

# ZONIFICACIÓN DE AMENAZAS POR REMOCIÓN EN MASA, SECTOR LA NOHORA – MONTECARLO. RECOMENDACIONES AL PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL POT.

Por: JUAN FELIPE HARMAN ORTIZ<sup>1</sup>

Por: GERMAN CHICANGANA MONTON<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Estudiante del Programa de Ingeniería Civil. Corporación Universitaria del Meta, Villavicencio.

<sup>2</sup> Ingeniero de Minas, Fundación Universitaria de Popayán, MSc Geología, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C. Jefe del Centro de Investigaciones de Ingenierías y Arquitectura “Rogelio Salmona”, Vicerrectorado de Investigaciones. Corporación Universitaria del Meta, Villavicencio.

## Resumen:

Teniendo en cuenta que el crecimiento urbano acelerado en los procesos de expansión territorial aumenta la ocupación de zonas de alto riesgo con mayor probabilidad a un deslizamiento como es el caso del sector de La Nohora – Montecarlo al sur de la ciudad de Villavicencio, este trabajo de investigación configuro un modelo de amenaza por remoción en masa que delimitó las zonas de mayor inestabilidad para dicho sector, haciendo las recomendaciones pertinentes al Plan de Ordenamiento Territorial (POT) de la ciudad de Villavicencio con el fin de evitar pérdidas económicas y de vidas.

**Palabras clave:** Expansión urbana, Amenaza por remoción, Ordenamiento territorial, Gestión de riesgo.

## Abstract

The increase of urban growth and the occupation of areas that presents landslides how La Nohora – Montecarlo toward southwestern of Villavicencio city in Colombia, produces an unnecessary increase of economics and lives losses. This research show a landslide hazard model which limit areas where the slides are increase for this area. With this research we are proposes some recommendations to the Villavicencio’s Land Use Planning (POT) in this topic for reduces the economic and lives losses.

**Key words:** Urban growth, Landslides, Land Use Planning, Natural hazards

## INTRODUCCION

La ocupación indebida del suelo se ha debido al crecimiento demográfico del país y a las diversas causas históricas de razón económica, social o política, que han producido para Colombia en las últimas décadas grandes movimientos de la población hacia las ciudades (Turkstra, 1998). En el caso de Villavicencio éste fenómeno en la primera década del siglo XXI ha producido el crecimiento desmesurado de la ciudad, que de 320.000 habitantes en 1999 pasó a 2013 a más de 460.000 de acuerdo a las proyecciones del DANE. Debido a esto, la indebida ocupación del suelo se produce principalmente por la población inmigrante a la ciudad que llega a ella por el desplazamiento

forzado debido a la expansión del narcotráfico y el conflicto armado, la falta de oportunidades en otras regiones del país, por lo que la ciudad se torna atractiva por el crecimiento económico de la región, y también por la falta de aplicación del Plan de Ordenamiento Territorial (POT) que regule la adecuada ocupación del suelo.

Por estas razones se ha producido una indiscriminada ocupación del suelo, en terrenos que desde un punto de vista geológico no son recomendables para ser urbanizados, ya que estos presentan elementos detonadores de procesos geológicos como la remoción de masa en las

Tabla 1. Reporte histórico de deslizamientos en la ciudad de Villavicencio (Ramos y Alfaro, 2000).

Fecha	Lugar	Daños y víctimas	Referencia
12/06/1990	Cerro Cristo Rey (El Rincón de la María)	6 muertos, 10 heridos, 3 viviendas arrasadas.	Periódico El Tiempo, 1990
16/09/1992	Playa Rica	6 viviendas destruidas	Periódico El Tiempo, 1992
21/11/1996	Cerro Cristo Rey	5 viviendas destruidas	Periódico El Tiempo, 1996
28/05/1997	Cerro Cristo Rey (El Espejo)	1 muerto, 5 heridos, 4 viviendas arrasadas, 3 desaparecidos.	Periódico El Tiempo, 1997
10/06/1997	Cerro Cristo Rey (El Espejo)	15 viviendas arrasadas, 4 muertos	Periódico Llano 7 días, 1997
10/06/1997	Playa Rica (Barrio Villa Lorena)	6 familias en peligro de perder su vivienda	Periódico Llano 7 días, 1997
1996	Desembocadura Quebrada la Honda	Tramo de tubería de conducción destruida	Periódico Llano 7 días, 1997
22/07/1997	Quebrada Honda – Planta de tratamiento al esmeralda	Tramo de 140m de tubería destruida	Periódico Llano 7 días, 1997

zonas de alta pendiente, licuefacción de suelos en terrenos que se presentan sobre las terrazas aluviales, o humedales que derivan de meandros de los cauces de los principales caños y ríos que cruzan el área urbana, y zonas susceptibles de inundación por causa del desborde de los cauces de los ríos o caños cuando se incrementa su caudal en épocas de fuertes lluvias.

En el POT vigente para la ciudad de Villavicencio, encontramos que la zona estudiada que corresponde al sector de La Nohora para el cual predominan asentamientos ilegales, que carecen de servicios públicos y en donde la mayoría de su población presenta más de una necesidad básica insatisfecha, corresponde a zona rural conforme el concepto emitido y aprobado en el Acuerdo 021 del 4 de diciembre del 2002 del Concejo Municipal con el cual se modificó el POT.

En la definición de los usos del suelo de la zona rural, el área de estudio está definida como forestal protectora-productora, salvo la excepción del barrio Rincón de las Lomas que aparece como suelo de expansión urbana para desarrollo concertado.

