

Zonificación de amenazas por deslizamientos a partir del modelo de Mora y Vahrson*

Zoning of hazards by landslides starting from the model Mora and Vahrson

Elisa Mercedes Sandoval Sierra

Geógrafa, Universidad del Valle
elisa0792@hotmail.com

Daniel Ruiz Figueroa

Geógrafo, Universidad del Valle
danisac187@hotmail.com

Resumen: en la actualidad, las ciudades afrontan múltiples amenazas tanto naturales como antrópicas, se presentan problemas urbanos que a su vez tienen una cierta relación con el desarrollo de las comunidades, sin embargo, cuando a la incidencia antrópica se le suman las fuerzas naturales se propician los desastres. Por ello es importante estudiar los desastres desde todos los ámbitos. En esta investigación, se presenta una zonificación de la amenaza ante deslizamientos en el barrio El Mortiñal, localizado en la zona de ladera al noroccidente del municipio de Santiago de Cali. El estudio se realizó a partir de la aplicación del método de Mora y Vahrson, con lo cual se determinaron las áreas de mayor afectación y ocurrencia del fenómeno de deslizamiento en la zona de estudio. Como resultado de la zonificación, se obtuvo que las áreas correspondientes a amenazas altas y medias son las más representativas en el mapa obtenido. Es por ello que hay que trabajar con las comunidades locales, en primera medida dando a conocer el riesgo al que se encuentran expuestos y establecer medidas de gestión para minimizar los futuros daños generados por este tipo de amenaza en el área de estudio.

Abstract: today, the cities facing multiple hazard, natural and anthropogenic, urban problems

Recibido: febrero 2017

which, in turn, has a certain relation with the development of communities, however, when the natural forces joined incidence human will lead to disaster occur. Is it therefore, that in this research presented a zoning of the hazard to landslide in the neighborhood Mortiñal, located in the hillside area to the Northwest of the municipality of Santiago de Cali.

The study was conducted through the application of the method of Mora y Vahrson, which identified the areas most affected and occurrence of the phenomenon of landslides in the study area. Obtained as a result of zoning, than the corresponding hazards areas high and middle are the most representative in the retrieved map. For that reason, have to work with local communities, in first step to meet the risk you are exposed and to establish management measures to minimize future damage generated by this type of hazard in the study area.

Keywords: hazards, landslides, methodology Mora y Vahrson, hillside, Geographic Information System.

Palabras claves: amenaza, deslizamiento, metodología Mora y Vahrson, ladera, Sistemas de información geográfica.

Aceptado: mayo 2017

* Este artículo se deriva del trabajo de grado titulado: "Implementación de la gestión del riesgo ante procesos de remoción en masa en la comunidad infantil del barrio El Mortiñal, Santiago de Cali", con el cual se obtuvo el título de geógrafa y geógrafo de la universidad del Valle, 2015.

Introducción

Actualmente gran cantidad de ciudades del mundo viven en situaciones sociales y económicas desfavorables lo que lleva a la marginalidad y exclusión a una parte de su población. Desde esta perspectiva el análisis de segregación espacial y socioeconómico es una de las cuestiones de mayor importancia al momento de estudiar la espacialidad humana en el ámbito urbano, ya que, como señala Ainstein (1998), las ciudades se desarrollan en un creciente contexto de integración mundial, pero desafortunadamente no como estructuras integradas, pues en su interior se producen las mayores asimetrías socioespaciales (Buzai, Baxendale, Rodríguez y Escanes, 2003). Además, el fenómeno del desplazamiento los obliga a reubicarse en nuevos espacios o asentamientos en áreas de alto riesgo. Debido a esto, las comunidades desarrollan sistemas de adaptación al medio de una manera informal, sin contemplar el riesgo al que se enfrentan; sólo cuando los sucesos naturales exceden la capacidad de los sistemas sociales, se pone en evidencia la falta de adaptación y los límites de la eficacia de los sistemas que se han aplicado para evitar algún desastre. Ante la carencia de planes reguladores y políticas de ordenamiento en la ciudad de Santiago de Cali, se encuentran asentamientos irregulares de ladera, los cuales están localizados sobre áreas de alta inestabilidad y en ocasiones en áreas que estuvieron expuestos a explotación minera. Es por ello, que este trabajo tiene como finalidad realizar la zonificación de amenazas ante deslizamientos en el barrio El Mortiñal a partir de la combinación de los factores pasivos y de disparo propuestos en la metodología de Mora y Vahrson, usando los sistemas de información geográfica como herramienta para la obtención de los resultados, con el fin de determinar la clasificación de amenaza, evitando la incertidumbre de cuáles son las áreas de mayor afectación ante este tipo de fenómenos en esta zona, generando información relevante para tomar mejores decisiones en la planeación de proyectos orientados a los riesgos y su gestión. El artículo está estructurado en 4 apartados, el primero dedicado a un marco conceptual orientado a los términos que abarca la zonificación de amenaza. El segundo, se plantea la metodología propuesta para la realización de este estudio, el tercero y cuarto, presenta los aspectos generales del área a estudiar y los resultados de la determinación de áreas propensas a deslizamientos en la zona de estudio usando el modelo de Mora y Vahrson; y finalmente se concluye acerca de los resultados generados durante la investigación.

Marco conceptual

Los seres humanos, como los demás seres vivos, depende en gran medida del medio natural que lo rodea; es esencialmente la naturaleza, la que proporciona los elementos necesarios para la existencia de la sociedad, al mismo tiempo que lleva consigo toda una gama de amenazas que también le pueden llegar a afectar, es por ello que se realiza una revisión teórica de las posturas de distintos autores frente a las amenazas y especialmente a los deslizamientos.

Deslizamientos

Son procesos de transporte de material, y son definidos por Hauser (1993, citado por Lara & Sepúlveda 2008, p.3) como procesos de “*movilización lenta o rápida de determinado volumen de suelo, roca o ambos, en diversas proporciones, generados por una serie de factores*”. Estos movimientos, según Cruden (1991 citado por Lara & Sepúlveda 2008), tienen carácter descendente ya que están fundamentalmente controlados por la gravedad. Existen numerosas clasificaciones para los distintos tipos de eventos de deslizamientos, las cuales han sido formuladas, entre otros, por Varnes, Hauser y Cruden. Los deslizamientos, son clasificados por éstos en las siguientes categorías: desprendimientos o caídas, deslizamientos (rotacionales y traslacionales), flujos, toopling o volcamientos, y extensiones laterales.

Tabla 1. Clasificación de deslizamientos

Tipo de movimiento		Tipo de material	
Caída		Suelo	
Toppling			
Deslizamiento	Rotacional	Roca	Grano grueso (detritos, <80% partículas <2mm)
	Traslacional		
Extensiones laterales			
Flujos			
Complejos			

Fuente: Varnes (1978 en Lara & Sepúlveda 2008)

Según Cruden & Varnes (1996, citado por Lara & Sepúlveda 2008), su clasificación está en función del tipo de movimiento y el material involucrado. En este aspecto, los tipos de materiales a partir de los cuales se pueden generar los distintos tipos de eventos corresponden a roca y suelo; en tanto, los tipos de movimientos que se pueden generar son los descritos en (Tabla 1). De la combinación de estos términos se dará el nombre a los deslizamientos, sin perder en consideración que pueden existir eventos combinados que le otorguen complejidad tanto al comportamiento del fenómeno como a la clasificación que se pretenda otorgarle.

Existen factores detonantes tanto naturales como antrópicos que propician o aceleran los procesos de deslizamientos (Tabla 2). Generalmente están relacionados con pendientes abruptas e inestables, pero también ocurren en terrenos casi llanos, si se dan las condiciones geológicas adecuadas. Los deslizamientos de tipo natural están ocasionados por la infiltración y saturación del suelo por el agua a partir de lluvias muy fuertes o prolongadas, o por la ocurrencia de movimientos sísmicos, lo que genera principalmente deslizamientos y caídas. Y los debidos a causas antrópicas están dados por la deforestación para diferentes actividades, como la agricultura, la explotación minera y la urbanización con la construcción de viviendas y vías. **Tabla 2.** Factores que influyen en el proceso de deslizamientos.

FACTOR	DESCRIPCIÓN	CAUSAS
Ángulo de la pendiente	Cambios en el ángulo de la pendiente aceleran el deslizamiento	<ul style="list-style-type: none"> • Socavamiento por corrientes • Acción de las olas • Excavaciones para vías • Edificaciones en laderas
Intemperismo y clima	El desgaste físico y químico de rocas facilita el deslizamiento	<ul style="list-style-type: none"> • Liberación de presiones • Expansión y contracción térmica • Actividad de los organismos
Cambios en la vegetación	La vegetación absorbe el agua y disminuye la saturación de humedad. Las raíces estabilizan la pendiente	<ul style="list-style-type: none"> • Procesos naturales • Actividad humana • Incendios forestales
Sobrecarga	El peso adicional aumenta la presión del agua y reduce la fuerza de resistencia al corte	<ul style="list-style-type: none"> • Actividades humanas (acumulaciones, llenados, apilamiento de material)

Fuente: Salcedo (2010).

Cada uno de los distintos procesos de deslizamientos tiene génesis y comportamientos distintos, por lo cual, cada uno podrá ser influenciado por diversos factores, de maneras y grados diferentes. La tabla 3 presenta los factores condicionantes relevantes para cada tipo de deslizamientos propuestos por Lara & Sepúlveda (2008).

