

Suelo Urbano, Suelo de Expansión Urbana y Centros Poblados

Municipio de Cajicá

Capítulo 2:

Estudio Básico de Amenaza por Movimientos en Masa

Subcapítulo 2: Suelo Urbano, Suelo de Expansión Urbana y Centros Poblados



 ALCALDÍA MUNICIPAL DE CAJICÁ	ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA			 ARCO C&C
SUELOS URBANO, EXPANSIÓN URBANA. Y CENTROS POBLADOS	ESTUDIO BÁSICO DE AMENAZAS POR MOVIMIENTO EN MASA	CAJICÁ		

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	10
2.2.1. OBJETIVOS.....	12
2.2.1.1. Objetivo general.....	12
2.2.1.2. Objetivos específicos.....	12
2.2.2. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL ESTUDIO	13
2.2.2.1. Área de estudio.....	15
2.2.3. METODOLOGÍA	19
2.2.3.1. Factor de Seguridad.....	20
2.2.3.2. Probabilidad de falla	23
2.2.3.3. Método de estimativos puntuales.....	25
2.2.3.4. Detonantes	29
2.2.3.4.1. Lluvias	30
2.2.3.4.2. Sismos	35
2.2.3.5. Escenarios de amenaza	37
2.2.4. GEOLOGÍA PARA INGENIERÍA.....	40
2.2.4.1. Caracterización mecánica del suelo.....	53
2.2.4.2. Parámetros de resistencia mecánica de las unidades de geología para ingeniería (UGI) 68	
2.2.5. RESULTADOS.....	70
2.2.5.1. Parámetros estadísticos	70
2.2.5.2. Descripción y categorización de la amenaza	71
2.2.6. VALIDACIÓN	83

 ALCALDÍA MUNICIPAL DE CAJICÁ	ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA			
	SUELOS URBANO, EXPANSIÓN URBANA. Y CENTROS POBLADOS	ESTUDIO BÁSICO DE AMENAZAS POR MOVIMIENTO EN MASA	CAJICÁ	

2.2.7.	CONCLUSIONES.....	91
2.2.8.	DELIMITACIÓN Y ZONIFICACIÓN DE LAS ÁREAS CON CONDICIÓN DE AMENAZA Y CON CONDICIÓN DE RIESGO; suelos urbanos	93
2.2.8.1.	Delimitación y zonificación de las áreas con condición de amenaza.....	93
2.2.8.2.	Delimitación y zonificación de las áreas con condición de riesgo.....	96
2.2.9.	DELIMITACIÓN Y ZONIFICACIÓN DE LAS ÁREAS CON CONDICIÓN DE AMENAZA Y CON CONDICIÓN DE RIESGO; CENTROS POBLADOS	99
3.2.8.1.	Delimitación y zonificación de las áreas con condición de amenaza.....	99
3.2.8.2.	Delimitación y zonificación de las áreas con condición de riesgo.....	103
3.2.9.	MEDIDAS DE INTERVENCIÓN ORIENTADAS A ESTABLECER RESTRICCIONES CONDICIONAMIENTOS MEDIANTE LA DETERMINACIÓN DE NORMAS URBANÍSTICAS	106
3.2.10.	REFERENCIAS	108

 ALCALDÍA MUNICIPAL DE CAJICÁ	ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA			 ARCO C & C
SUELOS URBANO, EXPANSIÓN URBANA. Y CENTROS POBLADOS	ESTUDIO BÁSICO DE AMENAZAS POR MOVIMIENTO EN MASA	CAJICÁ		

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Área de estudio suelo urbano Central, Capellanía, suelo de expansión urbana y centros poblados, municipio de Cajicá.....	16
Ilustración 2. Área de estudio suelos urbanos Central, La Capellanía y suelos de expansión urbana, municipio de Cajicá.	17
Ilustración 3. Área de estudio centro poblados, municipio de Cajicá.....	18
Ilustración 4. Proceso metodológico para la zonificación de la amenaza por movimientos en masa.....	19
Ilustración 5. Parámetros para análisis de estabilidad por medio de la aproximación de talud infinito.....	21
Ilustración 6. Factor de seguridad FS versus probabilidad de falla $Pf1(a)$ $Pf2(b)$	23
Ilustración 7. (a) factor de seguridad y probabilidad de falla. (b) aproximación del índice de confiabilidad.....	24
Ilustración 8. Localización de los puntos de muestreo y pesos para una función que depende de una variable aleatoria (a) y dos variables aleatorias (b).	25
Ilustración 9. Puntos de Rosenblueth y pesos para tres variables correlacionables y no correlacionables.....	27
Ilustración 10. Ejemplo de correlación de parámetros de suelo c' y ϕ' positiva perfecta a), negativa b) y no correlacionables c).....	28
Ilustración 11. Representación de los términos utilizados para el cálculo de la profundidad del nivel freático asociada a un período de retorno de 20 años.	32
Ilustración 12. Representación esquemática de la estructura de cálculo empleada para la evaluación de la probabilidad de falla total anual para cada unidad de trabajo (píxel).....	39
Ilustración 13. Estaciones de campo para el suelo urbano, de expansión urbana y centros poblados, municipio de Cajicá, Cundinamarca.	45

 ALCALDÍA MUNICIPAL DE CAJICÁ	ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA			 ARCO C & C
	SUELOS URBANO, EXPANSIÓN URBANA. Y CENTROS POBLADOS	ESTUDIO BÁSICO DE AMENAZAS POR MOVIMIENTO EN MASA	CAJICÁ	

Ilustración 14. Mapa de UGI y puntos de exploración para el área del suelo urbano, de expansión urbana y centros poblados, municipio de Cajicá, Cundinamarca.	47
Ilustración 15. Perfil esquemático A-A' de UGS para el área del suelo urbano, suelo de expansión urbana y centros poblados del municipio de Cajicá, Cundinamarca.	48
Ilustración 16. Localización de los puntos de exploración del subsuelo (sondeos, apiques y líneas de refracción sísmica) para el municipio de Cajicá, Cundinamarca.	54
Ilustración 17. Amenaza por movimientos en masa en el suelo urbano, suelo de expansión urbana y centros poblados.	74
Ilustración 18. Amenaza por movimientos en masa en el suelo urbano Central, La Capellanía y Suelos de expansión urbana.	76
Ilustración 19. Amenaza por movimientos en masa en el centro poblado La Trinidad.	80
Ilustración 20. Proceso de inestabilidad vía Molino – Manas, Coordenadas X=1005643,5 Y=1038491,1	83
Ilustración 21. Evolución del proceso de inestabilidad vía Molinos Mana (1962, 1980, 2005 y 2021). Resultado de la zonificación de amenaza sobre el sitio.	84
Ilustración 22. Resultado de la zonificación y vista sobre el talud, Coordenadas: X=1007282,2 Y=1036549,1)	85
Ilustración 23. Deslizamiento sobre uno de los diques que colinda con el río Bogotá. Coordenadas: X=1007500 Y=1035213	86
Ilustración 24. Proceso de socavación lateral sobre los taludes del dique sobre el río Bogotá. Coordenadas: X=1007406.9 Y=1036079,8 MCB	87
Ilustración 25. Afectación sobre el dique del río Bogotá, vereda Calahorra. Inspección CAR sitios críticos.	88
Ilustración 26. Resultado de la zonificación de amenaza para el área de estudio y para las inmediaciones de la vereda Calahorra.	89
Ilustración 27. Procesos morfodinámicos en el área de estudio urbana definida.	90
Ilustración 28. Proceso metodológico empleado para la delimitación y zonificación de las áreas con condición de amenaza.	94

 ALCALDÍA MUNICIPAL DE CAJICÁ	ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA			 ARCO C & C
	SUELOS URBANO, EXPANSIÓN URBANA. Y CENTROS POBLADOS	ESTUDIO BÁSICO DE AMENAZAS POR MOVIMIENTO EN MASA	CAJICÁ	

Ilustración 29. Delimitación y zonificación de las áreas con condición de amenaza por movimientos en masa en el suelo urbano principal de Cajicá, Cundinamarca. 95

Ilustración 30. Proceso metodológico empleado para la delimitación y zonificación de las áreas con condición de riesgo. 97

Ilustración 31. Delimitación y zonificación de las áreas con condición de riesgo por movimientos en masa en el suelo urbano principal del municipio de Cajicá, Cundinamarca. 98

Ilustración 32. Proceso metodológico empleado para la delimitación y zonificación de las áreas con condición de amenaza. 100

Ilustración 33. Delimitación y zonificación de las áreas con condición de amenaza por movimientos en masa en los centros poblados de Cajicá, Cundinamarca. 102

Ilustración 34. Proceso metodológico empleado para la delimitación y zonificación de las áreas con condición de riesgo. 104

Ilustración 35. Delimitación y zonificación de las áreas con condición de riesgo por movimientos en masa en los centros poblados del municipio de Cajicá, Cundinamarca. 105

 ALCALDÍA MUNICIPAL DE CAJICÁ	ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA			 ARCO C & C
	SUELOS URBANO, EXPANSIÓN URBANA. Y CENTROS POBLADOS	ESTUDIO BÁSICO DE AMENAZAS POR MOVIMIENTO EN MASA	CAJICÁ	

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Especificaciones técnicas para la elaboración de estudios básicos de amenaza por movimientos en masa.....	13
Tabla 2. Valores de las variables para calcular factor de seguridad.....	22
Tabla 3. Valores de precipitación acumulada anual (mm) para la estación La Cosecha.....	32
Tabla 4. Coeficientes que representan la aceleración horizontal pico efectiva para diseño para los periodos de retorno de 2, 50, 100, 225 y 475 años y el nivel de retorno según la NSR-10 para el suelo urbano, de expansión urbana y centros poblados de Cajicá, a partir de la curva de aceleración máxima del terreno para el municipio de Bogotá.....	36
Tabla 5. Nivel de amenaza sísmica de acuerdo con los valores de Aa.	36
Tabla 6. Puntos de control de campo realizados por el equipo consultor en el suelo urbano, suelo de expansión urbana y centros poblados del municipio de Cajicá.	43
Tabla 7. Unidades de geología para ingeniería (UGI) identificadas para el suelo urbano, suelo de expansión urbana y centros poblados del municipio de Cajicá, Cundinamarca.....	48
Tabla 8. Coordenadas localización de puntos de exploración.....	55
Tabla 9. Clasificación del material del suelo según SUCS	66
Tabla 10. Consistencia depósitos cohesivos.....	68
Tabla 11. Ángulo de fricción y cohesión mediante la Metodología den González (1999).....	69
Tabla 12. Caracterización Geotécnica detallada por unidad geológica superficial de análisis.	70
Tabla 13. Criterio para la clasificación de la amenaza en función de la probabilidad anual de falla, para el suelo urbano, suelo de expansión urbana y centros poblados.	72
Tabla 14. Distribución de los procesos morfodinámicos identificados en las categorías de amenaza en el área de estudio.....	91
Tabla 15. Resumen de las áreas con condición de amenaza por movimientos en masa en el suelo urbano principal del municipio de Cajicá, Cundinamarca.	96

 ALCALDÍA MUNICIPAL DE CAJICÁ	ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA			 ARCO C & C
	SUELOS URBANO, EXPANSIÓN URBANA. Y CENTROS POBLADOS	ESTUDIO BÁSICO DE AMENAZAS POR MOVIMIENTO EN MASA	CAJICÁ	

Tabla 16. Resumen de las áreas con condición de riesgo por movimientos en masa en el suelo urbano principal del municipio de Cajicá, Cundinamarca. 99

Tabla 17. Resumen de las áreas con condición de amenaza por movimientos en masa en los centros poblados del municipio de Cajicá, Cundinamarca. 103

Tabla 18. Resumen de las áreas con condición de riesgo por movimientos en masa en los centros poblados del municipio de Cajicá, Cundinamarca. 106

 ALCALDÍA MUNICIPAL DE CAJICÁ	ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA			 ARCO C & C
SUELOS URBANO, EXPANSIÓN URBANA. Y CENTROS POBLADOS	ESTUDIO BÁSICO DE AMENAZAS POR MOVIMIENTO EN MASA	CAJICÁ		

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Curvas de intensidad-duración-frecuencia (IDF) para la estación La Cosecha.	34
Gráfico 2. Curva de aceleración máxima del terreno para el municipio de Cajicá.....	35
Gráfico 3. Variación de humedad con la profundidad para muestras de apiques y sondeos.....	57
Gráfico 4. Límites de consistencia para muestras de apiques y sondes	58
Gráfico 5. variación de humedad vs profundidad en los sondeos manuales	59
Gráfico 6. variación de humedad vs profundidad en los sondeos manuales	62
Gráfico 7. Distribución del tamaño de partícula para las muestras recuperadas de sondeos y apiques.	63
Gráfico 8. Carta de plasticidad de los apiques.....	64
Gráfico 9. Carta de plasticidad de los sondeos manuales.....	65
Gráfico 10. Estadística de áreas y porcentajes de ocupación para la amenaza por movimientos en masa en el área de estudio cubierta	75
Gráfico 11. Estadísticas de áreas y porcentajes de ocupación, amenaza por movimientos en masa suelo urbano Central.	77
Gráfico 12. Estadísticas de áreas y porcentajes de ocupación, amenaza por movimientos en masa suelo urbano La Capellanía.	77
Gráfico 13. Estadísticas de áreas y porcentajes de ocupación, amenaza por movimientos en masa suelo de expansión urbana Los Angulo.	78
Gráfico 14. Estadísticas de áreas y porcentajes de ocupación, amenaza por movimientos en masa suelo de expansión urbana Granjitas Sur.	78
Gráfico 15. Estadísticas de áreas y porcentajes de ocupación, amenaza por movimientos en masa suelo de expansión urbana El Pomar.	79
Gráfico 16. Estadística de áreas y porcentajes de ocupación para la amenaza por movimientos en masa en los centros poblados.	81

 ALCALDÍA MUNICIPAL DE CAJICÁ	ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA			 ARCO C & C
	SUELOS URBANO, EXPANSIÓN URBANA. Y CENTROS POBLADOS	ESTUDIO BÁSICO DE AMENAZAS POR MOVIMIENTO EN MASA	CAJICÁ	

INTRODUCCIÓN

Los municipios en proceso de actualizar el POT, PBOT o EOT, deben cumplir con los requisitos estipulados en la Ley 388 de 1997, garantizando que el territorio posea las condiciones adecuadas tendientes a salvaguardar la integridad física de los habitantes y la infraestructura que allí se encuentra, de esta manera, los municipios que llevan a cabo este proceso, deben realizar los correspondientes estudios básicos de evaluación de amenaza para los eventos de movimientos en masa, inundación, avenidas torrenciales e incendios forestales, dando alcance a los principios establecidos en la Ley 1523 de 2012 y reglamentado por el Decreto 1807 de 2014 (compilado en el Decreto 1077 de 2015), en los cuales se establecen las escalas de trabajo y condiciones para llevar a cabo la incorporación de la gestión del riesgo en el ordenamiento del territorio.

Acorde con las características físicas variables del territorio colombiano y la densificación de las zonas urbanas, expansión urbana, suelo suburbano, centros poblados rurales y suelo rural, se hace necesario zonificar las áreas de los municipios expuestas a diferentes tipos de amenazas naturales, con el fin de prevenir la materialización de escenarios de riesgo junto con identificación y delimitación de las áreas potencialmente peligrosas para asentamientos humanos, así como las estrategias de manejo de zonas expuestas a amenazas y riesgos. Por tal razón, se establecen los estudios básicos de amenaza por movimientos en masa para el suelo urbano, expansión urbana y centros poblados del municipio de Cajicá, como una acción estratégica en materia del conocimiento y reducción del riesgo en el territorio.

La metodología empleada para la evaluación de amenaza por movimientos en masa en el suelo urbano, suelo de expansión urbana y centros poblados para el municipio de Cajicá, corresponde a un análisis por confiabilidad (método probabilístico), en donde a partir de una técnica de análisis por equilibrio límite se evalúa la posibilidad de movilización de una masa de suelo a lo largo de la interfaz suelo-roca a través del cálculo del factor de seguridad en un talud infinito (mecanismo de falla traslacional). El análisis por confiabilidad permite que la incertidumbre en los parámetros que controlan la estabilidad de la ladera pueda ser manejada de una forma más rigurosa, considerándose la cohesión, ángulo de fricción efectivo y profundidad, variables aleatorias tratadas mediante la técnica de estimativos puntuales, con lo que la probabilidad anual de falla está definida por un escenario particular de lluvia y sismo que reúne las posibles variaciones en los parámetros anteriormente descritos, y la probabilidad de falla total anual corresponderá a la

 ALCALDÍA MUNICIPAL DE CAJICÁ	ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA			 ARCO C & C
	SUELOS URBANO, EXPANSIÓN URBANA. Y CENTROS POBLADOS	ESTUDIO BÁSICO DE AMENAZAS POR MOVIMIENTO EN MASA	CAJICÁ	

combinación de todos los escenarios y combinaciones de las variables aleatorias considerando la probabilidad de ocurrencia de cada uno.

El presente estudio básico es realizado a escala 1:2.000, con el fin de dar cumplimiento al decreto 1807 de 2014 compilado en el decreto 1077 de 2015 del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, que contempla las definiciones para estudios básicos de amenaza que se desarrollen en el suelo urbano.

Este documento es la recopilación de insumos, procesos y especificaciones mínimas que determinaron las condiciones de amenaza; contempla las especificaciones del estudio, seguido de la explicación en detalle de la metodología y los resultados obtenidos. Finalmente, se presentan las medidas de intervención orientadas a establecer restricciones y condicionantes mediante la determinación de normas urbanísticas para las áreas categorizadas en alto y medio.

 ALCALDÍA MUNICIPAL DE CAJICÁ	ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA		 ARCO C & C
	SUELOS URBANO, EXPANSIÓN URBANA. Y CENTROS POBLADOS	ESTUDIO BÁSICO DE AMENAZAS POR MOVIMIENTO EN MASA	
		CAJICÁ	

2.2.1. OBJETIVOS

2.2.1.1. Objetivo general

Realizar el estudio básico de amenaza por movimientos en masa en el suelo urbano, expansión urbana y centros poblados del municipio de Cajicá, estableciendo las condiciones y escalas para incorporar de manera gradual la gestión del riesgo en la revisión de los contenidos de mediano y largo plazo del Plan de Ordenamiento Territorial, en el marco de la Ley 1523 del 2012, Decreto 1807 de 2014, compilado en el Decreto 1077 de 2015.

2.2.1.2. Objetivos específicos

- Determinar y zonificar las áreas en condición de amenaza por movimientos en masa en el suelo urbano principal, suelo de expansión urbana y centros poblados de Cajicá, aplicando un análisis por confiabilidad (método probabilístico), mediante la técnica de estimativos puntuales.
- Generar la información cartográfica temática como geología, geomorfología y unidades de geología para ingeniería en la zona de estudio a escala 1:2.000.
- Realizar verificación en campo antes y después de la obtención de resultados según la metodología, con el fin de minimizar el error y verificar la zonificación resultante.
- Delimitar y zonificar las áreas en condición de amenaza media y alta en las que se requiere adelantar los estudios detallados.
- Realizar el informe final con el mapa de zonificación y su correspondiente categorización para el fenómeno de movimientos en masa.

 ALCALDÍA MUNICIPAL DE CAJICÁ	ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA			 ARCO C & C
	SUELOS URBANO, EXPANSIÓN URBANA. Y CENTROS POBLADOS	ESTUDIO BÁSICO DE AMENAZAS POR MOVIMIENTO EN MASA	CAJICÁ	

2.2.2. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL ESTUDIO

El estudio básico de amenaza por movimientos en masa en el suelo urbano, suelo de expansión urbana y centros poblados del municipio de Cajicá, Cundinamarca, cuenta con las especificaciones técnicas descritas en la **Tabla 1**.

Tabla 1. Especificaciones técnicas para la elaboración de estudios básicos de amenaza por movimientos en masa.

Especificaciones técnicas para la elaboración de estudios básicos de movimientos en masa	
Especificación	Descripción
Área de Estudio	Se refiere al área determinada por el municipio de Cajicá como Suelo urbano principal, suelo de expansión urbana y centros poblados del municipio de Cajicá el que se pueden presentar condiciones de amenaza por movimientos en masa. El estudio se realiza a escala 1:2.000 lo que condiciona la unidad mínima a cartografiar, en este caso de 0,0625 ha.

 ALCALDÍA MUNICIPAL DE CAJICÁ	ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA			
	SUELOS URBANO, EXPANSIÓN URBANA. Y CENTROS POBLADOS	ESTUDIO BÁSICO DE AMENAZAS POR MOVIMIENTO EN MASA	CAJICÁ	

Especificaciones técnicas para la elaboración de estudios básicos de movimientos en masa	
Especificación	Descripción
Metodología	La metodología considerada para la evaluación de las categorías de amenaza por movimientos en masa, comprende un análisis por confiabilidad (método probabilístico), donde a partir del cálculo del factor de seguridad se evalúa la estabilidad del talud ante un mecanismo de falla traslacional (análisis pseudo-estático) a lo largo del contacto suelo-roca bajo diferentes condiciones de aceleración sísmica (períodos de retorno de 2, 50, 100, 225 y 475 años) y niveles freáticos determinados por eventos de lluvia (períodos de retorno de 2.33, 5, 10, 20, 50 y 100 años). Dado que es posible por medio de la técnica de estimativos puntuales, evaluar la función de distribución de probabilidad del factor de seguridad (variable dependiente) en términos de las distribuciones estadísticas de las variables independientes (cohesión, ángulo de fricción y espesor del suelo), y que para el presente estudio han sido consideradas como variables aleatorias debido a la incertidumbre y variabilidad espacial de dichos parámetros. Bajo esta aproximación, en cada escenario de análisis, se tienen en cuenta los rangos de variación en las propiedades que controlan la estabilidad de la ladera, siendo posible calcular los momentos estadísticos del factor de seguridad (media y desviación estándar) para dicha condición de lluvia y sismo, con base en ello, se obtiene un índice de confiabilidad y una probabilidad de falla anual que serán combinadas en una sola probabilidad de falla total la cual reúne todas las combinaciones de escenarios planteados conforme a su probabilidad de ocurrencia.

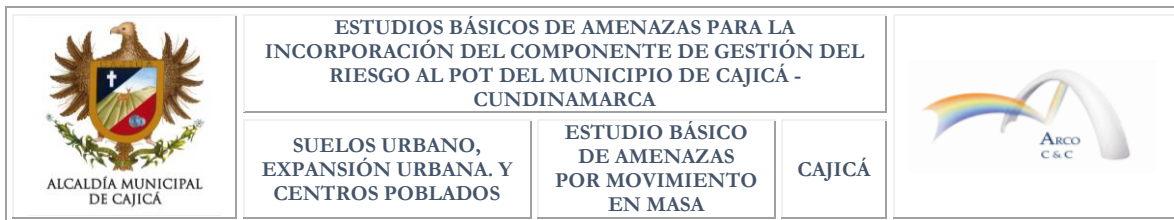
 ALCALDÍA MUNICIPAL DE CAJICÁ	ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA		 ARCO C & C
	SUELOS URBANO, EXPANSIÓN URBANA. Y CENTROS POBLADOS	ESTUDIO BÁSICO DE AMENAZAS POR MOVIMIENTO EN MASA	
		CAJICÁ	

Especificaciones técnicas para la elaboración de estudios básicos de movimientos en masa	
Especificación	Descripción
Insumos	Para la realización del estudio de amenaza, se determinan como insumos: geología, geomorfología, unidades de geología para ingeniería, relieve, cobertura del suelo, precipitación y sismos. También se tendrán en cuenta los estudios de suelos, exploración del subsuelo y ensayos de laboratorio, los cuales servirán de base para la asignación de parámetros de resistencia dentro del análisis por equilibrio límite. Las diferentes coberturas temáticas son derivadas a partir de insumos como: imagen obtenida mediante el uso de drone, la cartografía básica del IGAC, el modelo digital de elevación (DEM) y la cartografía generada a escala 1:2.000; además, de la información adquirida en diferentes entidades y la información recopilada durante el trabajo de campo. Adicionalmente, se tiene en cuenta la información presentada en las planchas del Servicio Geológico Colombiano y los datos históricos recopilados de las diferentes bases de datos como DESINVENTAR, UNGRD y la plataforma del SIMMA, al igual que estudios previos.
Productos	Como productos, se presentan los mapas de zonificación de amenaza por movimientos en masa y el presente documento técnico realizado para el suelo urbano principal del municipio de Cajicá.

Fuente: Estructura ajustada del Decreto 1807 de 2014, MVCT.

2.2.2.1. Área de estudio

El Municipio de Cajicá tiene una extensión de 5.132,2 ha de las cuales 4.322,65 ha pertenecen al suelo rural del municipio y 336.82 ha hacen referencia al suelo urbano (Central - 286,16 ha; La Capellanía – 50,66 ha), adicionalmente, cuenta con tres zonas designadas como perímetro de expansión urbana, las cuales son: El Pomar (107,17 ha), Los Angulo (10,93 ha) y Granjita Sur (12,55 ha); así mismo, el municipio clasifica 16 zonas como centros poblados: Barro Blanco (0,91 ha), Camino Los Vargas (22,03 ha), La Florida (10,81 ha), Los Pasos (4,90 ha), Prado (3,38 ha), Canelón (9,51 ha), La Palma (8,17 ha), Aguanica (3,73 ha), Los León (1,80 ha), Los Sereneos (8,34 ha), Pablo Herrera (3,11 ha), Santa Inés (12,86 ha), El Misterio (3,72 ha), La Esperanza (2,55 ha), Rincón Santo (27,56 ha) y finalmente Calahorca (0,95 ha).



El Municipio de Cajicá se encuentra en el departamento de Cundinamarca, dentro de la provincia Sabana Centro resaltando por sus actividades industriales, agricultura, cultivos de flores, artesanías y tradiciones históricas. Cajicá se encuentra a una distancia aproximada de 30 km al nororiente de Bogotá, siendo limitando al norte con el municipio de Zipaquirá, al sur con el municipio de Chía, por el oriente con el municipio de Sopo, al occidente con el municipio de Tabio. La altitud aproximada del municipio es de 2550 m.s.n.m.

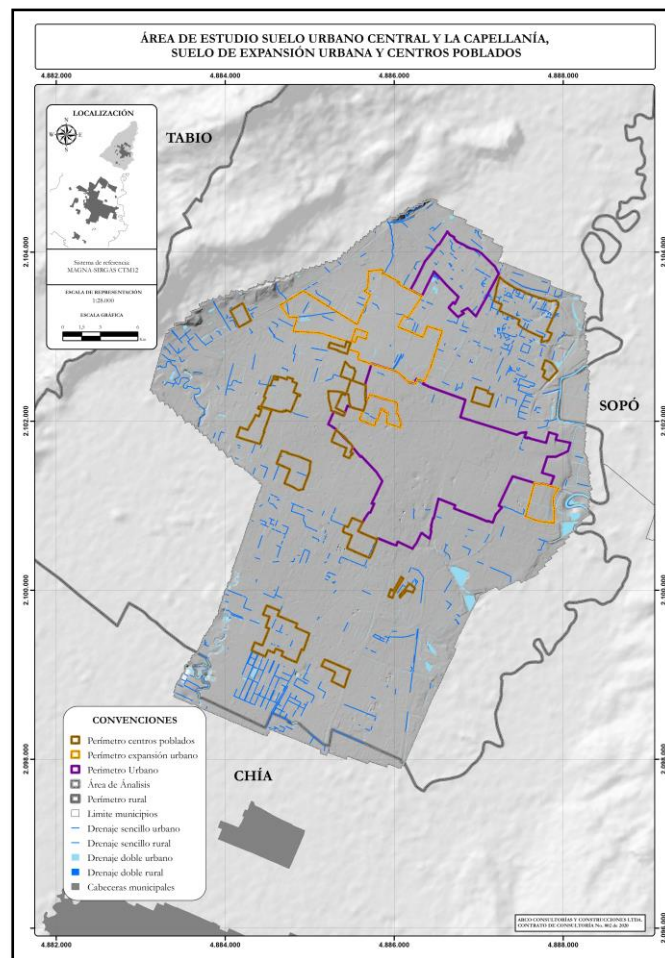


Ilustración 1. Área de estudio suelo urbano Central, Capellanía, suelo de expansión urbana y centros poblados, municipio de Cajicá.

Fuente: Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021)

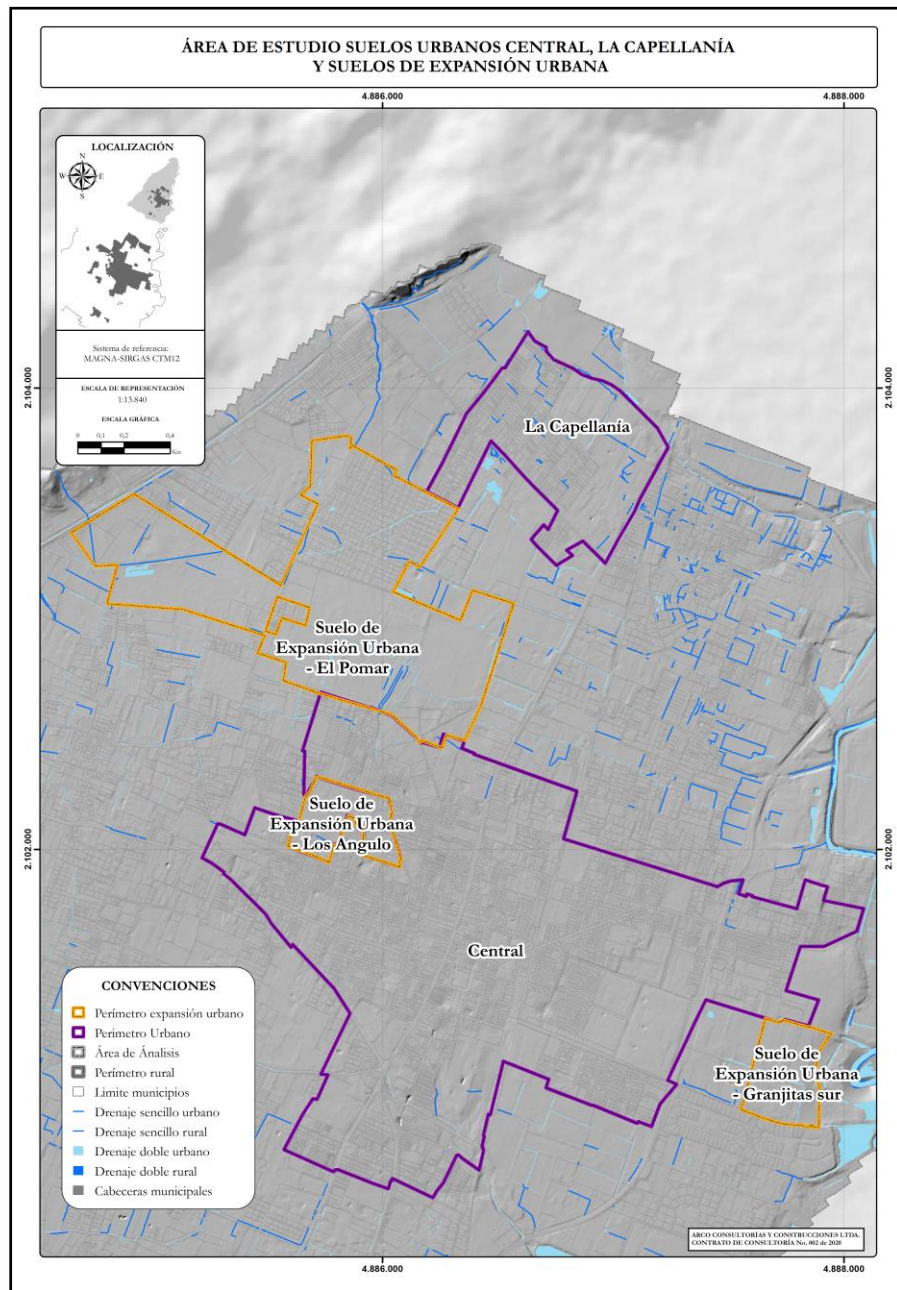


Ilustración 2. Área de estudio suelos urbanos Central, La Capellanía y suelos de expansión urbana, municipio de Cajicá.