A pesar de ello la dinámica de ocupación demográfica ha ido en crecimiento, especialmente por asentamientos humanos informales en el sector de La Nohora que han incidido en las

transformaciones de los usos de suelo del sector. En la figura 1 se muestra el área que colinda con el eje vial hacia Acacias hacia el sur de la ciudad de Villavicencio, tal como la define el POT así como se define como área aluvial la zona que colinda con el área de estudio y que puede ser inundable por su cercanía con el Río Ocoa.

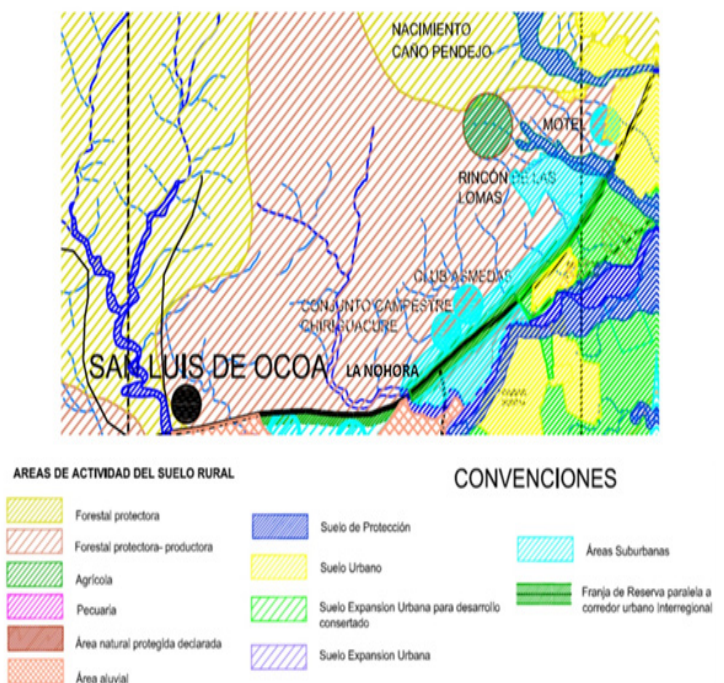


Figura 1. La zona de estudio en el mapa del uso del suelo establecido en el Plan de Ordenamiento Territorial del municipio de Villavicencio.

Para comprender la vulnerabilidad de la población

al fenómeno de la remoción de masa en la zona objeto de estudio, se identificaron variables físicas y ambientales relacionadas con su geología, geomorfología, hidrología y los usos del suelo, los cuales están condicionados por detonantes como los sismos y la pluviosidad.

## 1.GEOLOGIA

En el área de estudio (Figura 2) afloran diferentes unidades de roca de acuerdo a lo establecido por Pulido y Gómez (2001), las cuales en algunos casos están limitadas por las fallas Coledepató y Villavicencio que están relacionadas con el Sistema de la Falla Frontal de la Cordillera Oriental (SFFFCO). Las unidades desde la más antigua hasta la más joven discurren en sentido occidente - oriente y desde la cumbre de los cerros hasta la llanura aluvial del río Ocoa. Son estas:

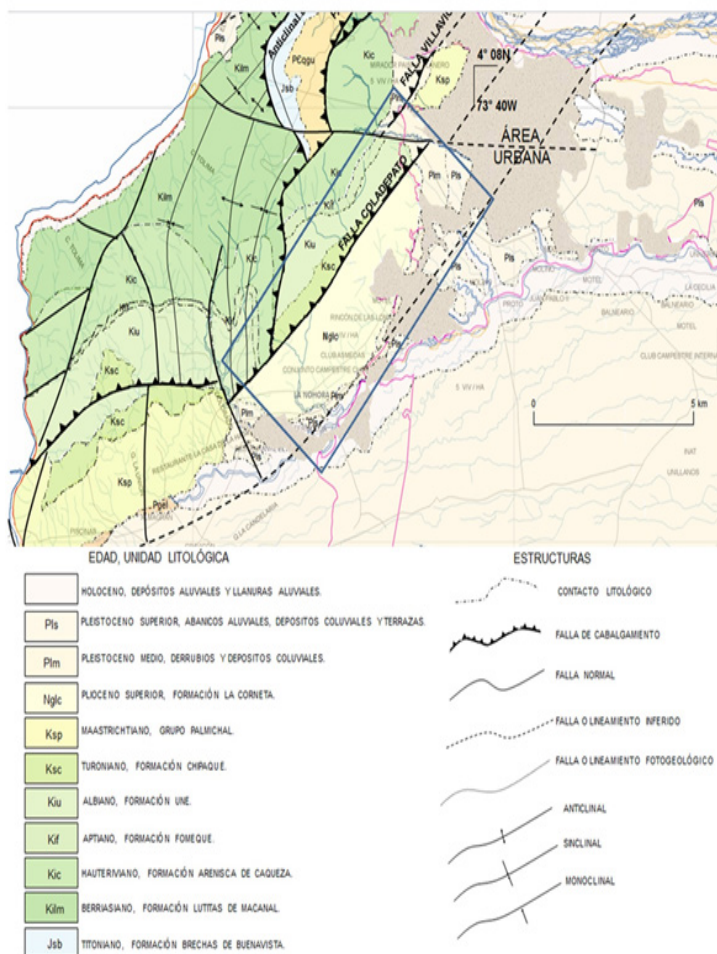


Figura 2. En el rectángulo azul inserto en el mapa geológico del municipio de Villavicencio, la geología de la zona que abarcó este trabajo. Tomado y modificado de Chicangana (2009).

