldespatos en su mayoría alterándose a arcilla, cuarzo en menor porcentaje y algunas micas y predominantemente una matriz arcillosa.

Estaciones correspondientes a la unidad Stvam:

Estación 65.

Coordenadas (WGS84): 1,08900°N

77,60869°W

Ubicación: barrio María Paguay.

Altura: no hay dato.

*Figura 31. Capas arcillosas irregulares.*



Descripción: el afloramiento tiene 2 capas de 60 cms de espesor aproximadamente las cuales no se aprecian muy bien debido al grado de meteorización y la abundante vegetación tampoco tienen una superficie de separación definida su coloración pasa de color café claro a uno más oscuro de techo a base está conformado por una matriz arcillosa en su mayor parte y en menor porcentaje un componente limoso donde se distinguen minerales como feldespatos, cuarzo, micas y pómez.

Estación 67.

Coordenadas (WGS84): 1,08486°N

77,61356°W

Ubicación: barrio Fátima.

Altura: 2978.54msnm.

*Figura 32. Afloramiento arcilloso.*



Descripción: el afloramiento es muy caótico no se alcanzan a diferenciar capas casi en su totalidad está constituido por material arcilloso en donde se distinguen minerales como feldespato y cuarzo en menor porcentaje tamaño limo hay presencia de pómez tiene una variación en su coloración que pasa de café oscuro a claro y a un color blanco su espesor es de aproximadamente de 6m el afloramiento está húmedo, plástico, denso, mal seleccionado y en la parte más superior se aprecia la capa gravo-arenosa de la unidad Stvaram.

Estación 70.

Coordenadas (WGS84): 1,08050°N

77,60807°W

Ubicación: Ipain.

Altura: 2968.06msnm.

*Figura 33. capa arcillosa*



Descripción: La capa de suelo tiene un espesor aproximado de 30cms tiene un componente arcilloso muy importante está muy meteorizada, saturada, muy plástica, poco densa.

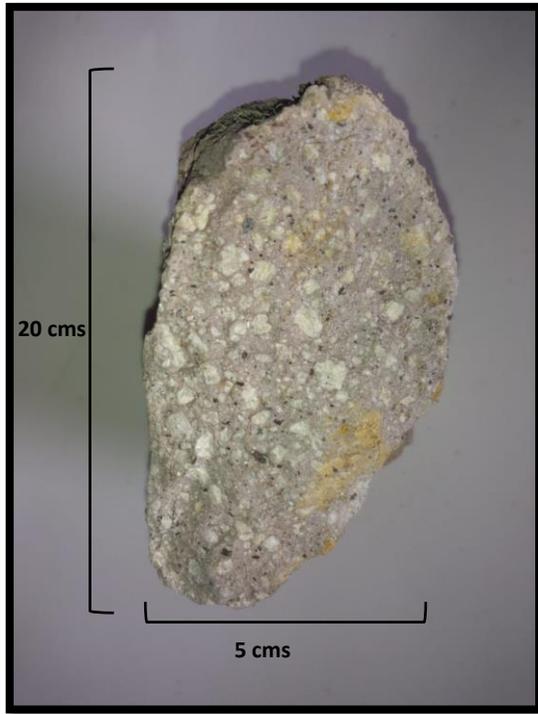
En algunas de las estaciones se recolectaron muestras que se analizaron posteriormente clasificándolas según los triángulos de streckeisen.

#### **5.1.1.1 Descripción de Muestras**

Las muestras recolectadas en el trabajo corresponden a las unidades Stcba y Rbari-Rbai las cuales serán descritas teniendo en cuenta los siguientes aspectos: color, textura, origen, Tamaño y forma de grano, matriz y composición.

Figura 34. Muestra 1

Muestra N.º 1. (Estación 3)



Descripción: Roca leucocrática subangular de origen volcánico con textura porfiritica, granos subhedrales y matriz afanítica de color gris claro su composición mineralógica es:

- Plagioclasa:60%
- Cuarzo:20%
- Feldespato k: 10%
- Mins maficos: 10%

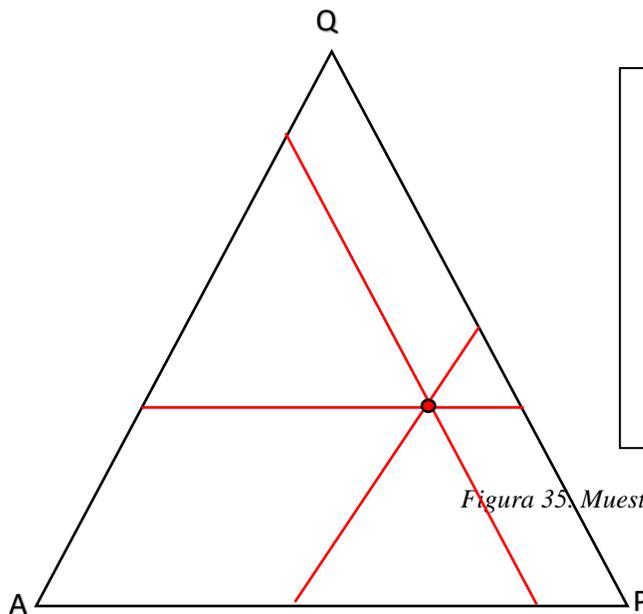


Figura 35. Muestra 2

Recalculo:

- Plagioclasa: 66.11
- Cuarzo: 22.2
- Feldespato k: 11.11

Clasificación:

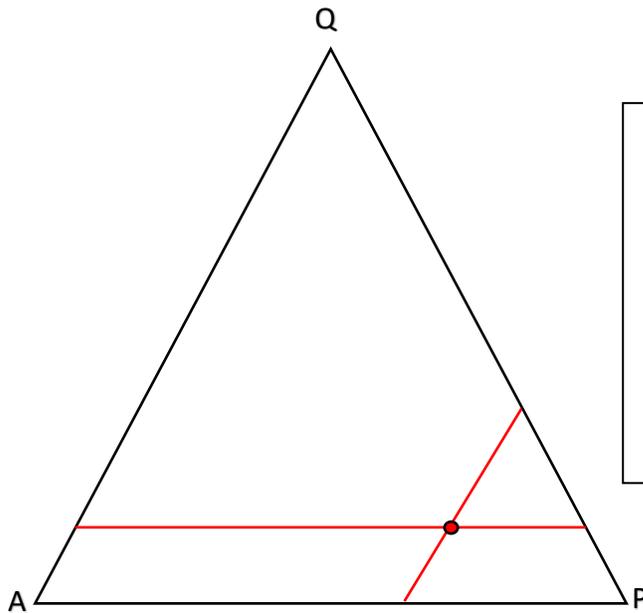
- Dacita.

Muestra N.º 2. (Estación 10)



Descripción: Roca Melanocrática subangular de origen volcánico con textura porfírica, granos subhedrales y matriz fanerítica de color gris oscuro su composición mineralógica es:

- Plagioclasa:60%
- Cuarzo:10%



Recalculo:

- Plagioclasa: 66.11
- Cuarzo: 22.2
- Feldespato k: 11.11

Clasificación:

- Andesita.

Figura 36. Muestra 3

Muestra N.º 3. (Estación 31)



Descripción: Roca leucocrática con textura vesicular, altamente porosa contiene pequeños cristales de plagioclasa y minerales maficos como biotita.

Clasificación:

Piedra Pómez.

### 5.1.2 Trabajo de campo para mapa geomorfológico escala 1:2000

El trabajo de campo se realizó en paralelo con el de unidades geológicas superficiales en este se identificaron rasgos morfogenéticos y morfodinámicos, identificando elementos geomorfológicos representativos de la zona de estudio, para cubrir la totalidad del casco urbano también se emplearon estaciones en las cuales se describieron los aspectos anteriormente mencionados.

Estación 24.

Coordenadas (WGS84): 1,08848°N

77,62967°W

Ubicación: Chanarro alto vía al volcán Azufra. Altura: 3112 msnm.

*Figura 37. paisaje con relieve suave al fondo cabecera municipal.*



Descripción: relieve suave moldeado en material volcánico con geoformas cóncavas y convexas y afluentes que disecan colinas como la quebrada san juan que pasa cerca a este lugar.

Estacion 57.

Coordenadas (WGS84): 1,08909°N

77,61594°W

Ubicación: Barrio el Voladero. Altura:2984.77 msnm.

*Figura 38. Altiplano municipio de Túquerres.*



Descripción: planicie ubicada hacia la parte noreste del municipio zonas con pendientes bajas destinadas a la construcción y actividades agrícolas y pecuarias, al fondo relieve glaciar correspondiente al municipio de Sapuyes.

Estacion 57.

Coordenadas (WGS84): 1,08909°N

77,61594°W

Ubicación: Barrio el Recreo. Altura: no hay dato msnm.

*Imagen 39. Colinas disectadas por la quebrada el Recreo*



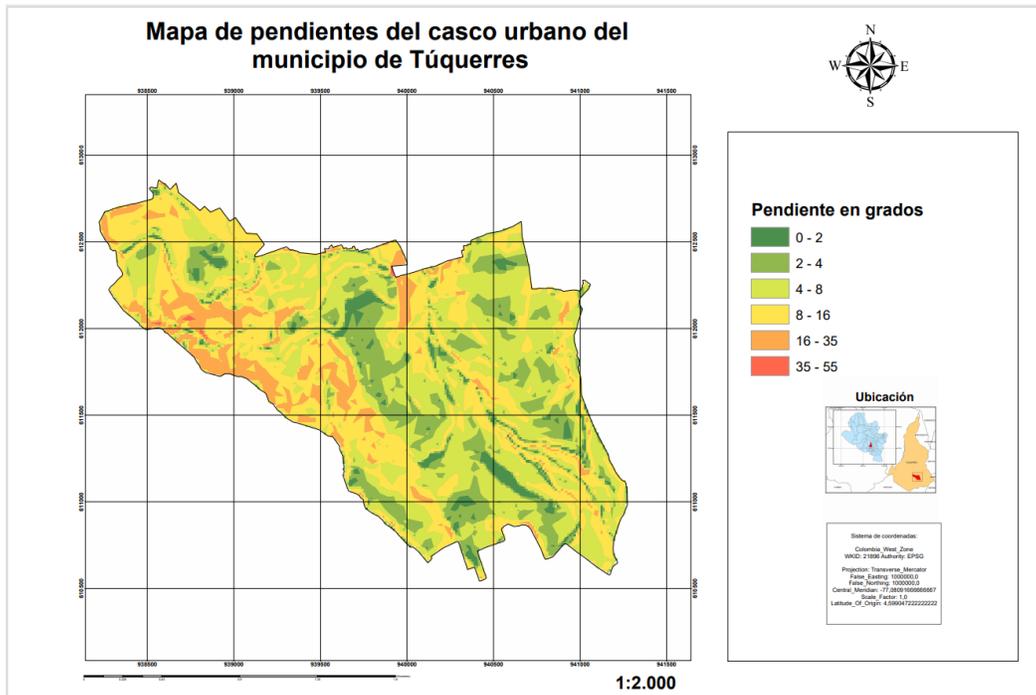
Descripción: geformas cóncavas suaves con pendientes de 35 grados en menor proporción pero que en su mayoría oscilan entre los 20 grados, en este caso las colinas están disectadas por la quebrada el recreo.

Para la elaboración del mapa geomorfológico del municipio de Túquerres además de la información recopilada en campo, trabajamos con un mapa de curvas de nivel propiedad de la alcaldía municipal de Túquerres cuya distancia entre cotas era de 2 metros, este mapa fue convertido a DEM (modelo de elevación digital) por medio del software Arcmap 10.5 ya que el DEM es indispensable para la elaboración de los siguientes mapas:

Mapa de pendientes: Este mapa nos indica las zonas que comparten pendientes de igual grados de inclinación, siendo este factor directamente proporcional a que el terreno

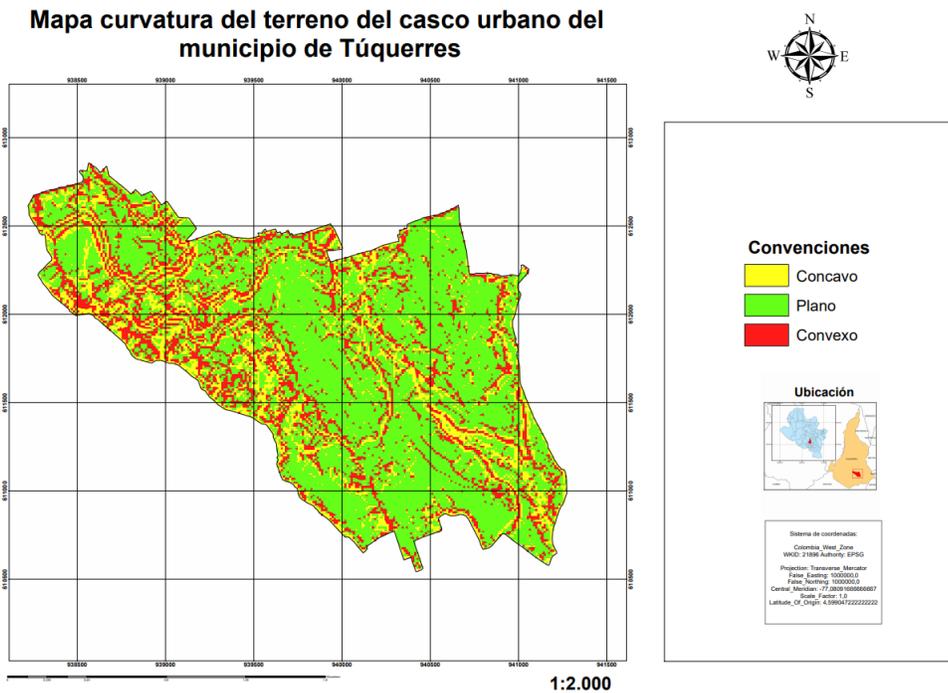
sea afectado por procesos denudativos, en el casco urbano del municipio de Túquerres las pendientes predominantes están entre los 0 y 20 grados y las pendientes más abruptas se encuentran localizadas hacia los flancos que limitan con las quebradas.

Figura 40. Mapa de pendientes del casco urbano del municipio de Túquerres.



