

Zonificación De Amenaza Por Procesos De Remoción En Masa a Escala 1:1000 Para El Barrio Mirador De Corinto, Comuna 4 Municipio De Soacha, Cundinamarca, Bajo El Marco Del Convenio Entre La Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito y La Alcaldía De Soacha

Autores: Luz Nelly Torres Martinez y Carlos Eduardo Rodríguez Pineda
Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito
Bogota, Colombia,
@mail.escuelaing.edu.co
ORCID

ABSTRACT

This article presents the reclassification of threat from mass removal event in the Mirador de Corinto neighborhood, as a study case, following the “Guía Metodológica para estudios de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Remoción en Masa-Escala Detallada”, from the Colombian Geological Service (2015). For this, an exploratory and compiling campaign had to be done, with which the geology, geomorphology, hydrogeology and seismological characteristics of the study zone were determined. This helped to define a geological and geotechnical model with which the stability of the zone was studied. With these analyzes it was possible to reclassify the threat of the Mirador de Corinto neighborhood and it was noted that most of the high level threat in the zone was focused in those places with steep slopes and poor rain and residual water management, being this the main cause. In addition to that, stability analyzes were carried out, including mitigation work directed towards water management with the goal of verifying the effectiveness of placing filters and draining systems in the future, pointing that said measures reduce the threat in the neighborhood.

Keywords: Threat zoning, mass removal events, Method Guide of the CGS, Mirador de Corinto Soacha.

RESUMEN

En este artículo se presenta el caso de estudio de la reclasificación de amenaza ante eventos de remoción en masa del Barrio Mirador de Corinto siguiendo la Guía Metodológica para Estudios de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Movimientos en Masa-Escala Detallada del Servicio Geológico Colombiano (2015). Para ello se tuvo que realizar una campaña exploratoria y de recopilación de información con la cual se determinó la geología, geomorfología, hidrogeología y las características sísmológicas de la zona de estudio. Lo anterior permitió definir un modelo geológico geotécnico con el cual se estudió la estabilidad de la zona. Con estos análisis se

logró reclasificar la amenaza del Barrio Mirador de Corinto y se pudo constatar que gran parte de la amenaza Alta en condición actual del barrio se concentra en las zonas en donde se presentan altas pendientes y un manejo deficiente de las aguas lluvias y residuales, siendo este el principal detonante. Adicionalmente, se efectuaron análisis de estabilidad incluyendo obras de mitigación enfocadas al manejo de aguas con el fin de verificar la efectividad de colocar filtros y sistemas de drenaje a futuro, con lo que se constató que dichas medidas reducen la Amenaza en el Barrio.

Palabras clave: Zonificación de Amenaza, eventos de Remoción en Masa, guía Metodológica del SGC, Mirador de Corinto, Soacha.

INTRODUCCION

Por lo general los barrios conformados en las laderas alrededor de Bogotá inician como asentamientos ilegales o informales cuyas construcciones son realizadas con materiales reciclables.

En la mayoría de los casos estos asentamientos informales se conforman en zonas de alta pendiente cuyas condiciones topográficas, geomorfológicas, geológicas y geotécnicas generan que estas zonas sean inestables y presenten una amenaza alta ante procesos de remoción en masa. Al presentarse estas condiciones en estos asentamientos las autoridades no legalizan los barrios y no invierte en la infraestructura de estas zonas.

Según el POT del municipio de Soacha el barrio de Mirador de Corinto actualmente está catalogado en su mayoría como una zona de amenaza Alta por procesos de remoción en masa, por tal motivo actualmente la comunidad de este sector enfrenta varias dificultades relacionadas con la falta de suministro de servicios públicos, la construcción de vías pavimentadas, entre muchos otros.

Por tal motivo la Alcaldía Municipal de Soacha y la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, ECI, a través del programa de maestría de Ingeniería Civil, efectuaron un Convenio de colaboración cuyo objetivo es refinar y reclasificar la zonificación de amenaza del barrio por medio de un estudio técnico siguiendo la Guía Metodológica para Estudios de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Movimientos en Masa-Escala Detallada (Servicio Geológico Colombiano, 2015).

1 LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El barrio Mirador de Corinto localizado en la Comuna 4 del Municipio de Soacha es un asentamiento informal que inició en la década de los 80' según información suministrada por la Alcaldía de Soacha y desde ese año no ha parado su crecimiento, ver Figura 1.

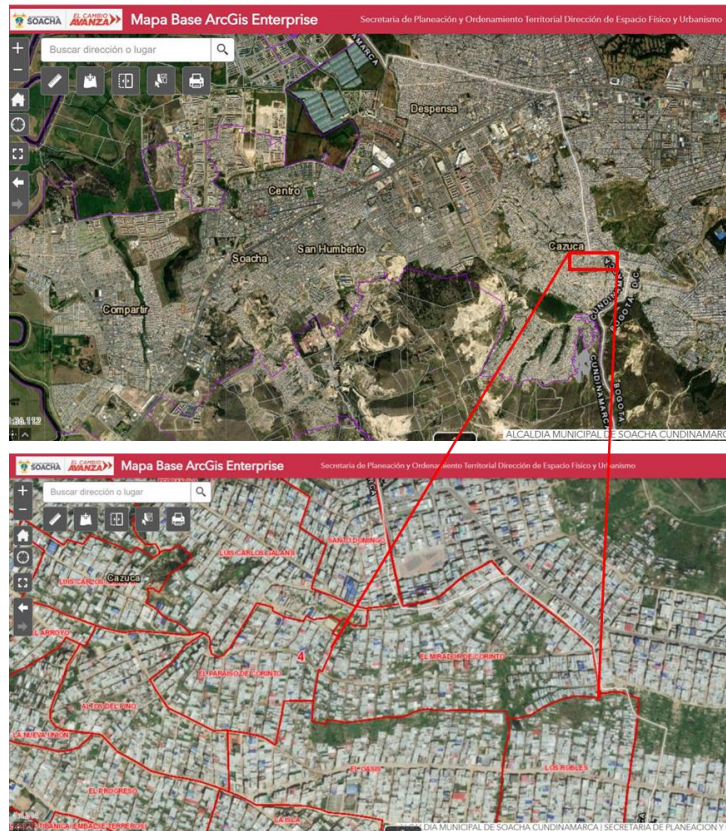


Figura 1. Localización Barrio Mirador de Corinto Comuna 4 Soacha, Cundinamarca. Fuente: Sistema de Información Geográfico Alcaldía Municipal de Soacha.

El estudio efectuado por el Servicio Geológico Colombiano (2012) generó un mapa de zonificación de amenaza por procesos de remoción en masa a escala 1:5000 en donde la Amenaza Alta cubre un porcentaje superior al 90% del área del barrio Mirador de Corinto y el cual es el actualmente vigente en el POT del Municipio.

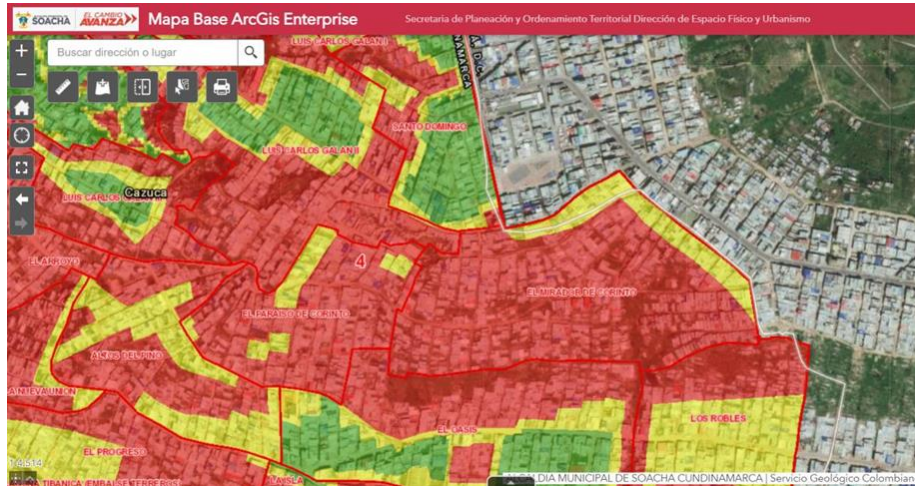


Figura 2. Zonificación de Amenaza a escala 1:5000 generada por el estudio del SGC en 2012. Fuente: Sistema de Información geográfico de la Alcaldía Municipal de Soacha

En algunos sectores del barrio las viviendas existentes presentan fisuras y grietas en los muros asociadas a movimientos del terreno y el precario método de construcción y materiales utilizados, ver Fotografía 1.



Fotografía 1. a) Vista fisura en muros y cimentación por movimientos del suelo de apoyo; b) Vista de vivienda en construcción recientemente afectada por deslizamiento local Fuente: Propia.