Fuente: Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021)

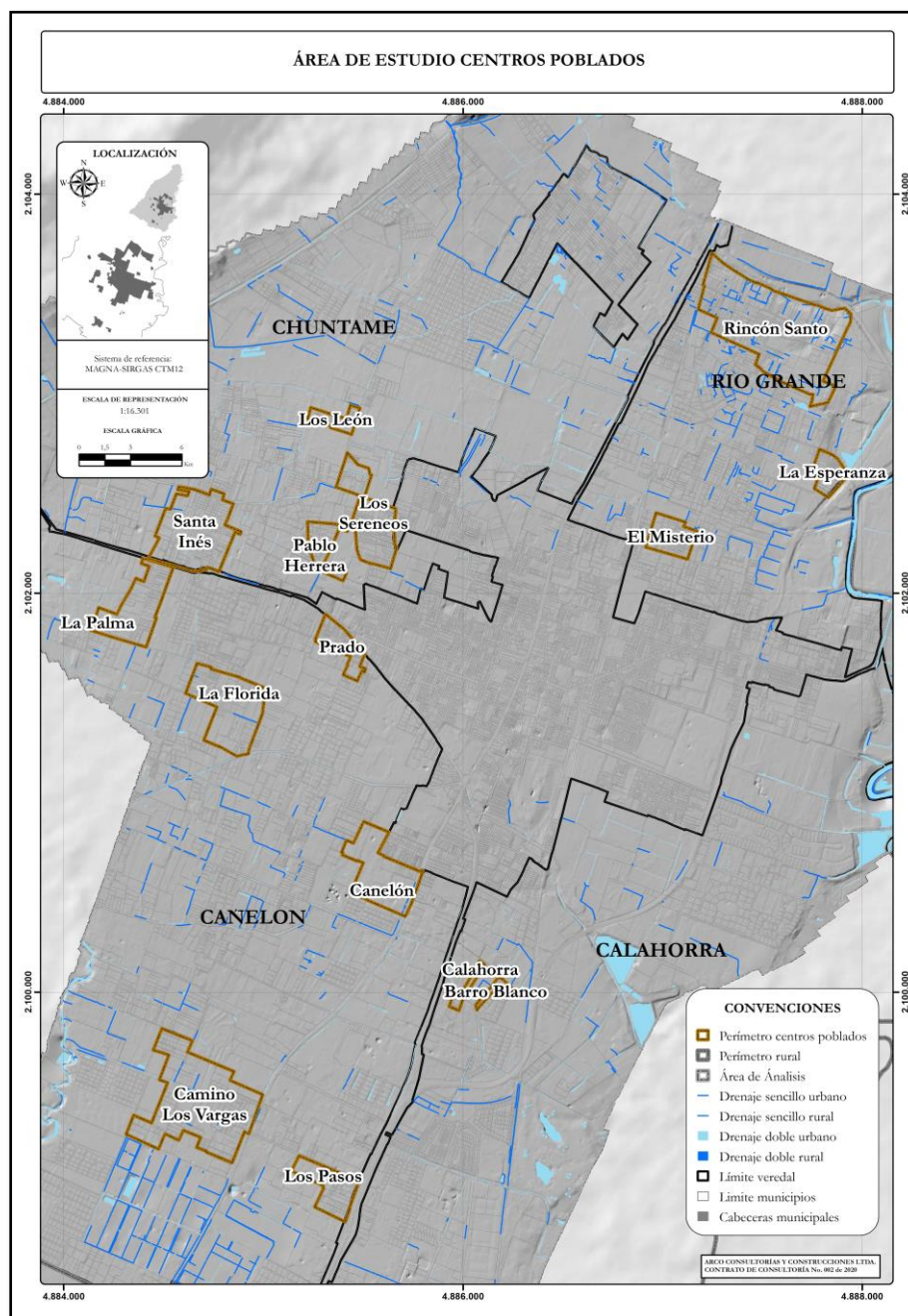


Ilustración 3. Área de estudio centro poblados, municipio de Cajicá.

Fuente: Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021)

2.2.3. METODOLOGÍA

Para la evaluación de la amenaza por movimientos en masa, se llevó a cabo un análisis por confiabilidad (método probabilístico) donde se ha calculado la probabilidad anual de falla ante un mecanismo de deslizamiento traslacional en cada una de las celdas de análisis (píxel), considerando diferentes escenarios de lluvia, sismo (detonantes) y la variabilidad intrínseca de las propiedades que controlan la estabilidad del talud natural o ladera (**Ilustración 4**).

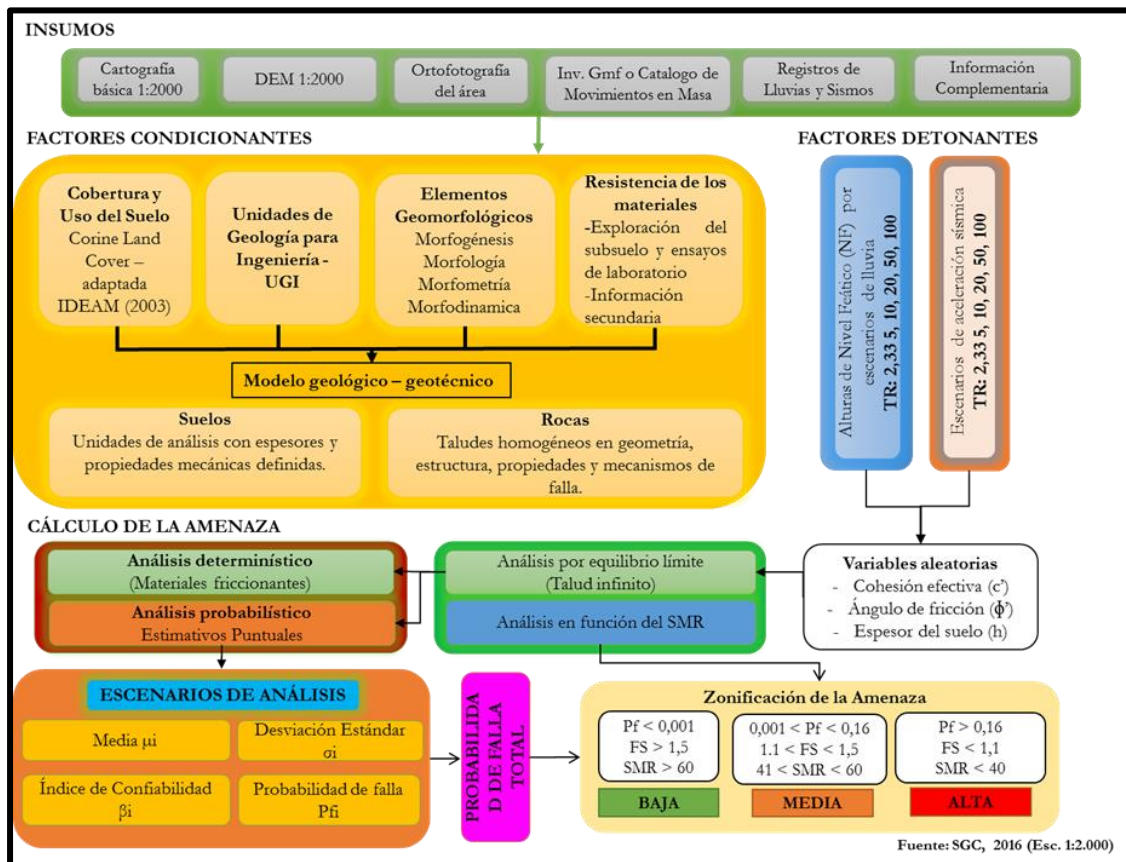


Ilustración 4. Proceso metodológico para la zonificación de la amenaza por movimientos en masa.

Fuente: modificado del Servicio Geológico Colombiano (2016).

 ALCALDÍA MUNICIPAL DE CAJICÁ	ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA		 ARCO C & C
	SUELOS URBANO, EXPANSIÓN URBANA. Y CENTROS POBLADOS	ESTUDIO BÁSICO DE AMENAZAS POR MOVIMIENTO EN MASA	
		CAJICÁ	

Si se considera el factor de seguridad como una función aleatoria que depende de unas variables independientes y también aleatorias, es posible determinar la probabilidad de falla como la probabilidad anual de que el factor de seguridad sea inferior a o igual a 1 y que, por ende, se alcance el equilibrio límite en la ladera; es decir, se alcance la condición inestable o de falla.

2.2.3.1. Factor de Seguridad

Para la evaluación de la estabilidad de un talud o ladera en términos de confiabilidad (probabilidad de no falla), es necesario recurrir inicialmente a un método determinístico de análisis por equilibrio límite, el cual tiene en cuenta los parámetros de resistencia del suelo (cohesión y ángulo de fricción efectivos) para el cálculo del factor de seguridad en cada una de las celdas o unidades de trabajo (píxel), que componen la malla y las columnas de suelo obtenidas (análisis unidimensional).

En este método se analiza un bloque superficial representado por una celda o píxel con un determinado espesor y una altura de nivel freático y se supone una falla paralela a la superficie del terreno (mecanismo de falla traslacional); como resultado se obtiene un mapa que muestra el factor de seguridad para una determinada altura del nivel freático y un coeficiente de aceleración sísmica.

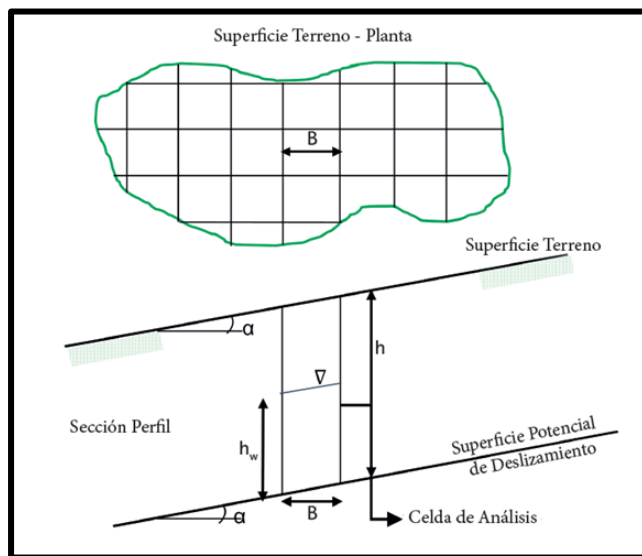


Ilustración 5. Parámetros para análisis de estabilidad por medio de la aproximación de talud infinito.

Fuente: Servicio Geológico Colombiano (2016).

Para emplear el método de equilibrio límite es necesario definir unas zonas de comportamiento geotécnico similar, en cuanto al espesor, tipo de material y parámetros de resistencia, que son los que determinarán el grado de susceptibilidad. Los elementos detonantes, corresponden a la lluvia y la aceleración sísmica, los cuales son incluidos en el cálculo del Factor de Seguridad.

La ecuación que define la condición de equilibrio límite para materiales cohesivos, se expresa de la siguiente manera:

$$FS = \frac{(c' b \sec \alpha + (\gamma b h \cos \alpha - k \gamma b h \sin \alpha - \gamma_w h_w \cos^2 \alpha) \tan \varphi')}{\gamma b h \sin \alpha + k \gamma b h \cos \alpha}$$

Donde:

- c' y φ' son los parámetros de resistencia mecánicos en la base de la columna de suelo, en términos de esfuerzos efectivos (cohesión y fricción).

 ALCALDÍA MUNICIPAL DE CAJICÁ	ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA			 ARCO C & C
	SUELOS URBANO, EXPANSIÓN URBANA. Y CENTROS POBLADOS	ESTUDIO BÁSICO DE AMENAZAS POR MOVIMIENTO EN MASA	CAJICÁ	

- γ es el peso unitario del suelo.
- b es el ancho de la tajada (ancho de la celda).
- h es la altura de suelo por encima de la superficie potencial de deslizamiento.
- γ_w es el peso unitario del agua.
- h_w es la altura de la lámina de agua, determinada a partir del nivel freático correspondiente a una lluvia con un período de retorno definido.
- α es el ángulo de inclinación de la superficie de falla.
- k es el coeficiente de aceleración horizontal.

Algunas variables tienen valores constantes:

Tabla 2. Valores de las variables para calcular factor de seguridad.

Variable	Valor
b	1 m
γ_w	9.81 kN/m ³

Fuente: Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

El ángulo de inclinación de la superficie de falla (α) y ángulo de fricción (φ') se ingresan como un ráster de pendientes en el cual los valores están en radianes.

Para materiales friccionantes o no cohesivos, el factor de seguridad obedece a la siguiente relación:

$$FS = \frac{\tan \varphi'}{\tan \alpha}$$

2.2.3.2. Probabilidad de falla

La aproximación tradicional determinística basada en el concepto de factor de seguridad, definida como la relación entre la resistencia disponible o la resistencia a la falla (R) y las solicitaciones de carga del sistema (L) ($FS=R/L$), lleva a un estimativo conservativo debido a que no son tomadas en cuenta las incertidumbres de los parámetros del material y las propiedades de carga, las cuales pueden influenciar significativamente la probabilidad de falla.

Si se considera la resistencia y la carga como variables aleatorias con su correspondiente función de densidad de probabilidad, entonces la probabilidad de falla P_f puede ser estimada como el tamaño del área de intersección (Ω) o región de falla; para la cual, la carga L es mayor que la resistencia R del material (**Ilustración 6**). Dicha probabilidad es calculada a partir de la convolución de la integral en la unión de las funciones de densidad de probabilidad de la resistencia y la carga $f_{R,L}(r, l)$ sobre la región de falla Ω (Russelli, 2008):

$$P_f = \iint_{\Omega} f_{R,L}(r, l) \cdot dr \cdot dl$$

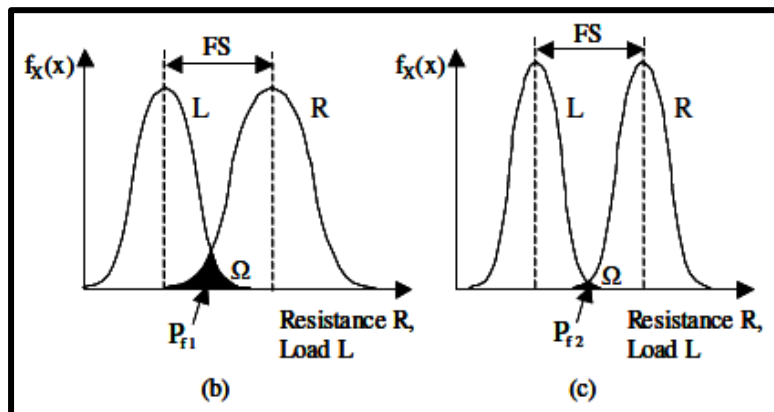


Ilustración 6. Factor de seguridad FS versus probabilidad de falla P_{f1} (a) P_{f2} (b).

Fuente: Russelli (2008).

En la **Ilustración 7 (a)** se presentan dos situaciones, en el primer caso se tiene un factor de seguridad de 1.4 y una baja incertidumbre debido a la baja desviación estándar; mientras que el segundo caso, se tiene un factor de seguridad de 1.8 pero mayor incertidumbre. Desde un punto de vista determinístico, parecería que un factor de seguridad de 1.8 es más seguro, pero cuando se comparan los valores de la función de probabilidad, se observa que este último tiene una mayor probabilidad de falla, comprobándose entonces que no siempre el análisis determinístico proporciona la aproximación más segura. En la **Ilustración 7 (b)**, se ilustra el concepto de índice de confiabilidad β , el cual representa el número de desviaciones estándar del factor de seguridad para el cual el valor medio μ_z excede el estado límite o de falla (Russelli, 2008).

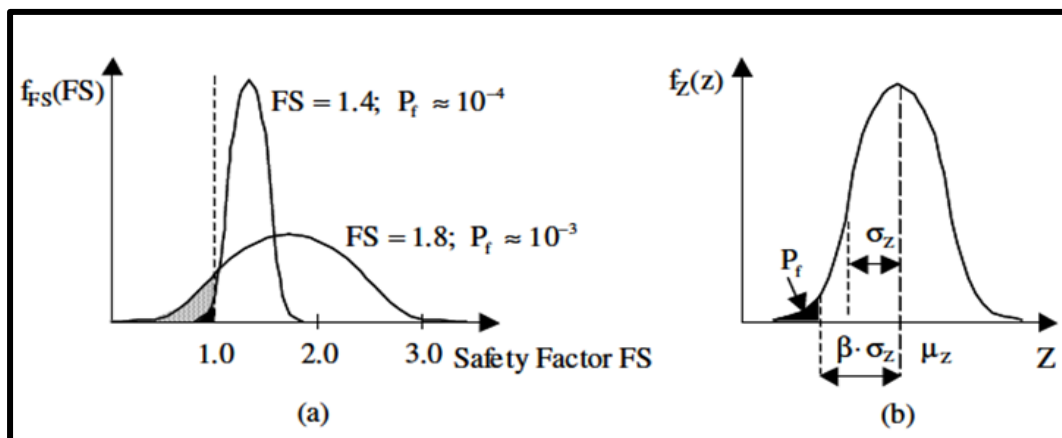


Ilustración 7. (a) factor de seguridad y probabilidad de falla. (b) aproximación del índice de confiabilidad.

Fuente: Russelli (2008).

En el análisis probabilístico, los parámetros geotécnicos que representen las mayores fuentes de incertidumbre son tratados como variables aleatorias. Para el presente estudio, debido a la variabilidad natural o aleatoriedad en las propiedades del suelo, se han considerado tres variables aleatorias a saber: espesor, cohesión y ángulo de fricción efectivos.

Para la evaluación de la probabilidad de falla, se dispone de algunas aproximaciones ampliamente aceptadas en el campo de la geotecnia como lo son los métodos de simulación Montecarlo, Primer Orden Segundo Momento, Primer Orden Segundo Momento Mejorado y Estimativos Puntuales; los cuales constituyen la herramienta de análisis adoptada para el presente estudio.

2.2.3.3. Método de estimativos puntuales

La idea básica del método de estimativos puntuales consiste en sustituir las distribuciones probabilísticas de las variables aleatorias continuas por distribuciones discretas equivalentes (**Ilustración 4**), las cuales tendrán los mismos tres momentos centrales. Luego, se calculan la media, la desviación estándar y la asimetría de la función de comportamiento (Servicio Geológico Colombiano, 2017) que, en este caso, corresponde al factor de seguridad para un mecanismo de falla traslacional en materiales cohesivos.

Para la aplicación del método, es necesario establecer una función de desempeño $Z(X_i)$ que depende de n variables aleatorias X_i , las cuales son simétricas y están correlacionadas. El proceso escoge 2^n puntos, de tal manera que el valor de cada variable está una desviación estándar por arriba y por debajo de la media. Estos puntos se conocen como puntos de muestreo x_{i+} y x_{i-} .

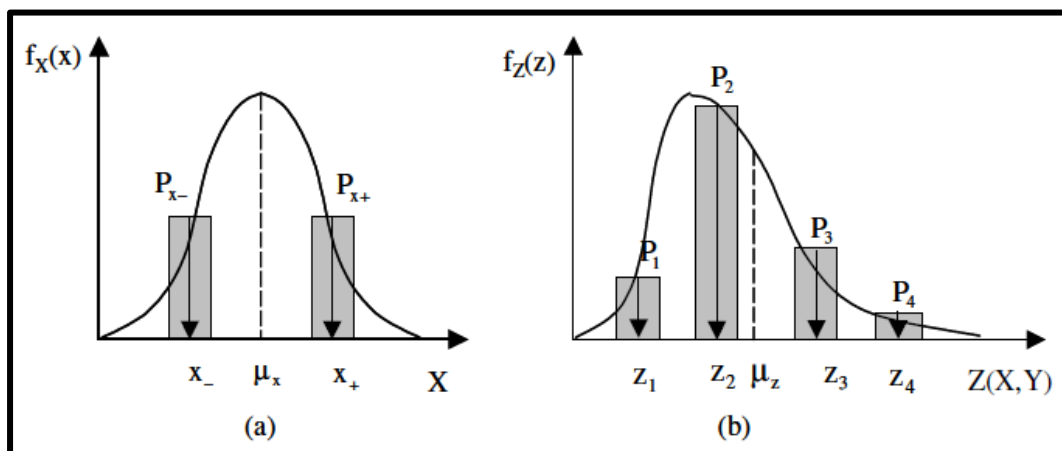


Ilustración 8. Localización de los puntos de muestreo y pesos para una función que depende de una variable aleatoria (a) y dos variables aleatorias (b).

Fuente: Russelli (2008).

La localización de los puntos de muestreo para cada variable aleatoria es estimada primero evaluando un parámetro denominado desviación estándar unitaria $\xi_{x_{i+}}$ y $\xi_{x_{i-}}$, el cual depende del coeficiente de asimetría ν_{x_i} de las variables de entrada y que viene dado por:

 ALCALDÍA MUNICIPAL DE CAJICÁ	ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA			 ARCO C & C
	SUELOS URBANO, EXPANSIÓN URBANA. Y CENTROS POBLADOS	ESTUDIO BÁSICO DE AMENAZAS POR MOVIMIENTO EN MASA	CAJICÁ	

$$\xi_{X_{i+}} = \frac{v_{x_i}}{2} + \sqrt{\left(1 + \left(\frac{v_{x_i}}{2}\right)^2\right)}$$

$$\xi_{X_{i-}} = \frac{v_{x_i}}{2} - \sqrt{\left(1 + \left(\frac{v_{x_i}}{2}\right)^2\right)}$$

Además:

$$v_{x_i} = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^3}{N\sigma^3}$$

Siendo μ la media y σ es la desviación estándar de cada variable.

Si las variables de entrada están simétricamente distribuidas, ambas desviaciones estándar unitarias serán iguales a la unidad. Conociendo el valor de la media μ_{x_i} y la desviación estándar σ_{x_i} de las variables de entrada, los respectivos puntos de muestreo son calculados:

$$x_{i+} = \mu_{x_i} + \xi_{X_{i-}} \sigma_{x_i}$$

$$x_{i-} = \mu_{x_i} - \xi_{X_{i-}} \sigma_{x_i}$$

Los pesos P_i o concentraciones de probabilidad, son dados por diferentes expresiones dependiendo del número de variables de entrada y su correlación (Russelli, 2008). Dado que el factor de seguridad es función de las variables cohesión, ángulo de fricción y espesor, es decir una función Y que depende de las variables X_1, X_2, X_3 (**Ilustración 9**), cuyas distribuciones son simétricas y que podrían ser correlacionables.

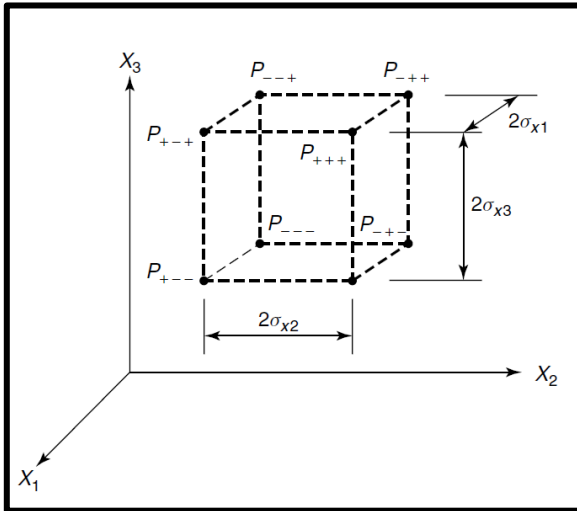


Ilustración 9. Puntos de Rosenbluth y pesos para tres variables correlacionables y no correlacionables.

Fuente: Baecher y Christian (2003).

$$P_{+++} = P_{---} = \frac{1}{8}(1 + \rho_{12} + \rho_{23} + \rho_{31})$$

$$P_{++-} = P_{--+} = \frac{1}{8}(1 + \rho_{12} - \rho_{23} + \rho_{31})$$

$$P_{+-+} = P_{-+-} = \frac{1}{8}(1 - \rho_{12} - \rho_{23} + \rho_{31})$$

$$P_{+--} = P_{-++} = \frac{1}{8}(1 - \rho_{12} + \rho_{23} - \rho_{31})$$

Siendo $P_{s_1s_2s_3}$ los pesos para cada uno de los puntos de muestreo, y ρ_{ij} el coeficiente de correlación entre las variables (**Ilustración 10**).

Para un caso general se tiene:

$$P_{s_1s_2\dots s_n} = \frac{1}{2^n} \left(1 + \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n (s_i s_j \rho_{ij}) \right)$$

Donde s es $+1$ cuando el valor de la variable es una desviación estándar por arriba de la media, y -1 cuando esté por debajo de ésta.

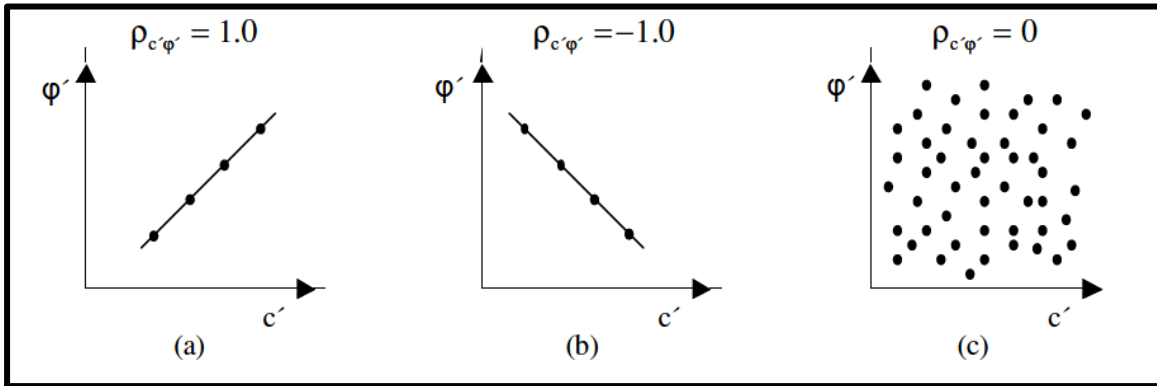


Ilustración 10. Ejemplo de correlación de parámetros de suelo c' y ϕ' positiva perfecta a), negativa b) y no correlacionables c).

Fuente: Russelli (2008).

Una vez se han calculado los pesos, se evalúan los tres primeros momentos de la función de desempeño Y (factor de seguridad para un talud infinito), media, varianza y coeficiente de asimetría mediante las siguientes ecuaciones respectivamente:

$$\mu_{Y(X_i)} = \sum_{i=1}^{2^n} P_i Y(X_i = x_i)$$

$$\sigma_{Y(X_i)}^2 = \sum_{i=1}^{2^n} P_i (Y(X_i = x_i) - \mu_{Y(X_i)})^2$$

$$v_{Y(X_i)} = \frac{1}{\sigma_{Y(X_i)}^3} \sum_{i=1}^{2^n} P_i (Y(X_i = x_i) - \mu_{Y(X_i)})^3$$

La desviación estándar de la función de desempeño es obtenida mediante la expresión:

 ALCALDÍA MUNICIPAL DE CAJICÁ	ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA			 ARCO C & C
	SUELOS URBANO, EXPANSIÓN URBANA. Y CENTROS POBLADOS	ESTUDIO BÁSICO DE AMENAZAS POR MOVIMIENTO EN MASA	CAJICÁ	

$$\sigma_{Y(X_i)} = \sqrt{\sum_{i=1}^{2^n} P_i (Y(X_i = x_i) - \mu_{Y(X_i)})^2}$$

Una vez calculados los descriptores estadísticos del factor de seguridad para un talud infinito, se evalúa el índice de confiabilidad (β), el cual expresa la distancia del factor de seguridad promedio a su valor crítico ($FS = 1$) en unidades de desviación estándar.

A través del índice de confiabilidad (β) se calcula la probabilidad de que el factor de seguridad sea menor que 1,0 (probabilidad de falla) y se puede expresar de la siguiente manera:

$$P_f = 1 - \phi(\beta)$$

Donde

- $\phi(\beta)$ es la confiabilidad, que es la probabilidad de no falla y es calculada como la función inversa de la función de probabilidad acumulada normal estándar (Z) y se obtiene como:

$$\beta = \frac{(\mu_{FS} - 1,0)}{\sigma_{FS}}$$

Donde

- μ_{FS} y σ_{FS} están en función del factor de seguridad, representan la media y la desviación estándar, respectivamente.

2.2.3.4. Detonantes

 ALCALDÍA MUNICIPAL DE CAJICÁ	ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA		 ARCO C & C
	SUELOS URBANO, EXPANSIÓN URBANA. Y CENTROS POBLADOS	ESTUDIO BÁSICO DE AMENAZAS POR MOVIMIENTO EN MASA	
		CAJICÁ	

Para efectos del presente estudio serán considerados como detonantes, las lluvias representadas en los diferentes grados de fluctuación del nivel freático, y los valores de aceleración sísmica horizontales establecidos en la NSR-10 (2009).

2.2.3.4.1. Lluvias

El detonante “lluvia” fue incluido en el cálculo del factor de seguridad por medio de un estimativo del nivel freático, para diferentes períodos de retorno. Para ello, a partir del mapa de uso y cobertura y el tipo de textura del suelo, que en este caso corresponden a las Unidades de Geología para Ingeniería (UGI), se asigna un Número de Curva (CN), de acuerdo con las tablas propuestas por el Servicio de Conservación de Suelos de Estados Unidos.

Una vez identificados los Números de Curva CN, se calcula la Retención Potencial Máxima S, en milímetros, como:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254$$

A partir de los registros de precipitación acumulada anual (P), se calcula la precipitación infiltrada anual acumulada (Pi), aplicando la ecuación del método de lluvia escurrentía:

$$P_i = P - \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S}$$

Con los valores de precipitación infiltrada anual acumulada, se procede a calcular la precipitación infiltrada media multianual ($\bar{x}$), su desviación estándar (σ) y su coeficiente de variación (CV).

Finalmente, se añade alrededor de la profundidad del nivel freático medio, que en este caso corresponde a la profundidad o espesor del suelo (debido a la imposibilidad de establecer el nivel

 ALCALDÍA MUNICIPAL DE CAJICÁ	ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA		 ARCO C & C
	SUELOS URBANO, EXPANSIÓN URBANA. Y CENTROS POBLADOS	ESTUDIO BÁSICO DE AMENAZAS POR MOVIMIENTO EN MASA	
		CAJICÁ	

de la tabla de agua en cada una de las unidades y áreas de estudio con certeza), la variabilidad de la lluvia infiltrada en función de la desviación estándar, expresada en términos del coeficiente de variación por la media de la profundidad del nivel freático (**Ilustración 11**):

$$P_{fi} = (\overline{P_f} - 1.28CV\overline{P_f}) - (I_i * 24)$$

Donde:

- **P_{fi}** : corresponde a la profundidad del nivel freático asociado a una lluvia con un período de retorno dado, en milímetros.
- **$\overline{P_f}$** : corresponde a la profundidad media del nivel freático, en este caso es la profundidad de la potencial superficie de falla, en milímetros.
- **$CV\overline{P_f}$** : corresponde a la desviación estándar asignada a la variación del nivel freático, expresada en términos del coeficiente de variación de los acumulados anuales de precipitación infiltrada, en milímetros.
- **I_i** : corresponde a la intensidad de la lluvia infiltrada diaria para diferentes períodos de retorno, expresada en milímetros por hora, siendo 24 el número de horas al día para calcular la precipitación correspondiente acumulada a diario.

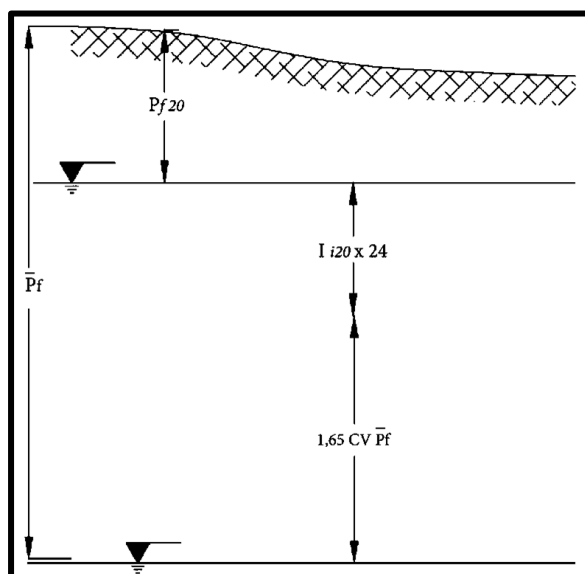


Ilustración 11. Representación de los términos utilizados para el cálculo de la profundidad del nivel freático asociada a un período de retorno de 20 años.

Fuente: Servicio Geológico Colombiano (2016).

A partir de los polígonos de Thiessen, se establece que en la zona de influencia donde se localiza el suelo urbano, de expansión urbana y centros poblados del municipio de Cajicá, puede ser asociada a la estación pluviométrica del IDEAM (*La Cosecha*), de la cual se tomó la información de precipitación. En la **Tabla 3**, se presentan sus valores de precipitación acumulada anual (mm); como es necesario obtener una representación espacial de la precipitación, se genera un archivo tipo ráster cuyos pixeles corresponden a un valor constante de precipitación. Cuando se calcula la precipitación infiltrada, que depende del número de curva, los valores de infiltración varían en el área y por consiguiente también fluctuarán la media, la desviación estándar y el coeficiente de variación, dando como resultado un ráster con cada uno de sus pixeles representando dicho parámetro.