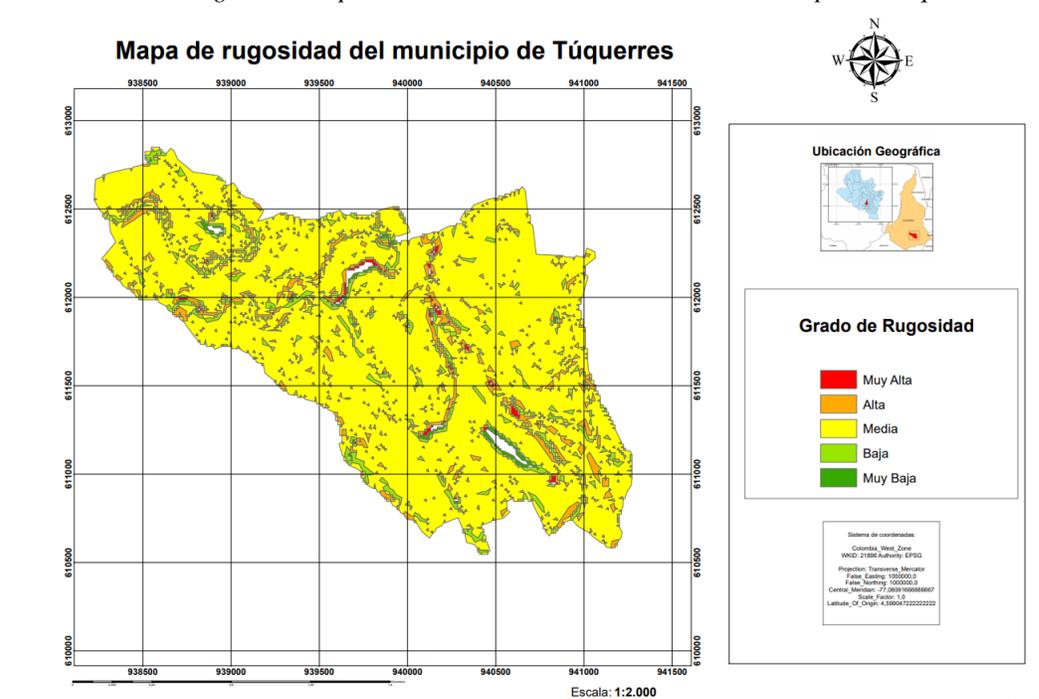
Mapa de Curvatura: este mapa hace referencia a la forma de una determinada área del terreno siendo esta cóncava y convexa, este parámetro permite encontrar patrones de erosión y de acumulación hídrica, la curvatura afecta la aceleración y desaceleración del flujo razón por la cual influye en la erosión y la sedimentación, la mayor parte del casco urbano del municipio de Túquerres es plana exceptuando las zonas perimetrales que tienden a ser cóncavas y convexas.

*Figura 41 Mapa de curvatura del casco urbano del municipio de Túquerres*



Mapa de Rugosidad: la rugosidad es un parámetro que influye directamente en las condiciones erosivas de los flujos hídricos y eólicos de tal manera que, a mayor rugosidad, mayor será la ralentización que experimenten los fluidos la mayor parte del casco urbano tiene una rugosidad media.

Figura 42 Mapa de curvatura del casco urbano del municipio de Túquerres



### 5.1.3 Trabajo de campo para el Mapa de movimientos en masa del casco urbano del municipio de Túquerres escala 1:2000

El trabajo de campo consistió en elaborar un mapa de inventario de movimientos en masa sobre un área específica como lo es el casco urbano del municipio de Túquerres, para esto se realizó un levantamiento geomorfológico en donde se hicieron mediciones del movimiento en masa como ancho, pendiente, altura, área desplazada, entre otras, siempre y cuando las condiciones del terreno lo permitían. A continuación, se presentan algunas de las estaciones en las que se recopiló dicha información.

Estación 53.

Coordenadas (WGS84): 1,08437°N

77,62443°W

Ubicación: Quebrada San Juan.

Altura: no hay dato.

*Figura 43. Movimiento en masa activo sector quebrada san juan.*



Descripción: se trata de un deslizamiento traslacional en una pendiente del terreno de 30°, en un suelo volcánico principalmente de composición arcillosa con una corona de 9 metros de ancho, una base cenagosa de 11 metros de ancho y un gran volumen de material desplazado.

Estación 55.

Coordenadas (WGS84): 1,08354°N

77,62335°W

Ubicación: Quebrada San Juan.

Altura: no hay dato.

*Figura 44. Movimiento en masa activo sector quebrada san juan.*



Descripción: se trata de un movimiento en masa inactivo con gran cobertura vegetal y una saturación de agua en la base del movimiento en masa, a pesar de que la vegetación cubre la zona se reconoce una corona de deslizamiento antigua.

Estación 72.

Coordenadas (WGS84): 1,08955°N

77,62876°W

Ubicación: Quebrada San Juan.

Altura: no hay dato.

*Figura 45. Movimiento en masa activo barrio el Carmen.*



*Figura 46. Movimiento en masa activo barrio el Carmen.*



Descripción: Los deslizamientos en el barrio el Carmen son muy frecuentes sobre todo en temporadas de lluvias, en este sector se han realizado obras de mitigación, pero han sido poco eficientes, los deslizamientos se presentan principalmente en la zona disectada por la quebrada San Juan en uno de sus flancos se concentran invasiones que incrementan las posibilidades de una catástrofe municipal como se aprecia en las imágenes.

## 5.2 Fase II

### 5.2.1 Parametrización de los datos sísmicos recolectados a partir de las bases de datos del servicio geológico colombiano.

En la primera etapa del trabajo se buscó bases de datos, posterior a esto se empleó la del SGC ya que era la que mejor se ajustaba al periodo comprendido entre los años 1993 y 2018, con un total de 3663 datos, una vez recopilados estos datos se procesan en el software ArcMap 10.5, a partir de una tabla Excel en la cual se presentan eventos sísmicos con diferentes magnitudes y profundidades, localizadas en todo el departamento de Nariño, la tabla se encuentra diseñada de la siguiente manera:

Tabla 3. Base de datos SGC.

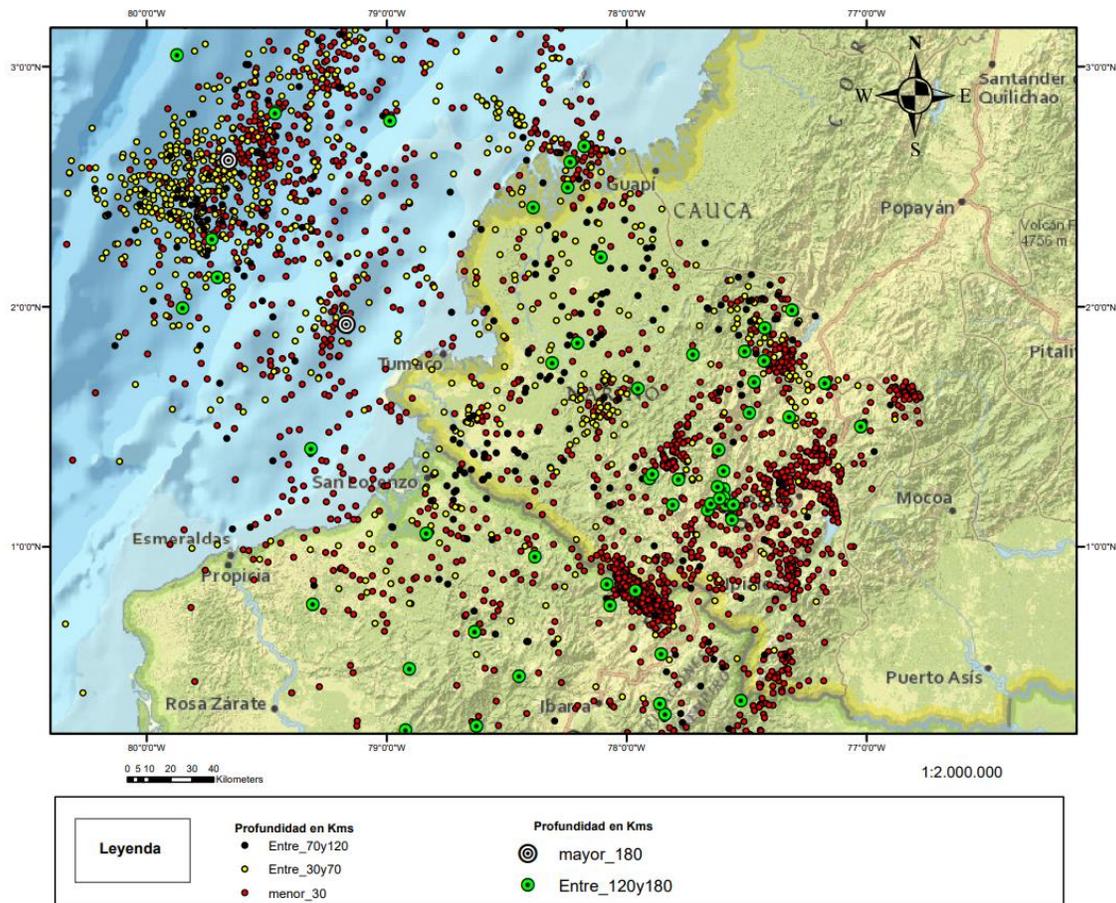
FECHA	HORA_UTC	COORD_Y	COORD_X	PROFUNDIDAD	MAGNITUD_LOCAL(MI)	(Mw)	DEPARTAMENTO	MUNICIPIO
2013-02-09	14:16:05	1,113	-77,561	162,8	6,4	7.0	NARINO	GUAITARILLA
2016-04-16	23:58:34	-0,100	-80,000	20,0	6,3	5.9	NARINO	TUMACO
1995-11-13	12:36:55	2,881	-79,572	37,5	5,4		NARINO	MOSQUERA
2000-05-23	16:36:45	1,990	-78,583	70,6	5,3		NARINO	FRANCISCO_PIZARRRO
2000-06-27	07:10:30	1,555	-77,489	133,6	5,3		NARINO	POLICARPA
2000-10-08	20:12:31	0,325	-78,213	6,2	5,3		NARINO	CUMBAL
2014-03-09	20:29:52	1,504	-79,706	22,0	5,2	5.5	NARINO	TUMACO
2014-06-16	06:39:38	1,589	-78,980	4,1	5,2	5.3	NARINO	TUMACO
1995-03-04	23:23:42	1,253	-77,257	0,0	5,0		NARINO	PASTO
1995-04-12	18:22:32	2,640	-78,580	44,9	5,0		NARINO	MOSQUERA
2015-05-30	06:26:06	1,119	-79,496	5,9	5,0	5.4	NARINO	TUMACO

Una vez procesados los datos, se logró obtener un mapa en el cual se ubican los 3663 sismos ubicados en todo el departamento de Nariño y sitios aledaños, los sismos fueron discriminados en base a la profundidad en las siguientes categorías:

- Menor a 30 kilómetros de profundidad.
- Entre 30 y 70 kilómetros de profundidad.
- Entre 70 y 120 kilómetros de profundidad.

- Entre 120 y 180 kilómetros de profundidad.

Figura 47. Sismos generados a diferentes profundidades entre los años 1993-2018.

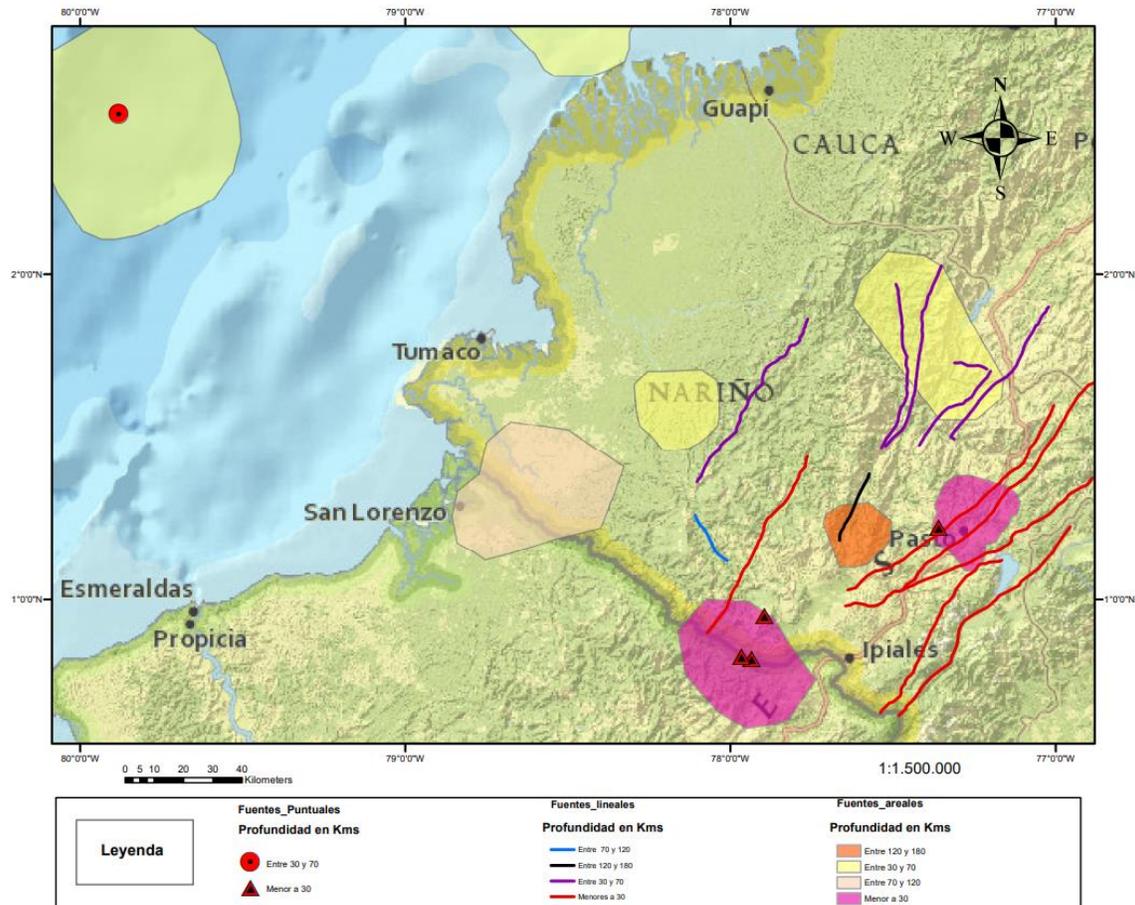


Fuente: elaboración propia basada en datos recolectados.

Teniendo en cuenta la concentración de sismos en zonas determinadas se identifican fallas geológicas, zonas de actividad tectónica y volcanes, cuya actividad produzca fracturamiento de roca, a partir de esto se zonifica las fuentes sísmicas más importantes, dividiéndose de la siguiente manera:

- Fuentes areales.
- Fuentes lineales.
- Fuentes puntuales.

Figura 48. Fuentes sísmicas representadas en 3 categorías.



*Fuente elaboración propia basada en datos recolectados.*

### 5.2.2 Cálculo y ubicación del sismo de diseño a partir de la base de datos del SGC

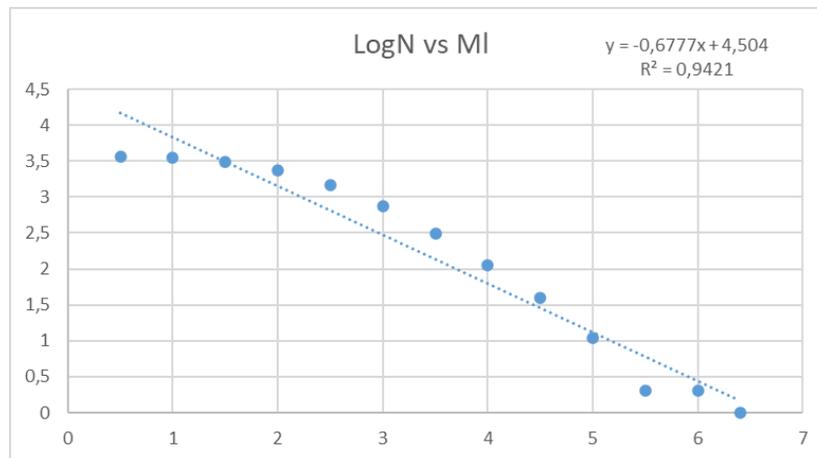
El sismo de diseño representa un evento sísmico, cuya magnitud será la más crítica incluso superando las magnitudes registradas en la base de datos del SGC, cabe aclarar que para este trabajo se empleó la Magnitud local (MI), partiendo de la base de datos del SGC se inició un conteo de las veces en que se repetía una magnitud, utilizando el programa Excel.