Internamente en el barrio las viviendas se conectan mediante vías peatonales, en algunos sectores con pendientes mayores a 45°, sin ningún acabado superficial, con precarios sistemas de drenaje y estabilidad. Fotografía 2.



Fotografía 2.. Vista vías internas peatonales. Fuente: Propia.

La zona del barrio tuvo un uso precedente de extracción minera, ver Fotografía 3, por lo que se observan sectores con canteras abandonadas dejando escarpes con pendientes superiores a 45° que han generado depósitos coluviales, algunos todavía activos. Igualmente, en el barrio se observan Planicies o Excavaciones de canteras (Ap) que corresponden a los patios de las antiguas canteras que fueron rellenados para el acopio de materiales o manejo de maquinaria (Servicio Geológico Colombiano, 2012).



Fotografía 3. Vista de los asentamientos en la parte alta y baja de escarpes dejados por canteras abandonadas. Fuente: Propia.

En cuanto al drenaje de las aguas lluvias y servidas en algunos sectores al borde de escarpes dejados por frentes de explotación minera se observa vertimiento de aguas servidas agravando la inestabilidad de los escarpes expuestos. Algunas aguas servidas del barrio son vertidas directamente sobre las vías y en otros sectores se observa el vertimiento de las aguas servidas sobre laderas y zonas sin urbanizar, Fotografía 4.



Fotografía 4. a) Vista del vertimiento de aguas lluvias y servidas sobre la ladera b) Drenaje natural que conduce las aguas a la Laguna Terreros. Fuente: Propia.

2 RECOPIACION DE INFORMACION

En el transcurso de los últimos años la Alcaldía Municipal de Soacha y entidades estatales como el Servicio Geológico Colombiano antes INGEOMINAS y entidades particulares, se han encargado de realizar distintos estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por procesos de Remoción en Masa sobre el municipio de Soacha de los cuales algunos se han enfocado sobre ciertas comunas. A continuación se menciona los estudios con más información del Barrio consultados para la realización de este estudio.

2.1 Información Secundaria

El estudio más antiguo fue el estudio de amenaza por remoción en masa en el Municipio de Soacha y el análisis de vulnerabilidad y riesgo en seis de los barrios de la comuna cuatro del municipio: Villa Mercedes I, Villa Mercedes II, La Isla, El Oasis, Santo Domingo Y Luis Carlos Galán II realizado por la firma de Ingeniería y Geotecnia S.A.S (2002). La importancia para este estudio se debe principalmente a su cercanía al barrio Mirador de Corinto.

Según el mapa de zonificación de amenaza del costado norte del barrio Oasis, en el que la mayor parte del área se encuentra en amenaza alta a media, especialmente sobre el costado oriental donde se presenta una amenaza alta y muy alta que curiosamente es la zona donde pasa la quebrada que viene del barrio Mirador de Corinto, ver Figura 3.

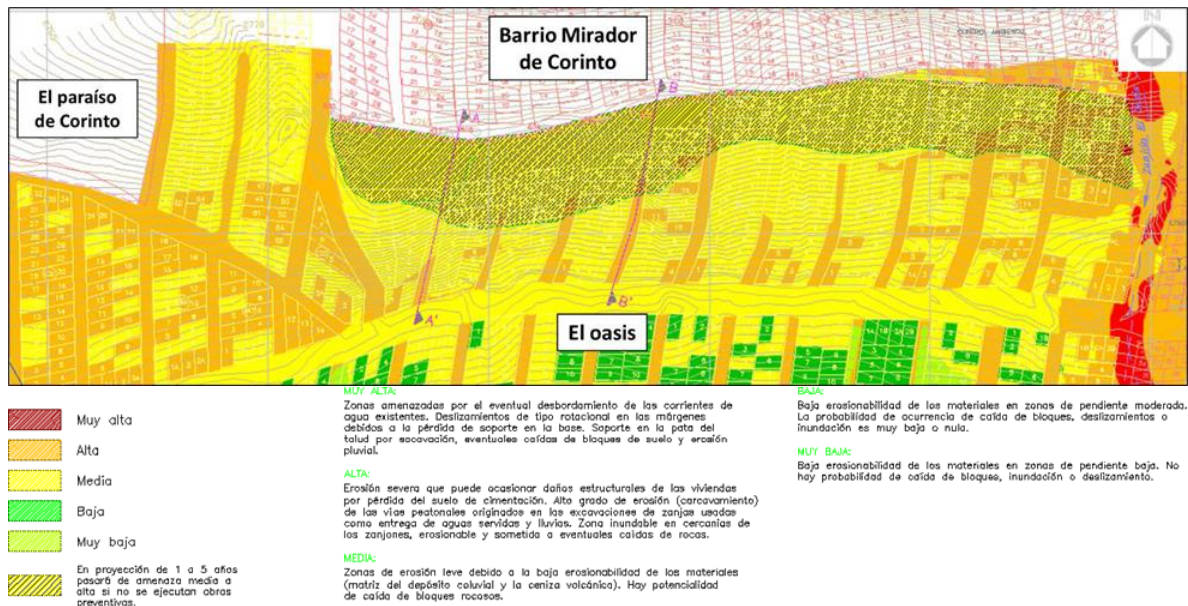


Figura 3. Zonificación de amenaza del Barrio Oasis (Ingeniería y Geotecnia S.A.S, 2002)

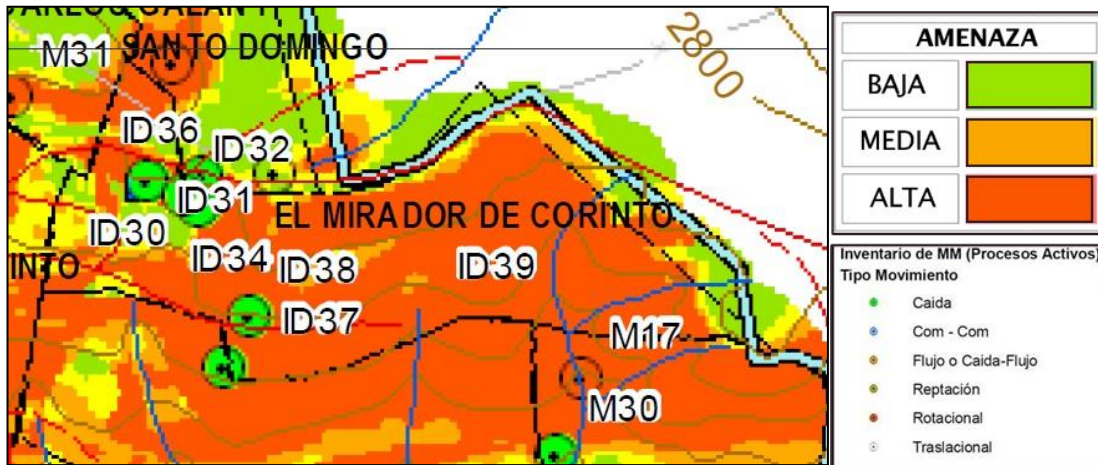


Figura 5. Zonificación de amenaza escenario extremo para el barrio Mirador de Corinto (Servicio Geológico Colombiano, 2012).

2.2 Información Primaria

Con base en la información secundaria recopilada del barrio Mirador de Corinto, se realizaron las siguientes actividades con el fin de actualizar y confirmar la información recolecta. Con este fin se logró identificar las zonas inestables, confirmar los materiales presentes, actualizar su distribución sobre el barrio y generar un modelo geológico geotécnico que permitiera analizar la estabilidad de la zona estudio.

- **Exploración Geotécnica**

Para la elaboración de este estudio y como parte de este proyecto se efectuó 5 perforaciones con equipo mecánico, 2 apiques y 5 líneas de refracción sísmica distribuidas de manera que se cubriera la totalidad del barrio y en los sitios críticos identificados en el levantamiento geológico, análisis de antecedentes y visitas de campo, en la Figura 6, se muestra la ubicación en planta de las perforaciones y líneas sísmicas realizadas.

