

3. GEOLOGÍA

3.1 Criterios

Los estudios de referencia de localidad de Altos de la Estancia, en Ciudad Bolívar, del Distrito Capital de Bogotá indican una alta complejidad geológica y estructural de la zona y la importancia de establecer un modelo que permita explicar las condiciones de inestabilidad sobre la ladera noreste de un cerro dividido por la Quebrada Rosales en dos movimientos en masa de características geológicas y morfodinámicas diferentes denominados La Carbonera y El Espino. Con este trabajo se pretende establecer dicho modelo determinando la geología desde tres enfoques complementarios: la estratigrafía, las formaciones superficiales y la tectónica y geología estructural. La geomorfología se abordará desde un punto de vista morfológico, morfodinámico y morfométrico.

El estudio se vio beneficiado de una gran densidad de información de superficie y del subsuelo de estudios locales realizados por diferentes empresas consultoras para el DPAE y dos tesis de investigación. Tecnológicamente el estudio contó con información satelital de imágenes de satélite ópticas (Landsat e Ikonos) y de radar (Radarsat) de diferentes resoluciones espaciales (30 m a 1 m) y espectrales (visible a infrarrojo). No podría omitirse finalmente la facilidad de verificar y ajustar los modelos propuestos con la ejecución de sondeos geofísicos de refracción y reflexión sísmica.

3.2 OBJETIVOS

Los estudios geológicos y geomorfológicos se enfocaron al cumplimiento de los siguientes objetivos:

Establecer la influencia o independencia geológica y estructural de la zona respecto a los patrones regionales.

Determinar las unidades litoestratigráficas del subsuelo (unidades de roca).

Establecer las estructuras geológicas regionales, semiregionales y locales.

Caracterizar las estructuras geológicas locales (fallas, pliegues, diaclasas, estratificación, etc.).

Cartografiar y caracterizar las unidades litológicas superficiales del área de estudio a una escala media 1:2000.

Establecer un modelo geológico y estructural que determine las condiciones de estabilidad o inestabilidad de las laderas en la zona de Altos de la Estancia.

Establecer sitios y tipos de exploración del subsuelo.

Apoyar los levantamientos de análisis de perforaciones existentes y por realizar en el marco del proyecto.

Determinar las características morfológicas de la zona de estudio con un enfoque regional, semiregional y local.

Cartografiar y caracterizar las unidades y procesos morfodinámicos en la zona de estudio a una escala media 1:2000.

Cartografiar y determinar las características morfométricas del área de estudio mediante la generación de un modelo digital de terreno y sus productos derivados (pendientes, aspecto, vista en 3d).

Implementar un Sistema de Información georeferenciado con la información geológica y geomorfológica de basa para los análisis y estudios.

3.3 ESTUDIOS DE REFERENCIA

En la zona de Altos de la Estancia se han realizado varios estudios geológicos a nivel regional y local que determinan las características principalmente de las formaciones superficiales existentes:

Fecha	Título	Autor
Noviembre 1998	Zonificación de Riesgo por Inestabilidad del Terreno para Diferentes Localidades en la Ciudad de Santa Fé de Bogotá D.C.	INGEOCIM Ltda.
Agosto 1999	Estudio geotécnico, evaluación de alternativas de medidas de mitigación y diseños detallados de las obras recomendadas para estabilizar la zona comprendida entre las quebradas Santo Domingo y Santa Rita, Barrio El Espino.	Consorcio Civiles Ltda. - Hydroconsulta Ltda.
Mayo 2003.	Estudio de evaluación de amenaza por deslizamiento para los Barrios El Espino y El Cerro El Diamante, e instalación y monitoreo de instrumentación geotécnica.	INGEOMINAS
2003	Estudio de la evolución del fenómeno de inestabilidad detonado por factores naturales y antrópicos en la zona de las quebradas La Carbonera y Santa Rita, Localidad Ciudad Bolívar,	Tesis Universidad Nacional de Colombia - Gustavo Moreno
2003	Aplicación de tomografías eléctricas 2D en la estimación del movimiento del subsuelo en deslizamientos activos,	Tesis Universidad Nacional de Colombia - Edgar Gantiva G.

3.4 NIVELES DE ESTUDIO

Los estudios geológicos y estructurales se realizaron con diferentes alcances a tres niveles de escala. Figura 3-1.

Estudio de análisis regional a escala media 1:100.000 basado en la existencia de fallas geológicas cartografiadas por el INGEOMINAS complementadas por lineamientos estructurales por interpretación de una escena Landsat TM, en un radio cercano a los 30 km. Con este estudio se busca establecer las relaciones de fallas y estructuras regionales con la zona de interés.

Estudio semiregional a escala media 1:25.000 basado en reconocimientos de campo y la interpretación un anaglifo estereoscópico formado imágenes de radar modo fino (resolución 7 m/píxel). Con este estudio se busca establecer y determinar la relación de las principales unidades litoestratigráficas y estructuras geológicas con las zonas de deslizamiento de la Carbonera y El Espino.

Estudio local a una escala media 1:5000, basado en levantamientos detallados de campo y la interpretación de dos subescenas de imágenes Ikonos, una de Diciembre de 1999 (pancromática) y la otra de Enero 27 de 2004 de características multiespectral con resolución sobre el terreno de 4 bandas (3 del visible y una del infrarrojo) de 4 metros y una banda pancromática con resolución de 1 metro por píxel. También en este estudio se realizó la interpretación de fotografías aéreas a escalas entre 1:30.000 y 1:10.000.

3.5 METODOLOGÍA Y FASES DE TRABAJO

En el desarrollo del estudio geológico y geomorfológico se establecieron las siguientes fases metodológicas de trabajo:

Reconocimiento de campo. Se realizó un reconocimiento general del terreno para visualizar la problemática de la zona y sus principales características geológicas y geomorfológicas.

Análisis de la información existente. Teniendo en cuenta la gran densidad y la valiosa información existente proveniente de estudios locales realizados por diferentes Empresas consultoras para el DPAE (ver estudios de referencia), trabajos de tesis de grado y otras publicaciones existentes, se compilaron los estudios y se clasificaron.

Selección y adquisición de imágenes de alta resolución (IKONOS). Se analizaron las imágenes existentes en el banco de datos de Spaceimage (Prosis), se seleccionaron y se procedió a su adquisición. Inicialmente se trabajó con una imagen pancromática de finales de 1999 con resolución de 1 metro/píxel, mientras llegaba la imagen Ikonos de enero 27 de 2004, de tipo multiespectral con 3 bandas del visible e infrarrojo de 4 metros de resolución y una imagen pancromática de 1 metro de resolución/píxel.

Implementación de un SIG de referencia. Con el objeto de analizar y procesar la información de referencia útil para los propósitos del estudio, se implementó un Sistema de Información Geográfico con coberturas Arc-info e imágenes en formato raster (img) y proyecto de Arc-View. En este SIG-AE (Altos de la Estancia) se incluyeron las siguientes coberturas: áreas de estudio de trabajos de referencia en relación al área de estudio del proyecto (INGEOMINAS, IGL, DPAE); Curvas de nivel. (Cobertura de curvas de nivel de los estudios de INGEOMINAS e IGL); Manzanas y predios; Quebradas; Geología, (fallas geológicas y datos estructurales). Exploraciones del subsuelo (perforaciones, trincheras, apiques); sitios de monitoreo (inclinómetros, piezómetros, etc.), líneas sísmicas y sondeos eléctricos verticales SEV.

Procesamiento de imágenes y fotografías digitales. En esta fase se georeferenciaron los diferentes productos digitales de imágenes de satélite Landsat, Radarsat e Ikonos con información cartográfica de escalas similares al nivel de resolución. Algunas fotografías aéreas de interés fueron numerizadas o escaneadas y georeferenciadas. Las bandas multispectrales de imagen Ikonos de 2004 se remuestrearon con la banda pancromática para mejorar su resolución espacial a 1 metro y espectral a cuatro bandas. Con estos productos se realzaron las imágenes con aplicaciones de filtros de bordes para dar le mayor afinidad y con composiciones en falso color y color natural para realzar los diferentes elementos de interés del terreno.

Elaboración del modelo digital de terreno (MDT). Con la ayuda del programa arc-info y la base de la cobertura de las curvas de nivel levantadas en el marco del proyecto y ensambladas con las existentes, se elaboró el MDT y sus mapas derivados.

Interpretación digital de imágenes de satélite. Se interpretaron las imágenes realzadas utilizando diferentes bandas espectrales y un sistema de información para establecer los atributos geográficos y temáticos de las diferentes unidades y estructuras.

Edición preliminar de mapas. Se editaron las diferentes coberturas e imprimieron mapas preliminares.

Control de campo. Se realizaron controles geológicos y geomorfológicos de campo en torno al área de interés y propiamente sobre la zona de estudio verificando las interpretaciones de sensores remotos y levantando información primaria de la descripción litológica de las formaciones superficiales y datos de las estructuras geológicas como fallas, planos de estrías y espejos de falla, diaclasas y planos de estratificación. En total se realizaron cinco visitas de control de campo, a partir de las cuales se alimentaba y reinterpretaba la información.

Discusiones técnicas de avance. Semanalmente se realizaban reuniones técnicas con los participantes del proyecto para evaluar los resultados obtenidos y la programación de nuevas actividades.

Establecimiento del modelo geológico estructural. Teniendo en cuenta la información de referencia y los estudios adelantados se estableció el modelo geológico de las unidades litoestratigráficas del subsuelo y bloques tectónicos.

Establecimiento de modelo de comportamiento morfodinámico. Se estableció un modelo de unidades morfodinámico para el movimiento en masa del Espino y La Carbonera.

Presentación de resultados al DPAE. En reunión técnica con funcionarios representantes del ACCI y el DPAE, se presentaron los resultados obtenidos.

3.6 TECTÓNICA REGIONAL

Para analizar y determinar una relación de las estructuras geológicas regionales como fallas y pliegues en la zona de estudio se digitalizó esta información proveniente de planchas geológicas a escala 1:100.000 del INGEOMINAS. Ver Figura 3-2.

De esta cartografía e interpretación se puede establecer la presencia de fallas regionales de cabalgamiento con direcciones preferenciales Norte/Sur, N10°E y N10-20° W. La zona de interés en torno a la laguna de Terreros muestra un área semicircular limitada por fallas. Los lineamientos resaltan el sistema de Terreros de dirección aproximada N45°W y el lineamiento que transcurre por la parte central del deslizamiento de dirección aproximada N30°E.

Entre las fallas regionales más importantes a destacar son las fallas de Tunjuelito, Soacha y Bogotá.

La Falla de Tunjuelito es una estructura sobre la cual el río Tunjuelo toma su curso, presenta una dirección preferencial en N5E y con un plano de falla inclinado al occidente. Esta falla es considerada (INGEOMINAS, 1996) como potencialmente activa.

La Falla de Bogotá es una estructura de tipo inverso, que bordea la Sabana de Bogotá por su costado oriental. Tiene una dirección aproximada N10E con un plano de falla inclinado hacia el oriente.

La Falla de Soacha es una estructura de tipo inversa con componente de rumbo sinistral orientada en dirección N5W.

Del análisis de pliegues se puede establecer que al sur del sistema de fallas de Terreros se presenta una zona de anticlinales y sinclinales estrechos entre los sinclinales de Usme al Este y Fusa al Oeste.

3.7 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL SEMIREGIONAL

El estudio semiregional se fundamentó en interpretaciones estereoscópicas de una imagen radar en anaglifo a un nivel de escala media 1:25.000 y fotografías aéreas a escalas entre 1:30.000 y 1:10.000. Estos estudios fueron apoyados con controles de campo. Con este estudio se pretende establecer con mayor claridad el sistema estructural de la región y su influencia sobre la zona de interés dado su carácter tridimensional.

De la interpretación estructural de lineamientos mayores se determinaron tres sistemas principales que se describen a continuación en orden cronológico: El primero y más antiguo se presenta en dirección N60 a 70W que corresponde a un sistema de estructuras paralelas del llamado Sistema de Fallas de Terreros. El segundo sistema corresponde a estructuras en dirección N45W que corresponden a un sistema de fallas inversas al sur del Sistema de Terreros. El tercer sistema (N45E) de estructuras se presenta en sentido perpendicular al segundo sistema y corresponde a fallas más recientes de tipo normal y componente de rumbo. A este sistema se asocia la falla de los Rosales. Figura 3-3.

Un total de 300 lineamientos menores se identificaron del estudio de los cuales cerca del 90% corresponden al tercer sistema es decir a las estructuras más recientes que desplazan las dos anteriores y corresponden a fallas menores y fracturas de distensión en dirección N45 a 50E. Otros lineamientos se presentan en dirección EW. Figura 3-4.

La identificación de capas estructurales, su dirección, inclinación y asociación a pliegues semiregionales indican una dirección preferencial de los estratos Al sur del sistema de Terreros y en dirección N10W a N10E y la formación de pliegues sinclinales y anticlinales estrechos y con control estructural. Por el contrario al norte del Sistema de Terreros las capas se orientan en dirección casi perpendicular a esta anterior y muestran una tendencia a EW e inclinadas hacia el norte con bajo ángulo (10 – 30 grados). Figura 3-5.

