

4. GEOMORFOLOGÍA

En este capítulo se presenta la descripción geomorfológica del área de estudio y su zona de influencia desde un punto de vista morfométrico, morfológico y morfodinámico. El estudio morfométrico incluye la cartografía y el análisis de las variables cuantitativas o medibles en el terreno como altitud relativa, pendientes y aspecto. La morfología concierne la caracterización de las formas del terreno desde su génesis u origen y la morfodinámica de los procesos pasados, actuales y futuros de las unidades dinámicas del terreno como depositación, erosión y remoción en masa.

4.1 MORFOMETRÍA

4.1.1 Relieve

Desde un punto de vista semiregional, el Cerro Altos de la Estancia constituye una morfología de forma triangular, escarpado en su costado sur y agudo en su extremo norte, presenta una longitud aproximada de 2500 metros y un ancho de unos 2500 metros. Es un cerro asimétrico escarpado hacia en SW y suavemente inclinado al NE y escarpado hacia el Sur y ligeramente inclinado hacia el Norte. Ver figura 4-1.

4.1.2 Modelo Digital de Terreno DTM

La descripción morfométrica de la zona de estudio se realizó a partir de la construcción de un modelo digital de terreno DTM. Este modelo se construyó a partir de la interpolación de las curvas de nivel para conformar un archivo raster (GRID) con valores de altura (Z) cada metro y resolución espacial en X y Y de 1 m, y 1403 columnas por 1188 filas. Ver Figura 4-2.

4.1.3 Altitud Relativa

La distribución de las alturas en contornos de 25 metros muestra una distribución de franjas equidistantes y paralelas entre sí orientadas en dirección N45° - 40° W. Presenta una altura relativa de unos 200 metros (entre 2587 y 2821 m.s.n.m.). Ver Figura 4-3.

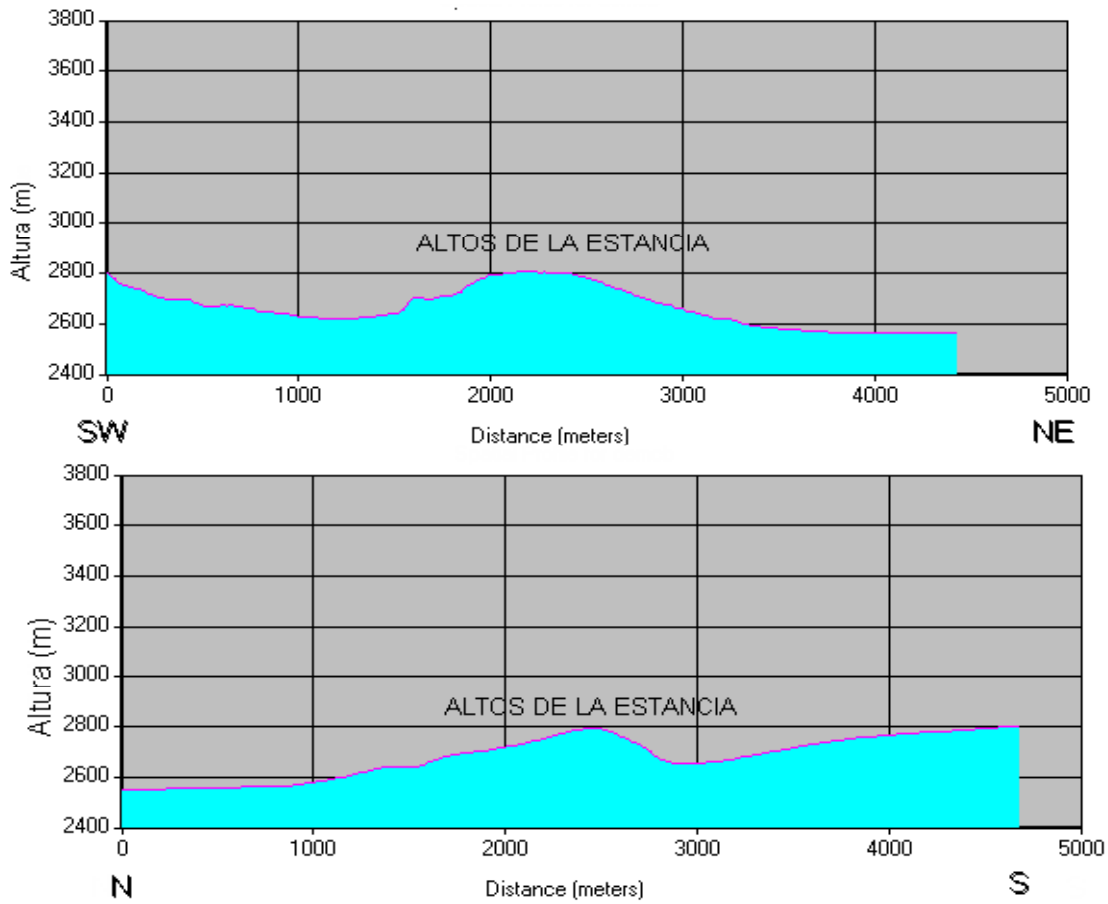


Figura 4-1 Vista de la morfometría del Cerro Altos de la Estancia en dos perfiles topográficos.

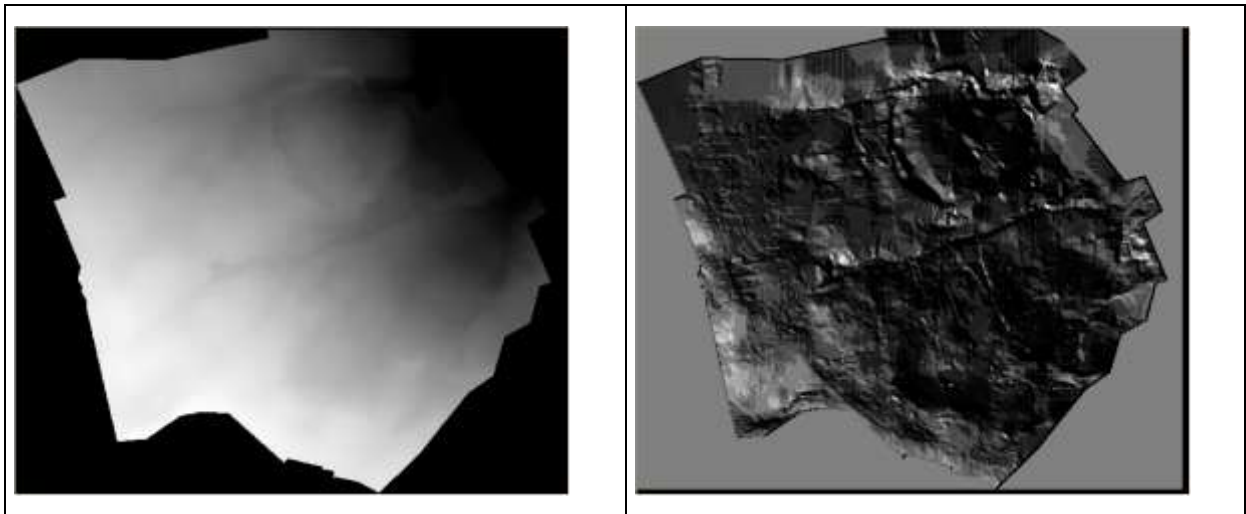


Figura 4-2 DTM en niveles de grises y en vista de relieve

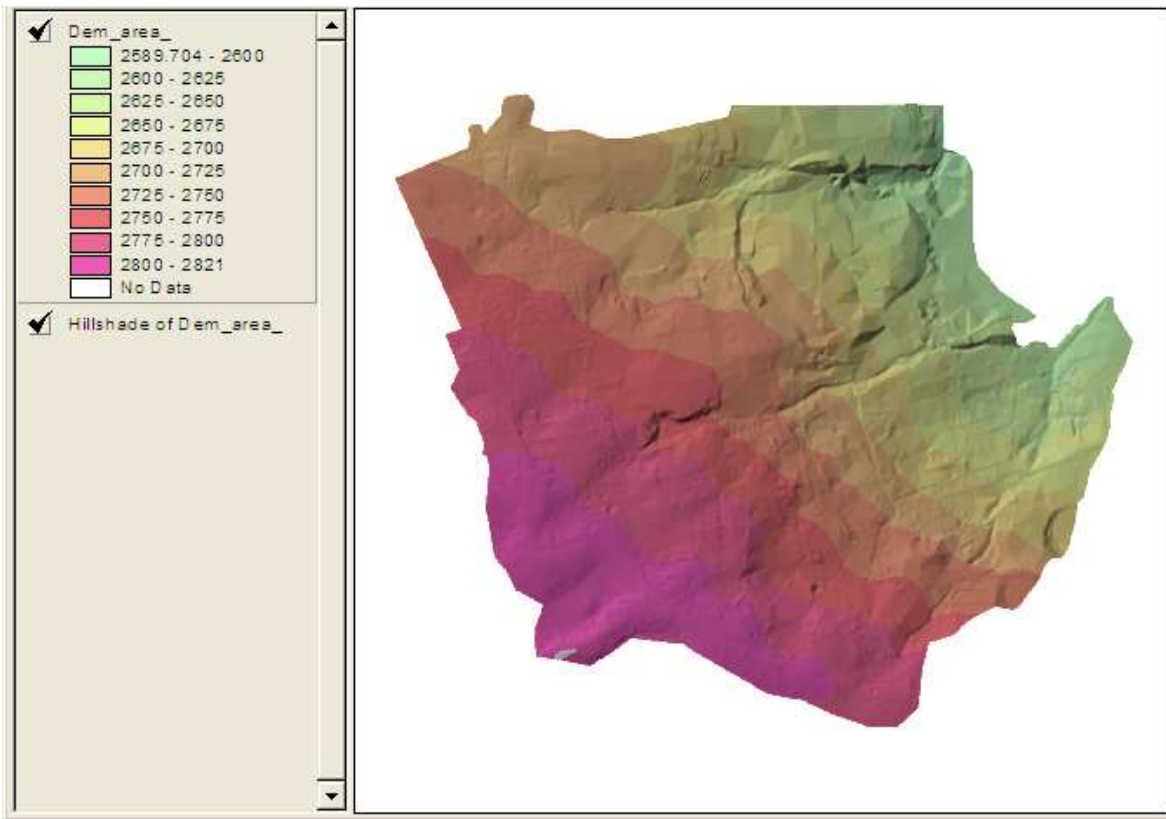


Figura 4-3 Mapa de contornos de altitud

4.1.4 Inclinación de la pendiente

Para el análisis morfométrico de la inclinación de la pendiente se elaboró un mapa de contornos con las siguientes características. Ver Tabla 4-1 y Figura 4-4 y Figura 4-5.

Tabla 4-1 Intervalos de pendiente

Intervalo	Rango de pendiente	Termino descriptivo	Área (m ²)
1	0 y 5°	Plana a suavemente inclinada	127796
2	5° – 10°	Ligeramente inclinada	255807
3	10° – 15°	Inclinada	318895
4	15°-30°	Muy inclinada	390096
5	30°-45°	Abrupta	39906
6	45° - 90°	Escarpada	3701

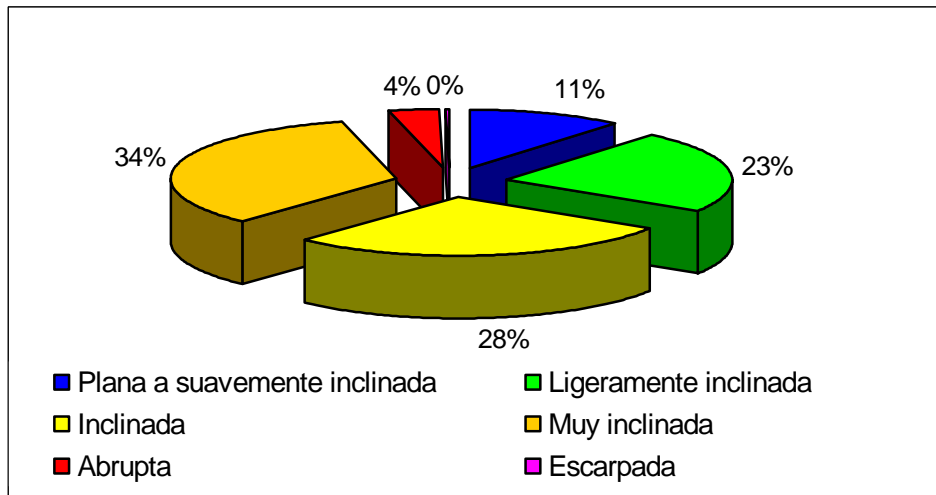


Figura 4-4 Distribución porcentual de los intervalos de inclinación de la pendiente

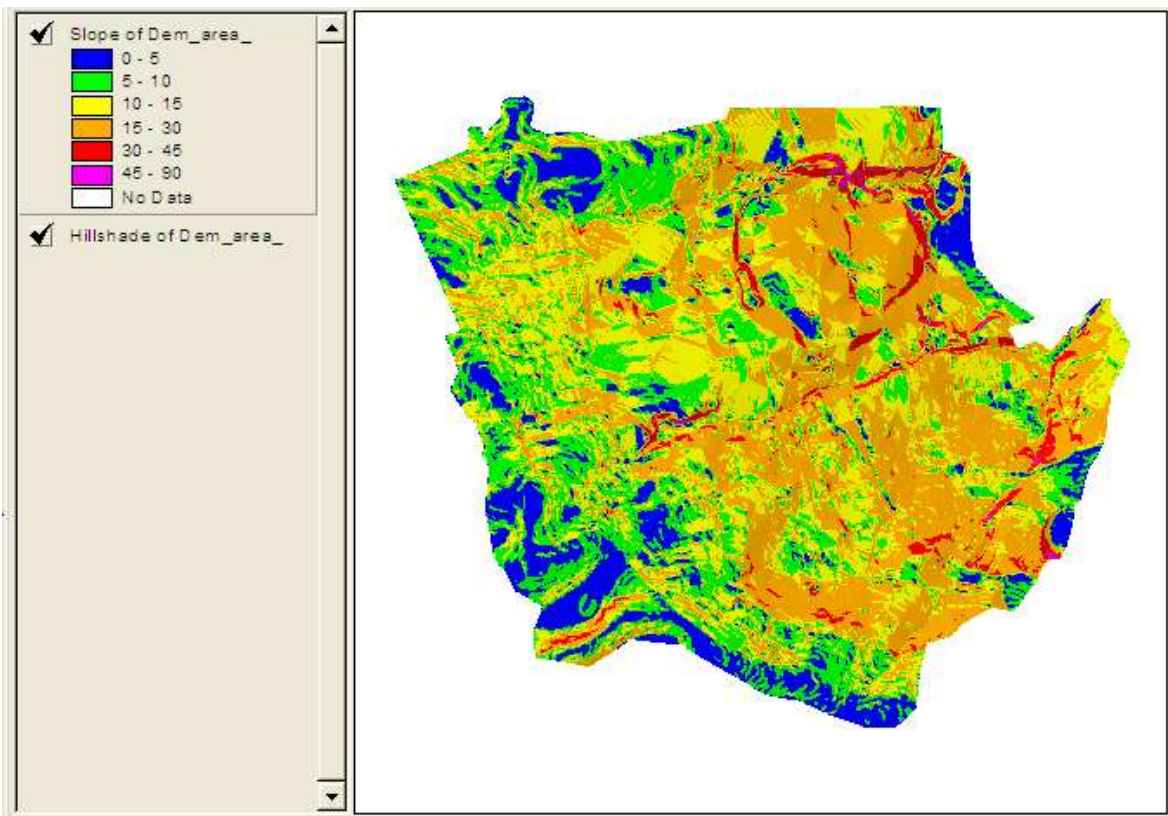


Figura 4-5 Mapa de contornos de inclinación de la pendiente

De los anteriores datos y graficas se puede resaltar que el área de interés presenta un predominio de pendientes inclinadas a muy inclinadas en un 62% de su extensión, particularmente en la zona de los deslizamiento de La Carbonera y El Espino. Se destaca

igualmente los escarpe formado por la falla de Rosales en la quebrada de igual nombre y sobre la Falla de la Carbonera.