Tabla 3. Valores de precipitación acumulada anual (mm) para la estación La Cosecha.

AÑO	PRECIPITACIÓN ANUAL (mm)	AÑO	PRECIPITACIÓN ANUAL (mm)
1991	638,92	1992	547,70

AÑO	PRECIPITACIÓN ANUAL (mm)
1993	1038,20
1994	1264,10
1995	852,68
1996	988,01
1997	503,70
1998	598,20
1999	350,97
2000	298,27
2001	279,27
2002	172,61
2003	406,20
2004	867,09
2005	977,55
2006	1037,30

AÑO	PRECIPITACIÓN ANUAL (mm)
2007	882,30
2008	1131,60
2009	646,10
2010	1436,62
2011	1595,80
2012	1047,83
2013	990,25
2014	798,36
2015	530,80
2016	890,80
2017	964,10
2018	942,50
2019	1114,50
2020	1012,80

Fuente: IDEAM (2021).

Con la información anterior, se elaboran curvas para el análisis de IDF (intensidad-duración-frecuencia), en la que se relacionan la intensidad de las lluvias con su duración para los períodos de retorno de 2.33, 5, 10, 20, 50 y 100 años (**Gráfico 1**); las curvas se generan a partir de la siguiente ecuación:

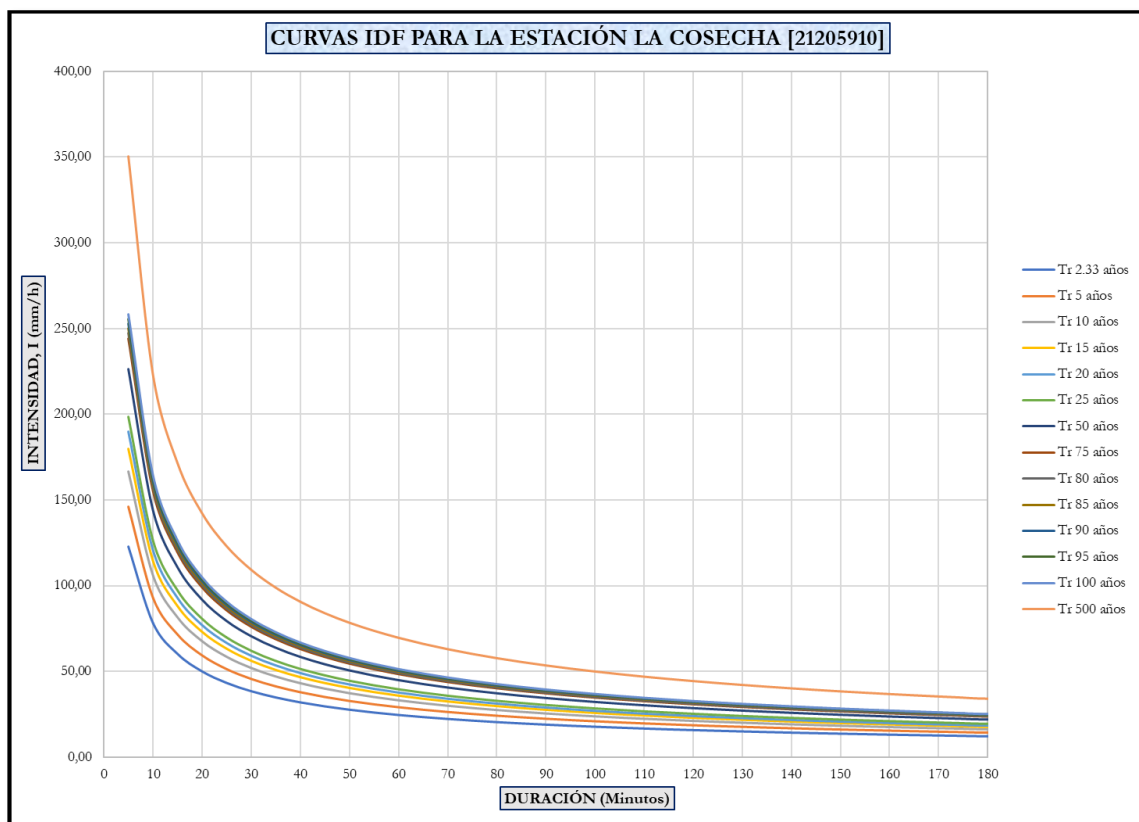
$$I = a \times \frac{T^b}{t^c} \times M^d \times N^e \times PT^f$$

Donde:

- I representa la intensidad de la tormenta (mm/h).
- T es el período de retorno en años.
- t hace referencia a la duración en horas.

- M es el promedio del valor máximo de precipitación diaria.
- N representa el número de días con lluvia en el año.
- a, b, c, d, e y f, g son coeficientes estimados para cada región del país y que para el presente estudio corresponden a los de la región Andina de acuerdo con Díaz-Granados (2008).
- PT corresponde a la precipitación media anual en milímetros.

Gráfico 1. Curvas de intensidad-duración-frecuencia (IDF) para la estación La Cosecha.



Fuente: Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

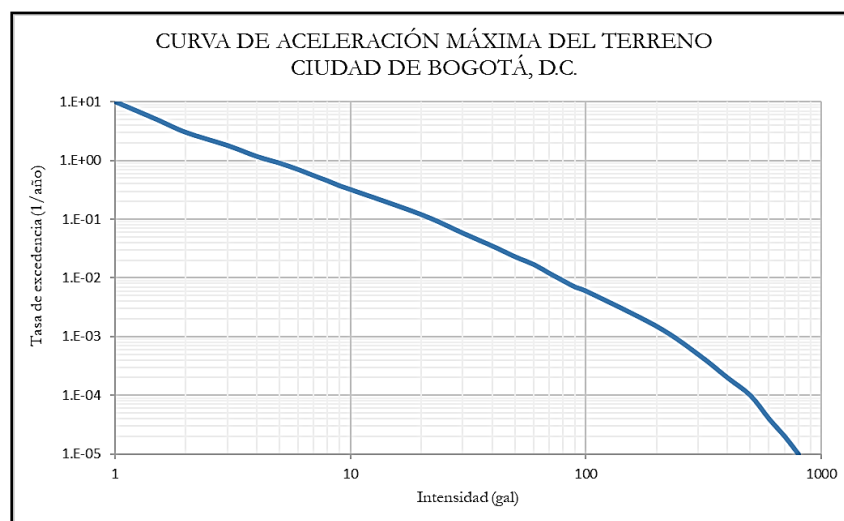
2.2.3.4.2. Sismos

Para el análisis de equilibrio límite, se incluyen el efecto de la carga sísmica como una fuerza inercial horizontal, a partir del coeficiente de aceleración horizontal k (análisis pseudo-estático). Estas fuerzas sísmicas se asumen que son proporcionales al peso de la masa de deslizamiento potencial y del coeficiente de aceleración k , expresado en términos del número de veces la aceleración g (gravedad) producida por el sismo.

Con el fin de establecer diferentes escenarios de análisis en función de la fuerza inercial horizontal producida por los sismos, se recurre a la curva de amenaza sísmica de la ciudad capital más cercana, que para el caso del municipio de Cajicá, corresponde a la de la ciudad de Bogotá, D.C., establecida por el Estudio General de Amenaza Sísmica de Colombia, en el cual se muestran las curvas de aceleración para el período de vibración de 0 segundos que equivale a la aceleración máxima en roca (PGA, en inglés: *peak ground acceleration*).

En la curva de aceleración máxima del terreno para Bogotá (**Gráfico 2**), se puede encontrar el espectro para diferentes períodos de retorno y se tiene en cuenta las fuentes locales que pueden desencadenar eventos en el municipio como la Frontal Cordillera Oriental Centro, Benioff intermedia III y Salinas.

Gráfico 2. Curva de aceleración máxima del terreno para el municipio de Cajicá.



Fuente: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (2009).

A partir de la curva anterior, se obtienen los valores de aceleración horizontal máxima, con los cuales se determinan los coeficientes que representan la aceleración pico efectiva (A_a) para los períodos de retorno de 2, 50, 100, 225 y 475 años (**Tabla 4**).

Tabla 4. Coeficientes que representan la aceleración horizontal pico efectiva para diseño para los períodos de retorno de 2, 50, 100, 225 y 475 años y el nivel de retorno según la NSR-10 para el suelo urbano, de expansión urbana y centros poblados de Cajicá, a partir de la curva de aceleración máxima del terreno para el municipio de Bogotá.

Municipio	Aa					NSR-10
	Tr = 2 años	Tr = 50 años	Tr = 100 años	Tr = 225 años	Tr = 475 años	Tr = 475 años
Cajicá	0.01g	0.06g	0.08g	0.11g	0.12g	0.15g

Fuente: Generado a partir de Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (2009).

De acuerdo con la tabla anterior, el valor obtenido del coeficiente que representa la aceleración pico efectiva para un período de retorno de 475 años es menor con respecto al reportado en el NSR-10. Para determinar la categoría de la amenaza sísmica, se tiene en cuenta la tabla correspondiente al nivel de amenaza sísmica de acuerdo con los valores de A_a de la NSR-10 (**Tabla 5**).

Tabla 5. Nivel de amenaza sísmica de acuerdo con los valores de A_a .

Coeficiente que representa la aceleración pico efectiva (A_a)	Amenaza sísmica
$0.20 < A_a$	Alta
$0.10 < A_a \leq 0.20$	Intermedia
$A_a \leq 0.10$	Baja

Fuente: NSR-10.

Teniendo en cuenta la información anterior, se establece que el suelo urbano, de expansión urbana y centros poblados de Cajicá, se encuentran en una zona de **AMENAZA SÍSMICA**

 ALCALDÍA MUNICIPAL DE CAJICÁ	ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA			 ARCO C & C
SUELOS URBANO, EXPANSIÓN URBANA. Y CENTROS POBLADOS	ESTUDIO BÁSICO DE AMENAZAS POR MOVIMIENTO EN MASA	CAJICÁ		

INTERMEDIA, ya que el valor de A_a en los cálculos realizados se encuentra entre 0.10 y 0.20 y los valores de PGA están entre 250 y 300 (Servicio Geológico Colombiano, 2016), para un período de retorno de 475 años.

2.2.3.5. Escenarios de amenaza

Dado que una ladera puede estar sometida a diversas condiciones de saturación y aceleración sísmica horizontal, es necesario evaluar el comportamiento de esta frente a diferentes combinaciones de dichos detonantes, con una determinada probabilidad de ocurrencia. Para tal fin, se considera la inestabilidad resultante de la acción hídrica relacionada con la fluctuación del nivel freático, para lo cual se calcula la altura del nivel freático teniendo en cuenta lluvias con períodos de retorno de 2.33, 5, 10, 20, 50 y 100 años y cuya probabilidad de ocurrencia P_u está dada por:

$$P_u = p(h_w) = \left(1 - \left(1 - \frac{1}{T_r} \right)^L \right)$$

Donde

- T_r es el período de retorno de la lluvia en años y L es el período de exposición, que para este caso será 50 años.

El efecto de la fuerza inercial sísmica es incluido como una aceleración horizontal para diferentes períodos de retorno, cuya probabilidad de excedencia P_s estará dada por:

$$P_s = p(k) = 1 - e^{-L/T_r}$$

Al considerarse el factor de seguridad como una función aleatoria, en términos de variables aleatorias, se puede determinar la probabilidad de falla como la probabilidad anual de que el factor

 ALCALDÍA MUNICIPAL DE CAJICÁ	ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA		 ARCO C & C
	SUELOS URBANO, EXPANSIÓN URBANA. Y CENTROS POBLADOS	ESTUDIO BÁSICO DE AMENAZAS POR MOVIMIENTO EN MASA	CAJICÁ

de seguridad sea inferior o igual a 1.0, tomando en cuenta la variabilidad de los parámetros del suelo para varios escenarios de amenaza definidos como la combinación de diferentes lluvias y sismos de análisis (Servicio Geológico Colombiano, 2016).

Si se considera un escenario de lluvia y sismo, la probabilidad de falla P_f se obtiene como la probabilidad de que el factor de seguridad sea inferior o igual a 1.0, dada la lluvia y dado el sismo del escenario determinado, multiplicado por la probabilidad de ocurrencia de dicha lluvia y sismo *op cit.*

$$P_f = p(FS \leq 1.0|h_w|k)p(h_w)p(k)$$

Finalmente, la probabilidad total de falla es obtenida combinando los diferentes escenarios de análisis mediante la siguiente ecuación:

$$P_{ft} = 1 - (1 - P_{f1})(1 - P_{f2}) \dots (1 - P_{fn})$$

Donde

- P_{ft} es la probabilidad total de falla.
- P_{fi} es la probabilidad de falla para el escenario i , definido por la combinación de lluvia y sismo anteriormente descrita.

En la **Ilustración 12**, se presenta el esquema de cálculo empleado para evaluar la probabilidad de falla en cada una de las celdas o unidades de trabajo (píxel) que representan el área de estudio.

EVALUACION DE LA AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA ESCALA 1:2000 - MÉTODO PROBABILÍSTICO

Lluvia		NF	2.33					5					10					20					50					100				
Sismos		Kh	2	50	100	225	475	2	50	100	225	475	2	50	100	225	475	2	50	100	225	475	2	50	100	225	475	2	50	100	225	475

COMBINACIÓN DE PARÁMETROS	c'	φ'	h	PESO	ESCENARIOS																													
	+	+	+	W _i	[FS] ₁	...	...	...	...	...	...	...	...	...	[FS] _{m-1}	[FS] _m	[FS] _{m+1}	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	[FS] _l			
	+	+	-	-	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	:	:	:	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	:		
	+	-	+	-	[FS] _{n-1}	...	...	...	...	...	...	...	...	...	[FS] _{n-1}	[FS] _{n-1}	[FS] _{n-1}	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	[FS] _{n-1}		
	+	-	-	-	[FS] _n	...	...	...	...	...	...	...	...	...	[FS] _n	[FS] _n	[FS] _n	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	[FS] _n		
	-	+	+	-	[FS] _{m+1}	...	...	...	...	...	...	...	...	...	[FS] _{m+1}	[FS] _{m+1}	[FS] _{m+1}	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	[FS] _{m+1}		
	-	+	-	-	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	:	:	:	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	:		
	-	-	+	-	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	:	:	:	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...		
	-	-	-	W _j	[FS] _k	...	...	...	...	...	...	...	...	...	[FS] _k	[FS] _k	[FS] _k	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	[FS] _k		

ESPERANZA	E[FS]	E[FS] ₁	...	...	...	...	...	...	...	...	...	E[FS] _{i-1}	E[FS] _i	[FS] _{i+1}	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	E[FS] _l
VARIANZA	Var[FS]	Var[FS] ₁	...	...	...	...	...	...	...	...	...	Var[FS] _{i-1}	Var[FS] _i	Var[FS] _{i+1}	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	Var[FS] _l
DESV ESTAN	σ[FS]	σ[FS] ₁	...	...	...	...	...	...	...	...	...	σ[FS] _{i-1}	σ[FS] _i	σ[FS] _{i+1}	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	σ[FS] _l
IND. CONFIA	β	β[FS] ₁	...	...	...	...	...	...	...	...	...	β[FS] _{i-1}	β[FS] _i	β[FS] _{i+1}	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	β[FS] _l
FUN. DIST. ACU	Φ(β)	Φ(β) ₁	...	...	...	...	...	...	...	...	...	Φ(β) _{i-1}	Φ(β) _i	Φ(β) _{i+1}	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	Φ(β) _l
PROB. ESCEN.	Pf	Pf ₁	...	...	...	...	...	...	...	...	...	Pf _{i-1}	Pf _i	Pf _{i+1}	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	Pf _l
PROB. TOTAL	Pf Total	PROBABILIDAD DE FALLA TOTAL																													

Ilustración 12. Representación esquemática de la estructura de cálculo empleada para la evaluación de la probabilidad de falla total anual para cada unidad de trabajo (píxel).

Fuente: Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2019).

 ALCALDÍA MUNICIPAL DE CAJICÁ	ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA		 ARCO C & C
	SUELOS URBANO, EXPANSIÓN URBANA. Y CENTROS POBLADOS	ESTUDIO BÁSICO DE AMENAZAS POR MOVIMIENTO EN MASA	
		CAJICÁ	

2.2.4. GEOLOGÍA PARA INGENIERÍA

De acuerdo con la guía metodológica para elaboración de mapas de geología para ingeniería del Servicio Geológico Colombiano: *“un mapa de geología para ingeniería es un tipo de mapa geológico que muestra información sobre la distribución y propiedades físicas y mecánicas de las rocas y los suelos, el agua subterránea, las características del relieve y los procesos geodinámicos actuales, que son considerados los componentes básicos del ambiente geológico, de suma importancia en estudios de geología aplicada a la ingeniería”*.

Los mapas de geología para ingeniería (UGI) se pueden elaborar a partir de las unidades geológicas superficiales (UGS), que son el insumo más importante porque permiten la homogenización de las características ingenieriles de los materiales del área de estudio. Las UGI permiten diferenciar tres aspectos fundamentales para obtener los modelos con los cuales se realizan los análisis de estabilidad:

- 1) Diferenciar los materiales aflorantes entre suelos y rocas.
- 2) Definir los espesores de suelo o las características estructurales del macizo rocoso.
- 3) Caracterizar los materiales de acuerdo con sus propiedades mecánicas.

El mapa y el perfil de UGI para el área del suelo urbano principal del municipio de Cajicá, intentan capturar el comportamiento geomecánico de las rocas y suelos, el cual está determinado principalmente por propiedades físicas como origen, litología, composición mineralógica, textura, dureza, condición estructural, grado de fracturamiento y de meteorización, granulometría, humedad y consistencia. En este caso, se han definido dos materiales principalmente:

- **Rocas.**
- **Suelos (residuales y transportados).**

La clasificación de rocas y suelos está basada en el principio de que las propiedades físicas de dichos materiales en su estado actual dependen de la combinación de otros factores como el origen, diagénesis, historia tectónica, metamorfismo y los procesos de meteorización; los cuales gobiernan el comportamiento mecánico de dichos materiales (INGEOMINAS, 2004).

 ALCALDÍA MUNICIPAL DE CAJICÁ	ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA		 ARCO C & C
	SUELOS URBANO, EXPANSIÓN URBANA. Y CENTROS POBLADOS	ESTUDIO BÁSICO DE AMENAZAS POR MOVIMIENTO EN MASA	
		CAJICÁ	

Para la generación del mapa de UGS, se lleva a cabo la siguiente secuencia de actividades:

- **Recopilación de información previa:** la primera etapa consiste en recopilar y analizar toda la información temática, secundaria o primaria provenientes de fuentes oficiales (Servicio Geológico Colombiano), universidades o consultorías, que ayuden a definir y caracterizar las unidades temáticas. Dicha información abarca estudios geológicos, geomorfológicos estudios de suelos (IGAC), geotécnicos, hidrogeológicos y ambientales, tanto a escala regional como detallada (escalas 100.000, 50.000, 25.000 y 10.000). La información anterior es evaluada y posteriormente georreferenciada con el fin de ser empleada en la cartografía temática.
- **Preparación de insumos básicos:** para iniciar la interpretación y delimitación preliminar de zonas con comportamiento homogéneo, se recurre a un Sistema de Información Geográfica (SIG), sobre el cual se administran los diferentes insumos temáticos y básicos como:
 - ✓ Modelo Digital de Elevación (con una resolución espacial de 1 m/píxel).
 - ✓ Ortofotografía del suelo urbano principal (con una resolución espacial de 5 cm/píxel).
 - ✓ Base cartográfica del área de estudio, a escala 1:2.000 construida a partir del DEM y de las ortofotografías generadas por la consultoría para este estudio.
- **Delimitación de unidades con comportamiento homogéneo:** esta fase comprende el análisis e interpretación de los insumos básicos y temáticos, en donde a partir de la caracterización geológica y geomorfológica del suelo urbano principal de Cajicá y la interpretación de imágenes de sensores remotos, se procede a la delimitación cartográfica de las diferentes unidades de roca y suelo teniendo en cuenta su homogeneidad y que será la base para la comprobación de campo.
- **Para la descripción y caracterización de las UGS se tienen en cuenta cinco parámetros fundamentales:** génesis, litología (composición y textura), propiedades ingenieriles, clasificación geomecánica, grado de meteorización y rasgos estructurales. Estas características serán obtenidas por medio de la descripción de afloramientos rocosos, pruebas índices de campo e información secundaria.

 ALCALDÍA MUNICIPAL DE CAJICÁ	ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA		 ARCO C & C
	SUELOS URBANO, EXPANSIÓN URBANA. Y CENTROS POBLADOS	ESTUDIO BÁSICO DE AMENAZAS POR MOVIMIENTO EN MASA	
		CAJICÁ	

- ✓ **Génesis:** corresponde al origen del material.
 - ✓ **Litología:** composición mineralógica de las rocas y suelos y el arreglo de éstos (textura).
 - ✓ **Propiedades ingenieriles:** son propiedades directamente relacionadas con el origen y composición y, en consecuencia, con el comportamiento geomecánico del material cuando se encuentra expuesto en superficie. Incluye: dureza o resistencia, consistencia, humedad, densidad relativa y compacidad.
 - ✓ **Grado de meteorización:** corresponde a una descripción cualitativa del estado de meteorización de los materiales, tomando en cuenta la distribución y proporción relativa de la meteorización en el macizo rocoso y sus discontinuidades.
 - ✓ **Clasificación geomecánica:** son métodos que permiten asignar un índice de calidad al macizo rocoso a través de la observación directa de sus características físicas o mediante la realización de pruebas de campo. Para el presente estudio el método de clasificación será el Índice Geológico de Resistencia (GSI).
 - ✓ **Rasgos estructurales:** corresponde a la densidad de rasgos lineales (grietas, diaclasas y fallas) y donde el grado de influencia de ésta sobre la resistencia del macizo, es capturado por medio de la calificación del GSI.
- **Validación y complementación de campo:** el objetivo del trabajo de campo es la toma de datos que permitan caracterizar las unidades de roca y suelo, así como corroborar, corregir y complementar el modelo geológico preliminar de la zona, planteado a partir del análisis de la información secundaria y fotointerpretación.

En la **Tabla 6**, se presentan algunos puntos de control de campo en el suelo urbano, suelo de expansión urbana y centros poblados del municipio de Cajicá, con la unidad geológica superficial correspondiente, la estación y sus coordenadas.

 ALCALDÍA MUNICIPAL DE CAJICÁ	ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA		 ARCO C & C
	SUELOS URBANO, EXPANSIÓN URBANA. Y CENTROS POBLADOS	ESTUDIO BÁSICO DE AMENAZAS POR MOVIMIENTO EN MASA	CAJICÁ

Tabla 6. Puntos de control de campo realizados por el equipo consultor en el suelo urbano, suelo de expansión urbana y centros poblados del municipio de Cajicá.

CONTROL DE CAMPO					
URBANO	ESTACIÓN	X (m)	Y (m)	UNIDAD GEOLÓGICA SUPERFICIAL (UGS)	
				CÓDIGO	UNIDAD
Perímetro Capellanía	YC_23	4886684	2103952	Stfs	Suelo transportado lacustre - Formación Sabana
	YC_24	4886998	2103365	Stfs	Suelo transportado lacustre - Formación Sabana
Perímetro Centros Poblados	YC_50	4885511	2102323	Stfs	Suelo transportado lacustre - Formación Sabana
Perímetro Expansión Urbana	SD_07	4885728	2102676	Stfs	Suelo transportado lacustre - Formación Sabana
	YC_37	4885292	2103309	Stfs	Suelo transportado lacustre - Formación Sabana
Perímetro Urbano Principal	SD_08	4885286	2102105	Stfs	Suelo transportado lacustre - Formación Sabana
	YC_12	4886489	2101056	Stfs	Suelo transportado lacustre - Formación Sabana
	YC_13	4885879	2100802	Stfs	Suelo transportado lacustre - Formación Sabana
	YC_14	4886057	2101327	Stfs	Suelo transportado lacustre - Formación Sabana
	YC_20	4886452	2102121	Stfs	Suelo transportado lacustre - Formación Sabana
	YC_49	4885551	2101806	Stfs	Suelo transportado lacustre - Formación Sabana
Área Urbana General	YC_52	4885769	2102646	Stfs	Suelo transportado lacustre - Formación Sabana
	WP_71	4885940	2104395	Rbflt	Roca blanda de la Formación Labor Tierna
	YC_21	4887812	2103431	Stal	Suelo transportado aluvial
	YC_44	4883734	2102349	Stal	Suelo transportado aluvial
	YC_48	4883693	2101951	Stal	Suelo transportado aluvial
	SD_02	4887760	2102368	Stan	Suelo transportado antrópico
	YC_04	4887268	2100989	Stan	Suelo transportado antrópico
	YC_05	4885370	2098728	Stan	Suelo transportado antrópico
	YC_17	4887550	2101886	Stan	Suelo transportado antrópico
	YC_18	4887928	2102625	Stan	Suelo transportado antrópico
	YC_47	4883965	2101904	Stan	Suelo transportado antrópico
	YC_36	4885449	2103932	Stft	Suelo transportado fluvio-torrencial
	YC_39	4884169	2103417	Stft	Suelo transportado fluvio-torrencial
	WP_21	4884531	2103598	Stft	Suelo transportado fluvio-torrencial
	WP_23	4883756	2103340	Stft	Suelo transportado fluvio-torrencial
	WP_25	4885468	2103945	Stft	Suelo transportado fluvio-torrencial

 ALCALDÍA MUNICIPAL DE CAJICÁ	ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA		 ARCO C & C
	SUELOS URBANO, EXPANSIÓN URBANA. Y CENTROS POBLADOS	ESTUDIO BÁSICO DE AMENAZAS POR MOVIMIENTO EN MASA	CAJICÁ

CONTROL DE CAMPO					
URBANO	ESTACIÓN	X (m)	Y (m)	UNIDAD GEOLÓGICA SUPERFICIAL (UGS)	
				CÓDIGO	UNIDAD
	SD_03	4887479	2102414	Stfs	Suelo transportado lacustre - Formación Sabana
	SD_05	4887490	2103116	Stfs	Suelo transportado lacustre - Formación Sabana
	SD_06	4886824	2102974	Stfs	Suelo transportado lacustre - Formación Sabana
	SD_09	4883942	2102314	Stfs	Suelo transportado lacustre - Formación Sabana
	SD_10	4884259	2101466	Stfs	Suelo transportado lacustre - Formación Sabana
	YC_01	4886523	2100337	Stfs	Suelo transportado lacustre - Formación Sabana
	YC_02	4887789	2100463	Stfs	Suelo transportado lacustre - Formación Sabana
	YC_03	4885956	2100007	Stfs	Suelo transportado lacustre - Formación Sabana
	YC_06	4885098	2099269	Stfs	Suelo transportado lacustre - Formación Sabana
	YC_07	4884693	2098822	Stfs	Suelo transportado lacustre - Formación Sabana
	YC_08	4884124	2099005	Stfs	Suelo transportado lacustre - Formación Sabana
	YC_09	4884453	2099584	Stfs	Suelo transportado lacustre - Formación Sabana
	YC_10	4884331	2100290	Stfs	Suelo transportado lacustre - Formación Sabana
	YC_11	4885187	2100577	Stfs	Suelo transportado lacustre - Formación Sabana
	YC_15	4884691	2101054	Stfs	Suelo transportado lacustre - Formación Sabana
	YC_16	4884715	2100693	Stfs	Suelo transportado lacustre - Formación Sabana
	YC_19	4887142	2102498	Stfs	Suelo transportado lacustre - Formación Sabana
	YC_22	4886400	2103145	Stfs	Suelo transportado lacustre - Formación Sabana
	YC_26	4887359	2103750	Stfs	Suelo transportado lacustre - Formación Sabana
	YC_38	4884489	2103300	Stfs	Suelo transportado lacustre - Formación Sabana
	YC_40	4883557	2102708	Stfs	Suelo transportado lacustre - Formación Sabana
	YC_41	4884492	2102538	Stfs	Suelo transportado lacustre - Formación Sabana
	YC_42	4885530	2101065	Stfs	Suelo transportado lacustre - Formación Sabana
	YC_43	4884978	2101346	Stfs	Suelo transportado lacustre - Formación Sabana
	YC_45	4884418	2102174	Stfs	Suelo transportado lacustre - Formación Sabana
	YC_46	4884492	2101644	Stfs	Suelo transportado lacustre - Formación Sabana
	YC_51	4885469	2102885	Stfs	Suelo transportado lacustre - Formación Sabana
	WP_19	4884444	2103309	Stfs	Suelo transportado lacustre - Formación Sabana
	WP_34	4887798	2100486	Stfs	Suelo transportado lacustre - Formación Sabana

Fuente: Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

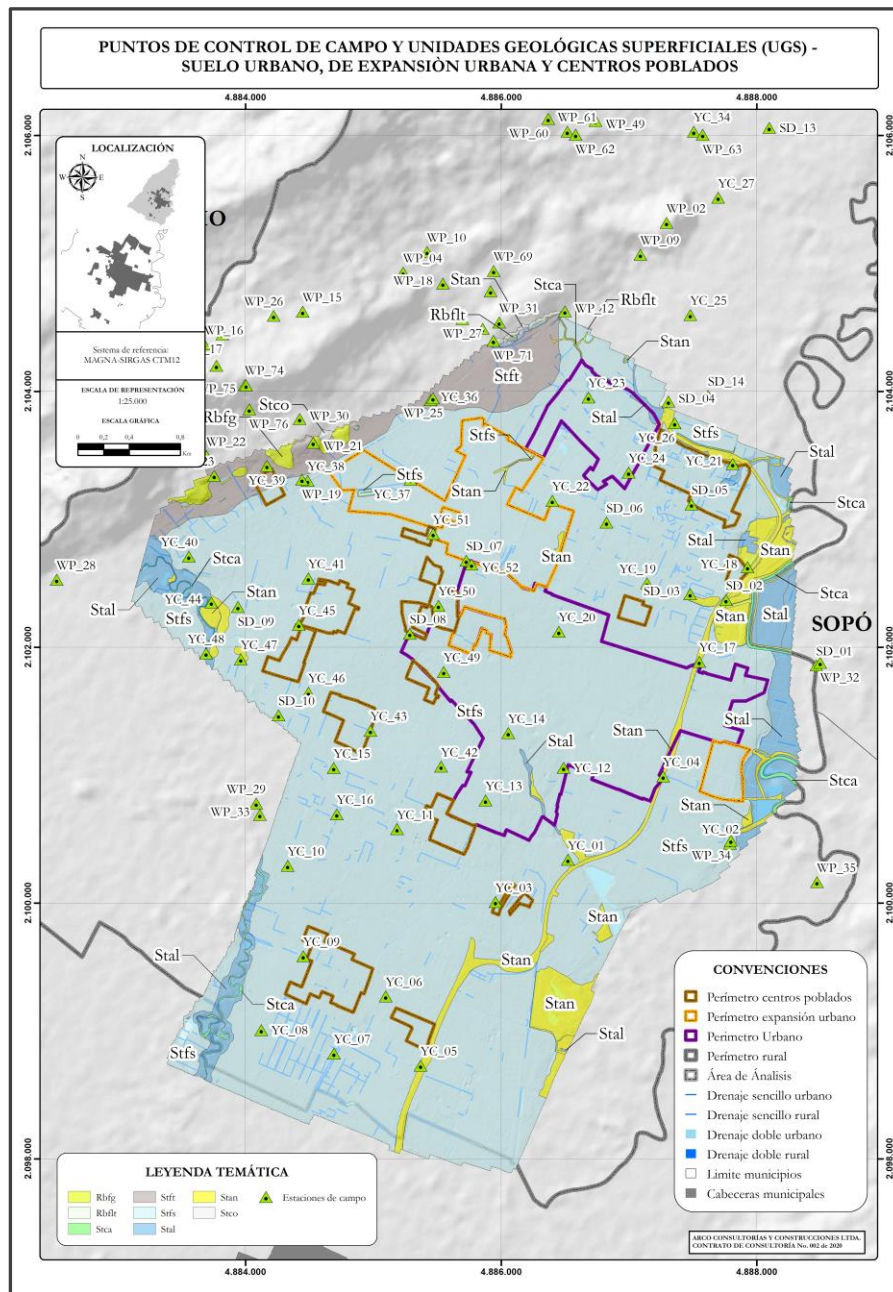


Ilustración 13. Estaciones de campo para el suelo urbano, de expansión urbana y centros poblados, municipio de Cajicá, Cundinamarca.