Tabla 4. Recurrencia de Magnitudes.

MI	N	LogN	LnNM	N(M)
0	3631	3,56002625	10,3708433	31915,3786
0,5	3624	3,55918819	9,5906123	14626,8228
1	3534	3,54826655	8,81038134	6703,47509
1,5	3121	3,49429377	8,03015038	3072,20364
2	2356	3,37217529	7,24991942	1407,99139
2,5	1448	3,16076856	6,46968847	645,282668
3	740	2,86923172	5,68945751	295,733144
3,5	307	2,48713838	4,90922655	135,534544
4	112	2,04921802	4,12899559	62,1155021
4,5	40	1,60205999	3,34876463	28,467544
5	11	1,04139269	2,56853367	13,0466797
5,5	2	0,30103	1,78830271	5,97929527
6	2	0,30103	1,00807175	2,74031192
6,4	1	0	0,38388699	1,46797953

La columna identificada con la letra (N) representa el número de veces en las que se repite cada magnitud, la máxima registrada es de 6.6(MI). Los datos obtenidos y el posterior cálculo de su logaritmo natural permitirán conocer los valores de a y b asociados al periodo de retorno del sismo, acompañado de otras variables que para este trabajo no son objeto de estudio. Para obtener los valores de a y b se realizó una gráfica de dispersión “Log N vs MI”, con los datos de la tabla anterior.

Grafica 1. Grafica de dispersión LogN vs MI.



Los valores de a y b serán respectivamente el valor del intercepto (4.5) y el valor de la pendiente positiva (0.68).

Para el cálculo del sismo de diseño se emplea la siguiente ecuación:

$$a/b$$

$$\frac{4.504}{0.6777} = 6,65$$

Tabla 5. Magnitud máxima probable, magnitud mínima y sismo de diseño.

Mmin	0,5
a	4,504
b	0,6777
Mmax	6,646008558
alfa	10,37084326
beta	1,560461918
LnN(Mmax)	0
N(Mmax)	1
Sis. Diseño	6,646008558

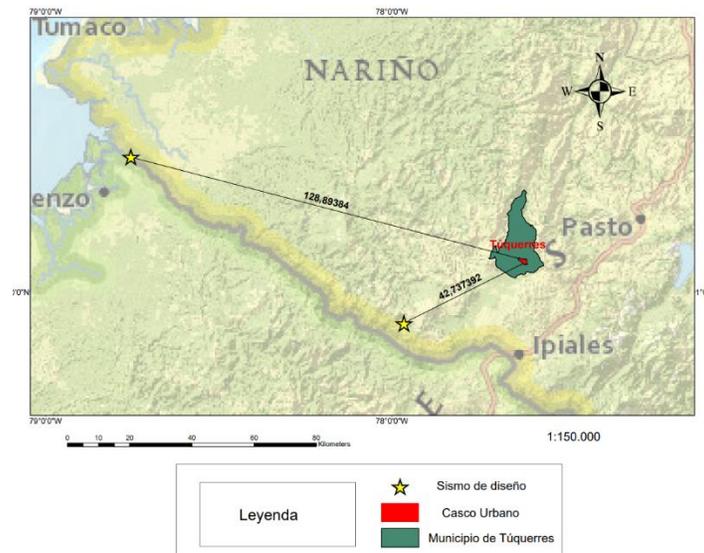
El valor del sismo de diseño (magnitud máxima) es de: 6,6

Una vez calculada la magnitud del sismo de diseño se eligieron dos ubicaciones para el mismo, a partir de las siguientes observaciones:

Primera ubicación: los sismos con profundidades someras (menores a 30 kms) son predominantes en el departamento de Nariño y las zonas aledañas, razón por la cual se buscó una zona de densificación de estos sismos, además de la combinación de fuentes sismogénicas areales, puntuales y lineales de sismos menores a 30 kms que presenta esta ubicación.

Segunda ubicación: los sismos de profundidades intermedias es decir entre 70 y 120 kms, son los segundos con mayor presencia en la zona de estudio, por tal motivo se buscó una fuente sismogénica en donde hubiera concentración de este tipo de sismos, además de que dicha ubicación coincidió con la zona costera, zona representativa por su contexto tectónico de subducción entre las placas Pacífico y suramericana.

Figura 49. Relación entre el sitio de estudio y los sismos de diseño.



*Fuente elaboración propia basada en datos recolectados.*

Para cada sismo de diseño se debe calcular una distancia con respecto al casco urbano del municipio de Túquerres, el sismo de profundidades someras tiene una distancia de 42,7 kilómetros y el sismo de profundidades intermedias tiene una distancia de 128,9 kilómetros.

### **5.2.3 Aplicación de las leyes de atenuación a los sismos de diseño con respecto al municipio de Túquerres.**

La ley de atenuación sísmica es un modelo matemático que predice la aceleración que produce un sismo a una distancia determinada, este modelo permite correlacionar la magnitud y la distancia que hay entre el sismo de diseño y el sitio de estudio arrojando diferentes valores de atenuación. Para el presente trabajo se emplearon las siguientes ecuaciones:

Figura 50. Ecuaciones de atenuación diferentes autores.

REFERENCIA	ECUACION
Esteva -1967:	$\alpha = \frac{2000e^{0.8M}}{R^2}$
Milne y Davenport -1969:	$\alpha = \frac{0.69e^{1.64M}}{1.1e^{2.10M} + \Delta^2}$
Esteva - 1970:	$\alpha = \frac{1230e^{0.8M}}{(R + 25)^2}$
Davenport -1972:	$\alpha = \frac{273.4e^{0.8M}}{R^{1.64}}$
Esteva-Villaverde -1973:	$\alpha = \frac{5600e^{0.8M}}{(R + 40)^2}$
Donovan -1973:	$\alpha = \frac{1080e^{0.5M}}{(R + 25)^{2.32}}$
McGuire -1974:	$\alpha = \frac{472.3e^{0.64M}}{(R + 25)^{2.701}}$
Goldsock -1976:	$\alpha = \frac{4290e^{0.8M}}{[(R^2 + 20^2)]^{0.5} + 25^2}$
Donovan y Bornstein -1978:	$\alpha = \frac{2154000R^{-2.1}e^{(0.046+0.448 \cdot \text{Log} R)M}}{(R + 25)^{(2.515-0.426 \cdot \text{Log} R)}}$
Ohsaki -1980:	$\alpha = 10^{0.440M - 1.721 \text{Log} R + 1.04}$
Kawashima y otros -1984: (suelos blandos)	$\alpha = \frac{403.8 \times 10^{0.245M}}{(\Delta + 30)^{2.218}}$
Kawashima y otros -1984: (suelos medianos)	$\alpha = \frac{232.5 \times 10^{0.213M}}{(\Delta + 30)^{2.218}}$
Kawashima y otros -1984: (suelos firmes)	$\alpha = \frac{987.4 \times 10^{0.216M}}{(\Delta + 30)^{2.218}}$
Crouse -1991:	$\text{Ln}(\alpha) = 6.36 + 1.76M - 2.73 \text{Ln}(R + 1.58e^0.608M) + C$
Huo&Hu -1991:	$\text{Log}(\alpha) = 1.135 + 0.462M - 1.322 \text{Log}(R + 0.231e^0.6)$
Taylor -1992:	$\alpha = e^{0.229+0.455M-0.67 \text{Ln}(R)-0.00207R} \times 100$
Rinaldis -1998:	$\alpha = e^{5.57+0.22M-1.59 \text{Ln}(R+15)-0.14-0.18}$
Smit -2000:	$\alpha = 10^{0.72+0.44M-\text{Log}(R)-0.00231R}$

El proceso consistió en:

Transcribir en un archivo Excel cada una de las ecuaciones de atenuación teniendo en cuenta las siguientes variables:

Distancia (R): para esto se tuvo en cuenta la distancia de las dos ubicaciones en donde se localizo el sismo de diseño, es decir se trabajo con dos valores 42,7 kilómetros correspondiente a la fuente sísmica de sismos someros y 128,9 kilómetros correspondiente a la fuente sísmica de sismos intermedios.

Magnitud (M): esta magnitud corresponde al valor del sismo de diseño el cual es de 6,6.

De tal manera que cada una de las ecuaciones arrojo un valor de atenuación, tal como se lo muestra a continuación.

Tabla 6. Ecuaciones de Atenuación y método de coeficiente de variación.

	1	2	3	4	5
Sismo de diseño	ESTEVA - 1967	MILNE Y DAVENPORT - 1969	ESTEVA - 1970	DAVENPORT - 1972	ESTEVA - VILLAVERDE -1973
Menor a 30	223,0867815	1849,187078	54,6145102	117,8509909	166,6649389
Entre 70 y 120	24,52593347	16636,32439	10,58089765	19,27869528	39,99634279
Ec. Modificada					
Ec. Modificada					
	223,0867815	1849,187078	54,6145102	117,8509909	166,6649389
	24,52593347	16636,32439	10,58089765	19,27869528	39,99634279
PROMEDIO	123,8063575	9242,755735	32,59770393	68,56484307	103,3306409
DESVIACION	140,4037221	10456,08507	31,13646603	69,70113865	89,56822328
COEFICIENTE	1,134059066	1,131273548	0,955173595	1,016572569	0,866811843

6	7	8	9	10	KAWASHIMA Y OTROS	KAWASHIMA Y OTROS
DONOVAN - 1973	McGUIRE - 1974	GOLDSACK - 1976	DONOVAN Y BORNSTEIN - 1978	OHSAKI -1980	1984 (SUELOS BLANDOS)	1984 (SUELOS MEDIANOS)
114,7869707	137,8980116	167,7318503	2,71129E-18	0,503758793	125,8165213	151,0089634
38,85564702	47,41229925	36,17532186	2,13923E-19	0,115014642	48,5747062	58,30089689
COEFICIENTE DE VARIACIÓN						
114,7869707	137,8980116	167,7318503	2,71129E-18	0,503758793	125,8165213	151,0089634
38,85564702	47,41229925	36,17532186	2,13923E-19	0,115014642	48,5747062	58,30089689
76,82130887	92,65515542	101,9535861	1,46261E-18	0,309386718	87,19561373	104,6549302
53,69155389	63,98306079	93,02451334	1,7659E-18	0,274883625	54,61821122	65,55450253
0,698914854	0,690550466	0,912420219	1,207368758	0,888479077	0,626387141	0,626387141

14	15	16	17	18
CROUSE - 1991	HUO&HU - 1991	TAYLOR - 1992	RINALDIS - 1998	SMIT - 2000
4,989500018	1,878737336	238,4621657	70,16418948	82,16982723
3,622741049	1,353296895	136,0376292	16,4265099	17,22926826
146,8629762	75,63752962			
37,44005232	22,55780796			
146,8629762	75,63752962	238,4621657	70,16418948	82,16982723
37,44005232	22,55780796	136,0376292	16,4265099	17,22926826
92,15151429	49,09766879	187,2498974	43,29534969	49,69954774
77,37369152	37,53303113	72,42508427	37,99827764	45,91990963
0,839635595	0,764456481	0,386783038	0,877652633	0,923950251

Sis. Diseño	6,64600856
D. Sism menor a 30	42,737392
D. Sism entre 70 y 120	128,89384

Una vez obtenidos los diferentes valores de atenuación se debe elegir la que más se ajuste a los parámetros ingresados (distancia y magnitud), para esto se opta por una medida de variabilidad que evaluara los dos valores de atenuación que arroja cada ecuación, en este

caso emplearemos el coeficiente de variación que una vez aplicado a cada ecuación será la de menor “coeficiente de variación” quien represente de mejor manera el filtrado de las ondas en este caso para municipio de Túquerres realizada la comparación se determina que la ecuación que mejor se adapta es la de TAYLOR-1992 arrojando como coeficiente de variación el valor de 0,39.

#### **5.2.4 Digitalización del Mapa de amenaza sísmica del municipio de Túquerres a partir de las isoaceleraciones**

La identificación de las aceleraciones sísmicas que sufre la superficie del suelo, permite tener un valor de referencia para fines científicos e ingenieriles, para la zonificación de la amenaza sísmica en el municipio de Túquerres se requirió obtener los siguientes datos:

Distancias entre el sismo de diseño y el municipio de Túquerres: para esto se creó una malla de puntos que cubrió toda la superficie del municipio, mediante el software Arcmap específicamente con la herramienta “Fishnet”, una vez realizada la malla de puntos se procedió a calcular la distancia entre cada uno de los puntos y el sismo de diseño obteniendo un total de 360 distancias.

Atenuación (%g): al tener las distancias y la magnitud del sismo de diseño, se emplea la ecuación de TAYLOR-1992 con el fin de obtener las atenuaciones en cada uno de los puntos que cubren la totalidad de la superficie del municipio.

Isoaceleraciones: son aceleraciones del terreno de igual valor producidas a partir de un evento sísmico, estas serán la base de la zonificación de la amenaza sísmica.

Tabla 7. 360 datos del sismo de diseño con profundidad entre los 70 y 120 kms.

(N)	POINT_X	POINT_Y	Distancia (kms)	Atenuacion	Atenuacion(%g)
1	928392,338	602396,588	122,2552604	139,020014	14,18571571
2	930210,786	602396,588	123,9616485	138,2222935	14,10431567
3	932029,235	602396,588	125,6711797	137,4451919	14,02501958
4	933847,684	602396,588	127,3837275	136,6880915	13,94776443
5	935666,133	602396,588	129,0991718	135,9503966	13,87248945
6	937484,582	602396,588	130,8173988	135,2315331	13,79913603
7	939303,031	602396,588	132,5383001	134,5309471	13,72764767
8	941121,48	602396,588	134,2617729	133,8481048	13,65796988
9	942939,929	602396,588	135,9877195	133,1824913	13,59005013
10	944758,378	602396,588	137,7160469	132,5336103	13,52383778

Tabla 8. 360 datos del sismo de diseño con profundidad menor a 30 kms.