Al sur de Terreros la estructura semiregional más destacable corresponde a la prolongación norte flanco W del sinclinal de Usme con la particularidad que este presenta un buzamiento preferencial hacia N40-48E (distinto de la tendencia general de este flanco que más al sur buza en dirección N70-80E de modo que no es en términos estrictos parte del flanco del sinclinal) y según uno de los informes de INGEOMINAS corresponde al cierre norte del Anticlinal de Mochuelo descrito por Julivert (1963).

Se presentan estructuras menores y se pueden encontrar pliegues de menor longitud de onda debido en parte a las características reológicas de las unidades expuestas en superficie.

En torno al área de estudio en el extremo norte y nor-occidente se ve expuesta la Formación Arenisca Tierna con un espesor que bien puede superar los 50m donde se han ubicado o aun existen canteras para la explotación de materiales. Este estrato se comporta de manera rígida y en muchos casos se encuentra muy fracturado de modo que zonas identificadas con lineamientos semiregionales corresponden a zonas donde es más intenso el fracturamiento y donde los procesos erosivos se hacen más intensos. Observaciones más locales de estos buenos sitios de exposición permiten evidenciar la presencia de fallas normales paralelas, de poco desplazamiento vertical que forman movimientos estructurales secuenciales en escalón. Ver Foto 3-1 y Foto 3-2.

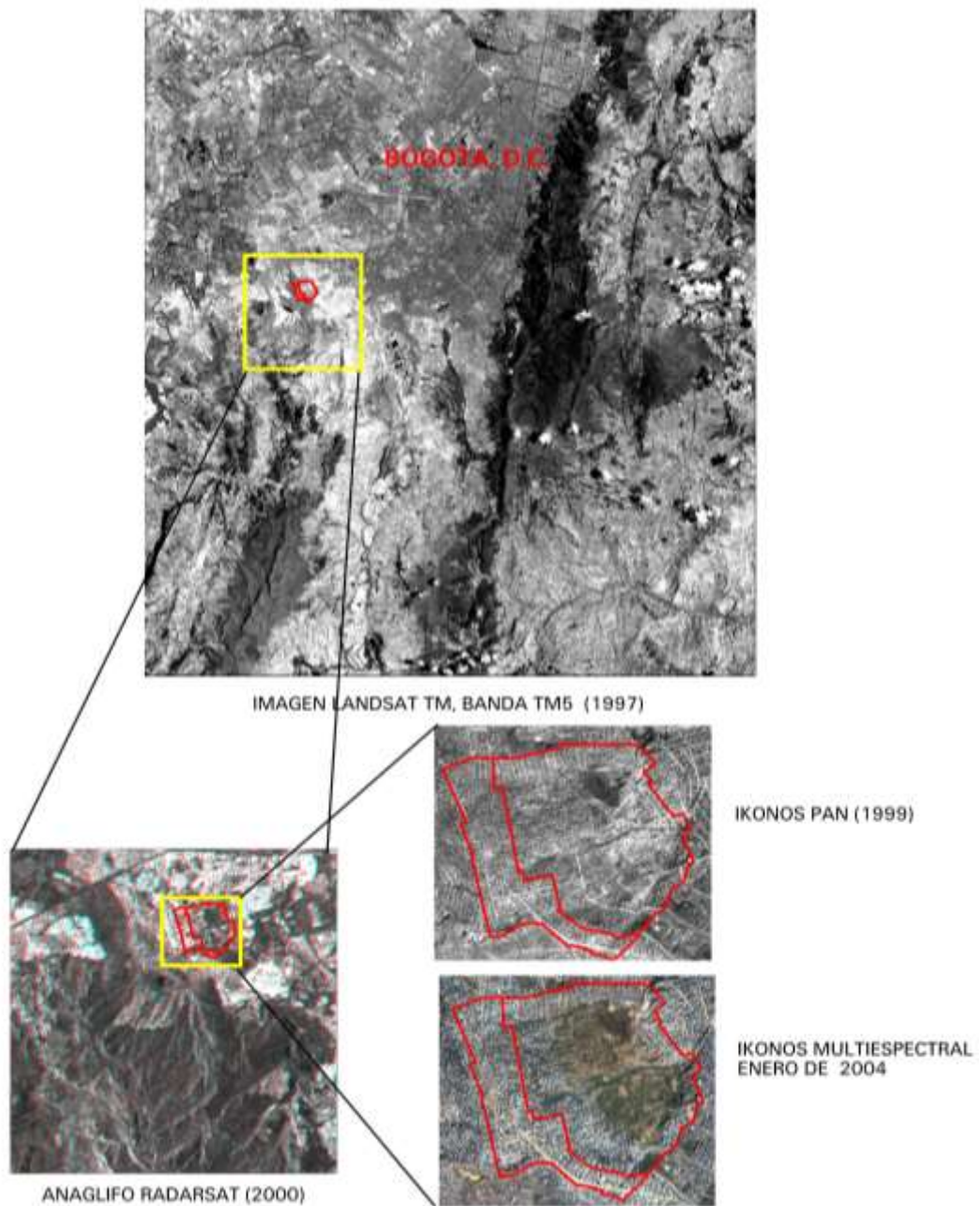


Figura 3-1 Productos satelitales empleados en el estudio geológico y geomorfológico