Formación Arenisca de Caqueza (Kic). Según Pulido y Gómez (2001), consta de areniscas de grano medio a grueso que representan un ambiente de frente de playa. Esta unidad se encuentra fuertemente plegada y su edad es Hauteriviense que corresponde al Cretáceo Inferior. De acuerdo a Chicangana (2009), al noroccidente de la ciudad y en el sector de Vanguardia está en contacto fallado por la Falla Bavaria con la Formación Lutitas de Macanal, y afloran en los límites occidentales de la ciudad de Villavicencio en el sector de los barrios Chapinerito y Galán hacia la margen izquierda de la Quebrada Honda. Para el sector de estudio esta unidad se presenta en la parte alta de los cerros en vecindades de la falla Villavicencio.

Formación Fomeque (Kif). De acuerdo a Pulido y Gómez (2001) consiste de limolitas y arcillolitas de color gris a pardo amarillento ligeramente calcáreas y oxidadas con esporádicos nódulos. En la secuencia también existen intercalaciones de areniscas de grano fino compuestas de cuarzo. En el área de Villavicencio estas rocas afloran al nororiente y al suroccidente, donde se componen de areniscas de color gris a gris rojizo con óxidos de hierro, con abundantes cantos de cuarzo, óxidos de hierro, alternándose con delgadas capas de lodolitas calcáreas laminadas grises muy duras. En el sector de La Nohora esta unidad se presenta cerca de la cumbre de los cerros y está limitada con la Formación Brechas de Buenavista con la falla Mirador.

Esta unidad presenta susceptibilidad a procesos de erosión hídrica concentrada y desarrolla suelos residuales francos medianamente susceptibles a procesos de erosión y reptación. En general poseen una permeabilidad primaria media (relacionada con la porosidad efectiva de la roca), y en el sector presenta pendientes topográficas que van entre 40 y 70°.

Formación Une (Kiu). En Villavicencio se encuentran aflorando al noreste y suroccidente. Esta secuencia consiste de areniscas cuarzosas con colores blanco y crema. El tamaño del grano varía de medio a grueso, en ocasiones se torna conglomerático. Esporádicamente se presentan delgadas intercalaciones de lodolitas



grises y negras localmente con materia orgánica (Pulido y Gómez, 2001).

Esta unidad en el sector se encuentra en contacto con las Formaciones Une hacia la parte alta y Chipaque hacia la parte baja. Está en contacto fallado con la Formación Corneta o Guayabo Superior como la asignan Mora et al. (2010). La falla que la limita con esta última unidad es la Coladepato.

Presenta poca susceptibilidad a procesos de erosión hídrica concentrada y a la erosión por socavación. Desarrolla suelos residuales arenosos poco espesos. En general, poseen alta permeabilidad primaria, además, la permeabilidad secundaria es alta.

Formación Chipaque (Ksc). De acuerdo a Pulido y Gómez (2001), está compuesta por el predominio de lutitas grises oscuras a negras. Las lutitas son silíceas y presentan delgadas intercalaciones de areniscas lodosas cuarzosas grises, se encuentran muy fracturadas y meteorizadas, razón por la cual son poco resistentes a la compresión. Esta unidad se ubica hacia el sur del área de estudio y se encuentra limitada por la falla Coladepato, Esta unidad presenta susceptibilidad alta a procesos de erosión hídrica concentrada y de remoción en masa, desarrollando suelos residuales arcillosos también susceptibles a procesos de erosión y reptación.

Formación Corneta o Guayabo Superior (Nglc). Esta unidad consta de gravas y conglomerados compuestos por cuarcita, arenisca y lodolita en una matriz arenosa gruesa, con color amarillento que aflora sobre la carretera en vecindades del río Ocoa y en el sector de La Nohora en la parte alta de este asentamiento, no diferenciándose en este último lugar de los abanicos aluviales con edad Pleistoceno Medio. En esta unidad presenta una geomorfología caracterizada pequeñas elevaciones que sobresalen al resto de las terrazas en proximidad al río. Se estima para este sector un espesor de 50 mts infrayaciendo los niveles de las terrazas. La falla Colepato pone a esta unidad en contacto con las Formaciones Chipaque y Une.

Sobre la edad de esta unidad hay mucha incertidumbre debido a que estos horizontes de

gravas y conglomerados ya bien cementados y maduros que algunos autores indican que pertenecen para el lapso Plioceno - Pleistoceno, pero como son producto de la evolución del piedemonte llanero, el cual se construyó a partir de abanicos aluviales, estos en su desarrollo fácilmente pueden alcanzar en edad el Mioceno superior (Mora et al., 2010). Esta unidad en el sector está poco deformada, pero sus estratos están levantados y basculados por efecto de la actividad de la fallas Colepato y la falla más oriental que el mapa aquí no indica, pero que se infiere que es la Guayuriba - Guiacaramo.

Depósitos aluviales antiguos (Plm). Son depósitos que originan una morfología de colinas suaves que sobresalen de la llanura. Estos materiales se componen de gravas clasto - soportadas, cuyos cantos son redondeados de tamaño variable y predominio de diámetros de 30 cm, aunque ocasionalmente pueden alcanzar en tamaño un metro. Estos cantos están compuestos de cuarcitas muy duras, areniscas y lodolitas rojas, embebidos en una matriz areno arcillosa de color amarillo rojizo, que para el sector se categorizan como de edad Pleistoceno Medio.

Depósitos de Terraza (Pls). Conforman los terrenos en donde se asienta La Nohora y al parecer se desarrollaron en los últimos centenares de miles de años, y en su evolución desarrollaron varios niveles de terrazas. En esta unidad algunas de las terrazas han sido cortadas por la dinámica y profundización de los caños, conformando barrancos, donde se aprecia que están constituidos por guijos y gravas de rocas sedimentarias producto de la degradación de las unidades geológicas con edad Cretáceo presentes en la cordillera. Muchos de estos depósitos están ligeramente inclinados y basculados hacia el oriente, indicando alguna influencia de la actividad neotectónica en el sector.