(N)	POINT_X	POINT_Y	Distancia	Atenuacion(g)	Atenuacion(%g)
1	928392,338	602396,588	28,7833618	301,919741	30,80813686
2	930210,786	602396,588	30,4873465	291,533215	29,74828724
3	932029,235	602396,588	32,2038536	282,02854	28,77842241
4	933847,684	602396,588	33,9309827	273,302983	27,88805944
5	935666,133	602396,588	35,6671909	265,26787	27,06815003
6	937484,582	602396,588	37,411214	257,846636	26,31088119
7	939303,031	602396,588	39,1620081	250,973059	25,60949577
8	941121,48	602396,588	40,918704	244,589732	24,95813587
9	942939,929	602396,588	42,6805729	238,646744	24,35170859
10	944758,378	602396,588	44,4469998	233,100568	23,78577226

Los 360 datos de cada una de las 2 tablas fueron ingresados al software Arcmap 10.5 posterior a esto se realiza la interpolación (IDW), tomando como valor de z la atenuación en porcentajes de gales (%g) que se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$Atenuación(%g) = \frac{Atenuación}{9.81}$$

El resultado es una zonificación representa determinados valores de isoaceleraciones y se categoriza de la siguiente manera:

De 0 a 50 %g

De 5 a 10%g

De 10 a 20%g

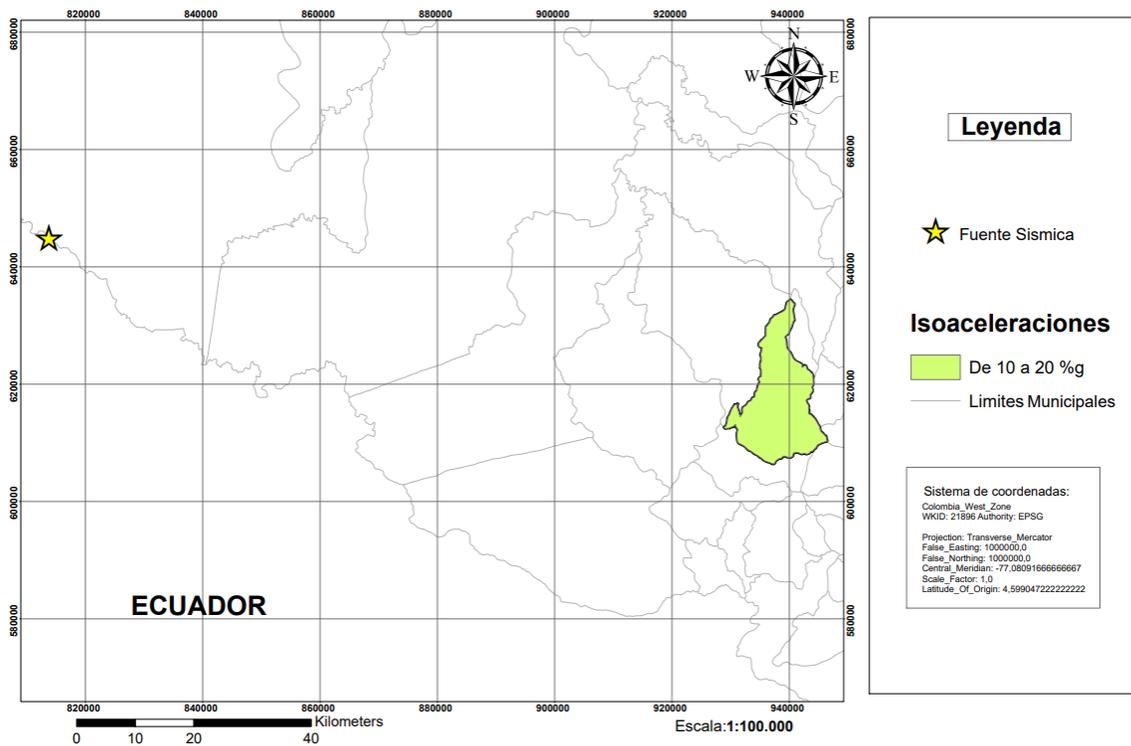
De 20 a 35%g

De 35 a 50%g

Mayor a 50 %g

*Figura 51 Mapa de Isoaceleraciones entre los 70 120 kms de profundidad.*

**Mapa de Isoaceleraciones del municipio de Túquerres a partir de un sismo de diseño (MI=6,6), localizado en cercanías a la costa pacifica y limites con el Ecuador, profundidad del sismo menor a 30 Kms.**

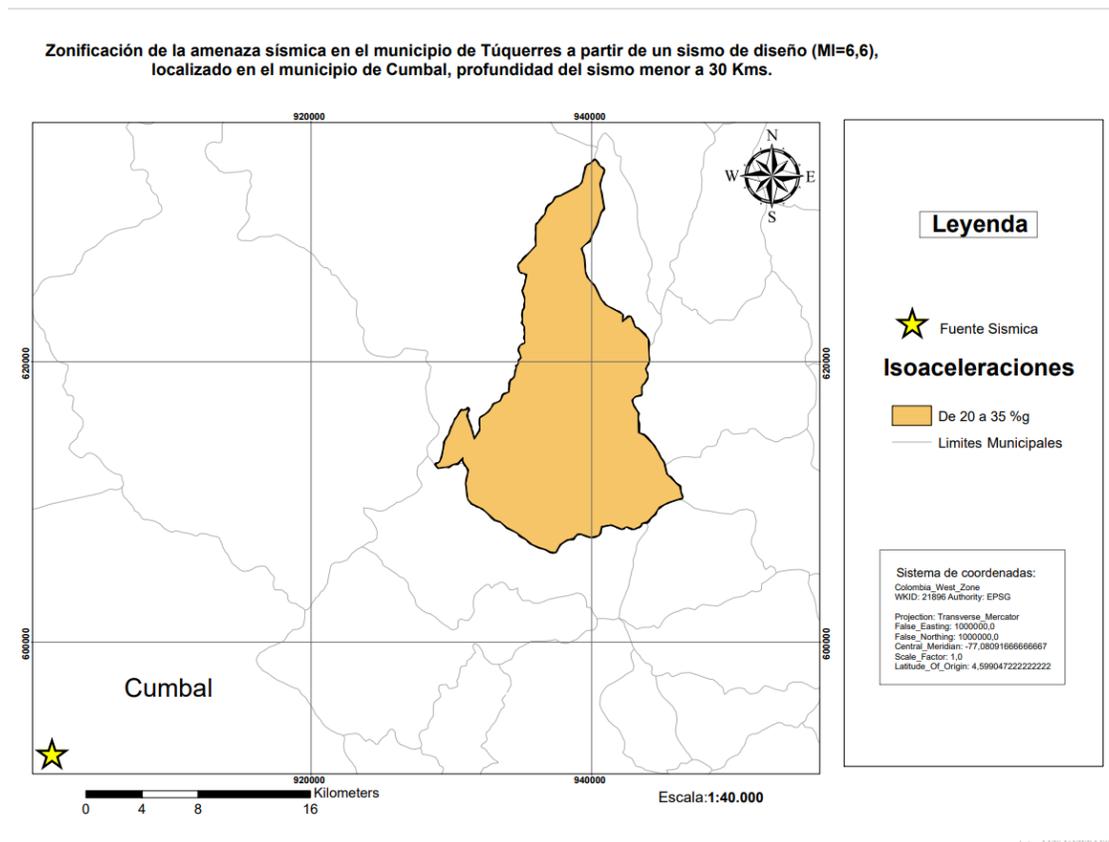


Autor: LUIS JAVIER LEON C.

*Fuente elaboración propia basada en datos recolectados.*

A partir del mapa de isoaceleraciones se concluye que el municipio de Túquerres en estas condiciones experimentará una aceleración del suelo de 10 a 20 %g en todo su territorio.

Figura 52. Mapa de Isoaceleraciones menor a 30 kms de profundidad.



Fuente elaboración propia basada en datos recolectados.

Para el segundo caso el municipio de Túquerres experimentara una aceleración del suelo de 20 a 35 %g en la totalidad de su territorio. Una vez zonificado el sitio de estudio se procede a reclasificar las isoaceleraciones en base a la normatividad NSR-10 quien establece que:

La amenaza sísmica baja será zonificada en lugares en los que los valores de las isoaceleraciones sean menores o iguales a 0.1, es decir menores o iguales al 10 %g.

La amenaza sísmica intermedia será zonificada en lugares en los que los valores de las isoaceleraciones sean mayores a 0.1 pero no excedan 0.2, es decir mayores a 10 %g y menores a 20 %g.

La amenaza sísmica alta será zonificada en lugares en los que los valores de las isoaceleraciones sean mayores a 0.2, es decir mayores al 20 %g.

El producto final es una propuesta donde se zonifica la amenaza sísmica del municipio de Túquerres frente a un sismo con una magnitud de 6.6 (MI), una profundidad entre 70 y 120 kms ubicado en cercanías de la costa pacífica y límites con el país del Ecuador.

### **5.2.5 Aplicación del método heurístico**

Este método empírico permite a partir de la experiencia y los conocimientos adquiridos por la persona que lo ejecuta, brindar una solución a partir de la información de factores condicionantes, cada uno de estos factores será dividido en subfactores, que a su vez tendrá unas divisiones y por último se categorizara en clases, ejemplo: el factor Geomorfología tiene un subfactor que se llama morfometría, este a su vez tiene 4 divisiones una de ellas se denomina curvatura, se clasifica en 3 clases: cóncava, plana y convexa. Para desarrollar el proceso de cuantificación se realizan los siguientes pasos:

Los subfactores serán cuantificados con un Peso, el cual está determinado entre 0 y 100, con la condición de que la suma de los pesos de cada uno de los subfactores, deberá ser igual a 100. Las divisiones tendrán un puntaje en un rango de 0 a 100, la suma de cada una de las divisiones del subfactor, deberá ser igual a 100. Por último, las clases tendrán una calificación que consiste en multiplicar el peso por el puntaje y dividirlos entre 100, cabe resaltar que la calificación es la cuantificación que se tendrá en cuenta para la designación de los grados de susceptibilidad o amenaza categorizadas en alta, media o baja.

#### **5.2.5.1 Aplicación del método heurístico para susceptibilidad de movimientos en masa en el casco urbano del municipio de Túquerres**

El método heurístico, permite zonificar áreas que pueden ser más susceptibles a movimientos en masa, esto a partir de la cualificación y cuantificación de los factores y subfactores condicionantes, en este caso para el casco urbano del municipio de Túquerres.

Entre los factores a evaluar encontramos:

La Geología con sus respectivos subfactores:

Unidades geológicas superficiales:

- Suelos transportados de ceniza y fragmentos de roca tipo bloque altamente meteorizados con presencia de paleosuelos (Stcba).
- Suelos transportados arcillosos con capas arenosas y gravosas moderadamente meteorizadas. (Stvaram).
- Depositos ignimbríticos de composición arenosa y arcillosa. (Rbari y Rbai).
- Suelos volcánicos arcillosos con capas de suelo orgánico hacia el techo altamente meteorizados (Stvam).

Distancia a fallas geológicas en donde encontramos las siguientes clases:

- De 0 a 1 kms
- De 1 a 2 kms
- De 2 a 3 kms
- Mayor a 3 kms

Evaluación y cualificación: el subfactor unidades geológicas superficiales, es evaluado por las características geomecánicas que presenta cada unidad, las unidades con propiedades como alta plasticidad, saturación de agua, baja compacidad, alto grado de meteorización serán las que peor calificación tengan, de esta manera de menor a mayor calificación se ordenan las UGS de la siguiente manera: Rbari y Rbai, Stvam y compartiendo la máxima calificación se encuentran las unidades Stvaram y Stcba. El subfactor distancia a fallas geológicas no es evaluado por dos motivos: el primero es que ninguna falla atraviesa el casco urbano del municipio y el segundo es que las fallas mas cercanas superan por varios kilómetros el límite establecido.

La Geomorfología con sus respectivos subfactores:

Morfogénesis con sus respectivas divisiones:

Ladera denudacional activa (Lda).

Ladera denudacional estable (Lde).

Ladera altamente antropizada (Laa).

Deslizamiento mayor activo (Dmya).

Deslizamiento mayor inactivo (Dmyi).

Morfometría con las siguientes divisiones:

Pendiente la cual tiene las siguientes clases:

- 0 a 2
- 2 a 4
- 4 a 8
- 8 a 16
- 16 a 35
- 35 a 55
- Mayor a 55

Curvatura con las siguientes clases:

- Cóncava
- Plana
- Convexa

Rugosidad con las siguientes clases:

- Muy baja
- Baja
- Media
- Alta
- Muy alta

Acuena con las siguientes clases:

- Divisoria
- Escorrentía lenta
- Flujo acumulado
- Drenaje no permanente
- Ríos y quebradas

Morfodinámica con las siguientes divisiones:

Movimientos en masa con las siguientes clases:

- Movimiento activo
- Movimiento inactivo

Evaluación y cualificación: en el subfactor morfogénesis se evalúa la presencia de procesos denudativos y la facilidad con que estos se desarrollan, de esta manera la peor calificada es Lda y la mejor calificada es Lde. El subfactor pendientes es uno de los más determinantes siendo este el de mayor peso y su evaluación se centra en el grado de inclinación que estas presenten siendo directamente proporcional a su calificación, a mayor pendiente mayor calificación. El subfactor curvatura va ligado a la retención de fluidos y procesos de erosión que impacten en mayor manera el terreno siendo así la máxima calificación la comparten las clases cóncava y convexa y la mínima calificación la clase plana. El subfactor rugosidad esta evaluado por la oposición que presenta a cualquier flujo cuanto este tiene mayor grado de rugosidad la calificación será directamente proporcional a mayor rugosidad, mayor será su calificación. El subfactor acuenca evalúa la erosión y posibles procesos denudacionales de las fuentes hídricas según su estado y su forma siendo las quebradas y ríos la clase con mayor grado de erosión y modificación del terreno por lo que se les asigno la calificación mas alta y por otro lado la escorrentía lenta y el flujo acumulado son clases que en el municipio de Túquerres no influyen en dichos procesos.

El factor Usos del suelo con las siguientes clases:

- Áreas agrícolas
- Áreas sin densificar
- Áreas residenciales

Evaluación y calificación: el uso de suelo presente en el municipio de Túquerres se presenta una mayor erosión e influencia de procesos denudativos en las áreas agrícolas ya que su uso constante de agua, elementos químicos degradantes y algunos cultivos desestabilizan el suelo, por otro lado las áreas sin densificar también se exponen a procesos erosivos y por ultimo las áreas residenciales en las cuales los procesos denudativos son mínimos es así como la calificación máxima es para áreas agrícolas y la menor calificación es para áreas residenciales.

El factor Distancia a drenajes con las siguientes clases:

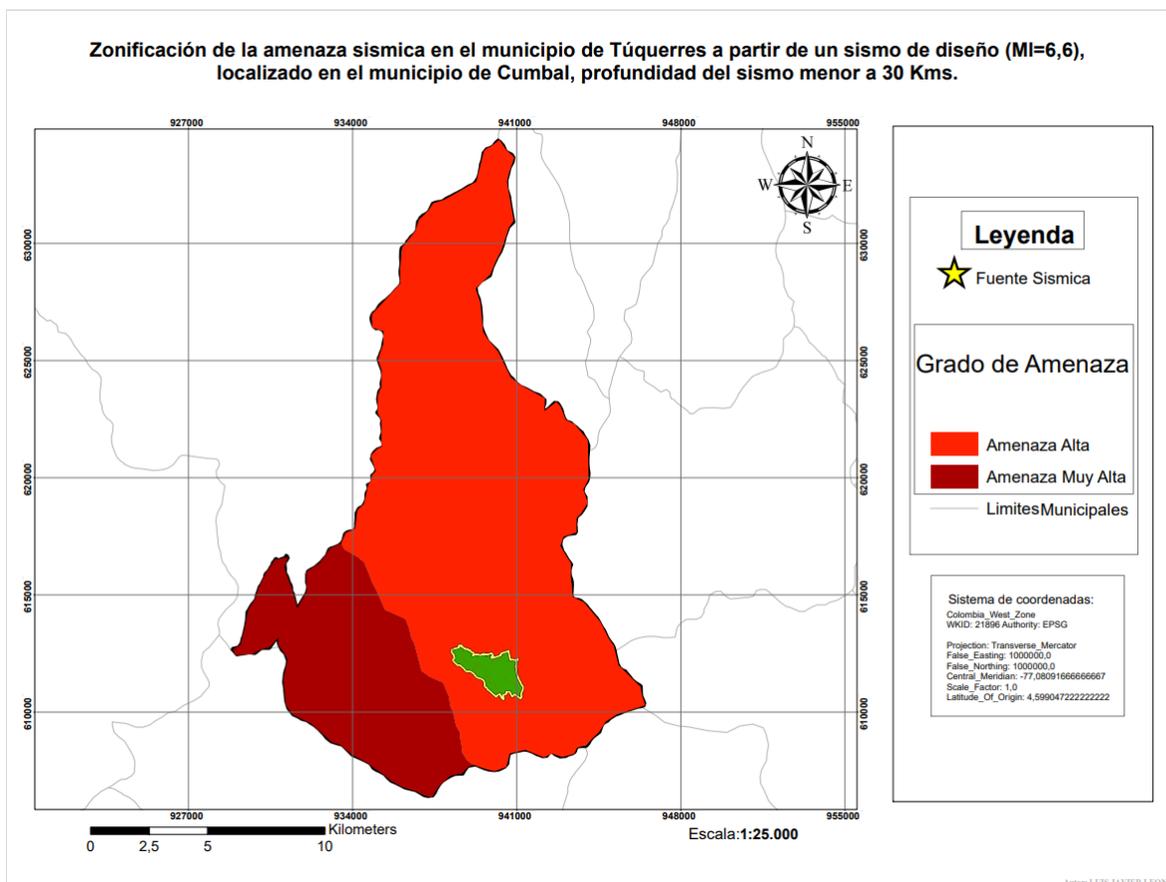
- De 0 a 30 metros
- De 30 a 60 metros
- Mas de 60 metros

Evaluación y calificación: la cercanía a un río o quebrada aumenta el grado de modificación de un terreno y las propiedades de los suelos además de ser agentes erosivos y que provocan procesos denudativos entra más cerca mayor será la calificación.