Tabla 3. Factores condicionantes.

Tipo de remoción en masa Factores Condicionantes	Caidas	Deslizamientos	Toppling	Flujos	Extensiones Laterales
Geología y Geotecnia	X	X	X	X	X
Geomorfología	X	X	X	X	X
Hidrología e Hidrogeología	X	X	X	X	X
Vegetación y Clima		X		X	X
Actividad Antrópica	X	X	X	X	

Fuente: Lara & Sepúlveda 2008.

Además de esto, la construcción de infraestructura coadyuva a una rápida degradación del terreno, lo que torna que este fenómeno sea más propenso, convirtiendo estas áreas en potenciales amenazas para sus pobladores. Según lo expuesto anteriormente, existen cinco tipos de movimientos que se pueden presentar en un deslizamiento: caída, volcamiento, deslizamiento, esparcimiento y flujo. Estos tipos de movimiento no

necesariamente ocurren de manera independiente, ya que hay eventos en los que se puede encontrar dos o más tipos presentes en el territorio.

Amenaza

Las amenazas se definen como “Acaecimiento potencial de un suceso de origen natural o humano, o un impacto físico, que puede causar pérdidas de vidas, lesiones u otros efectos negativos sobre la salud, así como daños y pérdidas en propiedades, infraestructuras, medios de subsistencia, prestaciones de servicios, ecosistemas y recursos ambientales”. IPCC (2015)

Cardona (1993 citado por Maskrey, 1993, p.49) expresa que la amenaza es un

Factor de riesgo externo de un sujeto o un sistema, representado por un peligro latente asociado con un fenómeno físico de origen natural, tecnológico o provocado por el hombre, que puede manifestarse en un sitio específico y en un tiempo determinado, produciendo efectos adversos en las personas, los bienes, y/o el medio ambiente. Matemáticamente, se expresa como la probabilidad de exceder un nivel de ocurrencia de un evento con una cierta intensidad, en un sitio específico y en un periodo de tiempo determinado.

Para dimensionar los efectos de una amenaza según DNP (2005 p.17,19) es necesario conocer tres aspectos, dónde surgen y cómo evolucionan, probabilidad de manifestarse y magnitud, y mecanismos físicos de destrucción.

1. **Dónde surgen y cómo evolucionan:** área de afectación, intensidad, duración, frecuencia o recurrencia, evento detonante y concatenación con otras amenazas.
2. **Probabilidad de manifestarse y magnitud:** periodos de retorno, severidad o magnitud, antecedentes históricos.
3. **Mecanismos físicos de destrucción:** efectos probables sobre la infraestructura y equipamientos, efectos sobre el medio ambiente.

Realizando la revisión bibliográfica existen distintos tipos de amenazas las cuales se clasifican en: naturales, antrópicas y socio-naturales.

Amenazas naturales. Las amenazas naturales se refieren a los fenómenos geológicos, hidrológicos, atmosféricos que tienen el potencial de afectar al ser humano, a sus estructuras e incluso sus actividades. La Comisión Económica para América Latina y el Caribe, CEPAL (2002. p.24), define la amenaza natural como “*aquellos elementos del ambiente biofísico que son peligrosos al hombre y que están causados por fuerzas extrañas a él*”. Como ejemplos de amenaza natural tenemos: los sismos, las erupciones volcánicas, los incendios, las inundaciones y los procesos de deslizamientos.

Amenazas antrópicas. El DNP (2005) afirma que las amenazas antrópicas hacen referencia a desequilibrios generados por la actividad humana. Se refieren a la polución,

contaminación química, uso de tecnologías inadecuadas, enfermedades infecciosas, accidentes industriales, entre otros. Para El Sistema Nacional para la Prevención, Mitigación y Atención de Desastres, SINAPRED (2004) las amenazas antrópicas son los eventos generados enteramente por la acción humana que provocan desastres cuando entran en complicidad con factores de vulnerabilidad. De acuerdo a este instituto, las amenazas se clasifican en contaminación ambiental y conflictos bélicos. La primera hace referencia a sustancias que aparecen en el ambiente, al menos en parte, como resultado de las actividades humanas, y que tienen un efecto nocivo sobre el ambiente; los conflictos bélicos incluyen las guerras, grupos al margen de la ley, etc.

Amenazas socio-naturales. Según el DNP (2005), estas amenazas hacen referencia a fenómenos derivados de la degradación ambiental, la cual actúa como catalizador de procesos naturales, haciendo que éstos se presenten con mayor recurrencia o intensidad. Por ejemplo, la deforestación generada por uso inadecuado de espacios (social) que junto con la lluvia (natural) incrementa el riesgo de deslizamientos. El DNP (2005. p.19) también afirma que cuando un *“proceso natural o inducido por el hombre es de magnitud baja o moderada y representa una amenaza, la sociedad está en capacidad de intervenir para controlarlo mediante el uso de las técnicas de ingeniería como es el caso de las obras de estabilización de taludes y la canalización de corrientes que se construyen como obras de protección de una comunidad determinada”*.

A manera de síntesis, la amenaza corresponde a un fenómeno de origen natural, antrópico o socio natural, definido por su naturaleza, ubicación, la recurrencia, la probabilidad de ocurrencia, e intensidad. Se dice que una comunidad está en amenaza ya sea porque se localiza en un lugar expuesto (o que en un futuro podría estarlo) a riesgos de tipo natural, o que debido a las actuaciones del hombre se pueda acelerar la amenaza potencial que exista en dicho lugar. Conocer y comprender el fenómeno amenazante al que está expuesta una comunidad, su entorno e infraestructura, es una de las bases para definir las condiciones de riesgo en las que se encuentran.

Metodología

Para elaborar la clasificación de los deslizamientos presentes en el área de estudio, es importante, identificar en primera medida el tipo de deslizamiento presente en el Mortiñal. En la figura 1, se resume los pasos a seguir para su elaboración. Con esto se obtiene el mapa de localización de las zonas activas por tipos de deslizamientos. Este producto es importante pues se puede hacer una comparación entre las áreas activas y el mapa de clasificación de amenaza ante deslizamientos resultante. En relación con el proceso metodológico para la evaluación de la amenaza por deslizamientos en el barrio El Mortiñal, se elaboró con base en la metodología de Mora y Vahrson (1993) utilizando cuatro de las variables propuestas por los autores. Se hizo una clasificación y zonificación de deslizamientos en el sector; con esto se obtuvo un primer producto, que son las áreas de amenaza del sector, representado en un mapa de las zonas activas de deslizamientos. En la figura 2, se muestra un flujograma que resume los pasos necesarios para estimar la amenaza ante deslizamientos para el área de estudio.



Figura 1. Identificación del tipo de deslizamiento

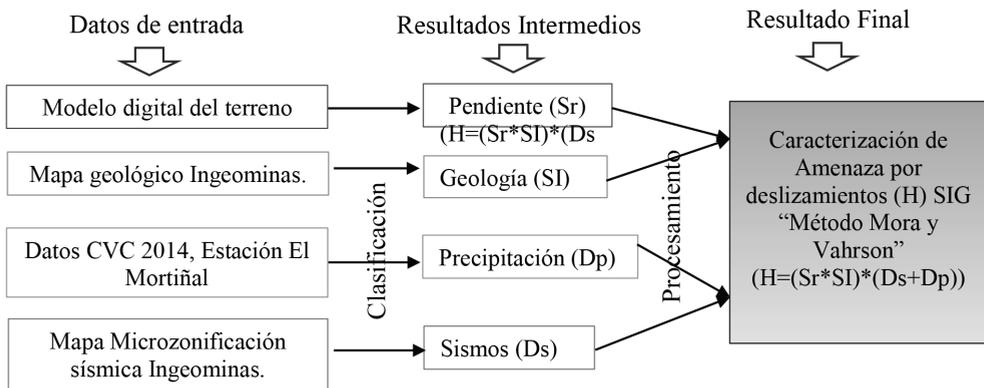


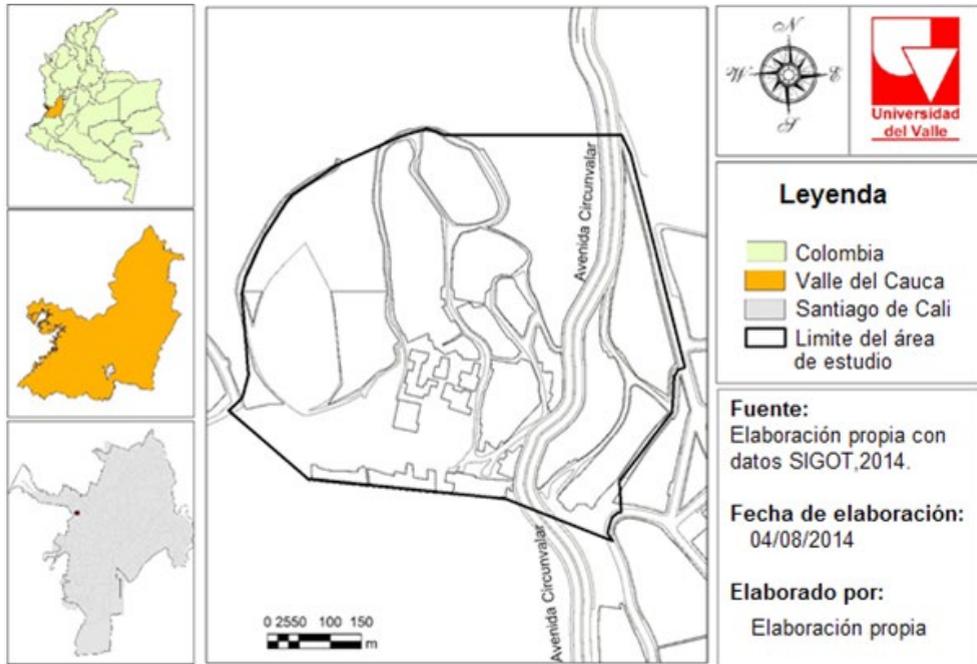
Figura 2. Clasificación de amenaza por deslizamientos.