Depósito de cauce aluvial activo. Son sedimentos recientes que son transportados por las diferentes corrientes de la región, en este caso el río Ocoa y sus afluentes.

Estos sedimentos incluyen cantos redondeados de areniscas cuarzosas, filitas y areniscas rojas principalmente, cuyos tamaños en general son

inferiores a 40 cm. En los caños que atraviesan a la ciudad de Villavicencio, estos depósitos se observan localmente, ya que en su mayor parte se encuentran canalizados.

## 1.2. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

En el municipio de Villavicencio se presentan diversos tipos de fallas, predominando hacia el sector del piedemonte fallas de cabalgamiento, y unas pocas fallas normales generadas tras los frentes cabalgantes. Se presentan además en este sector unas fallas de rumbo con tendencia tanto lateral derecha como lateral izquierda, igualmente desde constatación fotogeológica se infieren fallas y/o lineamientos, como la Falla Guayuriba - Guaicaramo. Las fallas de cabalgamiento tienen como característica en el sector del piedemonte colocar unidades litológicas antiguas sobre jóvenes, obedeciendo de esta manera al régimen compresivo que desarrollo la actual Cordillera Oriental desde el Plioceno hasta el presente. De este tipo de fallas, las más destacadas en el municipio de Villavicencio son:

**Falla Mirador.** Es una falla de orden regional conformando uno de los trazos satélites destacados de la Falla de Guaicaramo. En el municipio de Villavicencio la falla nace de su unión con la Falla Buenavista al oeste de la ciudad de Villavicencio y continúa hasta unirse al sistema de la falla de Guaicaramo en el flanco occidental de la Serranía de las Palomas en el municipio de Cumaral al norte. Al igual que la anterior está seccionada al sur por la Falla Susumuco - El Buque.

**Falla Villavicencio.** Esta falla cruza el sector occidental del cerro tutelar de Cristo Rey en el área urbana de Villavicencio. Al parecer es una estructura igualmente satélite de la falla Mirador, ya que este trazo de falla se extingue al cortarse con esta, cerca al lugar donde la Falla Bavaria se trunca con la falla Mirador en el municipio de Restrepo.

**Falla Coladepato.** Esta falla es la prolongación al sur del sistema de la fallas de Guaicaramo, para su segmento meridional. En el municipio de Villavicencio está truncada por la Falla El Buque - Susumuco, y una falla con rumbo NNW

de tendencia lateral derecha cerca de la vereda La Cuncia. Su naturaleza de falla cabalgante se pone en evidencia porque rocas de la Formación Chipaque del Cretáceo Superior cabalgan sobre rocas de la Formación Corneta o Guayabo Superior al suroeste de la ciudad de Villavicencio.

## 2. GEOMORFOLOGÍA

### 2.1. Unidades de origen denudacional.

**Lomerio suave denudacional.** Superficies planas, suavemente inclinadas y ligeramente surcadas, se encuentran en las cimas de algunas montañas donde se desarrollan delgadas capas de suelo in situ y en algunos cambios de pendiente en los pies de la ladera. Son áreas relativamente estables donde hay ausencia de grandes fenómenos de remoción en masa y están afectadas por erosión laminar y en surcos. En este tipo están las unidades Formación Corneta o Guayabo Superior y los depósitos aluviales antiguos.

**Montañoso Moderado a abrupto denudacional (Dm).** Colinas y montañas con laderas empinadas o quebradas por los drenajes. Se distribuyen hacia la zona de vertientes montañosas altas, donde las pendientes son alargadas y rectilíneas, algunas con más de 1.000 metros de longitud. Se encuentran parcialmente cubiertas por depósitos de ladera muy inestables debido a las pendientes; en esta unidad es común encontrar procesos erosivos y de remoción en masa concentrados alrededor de un drenaje, el cual se va ampliando tanto lateral como regresivamente hasta formar cárcavas. En este tipo están las unidades de edad Cretáceo.

### 2.2. Unidades de origen agradacional.

**Canales activos de inundación (Aci).** Morfología plana a ligeramente inclinada correspondiente a las vegas y barras torrenciales de quebradas y ríos. Estas zonas se inundan con las crecientes torrenciales interanuales cuyo canal más importante del área es el río Ocoa.

**Terrazas medias (Atm).** Morfología plana a ligeramente ondulada correspondiente a depósitos fluvio torrenciales delimitados por escarpes de alturas

hasta de 4 metros. Están sujetas a inundaciones o avenidas torrenciales extraordinarias. Se localizan cerca de la terraza norte del río Ocoa.

Llanuras aluviales (Aal) Topografía plana a ligeramente inclinada hacia el oriente, formada por materiales fluviales provenientes de fuentes lejanas y canales fluviales de la zona; incluye canales abandonados y zonas pantanosas.

### 3. HIDROLOGÍA

#### 3.1. Características Hidrográficas Naturales y Antrópicas del Sector de Estudio.

El área de estudio se caracteriza por presentar una red de drenajes superficiales que se puede considerar entre moderada y densa, la cual adquiere la forma de un sistema de drenaje entre tipo paralelo y dendrítico, que nace en las partes altas de la cordillera Oriental hacia el occidente del casco urbano del municipio de Villavicencio, y divaga por la margen derecha del río Ocoa desde su nacimiento en la cota aproximada de los 700 msnm y desemboca al río Ocoa en la cota aproximada de los 450 msnm, frente al sector de La Nohora.