#### **5.2.5.2 Aplicación del método heurístico para la amenaza de movimientos en masa con escenario de sismo en el casco urbano del municipio de Túquerres**

La aplicación del método heurístico se desarrolla a partir del mapa de amenaza sísmica aunque existen 2 de ellos, elegimos para el desarrollo del método heurístico el mapa correspondiente a los sismos someros es decir los de profundidad menor a 30 kilómetros y cuya fuente sismogénica se ubica en el municipio de Cumbal, la Magnitud del sismo es de (6.6MI) y la zonificación arroja dos grados de amenaza: alta y muy alta, la primera tiene influencia directa para el casco urbano del municipio de Túquerres tal como se aprecia en la siguiente figura.

*Figura. 54. Ubicación del casco urbano dentro del mapa de amenaza sísmica del municipio de Túquerres.*



*Fuente elaboración propia basada en datos recolectados.*

La evaluación y calificación es la misma que se realizó en el método heurístico aplicado a la susceptibilidad de movimientos en masa, exceptuando lo siguiente:

El escenario de amenaza sísmica constituye un factor más al cual se le debe asignar un peso, para su posterior evaluación y como la sumatoria de subfactores debe ser igual a 100, se debió disminuir el peso de algunos subfactores como lo son: USG, Morfometría, distancia a ríos para que finalmente el factor sismo tuviera un peso de 30 esta cuantificación se hace en base a la relevancia que representa este factor como detonante de movimientos.

### **5.2.6 Probabilidad de ocurrencia de al menos un evento sísmico de Magnitud determinada, para un periodo de tiempo de 10 años.**

Tabla 9

MI	LnN(M)	N(M)	n sismos	T	K	t	p(al menos 1)
4,8	3,0042288	20,170655	22	25	0,88	10	100%
5,2	2,4119118	11,155268	8	25	0,32	10	95,9%
5,8	1,5234363	4,587964	2	25	0,08	10	55,1%
6,4	0,6349609	1,8869483	1	25	0,04	10	33%

Este cálculo determina la probabilidad de ocurrencia de cualquier sismo contenido en la base de datos del SGC en un periodo de diez años, en la tabla anterior se evidencia esto con cuatro ejemplos, la definición de algunas de las siglas son las siguientes:

- n sismos: hace referencia al número de veces que se repite un sismo en la base de datos del SGC.
- T: es el periodo comprendido entre 1993 (inicio de sismos) y 2018 (finalización de sismos) de la base de datos del SGC.
- t: es el tiempo a evaluar (10 años).

### 5.2.7 Rasterización de los datos obtenidos a partir del método heurístico en el software ArcMap 10.5

La información recopilada en campo y también la discretizada a partir de bases de datos del SGC, se encuentra almacenada y procesada en el software ArcMap 10.5, factores como: geología, geomorfología, uso de suelos, hidrología y amenaza sísmica del municipio de Túquerres cuenta con una cartografía digitalizada, con la cual por medio del método heurístico se le asignó una cuantificación, que representa a través de un valor numérico una propiedad, un proceso o una actividad, que afecta positiva o negativamente cualquier área de la zona de estudio.

A partir de los valores de calificación de cada uno de los subfactores, se realizó el proceso de rasterizado que consiste en pasar la información cartográfica digitalizada a formato raster, una vez rasterizados los subfactores se suman a través de la herramienta raster calculator, generando un raster que agrupa los diferentes subfactores. El raster final se zonificará a partir de un rango el cual representa el grado de susceptibilidad o amenaza, este rango viene dado a partir de la sumatoria de las calificaciones de cada una de las clases correspondientes a los subfactores evaluados, ejemplo: si la sumatoria de todas las

calificaciones es 90 este valor deberá repartirse en tres grados (alto, medio y bajo) de la siguiente manera: de 0 a 30 será bajo, de 30 a 60 medio y de 60 a 90 alto.

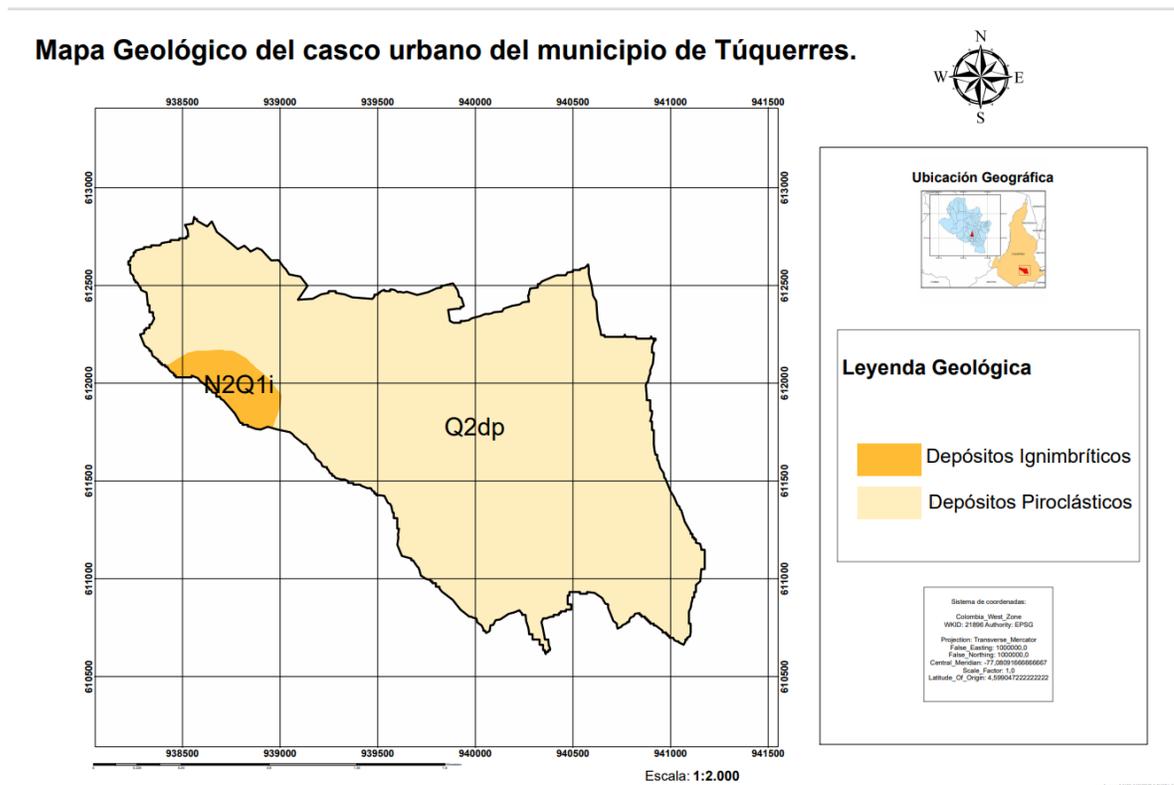
## 6. Resultados Generales

### 6.1 Geología del casco urbano del municipio de Túquerres

La cartografía geológica del casco urbano, es producto de un arduo trabajo en campo, donde se identificaron características litológicas que posteriormente se correlacionan con las unidades descritas en los documentos geológicos, (planchas 428 y 429 del servicio geológico colombiano) la unidad de depósitos ignimbríticos aflora en menor proporción en la parte noroeste del casco urbano, caracterizado por fases arcillosas y arenosas con presencia de bloques de ceniza y pómez. La unidad de depósitos piroclásticos aflora en mayor extensión y se caracteriza por flujos, oleadas y caídas conformadas por proporciones variables de pómez, líticos y cristales, el siguiente mapa representa la zonificación de las unidades mencionadas elaborado en el software ArcMap 10.5.

#### 6.1.1 Elaboración del mapa geológico del casco urbano del municipio de Túquerres

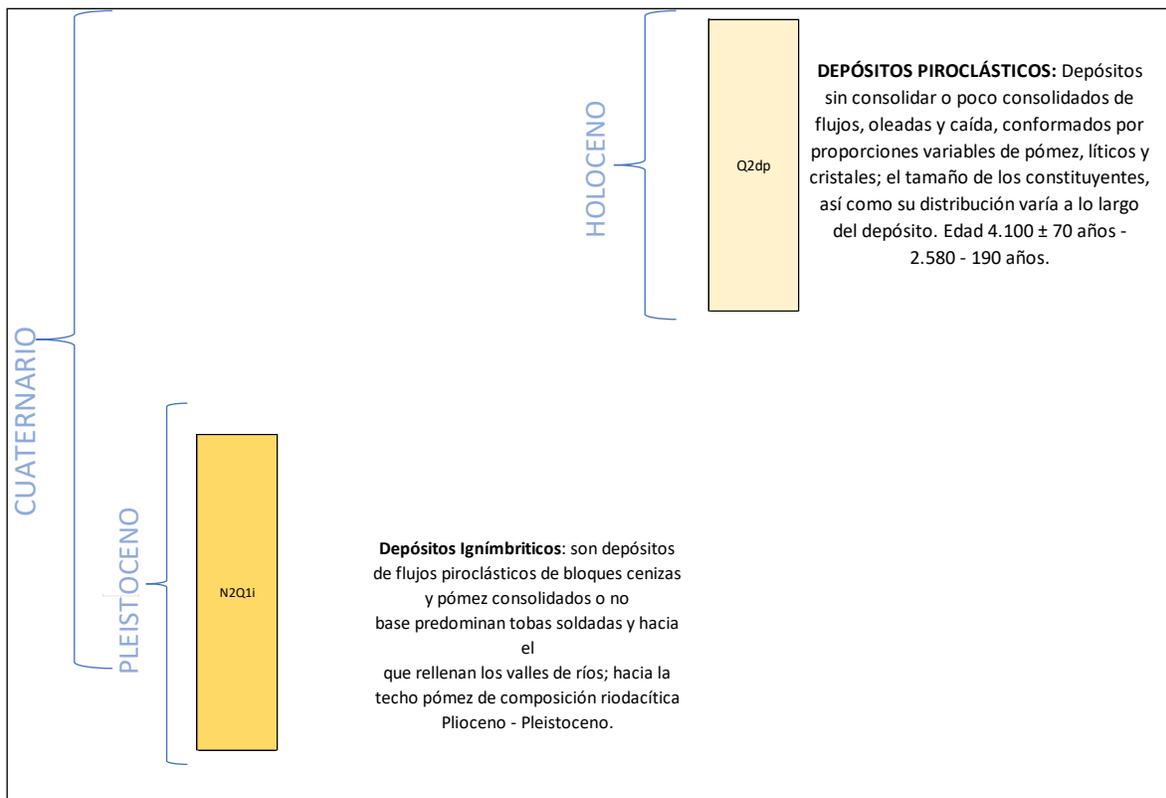
Figura 55. Mapa geológico del casco urbano Municipio de Túquerres



El anterior mapa se realizó con datos obtenidos en campo a través del software Arcmap 10.5. La figura 41 muestra el mapa geológico del casco urbano del municipio de Túquerres, se divide en dos unidades geológicas:

- Depósitos Ignimbríticos (N2Q1i): correspondiente a la época pleistoceno del periodo cuaternario, se encuentra distribuida en menor porcentaje que los depósitos piroclásticos.
- Depósitos Piroclásticos (Q2dp): correspondiente a la época Holoceno del periodo cuaternario, esta unidad geológica ocupa la mayor parte del casco urbano del municipio de Túquerres.

Figura. 56. columnas estratigráficas correspondientes al mapa de geología.

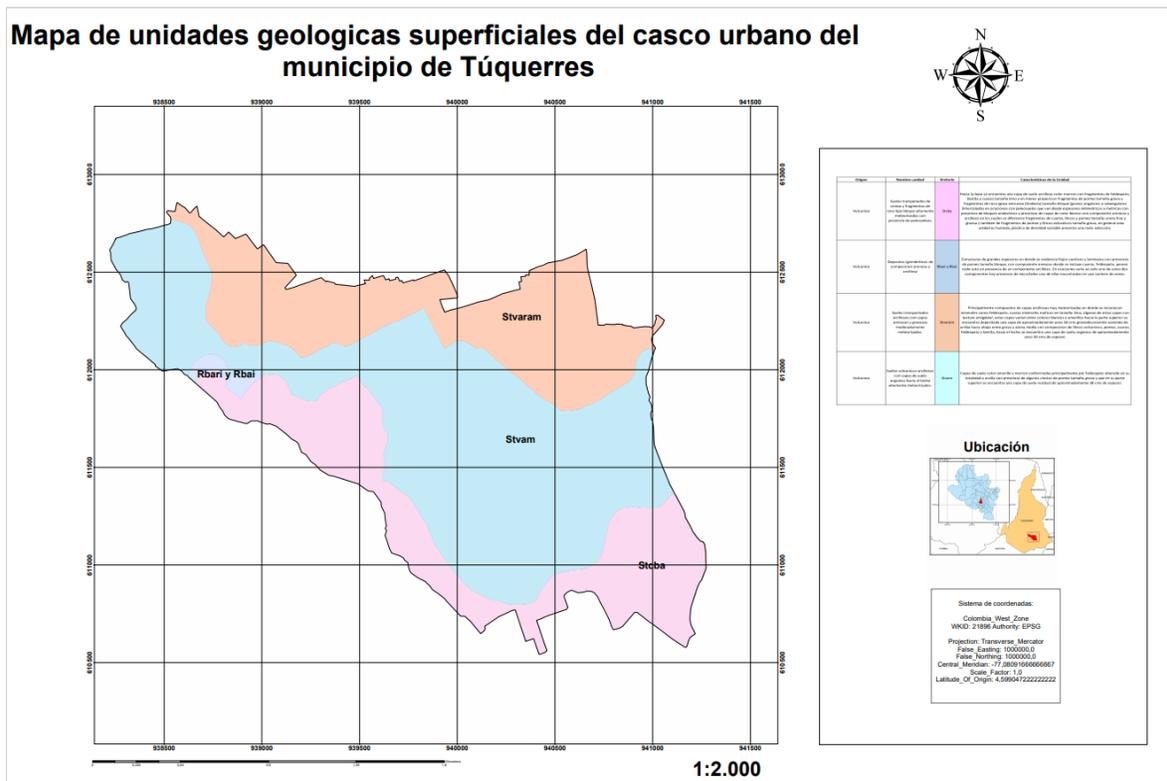


Unidades geológicas superficiales del casco urbano del municipio de Túquerres.