Aspectos generales del área de estudio

Localización

El área de trabajo hace parte de la Comuna 19, ubicada al occidente del municipio de Santiago de Cali, específicamente en el sector de El Mortiñal, al costado izquierdo de la avenida circunvalar, una de las principales vías de la ciudad (Mapa 1). Según Alcaldía Santiago de Cali (2011). Esta comuna tiene 98.257 habitantes, y el área de estudio representa el 5% del total de la comuna, con un estimado de 1500 habitantes con estrato socioeconómico bajo. Según información recolectada en campo, los asentamientos que se encuentran en esta área se caracterizan principalmente por su subnormalidad, ya que la población ha ocupado esta zona de manera ilegal desde sus inicios.

Mapa 1. Localización del área de estudio.



Según los datos obtenidos en las encuestas del trabajo de campo, la población que se encuentra en el barrio pertenece principalmente al sector socioeconómico de estrato 1 y 2. Se caracterizan por proceder de distintas zonas del país, principalmente de los departamentos de Cauca, Santander, Putumayo, Nariño, Huila, Quindío, y los municipios de Sevilla, Jamundí y Santiago de Cali del departamento del Valle del Cauca. Así mismo, se halló que el tiempo que lleva la gente viviendo en el sector oscila entre 3 y 54 años, durante los cuales han ido, poco a poco, construyendo sus hogares de acuerdo a lo que sus medios les permiten. Además se encontró que en la mayoría de hogares tienen un promedio de entre 1 y 2 personas que laboran y éstas no devengan los salarios estipulados por la ley.

Aspectos físicos del área de estudio: en este apartado se examinan variables que son importantes al momento de tener conocimiento geográfico del área de estudio, ya que con base en esto se puede identificar y caracterizar la amenaza a estudiar. Las variables a caracterizar son el clima, la precipitación, la geología y la pendiente.

Geología

En el mapa 2 se muestran las unidades geológicas sobre las que se encuentra el sector de El Mortiñal. El área comprende dos formaciones geológicas. La formación Guachinte (TOg), compuesta por areniscas que varían de tamaño de grano, de fino a muy gruesos y consisten esencialmente de cuarzo y en menor proporción de feldspatos y fragmentos de roca que constituyen menos del 10% del porcentaje total de la roca.

Las rocas sedimentarias de esta formación, consisten en intercalaciones de areniscas amarillas y pardas rojizas, de grano fino a grueso, limolitas y arcillolitas rosadas, areniscas conglomeradas y algunos niveles de carbón. Geomorfológicamente las rocas de la formación Guachinte se presentan comúnmente como cerros alargados y aislados que afloran entre Menga y Polvorines (MZSC, 2005). La formación coluvión (Qco), compuesta por depósitos coluviales, corresponden a materiales no consolidados que están recubriendo las unidades de roca (Mapa 2).

Mapa 2. Geología del Barrio el Mortiñal



“Los Procesos Morfodinámicos, desde un punto de vista estructural en el área de estudio, están dados por una falla inferida; esta corta el terreno abruptamente adoptando la forma de una corona, lo que irrumpe la continuidad de una parte del paisaje en el área de estudio.

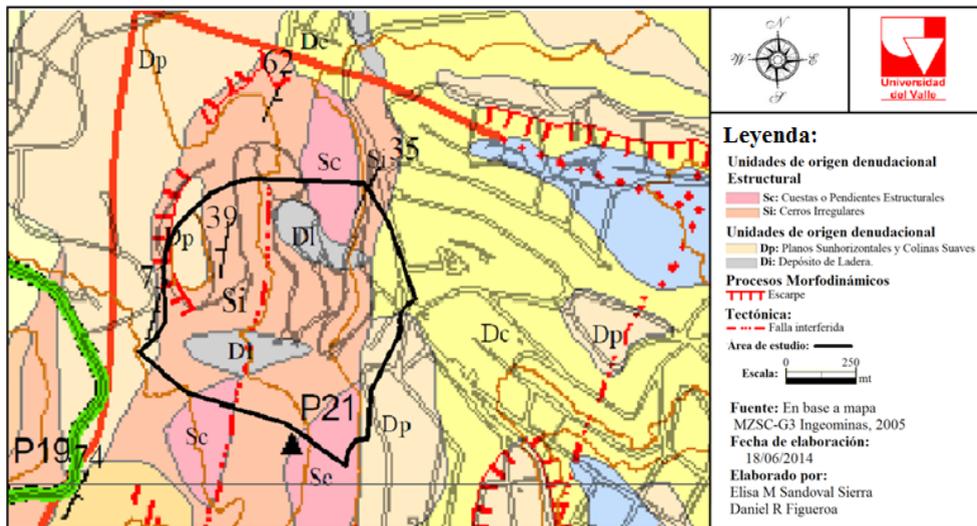
Microzonificación sísmica de Santiago de Cali, MZSC” (2005. p.28)

122 Según el mapa geomorfológico y el estudio de microzonificación sísmica de Santiago de Cali (MZSC, 2005), el área de estudio presenta unidades de origen denudacional, geformas producto de la acción climática que degrada el terreno montañoso por meteorización y desgaste, hasta producir depósitos de ladera y morfologías denudadas de expresión redondeada a relativamente suave. Estas son desarrolladas por la acción de procesos exógenos (meteorización y erosión); y unidades de origen Antrópico, correspondiente a las geformas asociadas a zonas de canteras donde se realiza extracción de material, principalmente de la formación volcánica (Mapa 3). Dentro

de esta unidad también se incluyen áreas de botaderos de basura, desechos o estériles provenientes de la explotación minera (carbón) y de la construcción.

De acuerdo con el MZSC (2005), el área presenta también, cerros de suelo coluvial. Según Mosquera et al. (2010, p. 1), estos depósitos son producto de “*las acumulaciones constituidas por materiales de varios tamaños pero con una litología homogénea englobadas en una matriz arenosa que se distribuye irregularmente en las montañas. Estos suelos se caracterizan por tener gravas angulosas distribuidas en forma caótica, sin selección ni estratificación aparente*”; estos depósitos se pueden originar por formaciones en la base de laderas, transportados por gravedad (erosión y transporte de agua no canalizada). También se presentan depósitos antrópicos que según el diccionario de geotecnia Hoyos (2001), es la acumulación artificial de suelos naturales o de fragmentos de roca o material de desecho, o una mezcla de ellos.

Mapa 3. Geomorfología del sector El Mortiñal.



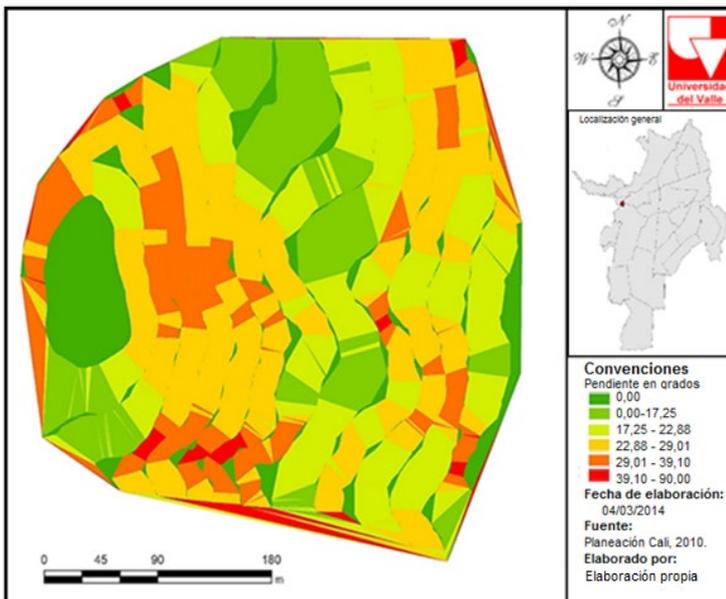
El área identificada en el mapa como P21 corresponde a un inventario de movimientos en masa en el sector. El estudio de Microzonificación Sísmica para Santiago de Cali (2005), afirma que en el área ocurrió un enjambre de dos deslizamientos traslacionales sobre un antiguo depósito de ladera con matriz areno-limosa que sobreyace a la arenisca de la formación Guachinte. El proceso afectó la calzada de la vía circunvalar y en la actualidad hay un muro de contención no terminado.

Pendientes

El mapa 4 presenta la clasificación de pendientes, generada mediante las curvas de nivel a 10 mt del sector; éste muestra que en el barrio se hallan pendientes que oscilan desde los 0° hasta los 90°. Así mismo, se encontró que en la mayor parte del sector las pendientes no son tan pronunciadas y la mayoría de la población del sector se encuentra ubicada en pendientes de clase media (17,25 a los 29,01). No obstante, se hallan algunos puntos del área donde la pendiente es mayor a 40° lo cual ubica a la población de estas áreas en un mayor riesgo en comparación con el resto del sector.