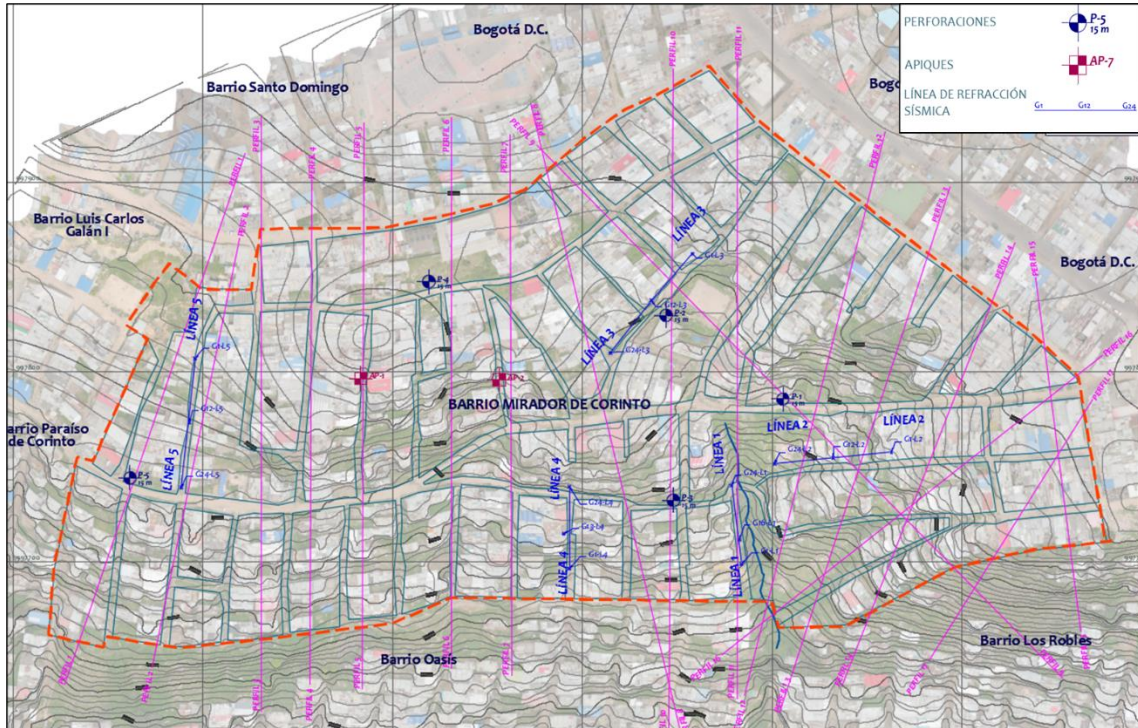


Figura 6. Plano de localización de la exploración realizada, que consistió en perforaciones con toma de muestras, apiques y líneas de geofísica realizadas en el sector de Mirador de Corinto, fuente Propia.

De esta exploración se encontró que el nivel del agua en las perforaciones se estabilizaba a una profundidad de 1.0 m bajo la superficie actual del terreno.

- **Inventario de zonas inestables**

Se realizó un inventario de las zonas inestables ante deslizamientos y caídas de bloques de roca, para ello se realizó un análisis multitemporal, visitas de campo al barrio y un taller de socialización con la comunidad para que reportaran de manera directa los procesos que los afectaban, ver Figura 7.


 ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO	TALLER DE SOCIALIZACIÓN CON LA COMUNIDAD PARA ESTUDIO DE AMENAZA POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA BARRIO MIRADOR DE CORINTO			
	FECHA:	SEPTIEMBRE 25 DE 2021	DEPARTAMENTO:	CUNDINAMARCA
	HORA:	09:00 a. m.	MUNICIPIO:	SOACHA
	ENCARGADO:	ING. LUZ NELLY TORRES	BARRIO:	MIRADOR DE CORINTO
NOMBRE DEL ENCUESTADO:	_____			
DIRECCIÓN:	_____			
TIPO DE VIVIENDA <small>Nota: Marque con una X en la casilla en blanco.</small>	CASA		APARTAMENTO	
	ARRENDADA		PROPIA	
¿CUÁNTO TIEMPO QUE LLEVA EN LA VIVIENDA?				
¿SU CASA TIENE MUROS EN BLOQUE O LADRILLO? <small>Nota: Marque con una X en la casilla en blanco.</small>		SI		NO
¿SU CASA TIENE PISOS TERMINADOS? <small>Nota: Marque con una X en la casilla en blanco.</small>		SI		NO
¿CUANTOS PISOS TIENE SU CASA?				
¿QUÉ TIPO DE TEJAS TIENE SU CASA?				
¿SU CASA TIENE AGRIETAMIENTOS? <small>Nota: Marque con una X en la casilla en blanco. Si su respuesta es afirmativa por favor indique en qué parte de la estructura de su casa tiene agrietamientos, en caso contrario omita.</small>		SI		NO
¿EN MUROS?	¿EN PISOS?	¿EN EL TECHO?		
¿SABE CÓMO SON LOS CIMIENTOS DE SU CASA? DESCRÍBALOS	_____ _____ _____			
¿SU CASA TIENE ALCANTARILLADO DE AGUAS NEGRAS? <small>Nota: Marque con una X en la casilla en blanco.</small>		SI		NO
¿EN SU CASA HAN HABIDO PROBLEMAS DE INESTABILIDAD DEL TERRENO? <small>Nota: Marque con una X en la casilla en blanco. Indique que tipo de inestabilidad ha presentado</small>		SI		NO
¿DESLIZAMIENTOS?		¿CAIDA DE ROCAS ?		
¿HACE CUÁNTO SE PRESENTÓ? Y FUE POR LLUVIAS O POR ALGÚN TRABAJO CERCANO O EXCAVACIÓN?		_____		
DESCRÍBALOS		_____		
¿PIENSA QUE ESTOS MOVIMIENTOS SON UN PELIGRO PARA USTED Y SU FAMILIA? POR QUÉ?		_____		
¿ESTARÍA DISPUESTO A ENVIAR UNA FOTO?		SI		NO
¿ESTÁ DISPUESTO A SER VOLUNTARIO PARA EXCAVAR APIQUES PARA LOS ESTUDIOS?		SI		NO
DUDAS Y SUGERENCIAS		_____		
POR FAVOR DIRÍJASE AL MAPA Y ANOTE EL NÚMERO QUE SE LE ASIGNÓ EN EL PLANO EN DONDE SE UBICA SU CASA				

Figura 7. Encuesta taller de socialización Estudio de Zonificación de Amenaza por Remoción en Masa escala 1:1000 barrio Mirador de Corinto. Soacha. Elaboración Propia

Al contrastar esta información con el análisis multitemporal del barrio y logró genera un inventario de procesos tipo deslizamiento Figura 8 y un inventario de procesos tipo caída de bloques de roca, Figura 9.



Figura 8 Procesos de remoción en masa identificados sobre el barrio Mirador de Corinto.

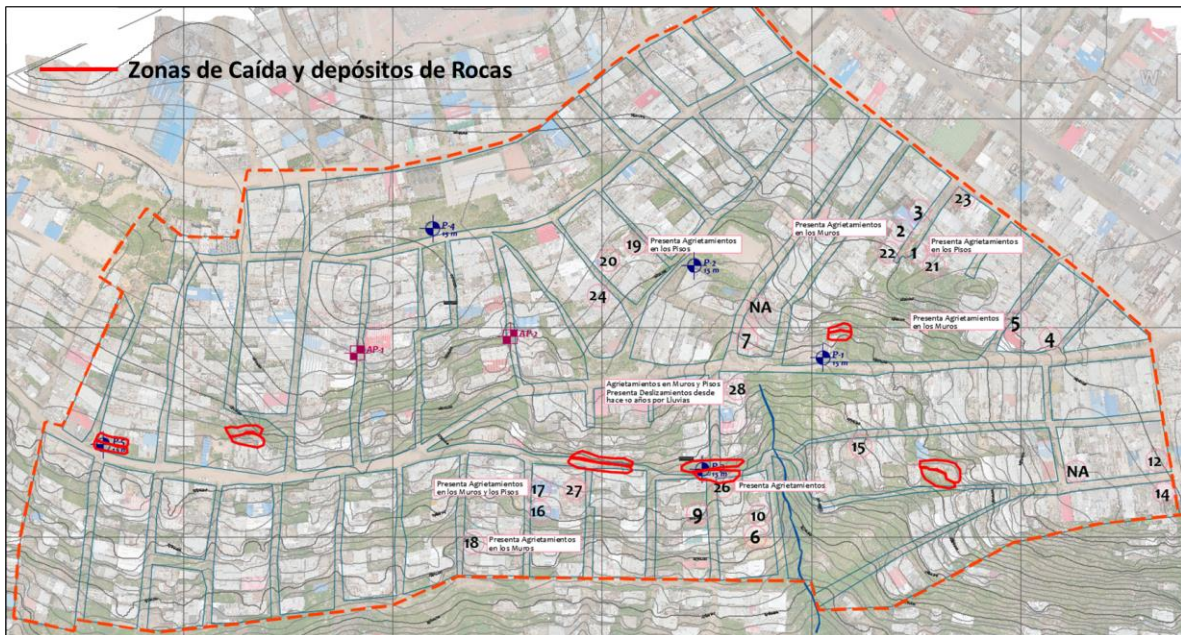


Figura 9. Zonas en las que se identificaron caídas y depósitos de rocas recientes.