La cartografía de unidades geológicas superficiales significo el estudio de la litología y las propiedades geomecánicas de los suelos correspondientes al área del casco urbano.

## 6.1.2 Elaboración de Mapa de unidades geológicas superficiales del casco urbano Municipio de Túquerres

Figura. 57. Mapa de unidades geológicas superficiales del casco urbano Municipio de Túquerres



Fuente elaboración propia basada en datos recolectados.

El anterior mapa se realizó con datos obtenidos en campo a través del software Arcmap 10.5. La figura 39 muestra el mapa de unidades geológicas superficiales, las convenciones indican 4 divisiones con diferentes colores, estas cronológicamente corresponden al periodo cuaternario y se subdividen de la siguiente manera:

- Época Pleistoceno: Unidad Rbari y Rbai
- Época Holoceno: Unidad Stcba, Stvaram, Stvam.

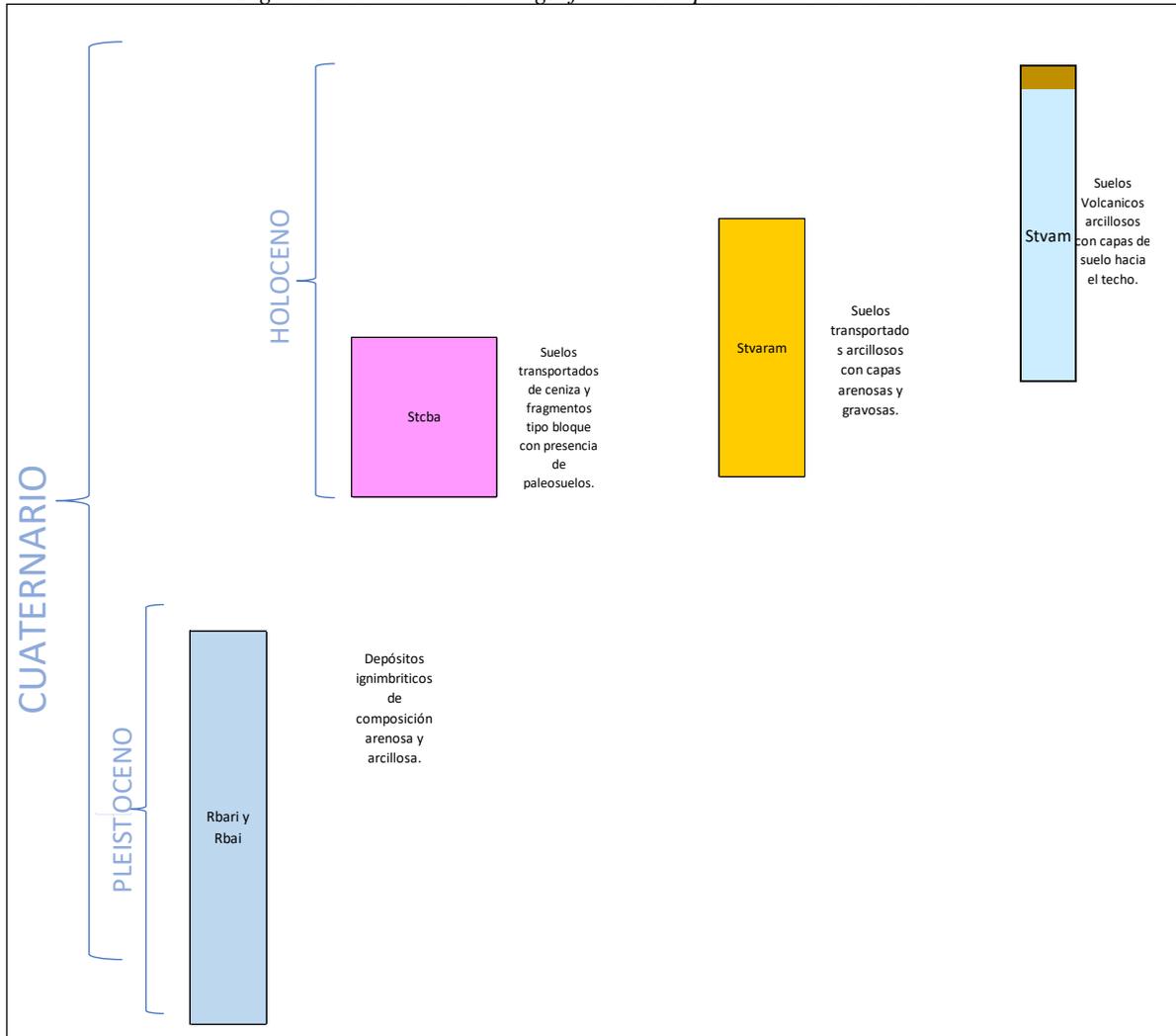
Tabla 10. Características de las unidades geológicas superficiales.

Origen	Nombre unidad	Símbolo	Características de la Unidad
Volcanico	Suelos transportados de ceniza y fragmentos de roca tipo bloque altamente meteorizados con presencia de paleosuelos.	Stcba	Hacia la base se encuentra una capa de suelo arcillosa color marrón con fragmentos de feldespato, biotita y cuarzo tamaño limo y en menor proporción fragmentos de pomez tamaño grava y fragmentos de roca ígnea extrusiva (Andesita) tamaño bloque (granos angulares a subangulares) intercalados en ocasiones con paleosuelos que van desde espesores milimétricos a métricos con presencia de bloques andesíticos y presencia de capas de color blanco con componente arenoso y arcilloso en los cuales se diferencian fragmentos de cuarzo, líticos y pomez tamaño arena fina y gruesa y también de fragmentos de pomez y líticos volcánicos tamaño grava, en general esta unidad es húmeda, plástica de densidad variable presenta una mala selección.
Volcanico	Depositos Ignimbriticos de composición arenosa y arcillosa	Rbari y Rbai	Estructuras de grandes espesores en donde se evidencia flujos caóticos y laminares con presencia de pomez tamaño bloque, con componente arenoso donde se incluye cuarzo, feldespato, pomez todo esto en presencia de un componente arcilloso. En ocasiones varía en solo uno de estos dos componentes hay presencia de microfallas una de ellas encontradas en una cantera de arena.
Volcanico	Suelos transportados arcillosos con capas arenosas y gravosas moderadamente meteorizados.	Stvaram	Principalmente compuestos de capas arcillosas muy meteorizadas en donde se reconocen minerales como feldespato, cuarzo minerales maficos en tamaño limo, algunas de estas capas con textura amigdalar, estas capas varían entre colores blancos a amarillos hacia la parte superior se encuentra depositada una capa de aproximadamente unos 50 cms granodiciente variando de arriba hacia abajo entre grava y arena media con composición de líticos volcánicos, pomez, cuarzo, feldespato y biotita, hacia el techo se encuentra una capa de suelo orgánico de aproximadamente unos 30 cms de espesor.
Volcanico	Suelos volcánicos arcillosos con capas de suelo orgánico hacia el techo altamente meteorizados.	Stvam	Capas de suelo color amarillo y marrón conformadas principalmente por feldespato alterado en su totalidad a arcilla con presencia de algunos clastos de pomez tamaño grava y que en su parte superior se encuentra una capa de suelo residual de aproximadamente 30 cms de espesor.

Fuente elaboración propia basada en datos recolectados.

En paralelo se elaboró la correlación de las columnas estratigráficas en donde se puede evidenciar que la unidad más antigua es la unidad rbari y rbai con espesores promedio de aproximadamente 2 metros correspondiente a la época del pleistoceno la cual está por sobre las unidades stcba y stvaram cuyos espesores oscilan entre los 1,5 y 3 metros, interrumpiendo la secuencia se encuentra la unidad stvam que en aunque en afloramientos aparece por debajo de stvam en su mayoría a desarrollado una capa de suelo de aproximadamente 30 cms.

Figura 55. Columnas estratigráficas correspondientes a las UGS.

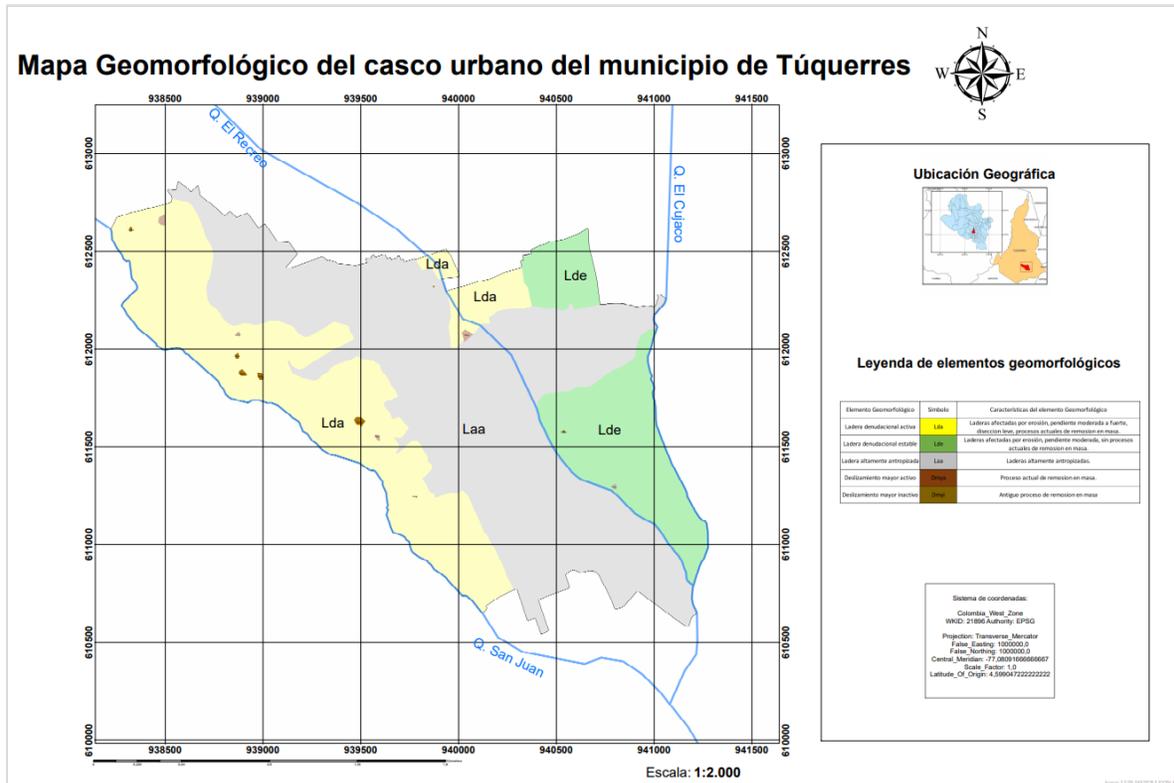


## 6.2 Geomorfología del casco urbano del municipio de Túquerres

La elaboración de la cartografía geomorfológica del casco urbano del municipio de Túquerres se basa en el trabajo de campo realizado en los 4,6 kilómetros de área del casco urbano y los mapas de pendientes, curvatura y rugosidad además de la evaluación de la morfodinámica un componente fundamental en el presente trabajo y que se representa mediante un mapa de inventario de movimientos en masa (activos e inactivos), cabe resaltar que todos los mapas fueron elaborados en ArcMap 10.5.

## 6.2.1 Elaboración del Mapa geomorfológico del casco urbano Municipio de Túquerres

Figura 56. Mapa de pendientes del casco urbano del municipio de Túquerres.



La figura muestra el mapa geomorfológico dividido en 3 unidades tal como se lo aprecia en las convenciones, las características principales son relieve suave ondulado pendientes no mayores a 40 grados, presencia de geformas cóncavas, convexas, existencia de procesos denudativos en la parte perimetral y superficies planas hacia el centro del casco urbano del municipio.

Tabla 11. Características de las unidades.

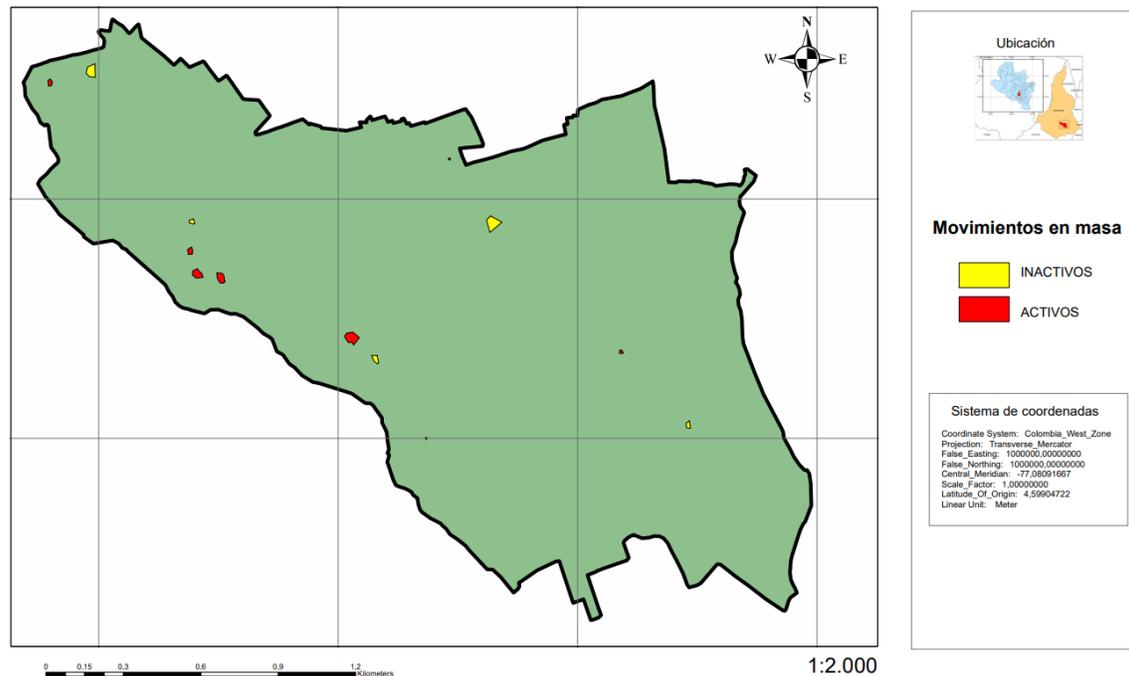
Elemento Geomorfológico	Símbolo	Características del elemento Geomorfológico
Ladera denudacional activa	Lda	Laderas afectadas por erosión, pendiente moderada a fuerte, disección leve, procesos actuales de remoción en masa.
Ladera denudacional estable	Lde	Laderas afectadas por erosión, pendiente moderada, sin procesos actuales de remoción en masa.
Ladera altamente antropizada	Laa	Laderas altamente antropizadas.
Deslizamiento mayor activo	Dmya	Proceso actual de remoción en masa.
Deslizamiento mayor inactivo	Dmyi	Antiguo proceso de remoción en masa

### 6.3 Elaboración del mapa de movimientos en masa del casco urbano del municipio de Túquerres

Figura 57. Mapa de movimientos en masa del casco urbano del municipio de Túquerres.