En el mapa 4 se observa la clasificación de pendientes para el sector de El Mortiñal. Para tener un mejor análisis de la clasificación de pendiente, se determinaron 6 clases según la metodología de Mora y Vahrson. Se encuentran pendientes que oscilan del 0° a los 90°. La primera clase se encuentran pendientes de 0° representadas de color verde oscuro; en el mapa se puede apreciar que la presencia de esta clase no es significativa en el área de estudio. En la segunda clase se observan pendientes desde los 0° hasta los 17,25° y están simbolizados de un color verde un tono más claro que la clase anterior, esta clase ya presenta una mayor presencia en el área de estudio. La tercera clase va desde los 17,25° hasta los 22,88° y está representada en el mapa de un verde claro; siendo esta clase una de las de mayor presencia en el barrio. En la cuarta clase se encuentran pendientes que van desde los 22,88° hasta los 29,01° representado de color amarillo; esta clase es también una de las más reveladoras del territorio. La quinta clase va desde los 29,01° hasta los 39,10°, simbolizado en el mapa por un color naranja. Y por último la sexta clase que oscila desde los 39,10° hasta los 90,00° representado por un color rojo; ésta, al igual que la primera clase, no es muy relevante en el territorio.

Mapa 4. Clasificación de pendientes del barrio el Mortiñal.



Para realizar el análisis físico del sector de El Mortiñal se requiere tener la precipitación, la geología y las pendientes del área, ya que éstas son las que mayormente inciden en la ocurrencia de fenómenos de deslizamientos en esta zona. Dadas las características geológicas (suelos constituidos por materiales de varios tamaños, no consolidados) y las pendientes encontradas en el sector, hay una alta probabilidad de que elevadas precipitaciones sirvan como detonante para la ocurrencia de deslizamientos. Ello, sumado a las actividades de la población, hace de la zona un área potencialmente inestable.

Clima

la ciudad de Cali se encuentra sobre una zona de fuerte impacto de la Zona de Convergencia Intertropical, lo que genera escenarios de variabilidad climática que pueden tener mayor impacto que las condiciones mismas del Clima general., según el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia, IDEAM (2005. p.157) es de sabana tropical y es descrito como:

“La cordillera Occidental bloquea los frentes de aire húmedo provenientes del Océano Pacífico aunque es notable que la brisa marina llega a la ciudad. La Cordillera Occidental tiene 2.000 m de altitud promedio en el norte de la ciudad y alcanza los 4.000 m en el sur, esto hace que en la ciudad la región suroccidental sea más lluviosa que la noroccidental. En promedio la precipitación anual va desde los 900 mm en las zonas más secas hasta los 1.800 mm en las zonas más lluviosas, con 1.000 mm promedio sobre la mayor parte del área urbana de Cali”.

Un clima alterado genera cambios en la frecuencia, intensidad, extensión espacial, duración y dinámica temporal de los eventos hidrometeorológicos, que pueden dar lugar a desastres socio-ambientales sin precedentes. Generalmente relacionados con cambios en la media, la varianza, o la forma de distribución de probabilidad, o en todas ellas. En general, un evento hidrometeorológico extremo se conceptualiza como: “La ocurrencia de un valor de una variable meteorológica o climática por encima (o por debajo) de un valor de umbral cercano al extremo superior (o inferior) del rango de valores observados de la variable” (IPCC, 2015, 2014, 2012).

Como se puede observar en la tabla 4, La temperatura media es de 23.6 °C con un mínimo promedio de 18.7°C y un máximo promedio de 29.3 °C. Las estaciones secas van de diciembre a febrero y de julio a agosto y las estaciones de lluvias de marzo a mayo y de septiembre a noviembre. Como afirma IDEAM (2005) la temperatura más alta registrada en Cali fue de 39 °C el día 16 de agosto de 1979, y la más baja fue de 14 °C el 18 de junio de ese mismo año. Cali solo ha registrado dos veces rastros de acumulación de nieve en los años 1979 y 1983.

Tabla 4. Parámetros Climáticos Promedio en Cali.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Temperatura máxima media (°C)	30	31	29	28	28	30	31	32	30	28	27	28	29.3
Temperatura media (°C)	23.9	24.0	24.1	23.8	23.7	23.8	24.0	24.1	23.9	23.3	23.2	23.5	23.6
Temperatura mínima media (°C)	18	18	17	17	17	19	20	20	19	17	16	18	18.7
Precipitación total (mm)	48	61	103	123	97	55	28	46	69	115	99	65	909
Días de lluvias (≥)	9	10	13	15	15	10	8	8	11	16	14	10	139

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2005.

La precipitación en el área de estudio para los años 1969 al 2013 oscila con valores de 607 a los 0 milímetros por mes y se distribuye de la siguiente manera. La mayor concentración de las lluvias en el área de estudio se dan en el mes de abril con 607 mm (Tabla 5) por mes para el año de 1994 presentándose como la mayor precipitación presentada en el lugar; y las estaciones secas más marcadas son en enero, julio y agosto.

Tabla 5. Periodos máximos y mínimos de precipitación en El Mortiñal, para el año 2014

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Max	282	469	487	607	351	240	250	305	357	389	367	301
Med	115	130	174	235	211	123	75	79	120	204	187	148
Min	0	5	23	57	83	9	0	0	12	62	70	33
Fuente: Corporación Autónoma Regional del Valle, 2014.												

La precipitación en el sector de El Mortiñal presenta una distribución bimodal presentando dos temporadas secas: Enero-Febrero, Junio - Septiembre, y dos temporadas de lluvias en los periodos de Abril-Mayo y Noviembre-Diciembre, donde se presenta una mayor concentración de las lluvias. Analizando los datos del promedio de precipitación anual de los últimos diez años en el sector se observa que posterior al año 2000, se han presentado grandes niveles de precipitación en el área de estudio con periodos máximos en el mes de Abril. Esto afecta los suelos y la estabilidad del talud del área de estudio.

Caracterización de la amenaza

En este apartado, se evalúa la amenaza en el barrio por deslizamientos. Primero se identifica el tipo que se presenta según la clasificación establecida por Varnes en 1978 y, por último, se evalúa la amenaza por procesos de deslizamientos a partir de los sistemas de información geográfica “SIG”, usando la metodología establecida por Mora & Vahrson.

Tipos de deslizamientos en El Mortiñal

Como afirma Ayala, (2010. p.10) *“Las laderas son la parte inclinada de las montañas o elevaciones de la superficie terrestre, y su estabilidad refleja qué tan propensas son a sufrir algún proceso de desequilibrio, el cual es controlado por la ley de la gravedad”*. Para el caso del área de estudio, se presentan procesos de deslizamientos relativamente pequeños (Mapa 5); según lo establecido por Varnes, se presentan dos tipos de movimientos, caídas de rocas (imagen 1) y de tierra (imagen 2), en los límites con la vía circunvalar. El otro tipo de fenómeno identificado es de reptación (imagen 3) este fenómeno se localiza en la área interna del barrio.

Imagen 1.



Imagen 2.



Imagen 3.



Fuente: Propia, 2014.

El inventario de deslizamientos puede reconstruirse a partir de registros históricos normalmente disponibles en prensa, o con los mismos habitantes del sector donde han ocurrido estos deslizamientos. En este caso, usamos la información tomada de los habitantes del sector y recorridos directos en campo. El mapa 5 muestra las áreas activas de los tipos de movimientos de deslizamientos en el barrio. Se observa claramente la localización de éstas, así mismo se aprecia la mayor presencia de los deslizamientos al costado de la avenida circunvalar. A continuación se realiza un análisis de cada uno de los casos, por la letra establecida en el mapa 5:

- a) Deslizamiento de tierra: se encuentra localizado en la parte baja del barrio donde es posible apreciar como los habitantes han construido un pequeño muro de contención con costales de arena para detener el avance del deslizamiento.
- b) Deslizamiento de tierra: es uno de los deslizamientos más marcados del barrio ya que se encuentra justo sobre la avenida circunvalar; también es posible apreciar su nivel de actividad. Este fenómeno compromete la circulación de

los vehículos en la vía y pone en un mayor riesgo a los habitantes del sector de “Las Palmas”, que está justo localizado por encima de éste. También es posible apreciar en la otra imagen (imagen B) los estratos del suelo de esta área y cómo, la delgada capa de vegetación, no ayuda a brindar una buena estabilidad al terreno.

- c) Deslizamiento de tierra: es el resultado de un corte al talud para construir un camino peatonal, que ayuda a la movilidad del sector de Las Palmas hasta el puente peatonal que cruza la avenida, esto generó un área que presenta pequeños deslizamientos, los cuales terminan en el paso peatonal y son recurrentes. Sumado a esto, es posible apreciar como la escorrentía de las aguas y el mal manejo de la canalización ha ayudado a que se incrementen.
- d) Deslizamientos de tierra y roca: se observa algunos deslizamientos de roca que se han presentado al costado de la Avenida Circunvalar en donde es posible apreciar que este deslizamiento activo ya ha ocurrido en varias ocasiones y ha afectado algunas viviendas aledañas a la Avenida y una de las vías de acceso al barrio.
- e) Deslizamiento de tierra: se observa cómo el mal manejo de las construcciones en el sector han ido afectando las precarias redes de alcantarillado existentes, hasta el punto que éstas han quedado expuestas.
- f) Reptación: es posible apreciar en esta imagen como se ha ido presentando un proceso de reptación lento el cual ha ido modificando los troncos de los árboles.
- g) En la imagen g se puede observar como la canal de agua lluvias ha ayudado a mitigar la infiltración del agua que puede ser un factor detonante para ocasionar un deslizamiento; no obstante la construcción de esta canal no se realizó adecuadamente lo que puede incrementar las posibilidades de ocurrencia de deslizamientos en esta área del barrio.