Las dos microcuencas hidrográficas que delimitan el asentamiento de La Nohora, son las microcuencas del Caño Monos y del Caño Fanagra. Estos nacen fuera del área de estudio y cursan el asentamiento de La Nohora por sus costados derecho e izquierdo respectivamente antes de desembocar en el río Ocoa. Las dos microcuencas analizadas en este estudio se caracterizan por tener áreas pequeñas, presentar formas oval y oval oblonga alargada, discurren en dirección del noroccidente al sureste

y del norte al sur, y se recargan hidrológicamente con la ocurrencia de lluvias poco simultáneas en sus partes altas. Los suelos que cortan están conformados por materiales de granulación fina, permeabilidad relativamente baja, son de origen aluvial y sedimentario muy reciente, conformándose esencialmente de las terrazas con edad Pleistoceno Superior.

Hacia el norte del área, se encuentra el Caño Pendejo, que define el límite nororiental de la zona de estudio y que comprende en su totalidad un área de 300 ha. Este tributa sus aguas en la zona del Piedemonte Llanero al Río Ocoa. Sus alturas oscilan entre los 425 msnm y los 940 msnm en las estribaciones de la cordillera Oriental.

También el caño la Forzosa o caño Saino que discurre entre el Cementerio y el Conjunto Piedemonte y desemboca en el río Ocoa, la cota de su nacimiento se ubica en los 480 msnm y en donde se encuentra la bocatoma del acueducto comunitario de este conjunto.

### 4. ELEMENTOS DETONADORES DE LOS FENOMENOS DE REMOCIÓN DE MASA EN EL SECTOR DE ESTUDIO

Los elementos detonadores de los fenómenos de remoción en masa para el área de estudio son la precipitación y los sismos.

#### 4.1. PRECIPITACIÓN

Tabla 2. Precipitaciones totales mensuales para el sector de Montecarlo- La Nohora. Fuente IDEAM.

PRECIPITACION	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Apto Vanguardia	63,3	128,9	241,7	515,1	695,7	551,0	463,8	386,5	420,5	480,6	424,4	194,1	4565,6
Sena	61,0	90,2	208,1	475,3	559,8	468,4	362,0	322,5	358,0	431,2	383,9	160,7	3881,1
Unillanos	56,3	87,7	201,0	427,7	532,3	451,4	348,7	299,6	324,9	385,5	296,4	105,8	3517,3
La Nohora- Montecarlo	62,0	93,0	213,0	500,0	575,0	480,0	375,0	330,0	363,0	435,0	390,0	164,0	3980,0

Analizando los resultados obtenidos en la tabla 2 se observa que en el sector de estudio la temperatura media mensual es 25.2 °C, la temperatura máxima mensual de 32.7 °C y la temperatura mínima mensual de 18.7 °C, ocurriendo los meses de mayores valores térmicos en febrero y los más

bajos en los meses de mayo y junio. El régimen del brillo solar alcanza las 1490 horas de sol al año, siendo enero el mes de mayor radiación (unas 5.1 horas sol día) y abril el de menor radiación (cerca de 3.4 horas sol día). Igual acontece con el viento, el cual totaliza un recorrido total anual cercano a los

16000 km, mientras la velocidad tiene un promedio de 1.2 m/s y sigue una componente direccional durante casi todo el año del NE y en situaciones especiales de tormentas del SSW y el SE. Por su parte la evaporación anual es de 1230 mm, con los meses secos como los de mayor valor diario (3.9 mm/día) y los meses húmedos los de menor con 3.2 mm/día.

Por su parte la precipitación anual es de 3980 mm, los cuales se distribuyen en 238 días y tienen promedios de lluvias máximas en 24 horas de 73.3 mm, con una temporada seca en la que precipita cerca del 12% del total anual que se inicia a mediados de diciembre y va hasta mediados de marzo y una temporada húmeda que comprende desde finales de marzo hasta finales de noviembre y en ella precipitan cerca del 85% de los totales anuales. En consecuencia con esta distribución, la humedad relativa atmosférica presenta un promedio anual del 79% y oscila entre el 68% en enero y el 83% en junio.

4.1.1. Aproximación Hidrológica en el sector de estudio. En concordancia con el régimen pluviométrico y climatológico predominante en el área de estudio, se observa que en las dos microcuencas aquí analizadas la época de caudales altos comprende desde mediados de abril y termina hacia finales de noviembre, con caudales que presentan para el mes de mayo valores de 564,1 y 133,7 litros por segundo en promedio, respectivamente, mientras que la época de ocurrencia de los caudales bajos comprende desde enero hasta marzo y presenta unos caudales para el mes de enero de unos 60,82 y 14,41 litros por segundo, respectivamente. En este orden de ideas, se puede estimar que el valor medio mensual de los caudales medios para las dos microcuencas a nivel anual es de 325,4 y 77,1 litros por segundo respectivamente, observando que a nivel de oferta hídrica anual en el sector se presenta en la microcuenca Los Monos un caudal que pudiera ser utilizado en parte para el suministro del sistema de acueducto del nuevo asentamiento humano.

## 4.2. SISMOS

La zonificación de amenaza sísmica realizada por

INGEOMINAS (INGEOMINAS, 2002), define que existen datos disponibles de focos de epicentros de sismos que se han presentado asociados a la franja del piedemonte llanero, por donde pasa la falla del mismo nombre y que han causado daños en las áreas urbanas.

En ese sentido, dicha caracterización define el Piedemonte aluvial que es el que corresponde al área del estudio el cual corresponde al depósito de suelo aluvial localizado en el piedemonte suroccidental de la ciudad, cuyo espesor oscila entre los 10 y 20 metros, presentando aceleraciones espectrales esperadas moderadamente altas de hasta de 1.3g.