Es evidente también el mayor grado de inclinación en la zona de deslizamiento de la carbonera respecto a la zona del deslizamiento El Espino.

4.2 MORFOLOGÍA

En este aparte se presenta una descripción morfológica desde un punto de vista regional, semiregional y local y teniendo en cuenta la génesis u origen de las geoformas. (Ver Mapa 4-1).

4.2.1. Morfología Regional

Regionalmente se puede apreciar que en las estribaciones de la Cordillera Oriental en la entrada sur de la Sabana de Bogotá, se presenta una morfología caracterizada por tres macrounidades principales: La primera al SW del área conformada por un relieve estructural asociada a morfología de pliegues regionales de tipo sinclinal y anticlinal, una macrounidad central conformada por la depresión tectónica de Terreros y la tercera al NE conformada por el cerro de origen estructural denudacional por modelado por fallas geológicas y procesos denudacionales y de depositación. (Ver Figura 4-6 y Figura 4-7.). A continuación se presenta una descripción de las unidades morfológicas menores asociadas a estas macrounidades.

4.2.1.1 Montaña denudada (Dml).

Se localiza al SW del área de estudio y se caracteriza por desarrollar un relieve de altas pendientes de superficies ligeramente redondeadas por procesos denudacionales.

4.2.1.2 Capas estructurales controladas por estratificación (Sde).

Forma un relieve irregular de crestas pronunciadas sobre el relieve y originadas por una sucesión de capas rocosas de diferente resistencia. Estas capas se orientan en dirección perpendicular de la pendiente que drena hacia el Embalse de Terreros.

4.2.1.3 Pendientes estructurales de flancos de pliegues (Spl).

Pendientes que muestran una sucesión de capas en dirección NE, NW e inclinadas hacia el Noroeste y Sureste y conforman flancos de pliegues sinclinales y anticlinales.

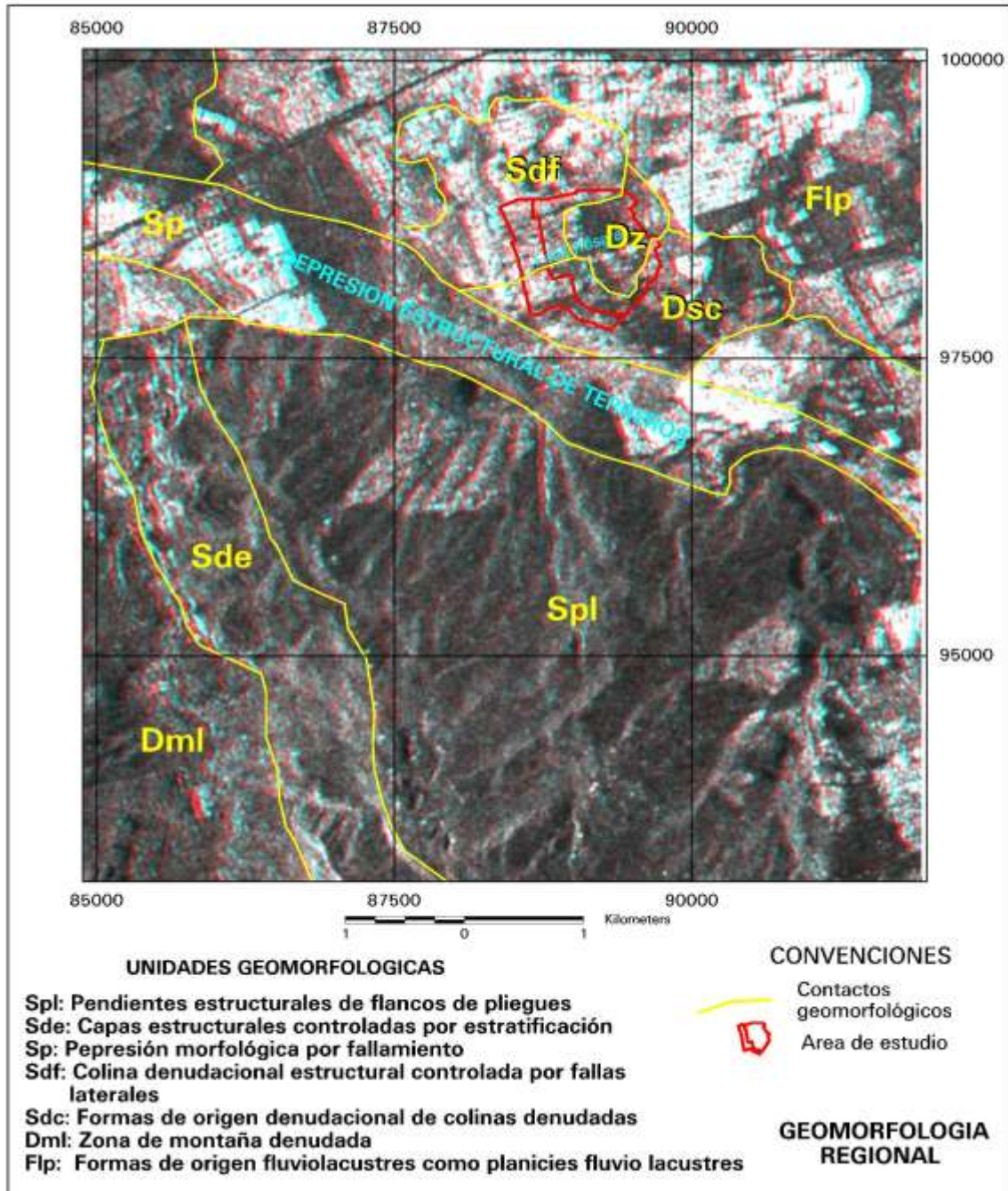


Figura 4-6 Interpretación geomorfológica regional (Para ver en 3D, use gafas de anaglifo azul y rojo).

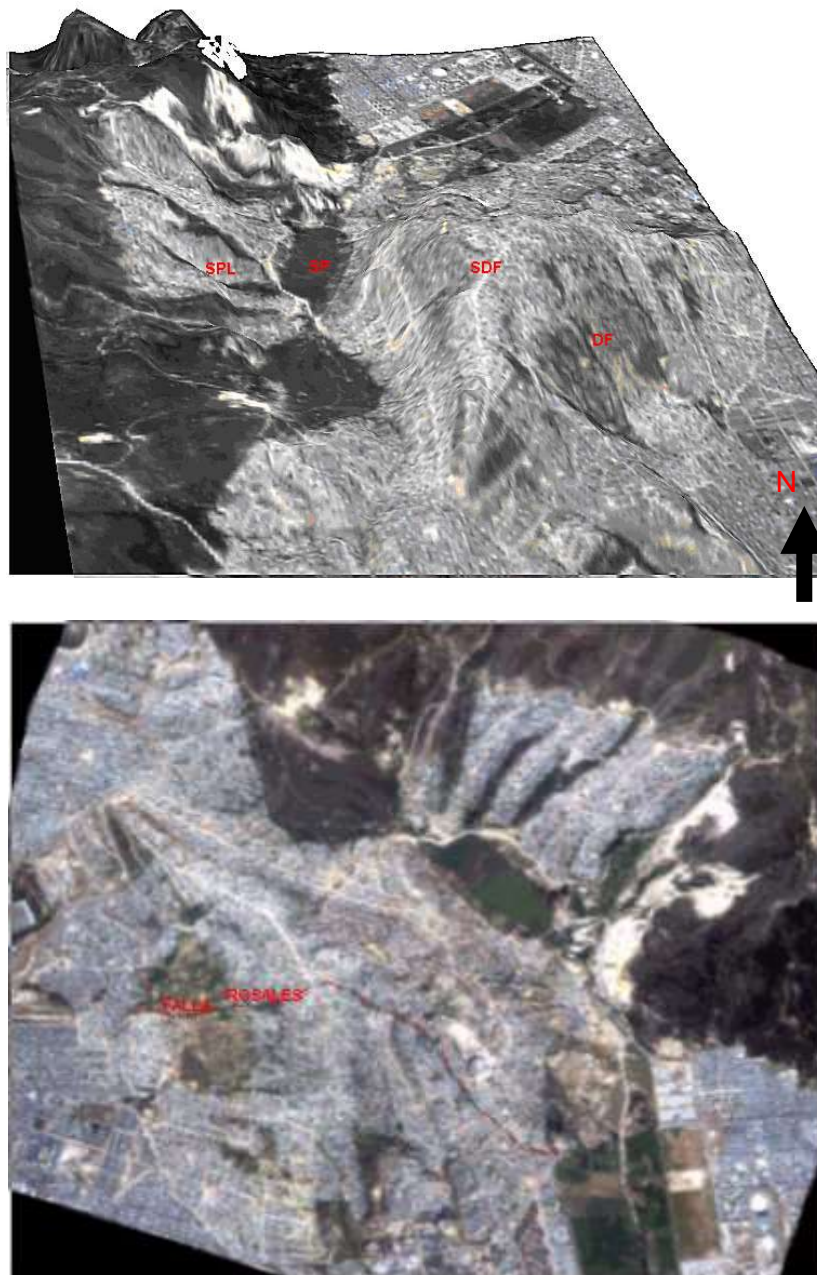


Figura 4-7 En la parte superior vista panorámica regional tridimensional de la imagen Ikonos y modelo digital del área de estudio resaltándose a la izquierda las laderas estructurales (Spl) la depresión morfológica del sistema de fallas de Terreros (Sp) y el cerro estructural de Altos de la Estancia (Sdf) y la zona de deslizamientos (Df). En la parte inferior vista desde arriba mostrando el lineamiento morfológico que deja el trazo de la falla de Rosales (en rojo) formando un potencial cicatriz de arranque.

4.2.1.4 Depresión morfológica por fallamiento (Sp)

Forma la zona de depresión morfológica controlada por el sistema de fallas de Terreros Sur y Norte, en esta zona sobresalen algunas crestas estructurales de cerros remanentes de la Formación Guadalupe.

4.2.1.5 Forma estructural controlada por fallas laterales (Sdc)

Corresponde a la parte norte del cerro la cual está controlada por fallas y estructuras de capas que se truncan en la falla (Falla Rosales).

4.2.1.6 Formas denudadas (Dc)

Representan la parte sur del cerro con formas irregulares por procesos denudacionales por erosión y el cubrimiento de depósitos fluvioglaciares.

4.2.1.7 Planicies fluviolacustres (Flp).

Morfologías planas de origen fluvial y lacustre de la Sabana de Bogotá.

4.2.2 Morfología Semiregional

Como aspectos semiregionales se abordará en esta sección la descripción del cerro de origen estructural denudacional denominado como Altos de La Estancia. Para mejor comprensión de la morfología de los procesos, se utilizarán diferentes vistas tridimensionales basadas en el empleo la utilización de fotografías aéreas (F_058) numerizadas y georreferenciadas, la imagen Ikonos del 2004 y el modelo digital de terreno de resolución de 15 metros por píxel - terreno. Ver Figura 4-8.

Morfológicamente el Cerro Altos de la Estancia presenta las unidades que relacionan en los siguientes numerales.

4.2.2.1 Escarpe de línea de falla (Sef)

Representa el escarpe localizado al oeste del área de estudio, el cual hace parte de la línea de falla del sistema de fallas de Terreros con una dirección aproximada EW.

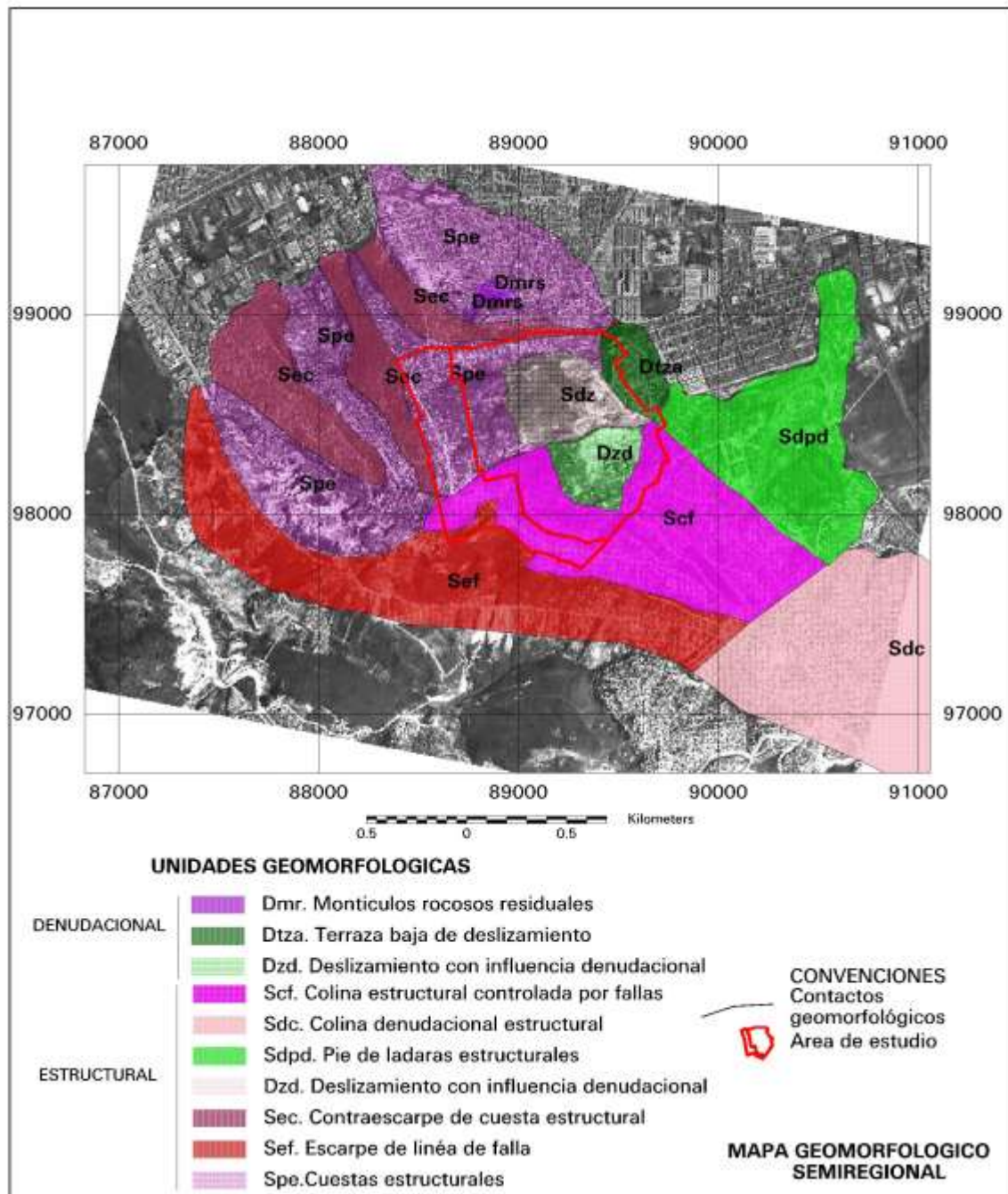


Figura 4-8 Geomorfología semiregional

4.2.2.2 Contraescarpe de cuesta estructural (Sec)

Corresponde a superficies inclinadas a escarpadas limitando las cuestas en su parte anterior.