Estos tipos de deslizamientos identificados en el área de estudio se encuentran localizados de la siguiente manera (Mapa 5).

Mapa 5. Localización de las áreas activas por tipos de movimientos de deslizamientos en El Mortiñal.



Evaluación para procesos de deslizamientos en masa a partir de los SIG

El SIG como herramienta de análisis espacial suele definirse como un sistema de información *“asistido por computador para la captura, almacenamiento, recuperación, análisis y despliegue de información espacial”* Moreira (1996). Una mejor definición de SIG debe basarse en el significado de sistema de información, que consiste en un proceso de elaboración, almacenamiento y análisis de datos que permite generar información útil para la toma de decisiones respecto al fenómeno que se esté analizando en el territorio. El SIG puede capturar datos geográficos en diferentes formatos; por ejemplo, mapas digitalizados, imágenes satelitales, datos alfanuméricos georreferenciados, y también puede almacenar grandes volúmenes de datos en un formato digital en diferentes estructuras de bases de datos. Como afirma Marskey (1998 p.34) estos también permiten la representación gráfica de la información geográfica en muchos formatos diferentes, incluyendo pero no limitándose a solo mapas temáticos. *“En términos institucionales, los SIG permiten centralizar e integrar información normalmente dispersa en diferentes formatos, en diferentes organizaciones, para producir “nueva” información de acuerdo a las necesidades de diferentes aplicaciones y usuarios”*.

Esta técnica permite el estudio de los procesos sociales y naturales que configuran el riesgo, para determinar áreas que presenten niveles relativos de riesgo, sobre todo a una baja resolución; conforme se aumenta la resolución se requiere incorporar más capas, por lo tanto la combinación de ellas se vuelve más complicada. Este permite indicar los niveles probables de riesgo en determinadas zonas en forma relativa, a una resolución mayor y combinada con datos específicos de los elementos en riesgo puede hacerse una evaluación de probables pérdidas.

En este caso, el mapeo de deslizamientos, ayuda a identificar las áreas más vulnerables y de mayor riesgo de incidencia de este tipo de fenómenos naturales, así mismo pueden ser aplicados en planes de ordenamiento territorial y, asignar usos acordes a sus restricciones para evitar futuros desastres. Además, al conocer el comportamiento espacial del fenómeno en el área de estudio realizando una evaluación de la amenaza por procesos de deslizamientos, a partir de los sistemas de información geográfica SIG utilizando la metodología de Mora y Vahrson.

Metodología Mora & Vahrson. La metodología de Mora & Vahrson fue desarrollada en Costa Rica por Sergio Mora y Wilhelm Guenther Vahrson, en el año 1993, con el propósito de clasificar la amenaza por deslizamientos, utilizando indicadores morfodinámicos del terreno. Este modelo se caracteriza por la selección de variables organizadas en dos grandes factores. Los llamados factores de susceptibilidad (relieve relativo, litología) y los factores de disparo (actividad sísmica, precipitación). Con estos factores es posible establecer las áreas de deslizamientos.

A nivel general, se puede expresar a través de la siguiente relación Matemática. (Ecuación 1)

Ecuación. 1

$$H = \text{SUSC} * \text{DISP}$$

$$H = \text{EP} * \text{D}$$

Donde H: Amenaza o grado de susceptibilidad a deslizamientos

EP: producto entre los elementos intrínsecos (pasivos)

D: producto entre los elementos extrínsecos (de disparo)

SUSC: Factores pasivos

DISP: Factores de disparo

La combinación de los elementos pasivos o intrínsecos, que incluye el relieve relativo (Sr), la litología (Sl), la sismicidad (Ds) y la intensidad de la precipitación (Dp) son incorporados como factores de disparo o factores externos. De tal forma que la combinación de estos factores da como resultado la amenaza (H). $H = (Sr \times Sl) * (Ds + Dp)$, y la amenaza ante deslizamientos, se obtiene multiplicando el producto de los factores intrínsecos con cada uno de los parámetros de disparo.

La aplicación de esta metodología está condicionada a la utilización de un programa informático de georreferenciación. Para el caso de esta investigación es utilizado el software ArcGis 9.3.1, como herramienta base para realizar el álgebra de matrices y relacionar todos los mapas de índices de susceptibilidad y los factores de disparo. A continuación se muestra el proceso de evaluación para el proceso de deslizamientos a partir de los sistemas de información geográfica usando la metodología de Mora y Vahrson. Esta metodología incluye dentro del factor pasivo, la humedad del suelo, sin embargo, para este caso de estudio se decidió trabajar solamente con la pendiente y la geología, ya que para analizar la variable de la humedad del suelo se requiere un estudio detallado de las condiciones del suelo del sector realizados con instrumentos especializados. Por ser ésta un área tan pequeña de la ciudad, no se han realizado estudios detallados que permitan obtener esta variable de humedad.

Al obtener los mapas de amenaza (pendiente, mapa geológico) y los de disparo (actividad sísmica y precipitación), se integran usando la ecuación establecida por los autores, tomando en cuenta los parámetros establecidos por el método de Mora & Vahrson y las características del área de estudio. El procesamiento de los mapas dará como producto el mapa de amenazas por fenómenos de deslizamientos para el área de estudio. Como afirma Barrantes (2010), la metodología de Mora y Vahrson no es universalmente aplicable, particularmente por las clasificaciones que proponen para los parámetros humedad del suelo, sismicidad y disparo por lluvia máximas en 24 horas, cuanto mayor sea la escala de aplicación, menores serán las variaciones espaciales de los parámetros ya nombrados. En estos casos la metodología se apoya fuertemente sobre la variación espacial de la litología y la pendiente. Por estas razones, al momento de aplicar esta metodología en el sector de El Mortiñal, se ajustaron los parámetros establecidos por Mora y Vahrson para cuatro variables.

Parámetros establecidos para analizar cada variable. A continuación se exponen los parámetros que han sido establecidos por Mora & Vahrson para el análisis de cada una de las variables a trabajar.

Relieve relativo. Los parámetros para el relieve relativo (S_r) según la metodología Mora y Vahrson son:

Tabla 6. Relieve relativo.

Valor de pendiente m/ km ²	Equivalente en grados	Cualificación	Factor S_r
0 - 75	0-4.29	Muy baja	0
76 - 175	4.30-9.93	Baja	1
176-300	9.94 - 16.70	Moderada	2
301-500	16.71 - 26.57	Media	3
501-800	26.58 - 38.66	Alta	4
>800	>38.66	Muy Alta	5

Fuente: Mora y Vahrson, 1993.

Como expresa Lopez (1977), citado por Hernandez (1998) la pendiente, es “*el factor principal que determina y diferencia las formas del relieve...además, la pendiente impone límites en el uso del suelo a través de sus efectos en la erosión y en las técnicas de cultivo; como consecuencia de esto, las diferentes clasificaciones del terreno toman uno de los principales factores a la pendiente*”. Los estudios del relieve, principalmente de pendientes, así como su evolución, representan una necesidad fundamental para la adecuada planeación del uso del suelo y los planes de desarrollo de una región o país (Quero, 1980, citado por Hernandez,1998). El mapa de pendiente se derivó de un MDT, el cual se creó tomando como base un Modelo de elevación digital (DEM) creado por la oficina de planeación del municipio de Santiago de Cali en el año 2010, a partir de la capa de curvas de nivel a 10mts. Teniendo como base el DEM se ejecuta sobre este el proceso SLOPE que

genera el mapa de pendientes, luego se ajustaron los valores según los porcentajes de las pendientes del barrio de El Mortiñal. El mapa, es a su vez la representación de las altitudes del terreno. Los valores de pendiente se agrupan en clases y a cada una se le asigna un factor de peso relativo.

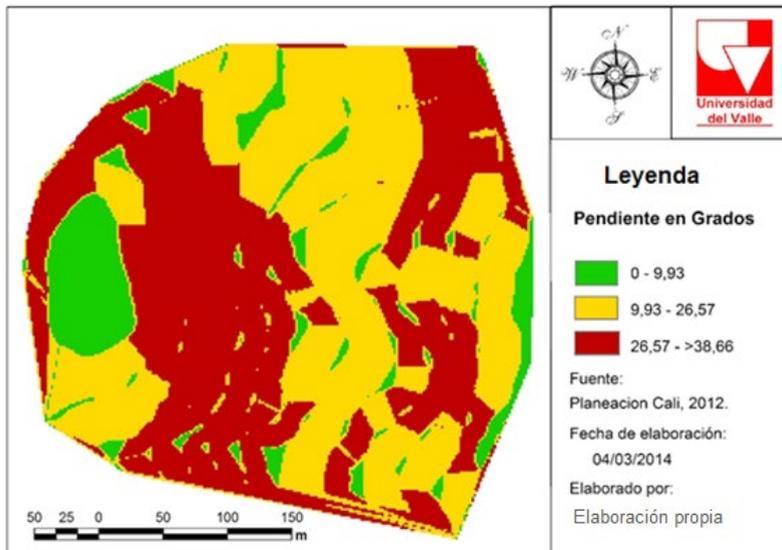
Para tener un mejor análisis de la amenaza de la pendiente para el barrio El Mortiñal, se tomaron como base las categorías establecidas por Mora y Vahrson, pero agrupando las 6 clases en 3, como se muestra a continuación.