## 5. RESULTADOS

Del trabajo de campo junto con el análisis fotogeológico se identificaron tres deslizamientos que se ubican en la parte norte del asentamiento La Nohora, la parte alta del

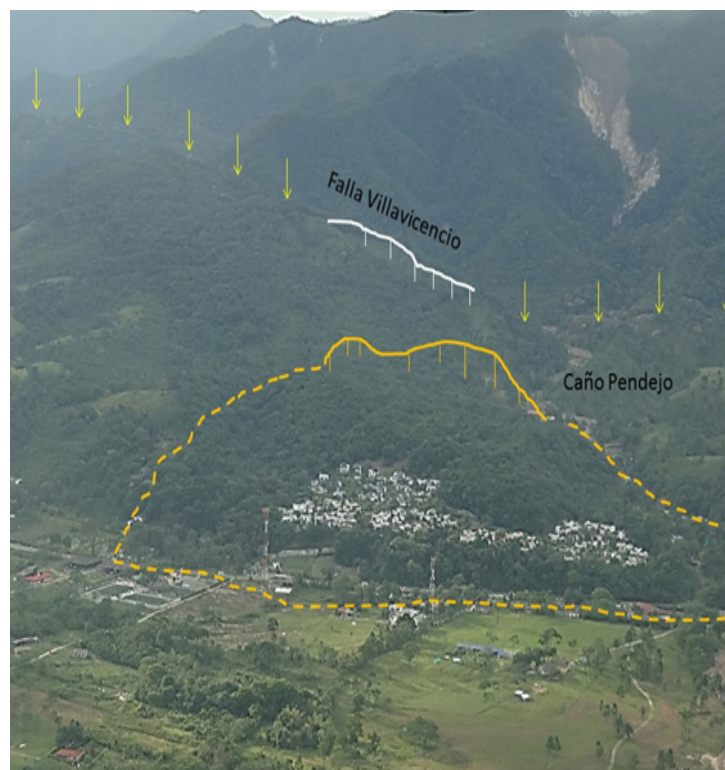


Figura 3. Sector del Conjunto Rincón de las Lomas. En blanco, escarpe asociado a la falla Villavicencio. En línea y trazos naranja, delimitación del deslizamiento sobre el que se edificó el Conjunto Rincón de las Lomas. Las flechas indican el surco por donde se presenta la Falla Villavicencio.



Conjunto Hábitat, y dentro de los predios del Conjunto Rincón de las Lomas. Además de esto se encuentran identificados cuatro escarpes, el mayor de estos se extiende desde el sur hasta el norte de toda el área que ocupa el asentamiento La Nohora. Otro se presenta hacia el norte de este último sector, otro escarpe que define la cuenca media de la quebrada Fanagra y finalmente hacia la parte alta del conjunto Rincón de las Lomas se halla otro escarpe, este último está supeditado al control estructural de la falla Coladepato.

## 5.1 DESLIZAMIENTOS

5.1.1. Deslizamiento del sector del Rincón de las Lomas. Este es un deslizamiento que se ha desarrollado durante el Pleistoceno superior y se encuentra sobre la margen izquierda del Caño Pendejo. El deslizamiento como tal (Figura 3), es muy grande si tenemos en cuenta la dimensión desde su corona hasta su pie. Se trata de un deslizamiento aparentemente inactivo, sin embargo dicho sector es susceptible de removerse con la eventualidad de un mal manejo de aguas en el sector donde está asentado el Conjunto Rincón de las Lomas. La diferencia de cotas del deslizamiento va en un orden de 60 metros con una pendiente topográfica que se aproxima a 35 grados (40%). La vegetación cubre completamente el deslizamiento y este ha sido eventualmente intervenido por motivos asociados al desarrollo urbano. Algunos sectores de este deslizamiento son susceptibles de activarse como se verá más adelante aquí. De todas maneras ese sector forma parte de la cuenca media del Caño Pendejo, indicando que parte de su pendiente ha sido desarrollada por la escorrentía generada por la geometría de la cuenca en el sector.

5.1.2. Deslizamiento de Hábitat. Es un deslizamiento incipiente que se ha desarrollado como resultado de la descohesión parcial del macizo rocoso de la Formación Corneta en este sector. El deslizamiento es potencialmente activo y es de muy reciente conformación, no más de una decena de miles de años. Hacia su parte norte se está desarrollando una cuenca incipiente con un cuerpo de agua muy difuso, que en el futuro dará lugar a una nueva quebrada o caño. El deslizamiento como tal se ha formado posiblemente por la circulación de

aguas subterráneas en el sector que este cubre, dando lugar a la conformación del deslizamiento como tal. Es muy posible que la tala de bosque y la intervención antrópica produjera el proceso de descohesión del macizo rocoso en el sector, acelerando en ese sector la escorrentía.

5.1.3. Deslizamiento de La Nohora. Al igual que el Deslizamiento del Rincón de las Lomas, este fenómeno se ha desarrollado en el Pleistoceno superior. El deslizamiento (Figura 4) está localizado en la parte noroccidental de La Nohora, es un deslizamiento activo y erosionado de una magnitud importante, situación que se agrava teniendo en cuenta que las pendientes superan el 35% en dicha área. Este lomerío es disectado por el caño Fanagra que se encuentra totalmente intervenido por factores antrópicos, en este caso por el margen izquierdo del asentamiento de La Nohora. Como es un depósito reciente está compuesto por suelos poco consolidados, en especial arcillas con alto grado de expansión y degradación por efecto de la escorrentía (Figura 5) producida por el inadecuado manejo de los drenajes por parte de los habitantes del asentamiento con lo que se aumenta las condiciones de vulnerabilidad.