4.2.2.3 Cuestas estructurales (Spe)

Representa la superficie inclinada formando en sectores pendientes estructurales en dirección NE. Ver Foto 4-1.

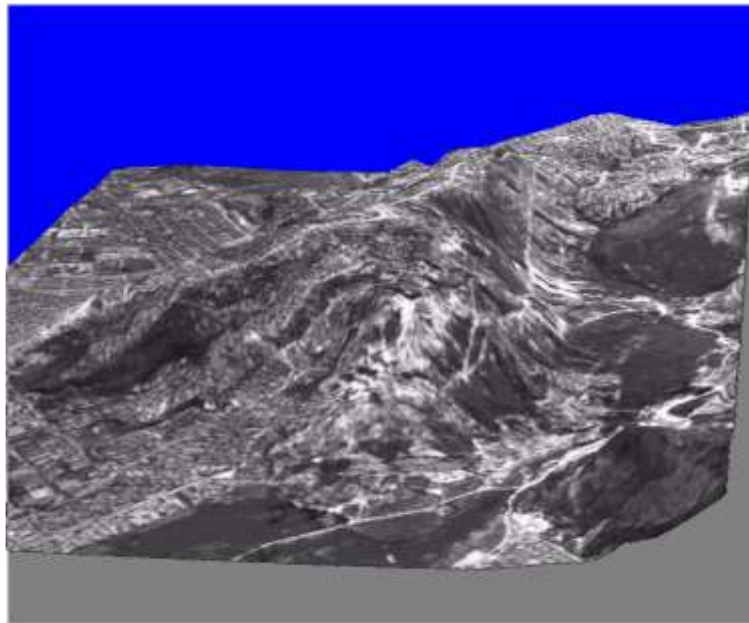


Foto 4-1 Vista desde el NW a NE del cerro Altos de la Estancia mostrando hacia la izquierda la secuencia de contraescarpes y cuestas estructurales.

4.2.2.4 Pie de laderas estructurales (Sdpd)

Comprende una zona de relieve bajo al pie de los escarpes.

4.2.2.5 Colina estructural controlada por fallas (Scf)

Comprende la zona de La Carbonera en donde las laderas del cerro o colina presentan control estructural por fallas.

4.2.2.6 Deslizamiento con influencia estructural (Sdz)

Comprende la zona de deslizamiento de El Espino en donde imperan movimientos planares.

4.2.2.7 Colina denudacional estructural (Sdc)

Es la parte de prolongación del Cerro hacia el SE formando una colina que se va acuñando hacia el Este formando un filo en su cima.

4.2.2.8 Montículos rocosos residuales (Dmrs)

Corresponde a una zona al NW del área en donde emergen sobre la topografía dos promontorios o montículos rocosos.

4.2.2.9 Terraza baja de deslizamiento (Dtza)

Se presenta en la en la parte baja del deslizamiento de El Espino y corresponde a una terraza formada por depósitos de un antiguo deslizamiento.

4.2.2.10 Deslizamiento con influencia denudacional (Dzd)

Corresponde principalmente a la zona de deslizamiento de La Carbonera en donde han actuado condiciones denudacionales fuertes.

4.2.3 Geomorfología Local

La geomorfología local corresponde al área de estudio, la cual está determinada, principalmente por los procesos morfodinámicos presentes sobre la ladera noreste del Cerro Altos de la Estancia. Ver Foto 4-2.

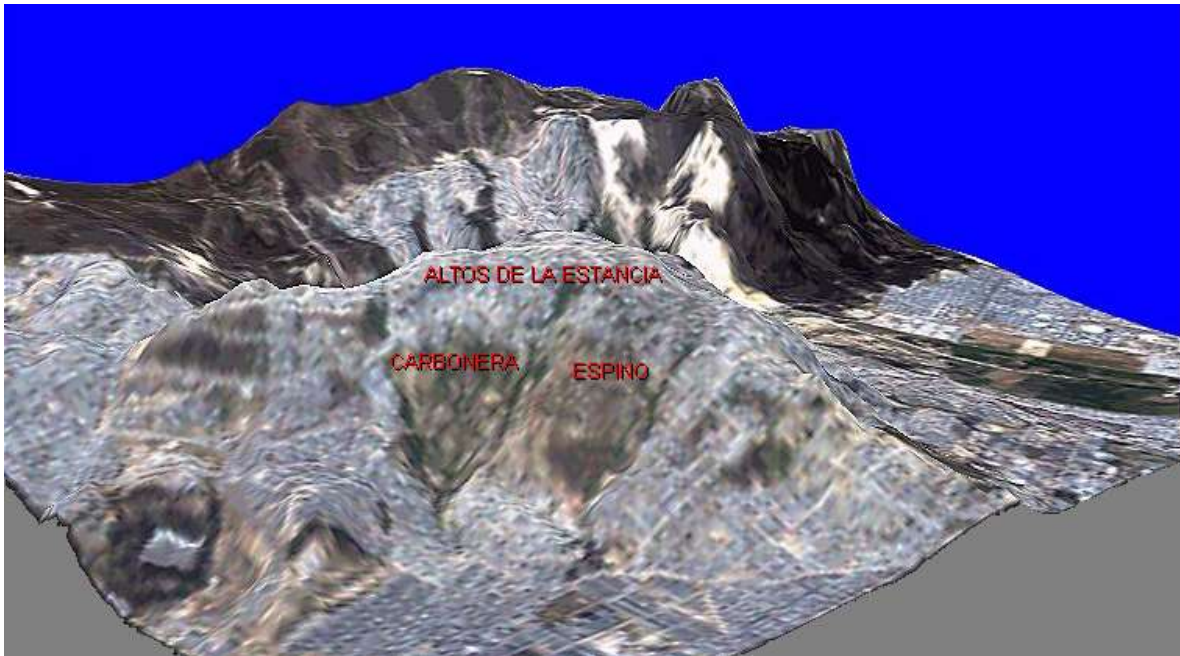


Foto 4-2 Vista frontal y detalle de la zona de deslizamiento de La Carbonera y El Espino. Obsérvese la depresión morfológica del terreno en la zona de deslizamientos y el modelado de las fallas sobre éste.



Foto 4-3 Detalle de la zona de los deslizamientos de La Carbonera y El Espino, con el marcado contraste de lineamientos estructurales

4.3 MORFODINÁMICA

4.3.1 Características morfológicas de un movimiento en masa

Con el objeto de dar claridad sobre la terminología relacionada con movimientos en masa a continuación se presenta una breve descripción de la morfología asociada a estos (Vargas, 2001)

Los elementos morfológicos de un movimiento en masa asociados al terreno intacto son: la corona, el escarpe principal, la superficie de ruptura principal y los flancos. Ver Figura 4-9.

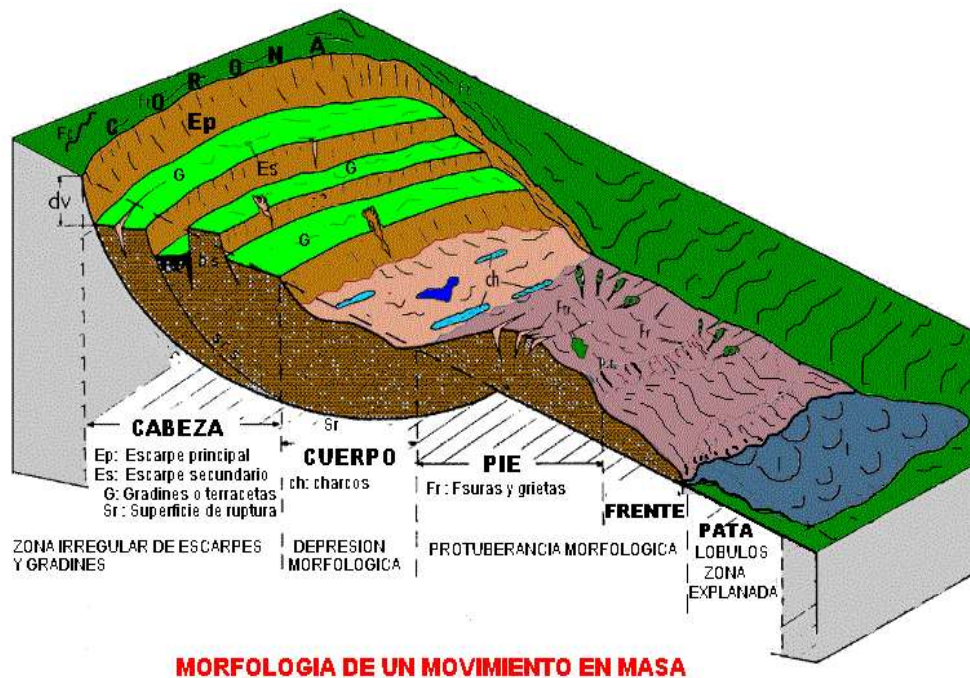


Figura 4-9 Elementos geomorfológicos de un movimiento en masa

- **Corona.** Representa la parte superior del movimiento. Ella forma una línea limite entre la parte superior del terreno fallado (escarpe principal) y el terreno intacto. Comúnmente presente una forma o contorno semicircular o semirectangular. Hacia la parte posterior de la corona se pueden presentar fisuras o grietas que son definidas por Varnes (1978) como *fisuras de corona* y por Millies-Lacroix (1981) como *fisuras de tensión*.

- **Escarpe principal.** Es también llamado grada principal o cicatriz de arranque principal. Representa la superficie inclinada o vertical visible que contornea la parte superior del movimiento. El escarpe principal indica el desplazamiento vertical del movimiento.
- **Superficie de ruptura principal.** También llamada superficie de falla. Se desarrolla siguiendo la componente horizontal del movimiento. En materiales arcillosos se presenta como una superficie pulida (espejo) con desarrollo de estrías paralelas a la dirección del movimiento.
- **Los flancos.** Forman los límites laterales del movimiento. Ellos pueden ser definidos como derecho o izquierdo mirando hacia abajo desde la corona. En algunos casos los flancos están conformados por escarpes que contienen otros movimientos satélites menores.

Los elementos morfológicos de un movimiento en masa asociados a la masa deslizada son: El cuerpo principal, el pie y el frente.

- **Cuerpo principal.** Representa la masa de deslizamiento que se localiza por encima de la superficie de falla o de ruptura. La parte superior se denomina cabeza, la cual generalmente desarrolla una depresión con pequeñas terrazas escalonadas limitadas por escarpes y contraescarpes secundarios. La parte inferior del cuerpo principal se denomina *cuerpo*. El cuerpo presenta una morfología deprimida de superficie mas homogénea (ondulada) y en ocasiones con zonas pantanosas (lagunas, charcos).
- **Pie.** El pie representa la zona de material deslizado localizado en el límite inferior de la superficie de falla y la superficie inicial del terreno intacto. Generalmente esta zona es la mas estrecha del movimiento y desarrolla una morfología levantada y abombada con fisuras o grietas dispuestas radial y transversalmente al sentido del movimiento. La línea de intersección entre la superficie de falla y el terreno intacto es comúnmente llamada *pie de la superficie de falla*. Esta zona se presenta comúnmente cubierta de material deslizado.
- **Frente.** Representa la zona inferior de la masa deslizada que reposa sobre el terreno intacto o insitu. Esta zona es por lo general la mas viscosa y explanada. La forma de este depósito de material permite caracterizar el movimiento por su forma (abanico, lengua, etc.). La parte mas inferior del frente del movimiento es llamada *pata del movimiento*.

4.3.2 Análisis de grietas y otras evidencias de inestabilidad

La cartografía de los registros de inestabilidad (grietas, escarpes de falla, terrazetas, etc.), sobre zonas de deslizamientos permite determinar y entender entre otros factores el origen de los desprendimientos, sus mecanismos de fallas, las zonas de comportamiento homogéneo y las direcciones de movimiento.

Con este objetivo se realizó la cartografía de estas formas mediante la interpretación de la imagen Ikonos del 2004, identificando cerca de 1258 registros de inestabilidad, particularmente grietas, en los cuales su forma y longitud permiten entender en gran parte esta dinámica. Ver Figura 4-10.

4.3.3 Zonas morfodinámicas

De acuerdo al análisis geológico se puede establecer que la dinámica de los deslizamientos del Espino y la Carbonera es compleja en su origen, mecanismo de falla y movimiento de la masa deslizada, sin embargo con el objeto de dar una amplia visión de estas características se realizó una definición de estas zonas separando individualmente cada deslizamiento. Ver Mapa 4-1.