- **Análisis de susceptibilidad**

Con el fin de identificar las características físicas que contribuyen más para la generación de procesos de remoción en masa e identificar las zonas de mayor susceptibilidad dentro del barrio, se realizó un análisis de susceptibilidad siguiendo la Guía Metodológica para zonificación de Amenaza por remoción en masa escala 1:25.000 (Servicio Geológico Colombiano, 2017). Para la correcta aplicación de esta metodología fue necesario la utilización del programa QGIS que es un software de sistema de información geográfico (SIG).

Con la aplicación de la metodología se logró obtener el mapa de susceptibilidad que se muestra en la Figura 10, como se observa en esta figura la distribución de deslizamientos y caída de bloques es coherente con el mapa de susceptibilidad dado a que cae en zonas de susceptibilidad alta y media. Este mapa permitió identificar las zonas de una alta susceptibilidad por las cuales se definió las secciones de análisis para la determinación de la amenaza de la zona de estudio.

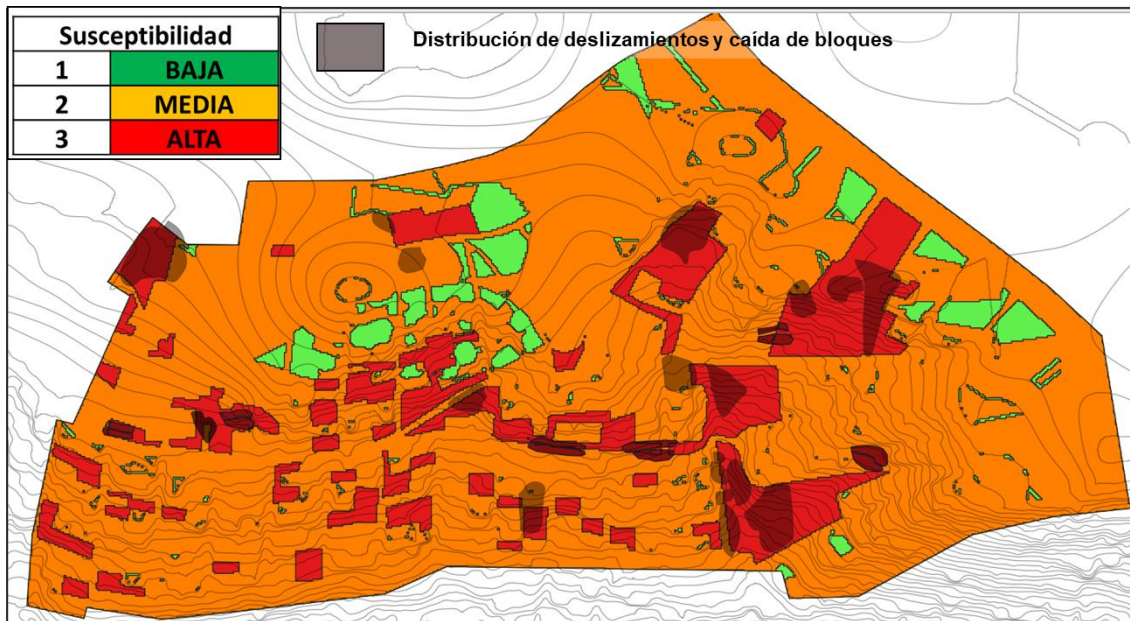


Figura 10. Mapa de susceptibilidad ante movimientos en masa tipo deslizamiento y caída de bloques de roca.

3 MODELO GEOLOGICO GEOTECNICO

Durante el trabajo de campo y la campaña exploratoria se logró determinar que el perfil estratigráfico del barrio se define en su mayoría como roca meteorizada de la Formación Arenisca Labor-Tierna en las zonas en que el Servicio Geológico Colombiano (2012) determinó la presencia de esta formación. Este material se compone de bloques de roca con una matriz arcillosa de alta plasticidad con lentes de arena limosa con humedades entre 13% - 26% y límites líquidos entre 37% - 82%, se caracteriza por tener valores de N superiores a 50 golpes/pie, valores de RQD iguales a cero y velocidades de onda cercanos a 600 m/s, estos alcanzan a tener espesores entre los 5.0 m y los 25 m.

Superficialmente también se encuentra el suelo residual de la Formación Arenisca Labor-Tierna, el cual se compone por arenas limosas y arcillas de alta y baja plasticidad, con valores de humedad entre 15% - 29% y límites líquidos entre los 23% y 93%, este material se caracteriza por tener valores de N inferiores a 50 golpes/pie y velocidades de onda inferiores a 400 m/s

Adicionalmente, en algunas zonas se encontró depósitos coluviales con espesores entre 3.0 y 4.0 m, los cuales se caracterizan por poseer materiales sueltos y de

composición heterogénea, conformados por fragmentos de roca de tamaño variable de unos pocos centímetros hasta de 2.0 m envueltos en una matriz fina de arcilla y limo de alta y baja plasticidad.

A profundidades superiores a 20 m se encuentra la roca sana de la Formación Arenisca Labor-Tierna en la cual se obtienen velocidades de onda Vs superiores a 760 m/s.

A partir de la zonificación de susceptibilidad efectuada se definió 17 secciones o perfiles de análisis en todas las direcciones (líneas de color rosado), cubriendo el área del barrio y cruzando preferiblemente de manera perpendicular las curvas de nivel en cada sitio tal como se muestra en la Figura 11. Así mismo, se realizó 6 perfiles adicionales (líneas de color verde) para establecer las distancias máximas de recorrido de los bloques de roca presentes en la zona de estudio.

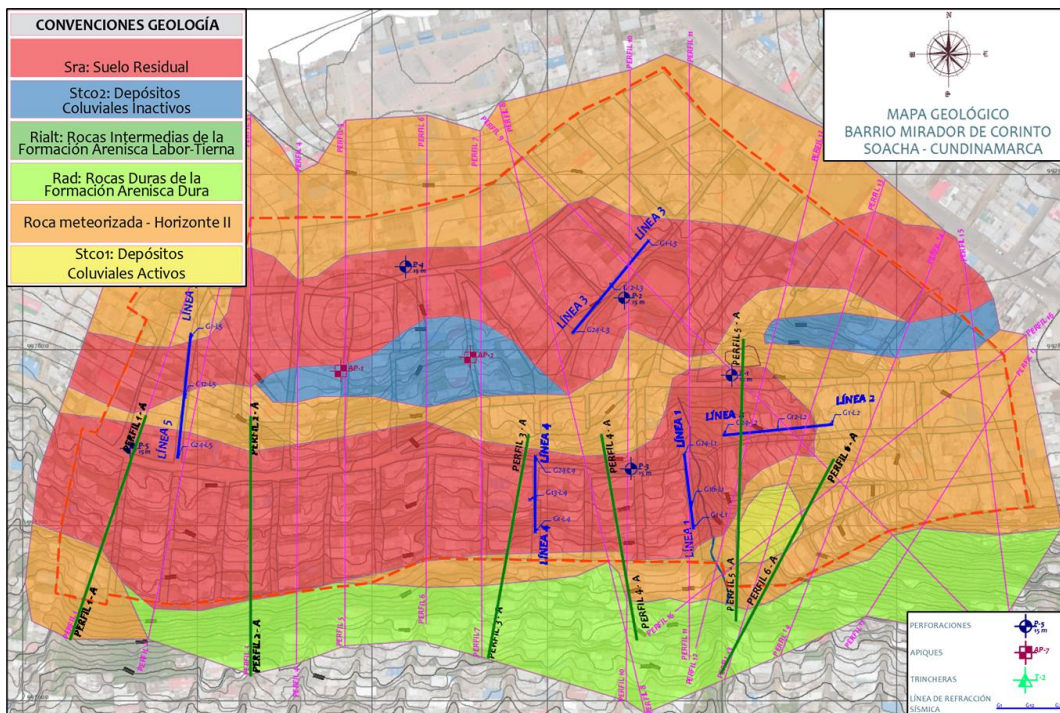


Figura 11. Esquema del Barrio Mirador de Corinto y de los perfiles de análisis. Elaboración propia.}

Debido a que la metodología del SGC (2015) determina la amenaza por medio de la probabilidad de falla, se requirió la utilización del programa Slide con el cual se logró determinar la probabilidad de falla para los escenarios que combinan las diferentes condiciones de lluvia y sismo para varios periodos de retorno.

Para ello se requiere ingresar como datos de entrada los valores medios y las desviaciones estándar de los parámetros de resistencia al corte de cada unidad Geológica, la determinación de dichas variables se realizó teniendo en cuenta toda la información de parámetros de resistencia recopilada con los ensayos de corte

directo realizados en laboratorio, las correlaciones con los ensayos de SPT realizados en campo y los valores de resistencia al corte de estudios aledaños y cercanos, obteniendo así los datos que se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Tabla resumen de parámetros medios y desviaciones estándar para cada uno de los estratos que se encuentran en el barrio Mirador de Corinto.