Además hay que tener en cuenta amenazas de deslizamiento por el mismo sistema de ocupación del suelo, caracterizado por una nivelación forzada de las pendientes de la loma con estructuras débiles como costales llenos de arena y arcilla (Figuras 6, 7 y 8).





Figura 4. Sector del asentamiento La Nohora. En trazos naranjas, delimitación del deslizamiento. Las líneas azules indican el curso por donde discurren los caños Los Monos en primer plano y Fanagra hacia la zona del deslizamiento



Figura 5. Aspecto de socavación por efecto de escorrentía en vecindades del Caño Fanagra.



Figura 6. Aspecto de socavación por efecto de escorrentía bajo una casa en el asentamiento de La Nohora.

Esto lleva a que la desestabilización de las casas puede originar un fenómeno de remoción que afecte 20 a 30 familias, sin necesidad que exista un episodio morfodinámico de gran magnitud ligada a la geología estructural del sector.

## 5.2. ESCARPES

5.2.1. Parte alta del conjunto Rincón de las Lomas. Es un escarpe que se relaciona con la Falla Villavicencio (Figura 3) que sirve de límite entre la Formación Chipaque y la Formación la Corneta o Guayabo superior. El escarpe como tal define en este sector una de las paredes de la falla, siendo este rasgo el contrafuerte de la formación Chipaque en el sector y en donde se ha ido desarrollando como resultado, la actividad tectónica reciente de la falla donde se levanta el bloque superior produciendo erosión por descomposición del macizo rocoso inferior. En otras palabras la Formación Corneta es susceptible a destrucción o descohesión de las rocas que la componen por resultado de la escorrentía del sector pero simultáneamente con el levantamiento del bloque superior, definiendo una microcuenca en la parte alta.

5.2.2. Escarpe de la cuenca media en la cuenca Fanagra. El escarpe de la cuenca media de la quebrada Fanagra presenta su ápice superior en contacto con la Falla Villavicencio. Es posible que por el levantamiento reciente del bloque superior por efecto de la movilidad tectónica reciente de la Falla Villavicencio se haya producido una diferencia de cotas pronunciada en el sector, generando una pendiente que ha dado lugar a una erosión diferencial en los flancos de la cuenca media de la quebrada Fanagra. Esta erosión diferencial ha desarrollado hacia la margen derecha de la cuenca media un escarpe el cual puede abarcar varios metros de altura, conllevando que hacia la parte baja de dicha margen se presente un fenómeno erosivo que ha conducido a producir un deslizamiento potencialmente activo, donde la corona del deslizamiento supera fácilmente el centenar de metros. En este sector en particular se presenta un cambio litológico pronunciado que ha favorecido este proceso erosivo para dar lugar al desarrollo del escarpe en donde ya se observa un relleno sedimentario correspondiente a depósitos aluviales



y coluviales mezclados, que cubren parcialmente a la Formación Corneta. Este depósito sedimentario tiene como edad Pleistoceno medio y presenta baja consolidación, lo que sumado a la pendiente topográfica, ha favorecido por un lado el desarrollo del escarpe, y por el otro la ampliación de la cuenca media de la Quebrada Fanagra. Hacia la margen izquierda en donde la quebrada comienza a ingresar en la altillanura y forma un recodo, se desarrolla en dicho margen otro deslizamiento potencialmente activo en un punto donde las litologías (Depósitos de Pleistoceno medio y Formación Corneta) limitan entre sí.

5.2.3. Gran escarpe de sector de La Nohora. Este escarpe define casi que un contacto litológico entre rocas de la Formación Corneta de la parte superior con depósitos no consolidados de Pleistoceno superior en la parte baja. El escarpe de por sí hace inferir un gran deslizamiento prehistórico cuya corona puede tener una longitud superior en longitud a un kilómetro. El deslizamiento de por sí dio origen al gran depósito del Pleistoceno superior que se observa en el sector. En la parte sur del escarpe parcialmente la corona es más reciente, afectando parcialmente a la Formación Corneta o Guayabo superior, lo que lleva a pensar que hacia un futuro muy cercano podría desarrollarse un gran deslizamiento en este sector que sin embargo no es evidente aun salvo por la presencia del escarpe.

## 6. ANALISIS DE LA VULNERABILIDAD

Las terrazas y los abanicos aluviales encontrados en la parte baja de La Nohora nos indican que hay antecedentes históricos de fenómenos de remoción con relativa temporalidad, y esto es un elemento primario a tener en cuenta para comprender la poca consolidación de los depósitos Cuaternarios que conforman esta zona del Piedemonte.

La susceptibilidad de amenaza por remoción de masa en el área se incrementa por efecto del manejo inadecuado del suelo debido a la mala evacuación de las aguas servidas para el caso de La Nohora, en donde se produce el incremento de la escorrentía en los suelos con una pendiente de media a alta (Figuras 7 y 8). Sumado lo anterior la alta tasa de pluviosidad que ocurre en esta región y que de acuerdo al IDEAM se aproxima a los 4 m

al año (Tabla 2), los fenómenos erosivos que en el sector se producen para el conjunto del macizo rocoso y los depósitos que conforman el subsuelo, potencializan en este su susceptibilidad a la remoción de masa, ya sea de manera parcial, como ya ha ocurrido, desde que la población comenzó a asentarse en este sector, o con gran volumen, que será lo podrá ocurrir, sino se toman medidas de inmediato en el sentido de la reubicación de los asentamientos o



Figura 7. Aspecto del inadecuado uso y ocupación del suelo en el asentamiento de La Nohora. La fotografía indica aquí que se hace un mal manejo de las aguas residuales que se producen en las viviendas, que se asentaron sobre un terreno recientemente deslizado y que continúa desplazándose en el Presente.