Tabla 7. Clasificación de Pendientes

Valor de pendiente m/km ²	Equivalente en grados	Cualificación	Factor Sr
0 - 175	0-9,93	Baja	1
176 - 500	9.93 – 26,57	Media	2
500 - >800	26,57- >38.66	Alta	3

Fuente: Elaboración Propia, 2014.

Mapa 6. Pendiente para el barrio El Mortiñal – Santiago de Cali



132

Tras haber generado el mapa de pendientes del sector de El Mortiñal usando la metodología de Mora y Vahrson es posible observar (mapa 6) los tipos de pendientes que encontramos en el área de estudio. El área posee en su mayoría pendientes de tipo medias y altas, lo que incrementa el nivel de amenaza del sector.

Litología. Los parámetros establecidos para la Litología (SI) según la metodología Mora y Vahrson son los siguientes:

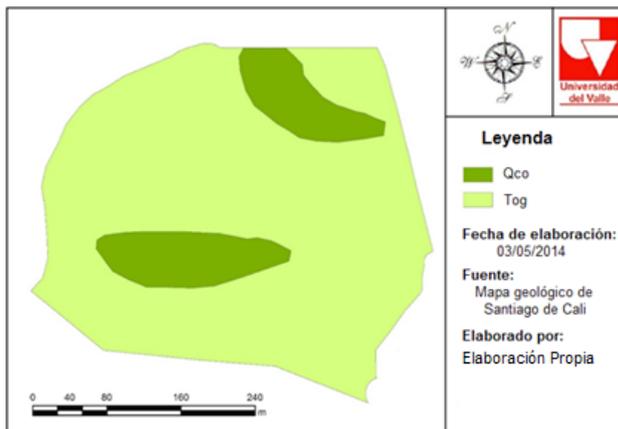
Tabla 8. Clasificación litológica

Litología	Calificación	Factor SI
Aluvión Grueso, permeable, compacto, nivel freático bajo Calizas duras permeables Rocas intrusivas, poco fisuradas, bajo nivel freático Basaltos, andesitas, ignimbritas Características físicas y mecánicas; materiales sano con poca o ninguna meteorización, resistencia al corte elevada, fisuras sanas y sin relleno.	Baja	1
Rocas sedimentarias no o muy poco alteradas, poco fisuradas rocas intrusivas, calizas duras Características físico mecánicas: resistencia al corte media a elevada.	Moderado	2
Rocas sedimentarias, intrusivas, lavas, ignimbritas, tobas poco soldadas, rocas metamórficas mediana a fuertemente alteradas. Niveles freáticos relativamente altos	Medio	3
Aluviones fluvio lacustres, suelos piroclásticos poco compactados, rocas fuertemente alteradas.	Alto	4
Materiales aluviales, coluviales de muy baja calidad mecánica, rocas con estado de alteración avanzado, drenaje pobre. Se incluyen los casos 3 y 4 con niveles freáticos muy someros, sometidos a grandes hidrodinámicos elevados	Muy Alto	5

Fuente: Mora y Vahrson, 1993

De acuerdo con la tabla 8, los factores pasivos de litología oscilan de 1 a 5, siendo 1 (bajo) pertenece a unidades homogéneas rocas duras, compactas y va aumentando a 5 (muy alto) para unidades heterogéneas, sedimentos recientes, sueltos y con mayor grado de alteración.

Mapa 7. Geológico para el barrio El Mortiñal – Santiago de Cali



Para el cálculo de la litología se usó el mapa digital geológico de Ingeominas, (2005) para el municipio de Santiago de Cali. Con base en este se realizaron los polígonos existentes para el área de estudio, que arrojó dos áreas geológicas, predominando Tog en el territorio con 85,33% y Qco con 14,66%, dándole un factor de peso según la metodología Mora y Vahrson de 2 para el caso de Tog y 4 para Qco. A continuación se presentan los parámetros establecidos por Mora y Vahrson, (1993) para los factores externos de disparo.

Sismicidad. A continuación se presentan los parámetros establecidos para sismicidad:

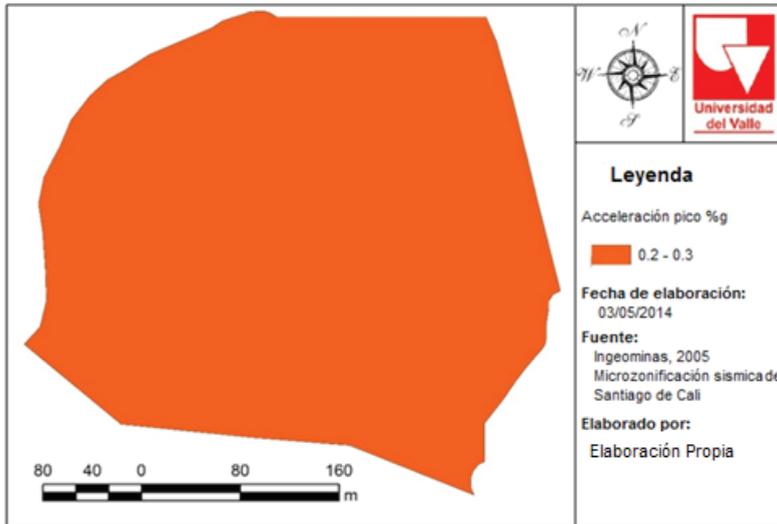
Tabla 9. Actividad sísmica

Intensidades MM	Aceleraciones Pico (% g)	Aceleración PGA (m/s ²)	Cualificación	Valor Ts
III	1-12	0.098-1.226	Leve	1
IV	13-20	1.227-2.011	Muy Bajo	2
V	21-29	2.012-2.894	Bajo	3
VI	30-37	2.895-3.679	Moderado	4
VII	38-44	3.680-4.365	Medio	5
VIII	45-55	4.366-5.445	Elevado	6
IX	56-65	5.446-6.426	Fuerte	7
X	66-73	6.427-7.210	Bastante Fuerte	8
XI	74-85	7.211-8.388	Muy fuerte	9
XII	>85	>8.389	Extremadamente Fuerte	10

Fuente: Método Mora y Vahrson, 1993.

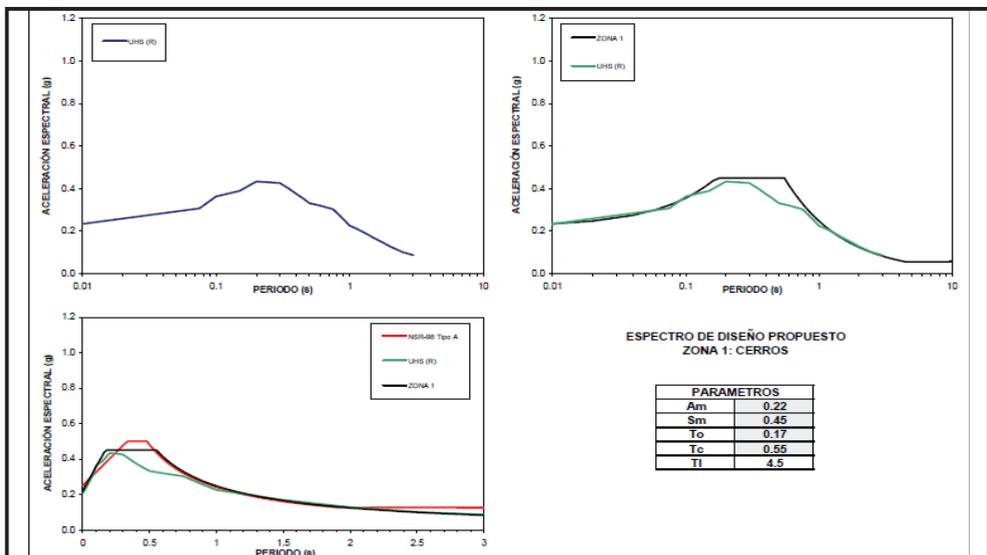
Aplicando la metodología para el área de estudio encontramos que el barrio se encuentra en un área donde los parámetros sísmicos son bajos de 0.2 a 0.3 %g.

Mapa 8. Sismicidad para el barrio El Mortiñal – Santiago de Cali



Los parámetros de disparo de sismicidad para el área de estudio según Ingeominas, 2005 son bajos entre 0,2 y 0,3 segundos (Mapa 8) y presenta un perfil de meteorización aproximado de 10 m (Figura 3).

Figura 3: Espectros uniformes de amenaza en roca y espectro de diseño establecido para la microzona 1 de Santiago de Cali.



Fuente: INGEOMINAS, 2005. Microzonificación sísmica Santiago de Cali,

Para el área de estudio, la aceleración espectral oscila de los 0.2 a los 0.4 con un periodo corto, esto hace que la amenaza por sismicidad para el área sea leve ya que esta aceleración espectral no es muy elevada. Por las condiciones sísmicas homogéneas en el área, se puede determinar que la afectación de ésta es poca, dados los bajos niveles de aceleración de las ondas estimadas para la zona. Estos bajos niveles de aceleración son proporcionados por la estructura y composición de los suelos ya que estos ayudan a que las ondas sean mitigadas y su afectación en la superficie sea menor.