Promedios			
	C (T/m²)	φ (°)	γ (T/m³)
Sra - Rialt: Suelo Residual	1,4	29,0	2,0
Stco i: Suelos coluviales	2,8	19,2	1,6
Roca Meteorizada	2,6	25,1	2,0
Rialt: Fm Arenisca labor tierna	7,4	30,5	2,3
Rdad: Fm Arenisca dura	56,30	41,10	2,09
Desviación estándar			
Sra - Rialt: Suelo Residual	1,0	11,5	0,1
Stco i: Suelos coluviales	0,93	3,52	0,01
Roca Meteorizada	2,2	5,8	0,1
Rialt: Fm Arenisca labor tierna	5,9	12,9	0,2
Rdad: Fm Arenisca dura	77,5	13,4	0,1
Coefficiente de variación			
Sra - Rialt: Suelo Residual	73%	40%	6%
Stco i: Suelos coluviales	33%	18%	1%
Roca Meteorizada	85%	23%	5%
Rialt: Fm Arenisca labor tierna	80%	42%	8%
Rdad: Fm Arenisca dura	138%	33%	5%

Debido a los procesos existentes activos identificados sobre la zona de la Quebrada se realizó una calibración de parámetros sobre el perfil 11 y 13 mediante retrocálculo para obtener un F.S igual a 1,0 con agua extrema y sin sismo, los resultados de dichos análisis se muestran en la Figura 12 y la Figura 13, los parámetros de resistencia obtenidos son los que se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Resumen de parámetros y valores estadísticos para cada uno de los estratos para los análisis sobre el barrio Mirador de Corinto.

Promedios			
	C (T/m ²)	φ (°)	γ (T/m ³)
Sra - Rialt: Suelo Residual	1,4	29,0	2,0
Stco i: Suelos coluviales	2,8	19,2	1,6
Roca Meteorizada	2,6	25,1	2,0
Rialt: Fm Arenisca labor tierna	7,4	30,5	2,3
Rdad: Fm Arenisca dura	56,30	41,10	2,09
Desviación estándar			
Sra - Rialt: Suelo Residual	1,0	11,5	0,1
Stco i: Suelos coluviales	0,93	3,52	0,01
Roca Meteorizada	2,2	5,8	0,1
Rialt: Fm Arenisca labor tierna	5,9	12,9	0,2
Rdad: Fm Arenisca dura	77,5	13,4	0,1
Coeficiente de variación			
Sra - Rialt: Suelo Residual	73%	40%	6%
Stco i: Suelos coluviales	33%	18%	1%
Roca Meteorizada	85%	23%	5%
Rialt: Fm Arenisca labor tierna	80%	42%	8%
Rdad: Fm Arenisca dura	138%	33%	5%

4 ZONIFICACIÓN DE AMENAZA

Siguiendo la guía metodológica para estudios detallados (Servicio Geológico Colombiano , 2015) se efectuó los análisis de estabilidad para los diferentes escenarios de variación del nivel freático (Tabla 3) y de ocurrencia de sismos (Tabla 4). En total para cada sección de análisis se tienen 30 escenarios, producto de las combinaciones de lluvia y sismo.

Tabla 3. Escenarios de variación de nivel freático evaluados, determinados según la guía metodológica (Servicio Geológico Colombiano , 2015).

Periodo de retorno lluvia	Probabilidad anual de ocurrencia	Profundidad Nivel Freático (m)
2,33	0,429	0,91
5	0,200	0,69
10	0,100	0,55
20	0,050	0,42
50	0,020	0,29
100	0,010	0,19

Tabla 4. Escenarios sísmicos evaluados (Servicio Geológico Colombiano; Universidad Nacional de Colombia, 2010).

Periodo de retorno (años)	Probabilidad anual de excedencia	Aceleración de análisis (g)
0	1,0000	0,000
31	0,0317	0,032
225	0,0044	0,104
475	0,0021	0,152
975	0,0010	0,216

Con fines de zonificación, debido a que cada sección de análisis corta zonas con diferentes pendientes y unidades geotécnicas, en cada sección se efectuaron tres análisis, uno para la parte alta de la sección, otro para la parte media y finalmente uno para la parte baja, a manera de ejemplo en la Figura 14 se muestra los análisis realizados en el perfil 1.

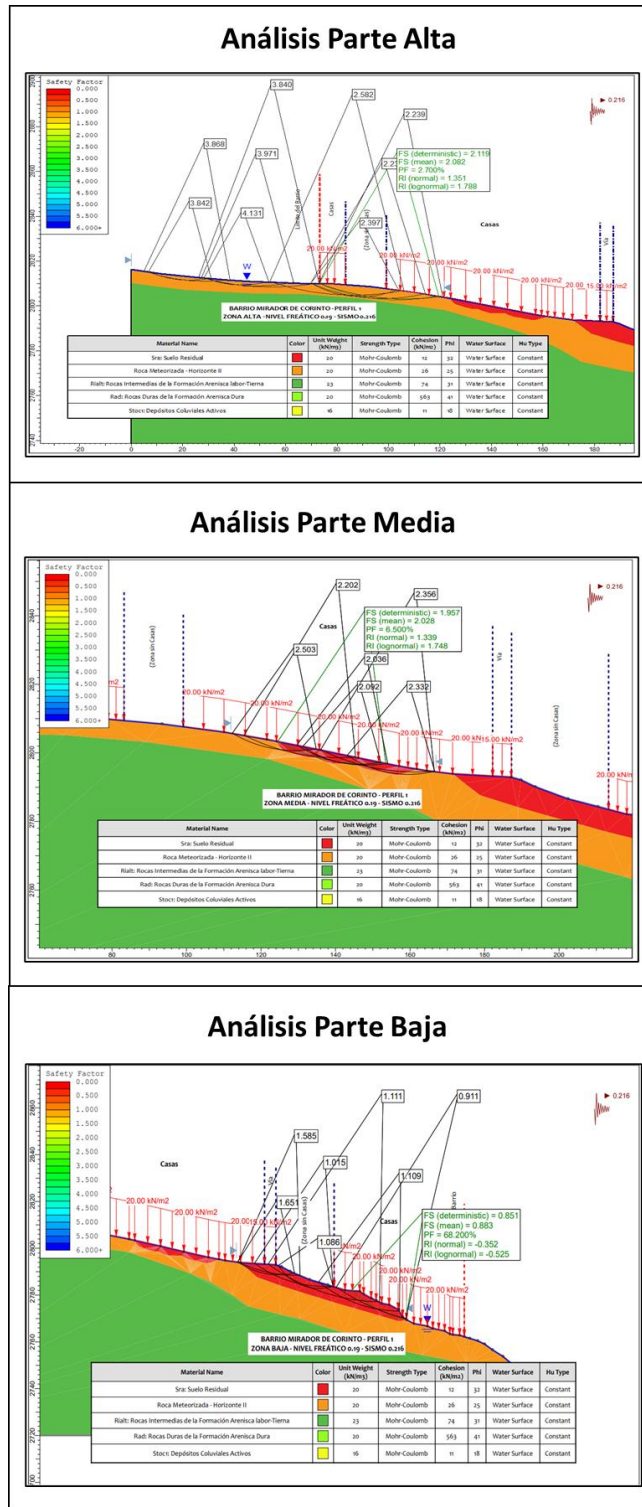


Figura 14. Esquema de ejemplo de los límites de análisis para condición parte alta, parte media y baja de la sección 1.

Siguiendo la metodología del Servicio Geológico Colombiano, el criterio que se utiliza para la zonificación de amenaza es el que se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5. Zonificación detallada de amenaza según la probabilidad de falla anual (Servicio Geológico Colombiano, 2015)

Probabilidad de Falla Anual	Probabilidad de Falla Anual %	Amenaza
<0.001	<0.1%	BAJA
0.001 -0.16	0.1%-16%	MEDIA
>0.16	>16%	ALTA

Adicionalmente, con el fin de tener los mismos criterios usados en el estudio de Altos de la Florida, se zonificó la amenaza según el criterio de dicho estudio el cual se muestra (Pontificia Universidad Javeriana, 2019) el cual se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6. Criterios de zonificación de la amenaza según el estudio de Altos de la Florida (Pontificia Universidad Javeriana, 2019).

Probabilidad de Falla Anual	Probabilidad de Falla Anual %	Índice de confiabilidad	Amenaza
<0.001	<0.1%	>3	BAJA
0.001 -0.01	0.1%-1%	2.3-3.0	MEDIA
>0.01	>1%	<2.3	ALTA

Adicionalmente, en las zonas en donde se encontró afloramientos de bloques de roca, se realizó un análisis de caída de bloques para determinar las distancias máximas de viaje de los posibles bloques de rocas que se desprenderían de la ladera.