Figura 8. Aspecto del inadecuado manejo del suelo bajo una casa en el asentamiento de La Nohora. Por esta situación se incrementa la escorrentía produciendo la degradación del suelo, por lo que erosiona y potencializa la remoción de masa.



Figura 9. La inadecuada ocupación del suelo, en donde los planificadores urbanos desarrollan conjuntos de vivienda de estratificación socioeconómica alta en zonas de alto riesgo, como para el caso del Conjunto Rincón de Las Lomas, en donde la flecha indica una cárcava, que indica el proceso del desarrollo de un deslizamiento tipo rotacional. Ortófono IGAC.

viviendas, muchas de las cuales se asientan en zonas recientemente removidas o en proceso de remoción.

Por otro lado, a diferencia de La Nohora, en el Conjunto Rincón de Las Lomas, el cual está asentado sobre un gran deslizamiento antiguo, si bien no muestra evidencias de remoción reciente, finalmente un sector de este conjunto no fue construido por las condiciones geotécnicas adversas que se presentaban en su parte alta, en donde se evidencia un carcavamiento (Figura 9) que con el tiempo se convertirá en la corona de un deslizamiento tipo rotacional en el sentido de Rotaru et al. (2007).

## RECOMENDACIONES

Es necesario restringir el uso del suelo en la zona de estudio para asentamientos humanos, incluso modificando el uso de suelo que ocupa el Rincón de las Lomas, que se encuentra como área para el desarrollo suburbano hacia protectora- forestal, porque se demuestra que está compuesta por depósitos recientes de origen aluvial, susceptibles de generar remoción de masa.

El ordenamiento a este sector debe estar acompañado como política pública de los planes de intervención para minimizar las formas de amenaza por deslizamiento.

Es necesario realizar más estudios detallados sobre las condiciones naturales del piedemonte que implique la investigación del comportamiento hidrogeológico de la zona, y una microzonificación sísmica que permita caracterizar a mayor profundidad los fenómenos morfodinámicos que se vienen presentando.

Es necesario explorar diferentes tratamientos para mitigar el nivel de erosión de la formación rocosa, desde el control biológico hasta la regeneración natural de la capa vegetal dada la importancia de esta zona para el municipio de Villavicencio, no solo por la ubicación de asentamientos humanos, sino por el abastecimiento de servicios que le brinda el Piedemonte a la ciudad, como lo son las bocatomas de los acueductos comunitarios que se encuentran en la zona.

## CONCLUSIONES

A pesar del orden legal en materia de ordenamiento que está establecido para la zona estudiada y que define los términos de su conservación, se ha construido un ordenamiento de hecho, que aumenta la amenaza de un posible proceso de remoción en masa, en donde existe un alto grado de vulnerabilidad dada la densidad demográfica del asentamiento La Nohora.

El estudio nos determina que hay un alto grado de amenaza por remoción en masa en la parte alta del asentamiento de La Nohora, lo cual es una situación que genera un estado de vulnerabilidad para las familias que allí habitan.

El Conjunto Rincón de las Lomas está sobre un depósito reciente en un suelo poco consolidado, además de estar rodeado por un escarpe de importante magnitud que presenta actividad reciente, por ende, está en una zona con susceptibilidad alta a la remoción de masa.

El desarrollo urbano en esta zona no ha tenido



presente las condiciones de vulnerabilidad que se producen frente a los fenómenos de la remoción de masa cuando se construye en una zona de desarrollo geológico reciente como las expuestas en este trabajo.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo es parte de la tesis de pregrado del primer autor. El agradecimiento es para la Corporación Universitaria del Meta y el grupo de Investigación Estudios de prevención en riesgo sísmico y desastres naturales del piedemonte llanero que brindó su apoyo para la realización de esta investigación, para el Ingeniero Geógrafo Tulio Aymerich Hernández del Instituto Geográfico “Agustín Codazzi”, por su valiosa asesoría en los temas de geomorfología y ordenamiento territorial, y para la comunidad del asentamiento de La Nohora, que sin su apoyo no hubiera sido posible la realización del trabajo de campo que se realizó a finales del año 2011.

## BIBLIOGRAFÍA

Chicangana, G. (2009). Amenaza Sísmica en Villavicencio y el Piedemonte Llanero del Centro de Colombia. Corporación Universitaria del Meta, Villavicencio: Punto Gráfico Editores, 110 p.

INGEOMINAS (2002). Zonificación integral por amenazas naturales para la ciudad de Villavicencio, Meta, fase II, Bogotá D.C., INGEOMINAS, 95 p.

Mora, A., Parra, M., Strecker, M. R., Sobel, E. R., Zeilinger, G., Jaramillo, C., Ferreira Da Silva, S. & Blanco, M. (2010). The eastern foothills of the Eastern Cordillera of Colombia: An example of multiple factors controlling structural styles and active tectonics. *GSA Bulletin*, 122 (11/12): 1846 -1864.

Pulido, G. O. y Gómez, V. L. S. (2001). Geología de la Plancha 266 - Villavicencio, Escala 1:100000. Mapa y Memoria explicativa. INGEOMINAS. 53 p.

Ramos A. y Alfaro, A. (2000). Fuentes Sismogénicas y deslizamientos en Villavicencio para la Microzonificación Sísmica. *Revista Ingeniería y*

Universidad, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá D.C. 4 (2), 42-51

Rotaru, A., Oajdea, D. & Raileanu, P. (2007). Analysis of landslides movements. *International Journal of Geology*, 3 (1), 70 – 79.

Turkstra, J., 1998. Urban Development and Geographical Information, Spatial and temporal patterns of urban development and land values using integrated geo – data, Villavicencio, Colombia. ITC Publication Series. Enschede, Netherlands. 60, 268 p.