Precipitación. Los parámetros para la precipitación máxima establecidas por los autores son las siguientes (Tabla 10):

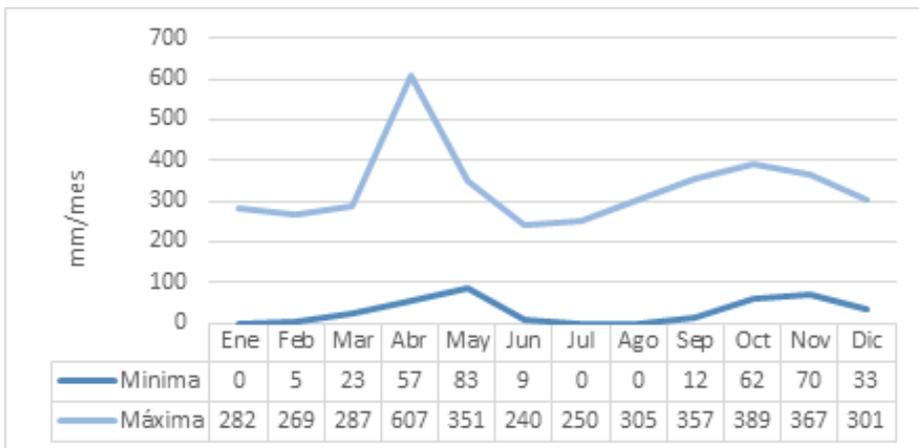
Tabla 10. Precipitación.

Precipitación máxima (mm/mes)	Cualificación	Factor TP
<200	Bajo	1
201 – 399	Medio	2
>400	Alto	3

Fuente: Método Mora y Vahrson, modificación propia.

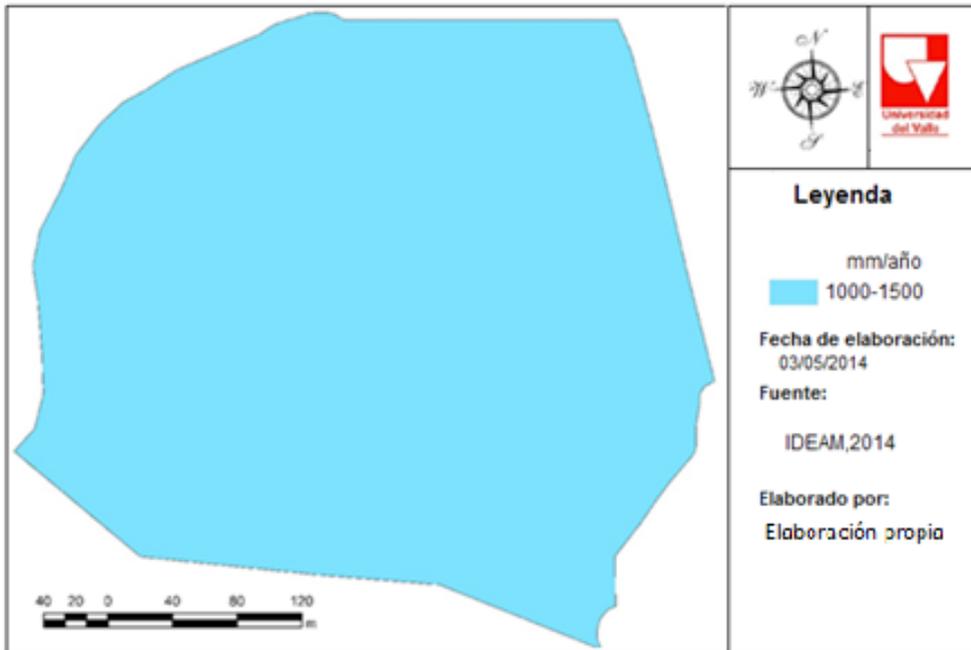
Según el movimiento solar hay dos meses máximos de lluvia uno en abril y el otro en noviembre, las lluvias son cortas pero de gran intensidad. Como se puede apreciar este fenómeno se presenta en el área de estudio, la cual se plasma en el gráfico 1, en donde se exponen datos de precipitación máxima para los doce meses del año a partir de 1960 al 2013. Clasificando estos datos de precipitación con la clasificación establecida por el método de Mora y Vahrson, el barrio queda con una cualificación en una amenaza media con un factor TP de 2 (Mapa 9).

Gráfico 1. Precipitación máxima por mes en el barrio El Mortiñal.



Fuente: Elaboración propia, con datos de Corporación Autónoma Regional del Valle, (CVC, 2014)

Mapa 9. Precipitación para el barrio el Mortiñal.



Es importante mencionar que las variables físicas de afectación mencionadas no son detonantes por si solas, ya que para que alguna de estas detone una amenaza, deben de presentarse otras situaciones en conjunto para que ocurra el fenómeno natural. En cuanto al factor de precipitación, este es un factor que aumenta la saturación del suelo, lo que lo hace que su resistencia se reduzca y por tanto aumenta la probabilidad de la ocurrencia de deslizamientos. Según los análisis de la metodología de Mora y Vahrson, El Mortiñal, presenta una amenaza media por lo que exige tener una mayor atención en este parámetro o realizar acciones que permitan disminuir la infiltración del agua al suelo con pequeñas acciones, desde la comunidad, que no tengan la necesidad de una intervención institucional: adecuados drenajes de agua, no verter las aguas directamente al suelo, etc.

Para el caso de la variable geología, se puede apreciar que existen dos áreas diferenciadas Tog y Qco, según el resultado de la metodología de Mora y Vahrson, la unidad Qco es a la de mayor precaución pues quedo caracterizada como amenaza alta, igualmente son depósitos coluviales los cuales son masa de suelo sueltas; es decir, no existe fricción ni cohesión en el suelo, por lo tanto, quedan muy sensibles al agua por lo que es un factor de inestabilidad para los deslizamientos.

Para el caso de la pendiente, en el área de estudio se encontraron pendientes que oscilan de los 0° a los 80° ; En el barrio, las pendientes de $26,57^{\circ}$ a los $>38,66^{\circ}$ son las que abarcan gran área de estudio, seguido por presencia de pendientes de $9,92^{\circ}$ - $26,57^{\circ}$ en la parte media del barrio, y por último, el menor porcentaje de esta clasificación tiene pendientes de los 0° a los $9,93^{\circ}$. Como se aprecia en el mapa 6,

esta representación de las diferencias altitudinales del terreno, agrupadas por clases en valores de pendientes, es una herramienta que permite conocer las características del área de estudio y esencialmente, las áreas donde puede incidir mayormente la acción de la gravedad en los deslizamientos. En el barrio hay mayor presencia de las pendientes con valores de $26,57^\circ$ a los $>38,66^\circ$, por tanto lo constituye en un área más susceptible a deslizamientos. Sumado a ello, la incidencia de la actividad antrópica, propicia aún más la desestabilización de la ladera.

La sismicidad para El Mortiñal, presenta un comportamiento homogéneo, por el tipo de suelo presente, estos ayudan a que la aceleración transmitida por las ondas sísmicas disminuya y su grado de afectación en la superficie sea mínimas. Sin embargo, no significa que dada la ocurrencia de un fenómeno sísmico fuerte pueda provocar afectaciones en el área, ya sea en los suelos o en la infraestructura de la población aquí asentada. Según la metodología de Mora y Vahrson, la actividad sísmica en el área queda clasificada como baja, por lo tanto no presenta una elevada afectación, lo que significa un bajo grado de influencia al aplicar el modelo.

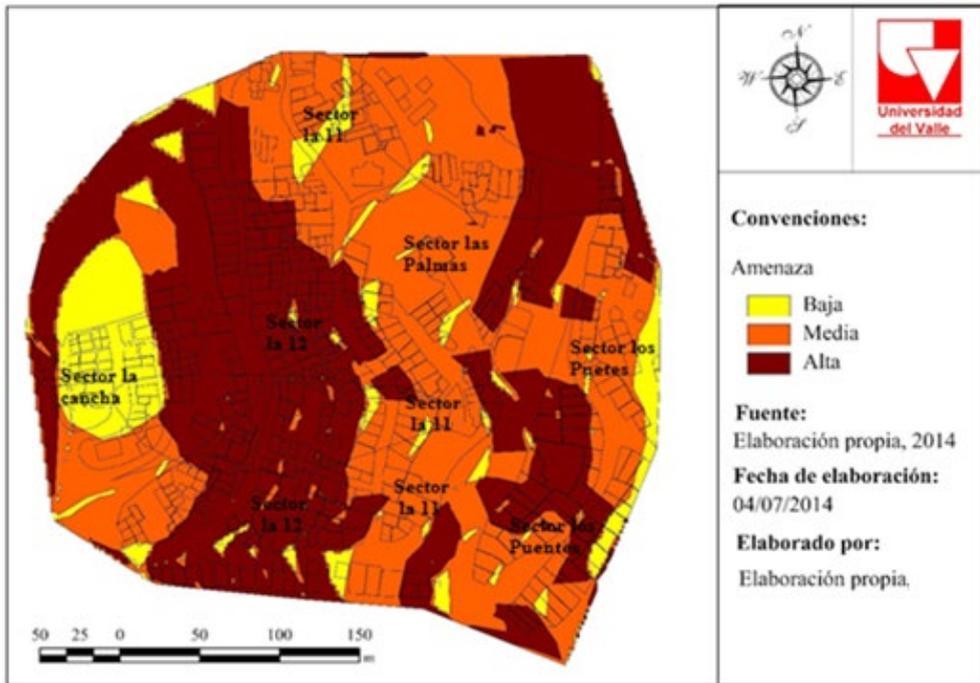
Como se pudo observar, cada uno de los parámetros, pasivos y de disparo, ayudan a analizar cómo cada uno de estos se pueden ver afectados de tal manera que presenten una mayor implicación en la ocurrencia de los fenómenos de deslizamientos. De hecho no todos actúan de la misma manera en el área de estudio, sino que cada uno asume un papel, ya sea estabilizador o desestabilizador en el factor de seguridad del talud.