4.3.3.1 Zonas morfodinámicas asociadas al deslizamiento del Espino

Este proceso, ubicado al norte de la zona de estudio, es un deslizamiento complejo que involucra rocas y suelos residuales. Las rocas incluyen areniscas y arcillolitas (con predominio de las primeras) de la parte media de la Formación Guaduas. Las areniscas fueron explotadas en la parte más baja de la ladera como objetivo de extracción de la Cantera Santa Rita. La extracción inició hacia la década de los 40 del siglo pasado y avanzó probablemente hasta que los volúmenes de descapote fueron demasiado grandes. Hacia 1997 la inestabilidad existente correspondía a un deslizamiento retrogresivo de los suelos (con espesor máximo de 2 metros) que cubrían el banco de arenisca que había sido explotado en la cantera. Otros procesos puntuales de caída de rocas se presentaban en el escarpe dejado por la explotación y que constituye la margen izquierda de la quebrada Santa Rita. El proceso evolucionó hacia un deslizamiento complejo que involucra rocas y cuya superficie de falla se encuentra cercana a 20 metros desde la superficie del terreno, deslizando casi toda una ladera (Ingeniería y Georriesgos, 2003).

A grandes rasgos el deslizamiento del Espino cubre una superficie activa y potencial de 25 Ha y presenta una forma rectangular. Es un deslizamiento de características de “complejo” debido a los múltiples mecanismos de falla y de movimientos presentados en su interior, se caracteriza por desarrollarse como un movimiento de tipo planar y translacional siguiendo un límite de contacto litológico entre capas de areniscas y arcillolitas de la parte media de la Formación Guaduas y la intersección con una zona de falla perpendicular a la dirección de las capas (15° 25° NW). Presenta una altitud relativa de 135 metros y un espesor medio de la masa deslizada alrededor de los 20 metros. A continuación se describen con mayor detalle las unidades morfodinámicas asociadas a este deslizamiento. Movimientos de tipo rotacional se presentan en algunos sectores y son de carácter superficial y sobre la masa deslizada.

En la zona del deslizamiento del Espino se identificaron las siguientes zonas morfodinámicas desde la parte superior a inferior.

Figura 4-10 Evidencias de inestabilidad, grietas y terracetas de escurrimiento, 2004

Cabeza del movimiento. (Dze_Cbz)

Comprende la parte alta del deslizamiento activo en los que se destaca la corona, la zona de avance retrogresivo, presenta una morfología irregular que finaliza hacia el cuerpo en una depresión estrecha. cubre una superficie aproximada de 3,8 ha. Las grietas en este sector son de densidad moderada y de longitudes medias de 65 metros paralelas a la dirección de la pendiente y orientadas en dirección preferencial N70° -80° E. Hacia la parte alta se presentan algunas grietas en dirección perpendicular a esta última dirección. Como mecanismo de falla en esta zona se presenta un movimiento principal de tipo transnacional y hacia la corona movimientos rotacionales locales y de carácter superficial.

En la cabeza se pueden diferenciar varias unidades menores como: la zona de arranque principal, el escarpe principal y la zona con avance retrogresivo, que se describen a continuación. Ver Foto 4-4.

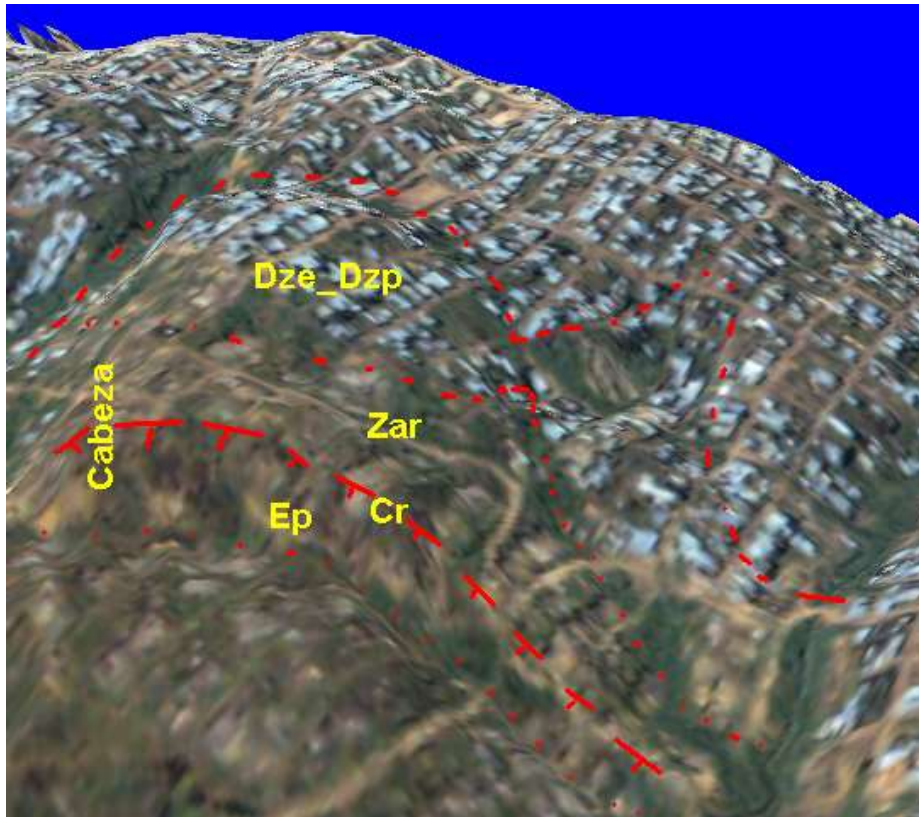


Foto 4-4 Detalle de la parte alta del deslizamiento El Espino sobre una imagen tridimensional. Obsérvese la depresión morfológica en la parte superior que evidencia una zona de deslizamientos antiguos (Dze_Dzp), la zona de avance retrogresivo (Zar), la corona (Cr) y el escarpe principal (Ep) del deslizamiento de Espino.

La Corona, se registra a una altura en su extremo Sur de 2746 metros sobre el nivel del mar y de 2693 m.s.n.m en su extremo Norte.

El escarpe principal en algunos sectores está bien diferenciado como una única geoforma y en otras sectores con la sucesión de varios escarpes menores. La longitud aproximada de esta zona es de 254 metros y el ancho puede alcanzar los 19 metros. Se orientada en dirección N10° NW y es de trazo general rectilíneo y localmente ligeramente semicircular. La altura del escarpe principal oscila entre 1 y 3 metros. Ver Foto 4-5.



Foto 4-5 Vista en la imagen de satélite (izquierda) y el escarpe principal (derecha) del deslizamiento El Espino

Zona de deslizamiento con avance retrogresivo. Encima de la corona se presenta una zona ligeramente deprimida con presencia grietas que indica el avance retrogresivo de este movimiento alcanzando una cota máxima en su parte central de 2748 m.s.n.m.

Zona con evidencias morfológicas y morfodinámicas de procesos de inestabilidad asociados a antiguas explotaciones de canteras (Dze_Dzp).

Son áreas que presentan evidencias morfológicas, inestabilidades asociadas por antiguas explotaciones de canteras o zonas de afectación de futura de las masas deslizadas. Se identificaron tres áreas bajo esta categoría. Una por encima de la zona de avance retrogresivo se manifiesta una ligera depresión y un lineamiento semicircular que marca una zona potencial de debilidad. Esta zona presenta en su extremo sur una zona de antigua explotación de materiales cubierta por material de relleno, presenta una longitud de 150 metros en dirección del movimiento y un ancho de 395 metros, para totalizar una superficie de aproximada de 7,6 Ha. Ver Foto 4-6. La segunda zona corresponde a una antigua cantera (1952) en la parte alta de la quebrada Santa Rita en su margen izquierda, que fue explanada y rellena con material y con la formación de un flujo de escombros posteriormente (1987). La tercera zona se ubica en la parte norte del área en San Rafael, la cual podría verse afectada por el avance del material deslizado.



Foto 4-6 Vista tridimensional de la zona de Dze_Dzp en la zona del Espino Obsérvese la cicatriz que se contornea (pontos rojos) esta área potencial

Cuerpo del deslizamiento (Dze_Cui, Dze_Cuc, Dze_Cud).

El cuerpo representa la masa desplazada del deslizamiento con cambios morfológicos y de la superficie del terreno importante. Se localiza en la parte central del deslizamiento en donde se identificaron tres subzonas por su posición, mecanismo de falla y morfología en: cuerpo izquierdo, cuerpo central y cuerpo derecho.

El cuerpo izquierdo (Dze_Cui), cubre una superficie de 2,59 ha y presenta una morfología abombada con dos direcciones de movimiento de la masa una N10°E y la otra N70° - 80° E. Presenta una alta densidad de grietas en tres direcciones principales, una en la parte superior siguiendo el limite de está zona y la otra perpendicular siguiendo las direcciones de movimiento antes anotadas. Ver Foto 4-7.



Foto 4-7 Vista del cuerpo izquierdo del deslizamiento El Espino

Se considera que en esta zona se presenta un mecanismo de movimiento principalmente de tipo transnacional con algunos movimientos superficiales rotacionales.

El cuerpo central (Dze_Cuc), cubre una superficie de 2, 7 ha, representa un movimiento lateral con un mecanismo principal de ruptura en forma rotacional, evidenciado por una alta densidad de grietas de forma semicircular y con longitudes medias de 30 metros. Estas grietas presentan dos direcciones principales de movimiento, una hacia la dirección principal ($N70^{\circ} - 80^{\circ} E$) y otra hacia el sureste ($40^{\circ} - 50^{\circ}$). Ver Foto 4-8.



Foto 4-8 Vista de la zona de deslizamiento translacional de suelos residuales “pendiente abajo” del escarpe principal

El cuerpo derecho (Dze_Cud), cubre una superficie aproximada de 0,98 ha, presenta una baja densidad de grietas en dirección $N40^{\circ} - 50^{\circ} E$. Las grietas presentan forma rectilínea

con longitud media de 25 metros, por la disposición, orientación de las grietas y observaciones de campo se determinó esta subzona con un mecanismo de desplazamiento de tipo transnacional.

Pie del deslizamiento (Dze_Pie)

El Pie cubre una superficie de 7,3 ha, representa una zona compleja del deslizamiento en donde la masa desplazada presenta una alta densidad grietas de formas y direcciones diferentes tanto hacia el NE y SE. En esta zona se presenta un incremento importante de la pendiente del deslizamiento. En la parte superior del pie las grietas se presentan transversalmente a la dirección del movimiento denotando un cambio del mecanismo de falla transnacional a rotacional posteriormente el movimiento avanza hacia el NE y se divide en dos movimientos opuestos uno a cada costado. Sobre el costado derecho se registra un movimiento superficial de flujo por la dirección de sus grietas y la morfología del terreno. Ver Foto 4-9 y Foto 4-10.

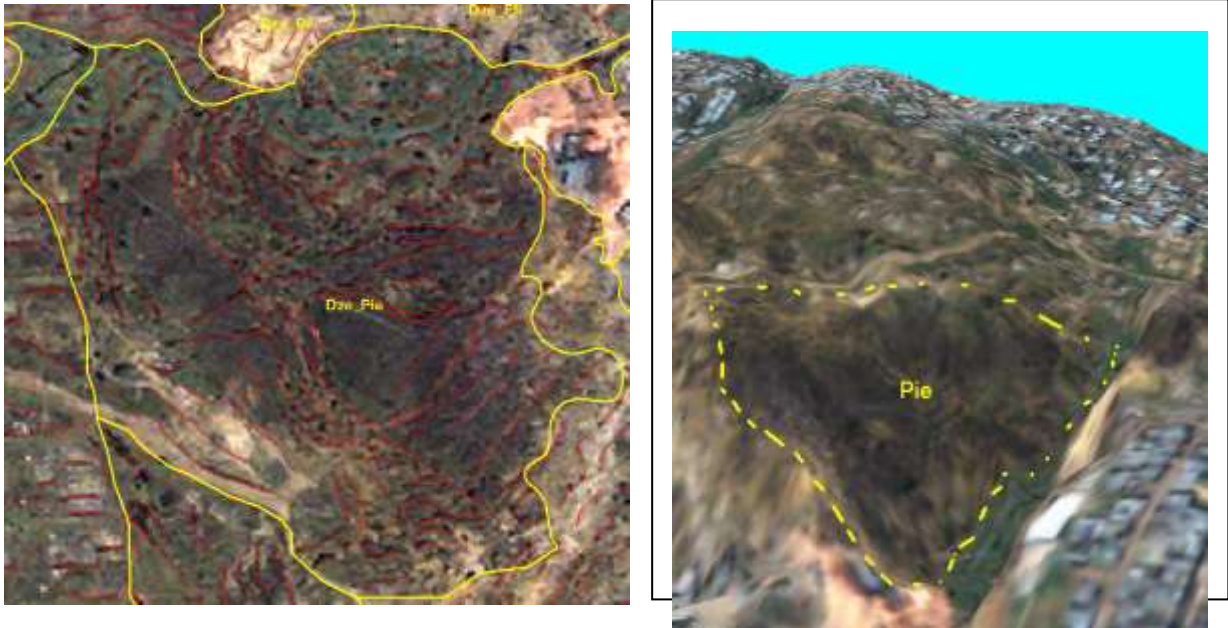


Foto 4-9 Vista en planta y en 3D del Pie del deslizamiento del Espino. Nótese a la izquierda la alta densidad de grietas y las múltiples orientaciones de estas y a la derecha el cambio brusco de la pendiente



Foto 4-10 Vista del pie del deslizamiento El Espino con diferentes direcciones de flujo de material.

Pata del deslizamiento (Dze-Pt)

Cubre una superficie de 1,3 ha y representa la terminación de la masa desplazada que reposa sobre el terreno. Su morfología es escarpada en su borde con alturas que pueden superar los 20 metros. Están compuestas por material heterogéneo de rocas, suelos y escombros de construcciones. Ver Foto 4-11 y Foto 4-12.