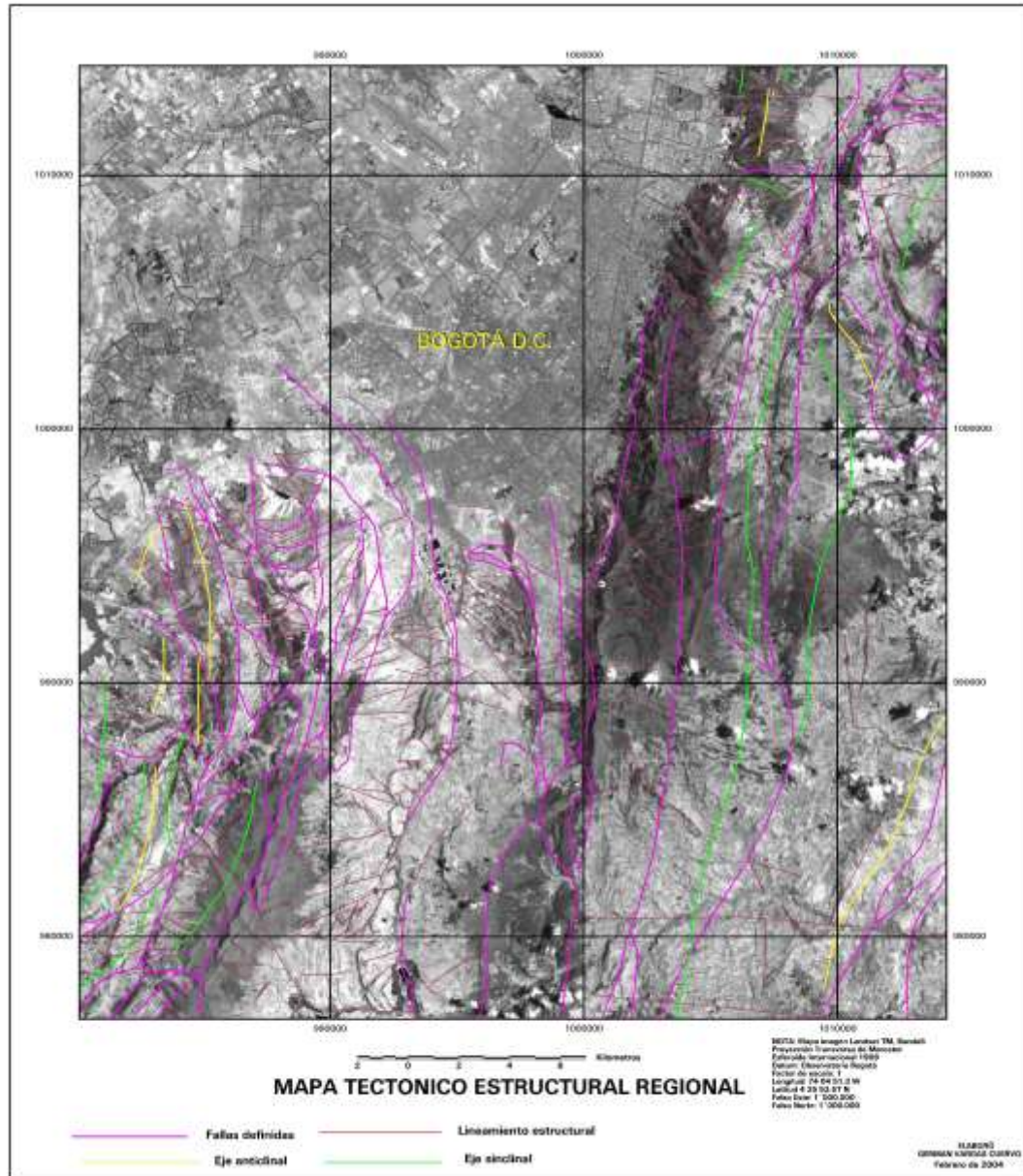


Figura 3-2 Mapa Tectónico Estructural Regional

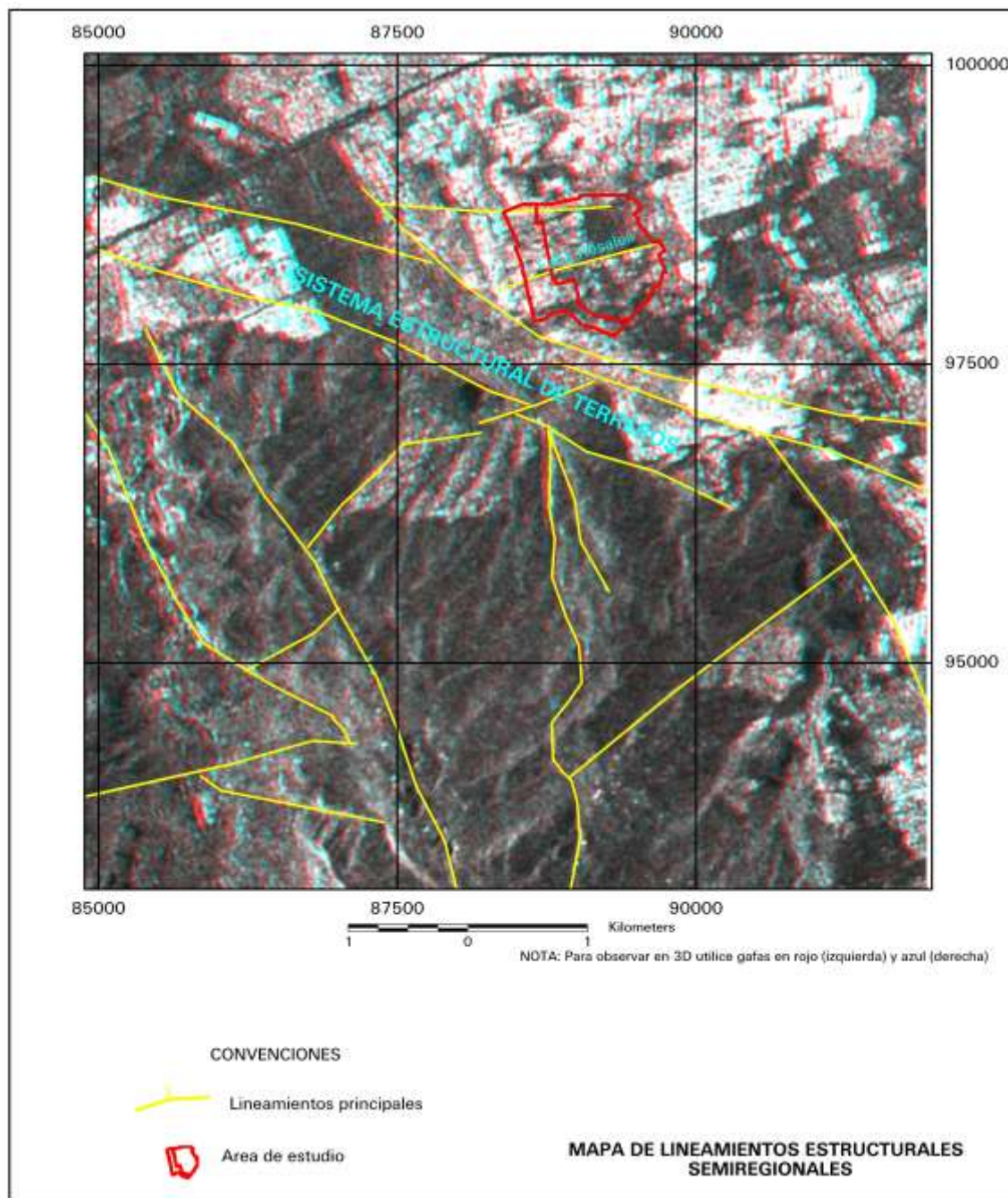


Figura 3-3 Mapa de Lineamientos estructurales semiregionales

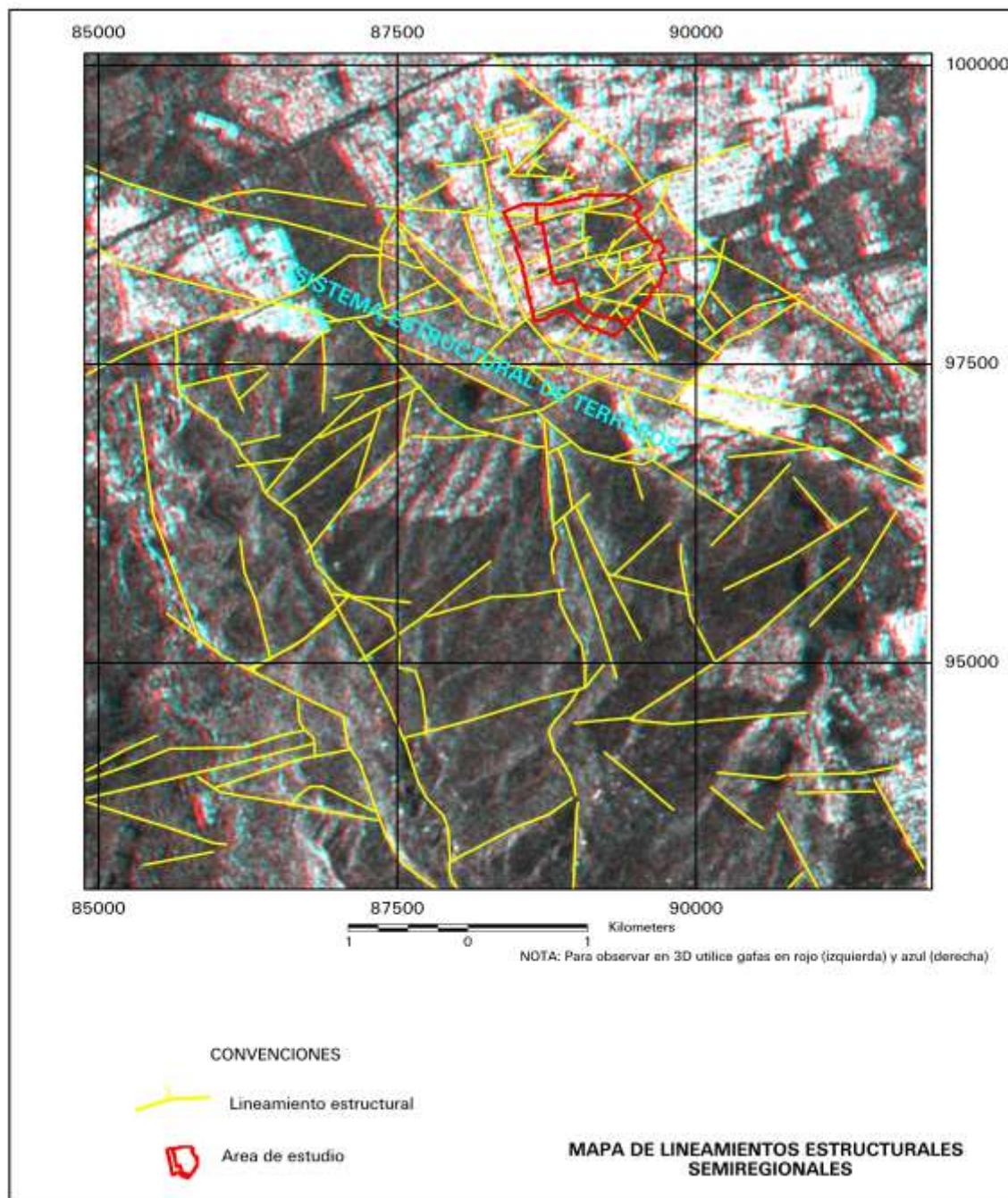


Figura 3-4 Mapa de Lineamientos estructurales regionales

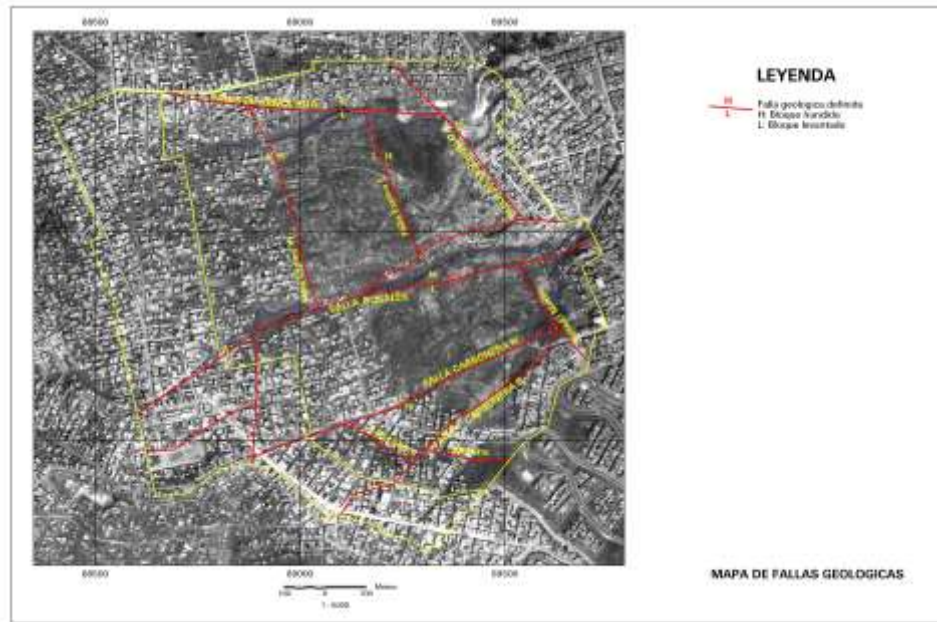


Figura 3-5 Mapa de Fallas Geológicas



Foto 3-1 En la zona de canteras, se aprecia una falla normal con un ángulo de buzamiento que se aproxima a 80 grados y un desplazamiento que se puede aproximar a 6 y 10m, quizá más ya que la zona de harina de falla puede alcanzar los dos metros de espesor. Este es el fallamiento característico que puede afectar la zona con rumbo N80E



Foto 3-2 Fallas normales en la zona nor-oeste del área de interés y al este de Candelaria La Nueva. Líneas en rojo delimitan zona de falla, líneas en verde ubican estratos correlacionables

El análisis estereográfico de datos estructurales tomados en torno a estas fallas, se presenta en la Figura 3-6 (circulo mayor $S_0 = 43,1^\circ / 20,0^\circ$ o N47W 20NE)

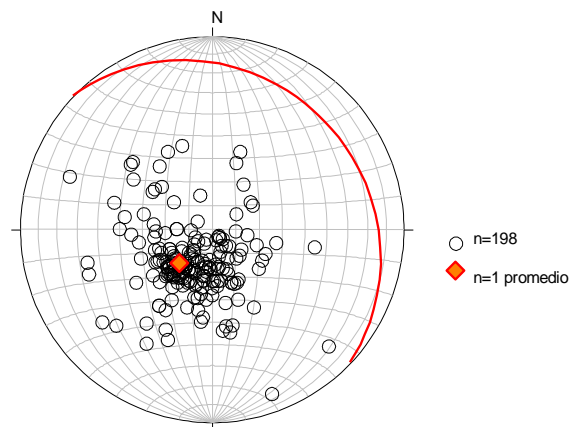


Figura 3-6 Diagrama de polos mostrando en rojo el círculo mayor y el polo promedio para las medidas de estratificación.

3.8 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL LOCAL

Los estudios de geología a nivel local se fundamentaron principalmente en controles y levantamientos de campo enfocados hacia la identificación y caracterización de los

lineamientos establecidos en el área de estudio, a partir de los estudios regionales y semiregionales. Estos estudios fueron apoyados con el uso de imágenes de alta resolución Ikonos y la interpretación de fotografías aéreas. Para la descripción de la geología estructural local se tendrán en cuenta tres aspectos principales: estratificación, fallas y fracturas o diaclasas.

3.8.1 Estratificación

La estratificación en el área de estudio se orienta principalmente en dirección NW y se inclina hacia el NE entre 10 y 25 grados. En la Tabla 3-1 se presentan los datos estructurales levantados en terreno y en la Figura 3-7 el análisis estereográfico.

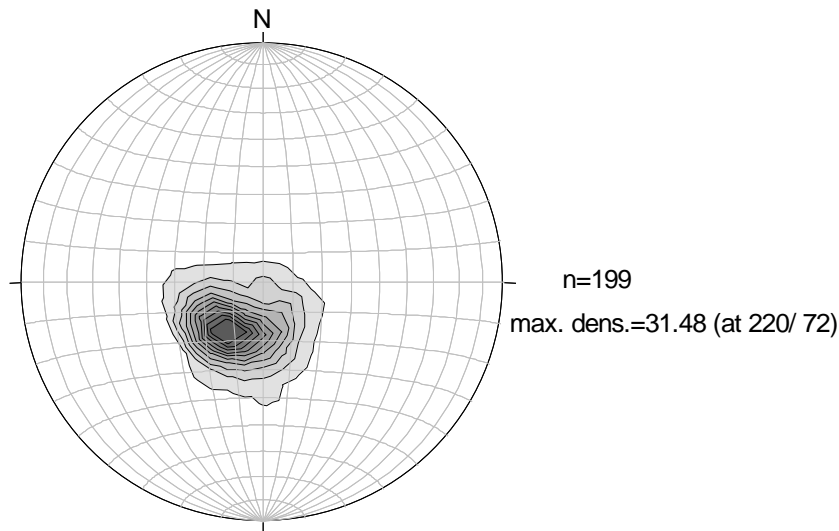


Figura 3-7 Diagrama de densidad de polos para los datos de estratificación de los deslizamientos del Espino y la Carbonera.

3.8.2 Fallas

En este estudio la expresión de las estructuras están en gran parte enmascaradas por el efecto de urbanismo sobre la zona, de modo que para evaluar las fallas existentes se evalúan varios criterios y datos de campo. El mapa de fallas es presentado en Figura 3-8.

Una vez definidos los lineamientos principales de la zona sobre los diferentes sensores, se procedió a buscar evidencia de desplazamiento en tales lineamientos.

A nivel local se pueden identificar desplazamientos relativamente pequeños que se pueden obviar a escalas más regionales, pero que consisten en fracturamiento cortical

identificable por sensores y que por la escala de detalle de este trabajo son de tener en cuenta.

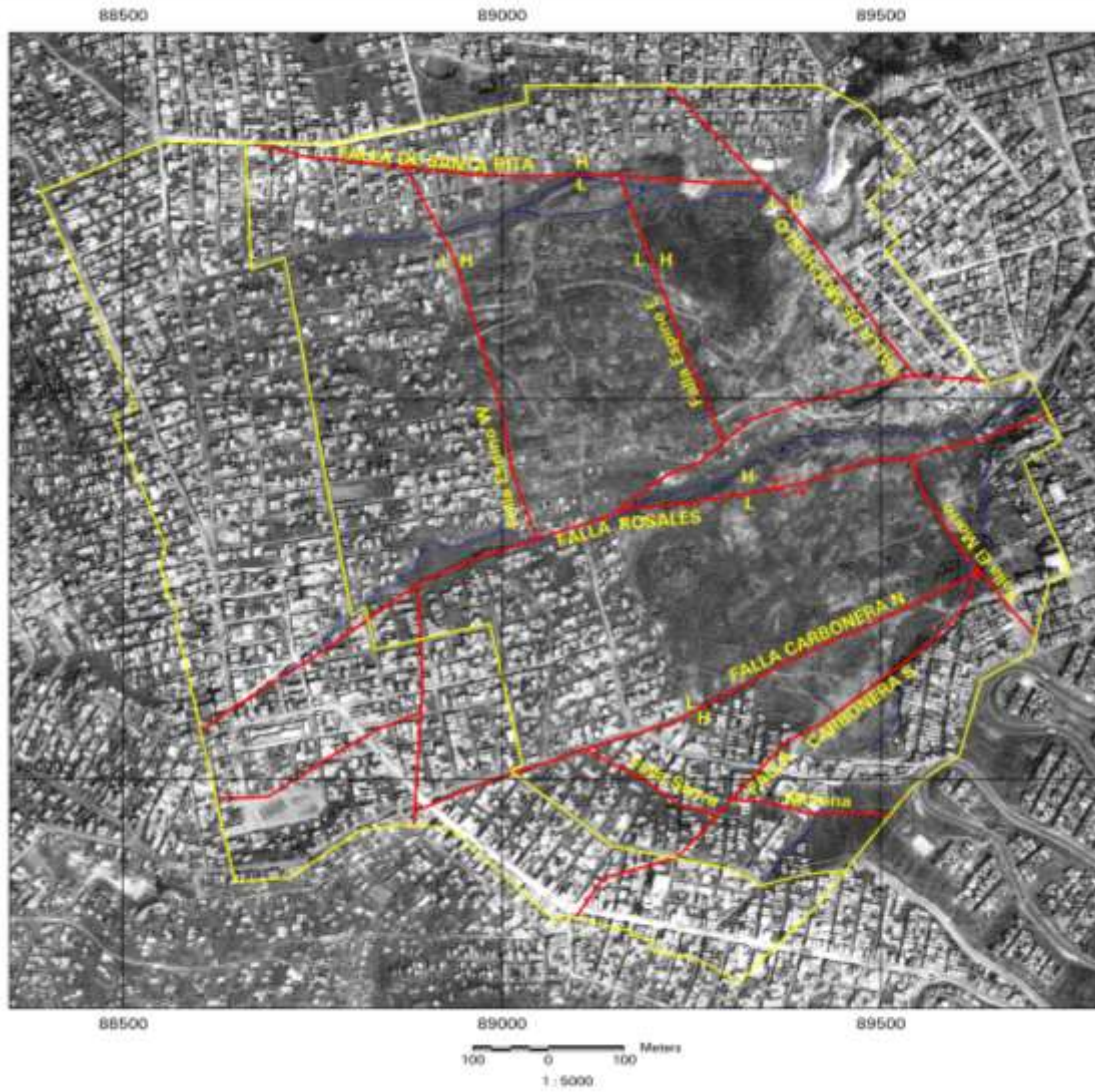


Figura 3-8 Mapa de fallas geológicas

ESTUDIO DE RIESGO Y MEDIDAS DE MITIGACION EN EL SECTOR ALTOS DE LA ESTANCIA DE LA LOCALIDAD DE CIUDAD BOLÍVAR EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ, D. C.