Identificación de amenaza para el barrio El Mortiñal a partir de la metodología de Mora y Vahrson.

Una vez obtenidos los datos de los análisis físicos del sector, se procede a aplicar los parámetros establecidos por la metodología de Mora y Vahrson para realizar el mapa de amenaza por fenómenos de deslizamientos (Mapa 10). Los resultados de la evaluación de susceptibilidad a deslizamientos también pueden ser usados como variable de referencia para la toma de decisión del uso del suelo, y la formulación de planes de gestión del riesgo del barrio El Mortiñal.

En el caso de El Mortiñal, en general para aquellas zonas que muestran los niveles más altos de amenaza a algún evento dañino de fenómenos de deslizamientos no deberían ser utilizados para el desarrollo de infraestructura ni vivienda. En su lugar, estas áreas de alta amenaza deberían ser usadas como zonas de parques de reforestación o de un uso que no represente un peligro para la comunidad, de sus vidas o bienes. Las zonas con niveles moderados de amenaza, podrían ser utilizadas para actividades residenciales, siempre y cuando se implementen las medidas de mitigación apropiadas. En este caso se deben hacer evaluaciones con mayor detalle para determinar las posibles medidas de mitigación a implementar. Estas medidas varían desde acciones muy simples a complejas, las primeras acciones como buena canalización y cunetas que permitan disminuir la infiltración del agua a los suelos, por su parte las complejas involucran acciones como reconfigurar la ladera para disminuir su pendiente, o estabilizándola a partir de la construcción de muros de contención o anclaje de rocas. Aquellas áreas que sean definidas como baja amenaza podrán ser usadas según el uso establecido en el POT de la ciudad.

Mapa 10. Amenaza para el barrio El Mortiñal



Tras aplicar la metodología de Mora y Vahrson (1993), se generó el mapa de amenaza del barrio El Mortiñal (Mapa 10), las áreas con mayor amenaza, se localizan en el sector de la 12 "la canal" y en los sectores aledaños a la Avenida de los Cerros, ya que en estas áreas es donde las variables físicas representan una mayor incidencia en el factor de seguridad de la ladera, por lo tanto disminuyen las fuerzas resistentes en esas zonas, lo que según la aplicación del método, representan una mayor amenaza ante deslizamientos. Dado que estas áreas se encuentran mayormente expuestas a los daños ocasionados por factores que pueden ser detonantes, deben generarse medidas que permitan disminuir el grado de afectación. Usando como fuente de información la localización de las áreas con mayor o menor amenaza, y así enfocar medidas de prevención y mitigación para disminuir el potencial impacto a sufrir. Por otro lado, al realizar una comparación entre el mapa de las áreas activas de tipos de movimientos de deslizamientos en El Mortiñal (Mapa 5), y el mapa de amenaza, resultado de la aplicación de la metodología de Mora y Vahrson (Mapa 10), se puede apreciar que la mayoría de las áreas activas se encuentran ubicadas sobre áreas con una amenaza alta según el mapa. Esto corrobora que la información resultante del mapa, representa adecuadamente la ocurrencia e incidencia de fenómenos de deslizamientos presentes hoy día en el barrio El Mortiñal. Por lo cual, el mapa brinda una información próxima a la espacialización de las áreas de amenaza en el barrio que por las acciones naturales están presentes, pero si se suma a ello la incidencia de las actividades antrópicas, esta amenaza puede variar.

Conclusiones

El sector de El Mortiñal presenta condiciones físicas propicias para la ocurrencia de fenómenos de deslizamientos, especialmente de tierra y rocas debido a la inclinación de las pendientes y a la composición geológica de los suelos, lo que representa un alto grado de amenaza en algunos lugares del sector.

La metodología de Mora y Vahrson es una metodología adecuada para la determinación de la amenaza por deslizamientos; no obstante para esta investigación fue necesario realizar modificaciones y ajustes dadas las características del área de estudio, obteniendo resultados muy próximos a la realidad.

Con el mapa generado, es posible enfocar proyectos y planes de prevención y mitigación en estas áreas para que la afectación en éstas de los fenómenos de deslizamientos sea baja. Pues aporta información valiosa para la elaboración de medidas preventivas ante un desastre por este fenómeno.

Actualmente en la ciudad de Santiago de Cali existe un desconocimiento del fenómeno en el área de estudio, no se han adoptado medidas de control, y a las que se han realizado no son adecuadas, ya que no se ha estabilizado las áreas más críticas. Por tanto, es necesario vincular este tipo de productos cartográficos de investigación a planes y proyectos pues permite mejorar la toma de decisiones frente a este tipo de fenómenos naturales presentes en el área de estudio.

La cartografía de amenazas son herramientas fundamentales para el diseño de programas que permitan generar medidas de prevención y mitigación, pero atendiendo cada caso en particular, pues no todos presentan las mismas características del movimiento. Además, es necesario actualizar constantemente estos estudios para beneficio de la comunidad ahí asentada.

Bibliografía

- Ayala, Irasema (2010). Derrumbes: Una luz al final del túnel. *En*: ciencia de boleto . Vol, no. 13, Disponible en línea en: http://www.dgdc.unam.mx/assets/cienciaboleto/cb_13.pdf
- Alcaldía Santiago de Cali (2011). Plan de desarrollo municipal. Comuna 19. Disponible en línea en: www.cali.gov.co/descargar.php?idFile=3809
- CEPAL-BID-IDEA (2002). Amenaza, Vulnerabilidad, Riesgo, Desastre, Mitigación, Prevención. Primer acercamiento a conceptos, características y metodologías de análisis y evaluación. p 24. Disponible en línea en: <http://idea.unalmz.edu.co/documentos/Anne-Catherine%20fase%20I.pdf>
- CVC, Corporación Regional del Valle del Cauca (2014). Resumen mensual multianual precipitación. Código CVC: 2622330105.
- DNP, Departamento Nacional de Planeación (2005). Guía ambiental para evitar, corregir y compensar los impactos de las acciones de reducción y prevención de riesgos en el nivel municipal. p 20. Disponible en línea en: http://www.minambiente.gov.co/documentos/42_guia_reduccion_y_prevenccion_de_riesgos.pdf
- Hernandez, Gonzalo (1998). Metodología para la elaboración de mapas de pendiente. *En*: Revista geográfica de América Central N°36. Vol 2. p. 69-79. Disponible en línea en: <http://www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografica/article/view/1731>.

- Hoyos, Fabian (2001). Geotecnia, diccionario básico. (En línea) Universidad Nacional de Colombia. Disponible en línea en: http://www.academia.edu/1329261/GEOTE_CNIA_DICCIONARIO_B%C3%81SICO
- IDEAM, Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales (2005). Atlas Climatológico de Colombia. p.157. Disponible en línea: <https://documentación.ideam.gov.co/openbiblio/Bvirtual/019711/019711.htm>
- Ingeominas (2005) Microzonificación sísmica de Santiago de Cali. Disponible en línea en: <http://seisan.ingeminas.gov.co/RSNC/index.php/amenaza-sismica/microcali>.
- IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change (2015). Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. Geneva: IPCC.
- Lara, Marisol y Sepúlveda, Sergio (2008). Remoción en Masa. Apunte del curso GL62C. Departamento de Geología. Chile. 2008. Disponible en Línea en: <https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2008/1/GL62C/1/material.../159913%E2%80%8E>.
- MZSC, Microzonificación Sísmica de Cali (2005) Mapa unidades geológicas de Cali. MZSC-G1, ESC: 1:20.000, 2005. Disponible en línea en: <http://seisan.sgc.gov.co/RSNC/CALI/MZSC-G1-Geologia.pdf>
- MZSC, Microzonificación Sísmica de Cali (2005) Mapa de unidades geomorfológicas de Cali MZSC-G3, ESC: 1:20.000.
- Maskrey, Andrew (1993). (Compilador). Los desastres no son naturales. **En:** LA RED, 140p. p, 45-62
- Mora, Sergio y Vahrson, Günther (1993) Determinación a priori de la Amenaza de Deslizamientos sobre grandes áreas, utilizando indicadores morfodinámicos. **En:** Memoria sobre el primer simposio, 1993. p 259 - 273. Bogotá.
- Moreira, Andrés (1996) Los Sistemas de información geográfica y sus aplicaciones en la conservación de la diversidad biológica. **En:** Revista ambiente y desarrollo. ISSN 0716-1476. Disponible en línea en: <http://geo.puc.cl/pdf/moreira/Moreira%20SIG%2000cons.pdf>
- Salcedo, Elkin (2010) Factores que influyen en el proceso de remoción en masa. **En:** Apuntes de clase de geodinámica, departamento de geografía. Universidad del Valle, sede Meléndez.