Foto 4-11 Vista de la pata del deslizamiento El espino

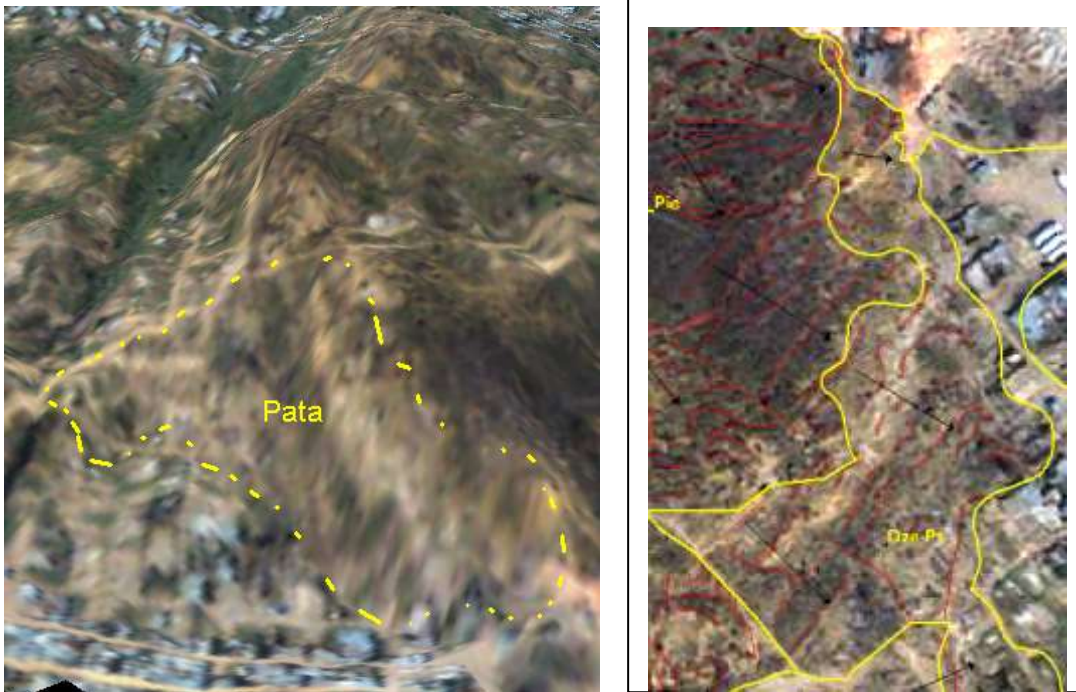


Foto 4-12 Vista en planta y 3D de la pata del deslizamiento del Espino obsérvese la claridad de la imagen en esta zona producto de la remoción del material y la forma y orientación de las grietas.

Montículo de presión (Dze-Mdp)

En el flanco izquierdo del deslizamiento y sobre la margen izquierda de la quebrada Santa Rita se presenta un montículo de unos 15 metros de altura compuesto por rocas fracturadas y suelos residuales de material deslizado. Se estima que esta geoforma se originó por la presión de la masa de deslizamiento con dos componentes el principal (transnacional) en dirección noreste y uno lateral izquierdo superficial (rotacional) derivado de este último, que empuja al interior una barrera de rocas fracturadas (areniscas), por efectos de la falla de Santa Rita Ver Foto 4-13.

Deslizamiento de rocas (Dze_Dr).

Es otro movimiento menor que se presenta sobre la ladera norte de un pequeño cerro localizado en la margen izquierda de la quebrada de Santa Rita. Es un deslizamiento de rocas de tipo areniscas asociado a zonas de fallas. Ver Foto 4-14.



Foto 4-13 Vista lateral de campo y panorámica sobre la imagen de satélite del montículo de presión en el deslizamiento del Espino. Nótese como cabalga la masa de suelos residuales sobre ésta.



Foto 4-14 Vista del deslizamiento de rocas en la zona del montículo de presión. Nótese el cabalgamiento de los suelos residuales sobre la roca fracturada y desplazada

Escarpe flanco izquierdo del deslizamiento (Dze_Efi)

En el costado inferior izquierdo del deslizamiento El Espino se presenta una morfología caracterizada por desarrollar progresivamente de arriba abajo escarpes con alturas hasta de 6 metros. Estos escarpes han sido modelados por efectos tectónicos (Falla de Santa

Rita) y procesos denudacionales, se componen de material deslizado, rocas y depósitos de brecha de falla. Ver Foto 4-15



Foto 4-15 Vista lateral del flanco izquierdo del deslizamiento formado una morfología escarpada

Zona de afectación potencial del deslizamiento (Dze_Af)

Bajo el escarpe de la pata, se presenta una zona de morfología plana que puede ser potencialmente afectada por el avance del movimiento. Cubre una superficie 0,43 ha.

4.3.3.2 Zonas morfodinámicas asociadas al deslizamiento de la Carbonera

El deslizamiento de la Carbonera se presenta en el costado Nororiental del área de estudio. Presenta una forma triangular limitada por las quebradas La Carbonera en su costado Sur y Rosales en su costado Norte.

Con base en los documentos de referencia a este estudio, se puede estimar que el deslizamiento de La Carbonera se inició desde el segundo semestre del año 1977, asociado a explotaciones de materiales, en 1987 en el lindero norte del área de Sierra Morena se presentó un deslizamiento llamado “Deslizamiento del Perdomo Alto” hoy en día se localiza en el sector oriental de La Carbonera.

El deslizamiento de la Carbonera es un movimiento en masa activo, de forma de embudo, con un área aproximada de 16,5 Ha, un perímetro de 1600 metros, una altitud relativa de 132 metros, una pendiente media entre 15 y 30 grados, una longitud de 550 metros, un ancho máximo de 494 metros y un ancho mínimo de 25 metros en su pata. Presenta un mecanismo de falla rotacional múltiple y un espesor medio de la masa desplazada de 20 metros, la cual se mueve en dirección NE. Litológicamente este deslizamiento involucra rocas y depósitos inconsolidados de tipo fluvio-glacial, coluvial y suelos residuales. En este deslizamiento se diferenciaron las siguientes unidades morfodinámicas menores:

Cabeza del deslizamiento (Dzc_Cb)

Representa una franja estrecha y alargada en la parte alta del deslizamiento activo con una superficie de 0,78 ha. En ella se presenta la zona de avance retrogresivo, la corona y el escarpe principal con presencia de grietas en dirección NW y perpendiculares a la dirección del deslizamiento. Estas grietas presentan una longitud media de 19 metros. Por la forma y dirección de las grietas se considera que esta zona presenta un mecanismo de falla rotacional. Ver Foto 4-16.

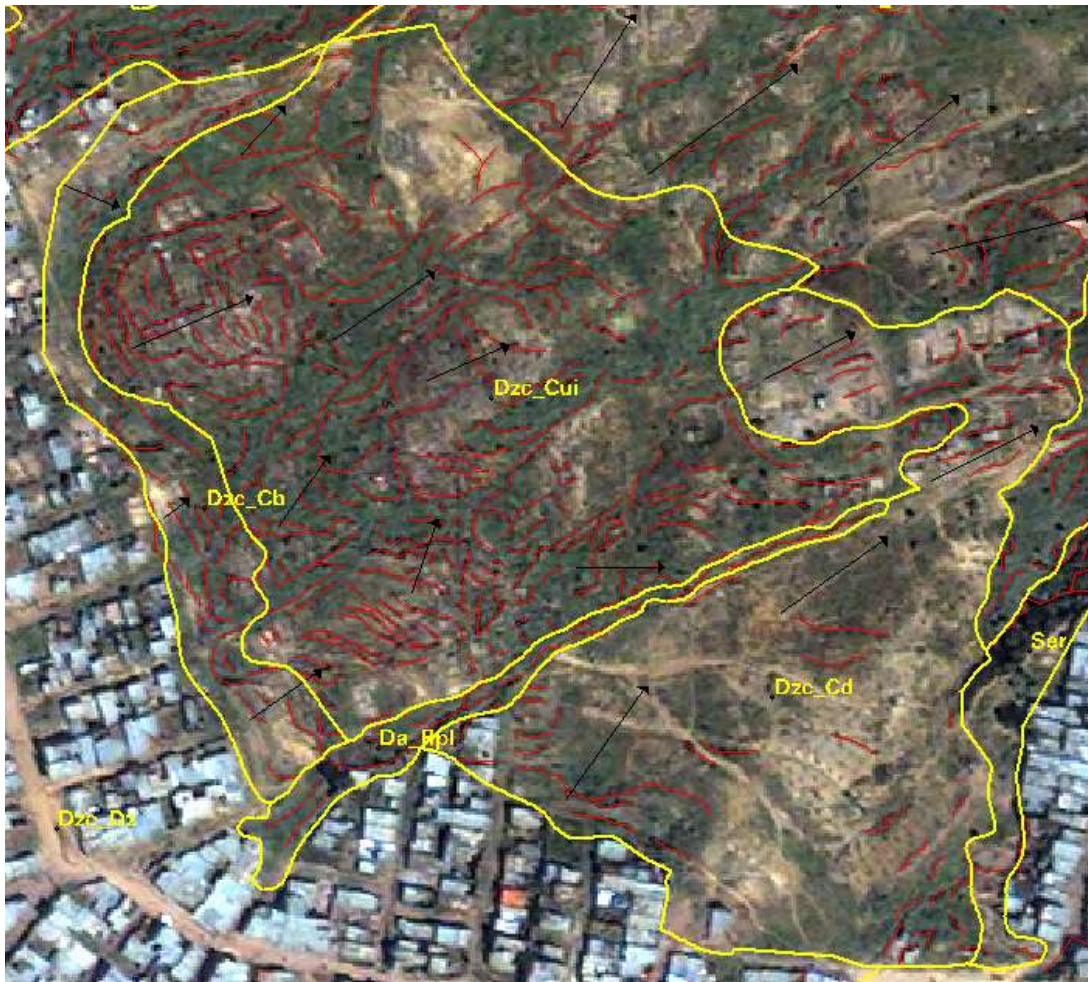


Foto 4-16 Vista en planta de la parte alta del deslizamiento activo de la Carbonera. Nótese el contraste morfológico y morfodinámico entre la cabeza (Dzc_Cb), el Cuerpo izquierdo (Dzc_Cui) y el cuerpo derecho (Dzc_Cd). En rojo se identifican las grietas.



Foto 4-17 Vista de terreno de la cabeza del deslizamiento La Carbonera en el sector de la corona y escarpe principal

En la cabeza se localiza la *zona* de deslizamiento con avance retrogresivo, la cual se caracteriza por la presencia de escarpes escalonados que denotan un avance retrogresivo del movimiento. Ver Foto 4-18.



Foto 4-18 Vista de escarpes escalonados mostrando un avance retrogresivo del movimiento.

Zona con evidencias morfodinámicas pasadas de inestabilidad (Dzc_Dzp)

En la parte alta del deslizamiento activo de la Carbonera se presenta una depresión que evidencia un nicho de arranque antiguo (Holoceno), sobre el cual el movimiento puede avanzar dada su aparente susceptibilidad por la ocurrencia de desprendimientos pasados

y la presencia de materiales no consolidados (depósitos fluvio-glaciares). Esta zona cubre una superficie de 6.3 ha. Ver Foto 4-19.

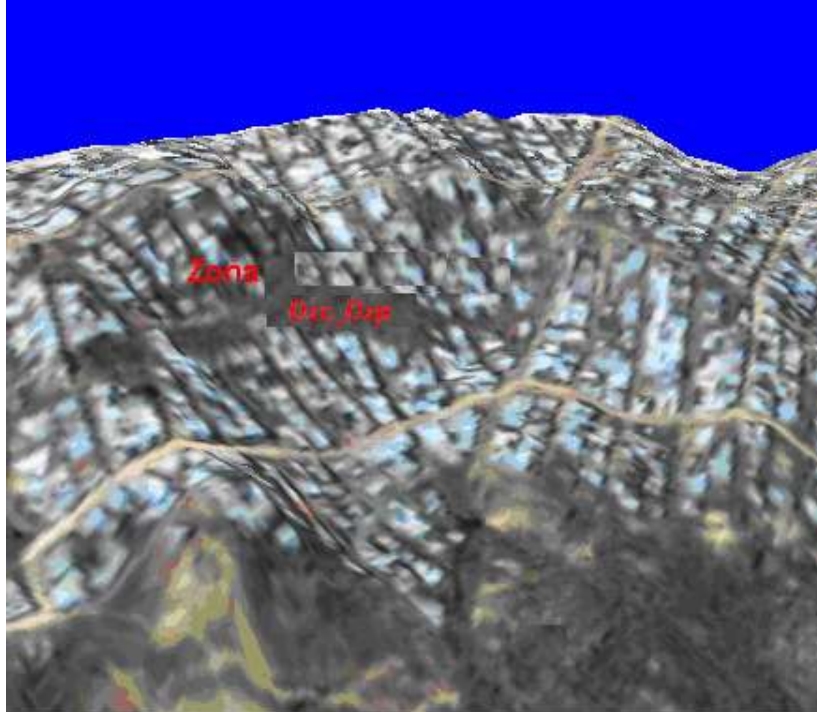


Foto 4-19 Vista de la zona de Dzc_Dzp

Cuerpo del deslizamiento (Dzc_Cui, Dzc_Cd)

Esta zona es bien característica y contrastante en el deslizamiento distinguiéndose dos subzonas: cuerpo izquierdo y cuerpo derecho.

El cuerpo izquierdo (Dzc_Cui).- Se caracteriza por su complejidad morfológica y morfodinámica en el cual se presenta una dirección predominante del movimiento al NE ($40^{\circ} - 50^{\circ}$) y una alta densidad de grietas orientadas transversal y longitudinalmente a la dirección del movimiento. Su longitud es variable entre unos pocos metros y 50 metros. La distribución y geometría de las grietas evidencia un movimiento principal de tipo rotacional múltiple con la presencia de flujos superficiales. Ver Foto 4-16 y Foto 4-20.

El cuerpo derecho (Dzc_Cd), presenta una alta modificación de su dinámica por intervención antrópica que retiró gran parte del material deslizado dejando prácticamente el nivel de roca. Allí las grietas en la parte superior son escasas y en dirección transversal al movimiento y en la parte inferior se presentan longitudinales, esto podría indicar un movimiento complejo de tipo rotacional y translacional en esta zona. Cubre una superficie de 2,9 ha. La pendiente en esta zona es ligeramente rectilínea y homogénea. Ver Foto 4-21.



Foto 4-20 Vista del cuerpo del deslizamiento de la Carbonera



Foto 4-21 Zona de terraceo en la parte alta del deslizamiento de La Carbonera.

Pie del deslizamiento (Dzc_Pie)

Cubre una superficie de 3,7 ha, se presenta bajo el cuerpo izquierdo y se caracteriza por desarrollar una morfología mas suave que la anterior pero igualmente irregular con la presencia de grietas pero en menor densidad que el cuerpo izquierdo. En su parte alta presenta un movimiento rotacional y en su parte baja planar. Hacia el costado izquierdo del mismo se presenta un contraste morfológico por reabajamiento antrópico de la masa deslizada sobre la margen derecha de la quebrada Rosales. Ver Foto 4-22 y Foto 4-23.