Anteriormente solo se habían medido los planos de espejos de falla, en este trabajo se midió además la orientación de estrías, y se realizó un procedimiento de análisis de los resultados obtenidos y con ayuda de software especializado se procesan los datos de forma más rápida.

De modo que se logra hacer un análisis más confiable de los esfuerzos que generaron los juegos de fallas que afectan la zona.

Tabla 3-1 Datos estructurales de estratificación

No.	Coordenada		Estratificación		Discontinuidades				Fallas					Dir.																	
	E	N	estr_azi	estr_ang	dis_azi	dis_ang	dis_azi2	dis_ang2	dis_abe	dis_espac	fall_azi_p	fall_ang_p	fall_azi_estria		fall_ang_estria	fall_dir															
A1	989593	997590	52	20	190	85			0.1-0.5 cm	20-50cm		2	80	120	12																
A1					210	77										195	72	300	10												
A1					134	85														230	65	218	20								
A1					192	82																		332	64	318	15				
A1					168	75																									
A1					220	64																									
A1					155	75																									
A1					160	65																									
A1					170	76																									
A1					192	50																									
A1	989695	997553			212	64																									
A2	989763	997520	10	28	218	60			0.5-2 cm	50 cm	220	68	290	8	Sinestral																
A2					162	72										0.5	20-50 cm	254	70	338	27	S									
A2					170	60																									
A2					168	78																	0.5-2 cm	50 cm							
A2					152	75																									
A2					184	70																									
A2					194	72																									
A2	220	62																													
A2	989898	997465	0	0																											
A3	989928	997745	0	0																											
A4	989896	997768	238	12	72	72			0.5 mm	5-10 cm	18	57	302	10	D																
A4					130	76																									
A4					5	84																									
A4					18	85																									
A4					90	75																									
A4					160	75																									
A4					76	74																									
A4					125	70																									
A4					5	74																									
A4					88	76																									
A4	302	85																													
A5	989709	998308	35	50	118	88			0.5-2 cm	5-10 cm	25	65	285	12	D																
A5			22	52	124	85										10 cm															
A5			30	58	140	34																									
A5					148	40																									
A5					142	55																									
A5			292	70																											
A6	989609	998331	30	5				0	10-30 cm																						
A7	989607	998276	60	26	330	80			0-1 cm	0.3- 1 m																					
A7			70	26	250	60																									
A7			56	25	332	78																									
A7					338	85																									
A7					325	75																									
A8	989590	998459	45	14	105	80																									
A8			85	20	155	70																									
A8				174	80																										
A9	989702	998570	102	30																											
A10	989267	998804	50	10	155	58					Columna Ingeominas Qba. Santa Rita																				
A10					135	54																									
A10					134	80																									
A10					42	54																									
A10					24	50																									
A10	168	48																													
A11	989409	998800	122	40	205	38	82	20																							
A11			130	45	30	84	10	65																							
A11			98	38	25	60	32	66																							
A11			128	45	136	45	320	50																							
A11					230	86	10	88																							
A11					332	35	335	36																							
A11					52	86	320	50																							
A11					20	70	308	70																							
A11					45	82	25	70																							
A11																															
A12	989363	998796	90	40																											
A13	989420	998055	40	12	145	84	225	75	10-20 cm																						
A13			42	20	175	88	222	82	0-30 cm																						
A13			58	15	152	80	254	88																							

La configuración actual es el resultado de varios eventos deformativos, entre los principales está el levantamiento de la Cordillera Oriental que se generó en varios pulsos.

Hasta el momento no se tiene evidencia confirmada de actividad neotectónica aunque puede haberla, pues hacia el río Tunjuelo se ha encontrado alguna evidencia, ya alejándose un poco del área de interés y de los alcances del presente trabajo.

En el área se identificaron los siguientes sistemas de fallas con desplazamiento vertical y de rumbo. Tabla 3-2

Tabla 3-2 Características de las principales fallas del área de estudio

Nombre falla o Sistema de Fallas	Rumbo	Movimiento
Santa Rita	N80-85E	Inversa Alto ángulo (sector norte levantado)
Espino W	N15W	Normal. Limita un bloque hundido hacia el NE
Espino W	N20W	Inversa Alto ángulo. Limita un bloque hundido hacia el NE
Mochuelo	N50W	Normal Bloque NE hundido
Rosales	N60E	Rumbo (sinestral) y Normal (Bloque Carbonera levantado)
S. Carbonera	N45-55E	Normal (sector norte levantado)
Sierra Morena	N80W	Normal Bloque NE Hundido
El Morro	N35W	Inversa de alto ángulo. Bloque NE hundido

Estos sistemas de fallas dan a la zona una configuración de bloques que al menos superficialmente se han movido uno respecto a otros.

Primero se hará algunas anotaciones a nivel general y luego si se pasará a describir cada uno de las fallas ya listadas.

Los sistemas de fallas y de lineamientos observados coinciden con las orientaciones de diaclasas medidas en campo y con las orientaciones de planos estriados. Figura 3-9, **Figura 3-10** y Figura 3-11.

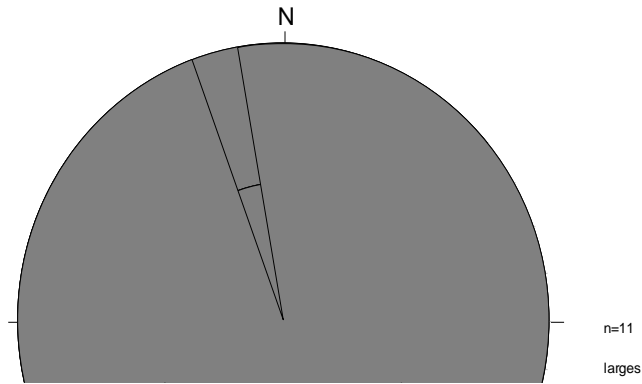


Figura 3-9 Diagrama Rosa de Fallas mayores.

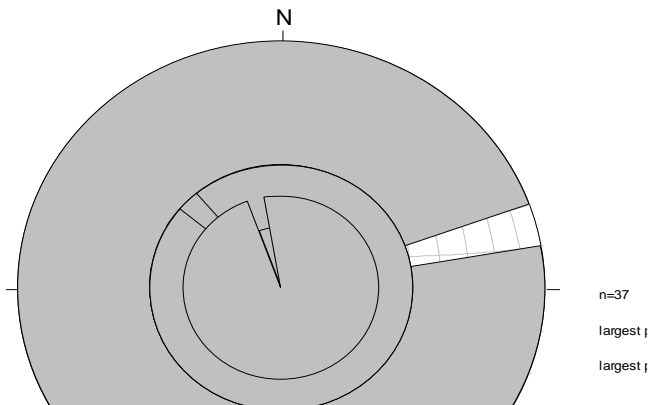


Figura 3-10 Diagrama Rosa de Fallas menores, planos estriados.

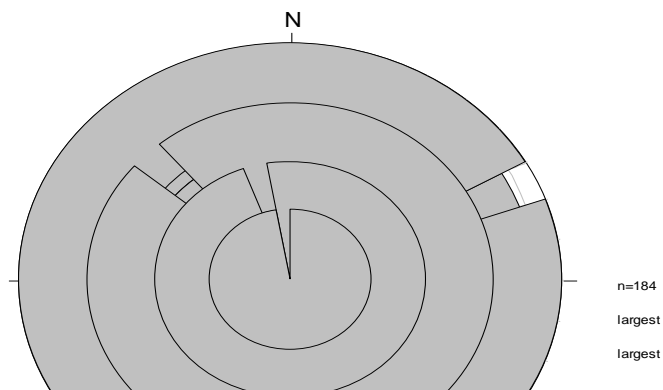


Figura 3-11 Diagrama Rosa de diaclasas.

Si se analiza el conjunto de datos tomados de fallas menores (estructuras de afloramiento) se obtiene como resultado que el esfuerzo compresivo (304 azimut) para la generación de estas fallas está acorde con la dirección de compresión Andina (300-310 de azimut). Resultado similar se puede obtener de los juegos de fallas mayores y de los juegos de diaclasas. Figura 3-12, Figura 3-13.

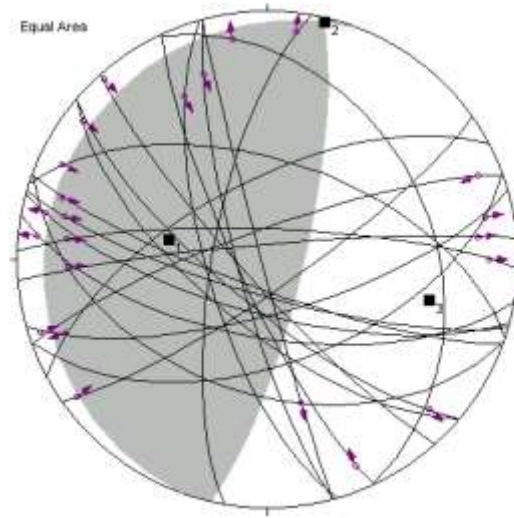


Figura 3-12 Diagrama de solución de esfuerzo generado por el programa FaulKin (Almendinger, Cornell, University).

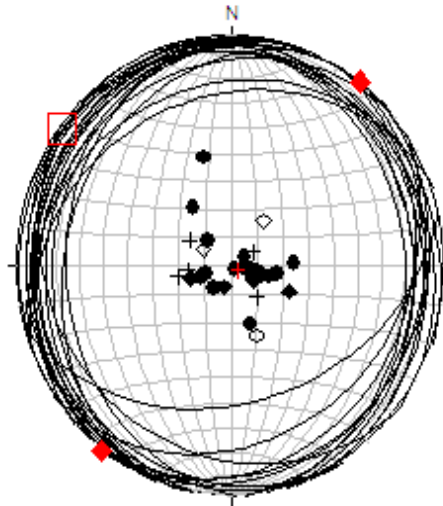


Figura 3-13 Estereograma de planos M (que contienen las alineaciones de las estrías). Los círculos mayores representan los planos M y también se plotean los polos donde la cruz en rojo representa un valor promedio.

El cuadrante sombreado corresponde donde se ubica el eje de extensión, los círculos mayores corresponden a los planos de fallas estriadas, y las flechas indican el sentido de movimiento en el punto en la dirección de la estría. Los cuadros negros representan los esfuerzos principales, siendo el indicado con número 3 la orientación del eje de compresión.

Las orientaciones de estrías son en su mayoría horizontales y obedecen a un régimen compresivo y se encuentran distribuidas en forma dispersa en la zona sometida a esfuerzo, mientras que los esfuerzos distensivos no generan en realidad una cantidad considerable de estrías, si no que se concentran en la propia zona de falla.

El fallamiento normal es constatable en campo sobre todo por evidencia de afloramientos en la zona cercana al área de estudio. Este tipo de fallamiento se cree que debió ocurrir en las últimas etapas de levantamiento de la Cordillera.

Se observa que todas las estrías están contenidas en planos muy cercanos a la Horizontal. A continuación se presentan la descripción de las fallas por separado.

3.8.3 Descripción de las fallas

3.8.3.1 Falla de Santa Rita.

Reconocida en trabajos anteriores gran parte de su trazo corresponde a la quebrada de la misma denominación, es una falla prácticamente vertical con rumbo N80-85E e Inversa con un sector norte levantado.



Foto 3-3 Vista frontal y panorámica en 3D del lineamiento morfológico que deja el trazo de la Falla de Santa Rita (en rojo).