4.1 Zonificación de amenaza en condición actual

En la Figura 15 se muestra el mapa de amenaza en condición actual según el criterio del Servicio Geológico Colombiano (2015) y en la Figura 16 el mapa de amenaza según el criterio del Estudio de Altos de la Florida (2019). Para la elaboración de estos mapas se tuvo en cuenta los siguientes criterios:

- Los escarpes presentes en la zona de estudio se clasificaron como zonas de amenaza alta, lo anterior está soportado con los resultados de las modelaciones hechas.
- En las zonas donde se encontraron afloramientos de bloques de roca del macizo rocoso, en los cuales se determinó las distancias máximas de viaje de los bloques de roca desde el punto de origen se clasificó como zona de amenaza Alta.

- Las partes altas de las laderas fueron catalogadas como amenaza baja debido a que son zonas donde no hay fuertes pendientes, lo anterior esta soportado con las modelaciones hechas.
- En las zonas donde se tenían zonas de amenaza Alta contiguas a zonas de amenaza Baja, se definió una zona de transición de amenaza Media, con base en los anchos de afectación obtenidos de las modelaciones.
- En las zonas que no están impermeabilizadas y que actualmente están siendo erosionada por el inadecuado manejo y control de agua del barrio, se catalogó como zonas de amenaza media.
- La zona por donde pasa la quebrada se determinó como zona de amenaza alta debido a que actualmente dicha quebrada se utiliza como vertedero de agua residuales de las casas adyacentes, lo cual inestabiliza dicha zona, lo anterior esta también sustentado con las modelaciones.

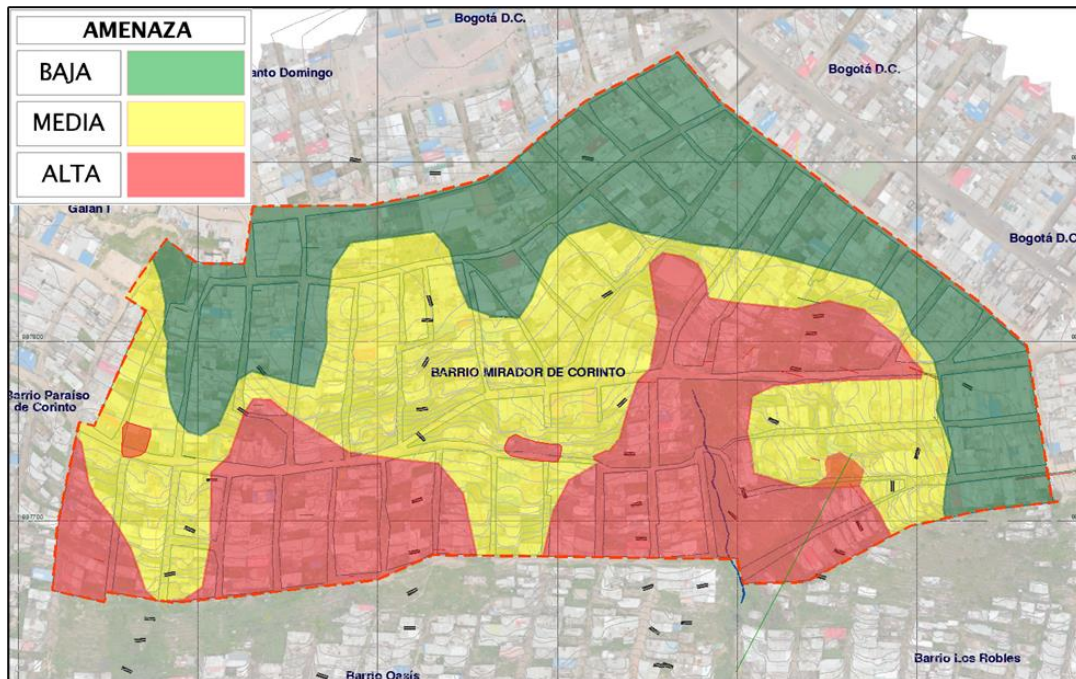


Figura 15. Mapa de Amenaza en condición actual según el criterio del Servicio Geológico Colombiano (2015)

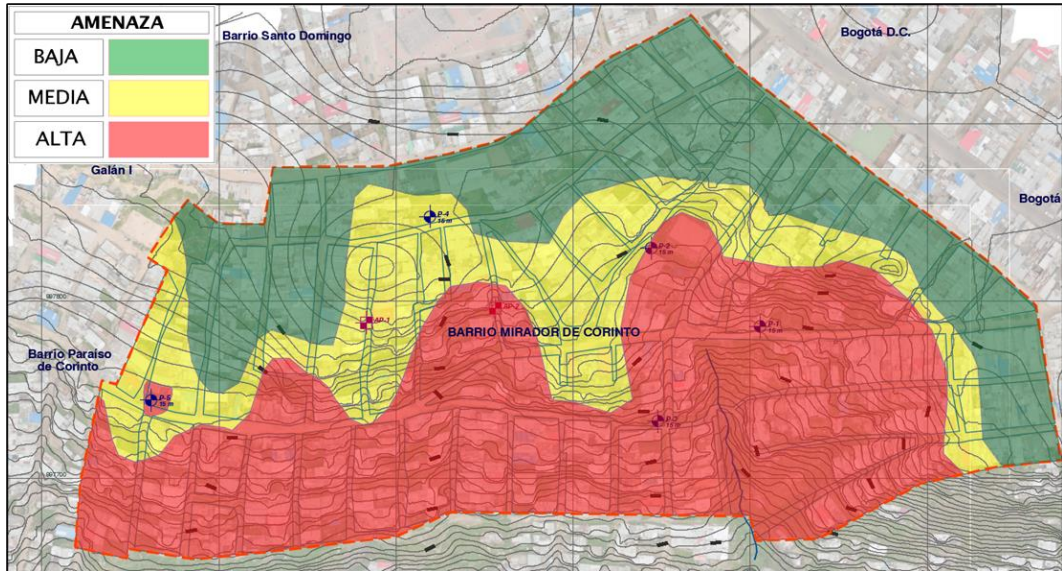


Figura 16. Mapa de Amenaza en condición actual según el criterio del Estudio de Altos de la Florida (2019).

4.2 Zonificación de amenaza con manejo de aguas

Adicionalmente se elaboró una segunda ronda de análisis de estabilidad considerando obras de mitigación orientadas al manejo de las aguas mediante la construcción de alcantarillado pluvial y algunos niveles de filtros que mantuvieran el nivel freático a una profundidad de -3.0 m, se obtuvo el mapa que se muestra en la Figura 17 según el criterio del Servicio Geológico Colombiano y el mapa que se muestra en la Figura 18 siguiendo el criterio de zonificación de amenaza del Estudio de Altos de la Florida.

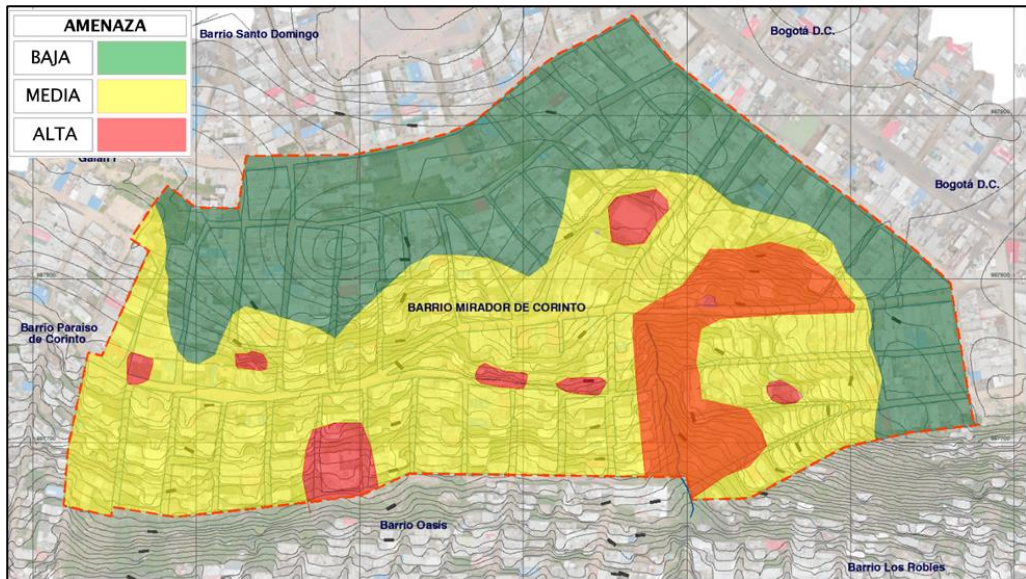


Figura 17. Mapa de Amenaza con un adecuado manejo de aguas según el criterio del Servicio Geológico Colombiano (2015).