Fuente: Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

 ALCALDÍA MUNICIPAL DE CAJICÁ	ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA			 ARCO C & C
	SUELOS URBANO, EXPANSIÓN URBANA. Y CENTROS POBLADOS	ESTUDIO BÁSICO DE AMENAZAS POR MOVIMIENTO EN MASA	CAJICÁ	

- **Integración de la información:** como resultado de las anteriores etapas, se obtiene un mapa de unidades geológicas superficiales con la descripción sistemática de cada unidad representada en el mapa. Para la descripción de las unidades de suelo se reportará: génesis, propiedades ingenieriles y litología, complementados con el espesor y rasgos estructurales. En cuanto a unidades de roca, estas presentarán: clasificación geo-mecánica, litología, génesis y propiedades ingenieriles; complementadas con información acerca del grado de meteorización y rasgos estructurales.
- **Preparación del mapa final y documento:** la última etapa para la construcción de este insumo temático corresponde a la preparación del mapa final con sus atributos, como también la elaboración del documento respectivo.

De acuerdo con lo anterior, la información generada correspondiente a las unidades de geología para ingeniería (UGI), se muestra a continuación:

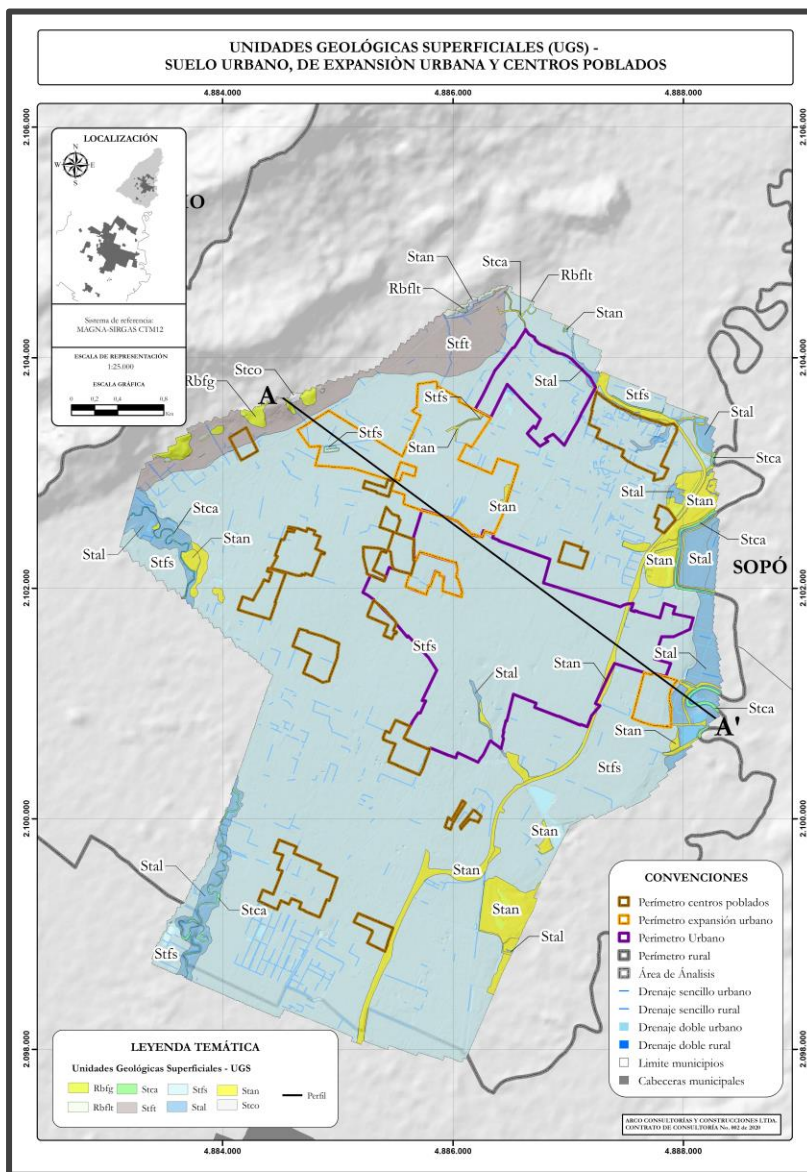


Ilustración 14. Mapa de UGI y puntos de exploración para el área del suelo urbano, de expansión urbana y centros poblados, municipio de Cajicá, Cundinamarca.

Fuente: Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021)

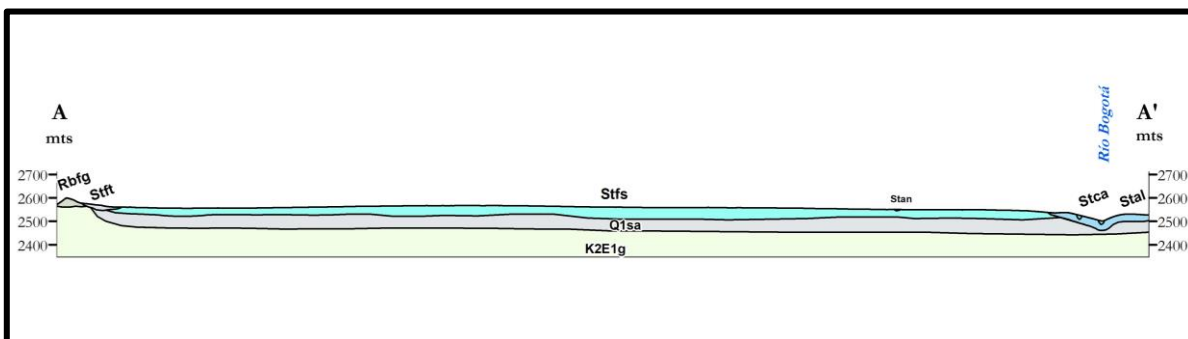


Ilustración 15. Perfil esquemático A-A' de UGS para el área del suelo urbano, suelo de expansión urbana y centros poblados del municipio de Cajicá, Cundinamarca.

Fuente: Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021)

En la **Tabla 7**, se presenta la descripción de cada una de las unidades que componen los mapas de unidades de geología para ingeniería (UGI):

Tabla 7. Unidades de geología para ingeniería (UGI) identificadas para el suelo urbano, suelo de expansión urbana y centros poblados del municipio de Cajicá, Cundinamarca.

CÓDIGO	UNIDAD	DESCRIPCIÓN
UNIDADES DE ROCA		
Rocas blandas (Rb)		
Rbflt	Roca blanda de la Formación Labor-Tierna	Roca clásica consolidada, constituida por una sucesión de capas de areniscas de cuarzo, grisáceas intercaladas con lodolitas de color negro y gris, a veces ocre por efecto de la meteorización. El afloramiento presenta una resistencia blanda, con un golpe se obtiene muestra y un grado de meteorización de medio a alto. A partir de lo anterior se le asigna un GSI 25 a 35, <i>estructura blocosa/alterada</i> .

 ALCALDÍA MUNICIPAL DE CAJICÁ	ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA		 ARCO C & C
	SUELOS URBANO, EXPANSIÓN URBANA. Y CENTROS POBLADOS	ESTUDIO BÁSICO DE AMENAZAS POR MOVIMIENTO EN MASA	CAJICÁ

CÓDIGO	UNIDAD	DESCRIPCIÓN
		 
Rbfg	Roca blanda de la Formación Guaduas	Roca clástica consolidada, constituida por capas medias de arenisca de grano fino, altamente meteorizadas de resistencia blanda, intercaladas con lodolitas y arcillolitas grises a moradas extremadamente meteorizadas de resistencia blanda un solo golpe. Generalmente, presenta un alto grado de diaclasado con superficies meteorizadas Se le asigna un GSI 30 a 40, estructura <i>blocosa/alterada</i>.  
UNIDADES DE SUELO TRANSPORTADO (St)		

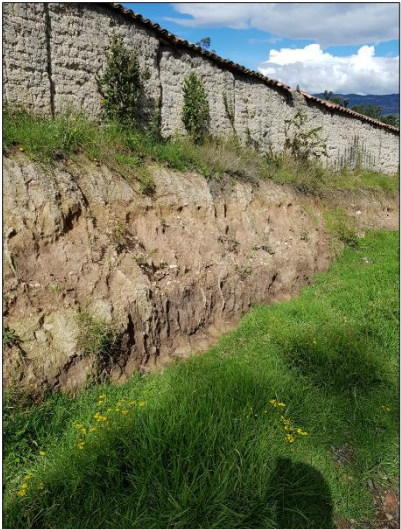
 ALCALDÍA MUNICIPAL DE CAJICÁ	ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA	 ARCO C & C
	SUELOS URBANO, EXPANSIÓN URBANA. Y CENTROS POBLADOS	ESTUDIO BÁSICO DE AMENAZAS POR MOVIMIENTO EN MASA
		CAJICÁ

CÓDIGO	UNIDAD	DESCRIPCIÓN
Stfs	Suelo transportado lacustre - Formación Sabana	Suelo transportado lacustre, conformado por arenas angulares en una matriz arcillosa, de consistencia blanda, ligeramente plástico, deja hacer un rollo, pero no un aro.  

 ALCALDÍA MUNICIPAL DE CAJICÁ	ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA			 ARCO C & C
	SUELOS URBANO, EXPANSIÓN URBANA. Y CENTROS POBLADOS	ESTUDIO BÁSICO DE AMENAZAS POR MOVIMIENTO EN MASA	CAJICÁ	

CÓDIGO	UNIDAD	DESCRIPCIÓN
Stan	Suelo transportado antrópico	Suelo transportado antrópico, matriz-soportado, matriz de arcillosa a arenosa de tonalidades grisáceas, sin estructuras observables. 
Stal	Suelo transportado aluvial	Suelo transportado de depósitos aluviales, matriz-soportado, con clastos de heterométricos embebidos en una matriz arenosa- limosa. 
Stft	Suelo transportado fluvio-torrencial	Suelo transportado fluvio-torrencial, constituido por clastos angulares embebidos en una matriz areno-limosa de tonalidades grisáceas a rojizas, sin estructuras distinguibles y de comportamiento no plástico.

 ALCALDÍA MUNICIPAL DE CAJICÁ	ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA			
	SUELOS URBANO, EXPANSIÓN URBANA. Y CENTROS POBLADOS	ESTUDIO BÁSICO DE AMENAZAS POR MOVIMIENTO EN MASA	CAJICÁ	

CÓDIGO	UNIDAD	DESCRIPCIÓN
		  
Stca	Suelo transportado de cauce activo	Suelo transportado de cauce activo, clasto-soportado, con clastos redondeados, de tamaños entre 10 cm y 5 m, colores beige y gris, su consistencia es suelta, sin estructuras apreciables, poca vegetación y no es plástico 
Stco	Suelo transportado coluvial	Suelo transportado coluvial, constituido por clastos angulosos con tamaños que varían de 20 a 60 cm, matriz soportada, en una matriz

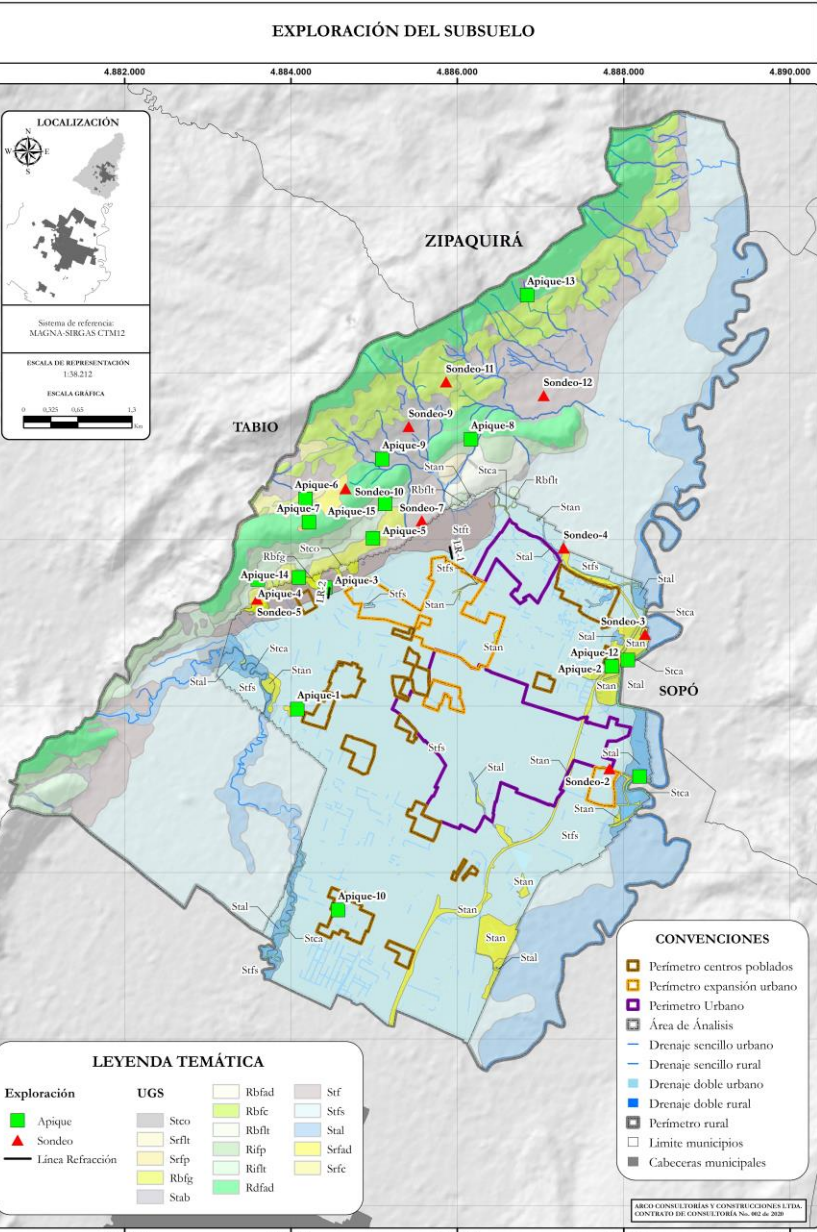
 ALCALDÍA MUNICIPAL DE CAJICÁ	ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA		 ARCO C & C
	SUELOS URBANO, EXPANSIÓN URBANA. Y CENTROS POBLADOS	ESTUDIO BÁSICO DE AMENAZAS POR MOVIMIENTO EN MASA	

CÓDIGO	UNIDAD	DESCRIPCIÓN
		arcillosa a arenosa que varía de color dependiendo del grado de meteorización al que esté expuesta.  

Fuente: Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

2.2.4.1. Caracterización mecánica del suelo

De acuerdo con el alcance del estudio y las unidades geológicas superficiales a caracterizar, se programaron nueve (9) sondeos manuales tipo SPT con profundidades de 5 (6), 10 (1) y 15 (2) m. Por otro lado, se ejecutaron 15 apiques con los cuales se buscó recuperar muestras en bloque y/o bolsa con el fin de adelantar ensayos de corte directo para la determinación de los parámetros de resistencia y propiedades índice de análisis para poder realizar ensayos de corte directo y caracterizar la resistencia al corte de los depósitos y suelos residuales de interés. De igual manera se llevó a cabo dos líneas de refracción sísmica de 100 m de longitud entre los depósitos fluvio-torrenciales y los lacustres. En la siguiente ilustración y tabla se identifican las coordenadas de la exploración ejecutada, así como la identificación de los niveles piezométricos detectados durante la campaña de campo.



refracción sísmica) para el municipio de Cajicá, Cundinamarca.

Fuente: Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021)

 ALCALDÍA MUNICIPAL DE CAJICÁ	ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA			 ARCO C & C
SUELOS URBANO, EXPANSIÓN URBANA. Y CENTROS POBLADOS	ESTUDIO BÁSICO DE AMENAZAS POR MOVIMIENTO EN MASA	CAJICÁ		

Tabla 8. Coordenadas localización de puntos de exploración.

EXPLORA- CIÓN	COD	UNIDAD	ESTE (m)	NORTE (m)	NIVEL FREÁTICO
Apique-1	Stfs	Suelo transportado lacustre – Formación Sabana	1003499,7	1036026,7	No detectado
Apique-2	Stan	Suelo transportado antrópico	1007282,2	1036549,1	No detectado
Apique-3	Stft	Suelo transportado fluvio-torrencial	1003831,3	1037488,4	No detectado
Apique-4	Riflt	Roca intermedia de la Formación Labor Tierna	1003022,5	1037584,9	No detectado
Apique-5	Rbfg	Roca blanda de la Formación Guaduas	1004405,6	1038082,1	No detectado
Apique-6	Srfc	Suelo residual de la Formación Conejo	1003595,4	1038556,1	No detectado
Apique-7	Rdfad	Roca dura de la Formación Arenisca Dura	1003637,1	1038272,5	No detectado
Apique-8	Rifp	Roca intermedia de la Formación Plaeners	1005584,2	1039273,5	No detectado
Apique-9	Stco	Suelo transportado coluvial	1004517,9	1039034,4	No detectado
Apique-10	Stfs	Suelo transportado lacustre – Formación Sabana	1003993,3	1033611,5	No detectado
Apique-11	Stal	Suelo transportado aluvial	1007619,5	1035222,7	No detectado
Apique-12	Stan	Suelo transportado antrópico	1007476,2	1036624,2	No detectado
Apique-13	Stco	Suelo transportado coluvial	1006257,5	1041010,1	No detectado
Apique-14	Stco	Suelo transportado coluvial	1003517,2	1037611,7	No detectado
Apique-15	Riflt	Roca intermedia de la Formación Labor Tierna	1004552,8	1038498,9	No detectado
Sondeo-2	Stan	Suelo transportado antrópico	1007257,9	1035315,1	No detectado
Sondeo-3	Stal	Suelo transportado antrópico	1007682,0	1036933,3	No detectado

Sondeo-4	Stfs	Suelo transportado lacustre – Formación Sabana	1006701,5	1037968,9	No detectado
Sondeo-5	Rbfg	Roca blanda de la Formación Guaduas	1003014,7	1037347,8	No detectado
Sondeo-7	Stft	Suelo transportado fluvio-torrencial	1004993,9	1038292,2	No detectado
Sondeo-9	Stco	Suelo transportado coluvial	1004835,2	1039425,7	No detectado
Sondeo-10	Rdfad	Roca dura de la Formación Arenisca Dura	1004075,0	1038677,8	No detectado
Sondeo-11	Rbfc	Roca blanda de la Formación Conejo	1005282,0	1039964,8	No detectado
Sondeo-12	Stft	Suelo transportado fluvio-torrencial	1006458,7	1039801,7	No detectado
LR-1	Stft- Stfs	Suelo transportado fluvio-torrencial - Suelo transportado lacustre	1005328,5 - 1005359,5	1037978,4 - 1037838,2	
LR-2	Stft- Stfs	Suelo transportado fluvio-torrencial - Suelo transportado lacustre	1003882,8 - 1003868,8	1037482,8 - 1037363,3	

Fuente: Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

Durante las perforaciones se realizaron pruebas de penetración estándar (SPT) según la norma ASTM D1586 a intervalos de 1,00 metro y se recuperaron muestras de naturaleza alterada e inalterada mediante tubería Shelby y de cuchara partida, consideradas representativas del perfil natural del terreno.

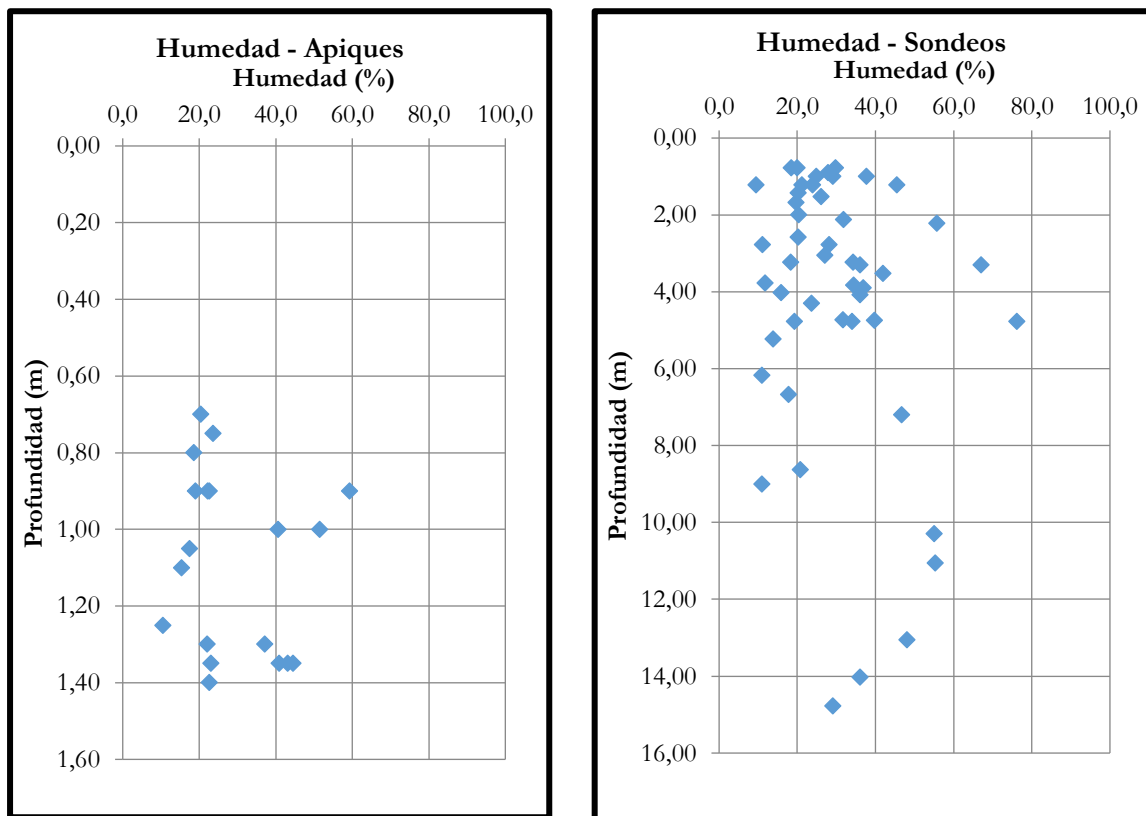
Las muestras recuperadas fueron sometidas en laboratorio a los ensayos principales atendiendo a las necesidades del proyecto y por la naturaleza de los suelos presentes. Se ejecutaron los siguientes ensayos:

- Humedad natural (68 unidades)
- Lavado sobre tamiz 200 (37 ensayos)
- Límites de Atterberg (63 unidades)
- Pesos unitarios (26 ensayos)
- Cortes directos (24 unidades)
- Ensayos de consolidación unidimensional (5 ensayos)

- Contenido de materia orgánica (25 unidades)
- Gravedad específica (23 unidades)
- Compresión simple (14 unidades)
- Expansión libre (3 unidades)

En las figuras siguientes se presentan resúmenes de los ensayos ejecutados por sondeo y por apique. Del **Gráfico 3** se presenta la variación de la humedad con la profundidad para los apiques y los sondeos encontrándose que este oscila en general entre 20% y 40%, con un valor promedio del 30%, siendo el Suelo transportado aluvial y Suelo transportado fluvio-torrencial las unidades con mayor y menor humedad respectivamente.

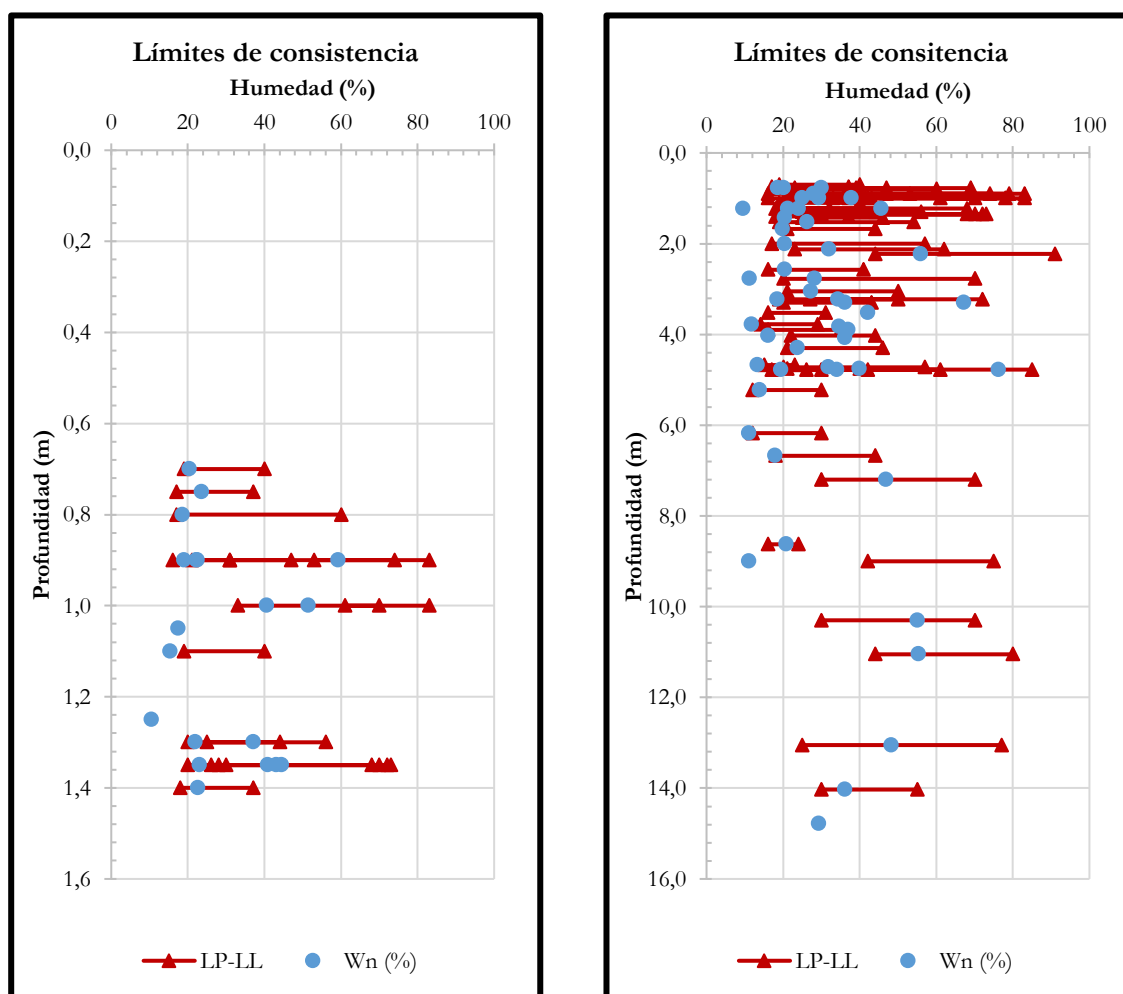
Gráfico 3. Variación de humedad con la profundidad para muestras de apiques y sondeos.



Fuente: Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

Frente a los límites de consistencia (**Gráfico 4**) se encuentra que la humedad natural (W_n) se encuentra próxima a los valores del Límite líquido, lo cual sugiere materiales, en términos generales, normalmente consolidados a ligeramente consolidados, estos últimos para los sondeos 4, 5 y 11 a partir de los 3m (**Gráfico 5**).

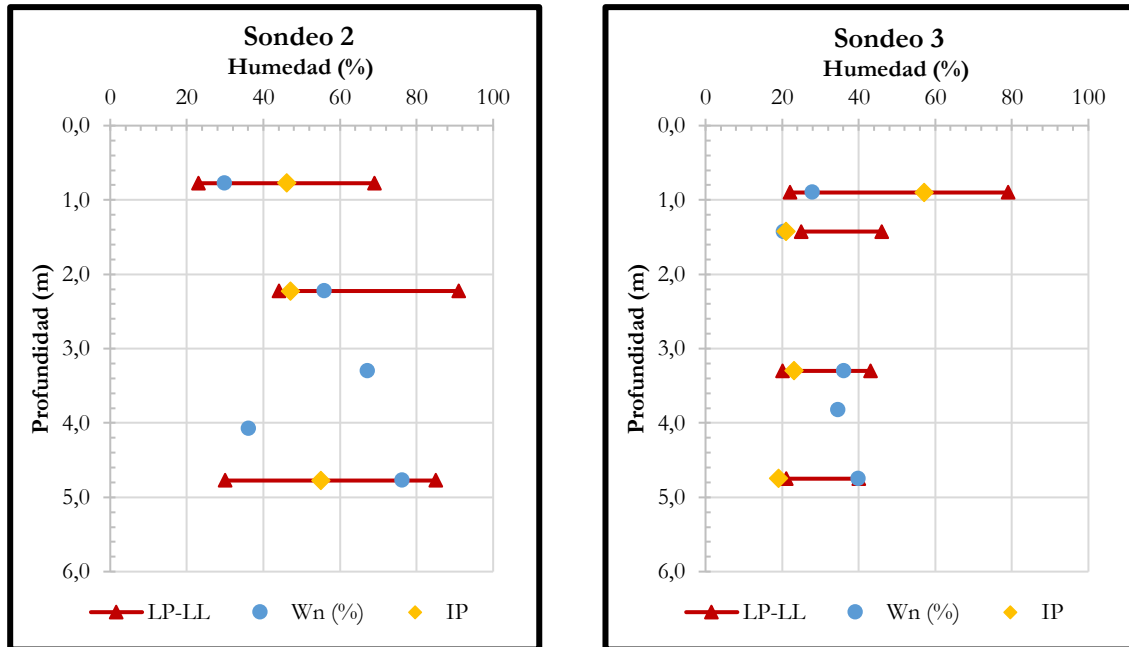
Gráfico 4. Límites de consistencia para muestras de apiques y sondes

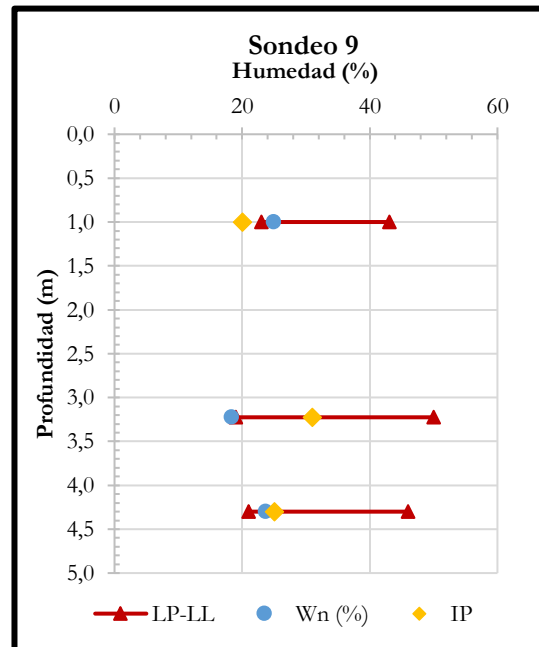
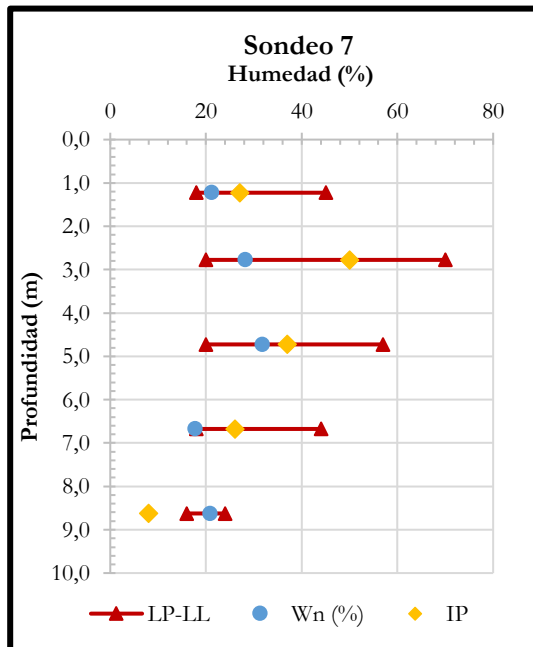
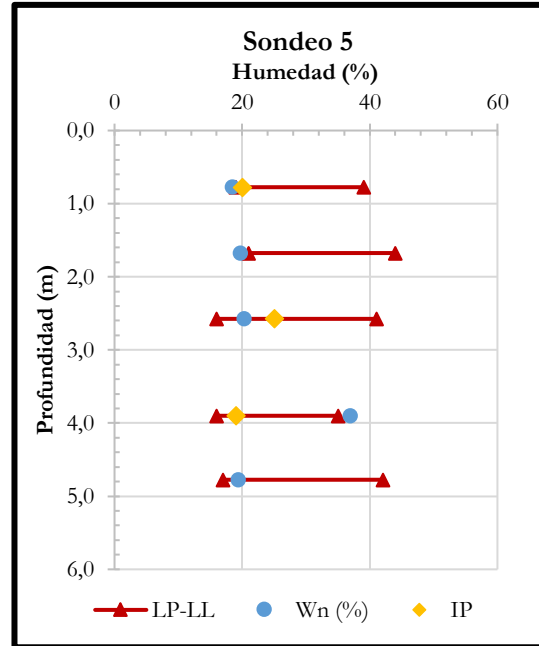
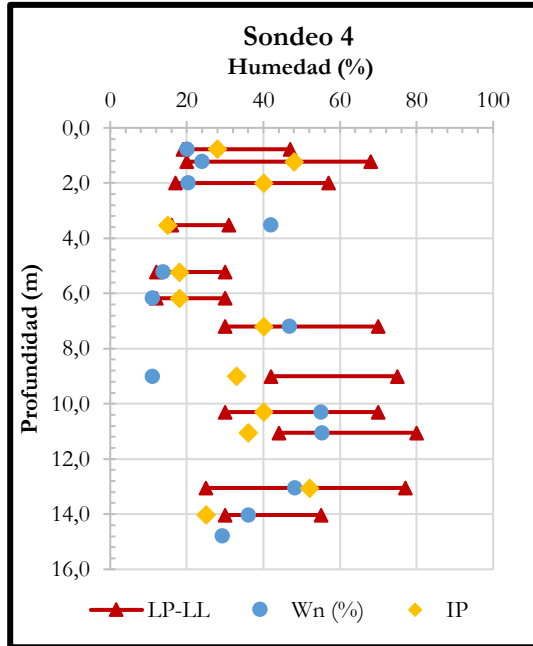


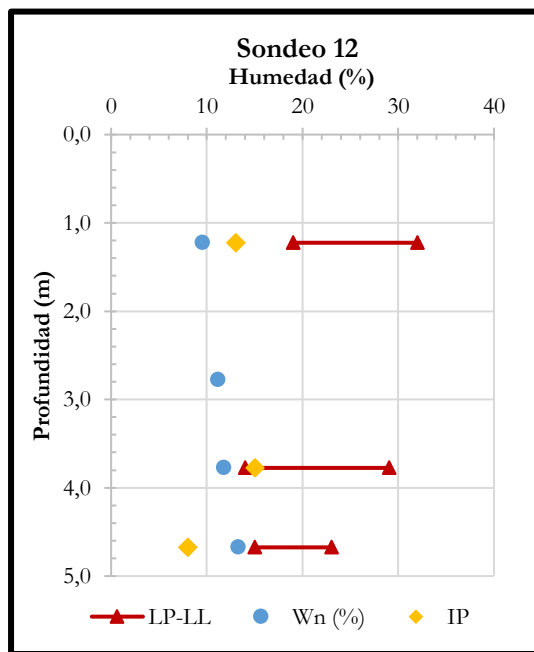
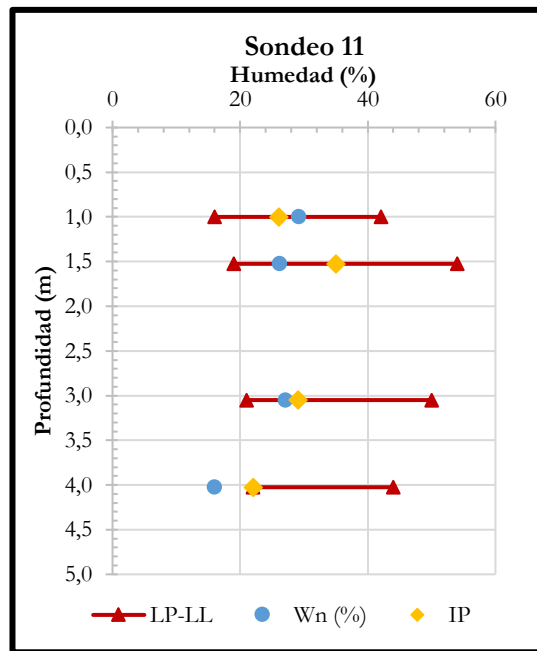
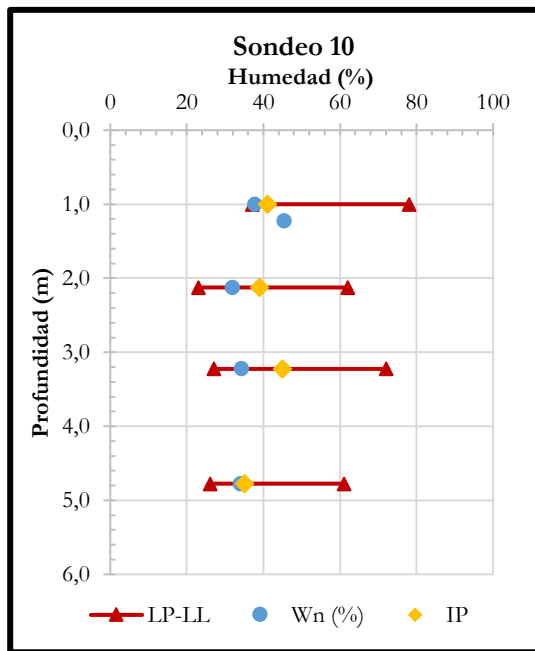
Fuente: Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

En el **Gráfico 5** se presentan los límites de consistencia, humedad natural e índice de plasticidad para cada uno de los sondeos realizados. Se evidencia que en general los materiales encontrados tienen una media y alta plasticidad ($16 < IP < 30$ y $IP > 30$ respectivamente).