Limita un bloque levantado hacia el sur donde se pueden apreciar, en la zona cercana a San Rafael, lodolitas de la Formación Guaduas enfrentadas a areniscas de niveles estratigráficos superiores de la misma formación.



Foto 3-4 Zona de la Falla Santa Rita. Lodolitas con buzamiento opuesto al de las areniscas y al mismo nivel de altura contrapuestas.

3.8.3.2 Falla del Espino W.

Falla de tipo normal a favor de la pendiente estructural con rumbo N15W y limita un bloque hundido hacia el NE, que parece controlar el escarpe principal del deslizamiento del Espino. Su desplazamiento parece ser cercano a 20 m según lo proyectado en corte.

3.8.3.3 Falla del Espino E.

Falla inversa de alto ángulo a vertical corresponde al mismo sistema distensivo de la falla anterior con rumbo cercano al N-S (N15-20W). La densidad de fracturas en sentido N-S es alta en la parte alta de El Espino aunque también se presenten en otras direcciones como en toda el área.



Foto 3-5 Vista panorámica en 3D de la fallas El Espino W y E.

Es una falla de desplazamiento menor que en escala más regional no es importante.

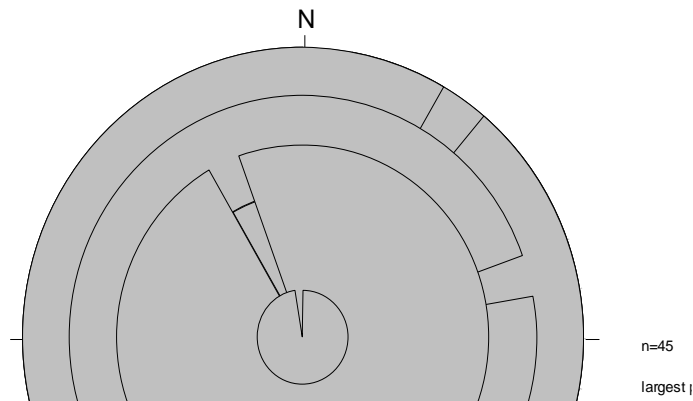


Figura 3-14 En afloramientos cercanos a la quebrada Santo Domingo o Rosales y la parte alta del Espino las principales familias de diaclasas se orientan hacia el norte con direcciones cercanas a las fallas del Sistema del Espino.

3.8.3.4 Falla de Mochuelo.

Es una falla de alto contraste en sensores remotos y cuyo trazo se puede extender a decenas de kilómetros. En el área tiene rumbo N50W y hace que el bloque NE se hunda con una orientación muy similar a la del sistema de El Espino. Tiene una zona de fallas

con rocas cataclásticas de brecha de falla de unos 10 metros, que semeja erróneamente un depósito de coluvión.



Foto 3-6 Vista panorámica y detalle de la zona de falla de Mochuelo. Nótese la brecha de Falla con fragmentos fracturados

3.8.3.5 Falla Rosales.

La falla de Rosales se presenta en inmediaciones de la quebrada de igual nombre separando los sectores denominados como Carbonera al sur y El Espino al norte. Es una falla de tercer orden de tipo normal y con componente de rumbo sinistral, su trazo se orienta preferencialmente en N60E y por su disposición topográfica y afloramientos en la zona de falla, se considera que su plano de falla es de alto ángulo, aproximando a la vertical. Hacia el NE presenta dos ramales. Esta falla hace que el bloque SE se levante y presenta evidencia de un corrimiento sinistral.



Foto 3-7 Vista frontal y panorámica en 3D de la Falla de Rosales controlando el curso de la quebrada de igual nombre. Obsérvese su lineamiento morfológico

El análisis de esfuerzos de fallas menores da como resultado un esfuerzo de cizalla en dirección N75E muy cercano o en ángulo agudo al trazo principal de la falla (como se aprecia en la gráfica de abajo).

La alta población de estrías es consistente con un movimiento sinistral para esta falla.

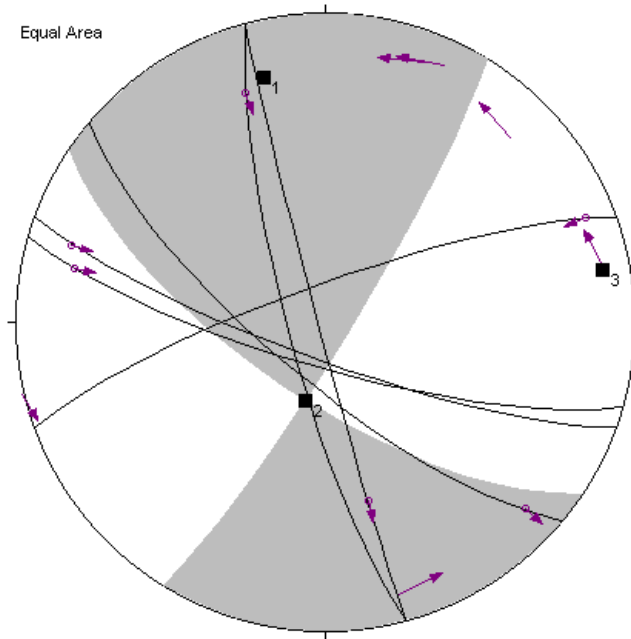


Figura 3-15 Diagrama de solución de esfuerzo para la zona cercana a la quebrada Rosales. Generado por el programa *FaulKin* (Almendinger, Cornell, University).

De la figura anterior el cuadrante sombreado corresponde donde se ubica el eje de extensión, Los círculos mayores corresponden a los planos de fallas estriadas, y las flechas indican el sentido de movimiento en el punto en la dirección de la estría. Los cuadros negros representan los esfuerzos principales, siendo el indicado con número 3 la orientación del eje de compresión.



Foto 3-8 Zona de falla Rosales en inmediaciones de la quebrada Rosales. Obsérvese en la parte superior la verticalización de los estratos de la arenisca y en la parte inferior la presencia de estrías neo mineralizadas y escalones que permiten interpretar un deslizamiento sinistral.

3.8.3.6 Falla La Carbonera.

Como la falla de Rosales también es una falla transversal que puede tener componente de rumbo.



Foto 3-9 Vista frontal y panorámicas de la Falla La Carbonera siguiendo el curso de la quebrada Carbonera. Presenta dos ramales.



Foto 3-10 Zona de falla de la Carbonera en su ramal norte, Aquí se presenta un fuerte fracturamiento en las areniscas y la presencia de estrías de fallas

Estas fallas generan junto con la falla de Rosales un bloque central levantado. El rumbo de estas fallas es de N45-55E y generan el escarpe en la quebrada Carbonera (falla sur) y para la norte se pueden apreciar a nivel de afloramiento harina de falla en algunos sitios.

La falla La Carbonera Sur puede corresponder a una falla conjugada de la falla Rosales por tener un componente de rumbo dextral opuesto.

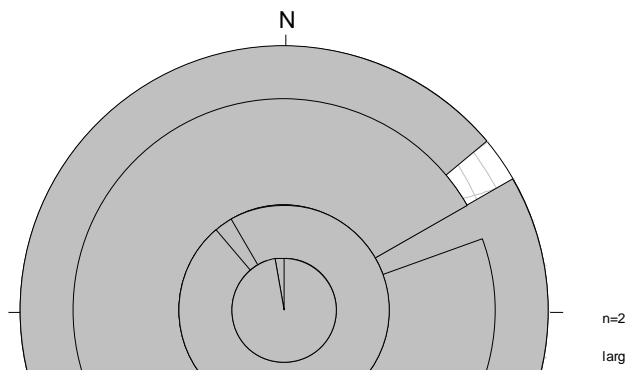


Figura 3-16 Diagrama rosa de afloramientos cercanos a la quebrada la Carbonera y la parte alta de la Carbonera.

Las principales familias de diaclasas se orientan hacia el norte-este con dirección similar a las Fallas del Sistema de la Carbonera.

Formación Arenisca Tierna, se observa una harina de falla de 6cm de espesor, típica de los planos de falla desarrollados sobre planos de diaclasas, es parte del efecto de la falla de la Carbonera Norte

3.8.3.7 Falla de Sierra Morena

Es una falla normal que va paralela al rumbo de las capas (con rumbo aproximado a N80W) y hace que el bloque NE se hunda y ponga en contacto la Formación Arenisca Tierna con niveles intermedios de la Formación Guaduas. El efecto de esta falla se hace evidente más hacia el sur, sobre la vía pavimentada que conduce a Sierra Morena, donde capas con inclinación local hacia el occidente de la formación Arenisca Tierna están por encima topográficamente de niveles de la formación Guaduas con la misma inclinación justo al oriente de esta falla, ya en el área de estudio se encuentra cubierta por depósitos recientes.

3.8.3.8 Falla El Morro

Es una falla de poca extensión con desplazamiento menor pero que parece interrumpir el drenado subsuperficial en la parte baja del deslizamiento de la Carbonera. Tiene rumbo N35W y es de tipo Inverso de alto ángulo, con el Bloque NE hundido. Foto 3-12



Foto 3-11 Vista panorámica de la falla el morro entre la Falla de la Carbonera y la Falla Rosales. Obsérvese el pequeño levantamiento de un montículo rocoso.



Foto 3-12 Vista de campo de la Falla El Morro en la pata del deslizamiento. La flecha indica un montículo recientemente levantado por el empuje del deslizamiento.

3.8.4 ANÁLISIS DE FRACTURAS

Para el presente trabajo se tomaron 184 datos de orientaciones de fracturas una gran parte correspondientes a diaclasas en el sentido estricto, de las cuales se presenta el diagrama siguiente en el que ya se observan unas tendencias de sus orientaciones en la siguiente figura.

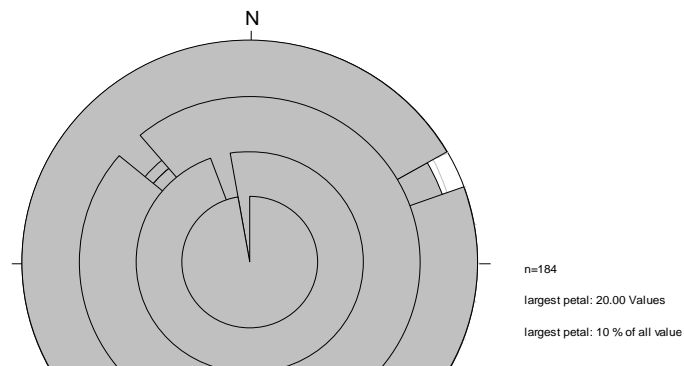


Figura 3-17 En el diagrama se observan las familias de diaclasas para toda el área.

La orientación de la principal familia de diaclasas es N50-70E. Otra familia que es persistente tiene orientación de N40-50W y es común en todas las estaciones encontrar una tercera orientación que esta a 30 o 40 grados de la orientación principal.

Esta misma orientación predominante se aprecia para los juegos de planos de fallas (observar diagrama rosa de sección de fallas y fallamiento).

El espaciamiento es proporcional al calibrado de la estratificación y solo en casos anómalos se presenta un espaciamiento reducido. Ahora se presentaran los datos agrupados por estaciones cercanas y dentro de una misma formación.

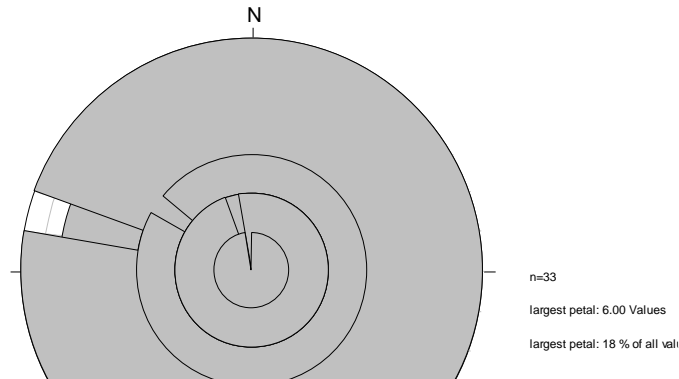


Figura 3-18 Diagrama rosa del sector de Sierra Morena donde aflora La Formación Arenisca Tierna.

En este sector se presentan datos de las carreteras al W y E del Tanque de Sierra Morena donde aflora la Formación Arenisca Tierna. Las orientaciones principales son de rumbo N60-70W y otra muy cercana N80-70E (relacionado al sistema de fallas normales en sentido casi E-W) las inclinaciones son de verticales a ángulos de 60 y 70 grados.

La rugosidad es relativamente baja y la abertura en estas es mínima y en términos generales constituye un macizo rocoso de buena a moderada calidad. El espaciamiento está relacionado al espesor de las capas y en este sector se presentan capas de más de dos metros de espesor donde el espaciamiento es mayor o igual a 50 cm.