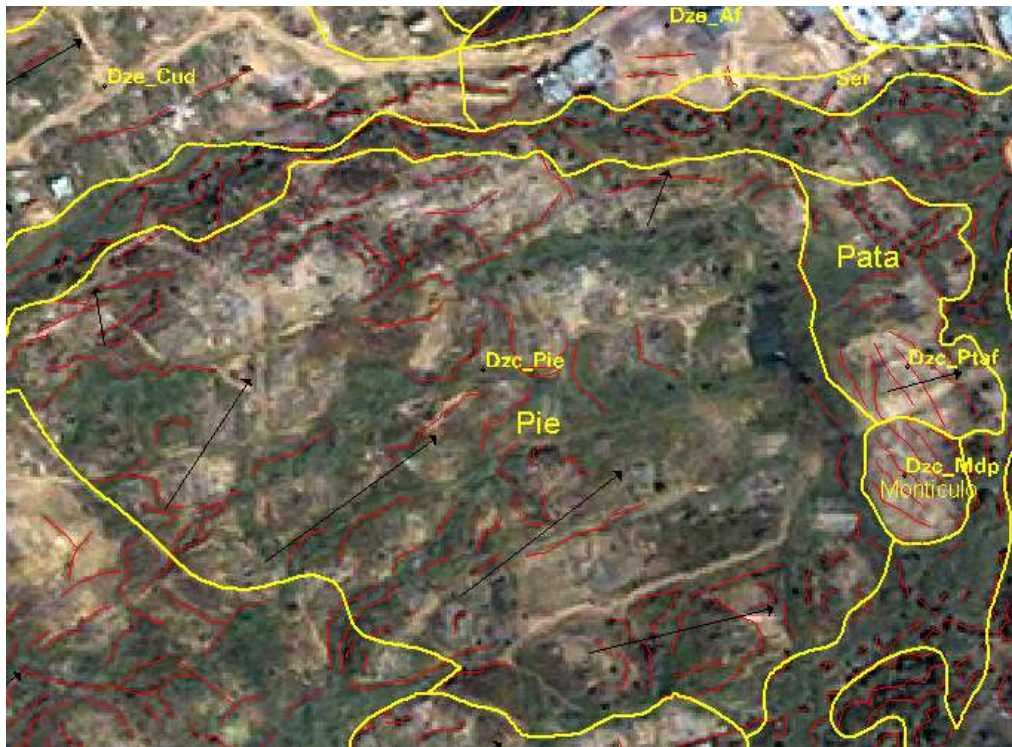


Foto 4-22 Vista en planta de la parte inferior del deslizamiento de La Carbonera, en la cual se resalta el pie, la pata y el montículo de presión.



Foto 4-23 Vista de terreno del pie del deslizamiento La Carbonera

Montículo de presión (Dzc_mdp)

Se presenta en el costado derecho del deslizamiento bajo el pie, representa un pequeño montículo formado por la presión de la masa deslizada. Presenta una forma semicircular de 69 m de longitud por 39 metros de ancho máximo. Ver Foto 4-24.



Foto 4-24 Montículo de presión en areniscas fracturadas por el empuje de la masa deslizada

Pata del deslizamiento (Dzc_Pta)

Se presenta pendiente abajo del pie y muestra la fase distal del movimiento con la presencia de material heterogéneo que cae por un pequeño escarpe. Ver Foto 4-25.



Foto 4-25 Vista de la parte inferior del deslizamiento en la que se aprecia el montículo de presión (Dzc_Mdp), la zona de saturación o inundación (Dzc_Pli), flujos superficiales Dzc_fl y la pata del deslizamiento (Dzc_Pta).

4.3.4. Procesos denudaciones

Las formas relacionadas por procesos denudacionales son formadas por intemperismo o degradación natural. En ella se diferenciaron las siguientes unidades:

Montículo residual (Dmr)

Representa montículos de formaciones litológicas mas resistentes a la erosión que sus circundantes.

Depresión aluvial con reptación (Da_Rpl)

Comprende los valles aluviales de las quebradas La Carbonera, rosales y Santa Rita, los cuales son poco profundos y estrechos de laderas bajas con procesos leves de reptación.

Terraza de escombros (Dtz)

Se presentan en la parte baja de la zona del Espino y corresponde a una morfología aplanada constituida por materiales producto de las explotaciones antiguas y material deslizado, sin evidencias de inestabilidad.

Zonas sin procesos morfodinámicos (Zn)

Representa zonas sin presencia de movimientos en masa entorno a las zonas de deslizamiento del espino y la Carbonera.

4.3.5. Procesos estructurales

Corresponden a geoformas de origen estructural. En esta se diferenciaron las siguientes unidades:

Escarpe rocoso estructural (Ser)

Son escarpes asociados principalmente a zonas de fallas (escarpes de línea de falla)

4.3.4 Procesos antrópicos

La acción antrópica en el área ha tenido y sigue teniendo gran influencia en los procesos morfodinámicos en el área con la explotación de canteras el vertedero de residuos sólidos con vertimientos de construcciones y otros, la construcción inadecuada de viviendas, el vertimiento de aguas residuales, cortes inadecuados sobre el terreno, sobrecarga de

taludes, etc. Morfodinámicamente se diferenciaron y cartografiaron las siguientes unidades.

Botadero de escombros (Bte).

Se presenta en el sector bajo de El Espino (El Rodeo). Estos materiales son de aserrín y escombros de construcciones principalmente de fachadas de granito y mármol. Son vertidos sobre la superficie sin control técnico causando contaminación al formarse flujos laminares durante las lluvias. Ver Foto 4-26.



Foto 4-26 Detalle del botadero de escombros de aserrín (rojo) y enchapados de construcciones (gris azulado)

Botadero de escombros (Bte). Se presenta aledaño al sector anterior y son acumulaciones no tecnificadas de materiales de construcción.

4.4 Modelo y evolución morfodinámica

Con el objeto de clarificar el modelo morfodinámico de la zona, se presenta a continuación la evolución morfodinámica de los últimos 60 años tomando como referencia los estudios de referencia y el análisis de fotografías aéreas digitales georeferenciadas de los años 1952, 1977, 1984, 1987 y 1996, e imágenes de satélite de alta resolución de los años 1999 y 2004.

4.4.1 Año 1952

En este año la zona se registra como una área rural, parcialmente intervenida por actividades agropecuarias, morfodinámicamente se registra como movimientos en masa un pequeño flujo en la margen izquierda de la quebrada Santa Rita, también se presentan

procesos erosivos por erosión hídrica laminar y concentrada principalmente en la zona de la Carbonera. Ver Foto 4-27.

En el Espino en esta época no se registra ya bosque natural, el cual ha sido intervenido, con cambios a pastos. Geomorfológicamente la zona presenta laderas estructurales con pendientes rectas formadas por el plano estructural de capas buzando en el mismo sentido y con igual ángulo a la pendiente topográfica. Exploraciones de materiales se registran sobre la margen izquierda de la Quebrada Santa Rita en su parte alta.

Como procesos morfodinámicos en la zona del Espino se pueden apreciar procesos de erosión hídrica laminar y concentrada (surcos y cárcavas), principalmente en la base del talud y en algunos puntos de la quebrada Santa Rita y Rosales. Un flujo de material se presenta sobre la margen izquierda de la Quebrada Santa Rita de unas 0,9 ha.

En la Carbonera se presenta una mayor proporción de bosques naturales que en el Espino, pero igualmente esta intervenida antropicamente. Geomorfológicamente se evidencia una clara morfología denudacional con un aspecto de depresión morfológica, las pendientes son de forma irregular y disectadas por una red de drenaje subdendritica. Aunque no se registran evidencias de inestabilidad por movimientos en masa, son mayormente incidentes los procesos erosivos por erosión hídrica laminar y concentrada.

A esta fecha, también se registra ya el comienzo de la urbanización en la periferia oriental de la zona de interés, pero no propiamente sobre el área de estudio.

Estadísticamente se puede establecer que las explotaciones de materiales cubre una superficie de 2,1 ha, las áreas erosionadas 5,75 ha y las explanaciones antrópica cubre una superficie de 0,75 ha. El drenaje natural no se muestra intervenido, apreciándose bien los ramales de las Quebradas Santa Rita, Rosales y Carbonera. La tendencia de red paralela en el Espino denota su carácter estructural y subdendritica en La Carbonera su carácter denudacional.

4.4.2 Año 1977

En este año el área se observa con una alta intervención antrópica principalmente por la explotación de materiales de construcción mediante canteras a cielo abierto y se evidencian formas de inestabilidad por movimientos en masa. Ver Foto 4-28.

Pese a que la fotografía no tiene un cubrimiento completo del área se puede apreciar claramente un frente de explotación minera en la base de las laderas tanto en la zona del Espino, como en la Carbonera.

Por comparación con 1952, se estima que el frente de explotación minera en la zona del Espino, se inicio siguiendo la capa estructural de areniscas mas inferior y posteriormente se prolongó hacia la zona de la Carbonera, en donde las condiciones de estabilidad asociadas a materiales rocosos de composición predominantemente arcillosa, dio origen a la formación de una cicatriz de deslizamiento de forma semicircular, con una longitud aproximada de 600 metros y a una distancia de 250 metros desde frente de explotación minera.

Con estas intervenciones antrópicas se evidencia una clara modificación del drenaje natural de las quebradas Santa Rita, Carbonera y un tributario de este último drenaje. Sobre la zona central de la Carbonera existía a esta época un canal.

Ya a esta fecha se registran otros fenómenos incipientes de remoción en masa, asociados a movimientos lentos de suelos (reptación), que cubren gran parte del área del Espino y La carbonera, con la presencia de rugosidades y la formación de terracetos, probablemente por actividades pecuarias. Se identificaron con estas características dos zonas en la zona de la Carbonera y una en la zona del Espino.

4.4.3 Años 1984 y 1987

En la década de los ochenta es muy notorio el avance de la actividad minera principalmente en el sector del espino con e las explotaciones de los materiales de construcción, que se iniciaron en la base de la ladera con el pronunciamiento en dos frentes de trabajo y otros dos independientes que llegan a la parte media-superior de la ladera. La afectación de suelos por fenómenos de reptación se ve aumentada notablemente, particularmente entre las áreas de explotación. En esta misma región del Espino, se observan dos movimientos en masa asociados a las laderas de la Quebrada Santa Rita. Ver Foto 4-29.

En la zona de la Carbonera, la principal característica es el notable avance retrogresivo de la corona del deslizamiento y la mayor afectación del movimiento pendiente abajo.

Por otra parte es notoria la construcción de viviendas dispersas, particularmente en la zona de la Carbonera y en la parte alta del cerro. Es notorio el avance urbano en los límites inferiores de la zona de canteras.

La red de drenaje original se encuentra muy deteriorada y difícilmente se puede identificar sobre las fotos, la quebrada Santa Rita en su parte baja ha perdido su curso original y ha sido modificado en varias ocasiones. El canal de drenaje que existía en la zona de la Carbonera ha desaparecido para este primer registro (1984).

En mayo de 1987 se realizaron las primeras visitas de ingenieros y geólogos de Ingeniería y Geotecnia Ltda a la zona bajo consideración, con motivo del trabajo denominado “Estudios Geotécnicos Puntuales en el Lote de Sierra Morena de Ciudad Bolívar”, efectuado por la firma para la Caja de Vivienda Popular (Trabajo IGL-593). El lindero norte del área de Sierra Morena estaba afectado hacia el flanco derecho por un deslizamiento que en ese entonces se denominó “Deslizamiento del Perdomo Alto” por el barrio del mismo nombre que hoy en día se localiza en el sector oriental de La Carbonera. Ver Foto 4-30.

4.4.4 Años 1996 – 1998

En la década del los noventa la zona sufre grandes cambios del paisaje, las zonas de explotación de materiales en canteras son suspendidas y cubiertas por material de recebo de las mismas.

En el año 1996 la zona se encuentra en sus bordes urbanizada y hacia la parte central predomina un paisaje modificado por los rellenos antropicos sobre las antiguas canteras. El drenaje en esta fecha tiende a encontrar sus antiguos cauces, sin embargo esta muy disperso. Ver Foto 4-31.

En el año 1998 ya se registran varios movimientos en masa principalmente en la zona de la Carbonera información de estudios de referencia indican que los problemas han sido generados en gran parte, por filtraciones de agua proveniente del estado precario o la inexistencia de acueductos y alcantarillados de los barrios de la parte superior y de los barrios del área en estudio. Por otra parte, se asigna papel importante a los antiguos procesos de extracción de material de cantera los cuales originaron zonas potenciales de deslizamiento, y a la reconfiguración local del terreno para su actual “urbanización”.

Para 1998 se ha recuperado gran parte de la red de drenaje principalmente de las quebradas Rosales y carbonera, y parcialmente de la Quebrada Santa Rita. Ver Foto 4-32.

4.4.5 Años 2000-2004

A principios de la década del 2000 el área está en gran parte urbanizada y los movimientos afectan a la población radicada allí y se inicia desde ese entonces una reevacuación de viviendas en las zonas de deslizamientos como se observa en la imagen del 2004.

En el 2000 el drenaje se encuentra muy reducido respecto al original y solo se han readecuado parte de los cauces principales como Santa Rita, Rosales y Carbonera, este primero muy fraccionado.

Los movimientos entre 1998 y el 2000 se han incrementado notablemente, particularmente en la zona del Espino que ha avanzado notablemente pendiente arriba de la antigua corona del escarpe de las explotaciones de en las canteras. En la zona de la Carbonera ya se ha realizado una adecuación del terreno en terrazas en el deslizamiento superior derecho removiendo el material deslizado, son mas notables las grietas en la masa deslizada. Ver Foto 4-33.

La situación del 2004 es la presente en este informe y el avance retrogresivo es mayor, particularmente en la zona de el Espino, la remoción de viviendas ha dejado descubierto numerosas grietas. Foto 4-34.