Gráfico 5. variación de humedad vs profundidad en los sondeos manuales



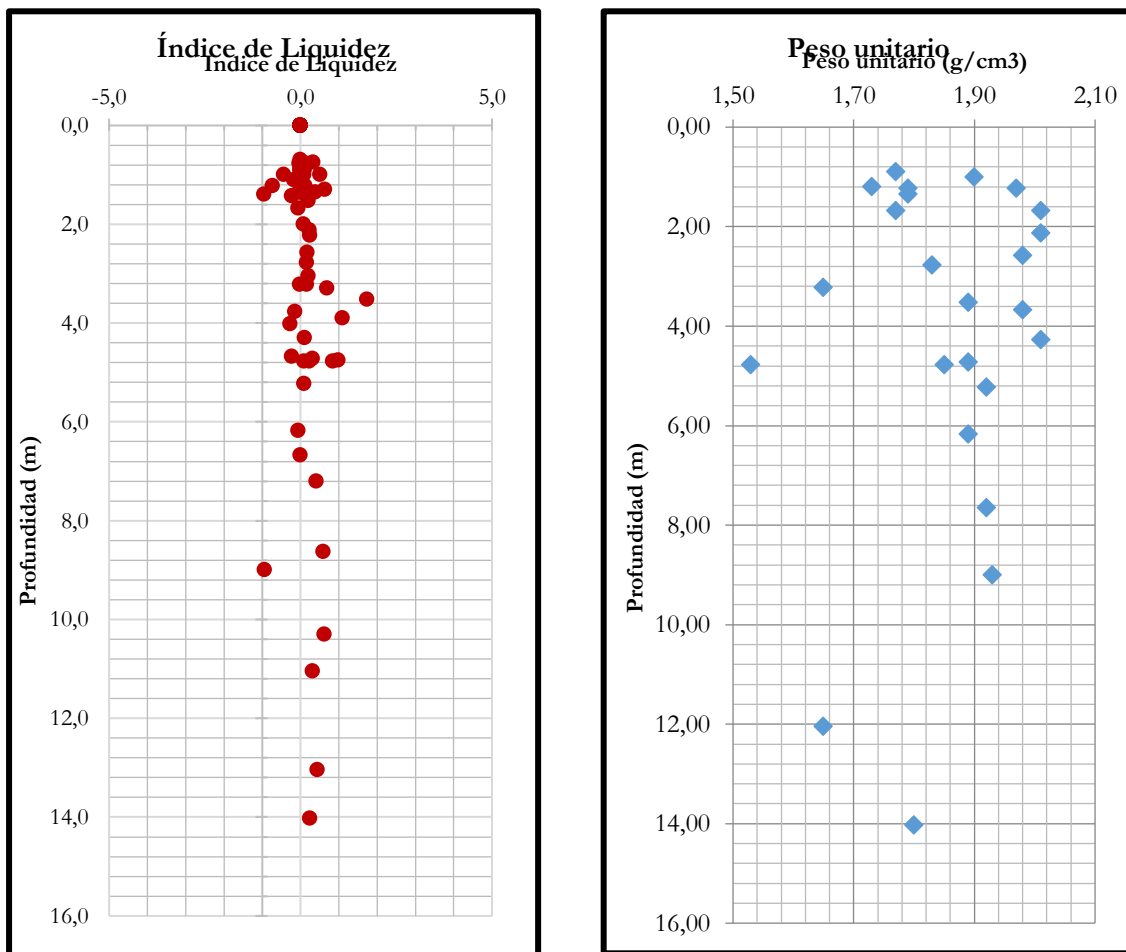




Fuente: Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

En relación con el índice de liquidez y peso unitario **Gráfico 6** se evidencia en el primero la presencia de niveles con estratos de consistencia muy blanda hacia los 4 m de profundidad en la unidad suelo transportado lacustre. En cuanto a los pesos unitarios se aprecia que los suelos transportados de origen antrópico y aluvial son los que menor peso unitario presentan, en contraste con los suelos residuales los cuales presentan los valores más elevados en los primeros 4m del perfil.

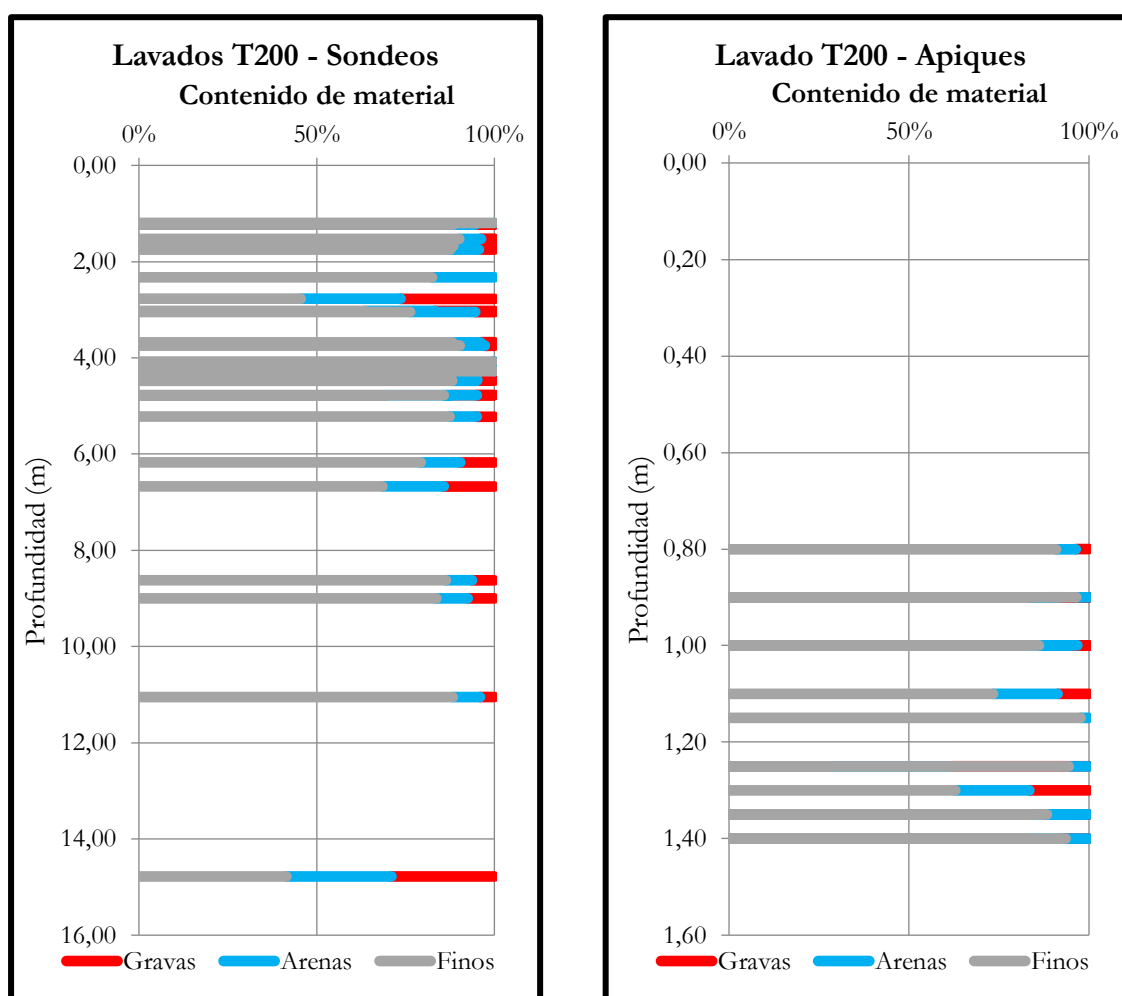
Gráfico 6. variación de humedad vs profundidad en los sondeos manuales



Fuente: Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

En lo referente a la distribución granulométrica de los materiales (**Gráfico 7**) estos muestran un predominio de la fracción fina alcanzando más del 80% en la mayoría de las muestras, en particular para los suelos residuales derivados de los materiales rocosos. Aquellos que muestran un mayor contenido de arenas y gravas están asociados con suelos de origen antrópico y aluviales.

Gráfico 7. Distribución del tamaño de partícula para las muestras recuperadas de sondeos y apiques.



Fuente: Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

De los registros de perforación y de los resultados de los ensayos de laboratorio se deduce que el terreno presente está conformado por suelos provenientes de las diferentes formaciones presentes en el municipio en las zonas de montaña y piedemonte, en especial de la formación Arenisca dura y la Formación Conejo, mientras que, en las áreas planas, se presentan depósitos de origen aluvial lacustre, coluvial o de tipo abanico. En general estos materiales se encuentran identificados como Arcillas o Limos de alta compresibilidad, en estado sobreconsolidado, de acuerdo con los resultados de consolidación unidimensional y corte directo, en estado de parcial saturación. Por otro lado, y en menor medida se observan materiales areno-arcillosos. Ambas categorizaciones teniendo en cuenta que no se detectó niveles piezométricos asociados a saturación, se puede trabajar en términos de esfuerzos efectivos asociados a parámetros drenados.

Las muestras cohesivas (arcillas arenosas, arenas arcillosas y en menor medida limos) de baja y alta compresibilidad (

Gráfico 8 y Gráfico 9), están constituidos por partículas que pasan el tamiz de 0.074 milímetros, en porcentajes que varían de 26,66% a 99,96%. Sus propiedades plásticas se establecieron en laboratorio mediante la ejecución de ensayos de límites de Atterberg, encontrándose valores de límite líquido entre 29% y 98%, y de índice de plasticidad entre 15% y 62%. Con base en lo anterior, las muestras clasifican bajo el sistema unificado USC (

Gráfico 8 y Gráfico 9)

Gráfico 8. Carta de plasticidad de los apiques.

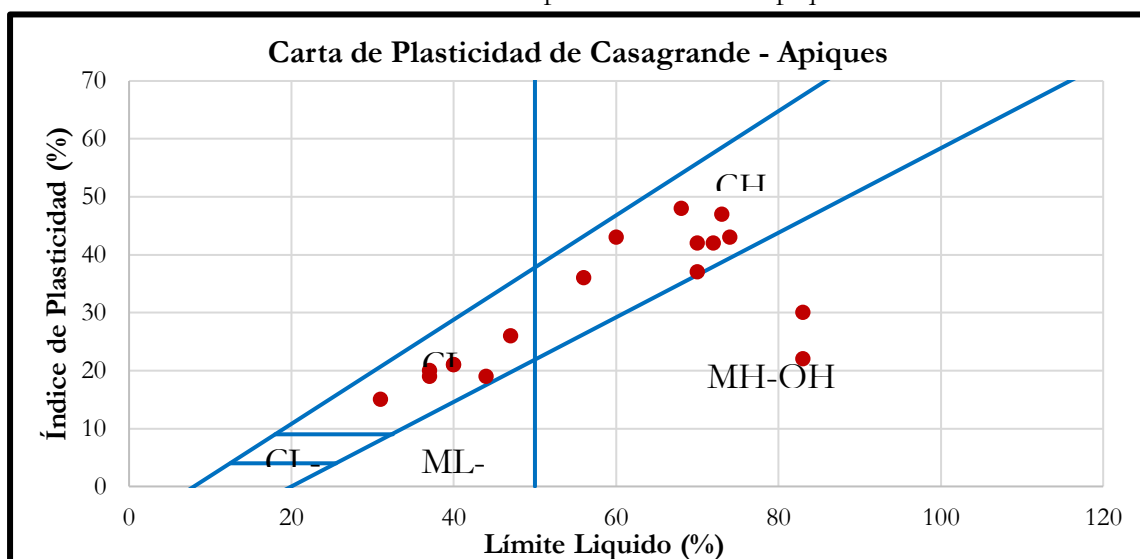
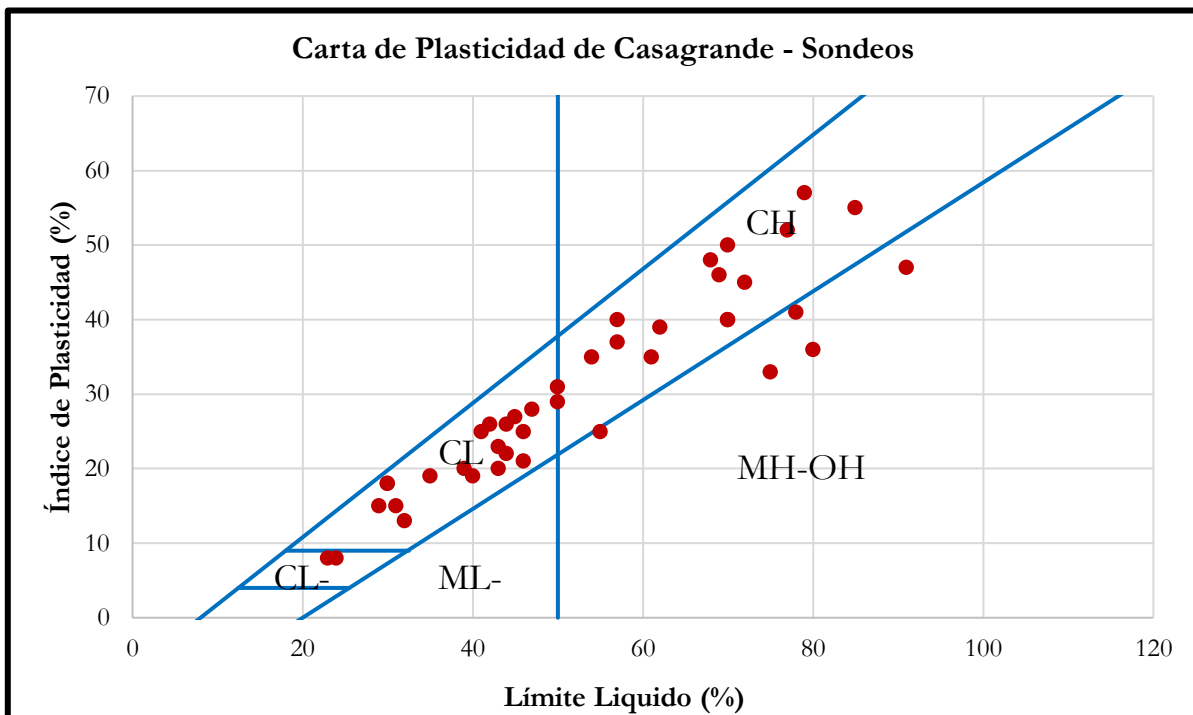


Gráfico 9. Carta de plasticidad de los sondeos manuales.



Fuente: Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

Las arcillas y limos arcillosos detectadas en la unidad geológica de Suelo transportado aluvial poseen partículas con diámetro nominal inferior a 0.074 milímetros en porcentajes que varían de 62,90% y 96,49%. Su índice de plasticidad se determinó entre 19% y 57%, y los valores de límite líquido entre 44% y 79%%, por lo que se han clasificado las muestras como CH y CL.

Se trata de suelos de permeabilidad alta a relativamente baja, con mediana estabilidad volumétrica y susceptibilidad baja a variar de volumen, cuando cambia el contenido de humedad. Su estado de compacidad relativa evaluada con base en los resultados de los ensayos de penetración normal varía de media a muy densa.

 ALCALDÍA MUNICIPAL DE CAJICÁ	ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA			 ARCO C & C
	SUELOS URBANO, EXPANSIÓN URBANA. Y CENTROS POBLADOS	ESTUDIO BÁSICO DE AMENAZAS POR MOVIMIENTO EN MASA	CAJICÁ	

Tabla 9. Clasificación del material del suelo según SUCS

Sondeo	Código	Unidad	Muestra	Profundidad	LL (%)	LP (%)	IP (%)	Símbolo del grupo	Denominación
2	Stan	Suelo transportado antrópico	2	0.55-1.00	69	23	46	CH	Arcilla de alta compresibilidad
			4	1.45-3.00	91	44	47	MH	Limo de alta compresibilidad
			8	4.55-5.00	85	30	55	CH	Arcilla de alta compresibilidad
3	Stal	Suelo transportado aluvial	2	0.60-1.20	79	22	57	CH	Arcilla de alta compresibilidad
			3	1.20-1.65	76	25	51	CH	Arcilla de alta compresibilidad
			5	3.00-3.60	43	20	23	CL	Arcilla de baja compresibilidad
4	Stfs	Suelo transportado lacustre - Formación Sabana	10	8.00 - 8.45	75	42	33	MH	Limo de alta compresibilidad
			12	10.00 - 10.60	70	30	40	CH	Arcilla de alta compresibilidad
			13	10.60 - 11.05	80	44	36	MH	Limo de alta compresibilidad
			15	12.60 - 13.05	77	25	52	CH	Arcilla de alta compresibilidad
10	Rdfad	Roca dura de la Formación Arenisca Dura	3	1.00 - 1.45	98	36	62	CH	Arcilla de alta compresibilidad
11	Rbfc	Roca blanda de la Formación Conejo	2	0.70 - 1.30	42	16	26	CL	Arcilla de baja compresibilidad
			3	1.30 - 1.75	54	19	35	CH	Arcilla de alta compresibilidad
			5	2.75 - 3.35	50	21	29	CH	Arcilla de alta compresibilidad
12	Stft	Suelo transportado fluvio-torrencial	3	1.00 - 1.45					Arena Arcillosa
			5	2.55 - 3.00					Arena Arcillosa
			6	3.55 - 4.00	29	14	15	CL	Arcilla de baja compresibilidad
A1	Stfs	Suelo transportado lacustre - Formación Sabana	2	0.60-1.20	74	31	43	CH	Arcilla de alta compresibilidad
			3	1.20-1.50	72	30	42	CH	Arcilla de alta compresibilidad
A2	Stan		2	0.50-1.10	60	17	43	CH	Arcilla de alta compresibilidad

Sondeo	Código	Unidad	Muestra	Profundidad	LL (%)	LP (%)	IP (%)	Símbolo del grupo	Denominación
		Suelo transportado antrópico	3	1.10-1.50	56	20	36	CH	Arcilla de alta compresibilidad
A3	Stft	Suelo transportado fluvio-torrencial	2	0.60-0.80	40	19	21	CL	Arcilla de baja compresibilidad
A4	Rift	Roca intermedia de la Formación Labor Tierna	2	0.50-1.30	31	16	15	CL	Arcilla de baja compresibilidad
A5	Rbfg	Roca blanda de la Formación Guaduas	3	1.20-1.50	68	20	48	CH	Arcilla de alta compresibilidad
A6	Srfe	Suelo residual de la Formación Conejo	2	0.60-1.20	83	53	30	MH	Limo de alta compresibilidad
			3	1.20-1.50	70	28	42	CH	Arcilla de alta compresibilidad
A7	Rdfad	Roca dura de la Formación Arenisca Dura	2	0.50-1.50	70	33	37	CH	Arcilla de alta compresibilidad
A9	Stco	Suelo transportado coluvial	2	0.60-1.20	47	21	26	CL	Arcilla de baja compresibilidad
A10	Stfs	Suelo transportado lacustre - Formación Sabana	2	0.50-1.50	83	61	22	MH	Limo de alta compresibilidad
A11	Stal	Suelo transportado aluvial	3	1.10-1.50	44	25	19	CL	Arcilla de baja compresibilidad
A12	Stan	Suelo transportado antrópico	3	1.20-1.50	73	26	47	CH	Arcilla de alta compresibilidad
A13	Stco	Suelo transportado coluvial	2	0.70-1.50	40	19	21	CL	Arcilla de baja compresibilidad

Fuente: Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

2.2.4.2. Parámetros de resistencia mecánica de las unidades de geología para ingeniería (UGI)

Desde el punto de vista conservador, los análisis presentes en este informe se realizan sobre la matriz de suelo (componente más débil del depósito o suelo residual según corresponda) el análisis se realizó sobre esfuerzos efectivos (condición de carga drenada), ya que no se detectó nivel freático in situ para las posibles superficies de falla, para el cual, las muestras cohesivas (arcillas arenosas, arenas arcillosas y en menor medida limos) de baja y alta compresibilidad

La consistencia de estos materiales se determinó como variable entre media y dura (**Tabla 10**), según correlación con los ensayos de penetración normal realizados en campo. Estos suelos son de baja permeabilidad, altamente sobre consolidados, con estabilidad volumétrica también baja. Por lo anterior es de esperar alguna variación de volumen, motivada por cambios en el contenido de humedad. No obstante, teniendo en cuenta los resultados de límites de consistencia, este potencial se considera como bajo, por lo que si se provee en general de adecuadas condiciones de drenaje superficial no se presentarán problemas asociados a cambios volumétricos durante la ejecución de los proyectos de edificaciones.

Tabla 10. Consistencia depósitos cohesivos.

No. de golpes N	qu (kg/cm ²)	Consistencia
0 – 2	0.25	Muy blanda
2 – 4	0.25-0.50	Blanda
4 – 8	0.50-1.00	Media
8 – 15	1.00-2.00	firme
15 – 30	2.00-4.00	Muy firme
Mayor que 30	Mayor que 4.00	Dura

Fuente: Terzaghi y Peck (1976).

Para los depósitos y suelos residuales derivados de unidades de roca se realizaron análisis de parámetros de acuerdo con la metodología propuesta por González (1999) en la cual se determina el ángulo de fricción y cohesión de un material ajustado a una envolvente de falla Mohr-Coulomb (Tabla 11).

Tabla 11. Ángulo de fricción y cohesión mediante la Metodología den González (1999).

SONDEO	CODIGO	UNIDAD	SPT N ₄₅	
			Ángulo de fricción Φ (°)	C (kPa)
S4	Stfs	Suelo transportado lacustre - Formación Sabana	33,39	0
S5	Rbfg	Roca blanda de la Formación Guaduas	24,87	9,07
S7	Stft	Suelo transportado fluvio-torrencial	32,06	0
S9	Stco	Suelo transportado coluvial	33,96	0
S10	Rdfad	Roca dura de la Formación Arenisca Dura	26,72	2,77
S11	Rbfc	Roca blanda de la Formación Conejo	35,31	0
S12	Stft	Suelo transportado fluvio-torrencial	30,53	0,84

Fuente: Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

2.2.5. RESULTADOS

2.2.5.1. Parámetros estadísticos

Con el fin de determinar los parámetros estadísticos para cada una de las unidades geológicas superficiales y con ello, estimar los puntos de muestreo por encima y por debajo de los promedios dentro de la función de densidad de probabilidad, se establecen los momentos estadísticos de la función de desempeño (factor de seguridad para un mecanismo de falla traslacional en materiales cohesivos).

Cabe señalar que, para efectos de estimación de la amenaza en el área urbana, de expansión urbana y centros poblados solo se han considerado las unidades contenidas en el área de estudio, así mismo para las unidades de roca, el comportamiento definido para la modelación corresponde a la unidad de suelo residual respectiva por lo que se ejecuta un solo modelo de zonificación.

Tabla 12. Caracterización Geotécnica detallada por unidad geológica superficial de análisis.

CÓDIGO	UNIDAD	Peso unitario total y total (g/cm ³)		% de finos que pasa el tamiz 200 75 µm [%]		C (kg/cm ²)		Ángulo de fricción Φ (°)		Limite Líquido (%)		Limite Plástico (%)		Índice de Plasticidad (%)	
		Pro medio	s	Pro medio	s	Pro medio	s	Promedio	s	Pro medio	s	Pro medio	s	Promedio	s
Rbfc	Roca blanda de la Formación Conejo	1.980		85%		0.260		33.335		48.67	4.99	18.67	2.05	30.00	3.74
Rbfg	Roca blanda de la Formación Guaduas	1.899	0.166	80%	0.121	0.225	0.049	23.967	8.979	68.000		20.00		48.00	
Rbfd	Roca blanda de la Formación Arenisca Dura	1.671	0.093	87%	0.009	0.120	0.099	24.720	3.851	84.000	14.000	34.50	1.50	49.50	12.50
Rdfa	Roca dura de la Formación Arenisca Dura	1.671	0.093	87%	0.009	0.120	0.099	24.720	3.851	84.000	14.000	34.50	1.50	49.50	12.50
Rbflt	Roca blanda de la Formación Labor Tierna	1.837		83%		0.110		23.690		31.000		16.00		15.00	
Riflt	Roca intermedia de la Formación Labor Tierna	1.837		83%		0.110		23.690		31.000		16.00		15.00	
Rifp	Roca intermedia de la Formación Plaeners	1.776		28%		0.010		20.810							

CÓDIGO	UNIDAD	Peso unitario total y total (g/cm3)		% de finos que pasa el tamiz 200 75 µm [%]		C (kg/cm2)		Ángulo de fricción Φ (°)		Limite Líquido (%)		Limite Plástico (%)		Índice de Plasticidad (%)	
		Pro medio	s	Pro medio	s	Pro medio	s	Prome dio	s	Pro medio	s	Pro medio	s	Prome dio	s
Srfad	Suelo residual de la Formación Arenisca Dura	1.671	0.093	87%	0.009	0.120	0.099	24.720	3.851	84.000	14.000				
Srfe	Suelo residual de la Formación Conejo	1.739		83%		0.230		18.070		76.500	6.500				
Srflt	Suelo residual de la Formación Labor Tierna	1.837		83%		0.110		23.690		31.000					
Srfp	Suelo residual de la Formación Plaeners	1.776		28%		0.010		20.810							
Stal-Stfch	Suelo transportado aluvial-Suelo - Formación Chia	1.840	0.071	91%	0.003	0.110	0.141	23.085	3.882	62.800	13.288				
Stal-JRB	Suelo transportado aluvial	1.820	0.028	49%	0.190	0.045	0.007	21.020	4.837	58.500	14.500				
Stco	Suelo transportado coluvial	1.771	0.126	77%	0.093	0.063	0.092	26.705	8.787	43.500	3.500				
Stfs	Suelo transportado lacustre - Formación Sabana	1.679	0.127	86%	0.095	0.143	0.066	27.222	6.521	77.600	6.726				
Stft-Stab	Suelo transportado fluvio-torrencial-Suelo transportado de Abánico	1.973	0.246	72%	0.323	0.165	0.021	27.565	4.869	34.500	5.500				

2.2.5.2. Descripción y categorización de la amenaza

Para la categorización de las zonas de amenaza se siguió el criterio de clasificación que se presenta a continuación.

 ALCALDÍA MUNICIPAL DE CAJICÁ	ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA		 ARCO C & C
	SUELOS URBANO, EXPANSIÓN URBANA. Y CENTROS POBLADOS	ESTUDIO BÁSICO DE AMENAZAS POR MOVIMIENTO EN MASA	
		CAJICÁ	

Tabla 13. Criterio para la clasificación de la amenaza en función de la probabilidad anual de falla, para el suelo urbano, suelo de expansión urbana y centros poblados.

NIVEL DE AMENAZA	PROBABILIDAD ANUAL DE FALLA
Baja	<0,04
Media	0,04 - 0,07
Alta	>0,7

Fuente: Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

Amenaza alta: en esta categoría de amenaza se presenta la combinación de escenarios y propiedades que son adecuados para la ocurrencia de una falla traslacional a lo largo del contacto suelo-roca o suelo-suelo. Los materiales superficiales asociados a esta categoría, para el suelo urbano, de expansión urbana y centros poblados son suelos transportados antrópicos, lacustres y aluviales cubiertos por pastos enmalezados, pastos limpios y un tejido urbano discontinuo con espacios abiertos, en pendiente que oscilan entre los 16° y los 35° grados de inclinación, en particular hacia los entalles de los cauces, vallados, canales, taludes viales y cortes en materiales de relleno. Así mismo se encuentran en esta categoría de amenaza las zonas de relieve montañoso al occidente de la zona urbana, en la cual se desarrollan suelos residuales derivados de rocas blandas de arcillolitas, lodolitas y capas de arenisca de la Formación Guaduas y Labor y Tierna, cubiertos por depósitos coluviales y evidencia de antiguos deslizamientos. Los movimientos en masa en esta categoría pueden presentarse en un periodo de retorno menor a 14 años, concurrente con el tiempo de vida de una persona o estructura (20–100 años). La ocupación o desarrollo de infraestructura sobre estas áreas deberá ser antecedida por estudios de detalle que permitan evaluar de manera particular las condiciones del terreno frente a las solicitudes impuestas o esperadas.