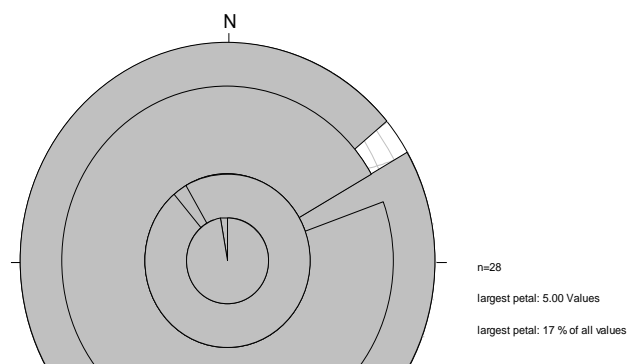


Figura 3-19 Diagrama rosa del sector del deslizamiento de la Carbonera, Quebrada Carbonera y parte baja de la Quebrada Santo Domingo.

En cercanía de la quebrada Carbonera se presentan intercalaciones de areniscas en un conjunto predominantemente lodolítico, se midieron en las areniscas que se presentan en capas de un metro o menores en general la rugosidad es baja y el espaciamiento es menor a 30 cm.

En la parte baja de la quebrada Santo Domingo se presenta un paquete de lodolitas con espesor mayor a 20m con estratificación de 10 a 20 cm donde el espaciado de diaclasas es de 10 a 5 cm. La familia principal se presenta en el rumbo de N50-60E, y un juego que puede ser conjugado se presenta en N30-40W.

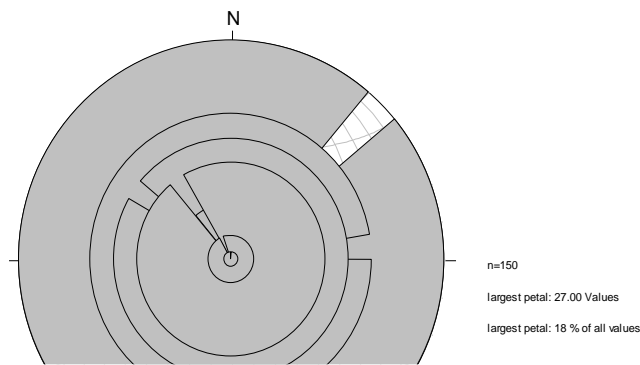


Figura 3-20 Anagrama rosa del sector del deslizamiento del Espino, Quebrada Santa Rita.

Aquí se presentan datos tomados por Gantiva (2002) y los datos recogidos para el presente estudio, son evidentes 3 familias y la dispersión no es muy alta pues la estratificación para los datos es muy similar.

La familia N80E aun que presenta una población menor sigue apareciendo, los otros grupos importantes son N40-50E y N30-60W.

En varios informes se habla de la Falla de la Quebrada Santa Rita, pero en el mismo informe del Espino se habla que no hay mucha evidencia, y tal como indican los datos de campo esta relacionada más a la persistencia de fracturamiento en la dirección en que corta la quebrada (N80E).

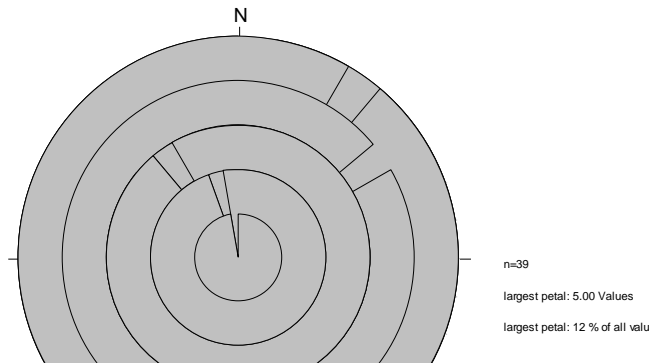


Figura 3-21 Diagrama rosa del sector de estaciones A31-33, cantera abandonada Luis Carlos Galán y sector donde aflora La Formación Arenisca Tierna en la parte alta del área de estudio.

En estas areniscas el espaciamiento es de 0.3 m a 1m en capas de estratificación gruesa, aquí se observó la coincidencia de planos estriadados con planos de diaclasamiento.



Foto 3-13 Areniscas de la formación Guadalupe Arenisca Tierna fracturadas mostrándose varios sistemas de diaclasas. Cantera Luis Carlos Galán

En la cantera se aprecia además la inhomogeneidad del fracturamiento pues en sitios localizados se presentan un mayor densidad de fracturas, en parte puede ser debido a la utilización anterior de explosivos para extraer material.

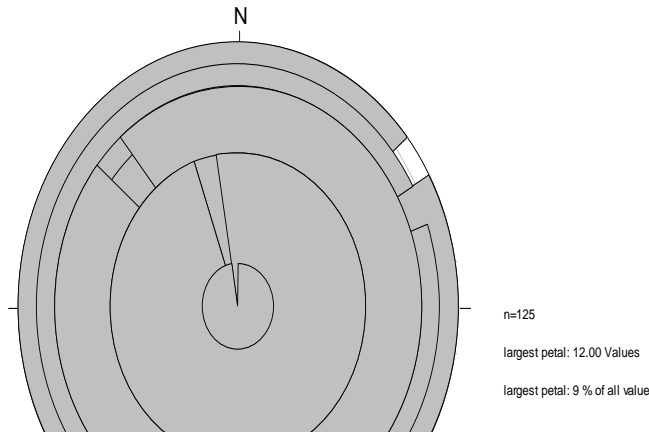


Figura 3-22 Diagrama rosa de discontinuidades del sector de la Quebrada Santo Domingo.

Aquí se agruparon una gran cantidad de datos entre los que se incluye las estaciones más debajo de la corona de deslizamiento, se pueden distinguir dos familias con planos buzando hacia el sur y rumbos N50-60E y N40-50W. Un subgrupo es importante es el de orientaciones cercanas a E-W a N80E.

Estos datos son de la zona alta de la quebrada Santo Domingo y estaciones cercanas hasta donde se aprecia un fuerte fracturamiento en la estación A29.

En la corona del deslizamiento se presenta un fracturamiento persistente en capas de estratificación gruesa y con espaciado relativamente pequeño (10- 50 cm) la abertura de fracturas es hasta de 30cm (ver Foto 3-13), la inestabilidad de estos sitios es alta.

Sin embargo en una estación cercana donde la litología corresponde a lodolitas y arenitas intercaladas en capas finas (10-20 cm) no se aprecia mayor abertura de las diaclasas que son presentes en dos direcciones muy conspicuas.

En las capas de areniscas de la Formación Guaduas con estratificación gruesa se presenta abertura de las fracturas por el hecho de que estas tienden a deslizarse sobre los niveles de arcillolitas como se observa en el afloramiento de la quebrada Santo Domingo donde se levanto una columna por parte de INGEOMINAS (informe del Espino). Ver Foto 3-14.



Foto 3-14 Parte alta de la Quebrada Santo Domingo. En donde se aprecia marcado fracturamiento de tipo distensivo. Con pequeñas fallas normales por gravedad y cuñas por diaclasamiento. Líneas rojas marcan los sistemas de diaclasas



Foto 3-15 Detalle de capas de areniscas deslizándose sobre niveles de arcillolitas. Observen los desplazamientos verticales y las deformaciones de estas últimas rocas por el empuje gravitatorio de las areniscas

En resumen se encuentran 3 clases de fracturas cada una con alguna dispersión coinciden con las direcciones de los lineamientos a nivel regional.

Dos de estas familias son probablemente desarrolladas en las primeras etapas orogénicas (N50-70E y N50-40W) y el otro grupo que puede ser más reciente (de las últimas fases orogénicas) y puede estar asociada a los lineamientos regionales de rumbo N80E- EW.

La quebrada Santo Domingo o Rosales se reconoce como una zona de alto fracturamiento lo que puede asociarse a la falla de Rosales.

Sin embargo se encuentran también otros sitios donde el fracturamiento es alto como en la corona del deslizamiento de la Carbonera, que puede asociarse a la falla de la Carbonera N.

3.9 ESTRATIGRAFÍA

La estratigrafía basada en la caracterización de las unidades geológicas sobre su litología y determinan la presencia de rocas sedimentarias (areniscas, lodolitas, limolitas y arcillolitas) con edades desde el Cretáceo y Terciario, cubiertas parcial y discordantemente por depósitos inconsolidados de diferente origen y composición.

Estratigráficamente, los estudios de referencia indican la presencia de dos unidades litoestratigráficas en la zona de estudio. El miembro Arenisca Tierna de la Formación Guadalupe (Ksgt) y la Formación Guaduas (KTg). Los depósitos Cuaternarios se han identificados como fluvioglaciales, coluviales, aluviales y de suelos residuales de importancia. Los impactos antrópicos en la explotación inadecuada de materiales de construcción mediante canteras a cielo abierto y el depósito o acumulación de escombros de construcciones y aserrín. En el anexo I se presenta la caracterización estratigráfica de las Formaciones Guadalupe y Guaduas según el léxico estratigráfico.

Sobre la estratigrafía de la Arenisca Tierna de Formación Guadalupe en el área no existe controversia alguna, solamente se presentan diferencias en la cartografía y forma del contacto con la formación Guaduas. Sobre la estratigrafía de la Formación Guaduas se presentan mayores incertidumbres, principalmente en la presencia de segmentos inferior o superior a lado y lado de la Quebrada los Rosales.

En un primer acercamiento a la estratigrafía de la zona de estudio se consultaron columnas estratigráficas en torno al área, estableciéndose dos columnas de referencia. La primera columna de Julivert (1963), levantada sobre el río Tunjuelo (Formación Guadalupe y Formación Guaduas) y la segunda levantada por Sarmiento (1993) que define la Formación Guaduas en la sección tipo de Checua Lenguazaque.

Juliver (1963) establece una columna en el Río Tunjuelo con seis segmentos litológicos característicos de la formación Guaduas como se muestra en la Figura 3-23.

Sarmiento (1993) define la Formación Guaduas en la sección tipo de Checua Lenguazaque en donde se diferenciaron nueve segmentos que se resumen a continuación:

Segmento 1. En contacto neto con la formación Guadalupe se conforma en sus primeros 129 m por arcillolitas grises claras no laminadas a tenuamente laminadas con niveles de lodolitas, limolitas, limolitas arenosas y arenitas de grano fino con estratificación ondulosa.

Segmento 2. Este segmento entre 129 m y 219 m se caracteriza por presentar en la base y techo capas de areniscas de grano fino y secuencias de lodolitas y limolitas con niveles de carbón de unos 50 cm de espesor medio.

Segmento 3. Entre los 220 y los 250 m., se compone predominantemente de areniscas dando lugar a una franja escarpada semejante a la definida como arenisca La Guía. Las areniscas son cuarzosas y presentan intercalaciones locales de lodolitas

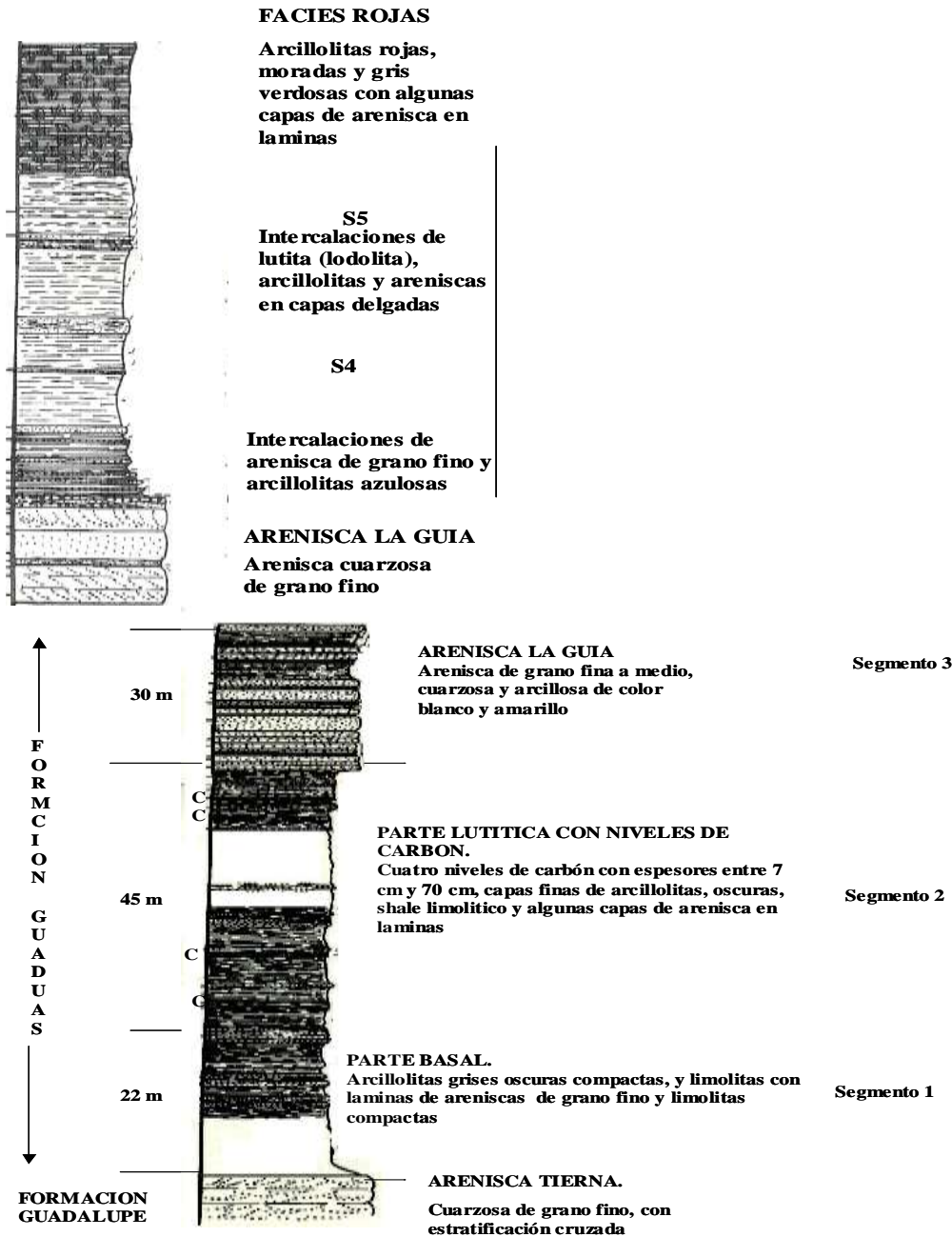


Figura 3-23 Columna estratigráfica de la Formación Guadalupe en el río Tunjuelo (Modificado de Juliver (1963))

Segmento 4. (250 m – 390 m). La característica más notable de este segmento es la gran cantidad de mantos de carbón y lodolitas con altos contenidos de materia orgánica.