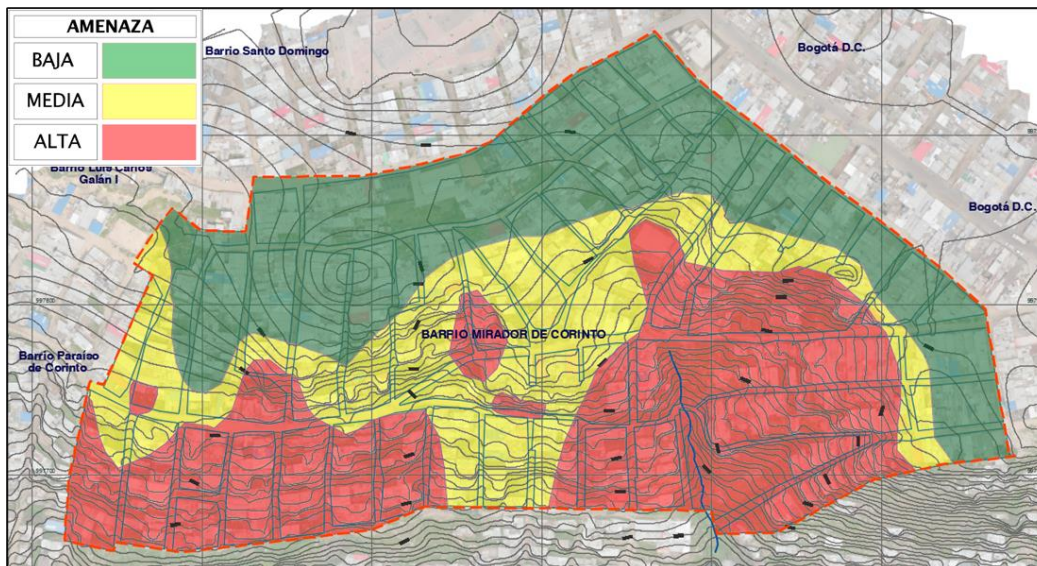


Figura 18. Mapa de Amenaza con un adecuado manejo de aguas según el criterio del Estudio de Altos de la Florida (2019)

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con la elaboración de este estudio se logró definir un modelo geológico geotécnico específico de la zona de estudio, el cual permitió definir una zonificación geotécnica asociada a las condiciones de pendiente, espesores de materiales, procesos morfodinámicos y variación del nivel de agua presentes en el barrio Mirador de Corinto. Así mismo, fue posible la elaboración de un mapa de susceptibilidad que identificara las zonas más críticas ante eventos de remoción por los cuales se definieron perfiles de análisis.

Se debe señalar que el taller realizado en el barrio y las visitas de campo fueron de vital importancia con el fin de identificar todas las condiciones a las cuales actualmente está expuesto el barrio Mirador de Corinto, por lo tanto, se recomienda que para la elaboración de estos estudios se realicen la mayor cantidad de visitas posibles con las cuales se pueda establecer las condiciones de la zona.

Con la definición del modelo geológico geotécnico, se logró obtener el mapa de zonificación de amenaza a escala 1:1000 del barrio Mirador de Corinto del municipio de Soacha, Cundinamarca, evaluando los diferentes escenarios de sismo y agua con los cuales se pudo determinar la probabilidad de falla para deslizamientos considerando la incertidumbre de los parámetros de resistencia del terreno. Este análisis realizado permitió llegar a las siguientes conclusiones y recomendaciones.

- Como se muestra en el mapa de amenaza en condición actual (Figura 15 y 16) las zonas de amenaza Alta se concentran principalmente en la zona inferior al barrio en la cual se presentan las mayores pendientes del terreno y donde se encuentran los mayores espesores de suelos residuales de la Formación Arenisca Labor-Tierna. Adicionalmente, alrededor de la zona de la quebrada presenta una mayor área de amenaza Alta dado al manejo inadecuado de las aguas lluvias que genera una erosión constante sobre esa zona.
- Cabe resaltar que en las zonas donde se encontraron afloramientos de bloques de roca sobre el barrio se presenta una amenaza Alta, debido a que pueden presentarse procesos de caída de bloques por consecuencia de la erosión del agua y a los cortes generados para la construcción de viviendas.
- Las zonas de amenaza Baja y Media sobre el barrio pueden empeorar en la medida en que se siga permitiendo cortes verticales para la construcción de viviendas y se siga teniendo un manejo inadecuado de las aguas residuales y de las aguas lluvias que pueden continuar erosionando los materiales presentes en la zona de estudio.
- Como se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** al comparar la zonificación amenaza en condición extrema realizada por el Servicio Geológico Colombiano en el 2012 con los mapas obtenidos con los diferentes criterios, gran parte de la parte alta del barrio Mirador de Corinto cambia de una amenaza Alta a una amenaza Media o Baja. Esto se debe a que el análisis realizado se basó en datos recopilados exclusivamente del Barrio Mirador de Corinto, así mismo el análisis permitió determinar todos los posibles escenarios de nivel freático y sismo posibles en la zona de estudio y evaluarlos ante una probabilidad de falla.

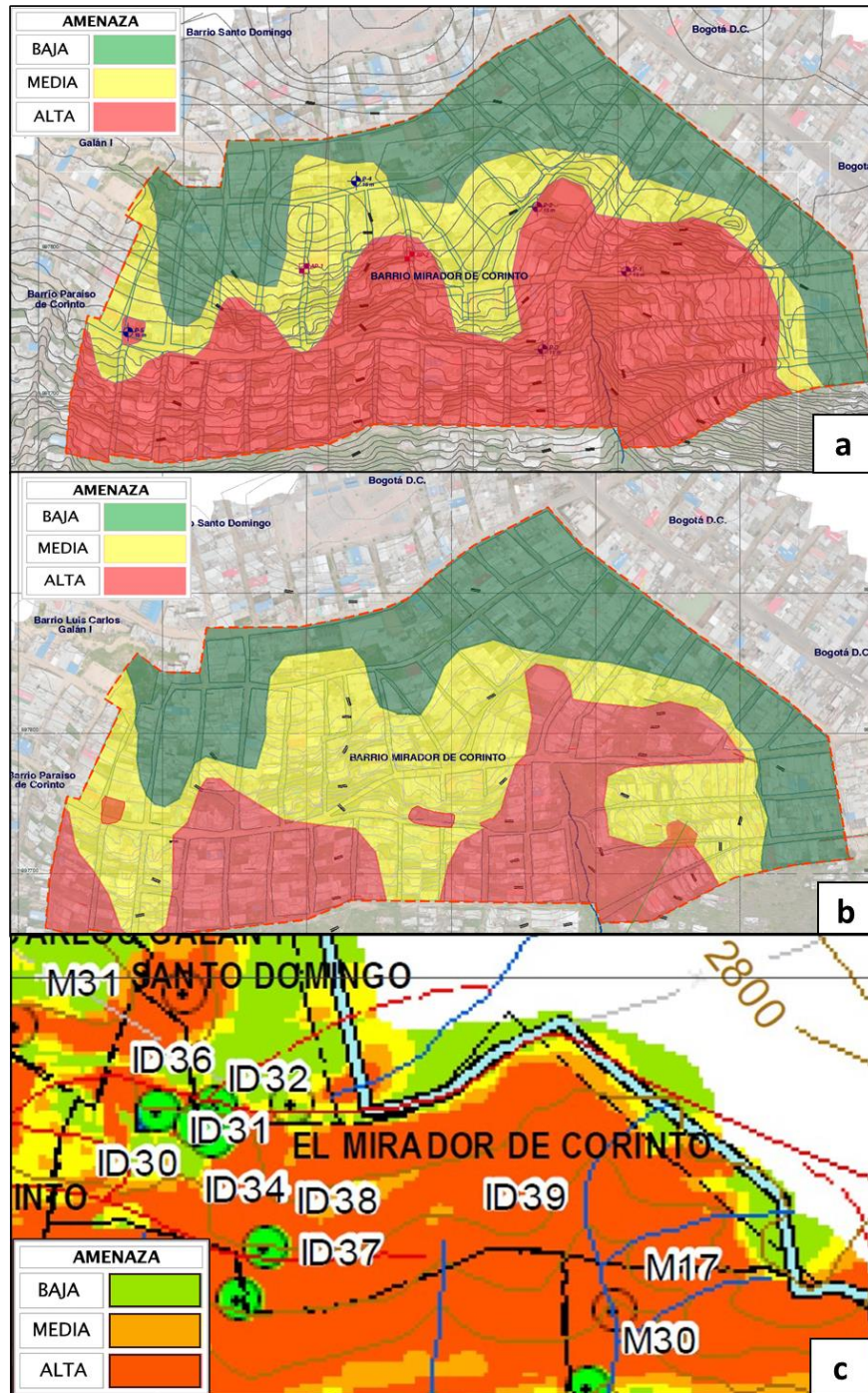


Figura 19. Comparación entre la zonificación de amenaza (a) Mapa de amenaza según la zonificación del estudio de Altos de Florida;(b) Mapa de amenaza según la zonificación del Servicio Geológico Colombiano (2015); (c) Mapa de amenaza obtenida por el Servicio Geológico Colombiano en el 2012.