Amenaza media: en esta categoría de amenaza existe una probabilidad importante de que coincidan las fluctuaciones del nivel freático con aceleraciones sísmicas, y que, a su vez, éstas concurren con parámetros mecánicos relativamente bajos y profundidades del suelo considerables (2 -3 m). Como consecuencia de ello, esto podría condicionar la ocurrencia de un mecanismo de falla traslacional a lo largo del contacto suelo-roca o suelo-suelo. En el suelo urbano, de expansión urbana y centros poblados, esta categoría de amenaza se encuentra en materiales superficiales constituidos por suelos transportados antrópicos y en menor medida, en suelos transportados

 ALCALDÍA MUNICIPAL DE CAJICÁ	ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA		 ARCO C & C
	SUELOS URBANO, EXPANSIÓN URBANA. Y CENTROS POBLADOS	ESTUDIO BÁSICO DE AMENAZAS POR MOVIMIENTO EN MASA	
		CAJICÁ	

lacustres y aluviales. Estos materiales están en pendientes empinadas entre los 4 y 8°, y están cubiertos por pastos limpios, bosques de galería y ripario y tejido urbano continuo, asociados canales, vallados, taludes viales y cortes en materiales de relleno. En esta misma categoría de amenaza se identifican sectores de la zona montañosa al occidente de la zona urbana con presencia de rocas blandas de arcillolitas y lodolitas cubiertos por suelos residuales de poco espesor y depósitos coluviales. Los deslizamientos en esta categoría de amenaza pueden presentarse en un periodo de retorno de entre 14 y 25 años. Es recomendable adelantar estudios de detalle en aquellas áreas que sean objeto de ocupación o intervención, con el fin de descartar cualquier eventual inestabilidad del terreno durante el tiempo de exposición del proyecto.

Amenaza baja: en esta categoría de amenaza la inestabilidad de las laderas puede darse bajo condiciones excepcionales, donde la probabilidad de que se combinen condiciones adversas entre los factores condicionales y detonantes es muy baja. Las condiciones de estabilidad se ven favorecidas por las bajas pendientes topográficas y los bajos niveles freáticos, a pesar de que los parámetros mecánicos de las unidades superficiales no son las mejores. La ocurrencia de un mecanismo de falla traslacional puede darse con un periodo de retorno mayor a 25 años.

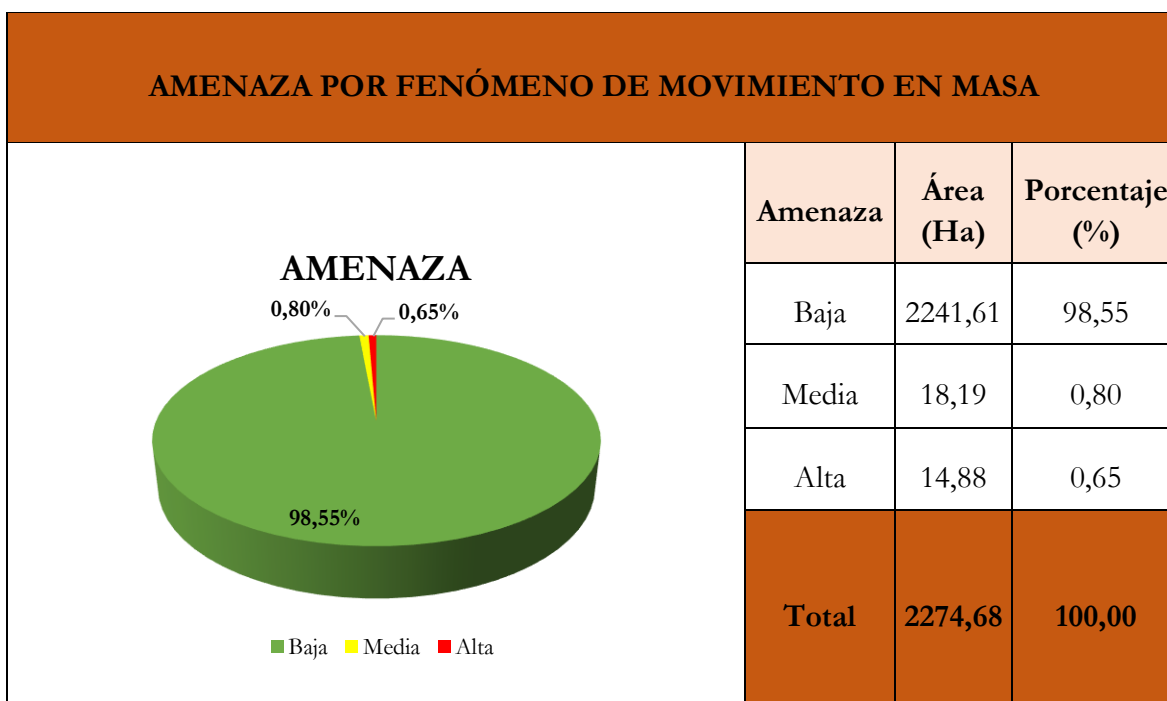
En la **Ilustración 17**, **Ilustración 18** e **Ilustración 19**, se presentan los resultados de la clasificación de las probabilidades de ocurrencia anual para las zonas de estudio donde conforme a los resultados obtenidos, prácticamente la totalidad del suelo urbano, suelos de expansión y centros poblados de Cajicá, se encuentra asentada en la categoría de amenaza baja; mientras que la amenaza media y alta, se concentran en la periferia (entalles de la quebrada La Cruz y río Bogotá); por lo cual, es probable que se deslicen materiales superficiales por la alta pendiente de las laderas y/o taludes.

En la **Ilustración 17** se presenta el resultado de la zonificación para toda el área de estudio definida y en el **Gráfico 10** se presenta la distribución porcentual de cada categoría de amenaza en el área de trabajo.



Fuente: Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

Gráfico 10. Estadística de áreas y porcentajes de ocupación para la amenaza por movimientos en masa en el área de estudio cubierta



Fuente: Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

En la **Ilustración 18** se presenta el resultado de la zonificación para el suelo urbano Central, La Capellanía y los suelos de expansión urbana (Los Angulo, Granjitas Sur y El Pomar) y en el **Gráfico 11** al **Gráfico 15** se presenta la distribución porcentual de cada categoría de amenaza en cada una de las áreas.

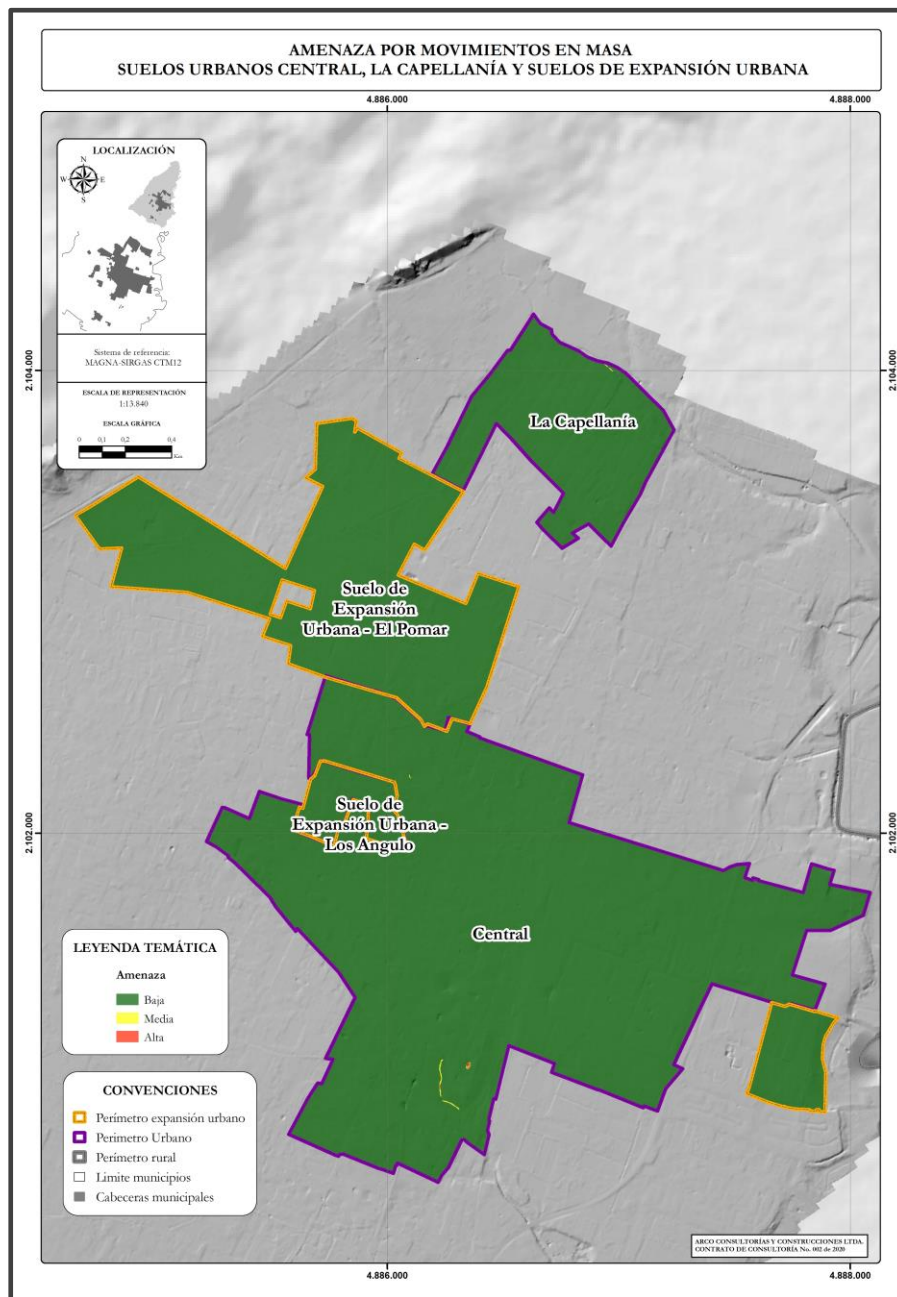
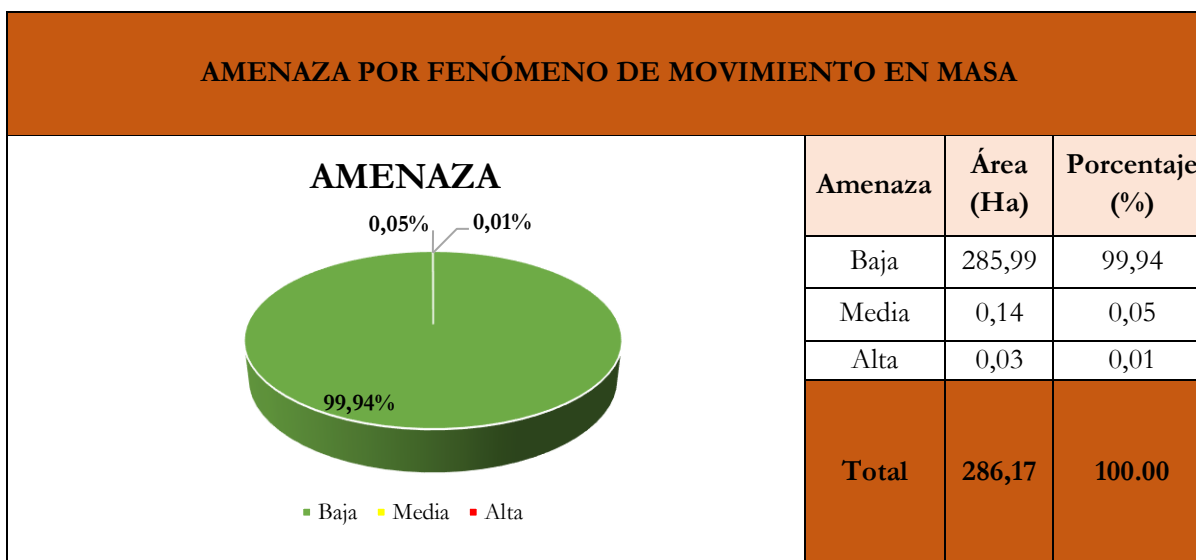


Ilustración 18. Amenaza por movimientos en masa en el suelo urbano Central, La Capellanía y Suelos de expansión urbana.

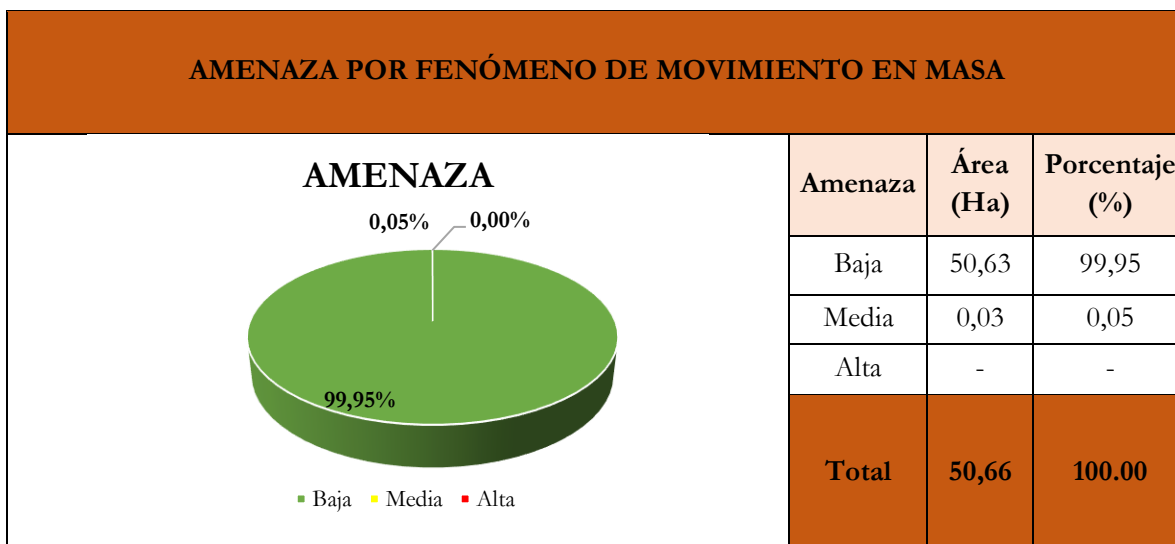
Fuente: Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

Gráfico 11. Estadísticas de áreas y porcentajes de ocupación, amenaza por movimientos en masa suelo urbano Central.



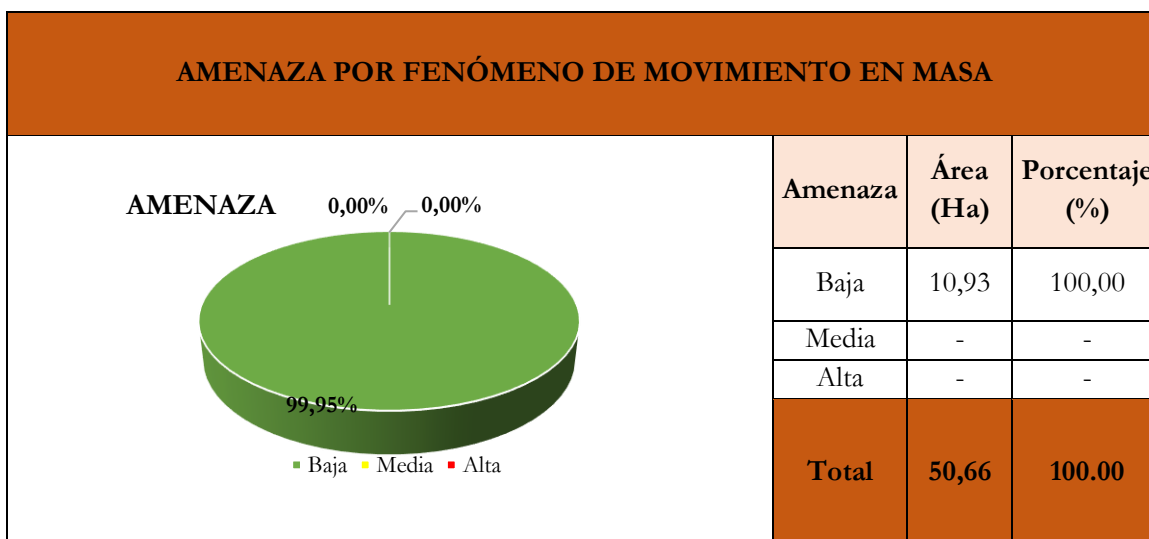
Fuente: Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

Gráfico 12. Estadísticas de áreas y porcentajes de ocupación, amenaza por movimientos en masa suelo urbano La Capellanía.



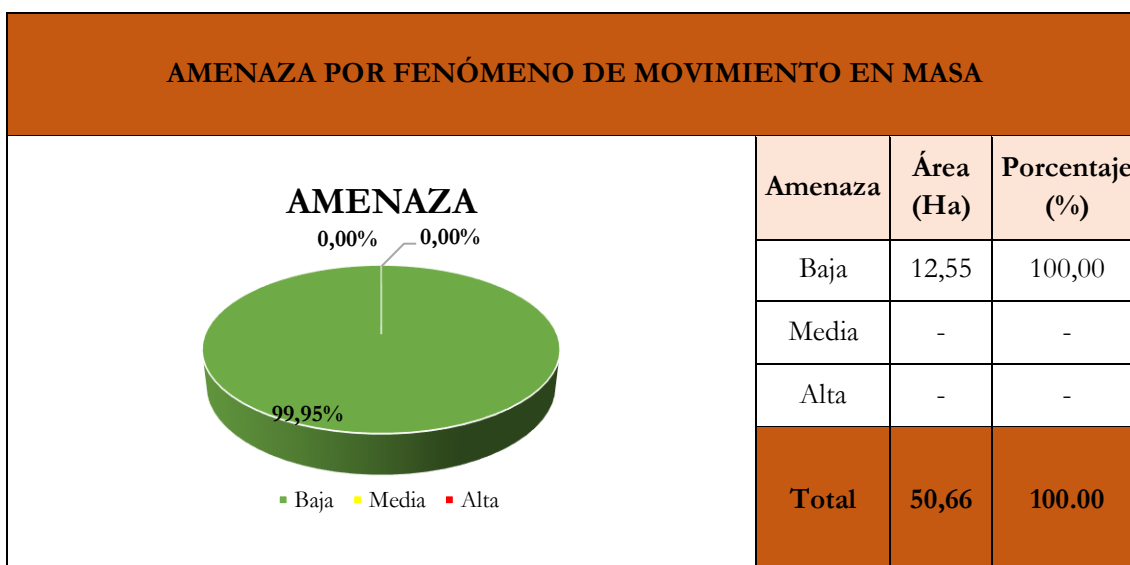
Fuente: Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

Gráfico 13. Estadísticas de áreas y porcentajes de ocupación, amenaza por movimientos en masa suelo de expansión urbana Los Angulo.



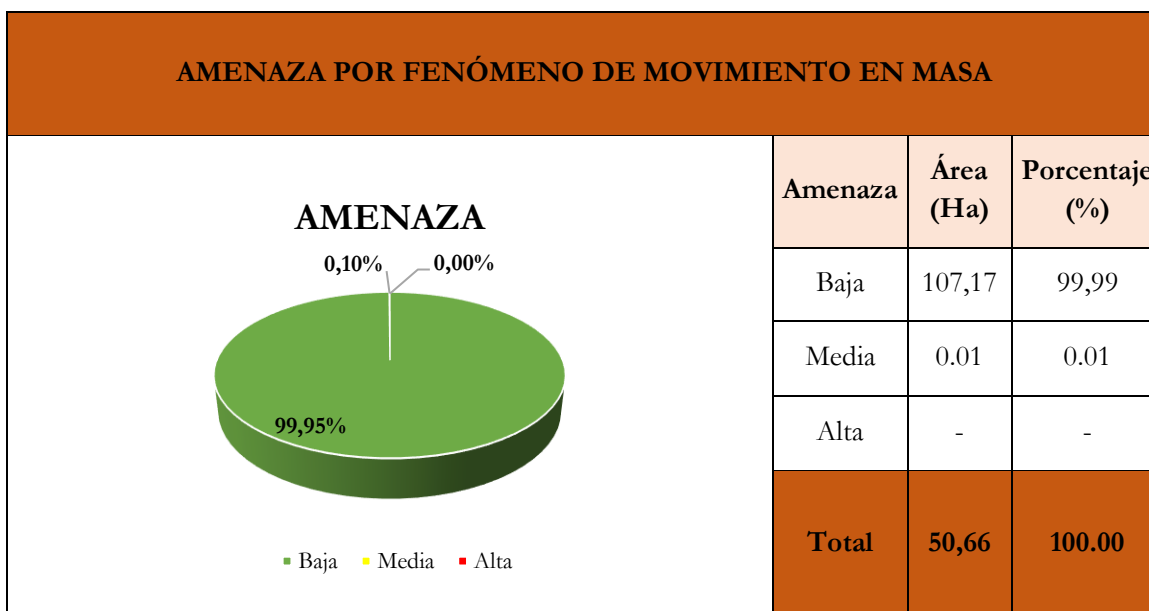
Fuente: Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

Gráfico 14. Estadísticas de áreas y porcentajes de ocupación, amenaza por movimientos en masa suelo de expansión urbana Granjitas Sur.



Fuente: Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

Gráfico 15. Estadísticas de áreas y porcentajes de ocupación, amenaza por movimientos en masa suelo de expansión urbana El Pomar.



Fuente: Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

En la **Ilustración 19** se presenta el resultado de la zonificación para los centros poblados (Aguanica, Barro Blanco, Calahorra, Camino Los Vargas, Canelón, El Misterio, La Esperanza, La Florida, La Palma, Los León, Los Pasos, Los Sereneos, Pablo Herrera, Prado, Rincón Santo, Santa Inés), en el **Gráfico 16** se presenta la distribución porcentual de cada categoría de amenaza en el área ocupada por los centros poblados.

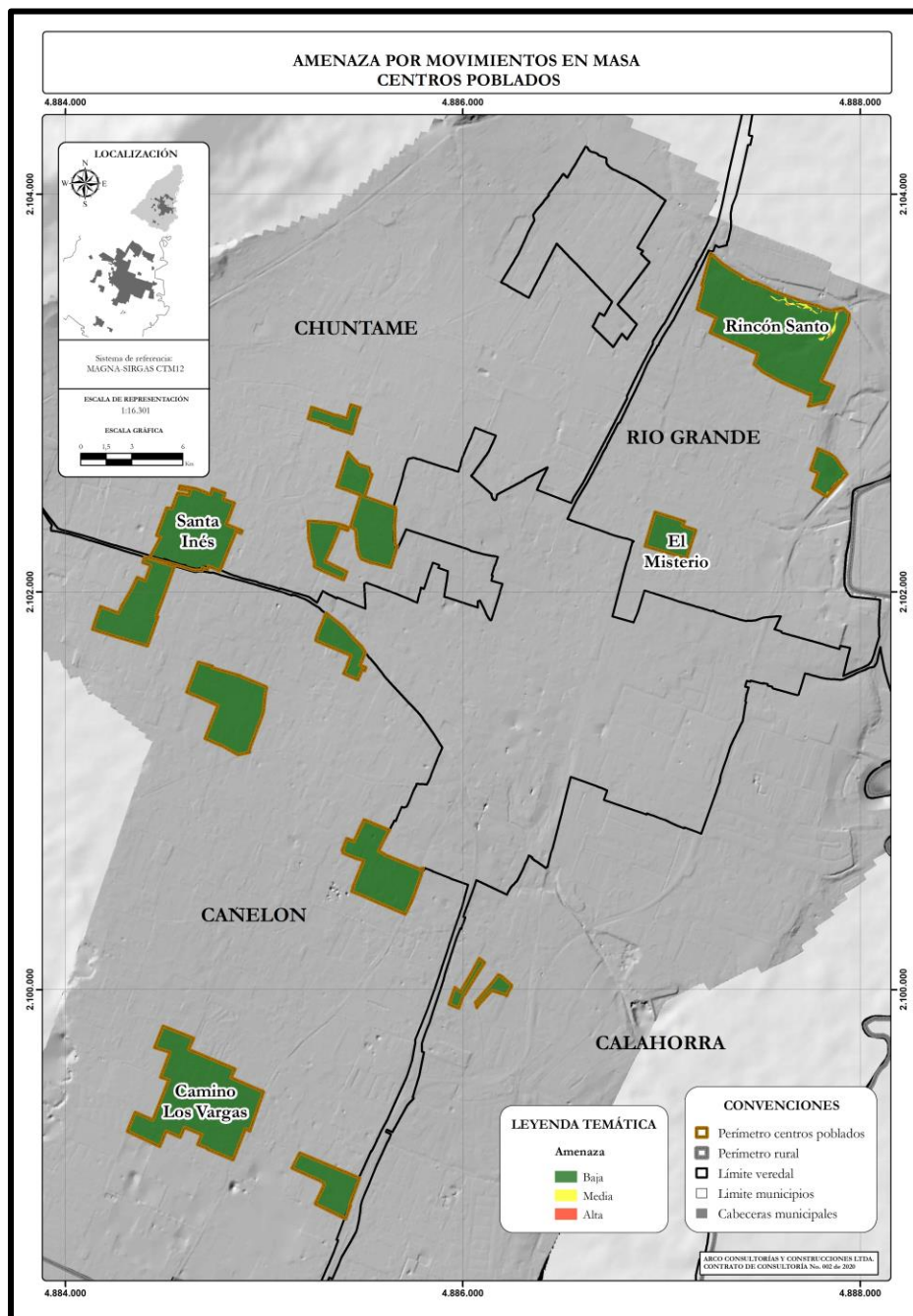
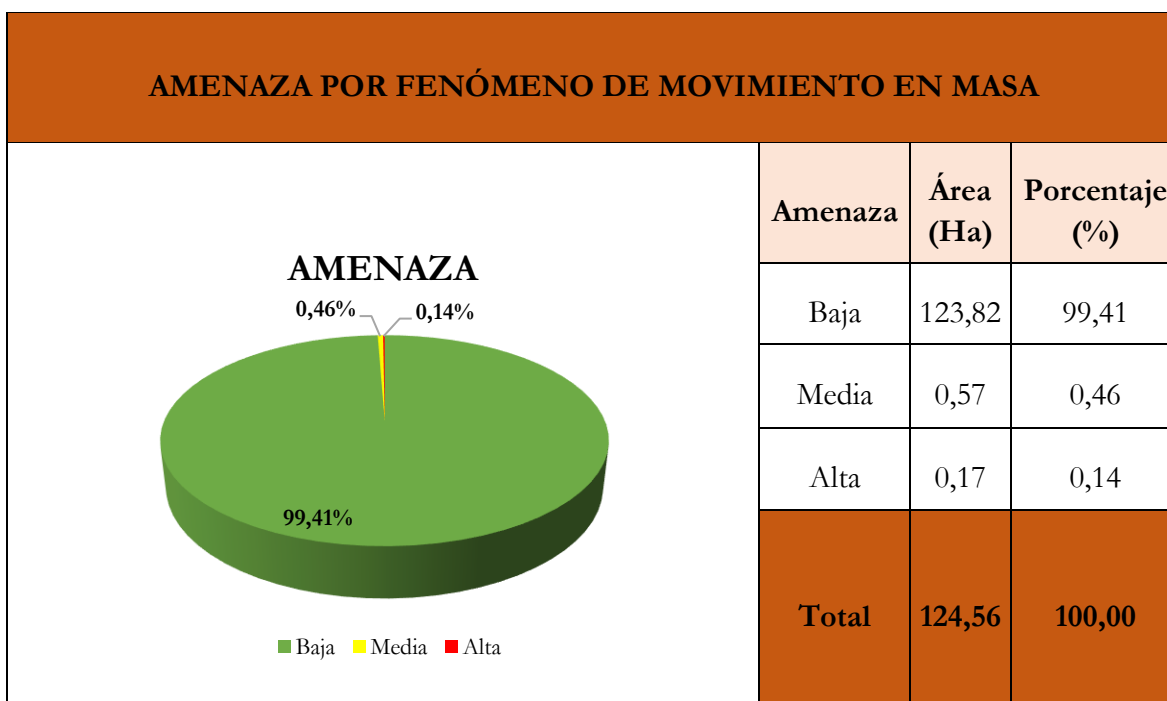


Ilustración 19. Amenaza por movimientos en masa los centros poblados.

Fuente: Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

Gráfico 16. Estadística de áreas y porcentajes de ocupación para la amenaza por movimientos en masa en los centros poblados.



Fuente: Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

Nombre	Amenaza	Área (Ha)	Porcentaje (%)
Aguanica	Baja	3,73	100,00%
Total		3,73	3,00%
Barro Blanco	Baja	0,92	100,00%
Total		0,92	0,74%
Calahorra	Baja	0,96	100,00%
Total		0,96	0,77%
Camino Los Vargas	Baja	22,03	100,00%
Total		22,03	17,71%
Canelón	Baja	9,51	100,00%
Total		9,51	7,65%
El Misterio	Baja	3,73	100,00%

 ALCALDÍA MUNICIPAL DE CAJICÁ	ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA			 ARCO C & C
	SUELOS URBANO, EXPANSIÓN URBANA. Y CENTROS POBLADOS	ESTUDIO BÁSICO DE AMENAZAS POR MOVIMIENTO EN MASA	CAJICÁ	

Nombre	Amenaza	Área (Ha)	Porcentaje (%)
Total		3,73	3,00%
La Esperanza	Baja	2,41	94,67%
	Media	0,06	2,18%
	Alta	0,08	3,15%
Total		2,55	2,05%
La Florida	Baja	10,82	100,00%
Total		10,82	8,70%
La Palma	Baja	8,17	100,00%
Total		8,17	6,57%
Los León	Baja	1,80	100,00%
Total		1,80	1,45%
Los Pasos	Baja	4,90	100,00%
Total		4,90	3,94%
Los Sereneos	Baja	8,35	100,00%
Total		8,35	6,71%
Pablo Herrera	Baja	3,12	100,00%
Total		3,12	2,51%
Prado	Baja	3,38	100,00%
Total		3,38	2,72%
Rincón Santo	Baja	26,96	97,81%
	Media	0,51	1,86%
	Alta	0,09	0,33%
Total		27,56	22,15%
Santa Inés	Baja	12,87	100,00%
Total		12,87	10,34%
Total general		124,56	100,00%

Fuente: Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

 ALCALDÍA MUNICIPAL DE CAJICÁ	ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA			
	SUELOS URBANO, EXPANSIÓN URBANA. Y CENTROS POBLADOS	ESTUDIO BÁSICO DE AMENAZAS POR MOVIMIENTO EN MASA	CAJICÁ	

2.2.6. VALIDACIÓN

Con el fin de validar la congruencia de los resultados obtenidos en la zonificación, se construyó un inventario geomorfológico de procesos morfodinámicos donde se identificaron indicios de inestabilidad en las laderas que conforman el área de estudio. Dentro de los rasgos más importantes de inestabilidad se delimitaron zonas con deslizamientos, socavación lateral y depósitos coluviales.

Con respecto a la fase de campo, se observó que la zona de estudio está conformada principalmente por una extensa planicie asociada a depósitos lacustres. Los únicos sectores montañosos se presentan paralelos a la vía Molino Manas (vereda Chutame) en donde se han identificado depósitos coluviales en algunos sectores y una zona de inestabilidad al nororiente de la calle 3 Capellanía (**Ilustración 20**), el cual presenta indicios de actividad desde antes de 1962 (**Ilustración 21**) Las características topográficas del terreno, una cobertura vegetal de porte bajo, en conjunto con las propiedades mecánicas del macizo junto con las familias de discontinuidades han, propiciado un entorno favorable para la generación de este proceso movimientos en masa, el cual parece haber llegado a un proceso de inactividad pero que eventualmente puede llegar a movilizarse desde la corona.