Este mapa muestra la ubicación, forma y contorno de los movimientos en masa presentes en el casco urbano del municipio de Túquerres.

Mapa de ubicación de movimientos en masa, activos e inactivos del municipio de Túquerres



Morfodinámica: Las condiciones meteorológicas y morfológicas de esta zona del país propicia un contexto morfodinámico activo, en el cual los movimientos en masa son el reflejo de la inestabilidad del terreno de algunos sectores del casco urbano del municipio de

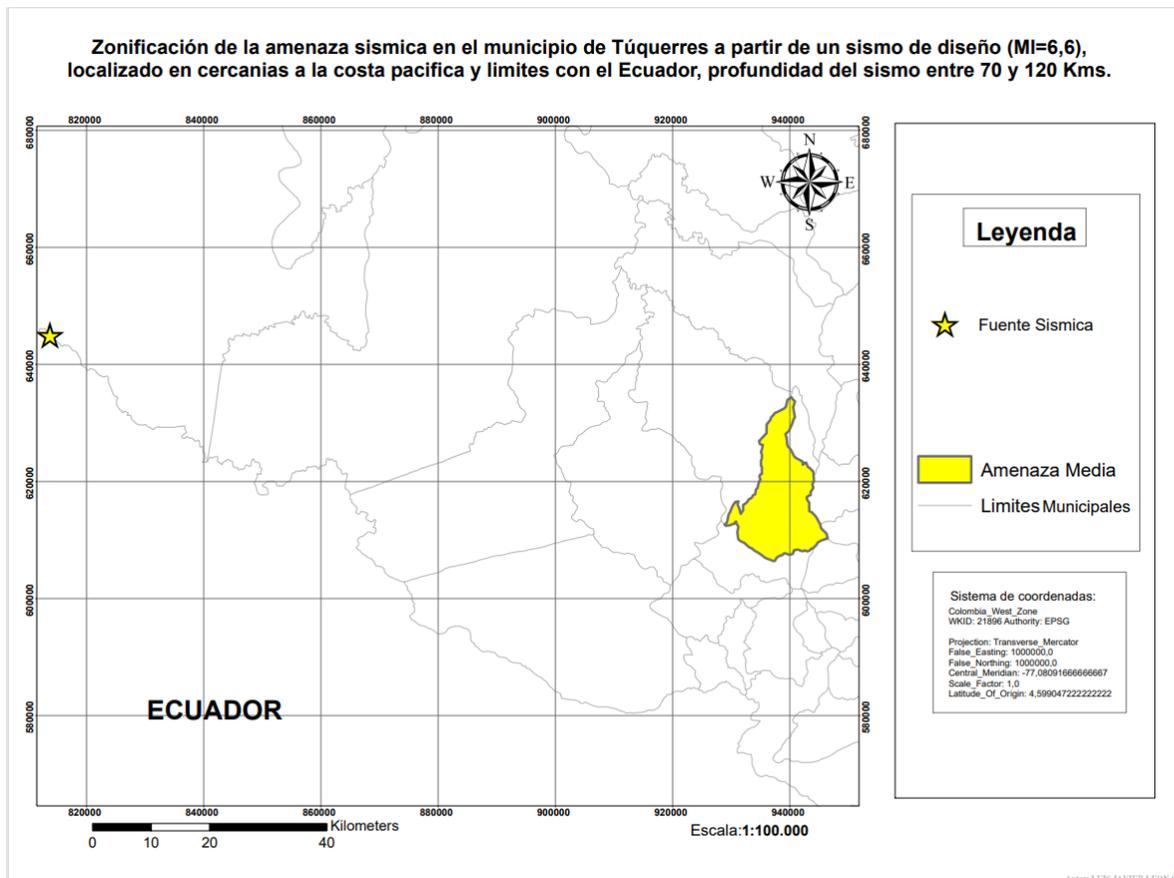
Túquerres, a pesar de que el relieve del municipio se caracterice por ser suave y con pendientes no muy abruptas.

#### 6.4 Elaboración de los mapas de amenaza sísmica del municipio de Túquerres a partir de las fuentes sismogénicas de sismos someros e intermedios

De acuerdo a la discriminación realizada en la metodología se proponen 2 ubicaciones una para sismos intermedios de profundidades entre 70 y 120 kilómetros y una para sismos someros con profundidades menores a 30 kilómetros, geográficamente los sismos se ubican en el municipio de Cumbal y en la costa pacífica respectivamente.

Siguiendo los pasos descritos en la metodología se elabora el siguiente mapa en el software ArcMap 10.5.

Figura 58. Mapa de amenaza sísmica municipio de Túquerres (Amenaza Media).

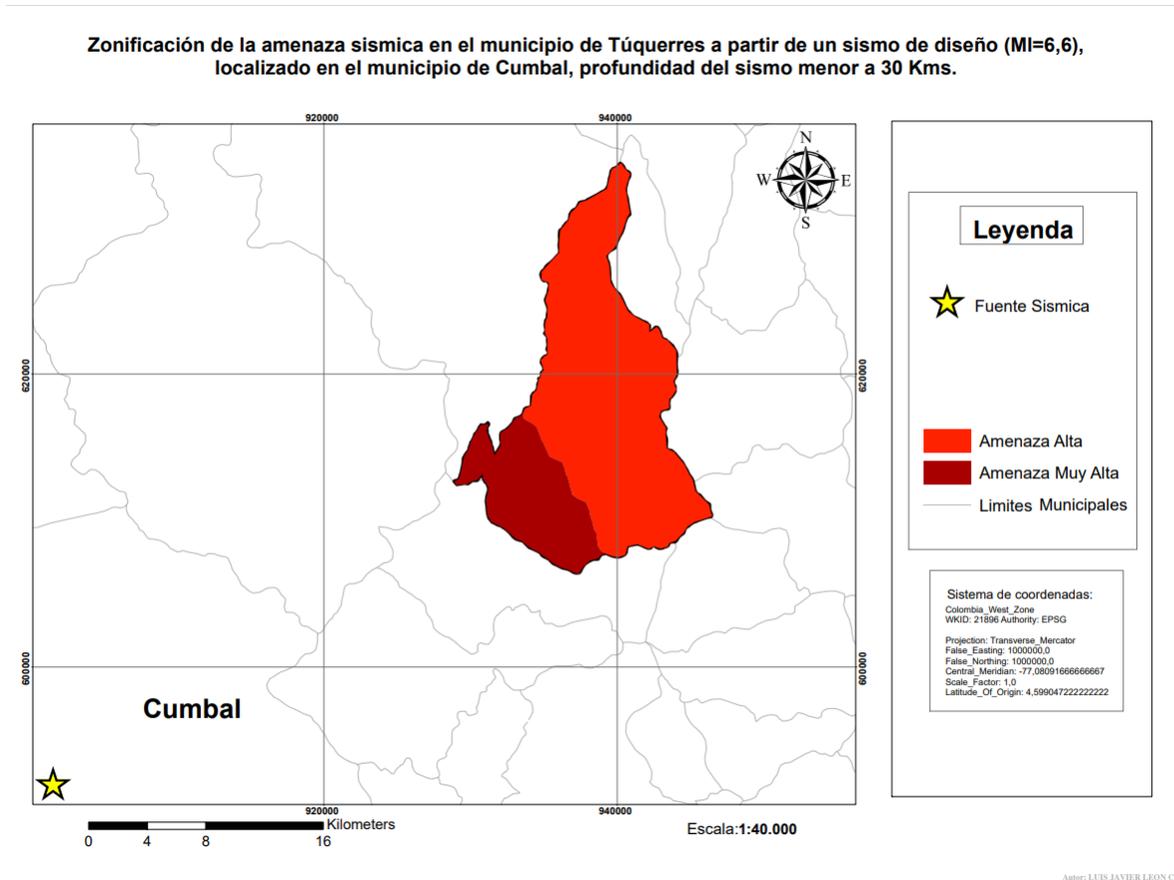


Fuente elaboración propia basada en datos recolectados.

El producto final es una propuesta donde se zonifica la amenaza sísmica del municipio de Túquerres frente a un sismo con una magnitud de 6.6 (MI), una profundidad

entre 70 y 120 kms ubicado en cercanías de la costa pacífica y límites con el país del Ecuador.

*Figura 59. Mapa de amenaza sísmica del municipio de Túquerres (Amenaza Alta y Muy Alta).*



*Fuente: elaboración propia basada en datos recolectados.*

El producto final es una propuesta donde se zonifica la amenaza sísmica del municipio de Túquerres frente a un sismo con una magnitud de 6.6 (MI), una profundidad menor a 30 kms y ubicado en el municipio de Cumbal.

### 6.5 Método heurístico a susceptibilidad y amenaza en el casco urbano del municipio de Túquerres

A partir de la siguiente cuantificación se define los grados de susceptibilidad.

Tabla 12. Método heurístico susceptibilidad de movimientos en masa

SUSCEPTIBILIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA								
Factor	Subfactores	División	Clase	Peso		Puntaje	Calificación	
Geología	UGS		Stvam	2		20	4	
			Stvaram	0		35	7	
			Rbari y Rbai			10	2	
			Stcba			35	7	
	Estructural (Distancia a fallas)		De 0 a 1 km	0		0	0	
			de 1 a 2 kms			0	0	
			de 2 a 3 kms			0	0	
			mayor a 3 km			0	0	
	Geomorfología	Morfogénesis		Lda	5		40	2
				Lde			40	2
				Lfa			20	1
	Geomorfología	Morfometría	Pendientes	0 a 2	3		1	0,35
				2 a 4	5		3	1,05
4 a 8						5	1,75	
8 a 16						22	7,7	
16 a 35						30	10,5	
35 a 55						39	13,65	

			Mayor a 55			0	0	
		Curvatura	Cóncava	7	negativo	50	3,5	
			Plana		cercano a 0	0	0	
			Convexa		positivo	50	3,5	
		Rugosidad	Muy baja	1	0,8 a 1	20	0,2	
			Baja		0,6 a 0,8	20	0,2	
			Media		0,4 a 0,6	20	0,2	
			Alta		0,2 a 0,4	20	0,2	
			Muy alta		0 a 0,2	20	0,2	
		Acuena	Divisoria	9	0	1	0,09	
			Escorrentía lenta		0 a 3500	0	0	
			Flujo acumulado		3500 a 40000	0	0	
			Drenaje no permanente		De 40000 a 1000000	30	2,7	
			Quebradas y rios		mayor a 1000000	69	6,21	
	Morfodinámica	Mm	Hay	1		100	10	
			No hay	0		0	0	
Usos de suelo			Areas Agricolas	3		35	3,5	
			Areas sin Densificar			55	5,5	
			Areas Residenciales			10	1	

Drenajes (DISTANCIA A RIOS)			De 0 a 30 m	1 0		40	4	
			De 30 a 60 m			30	3	
			Mas de 60 m			30	3	
						Sum atori a	107	

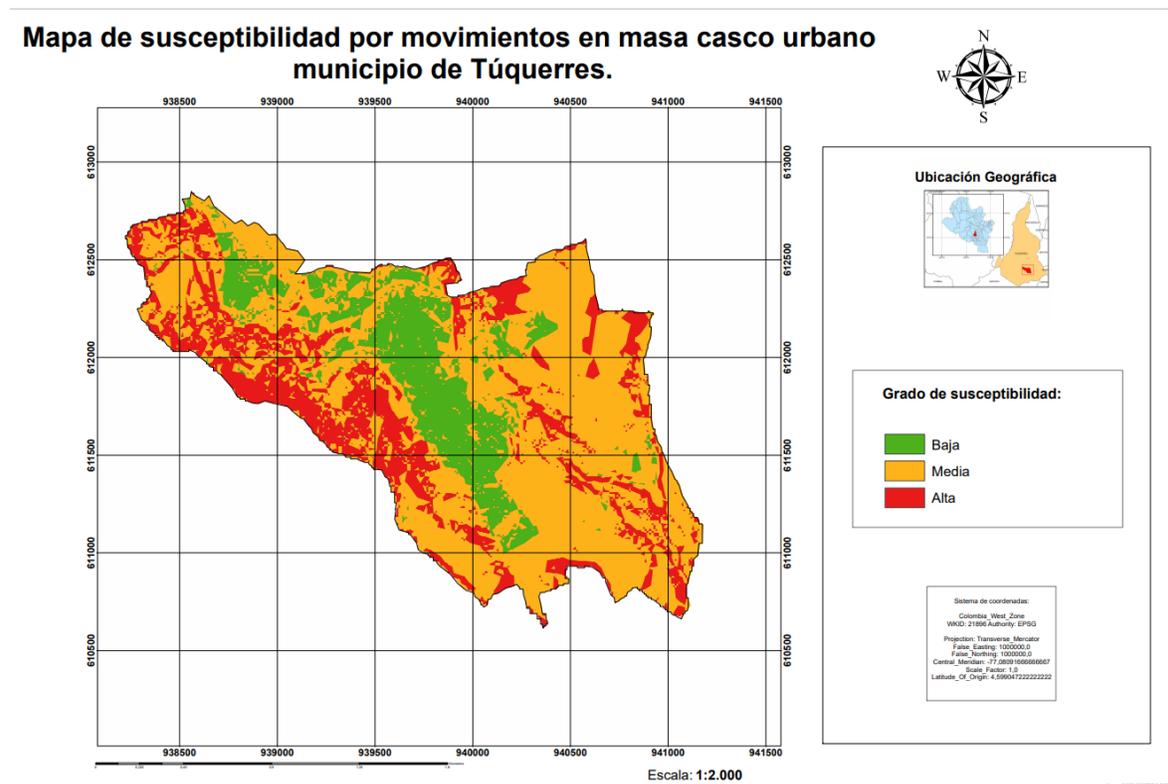
Al efectuar la sumatoria a las calificaciones se obtiene el valor de 107, de esta manera los grados de susceptibilidad quedan de la siguiente manera:

- De 0 a 35,6 se tiene susceptibilidad baja.
- De 35,6 a 71,3 se tiene susceptibilidad media.
- De 71,3 a 107 se tiene susceptibilidad alta.

Estos valores se ven reflejados en la zonificación que se realiza en el mapa de susceptibilidad por movimientos en masa del casco urbano del municipio de Túquerres.

## 6.6 Elaboración del mapa de susceptibilidad por movimientos en masa del casco urbano del municipio de Túquerres.

Figura 60. Mapa de susceptibilidad por movimientos en masa casco urbano del municipio de Túquerres.



Fuente elaboración propia basada en datos recolectados.