Segmento 5. (390 m – 498 m). El límite inferior con el segmento anterior se determina por el cambio de color de las arcillolitas y lodolitas de color oscuro a lodolitas y arcillolitas de colores azul – rojizos. Este segmento se caracteriza generalmente por la presencia de fenómenos erosivos. Se intercalan algunos niveles carbonosos a arcillas carbonosas.

Segmento 6. (498 m – 626 m) Se caracteriza por ser el tercer segmento productor de carbón. En la base se presenta un conjunto arenoso de arenisca cuarzosa seguido de una secuencia de lodolitas muy carbonosas que disminuye el contenido de materia orgánica hacia el techo.

Segmento 7. (626 m – 856 m) Se compone de lodolitas y arcillolitas grises azulosas, algunos niveles delgados de arcillolitas carbonosas y delgados niveles de carbón no explotable.

Segmento 8. 856 m – 870 m). Es el segmento arenoso mas destacado de la parte superior del guaduas originando una fuerte expresión morfológica. La arenisca presenta tamaño de grano variables desde muy grueso hasta muy finas.

Segmento 9. (870 m – 1090 m). Conformar el techo de la Formación Guaduas en la zona. Se compone de arcillolitas en franjas de colores rojizos y azulosos intercalados con conjuntos de areniscas.

Un análisis comparativo entre estas dos columnas pone en evidencia la reducción del espesor de la Formación Guaduas de Norte a Sur con la práctica desaparición de los mantos de carbón. Esta reducción del espesor, se asocia principalmente al acuñamiento por tectónica.

De la cartografía litoestratigráfica semiregional realizada en 3D sobre la imagen Radarsat en anaglifo (Figura 3-24), se puede apreciar la presencia de unidades de la Formación Guadalupe de SW a NE de base a techo así Arenisca Dura (Kgad), Plaeners (Kgpl) y Arenisca Tierna (Ksgat), esta última plegada y fallada ocasionando repeticiones de sus estratos. La descripción litoestratigráfica formal de esta unidad se presenta en el Anexo B. La Arenisca Dura (Kgad) se compone principalmente de capas de arenisca cuarzosa de grano fino bien cementada y en capas gruesas. El Plaeners (Kgpl) se compone principalmente de lodolitas, limolitas y porcelanitas de composición cuarzosa y silícea con la característica de formar por partición fragmentos regulares de forma de panelitas romboédricas.

La Arenisca Tierna (Kdat), se compone de una arenisca de grano fino a medio, con estratificación masiva gruesa y cruzada y de composición cuarzosa y arcillosa.

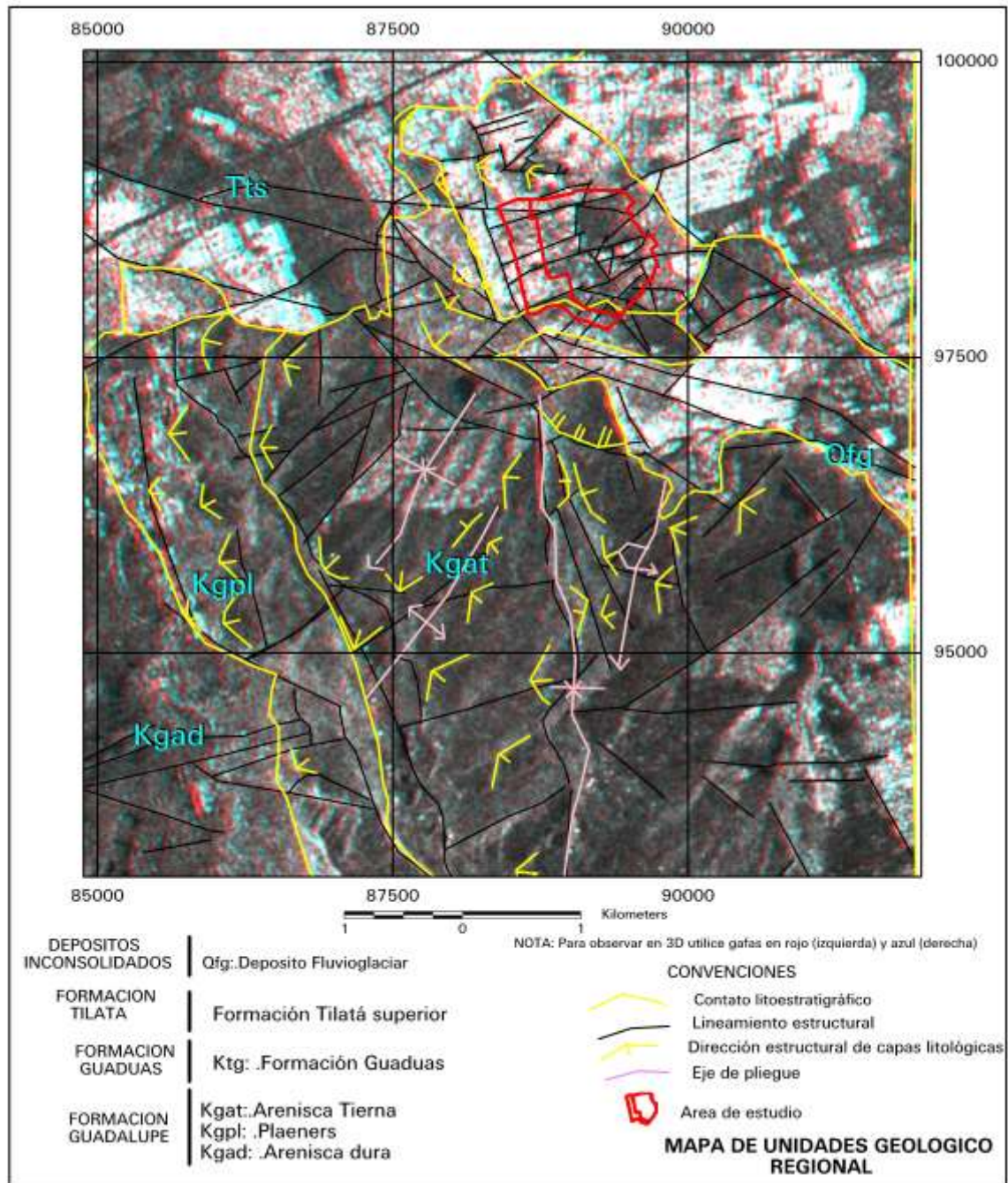


Figura 3-24 Unidades geológicas regionales

La formación Guaduas (Ktg) se restringe a la parte al Cerro de Altos de la Estancia con control tectónico al SW y al NE por un sistema de fallas en dirección N60W.

En el extremo NW y NE se presentan sedimentos de la Formación Tilatá Superior constituidos por un complejo de arcillas arenosas de color gris a verde, arcillas orgánicas, limos y arenas arcillosas con intercalaciones locales de turbas, lignito y algunas gravas (Van Der Hamen et al, 2004).

Depósitos inconsolidados de edad Cuaternario y de origen fluvio-glacial de importancia se presentan en un corredor de dirección SE en el costado sureste del área de estudio. La restricción de este depósito en el sector parece asociarse al relleno de paleorelieves estructurales y bajos.

3.9.1 Unidades estratigráficas del subsuelo en el área de Estudio

Las unidades litoestratigráficas del subsuelo en el área de estudio están representadas por la unidad superior de la Formación Guadalupe denominada Arenisca Tierna y cinco segmentos definidos para la formación Guaduas. Las unidades litoestratigráficas del subsuelo y fallas geológicas se presentan en el Mapa 3-1 y los perfiles en el Mapa 3-2. A continuación se presenta una descripción de estas unidades

Formación Guadalupe – Arenisca Tierna (Kgt): La Arenisca Tierna de la Formación Guadalupe aflora en el límite occidental y extremo sur del área de estudio. Se manifiesta morfológicamente por su morfología pronunciada formando escarpes.

Litológicamente se componen de areniscas cuarzosas y arcillosas de grano fino a medio, de dureza media a alta, poco a moderadamente meteorizadas formando superficies rugosas, masivas o con estratificación planoparalela y cruzada.

En el área el contacto con las rocas de la Formación Guaduas es normal y fallado, principalmente al sur con desplazamiento de rumbo de cerca de 20 m y verticalmente entre 10 y 20 m.

Formación Guaduas (Ktg): La Formación Guaduas en el área de estudio ha sido dividida en cinco segmentos de base a techo así:

Segmento 1. Es un segmento de carácter principalmente arcilloso compuesto por niveles de arcillolitas grises y negras, lodolitas y algunos niveles de areniscas de color amarillento de grano medio. Aflora en la parte central de la zona conocida como Carbonera. Esta unidad puede contener delgados niveles de carbón.

Segmento 2. Es un segmento de lodolitas con capas de areniscas el tope, que se las lodolitas son de color crema y amarillas seguidas por una secuencia de capas delgadas a laminares de areniscas con costras en niveles delgados, capas de areniscas en capas

gruesas y niveles de arcillolitas y limolitas de color gris claro y amarillo. Rocas de este segmento afloran principalmente en el sector de La Carbonera rodeando rocas del segmento 1. Ver Mapa 3-1.

Segmento 3. Es un segmento principalmente arenoso denominado como la Arenisca Guía, compuesto por capas de arenisca cuarzosa de grano fino a medio, en estratos gruesos a finos, estratificación masiva y localmente cruzada, de areniscas cuarzosas, grano fino, ligeramente arcillosas, finamente laminadas, ligera a moderadamente meteorizadas, de color amarillento con manchas marrones por alteración, ligeramente friables y fracturadas. El espesor de las capas varían entre 8 m y 15 m. Ver Figura 3-25

Segmento 4. Comprende un paquete de arcillolitas de color gris oscuro y amarillo, con algunas capas de areniscas y niveles delgados de carbón. Se presenta localmente en el sector de San Rafael en contacto fallado por la falla de Santa Rita.

Segmento 5. Constituye el tope de la Formación Guaduas en el área de estudio, se compone de areniscas, arcillolitas en franjas de colores rojizos y azulosos intercalados. Las areniscas son cuarzosas bien cementadas, de color gris, en capas de espesor medio 1,5 metros, duras fracturadas, meteorizadas a muy meteorizadas. Las limolitas de son de color gris amarillento.

3.9.2 Modelo geológico estructural

Teniendo en cuenta la distribución espacial de las unidades litoestratigráficas y sus relaciones verticales y laterales (Ver Mapa 3-1), se puede establecer que el subsuelo o basamento rocoso bajo los depósitos cuaternarios, presenta una configuración de bloques tectónicos geométricos limitados por fallas principalmente de tipo normal y algunas con componente lateral de rumbo.

De los estudios tectónicos regionales se puede establecer el origen tectónico o estructural del cerro de Altos de la Estancia, controlados por el sur por las fallas orientadas N60W pertenecientes al sistema de Terreros que representa una barrera estructural para el patrón estructural en sentido NE de pliegues y estratos rocosos y la falla de Mochuelo por el costado norte.

Entre estas dos anteriores fallas se definen dos principales bloques tectónicos pueden ser diferenciados localmente en el área de interés. El Bloque del sector del Espino y el Bloque del sector de La Carbonera, separados por la Falla Rosales.

El sector central de Carbonera corresponde a un bloque levantado que permite poner en superficie las rocas de la Formación Guaduas inferior con los denominados segmentos S1 y S2. El sector de El Espino comprende un bloque hundido que permite aflorar los sectores medios y superiores de la Formación Guaduas (sectores S3 a S5).

Lateralmente hacia el norte las unidades litoestratigráficas del Guaduas presentan un escalonamiento definido por fallas inversas locales que han contribuido a minimizar la dinámica de las laderas con los movimientos planares o translacionales.