Ilustración 20. Proceso de inestabilidad vía Molino – Manas, Coordenadas X=1005643,5 Y=1038491,1

Fuente: Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

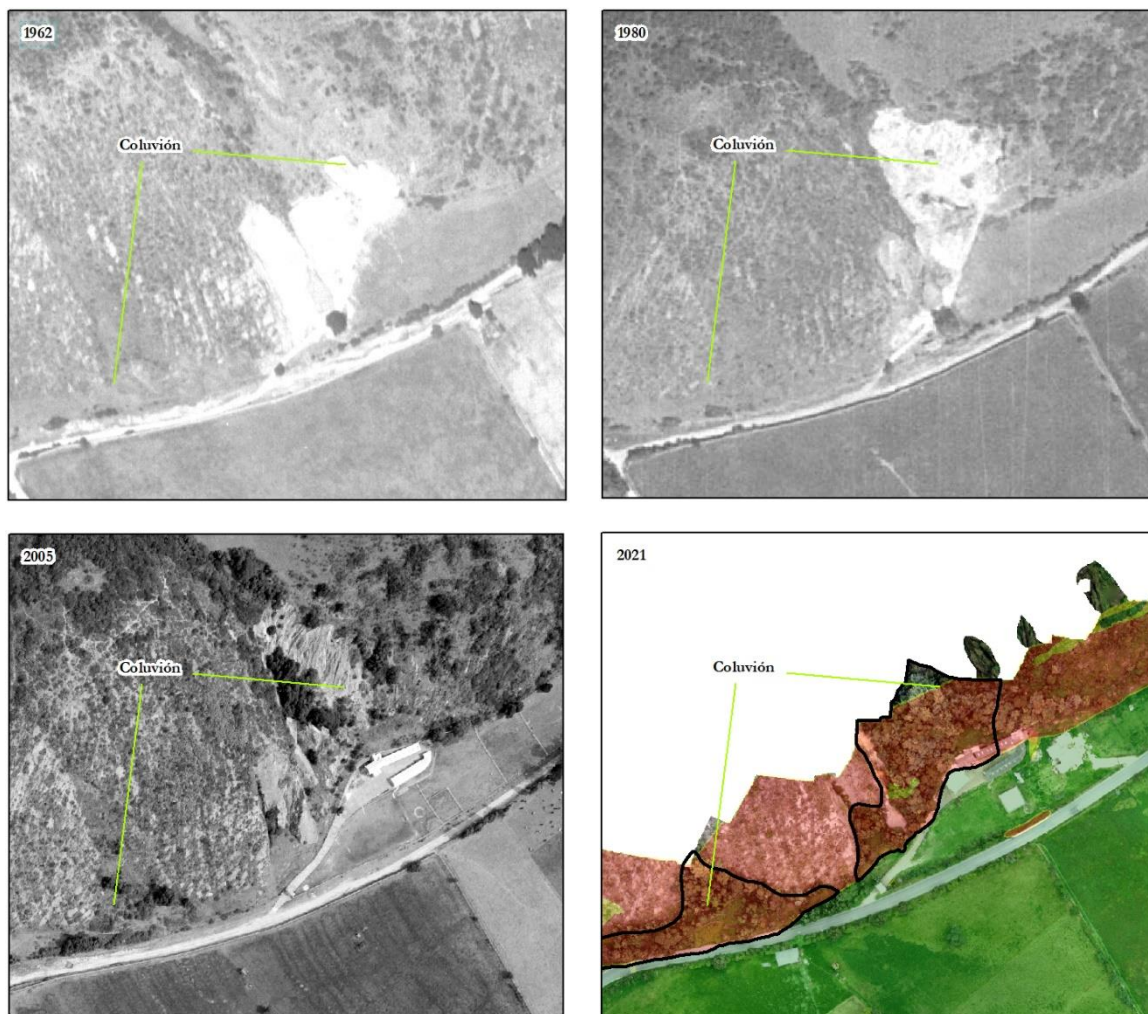


Ilustración 21. Evolución del proceso de inestabilidad vía Molinos Mana (1962, 1980, 2005 y 2021).
Resultado de la zonificación de amenaza sobre el sitio.

Fuente: Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

Algunos de los procesos de inestabilidad del terreno se encuentran asociados a los materiales de relleno y los cortes de los taludes viales, donde por ejemplo sobre la variante entre el camino de la Puerta del Sol y Camino del Río, se presentan un proceso de erosión hídrica superficial con evidencia de inestabilidad sobre el corte procesos erosivos y hay evidencia de que el sector ha sido afectado por la movilización del terreno, inclusive se ha conformado trinchos en guadua

como estructura de contención los cuales han mostrado deformación (**Ilustración 22**). Este sector como se aprecia en la zonificación se ha categorizado como amenaza alta y media siendo plenamente congruente con la realidad del terreno.



Ilustración 22. Resultado de la zonificación y vista sobre el talud, Coordenadas: X=1007282,2
Y=1036549,1)

Fuente: Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

El comportamiento anterior no es exclusivo de los cortes viales, y también se evidencia en algunos sectores de los diques que limitan el río Bogotá y sus afluentes como se aprecia en la **Ilustración 23** en la cual se identifica plenamente la corona del deslizamiento sobre el material de relleno.

Dicha área se encuentra categorizada como amenaza media, lo cual es concordante con la realidad del terreno y debe ser tenido en cuenta dentro de los procesos de monitoreo del municipio.

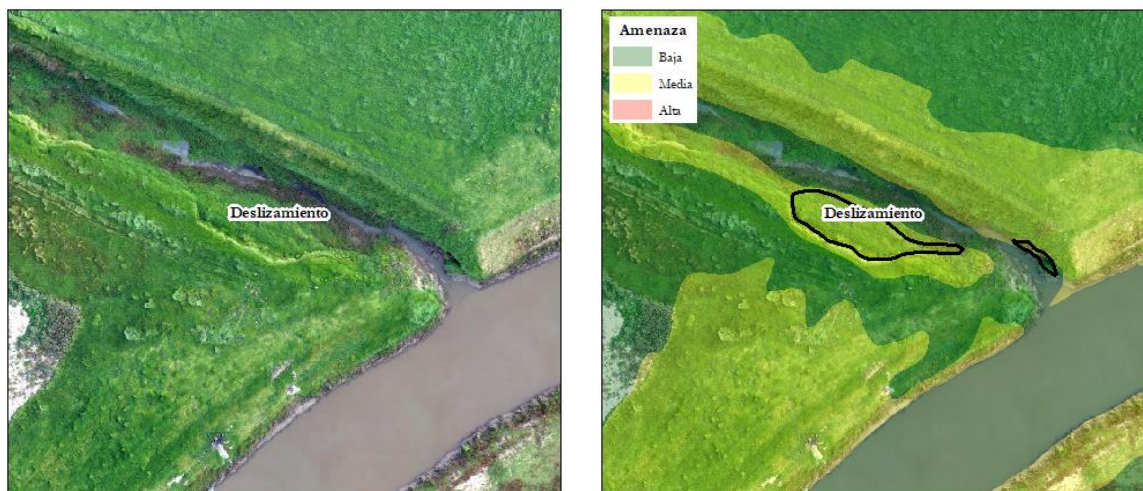


Ilustración 23. Deslizamiento sobre uno de los diques que colinda con el río Bogotá. Coordenadas: X=1007500 Y=1035213

Fuente: Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

Otro de los potenciales problemas de estabilidad sobre los diques del río Bogotá, se relacionan con procesos de socavación lateral sobre la base de los taludes (**Ilustración 24**), los cuales remueven dicho material de relleno quitando soporte a la estructura, la cual pierde estabilidad y puede eventualmente fallar bajo condiciones desfavorables de lluvia (infiltración, aumento de caudal) o un sismo. Los resultados de la zonificación guardan una buena concordancia con el comportamiento esperado del terreno y ponen de manifiesto que a pesar de que gran parte de la zona urbana de Cajicá se encuentra en un área plana, no está exenta a que las zonas de taludes y de mayor pendiente asociada a los diques y o entalles de los canales y vallados puedan fallar.

 ALCALDÍA MUNICIPAL DE CAJICÁ	ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA SUELOS URBANO, EXPANSIÓN URBANA. Y CENTROS POBLADOS ESTUDIO BÁSICO DE AMENAZAS POR MOVIMIENTO EN MASA CAJICÁ	 ARCO C & C
--	---	--



Ilustración 24. Proceso de socavación lateral sobre los taludes del dique sobre el río Bogotá.
Coordenadas: X=1007406,9 Y=1036079,8 MCB

Fuente: Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

Los problemas de estabilidad de los diques son los que mayor repercusión conllevan sobre el municipio y su zona urbana dado que pueden conducir al ingreso de las aguas y la anegación de los terrenos aledaños. Esto ha ocurrido anteriormente en la vereda Calahorra, donde hacia el primer semestre de 2006 se presentó colapso del jarillón como lo reportan el CMGRD y la inspección de la CAR para el reconocimiento de puntos críticos por el Río Bogotá (CAR, 2006), en la cual se logró identificar una altura de la lámina de agua de hasta 2 m (**Ilustración 25**).

 ALCALDÍA MUNICIPAL DE CAJICÁ	ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA			 ARCO C & C
	SUELOS URBANO, EXPANSIÓN URBANA. Y CENTROS POBLADOS	ESTUDIO BÁSICO DE AMENAZAS POR MOVIMIENTO EN MASA	CAJICÁ	



Ilustración 25. Afectación sobre el dique del río Bogotá, vereda Calahorra. Inspección CAR sitios críticos

Fuente: CAR (2006)

Si se comparan los resultados de la zonificación todo el corredor de diques del río Bogotá presente una categoría de amenaza alta (**Ilustración 26**), lo cual coincide con los eventos históricos en el sitio y requiere de la atención y monitoreo de dicha zona por parte de las autoridades municipales.

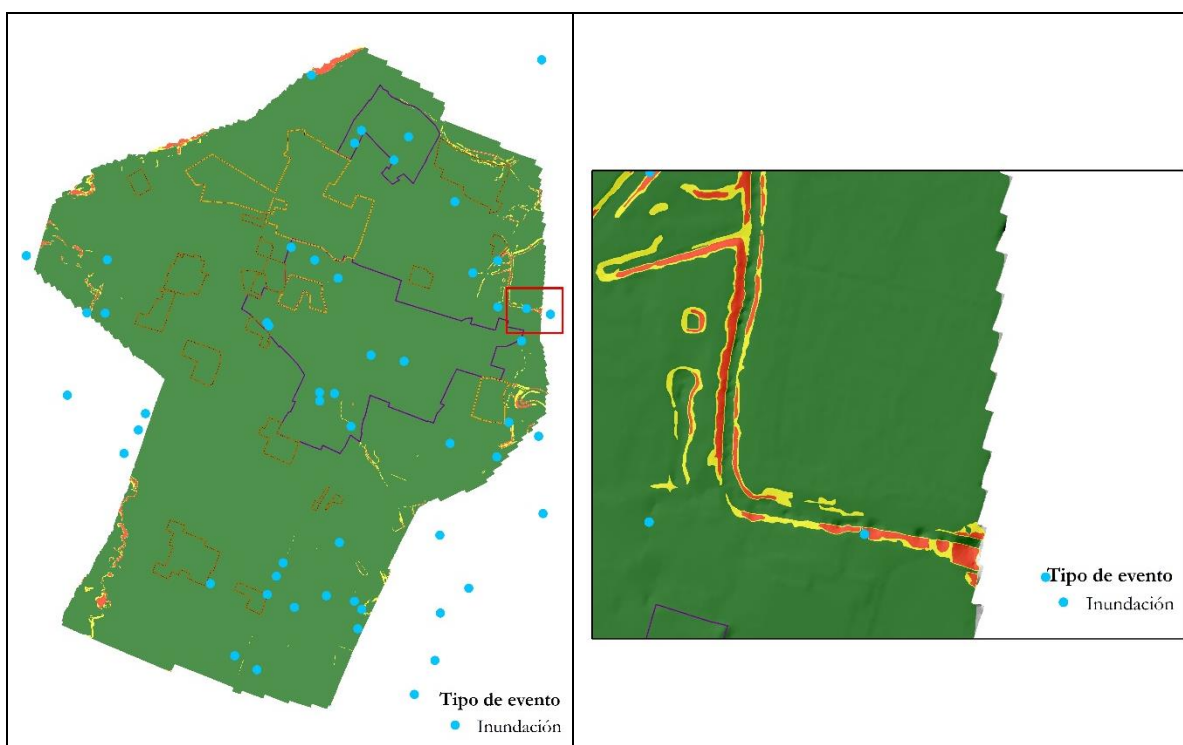


Ilustración 26. Resultado de la zonificación de amenaza para el área de estudio y para las inmediaciones de la vereda Calahorra.

Fuente: Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

A partir del inventario geomorfológico generado por fotointerpretación, junto con los datos obtenidos en el trabajo de campo, se obtienen un total de 25 eventos, que si bien no están contenidos dentro de los perímetros que delimitan el suelo urbano, de expansión urbana y centros poblados, permite evaluar el grado de ajuste de los resultados con la realidad del terreno.

En la **Ilustración 27** y **Tabla 14** se presenta la distribución área de los procesos morfodinámicos identificados dentro de las categorías de amenaza para para la zona de estudio definida, encontrándose que el 90.10% de los deslizamientos, el 98.65 % de erosión en cárcavas, el 87% del área de los coluviones y el 92% de la socavación lateral se encuentran dentro de la categoría de amenaza alta, mientras que 51% y 36% de los deslizamientos coinciden con la amenaza media

y baja respectivamente. Conforme a la información anterior, es válido afirmar que los resultados del modelo empleado son congruentes con la realidad del territorio.

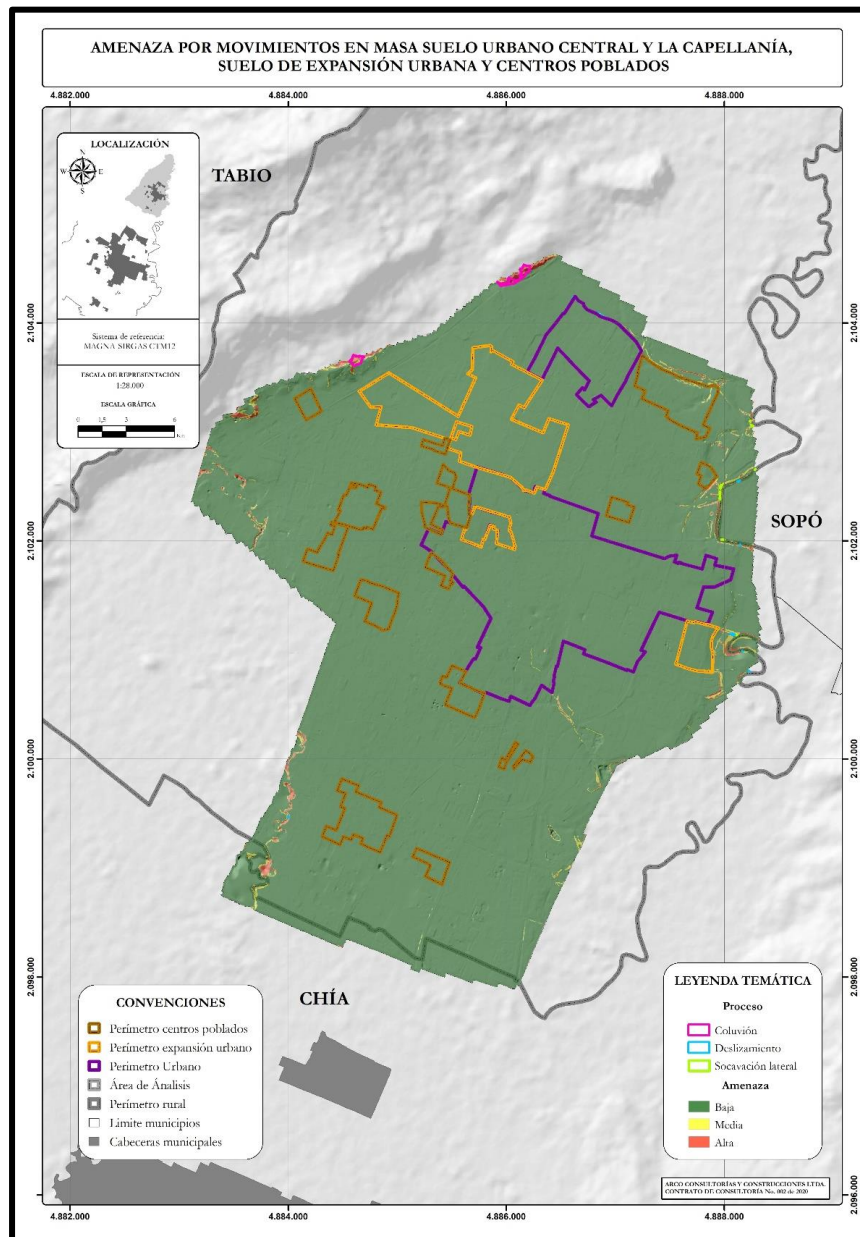


Ilustración 27. Procesos morfodinámicos en el área de estudio urbana definida.

Fuente: Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

Tabla 14. Distribución de los procesos morfodinámicos identificados en las categorías de amenaza en el área de estudio.

Área de estudio (ha)	Proceso	Área de procesos		Distribución en el área de estudio (%)		
		ha	%	Alta (14,88ha; 0,66%)	Media (17,80ha; 0,78%)	Baja (2241,99ha; 98,56%)
2274,7	Coluvión	1,80	0,079%	86,97%	11,07%	1,96%
	Deslizamiento	0,04	0,002%	36,47%	51,23%	12,31%
	Socavación lateral	0,03	0,002%	91,88%	6,27%	1,85%
	Sin procesos	2272,81	99,918%	0,58%	0,79%	98,63%

Fuente: Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

2.2.7. CONCLUSIONES

En el Suelo Urbano Central, La Capellanía, los suelos de expansión urbana y centros poblados del municipio de Cajicá, a partir del trabajo de campo realizado y las memorias explicativas de los mapas geológicos 209 (Zipaquirá) y 228 (Bogotá Noreste), se evidenció la predominancia de la Formación Sabana del Cuaternario caracterizada por depósitos clásticos y finogranulares, adicionalmente, en el Suelo Urbano Principal, Suelo Urbano Capellania y en el centro poblado Rincón Santo se presentan depósitos aluviales asociados a la Quebrada Teneria y a la Quebrada la Cruz, igualmente hacia el borde occidental del Centro poblado Aguanica se encuentran depósitos de origen flujo torrencial.

En el área urbana se distinguieron las geoformas teniendo en cuenta el origen del terreno, las causas y procesos que dieron forma al paisaje, encontrando geoformas asociadas a tres ambientes: fluvial y lagunar, denudacional y antrópico. Específicamente, en el suelo urbano central, La Capellanía, suelos de expansión urbana y centros poblados la subunidad geomorfológica principal es la planicie y delta lacustrino asociada a pendientes muy bajas con ángulos menores de 8°, en menor proporción se presentan geoformas de ambiente antrópico tales como diques, canales artificiales, planos y campos de llenos antrópicos y embalses.

 ALCALDÍA MUNICIPAL DE CAJICÁ	ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA			 ARCO C & C
	SUELOS URBANO, EXPANSIÓN URBANA. Y CENTROS POBLADOS	ESTUDIO BÁSICO DE AMENAZAS POR MOVIMIENTO EN MASA	CAJICÁ	

Para el área urbana se clasificaron los materiales expuestos en superficie, las cuales corresponden a rocas o suelos, prevaleciendo los suelos transportados, los cuales se encuentran presentes en toda el área urbana y centros poblados, siendo los suelos transportados lacustres los de mayor extensión, seguido por suelos transportados antrópicos, aluviales y fluvio-torrencial.

Para el área de estudio conformada por el suelo urbano, de expansión urbana y centro poblados, se presenta una extensa planicie asociada a un depósito lacustre, en la cual predominan pendientes de no superan los 8° de inclinación y en consecuencia favorece las condiciones de estabilidad, por lo que la categoría de amenaza baja impera en estas zonas urbanas. No obstante, los problemas de estabilidad latentes en el municipio se encuentran asociados a los taludes de cortes viales, canales, vallados y particularmente los diques a lo largo del río Bogotá, dado que los materiales de relleno, la alta pendiente y las condiciones de drenaje pueden combinarse de manera desfavorable y materializar escenarios de amenaza por la movilización de estos.

Para la zonificación de la amenaza por movimientos en masa se empleó un análisis por confiabilidad mediante la técnica de estimativos puntuales, donde se tuvo en cuenta la incertidumbre y variabilidad de las propiedades del suelo más influyentes en la estabilidad de las laderas (cohesión, ángulo de fricción y espesor). Para tal fin, se evaluó la posibilidad de movilización de una masa de suelo a lo largo del contacto suelo-roca o suelo-suelo mediante el factor de seguridad, considerándose la variabilidad de los parámetros mecánicos. Conforme a los resultados anteriores, se observa que en el área de estudio las condiciones de estabilidad se ven favorecidas por la baja pendiente topográfica y un tejido urbano continuo, sin embargo, en las zonas asociadas a cortes, rellenos y los diques se pueden presentar eventualmente procesos de inestabilidad que pueden conllevar a su vez a la anegación de los terrenos aledaños a los cuerpos de agua, en particular el río Frío y el río Bogotá.

Los resultados de la zonificación corresponden a una aproximación simplificada para un momento determinado de un fenómeno natural altamente complejo y variable en el tiempo, entendiendo que, debido a la interacción del hombre con el medio y su capacidad para transformarlo, los resultados de esta zonificación deben ser actualizados conforme a la realidad del territorio.

 ALCALDÍA MUNICIPAL DE CAJICÁ	ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA		 ARCO C & C
	SUELOS URBANO, EXPANSIÓN URBANA. Y CENTROS POBLADOS	ESTUDIO BÁSICO DE AMENAZAS POR MOVIMIENTO EN MASA	
		CAJICÁ	

2.2.8. DELIMITACIÓN Y ZONIFICACIÓN DE LAS ÁREAS CON CONDICIÓN DE AMENAZA Y CON CONDICIÓN DE RIESGO; SUELOS URBANOS

2.2.8.1. Delimitación y zonificación de las áreas con condición de amenaza

Conforme a lo señalado en el Decreto 1807 de 2014 (compilado en el Decreto 1077 de 2015), las áreas con condición de amenaza se definen bajo los siguientes lineamientos:

“Áreas con condición de amenaza, son las zonas o áreas del territorio municipal zonificadas como de amenaza alta y media en las que se establezca en la revisión o expedición de un nuevo POT, la necesidad de clasificarlas como suelo urbano, de expansión urbana, rural suburbano o centros poblados rurales para permitir su desarrollo.” (Decreto 1077 de 2015, art 2.2.2.1.3.1.3, Parágrafo 1).

“Con fundamento en la delimitación y zonificación de amenazas, se delimitan y zonifican aquellas áreas sin ocupar del suelo urbano, de expansión urbana, rural suburbano o centros poblados rurales en las que en la revisión o en la expedición de un nuevo POT se proponga su desarrollo.”

La identificación de estas áreas se realizará a partir del análisis de las áreas zonificadas como de amenaza alta y media, sin ocupar en los estudios básicos con aquellas que se consideren como objeto de desarrollo. En todo caso, el desarrollo de las zonas de amenaza media y alta sin ocupar quedará sujeto a los resultados de los estudios detallados.

Con esta información se elabora el mapa con la delimitación y zonificación de las áreas con condición de amenaza y se establecen los criterios para la caracterización y delimitación de las unidades de análisis en las áreas que serán objeto de estudios detallados.” (Decreto 1077 de 2015, art 2.2.2.1.3.2.1.4).

El proceso metodológico empleado para la delimitación y zonificación de las áreas con condición de amenaza es:

 ALCALDÍA MUNICIPAL DE CAJICÁ	ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA		 ARCO C & C
	SUELOS URBANO, EXPANSIÓN URBANA. Y CENTROS POBLADOS	ESTUDIO BÁSICO DE AMENAZAS POR MOVIMIENTO EN MASA	
		CAJICÁ	

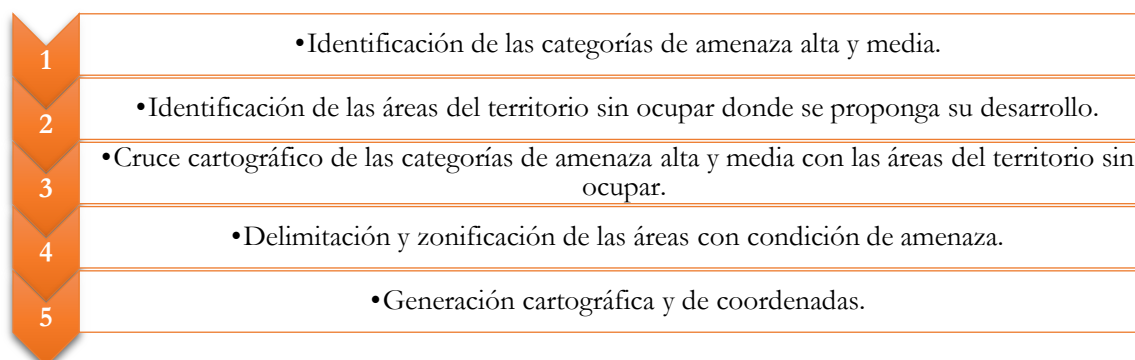
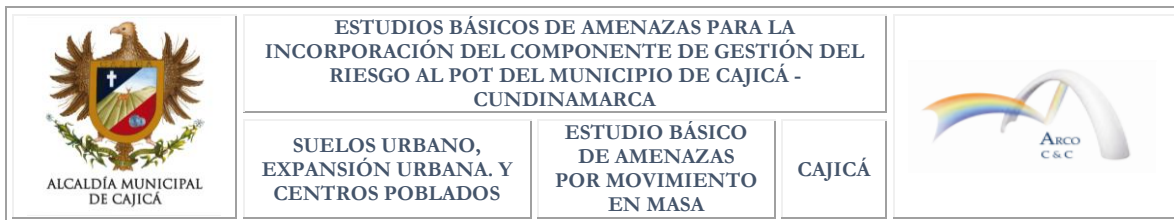


Ilustración 28. Proceso metodológico empleado para la delimitación y zonificación de las áreas con condición de amenaza.

Fuente: Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

1. Se identifican las categorías de amenaza MEDIA y ALTA resultado de la ZONIFICACIÓN BÁSICA DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA.
2. Se determinan las áreas del territorio sin ocupar del suelo urbano, de expansión urbana, rural suburbano o centros poblados rurales en los que se proponga su nuevo desarrollo; en el caso del suelo urbano y de expansión urbana, obedecen a aquellas áreas del territorio con tratamiento urbanístico de desarrollo que *“son las determinaciones del componente urbano del plan de ordenamiento territorial o de los instrumentos que lo desarrollen y complementen que regulan la urbanización de predios urbanizables no urbanizados en suelo urbano o de expansión urbana.”* (Decreto 1077 de 2015, art. 2.2.1.1).
3. Se realiza el cruce cartográfico mediante el uso de sistemas de información geográfica, teniendo en cuenta las categorías de amenaza alta y media junto con las áreas del territorio sin ocupar identificadas en el paso anterior.
4. Se delimitan y zonifican las áreas con condición de amenaza, denominando los diferentes polígonos producto del cruce cartográfico con un código único (ID_POL); así mismo, se delimitan mediante vértices con coordenadas y se identifican con un código único (ID_COORD); esta información cartográfica se encuentra en formato feature class de ESRI en la geodatabase de movimientos en masa (MM_SU.gdb) y listado de coordenadas por polígono en formato Excel.
5. Se representan cartográficamente los polígonos producto del paso anterior, en primera instancia mediante un plano general donde se identifiquen todos los polígonos de las áreas con condición de amenaza **“Plano DYZ_CA_MM_SU”** (Ilustración 29). Adicionalmente,



se generan los planos específicos para todos los polígonos donde se incorporan las coordenadas de cada vértice **“DYZ_CA_MM_SU”**.

“Con esta información se elabora el mapa con la delimitación y zonificación de las áreas con condición de amenaza y se establecen los criterios para la caracterización y delimitación de las unidades de análisis en las áreas que sean objeto de estudios detallados.” (Decreto 1077 de 2015, art 2.2.2.1.3.2.1.4).

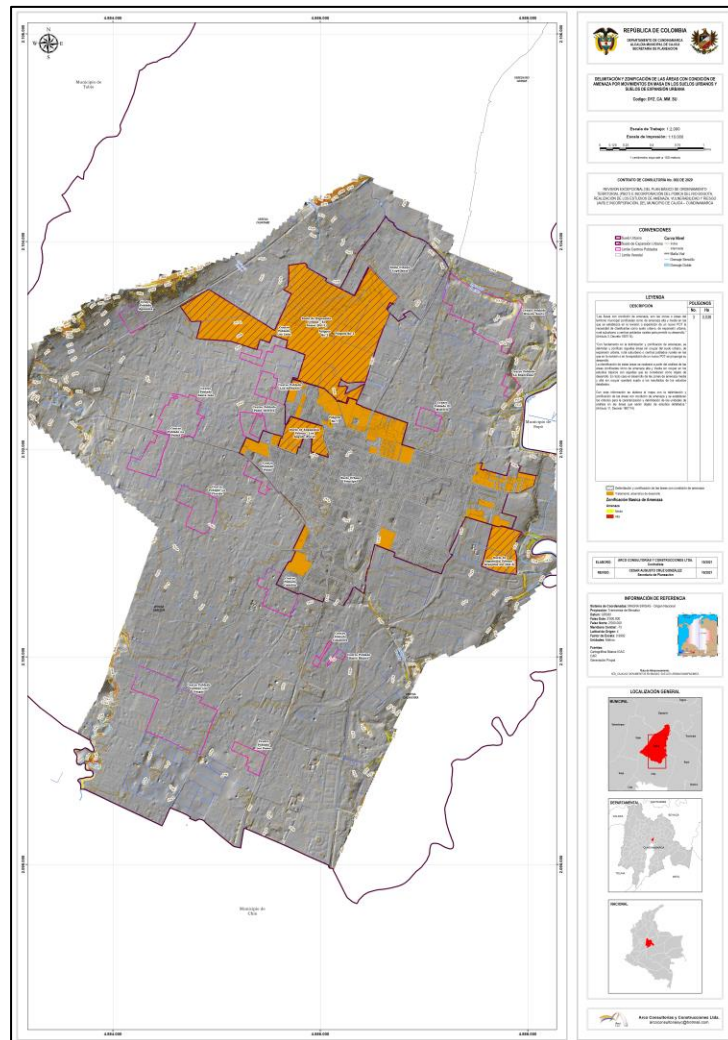


Ilustración 29. Delimitación y zonificación de las áreas con condición de amenaza por movimientos en masa en el suelo urbano principal de Cajicá, Cundinamarca.

Fuente: Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2022).

En cuanto al resumen del total de polígonos y sus áreas:

Tabla 15. Resumen de las áreas con condición de amenaza por movimientos en masa en el suelo urbano principal del municipio de Cajicá, Cundinamarca.

No. total, de polígonos	Área del territorio (ha)	Porcentaje del área total (%)
3	0.0038	0.0008%

Fuente: Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

Los 3 polígonos de áreas con condición de amenaza por movimientos en masa suman un total de 0.0038 hectáreas, lo cual corresponde a un 0.0008 % del área total del suelo urbano principal y de expansión urbana del municipio de Cajicá; éstos serán las áreas objeto de estudios detallados (Artículo 2.2.2.1.3.2.1.4 del Decreto 1077 de 2017).

2.2.8.2. Delimitación y zonificación de las áreas con condición de riesgo

Conforme a lo señalado en el Decreto 1807 de 2014 (compilado en el Decreto 1077 de 2015), las áreas con condición de riesgo se definen bajo los siguientes lineamientos:

“Áreas con condición de riesgo, corresponden a las zonas o áreas del territorio municipal clasificadas como de amenaza alta que estén urbanizadas, ocupadas o edificadas, así como en las que se encuentren elementos del sistema vial, equipamientos (salud, educación, otros) e infraestructura de servicios públicos.” (Decreto 1077 de 2015, art 2.2.2.1.3.1.3, Parágrafo 1).

“Con fundamento en la delimitación y zonificación de amenazas, se delimitan y zonifican las áreas con condición de riesgo, a fin de priorizar las áreas en las cuales se deben realizar estudios detallados.

La identificación de las áreas con condición de riesgo se realizará a partir del análisis de las áreas zonificadas como de amenaza alta en los estudios básicos, con la información cartográfica (predial o catastral, entre otras) disponible que permita identificar la existencia de elementos expuestos, de áreas urbanizadas, ocupadas o edificadas, así como de aquellas en las que se encuentren edificaciones indispensables y líneas vitales.” (Decreto 1077 de 2015, art 2.2.2.1.3.2.1.5).