La inclusión del factor sísmico hace que a la cuantificación se le aplique una serie de modificaciones tal como se evidencia en la siguiente tabla:

Tabla 13. Método heurístico amenaza de movimientos en masa escenario sismo

MAPA DE AMENAZA POR MOVIMIENTO EN MASA CON ESCENARIO DE SISMO								
Factor	Subfactores	División	Clase	Peso		Puntaje	Calificación	
Geología	UGS		Stvam	12,5		20	2,5	
			Stvaram			35	4,375	
			Rbari y Rbai			10	1,25	
			Stcba			35	4,375	
	Estructural (Distancia a fallas)			De 0 a 1 km	0		0	0
				de 1 a 2 kms			0	0

Geomorfología			de 2 a 3 kms			0	0		
			mayor a 3 km			0	0		
	Morfogénesis			Lda	5		40	2	
				Lde			40	2	
				LfA			20	1	
	Morfometría	Pendientes		0 a 2	12,5		1	0,125	
				2 a 4			3	0,375	
				4 a 8			5	0,625	
				8 a 16			22	2,75	
				16 a 35			30	3,75	
				35 a 55			39	4,875	
				Mayor a 55			0	0	
				Curvatura		Cóncava	7	negativo	
		Plana			cercano a 0			0	0
		Convexa			positivo			50	3,5
		Rugosidad	Muy baja	1	0,8 a 1		20	0,2	
					Baja		0,6 a 0,8	20	0,2
					Media		0,4 a 0,6	20	0,2
					Alta		0,2 a 0,4	20	0,2
					Muy alta		0 a 0,2	20	0,2
		Acuena	Divisoria	9	0		1	0,09	
					0 a 3500		0	0	
	3500 a 40000					0	0		
De 40000 a 100000					30	2,7			
Quebradas y rios					mayor a 100000	69	6,21		
Morfodinámica	Mm		Activo	10		100	10		
			Inactivo			0	0		
Usos de suelo			Areas Agrícolas	3		35	3,5		

			Areas sin Densificar			55	5,5	
			Areas Residencia les			10	1	
Drenajes (DISTANCI A A RIOS)			De 0 a 30 m	10		40	4	
			De 30 a 60 m			30	3	
			Mas de 60 m			30	3	
Sismo	Alta			30		40	12	
	Muy alta					60	6	
	Extremadame nte alta					0	0	
						Sumatoria	95	

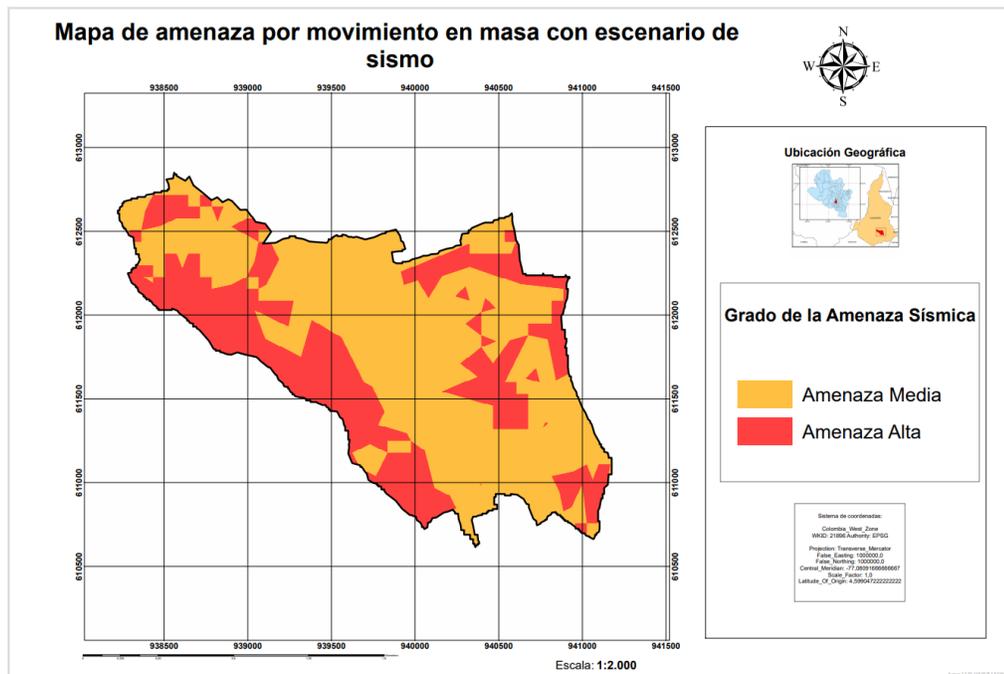
Al efectuar la sumatoria a las calificaciones se obtiene el valor de 95, de esta manera los grados de amenaza quedan de la siguiente manera:

- De 0 a 31,7 se tiene amenaza baja.
- De 31,7 a 63,3 se tiene amenaza media.
- De 63,3 a 95 se tiene amenaza alta.

Estos valores se ven reflejados en la zonificación que se realiza en el mapa de amenaza por movimiento en masa con escenario de sismo

### **6.7 Elaboración del Mapa de amenaza por movimiento en masa con escenario de sismo del casco urbano del municipio de Túquerres**

Figura 61. Mapa de amenaza por movimiento en masa con escenario de sismo.



Fuente: elaboración propia basada en datos recolectados.

En este caso la amenaza se ha reducido a dos grados: medio y alto, las zonas de color rojo representan áreas donde el sismo potenciaría factores como: pendientes abruptas, topografía, cercanías a drenajes, materiales del suelo cuya repuesta sea crítica a este tipo de eventos y las áreas de color naranja aun siendo susceptibles al evento sísmico demuestran ser más resilientes a estos fenómenos, sin descartar la ocurrencia de deslizamientos ya que todo el casco urbano se encuentra dentro de la franja de amenaza sísmica alta para el municipio de Túquerres.

### **Discusión**

En el desarrollo del trabajo se evidencio el precario inventario de insumos digitales y cartográficos con los que cuenta la alcaldía municipal de Túquerres, la poca cartografía geológica, geomorfológica y topográfica se encuentra desactualizada, no cumple con la normatividad impartida por entidades como el IGAC, a continuación se exponen dos ejemplo muy frecuentes: primero, los mapas municipales de amenazas naturales, como movimientos en masa o inundaciones, están elaborados a escalas muy grandes (1:35.000) y no como las metodologías vigentes (Carvajal 2011) lo proponen (1:25.000), segundo, los mapas sobre inundaciones, movimientos en masa, incendios estructurales, usos del suelo, entre otros, enfocados al casco urbano del municipio, están elaborados a escala (1:5.000) y no a escala (1:2.000) como lo exige la entidad encargada de regir estos parámetros (IGAC), desestimando el nivel de detalle que deben cumplir este tipo de estudios. Por otro lado, la elaboración de insumos de carácter geológico o geomorfológico carece del criterio de un experto para su elaboración, razón por la cual se pasan por alto los pasos presentes en las metodologías que se deben cumplir para la obtención de estos mapas o sencillamente no se aplica ninguna metodología.

En aras de mejorar varias de las situaciones expuestas anteriormente, se decide trabajar con: la guía metodológica para la zonificación de amenaza, por movimientos en masa escala 1: 25.000 del Servicio Geológico Colombiano y la propuesta de estandarización de la cartografía geomorfológica en Colombia de Carvajal 2011, siguiendo estrictamente su metodología salvo algunas excepciones, como la ausencia de un DEM para la elaboración del mapa geomorfológico, pero que fue cubierta con un levantamiento topográfico existente con un nivel de detalle menor pero aceptable. Cuando se quiere evaluar la susceptibilidad o la amenaza por movimientos en masa, de una área puntual como lo es el casco urbano del municipio de Túquerres, se debe desarrollar un trabajo de campo, para elaborar previamente una cartografía geológica y de unidades geológicas superficiales, que sustenten las propiedades y comportamientos de los materiales del suelo y subsuelo, para posteriormente ser correlacionadas con documentos científicos que avalen las interpretaciones realizadas en campo, un mapa geomorfológico que requiere una previa revisión de fotografías aéreas o imágenes satelitales, un trabajo de campo que permita cerciorarse de la fidelidad de cualquier elemento geomorfológico del cual se tenga duda, el

procesamiento de datos a partir de un DEM (modelo de elevación digital) en un software SIG (sistemas de información geográfica) y finalmente se requiere un inventario de los movimientos en masa actuales de la zona de estudio, todo esto a una escala 1:2000, la cual representara de forma fidedigna y con un buen nivel de detalle la información recopilada y procesada. En este trabajo también se involucra el sismo, uno de los detonantes de los movimientos en masa, para el cual se desarrolla una metodología de trabajo, la cual comienza con una recopilación de información que posteriormente es procesada en un software SIG y finalmente se aplica un método de evaluación sencillo, pero que le da validez a la propuesta de un mapa de amenaza sísmica para el municipio de Túquerres.

Combinado la susceptibilidad por movimientos en masa realizada al casco urbano del municipio de Túquerres y el mapa de amenaza sísmica, se elabora finalmente el mapa de amenaza por movimientos en masa con escenario de sismo, un insumo que permite principalmente a la oficina municipal de gestión del riesgo de desastres generar estrategias que en primer lugar den a conocer la relación del sismo y los deslizamientos que por lo general erróneamente se atribuyen al detonante lluvia, este junto con los demás productos permiten dar mayor claridad a un panorama carente de estudios científicos básicos o detallados.

## Conclusiones Y Recomendaciones

- La ubicación del sismo de diseño refleja claramente el papel que desempeña la distancia entre la fuente sismogénica y el sitio de estudio, siendo esta directamente proporcional al grado de amenaza sísmica, tal que el sismo de diseño ubicado en cercanías a la costa pacífica y límites con el Ecuador ubicado a 128,9kms del sitio de estudio, arroja valores máximos de atenuación de 14,2 %g a diferencia del sismo de diseño ubicado en el municipio de Cumbal con una distancia de 42,7 kms cuyos valores máximos de atenuación son de 30,8 %g, estableciendo amenaza media, alta y muy alta respectivamente.
- Los suelos del casco urbano del municipio de Túquerres son de origen volcánico, composicionalmente cuentan con un alto porcentaje de limos y arcillas, son húmedos, poco densos y plásticos, esto implica que la respuesta ante un evento sísmico de gran magnitud obedezca a deformaciones, deslizamientos, amplificaciones sísmicas, licuefacciones y otra serie de procesos que pueden afectar en gran medida a la infraestructura y población como ha ocurrido a lo largo de su historia.
- La zona periférica del casco urbano del municipio de Túquerres representa áreas de alto grado de susceptibilidad por movimientos en masa debido no solo a factores naturales sino también a factores antrópicos, como malos usos del suelo, tomando como ejemplo las actividades de pastoreo, las cuales desestabilizan las propiedades mecánicas de los suelos, incrementando la probabilidad de deslizamientos y posibles taponamientos de drenajes importantes, ya que estas zonas limitan con quebradas de considerable caudal.
- El sismo ocupa un segundo lugar después de la lluvia como factor detonante de movimientos en masa en el municipio de Túquerres, esto debido a la baja frecuencia con la que ocurren estos eventos y la complejidad que representa su estudio, sumado a la precaria instrumentación de medición y ausencia de personal idóneo. Por su historial sísmico, su contexto tectónico y geológico tanto composicional como estructural, el municipio de Túquerres debe fortalecer los organismos de respuesta e incorporar políticas que permitan el desarrollo de estrategias de autocuidado y buenos hábitos constructivos que permitan reducir el riesgo que estos fenómenos naturales representan.

## Referencias Bibliográficas

BARRERO, D. 1979. Geology of the central Western Cordillera, west of Buga and Roldanillo, Colombia. *Ingeominas, Publ. Geol. Esp.*, 4:1-75. Bogotá.

GROSSE, E. 1935. Acerca de la geología del sur de Colombia. Informe rendido al Ministerio de Industrias sobre un viaje al Huila y Alto Caquetá. *CEGOC*, 3: 31-137. Bogotá.

Gonzales, Zapata, Montoya H. G. D. (2002) *INGEOMINAS: GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA DE LA PLANCHA 428 TÚQUERRES*. [En línea]. Recuperado de: <http://recordcenter.sgc.gov.co/B4/13010010002753/documento/pdf/0101027531101000.pdf>

Murcia, Cepeda A.H. (1991) *INGEOMINAS: GEOLOGÍA DE LAS PLANCHA 429 PASTO*. [En línea]. Recuperado de: <http://recordcenter.sgc.gov.co/B4/13010010021455/documento/pdf/0101214551101000.pdf>

Velázquez, Parra M.E *INGEOMINAS: GEOLOGIA DE LAS PLANCHAs 447- IPIALES Y 447 BIS-TALLAMBÍ*. [En línea.]. Recuperado de: <http://recordcenter.sgc.gov.co/B4/13010010002817/documento/pdf/0101028171101000.pdf>

CORPONARIÑO (2011) Plan De Ordenamiento Del Recurso Hídrico De La Quebrada El Recreo Y Su Afluente Principal La Quebrada San Juan [En línea] Recuperado de : <https://corponarino.gov.co/expedientes/descontaminacion/porhrecreoysanjuan.pdf>

Añoranzas Túquerres (s.f) “Registros Fotográficos [En línea] Recuperado de: <https://www.facebook.com/tuquerrespasado>

Ponce, S., (2013). *Historia De Los Terremotos En Túquerres*, Pasto- Colombia : Printed in Colombia.

COMISIÓN NACIONAL DE PREVENCIÓN DE RIESGOS Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS (s.f). ¿Qué es un sismo? [En línea] Recuperado de:

[https://www.cne.go.cr/reduccion\\_riesgo/informacion\\_educativa/recomentaciones\\_consejos/sismo.aspx](https://www.cne.go.cr/reduccion_riesgo/informacion_educativa/recomentaciones_consejos/sismo.aspx)

Romero, Ojeda, Arcila, Alvarado J.A.M.C (2005) *INGEOMINAS*: Caracterización de fuentes sismogénicas Informe No 1-8. [En línea] Recuperado de:

<http://recordcenter.sgc.gov.co/B7/21003002515005/documento/pdf/2105150051110000.pdf>

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE OBSERVATORIO DE AMENAZAS (s.f) [En línea] Recuperado de:

<https://www.snet.gob.sv/ver/seccion+educativa/sismologia/escalas+de+magnitud/>

SERVICIO GEOLOGICO COLOMBIANO (s.f) Sistema de Consulta de la Amenaza Sísmica de Colombia [En línea] Recuperado de:

<https://www2.sgc.gov.co/ProgramasDeInvestigacion/geoamenazas/Paginas/Sistema-de-Consulta-de-la-Amenaza-Sismica-de-Colombia.aspx>

SERVICIO GEOLOGICO COLOMBIANO (2017) Guía Metodológica Para La Zonificación De Amenaza Por Movimientos En Masa Escala 1: 25.000 [En línea]

Recuperado de: [https://www2.sgc.gov.co/Archivos/GM\(2017\).pdf](https://www2.sgc.gov.co/Archivos/GM(2017).pdf)

### **Anexos**

Anexo 1: Documento Excel de la base de datos del Catalogo sísmico de Túquerres y lugares aledaños.

Anexo 2: Documento Excel del Método heurístico para susceptibilidad y amenaza.

Anexo 3: Mapas en PDF del casco urbano del municipio de Túquerres escala 1:2.000 (mapa geológico, mapa geomorfológico, mapa de unidades geológicas superficiales, mapa de pendientes, mapa de rugosidad, mapa acuenca, mapa de curvatura, mapa de susceptibilidad por movimientos en masa y mapa de amenaza por movimientos en masa con escenario de sismo).

Anexo 4: Mapas en PDF del municipio de Túquerres escala 1:25.000 (mapa de amenaza sísmica para sismos intermedios y mapa de amenaza sísmico para sismos someros).

Anexo 5: Geodatabase ArcGIS, con el desarrollo de los diferentes procesos cartográficos además del procesamiento de la base de datos del SGC.