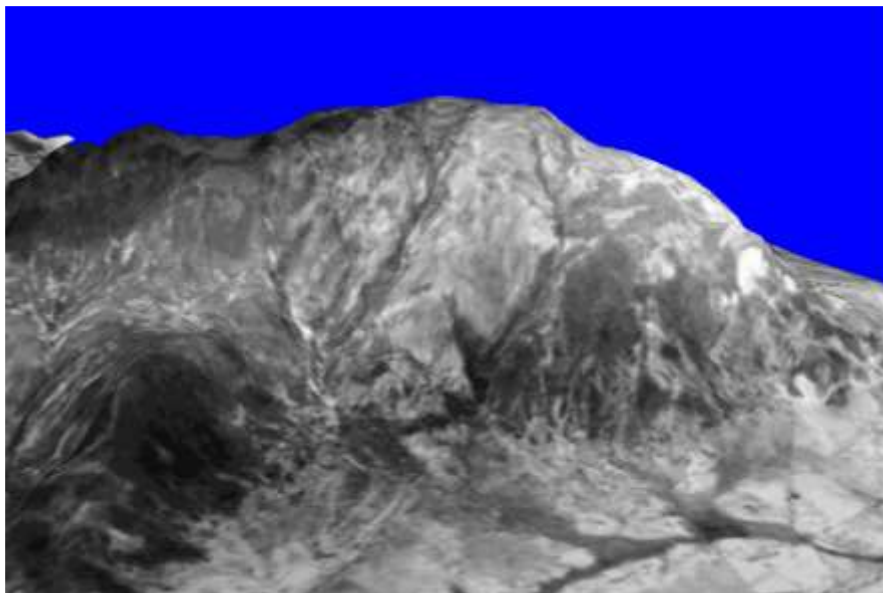
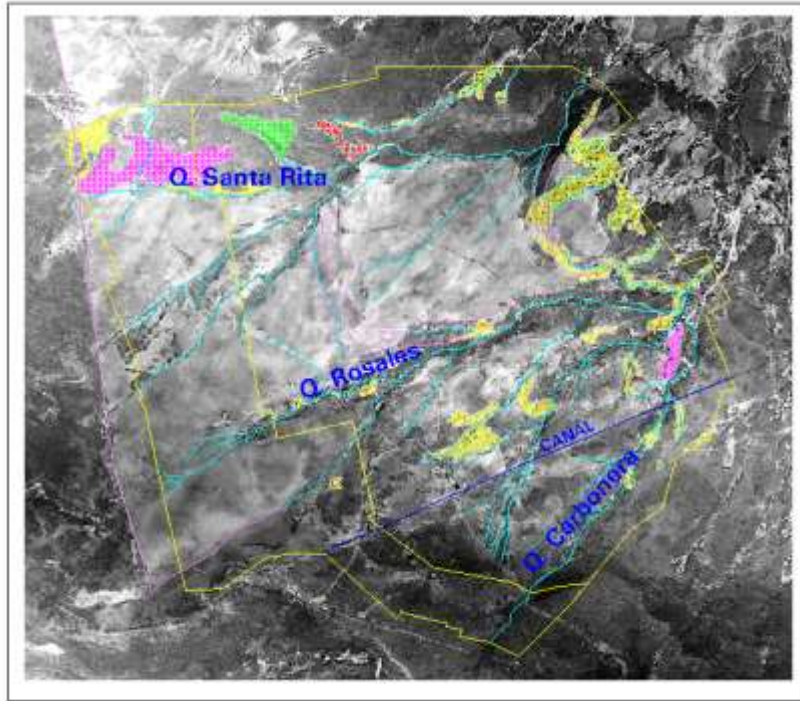


Foto 4-27 Vista en planta y en 3D de las zonas de deslizamiento en el año 1952. En líneas color magenta se destacan formas estructurales, en amarillo las zonas erosionadas, en magenta punteado las canteras y en verde las explanaciones antrópicas.

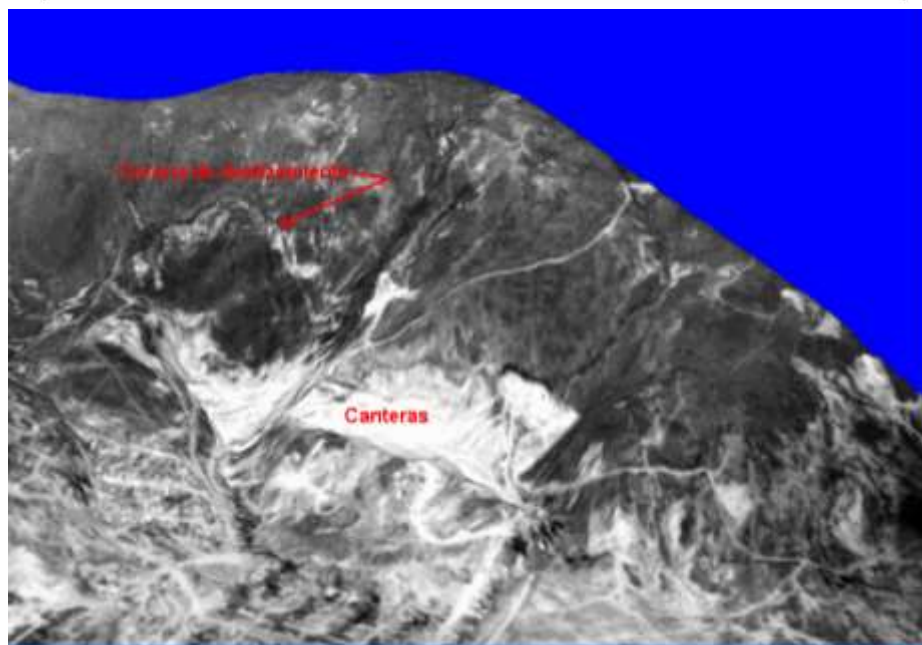
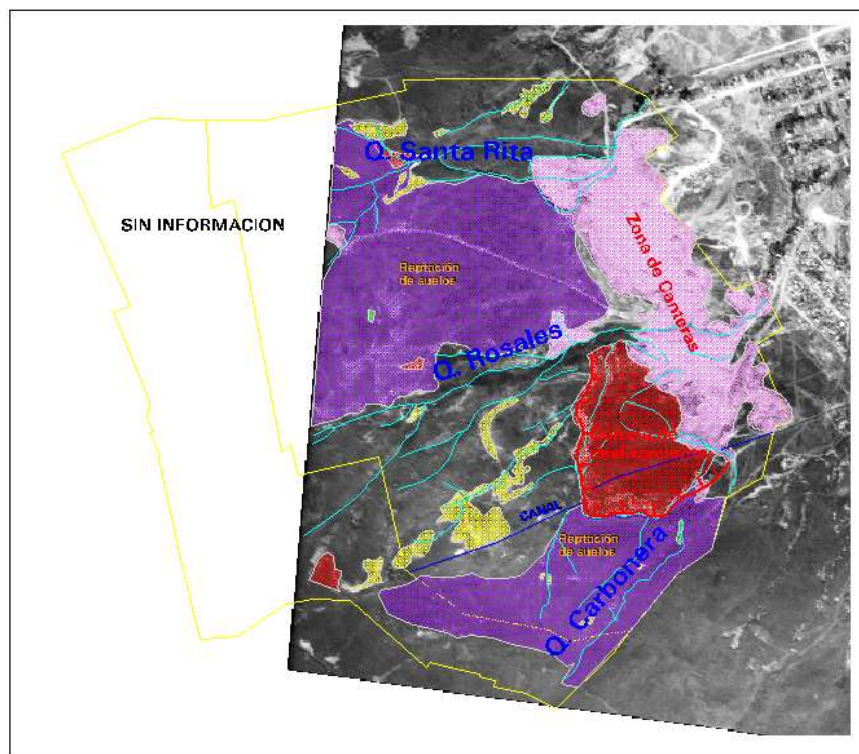


Foto 4-28 Vista en planta y en 3D de las zonas de deslizamiento en el año 1977. Nótese la corona de un deslizamiento en el sector de la Carbonera, la presencia de suelos reptando (morado) y la explotación de materiales en la base de las laderas (magenta)

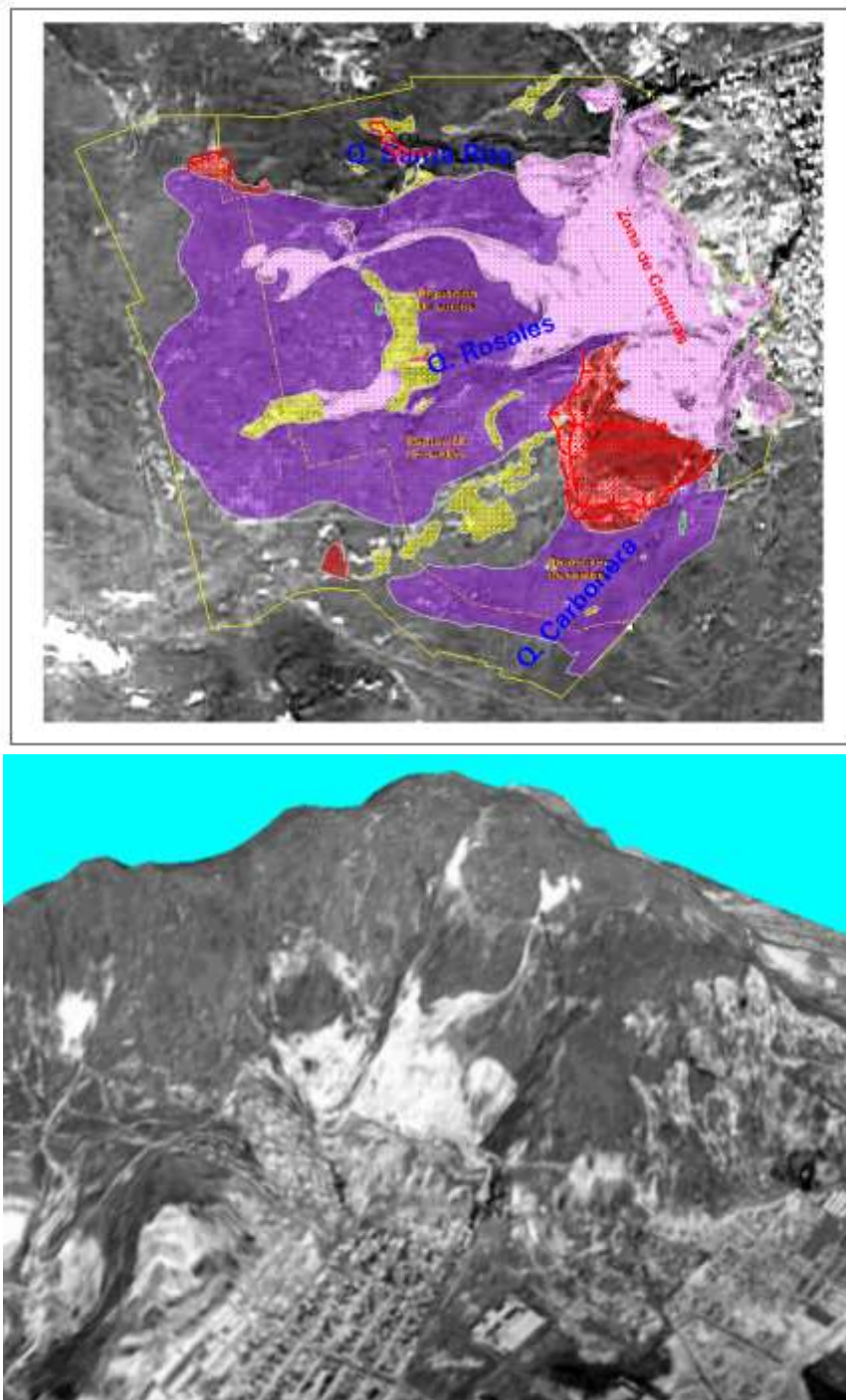


Foto 4-29 Vista en planta y en 3D de las zonas de deslizamiento en el año 1984. Nótese el alto incremento de las explotaciones mineras (magenta), el avance retrogresivo de la corona del deslizamiento en el sector de la Carbonera, la presencia de suelos reptando (morado) y el inicio de nuevos movimientos en masa (rojo) en el sector del Espino.

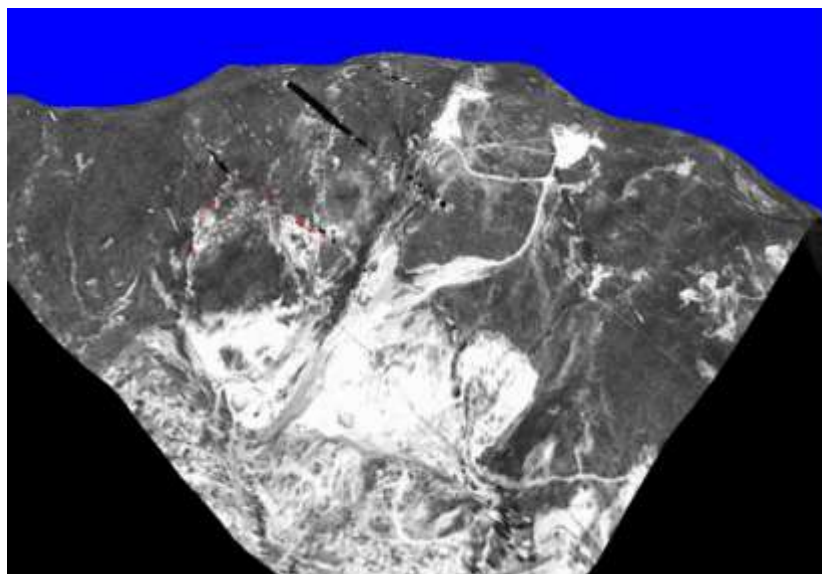
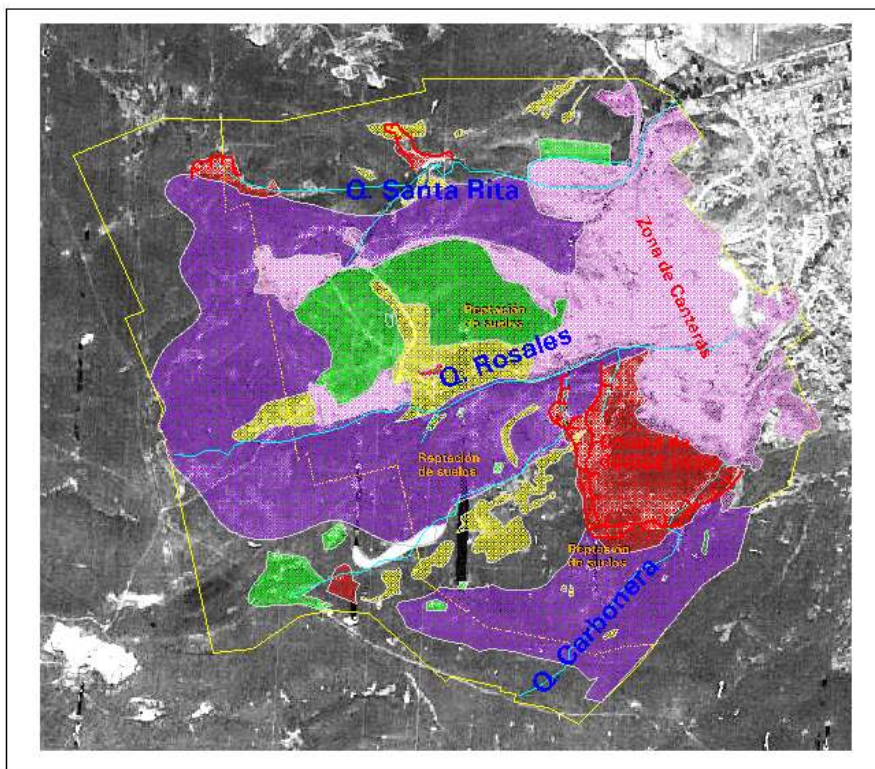


Foto 4-30 Vista en planta y en 3D de las zonas de deslizamiento en el año 1987. Nótese el alto incremento de las explotaciones mineras, el avance retrogresivo de la corona del deslizamiento en el sector de la Carbonera, la presencia de suelos reptando (morado) y ya el inicio de la urbanización principalmente en la parte alta del cerro.