El proceso metodológico empleado para la delimitación y zonificación de las áreas con condición de riesgo es:

 ALCALDÍA MUNICIPAL DE CAJICÁ	ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA		 ARCO C & C
	SUELOS URBANO, EXPANSIÓN URBANA. Y CENTROS POBLADOS	ESTUDIO BÁSICO DE AMENAZAS POR MOVIMIENTO EN MASA	
		CAJICÁ	

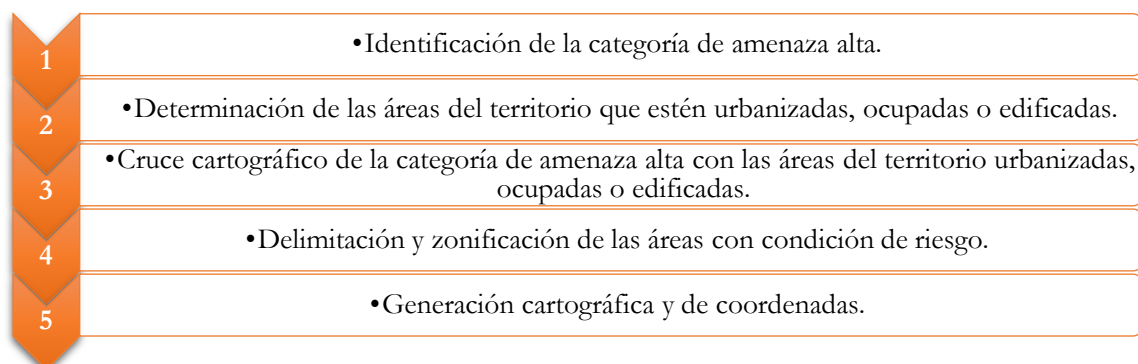
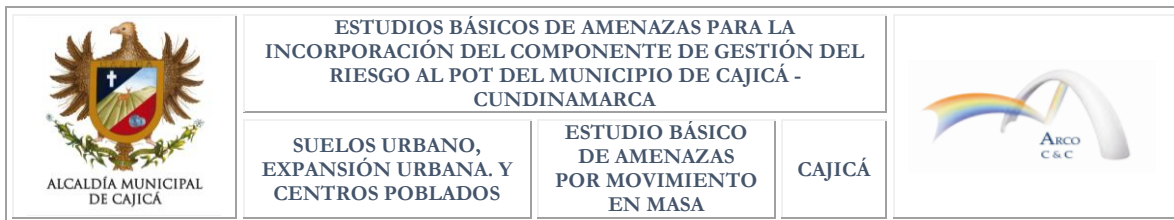


Ilustración 30. Proceso metodológico empleado para la delimitación y zonificación de las áreas con condición de riesgo.

Fuente: Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

1. Se identifican la categoría de amenaza ALTA resultado de la ZONIFICACIÓN BÁSICA DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA.
2. Se determinan las áreas del territorio que estén urbanizadas, ocupadas o edificadas, en el caso del suelo urbano y de expansión urbana, obedecen a aquellas áreas del territorio donde se encuentren elementos expuestos de áreas urbanizadas, ocupadas o edificadas, así como de aquellas en las que se encuentren edificaciones indispensables y líneas vitales (*Decreto 1077 de 2015, art 2.2.2.1.3.2.1.5*).
3. Se realiza el cruce cartográfico mediante el uso de sistemas de información geográfica, teniendo en cuenta la categoría de amenaza alta junto con las áreas del territorio urbanizadas ocupadas o edificadas identificadas en el paso anterior.
4. Se delimitan y zonifican las áreas con condición de riesgo, denominando los diferentes polígonos producto del cruce cartográfico con un código único (ID_POL); así mismo, se delimitan mediante vértices con coordenadas y se identifican con un código único (ID_COORD); esta información cartográfica se encuentra en formato feature class de ESRI en la geodatabase de movimientos en masa (MM_SU.gdb) y listado de coordenadas por polígono en formato Excel.
5. Se representan cartográficamente los polígonos producto del paso anterior, en primera instancia mediante un plano general donde se identifiquen todos los polígonos de las áreas con condición de riesgo **“Plano DYZ_CR_MM_SU” (Ilustración 31)**. Adicionalmente, se generan los planos específicos para todos los polígonos donde se incorporan las coordenadas de cada vértice **“DYZ_CR_MM_SU”**.



“Con esta información se elabora el mapa con la delimitación y zonificación de las áreas con condición de riesgo y se establecen los criterios para la caracterización y delimitación de las unidades de análisis que dependen del fenómeno a estudiar y la priorización para la realización de los estudios detallados que permitirán categorizar el riesgo.” (Decreto 1077 de 2015, art 2.2.2.1.3.2.1.5).

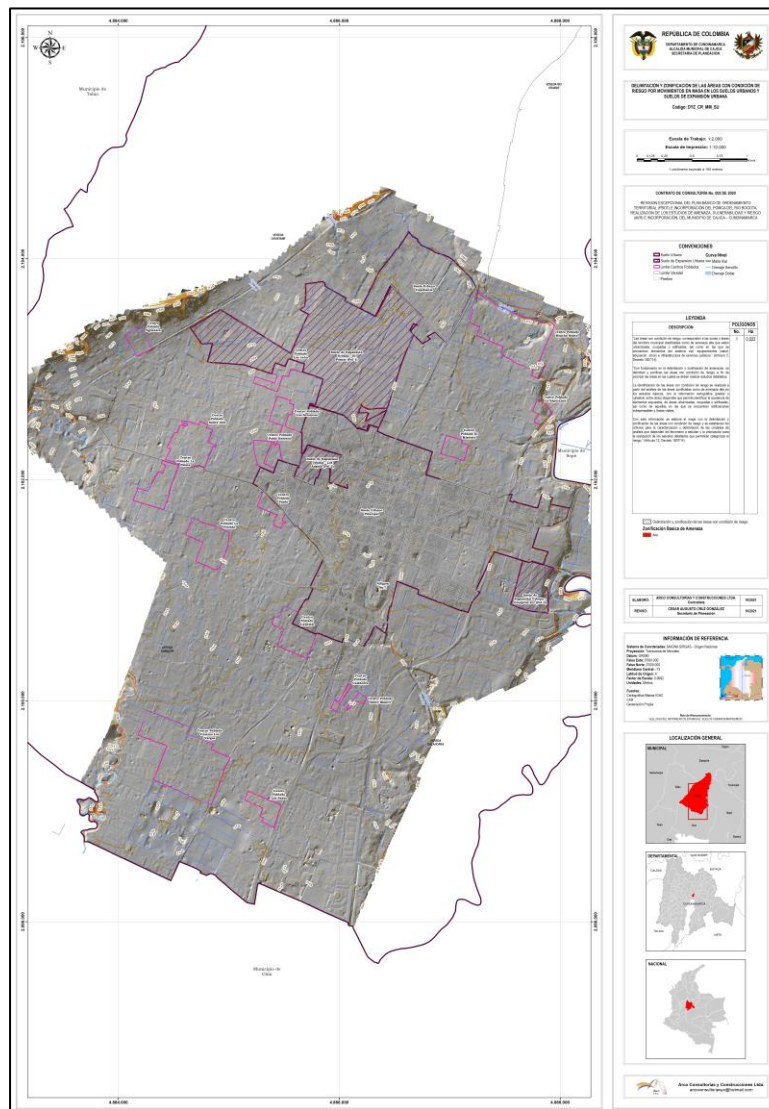


Ilustración 31. Delimitación y zonificación de las áreas con condición de riesgo por movimientos en masa en el suelo urbano principal del municipio de Cajicá, Cundinamarca.

Fuente: Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2022).

 ALCALDÍA MUNICIPAL DE CAJICÁ	ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA		 ARCO C & C
	SUELOS URBANO, EXPANSIÓN URBANA. Y CENTROS POBLADOS	ESTUDIO BÁSICO DE AMENAZAS POR MOVIMIENTO EN MASA	
		CAJICÁ	

En cuanto al resumen del total de polígonos y sus áreas:

Tabla 16. Resumen de las áreas con condición de riesgo por movimientos en masa en el suelo urbano principal del municipio de Cajicá, Cundinamarca.

	No. total de polígonos	Área del territorio (ha)	Porcentaje del área total (%)
Predios	1	0.022	0.005 %

Fuente: Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2022).

Para los predios de la base catastral del IGAC, se identificó un total de 1 polígonos de áreas con condición de riesgo por movimientos en masa, que suman un total de 0.022 hectáreas, lo cual corresponde a un 0.005% del área total del suelo urbano principal y de expansión de Cajicá. Éstos serán las áreas objeto de estudios detallados que permitan categorizar el riesgo (Artículo 2.2.2.1.3.2.1.5 del Decreto 1077 de 2017).

2.2.9. DELIMITACIÓN Y ZONIFICACIÓN DE LAS ÁREAS CON CONDICIÓN DE AMENAZA Y CON CONDICIÓN DE RIESGO; CENTROS POBLADOS

3.2.8.1. Delimitación y zonificación de las áreas con condición de amenaza

Conforme a lo señalado en el Decreto 1807 de 2014 (compilado en el Decreto 1077 de 2015), las áreas con condición de amenaza se definen bajo los siguientes lineamientos:

“Áreas con condición de amenaza, son las zonas o áreas del territorio municipal zonificadas como de amenaza alta y media en las que se establezca en la revisión o expedición de un nuevo POT, la necesidad de clasificarlas como suelo urbano, de expansión urbana, rural suburbano o centros poblados rurales para permitir su desarrollo.” (Decreto 1077 de 2015, art 2.2.2.1.3.1.3, Parágrafo 1).

“Con fundamento en la delimitación y zonificación de amenazas, se delimitan y zonifican aquellas áreas sin ocupar del suelo urbano, de expansión urbana, rural suburbano o centros poblados rurales en las que en la revisión o en la expedición de un nuevo POT se proponga su desarrollo.”

La identificación de estas áreas se realizará a partir del análisis de las áreas zonificadas como de amenaza alta y media, sin ocupar en los estudios básicos con aquellas que se consideren como objeto de desarrollo. En todo caso, el desarrollo de las zonas de amenaza media y alta sin ocupar quedará sujeto a los resultados de los estudios detallados.

 ALCALDÍA MUNICIPAL DE CAJICÁ	ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA		 ARCO C & C
	SUELOS URBANO, EXPANSIÓN URBANA. Y CENTROS POBLADOS	ESTUDIO BÁSICO DE AMENAZAS POR MOVIMIENTO EN MASA	
		CAJICÁ	

Con esta información se elabora el mapa con la delimitación y zonificación de las áreas con condición de amenaza y se establecen los criterios para la caracterización y delimitación de las unidades de análisis en las áreas que serán objeto de estudios detallados.” (Decreto 1077 de 2015, art 2.2.2.1.3.2.1.4).

El proceso metodológico empleado para la delimitación y zonificación de las áreas con condición de amenaza es:

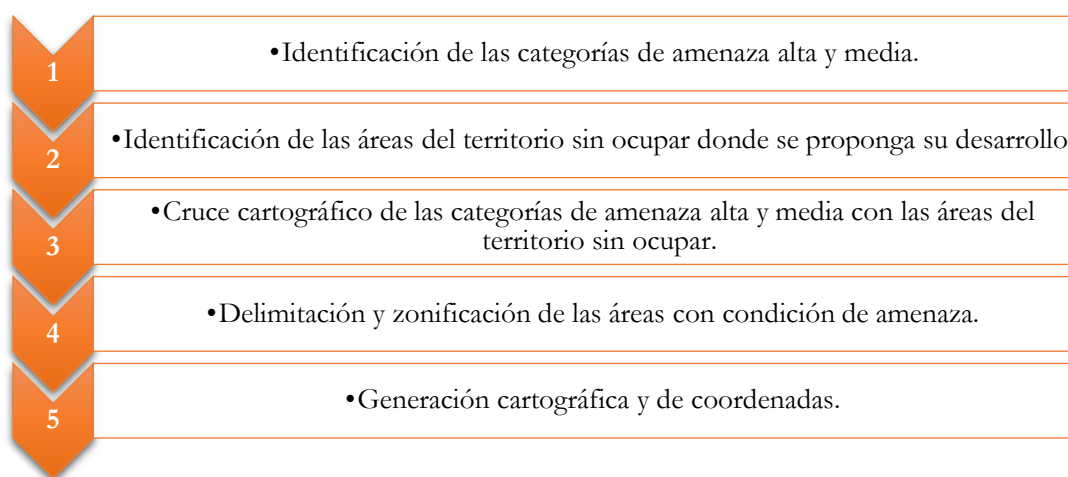


Ilustración 32. Proceso metodológico empleado para la delimitación y zonificación de las áreas con condición de amenaza.

Fuente: Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

6. Se identifican las categorías de amenaza MEDIA y ALTA resultado de la ZONIFICACIÓN BÁSICA DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA.
7. Se determinan las áreas del territorio sin ocupar del suelo urbano, de expansión urbana, rural suburbano o centros poblados rurales en los que se proponga su nuevo desarrollo; en el caso del suelo urbano y de expansión urbana, obedecen a aquellas áreas del territorio con tratamiento urbanístico de desarrollo que *“son las determinaciones del componente urbano del plan de ordenamiento territorial o de los instrumentos que lo desarrollen y complementen que regulan la urbanización de predios urbanizables no urbanizados en suelo urbano o de expansión urbana.”* (Decreto 1077 de 2015, art. 2.2.1.1).
8. Se realiza el cruce cartográfico mediante el uso de sistemas de información geográfica, teniendo en cuenta las categorías de amenaza alta y media junto con las áreas del territorio sin ocupar identificadas en el paso anterior.

 ALCALDÍA MUNICIPAL DE CAJICÁ	ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA			 ARCO C & C
	SUELOS URBANO, EXPANSIÓN URBANA. Y CENTROS POBLADOS	ESTUDIO BÁSICO DE AMENAZAS POR MOVIMIENTO EN MASA	CAJICÁ	

9. Se delimitan y zonifican las áreas con condición de amenaza, denominando los diferentes polígonos producto del cruce cartográfico con un código único (ID_POL); así mismo, se delimitan mediante vértices con coordenadas y se identifican con un código único (ID_COORD); esta información cartográfica se encuentra en formato feature class de ESRI en la geodatabase de movimientos en masa (MM_CP.gdb) y listado de coordenadas por polígono en formato Excel.
10. Se representan cartográficamente los polígonos producto del paso anterior, en primera instancia mediante un plano general donde se identifiquen todos los polígonos de las áreas con condición de amenaza **“Plano DYZ_CA_MM_CP” (Ilustración 29)**. Adicionalmente, se generan los planos específicos para todos los polígonos donde se incorporan las coordenadas de cada vértice **“DYZ_CA_MM_CP”**.

“Con esta información se elabora el mapa con la delimitación y zonificación de las áreas con condición de amenaza y se establecen los criterios para la caracterización y delimitación de las unidades de análisis en las áreas que sean objeto de estudios detallados.” (Decreto 1077 de 2015, art 2.2.2.1.3.2.1.4).

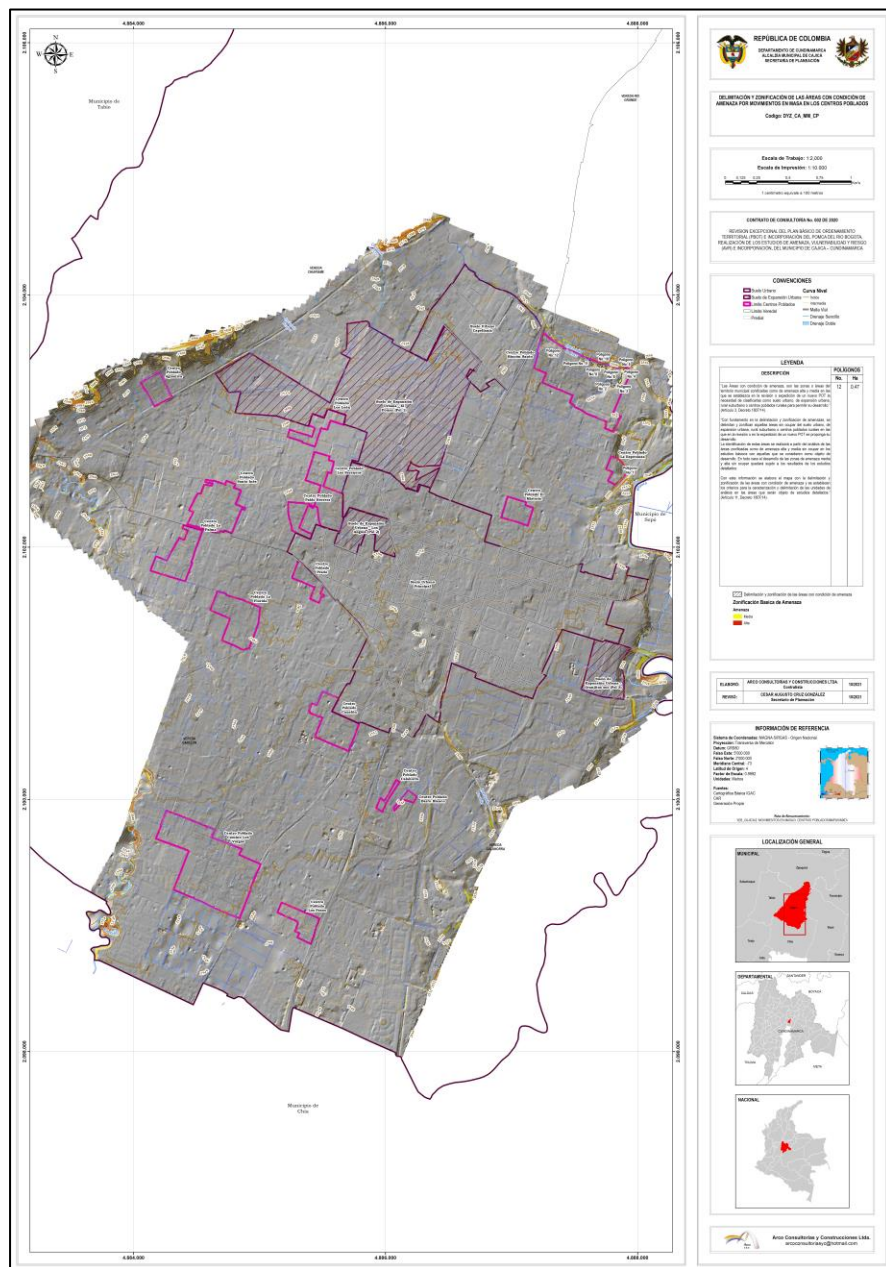


Ilustración 33. Delimitación y zonificación de las áreas con condición de amenaza por movimientos en masa en los centros poblados de Cajicá, Cundinamarca.

Fuente: Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2022).

En cuanto al resumen del total de polígonos y sus áreas:

Tabla 17. Resumen de las áreas con condición de amenaza por movimientos en masa en los centros poblados del municipio de Cajicá, Cundinamarca.

No. total, de polígonos	Área del territorio (ha)	Porcentaje del área total (%)
12	0,473	0,099%

Fuente: Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2022).

Los 12 polígonos de áreas con condición de amenaza por movimientos en masa suman un total de 0,47 hectáreas, lo cual corresponde a un 0,099 % del área total del suelo los centros poblados del municipio de Cajicá; éstos serán las áreas objeto de estudios detallados (Artículo 2.2.2.1.3.2.1.4 del Decreto 1077 de 2017).

3.2.8.2. Delimitación y zonificación de las áreas con condición de riesgo

Conforme a lo señalado en el Decreto 1807 de 2014 (compilado en el Decreto 1077 de 2015), las áreas con condición de riesgo se definen bajo los siguientes lineamientos:

“Áreas con condición de riesgo, corresponden a las zonas o áreas del territorio municipal clasificadas como de amenaza alta que estén urbanizadas, ocupadas o edificadas, así como en las que se encuentren elementos del sistema vial, equipamientos (salud, educación, otros) e infraestructura de servicios públicos.” (Decreto 1077 de 2015, art 2.2.2.1.3.1.3, Parágrafo 1).

“Con fundamento en la delimitación y zonificación de amenazas, se delimitan y zonifican las áreas con condición de riesgo, a fin de priorizar las áreas en las cuales se deben realizar estudios detallados.

La identificación de las áreas con condición de riesgo se realizará a partir del análisis de las áreas zonificadas como de amenaza alta en los estudios básicos, con la información cartográfica (predial o catastral, entre otras) disponible que permita identificar la existencia de elementos expuestos, de áreas urbanizadas, ocupadas o edificadas, así como de aquellas en las que se encuentren edificaciones indispensables y líneas vitales.” (Decreto 1077 de 2015, art 2.2.2.1.3.2.1.5).

El proceso metodológico empleado para la delimitación y zonificación de las áreas con condición de riesgo es:

 ALCALDÍA MUNICIPAL DE CAJICÁ	ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA SUELOS URBANO, EXPANSIÓN URBANA. Y CENTROS POBLADOS ESTUDIO BÁSICO DE AMENAZAS POR MOVIMIENTO EN MASA CAJICÁ	 ARCO C & C
---	--	---

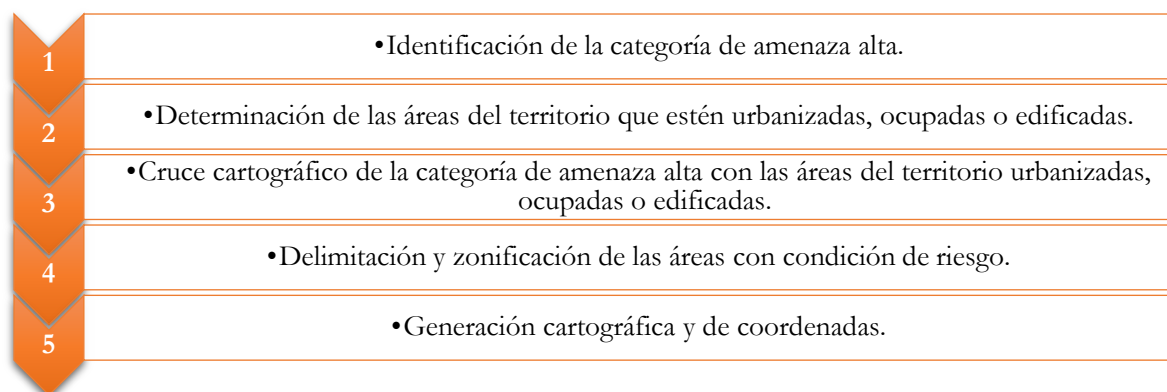
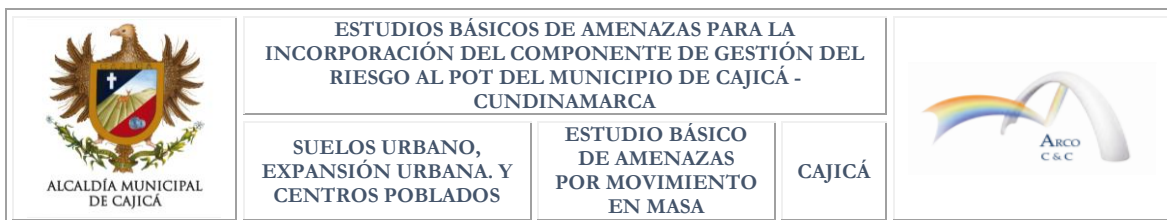


Ilustración 34. Proceso metodológico empleado para la delimitación y zonificación de las áreas con condición de riesgo.

Fuente: Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

6. Se identifican la categoría de amenaza ALTA resultado de la ZONIFICACIÓN BÁSICA DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA.
7. Se determinan las áreas del territorio que estén urbanizadas, ocupadas o edificadas, en el caso de los centros poblados, obedecen a aquellas áreas del territorio donde se encuentren elementos expuestos de áreas urbanizadas, ocupadas o edificadas, así como de aquellas en las que se encuentren edificaciones indispensables y líneas vitales (*Decreto 1077 de 2015, art 2.2.2.1.3.2.1.5*).
8. Se realiza el cruce cartográfico mediante el uso de sistemas de información geográfica, teniendo en cuenta la categoría de amenaza alta junto con las áreas del territorio urbanizadas ocupadas o edificadas identificadas en el paso anterior.
9. Se delimitan y zonifican las áreas con condición de riesgo, denominando los diferentes polígonos producto del cruce cartográfico con un código único (ID_POL); así mismo, se delimitan mediante vértices con coordenadas y se identifican con un código único (ID_COORD); esta información cartográfica se encuentra en formato feature class de ESRI en la geodatabase de movimientos en masa (MM_CP.gdb) y listado de coordenadas por polígono en formato Excel.
10. Se representan cartográficamente los polígonos producto del paso anterior, en primera instancia mediante un plano general donde se identifiquen todos los polígonos de las áreas con condición de riesgo **“Plano DYZ_CR_MM_CP” (Ilustración 31)**. Adicionalmente, se generan los planos específicos para todos los polígonos donde se incorporan las coordenadas de cada vértice **“DYZ_CR_MM_CP”**.



“Con esta información se elabora el mapa con la delimitación y zonificación de las áreas con condición de riesgo y se establecen los criterios para la caracterización y delimitación de las unidades de análisis que dependen del fenómeno a estudiar y la priorización para la realización de los estudios detallados que permitirán categorizar el riesgo.” (Decreto 1077 de 2015, art 2.2.2.1.3.2.1.5).

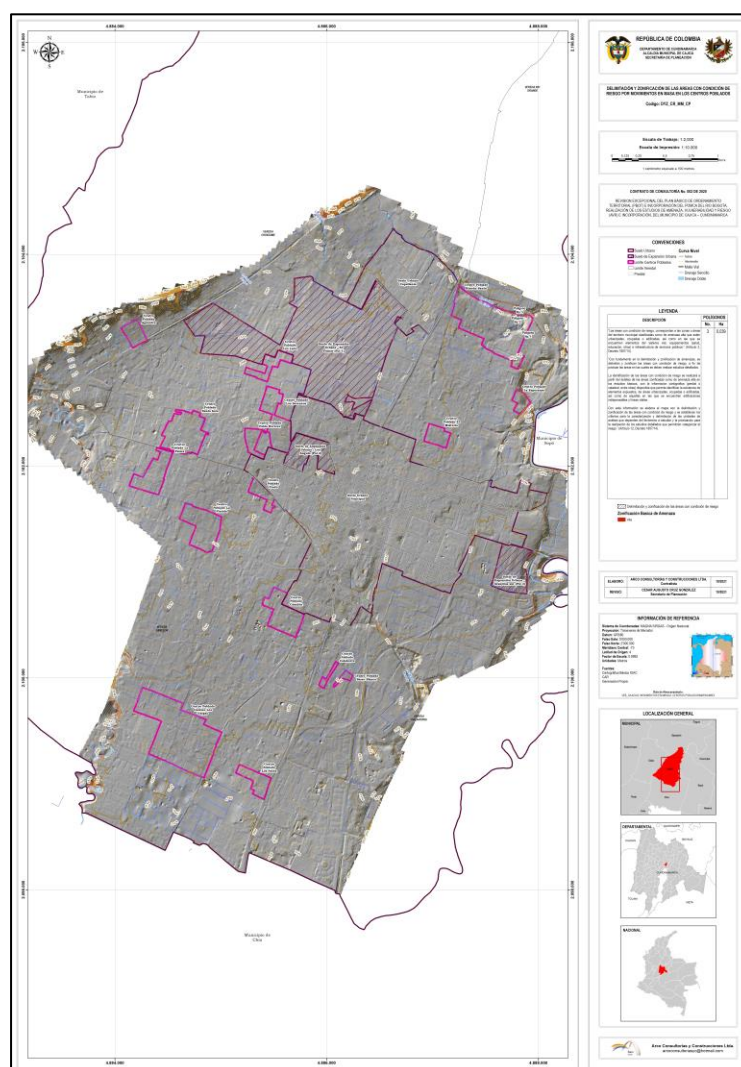


Ilustración 35. Delimitación y zonificación de las áreas con condición de riesgo por movimientos en masa en los centros poblados del municipio de Cajicá, Cundinamarca.

Fuente: Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2022).

En cuanto al resumen del total de polígonos y sus áreas:

Tabla 18. Resumen de las áreas con condición de riesgo por movimientos en masa en los centros poblados del municipio de Cajicá, Cundinamarca.

	No. total de polígonos	Área del territorio (ha)	Porcentaje del área total (%)
Predios	3	0.039	0.008 %

Fuente: Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2022).

Para los predios de la base catastral del IGAC, se identificó un total de 3 polígonos de áreas con condición de riesgo por movimientos en masa, que suman un total de 0.039 hectáreas, lo cual corresponde a un 0.008% del área total de los centros poblados del municipio de Cajicá. Éstos serán las áreas objeto de estudios detallados que permitan categorizar el riesgo (Artículo 2.2.2.1.3.2.1.5 del Decreto 1077 de 2017).

3.2.9. MEDIDAS DE INTERVENCIÓN ORIENTADAS A ESTABLECER RESTRICCIONES CONDICIONAMIENTOS MEDIANTE LA DETERMINACIÓN DE NORMAS URBANÍSTICAS

Las áreas objeto de ocupación o de desarrollo en donde se hayan establecido categorías de amenaza media o alta deben ser objeto de estudios detallados, debido a que, aunque el método empleado de zonificación fue realizado con la mayor rigurosidad técnica posible, no deja de presentar limitaciones por efecto de las variaciones verticales y laterales de los parámetros mecánicos y el nivel del agua en el subsuelo, lo cual implica que la intervención del terreno para eventuales desarrollos debe ser antecedida por la evaluación particular del área.

Se recomienda el monitoreo permanente de las deformaciones de estructuras térreas sensibles como lo son los diques a lo largo del río Bogotá, dado que pueden fallar eventualmente y como consecuencia anegar las zonas aledañas, siendo de particular interés la vereda Calahorra, dado que en dicho sector ya se había reportado la ruptura del dique afectando un tramo de 500m que conllevo a la inundación del sector con una lámina de agua de hasta 2 m.

Es necesario adelantar en consecuencia labores de monitoreo en los diques y taludes de los canales y vallados, tales como control topográfico, así como establecer medidas de control sobre la

 ALCALDÍA MUNICIPAL DE CAJICÁ	ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA			 ARCO C & C
	SUELOS URBANO, EXPANSIÓN URBANA. Y CENTROS POBLADOS	ESTUDIO BÁSICO DE AMENAZAS POR MOVIMIENTO EN MASA	CAJICÁ	

erosión superficial en los taludes y en especial control sobre los procesos de socavación lateral inducidos por el cauce del río Bogotá que repercuten directamente sobre la estabilidad del dique.

Dado que muchos de los problemas de estabilidad se asocian a los taludes de los canales o diques, es prioritario evitar los procesos de edificación sobre estas áreas apoyado en la protección de la ronda hídrica.

Es necesario realizar acciones de divulgación en la comunidad sobre las condiciones amenazantes en su entorno, que conlleven a una concienciación y apropiación del medio y que se traduzcan en la adopción prácticas constructivas reguladas y responsables (normas de urbanismo), como también en prácticas agrícolas que controlen la erosión y sedimentación.

En las laderas categorizadas como amenaza media o alta y que muestren signos de inestabilidad activa, se deberán adelantar los estudios técnicos necesarios que sirvan de base para la construcción de obras de estabilización, protección y control de laderas y cauces. Así mismo, producto de la evaluación rigurosa de los predios con signos de inestabilidad, se deberán evaluar su eventual categorización como áreas protegidas. Por ejemplo, hacia las zonas montañosas a lo largo de la vía Molino Manas.

Con el ánimo de reducir la amenaza por movimientos en masa en el área de estudio, se deberán adelantar una reglamentación para futuros desarrollos urbanísticos y el uso del suelo en zonas no ocupadas.

En aras de favorecer las condiciones de estabilidad en las laderas, se recomienda adelantar acciones tendientes al manejo adecuado de las aguas de escorrentía y aguas servidas, siendo necesario el mantenimiento de los sistemas de drenaje y control de la infiltración del agua en los materiales téreos.

 ALCALDÍA MUNICIPAL DE CAJICÁ	ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA		 ARCO C & C
	SUELOS URBANO, EXPANSIÓN URBANA. Y CENTROS POBLADOS	ESTUDIO BÁSICO DE AMENAZAS POR MOVIMIENTO EN MASA	
		CAJICÁ	

3.2.10. REFERENCIAS

AIS. (2009). Estudio general de la Amenaza Sísmica de Colombia. *Asociación Colombiana de Ingeniera Sísmica*, 1, 225.7. Bogotá. Colombia.

AIS. (2010). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. *Asociación Colombiana de Ingeniera Sísmica*. Bogotá, Colombia.

Baecher, G., y Christian, J., (2003). Reliability and Statistics in Geotechnical Engineering. ISBN:978-0-471-49833-9.

Barbosa, (2014). Factores de seguridad y probabilidades de falla (con una aplicación al análisis de estabilidad de taludes). Documento no publicado.

Díaz-Granados, M. (1998). Curvas sintéticas regionalizadas de intensidad-duración-frecuencia para Colombia. Santa Fe de Bogotá. Colombia.

González (1999). A. Estimativos de Parámetros efectivos de resistencia con el SPT. X Jornadas Geotécnicas de la Ingeniería Colombiana - SCI –SCG.

INGEOMINAS (2004). Proyecto: compilación y levantamiento de la información geomecánica. Propuesta Metodológica para el Desarrollo de la Cartografía Geológica para Ingeniería. Volumen II. Bogotá. Colombia.

Russelli, C. (2008). Probabilistic Methods applied to the Bearing Capacity Problem. Institut für Geotechnik der Universität Stuttgart.

Servicio Geológico Colombiano (2016). Guía Metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa. Bogotá. Colombia.

Sorensen K.K. y Okkels N. (2013). Correlation between drained shear strength and plasticity index of undisturbed overconsolidated clays. 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. Paris. Francia.