- Teniendo en cuenta que los rangos de probabilidad de falla están asociados al índice de confiabilidad es recomendable efectuar análisis más detallados que incluyan exploración adicional del suelo mayor muestreo y ensayos de

laboratorio que permitan disminuir la incertidumbre en la obtención de los parámetros de resistencia y la distribución y variabilidad espacial de los mismos de manera que se puedan ajustar aún más los rangos de clasificación de amenaza y se cuente con un mapa más acorde con las condiciones del sitio

- Con el análisis realizado y la disminución de la zonificación de amenaza Alta sobre el barrio Mirador de Corinto es un claro indicativo de que el principal detonante de inestabilidad presente en el barrio es el agua, ya que actualmente el agua servida del barrio es desaguada directamente sobre las vías y en otros sectores el vertimiento de las aguas se realiza sobre laderas y zonas sin urbanizar. Al controlar esta situación con un adecuado manejo de aguas, como se muestra en las figuras 17 y 18, se logra reducir las zonas de amenaza alta y aumentar las zonas de amenaza media y baja.
- Es de vital importancia adelantar la construcción de sistemas de alcantarillados sanitario y pluvial adecuados, así mismo como la construcción de cunetas y zanjas revestidas para reducir la infiltración del agua sobre en la ladera.

A continuación, se presentan los mapas a escala 1:1000 resultantes para la zonificación de Amenaza tanto para la condición actual como para la condición con obras de mitigación referentes al manejo de aguas.

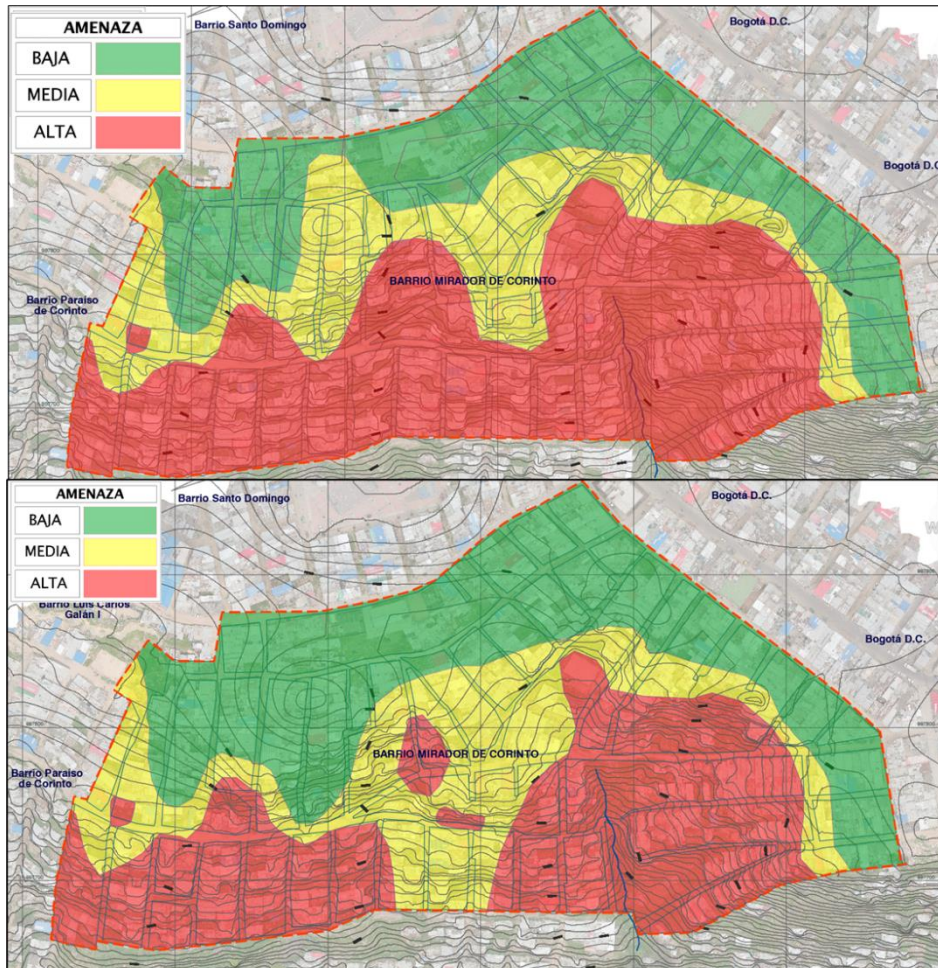


Figura 20. Comparación entre la zonificación de amenaza en la condición actual (a) y la obtenida con un adecuado manejo de aguas (b).

- En la zona de la quebrada se requiere establecer una zona de ronda en la cual los habitantes del barrio no establezcan viviendas, dado que en la medida que se sigan estableciendo viviendas alrededor y que se siga vertiendo las aguas residuales empeorarán las condiciones de estabilidad de la zona.
- En las zonas donde existe la posibilidad de caídas de bloques de roca, se requiere la implementación de obras de estabilización o eliminación de los bloques sueltos o la construcción de barreras rígidas o flexibles que impidan el paso de estos bloques sobre las viviendas o vías. Así mismo, dado el incremento de las zonas urbanizadas en el barrio se recomienda restringir las alturas de los cortes en cualquier material a no más de 2.0 m para no inducir efectos en los predios vecinos; cabe resaltar que estos cortes deben ser protegidos ante la posible erosión del agua y que si superan dichas alturas se requerirán de obras de contención las cuales deben contar con diseños técnicos.

- La amenaza Alta sobre la quebrada se mantiene a pesar de realizar un adecuado manejo de aguas, debido a que esta zona requiere de obras de estabilización de mayor envergadura, así mismo, se requiere realizar obras de control de erosión con el cual se asegure que el agua que circula no siga erosionando el pie del talud y que aumenten la pendiente en dicha zona. Adicionalmente, se requiere que los habitantes del barrio no sigan depositando el agua residual en dicha zona con el fin de evitar que se generen incrementos de caudal sobre la quebrada y que se siga erosionando el material presente en dicha zona.

Los planos de zonificación de amenaza fueron elaborados en la plataforma del Sistema de Información Geográfico QGis, aparecen en el Anexo F y se pueden abrir en dicha plataforma en el siguiente enlace:

<https://drive.google.com/drive/folders/18lpqQFaVulQ2DYno8o7uXr9SZWi2KvsQ?usp=sharing>

6 REFERENCIAS

- González, Á. (1999). Estimación de Parametros efectivos de resistencia con el SPT. *Jornadas Geotécnicas de la Ingeniería de Colombia*. SCI – SCG, 1-12.
- Ingeniería y Geotecnia S.A.S. (Enero de 2002). *Consultoría para el estudio de amenaza y riesgo por fenómenos de remoción en masa para el proyecto de vivienda y obras de acueducto y alcantarillado del barrio el Oasis*. Soacha: Medicos Sin Fronteras.
- Ingeniería y Geotecnia S.A.S. (2022). *Exploración geofísica Mirador de Corinto en el municipio de Soacha*. Bogotá: Ingeniería y Geotecnia S.A.S.
- Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia. (2010). *Leyenda nacional de cobertura de la tierra. Metodología Corine Land Cover, adaptada para Colombia a escala 1:100.000*. Bogotá: IDEAM.
- Pontificia Universidad Javeriana. (2019). *Evaluación de riesgo por movimientos en masa sector Altos de la Florida Soacha-Cundinamarca*. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.
- Servicio Geológico Colombiano . (2015). *Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa*. Bogota: Servicio Geológico Colombiano.
- Servicio Geológico Colombiano. (2012). *Zonificación geomecánica y de amenazas por movimiento en masa en el municipio de Soacha Cundinamarca zona urbana y de expansión urbana escala 1:5000*. Bogota: Ministerio de Minas y Energía.
- Servicio Geológico Colombiano. (2017). *Guía Metodológica para la zonificación de Amenaza por movimientos en masa*. Bogotá: Servicio Geológico Colombiano.
- Servicio Geologico Colombiano; Universidad Nacional de Colombia. (2010). *Estudio de evaluación de la Amenaza Sísmica de Colombia*. BOGOTA: Universidad Nacional de Colombia.