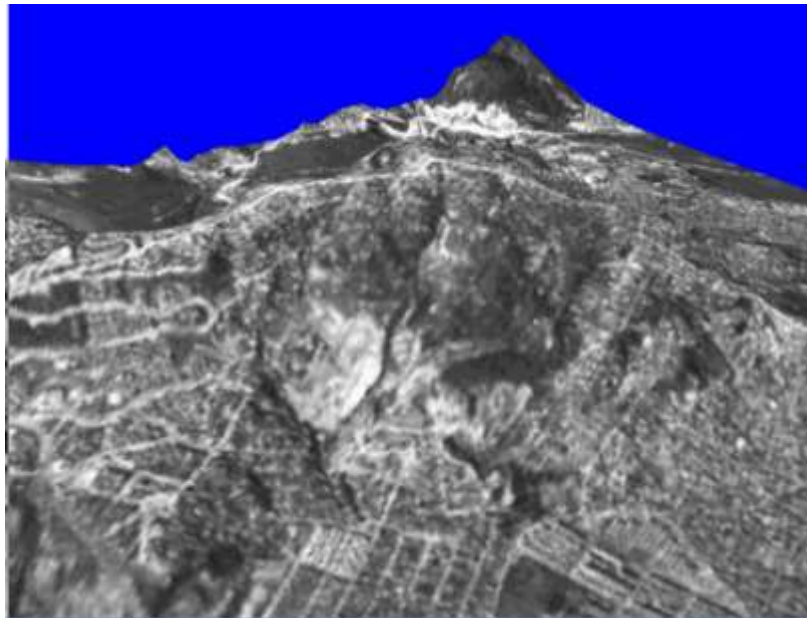
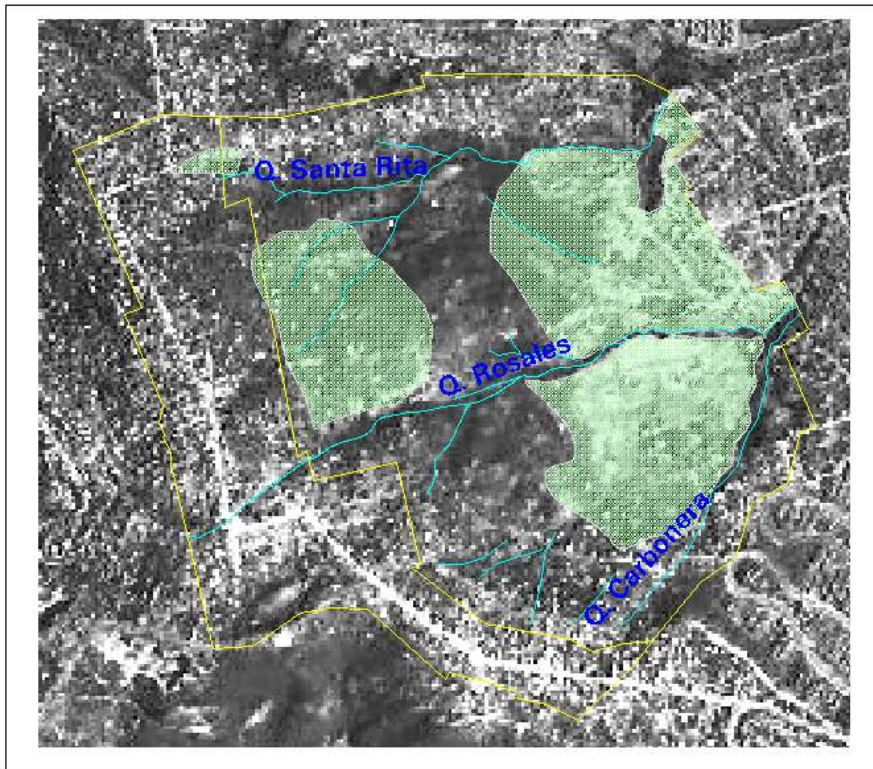


Foto 4-31 Vista en planta y en 3D de las zonas de deslizamiento en el año 1996. Para esta fecha ha cambiado en gran parte el paisaje en el área, los procesos morfodinámicos antrópicos y naturales han sido enmascarados por rellenos (color verde) y por la notable urbanización de la zona.

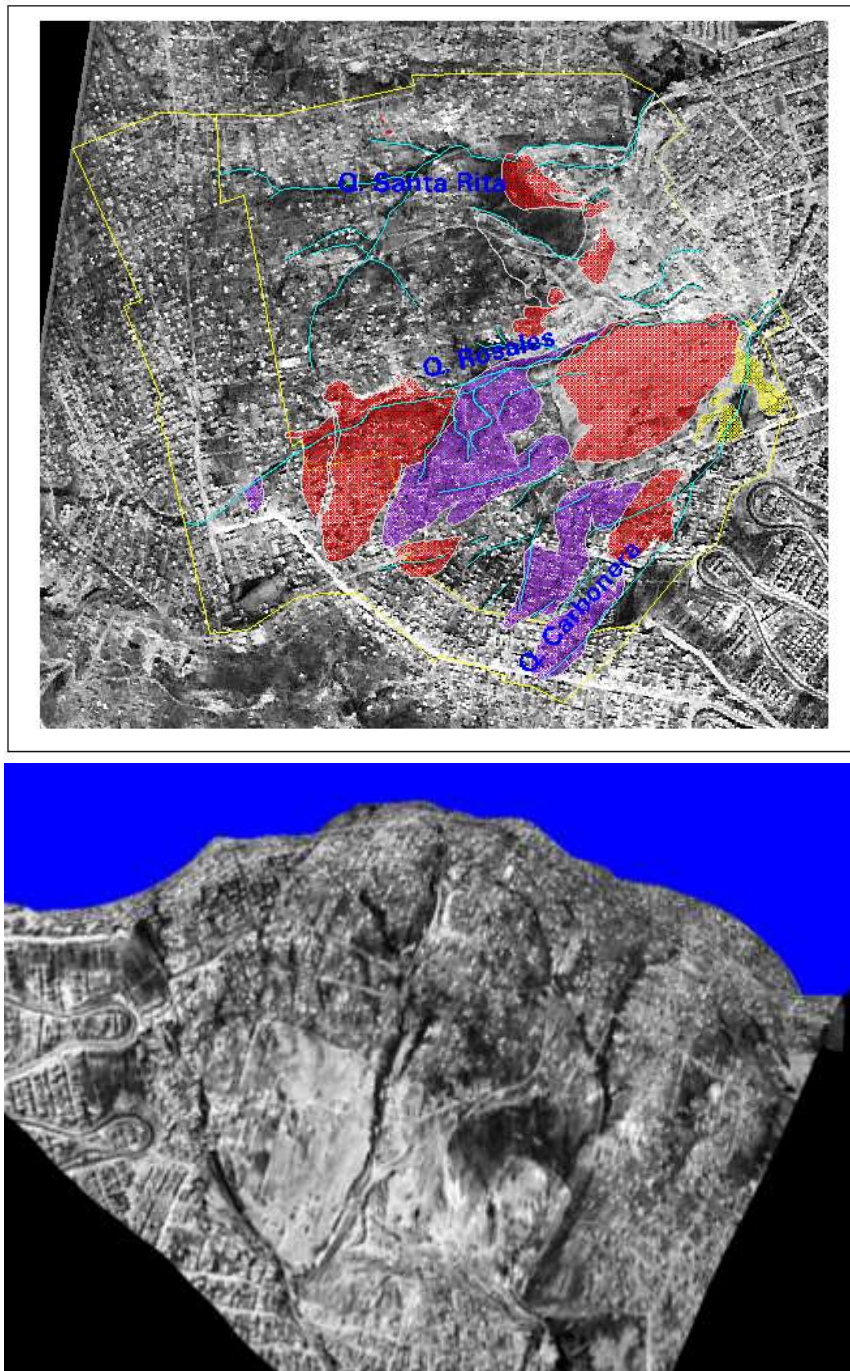


Foto 4-32 Vista en planta y en 3D de las zonas de deslizamiento en el año 1998. Sobre las zonas de relleno se presentan importantes movimientos en masa (rojo y), reptación (morado) y erosión (amarillo). Nótese el contraste de la pendiente y color (imagen inferior) dejado por el relleno en la zonas de cantera.

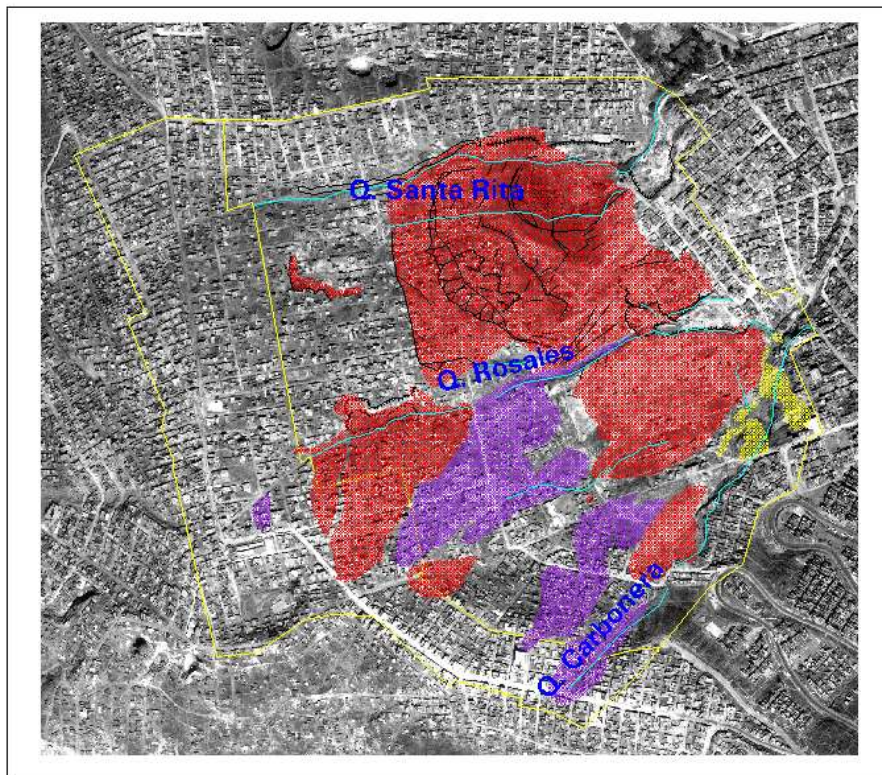


Foto 4-33 Vista en planta y en 3D de las zonas de deslizamiento en el año 2000. Nótese arriba el avance del movimiento pendiente arriba y la alta urbanización a esta fecha. La red de drenaje esta muy dispersa y reducida respecta a la original. Movimientos en rojo, reptación en morado y erosión en amarillo.



Foto 4-34 Vista en planta y en 3D de las zonas de deslizamiento en el año 2004. En rojo se observan las áreas afectadas por movimientos en masa y en morado depresiones aluviales con procesos de reptación, se han evacuado las viviendas en las zonas de los deslizamientos.

4.5 CONCLUSIONES GEOMORFOLÓGICAS

La caracterización geomorfológica regional, semiregional y local de la zona de influencia de los deslizamientos permite evidenciar en primera instancia el origen estructural del cerro Altos de la Estancia, en el cual se pueden diferenciar tres grandes unidades una de control estructural por capas estructurales en la Parte del Espino, una denudacional en la parte de la Carbonera y otra dinámica de laderas en la zona de los deslizamientos.

La presencia de cicatrices en la parte alta de La Carbonera, indica que esta región ha sido expuesta hace muchos años (Holoceno) a movimientos de gran magnitud.

El deslizamiento de El Espino muestra una dinámica de movimiento de bloques que le dan mayor heterogeneidad a la zona. Estos bloques representando por deslizamientos menores muestran diferentes mecanismos de ruptura entre translacional y rotacional, estos últimos principalmente en los bordes y la pata del deslizamiento.

El deslizamiento de la Carbonera muestra un comportamiento dinámico más homogéneo que el anterior y su principal mecanismo de ruptura es el rotacional retrogresivo.

Los avances retrogresivos de ambos movimientos indican una mayor dinámica en la zona del Espino , asociada principalmente a su carácter estructural, pese a que los registros históricos y evidencias geomorfológicas indican una mayor antigüedad de movimientos en el sector de la Carbonera.

La evolución geológica de la zona establece claramente dos dominios sobre el sector determinados por el movimiento de bloques tectónicos, los procesos denudacionales son mas imperantes en la zona de la Carbonera que origina una depresión morfológica por diferencia de resistencia a la erosión de los materiales blandos de la parte inferior de la formación Guaduas.

Respecto al origen de los movimientos es evidente que su asociación a las antiguas canteras de explotación de materiales por pérdida de soporte de la base del talud y por avance retrogresivo de los movimientos, al cubrir en los años 90 estas formas y adecuar el talud para la expansión urbana trajo mayores factores que dinamizaron los movimientos existentes y originaron otros, principalmente por sobrecarga de los taludes e infiltración de aguas residuales y de lluvias.

La pérdida del drenaje natural es otro de los aspectos fundamentales en la dinámica de las laderas, el cual se ve cada vez mas reducido, fraccionado y modificado.

La evidencia de una morfología de depresión ligera y el contorno de una cicatriz en la parte alta del deslizamiento del Espino denota el avance retrogresivoa hacia esta zona frágil o susceptible.

4.6 RECOMENDACIONES

Los estudios de referencia y los aquí realizados denotan que los procesos morfodinámicos sobre la zona continuaran en su avance. La gran diversidad de estudios realizados denotan las grandes inversiones logísticas y económicas del Estado en Cabeza del DPAE cada vez llagando a conclusiones cada vez más precisas sobre cuales viviendas evacuar.

Aunque el trabajo realizado muestra un enfoque importante regional, semiregional y local, es importante ampliar el estudio local hacia todo el cerro Altos de la Estancia en el estudio de sus variables físicas que permitan obtener un mapa de susceptibilidad. Por otra parte en este trabajo se ha puesto en evidencia la utilidad de utilizar tecnologías satelitales y procesamiento digitales de imágenes de alta precisión espectral y espacial, por lo cual se recomienda establecer indicadores de inestabilidad mediante la implementación del SIG implementado en este proyecto y hacer el seguimiento multitemporal utilizando imágenes de satélite por lo menos una vez cada año, preferiblemente en pares estereoscópicos que permitan obtener modelos digitales de terreno para obtener modelos de deformación topográfica.

Mapa 4-1 Unidades Morfodinámicas

Mapa 4-2 Secciones Geomorfológicas