Litología	Profundidad (m)	Espesor estratos (m)	Descripción
	0.55	0.55	Intercalaciones delgadas de arenisca y arcilloлита. Arenisca cuarzosa, gris clara, amarillenta, de grano medio a fino, en paquetes de 0.15m, 0.10m y 0.08m, suelta, bastante diacíasada con dirección preferencial 176°/78°. La arcilloлита es gris, verdosa, compacta, en láminas finas, planoparalelas, presentándose en paquetes de 0.05m, 0.04m y 0.02m.
	0.89	0.34	Arcilloлита gris, verdosa, amarillenta, compacta, en láminas planoparalelas bastante fracturadas.
	1.49	0.60	Arenisca cuarzosa, gris, amarillenta, con tintes rojizos, masiva, de grano medio, matriz arcillosa, afectada por diacíasamiento con dirección preferencial 133°/82° y 288°/80°.
	1.61	0.12	Arcilloлита gris, verdosa con tintes marrones y rojizos, maleable, en láminas planoparalelas bastante fracturadas.
	2.23	0.62	Arenisca cuarzosa, gris clara, rojiza, masiva, de grano medio, subangular a subredondeado, la roca se disgrega fácilmente.
	2.28	0.05	Arcilloлита gris, verdosa a rojiza, dispuesta en láminas planoparalelas.
	3.02	0.74	Arenisca cuarzosa, gris, amarillenta con tintes rojizos, masiva, de grano medio a fino, matriz arcillosa, suelta y bastante fracturada con planos principales 153°/66° y 283°/68°.
	3.16	0.14	Arcilloлита gris, verdosa y rojiza, dispuesta en láminas planoparalelas, fracturadas.
	3.35	0.19	Intercalaciones delgadas de Arenisca y Arcilloлита. Arenisca cuarzosa, gris clara a rojiza debido a oxidación, grano fino, compacta. La arcilloлита es gris, verdosa, dispuesta en paquetes hasta de 0.03m que alterna con la arenisca.
	4.19	0.84	Arenisca cuarzosa, gris clara a blancuzca, grano medio, subangular, con matriz arcillosa y se desmorona fácilmente al contacto con el martillo. Se encuentra bastante fracturada con plano principal 156°/64°.
	4.41	0.22	Intercalaciones delgadas de Arenisca y Arcilloлита. Arenisca cuarzosa, gris clara, grano fino, matriz arcillosa, fácilmente disgregable, dispuesta en capas de 0.06m a 0.02m, intercalada con arcilloлита, gris, verdosa en capas con espesores que fluctúan entre 0.05m y 0.01m.
	4.68	0.27	Arenisca cuarzosa, gris clara con tintes rojizos por oxidación, grano medio, subangular a subredondeado, matriz arcillosa, la roca se disgrega fácilmente y está bastante fracturada con plano principal 47°/88°.
	5.11	0.43	Arcilloлита gris, verdosa, con tintes rojizos por oxidación, dispuesta en láminas plano paralelas fracturadas.
	5.57	0.46	Arenisca cuarzosa, gris clara blancuzca, con tintes rojizos, masiva, grano medio, subangular a subredondeado, matriz arcillosa, la roca se disgrega fácilmente.
	6.08	0.51	Intercalaciones delgadas de Arenisca y Arcilloлита. La Arenisca es cuarzosa, color gris claro blancuzco, amarillenta, grano fino a medio, matriz arcillosa, con estratificación cruzada, suelta, dispuesta en paquetes de 0.04m y 0.05m. La Arcilloлита es gris, en láminas planoparalelas con espesores que fluctúan entre 0.05m y 0.01m.
	6.26	0.18	Arenisca cuarzosa, color gris claro blancuzco con tintes rojizos, masiva, grano medio a grueso, compacta.
	6.31	0.05	Arcilloлита gris clara, con tintes rojizos por oxidación, dispuesta en láminas planoparalelas.
	6.62	0.31	Intercalaciones delgadas de Arenisca y Arcilloлита. La Arenisca es cuarzosa, color gris claro blancuzco, tamaño de grano medio a grueso, suelta, dispuesta en paquetes de 0.04m a 0.05m. La Arcilloлита es de color gris, verdosa, con tintes rojizos, en láminas planoparalelas, fracturada.
	7.48	0.86	Arenisca cuarzosa, gris clara a blanca, con manchas marrones y rojizas por oxidación, masiva, grano medio, matriz arcillosa, se disgrega fácilmente. Presenta alto nivel de fracturamiento siendo las direcciones principales 150°/83° y 288°/77°.
	7.58	0.10	Arcilloлита gris rojiza, compacta, fracturada, se meteoriza en laminillas.
	8.85	1.27	Arenisca cuarzosa, color gris claro rojiza, presenta estratificación cruzada, disposición masiva, tamaño de grano medio pasando a ser fino hacia el tope, matriz arcillosa, de fácil disgregación. Hacia la base presenta una intercalación de 0.03m de Arcilloлита gris, dispuesta en láminas planoparalelas, observándose más compacta hacia la zona de baja meteorización.
	8.91	0.06	Arcilloлита gris, suelta, bastante meteorizada en forma de laminillas.
	10.74	1.83	Arenisca cuarzosa, gris clara a amarillenta, tamaño de grano medio, matriz arcillosa, presenta estratificación cruzada hacia el tope, fácilmente disgregable.
	11.19	0.46	Arcilloлита gris, en láminas planoparalelas, fracturada y suelta.
	13.19	2.00	Arenisca cuarzosa, gris clara a blancuzca con manchas marrones y rojizas por oxidación, masiva, grano medio, se disgrega fácilmente, intensamente fracturada, se observan planos estrados de fallamiento con dirección 178°/82°.
	13.40	0.21	Arcilloлита gris, con niveles marrones, meteorizada en laminillas fracturadas y sueltas.
	15.00	2.40	Arenisca cuarzosa, gris clara a blancuzca, grano medio pasando a ser fino hacia el tope, granos subangulares a redondeados, masiva, fácilmente disgregable, dispuesta en estratos entre 0.70m y 0.50m de espesor.
	21.20	5.40	Arenisca cuarzosa, gris clara, amarillenta hacia los niveles más externos debido a la oxidación, con variaciones de tamaño de grano medio a grueso, subangulares a subredondeados, masiva, con matriz arcillosa, baja compactación y con alto nivel de fracturamiento principalmente en las direcciones 164°/88° y 288°/84°. Se observan estrias de fallamiento con dirección 170°/70°.

Figura 3-25 Columna litoestratigráfica que caracteriza el sector S3 de la Formación Guaduas (Modificado de INGEOMINAS)

3.9.3 Unidades litológicas superficiales

Estas unidades litológicas definen los materiales de depósitos in consolidados y rocas que afloran en la superficie del terreno. Para ello se ha subdividido en cuatro grupos así: rellenos y depósitos antrópicos, depósitos de deslizamientos, depósitos inconsolidados y unidades de roca. El nombre de las unidades ha sido determinado por la litología predominante y la importancia del material.

3.9.3.1 Rellenos y depósitos antrópicos

En torno a y en la zona de interés la actividad antrópica en los últimos 20 años ha sido muy fuerte sobre el medio físico en la explotación de canteras y el vertimiento de escombros de construcciones y otros materiales como maderas y aserrín.

Los depósitos de materiales de antiguas explotaciones de canteras y/o como rellenos sobre algunas áreas se componen de fragmentos de areniscas y limolitas de tamaño grava y guijos (10 cm en promedio) en matriz limo arenosa poco compacta. Se evidencian principalmente en la parte alta del cerro con espesores variables e irregulares entre unos pocos centímetros (20) en el sector alto de la Carbonera a 1,5 metros en el sector alto de El Espino. Una fácil evidencia de reconocimiento de estos materiales es por su textura caótica y que reposan sobre suelos orgánicos Ver (Foto 3-1)



Foto 3-16 Depósitos de materiales de rellenos antrópicos de antiguas canteras. En la parte superior (A) residuos orgánicos y escombros, en B y C material de relleno, en D suelo orgánico.

3.9.3.2 Depósitos de escombros

En la parte baja del sector de San Rafael se presenta un depósito de materiales antrópicos conformados por aserrín y otro por materiales de construcción de ladrillos y fachadas de granito, mármol y ladrillos. Ver Foto 3-17 y Foto 3-18



Foto 3-17 Detalle Sobre la imagen Ikonos del 2004 de los depósitos de rellenos antrópicos. En A depósitos de aserrín y en B depósitos de escombros de materiales.



Foto 3-18 Detalle de los depósitos de escombros de aserrín rojo y materiales de construcción gris.

3.9.3.3 Depósitos de deslizamientos

A) Deslizamiento La Carbonera (Dzc)

Los materiales aquí descritos corresponden a zonas de rocas desplazadas o depósitos de rocas o suelos desplazados en su conjunto removidos en la masa. Ver Mapa 3-3. Las unidades fueron definidas por su importancia y predominancia sobre otros materiales que también pueden existir en la unidad. En este deslizamiento se diferenciaron las siguientes unidades superficiales.

Arcillolita (Dz_Ac)

Esta unidad se presenta en la parte alta de la zona de deslizamiento, en el cual el talud fue diseñado antrópicamente. Mas abajo, se presenta a nivel del piso del terreno con un ángulo de inclinación similar a la pendiente del talud o terraceo. Corresponde a arcillolitas ligeramente movidas de color gris claro y rojizo, blandas en capas laminares y ligeramente a meteorizadas, con capas de areniscas y lodolitas. Foto 3-19.



Foto 3-19 Detalle de arcillolitas grises y rojizas en la parte alta del deslizamiento la Carbonera. Nótese el cambio del drenaje superficial a partir del contacto superior con depósitos de relleno y suelos residuales.

Lodolitas y areniscas (Dzc_Ac+Ar)

Está unidad litológica superficial en un pequeño montículo en la parte centrooccidental del deslizamiento. Se compone de capas de limos y areniscas en capas delgadas, muy meteorizadas y fracturadas.

Suelo residual y deposito fluvioglacial (Dzc Dfg)

Bajo la corona del deslizamiento y el costado izquierdo del deslizamiento la masa deslizada se compone de suelos residuales orgánicos cubriendo depósitos fluvioglaciales conformados por bloques de areniscas en matriz arcillosa. Ver Foto 3-20.



Foto 3-20 Materiales fluvioglaciales en el deslizamiento de la carbonera

Areniscas (Dzc Ar)

Está unidad corresponde a un pequeño montículo de presión formado por areniscas de grano fino a medio con óxidos de hierro endureciendo las capas y dándole una coloración rojiza. Estas rocas (desplazadas), se presentan agrietadas (50 cm) y fracturadas en dirección perpendicular al movimiento del deslizamiento. Foto 3-21.



Foto 3-21 Detalle de areniscas muy agrietadas y fracturadas formando un montículo de presión.

Material heterogéneo (Dzc dz)

Corresponde al material removido por el deslizamiento compuesto por fragmentos de areniscas, y limolitas, restos y de materiales de construcciones (ladrillos, vigas, etc). En una matriz areno limosa no compacta de color gris claro. Foto 3-22.



Foto 3-22 Detalle de los depósitos del material deslizado por el movimiento de La Carbonera. Obsérvese la heterogeneidad de la misma.

B) Deslizamiento El Espino

En el deslizamiento El Espino los materiales involucrados son los siguientes:

Areniscas (Dze Ar)

Se presenta bajo la corona del deslizamiento y sigue hacia el costado oriental del movimiento. Se trata de bloques y capas de areniscas desplazadas en movimiento translacional, cubiertas por un suelo residual delgado (1metro). Ver Foto 3-23.



Foto 3-23 Detalle del depósitos de deslizamiento El Espino involucrando bloques y capas de areniscas desplazadas.

Suelos residuales y areniscas (Dze Sr+Ar)

Se presentan en la parte central del movimiento y se componen de suelos residuales y depósitos de rellenos antrópicos de espesores entre 2 y 8 metros sobre capas desplazadas o movidas de areniscas. Foto 3-24.



Foto 3-24 Detalle del material deslizado compuesto por suelos residuales y bloques de arenisca

Suelos residuales y lodolitas (Dze Sr+Ac)

Se presentan en el costado izquierdo del deslizamiento en su parte media-baja. Se compone de un depósito con una matriz con mayor predominio de material lodoso involucrando bloques de areniscas.



Foto 3-25 Detalle del depósito de deslizamiento Dze_Sr+Ac en donde existe un suelo residual superficial cubriendo un depósito con una matriz predominantemente de material arcilloso.

Material heterogéneo de deslizamiento (Dze dz)

Representa la masa removida por el movimiento, se compone de fragmentos de rocas predominantemente de areniscas y restos de construcciones. Se ubican principalmente hacia la pata del deslizamiento y en sus costados derecho e izquierdo. El espesor máximo de esta masa observado en la pata es de unos 35 metros. Ver Foto 3-26.



Foto 3-26 Detalle de la masa deslizada en el deslizamiento El Espino. Obsérvese el carácter arenoso de esta masa.

Deposito de deslizamiento antiguo (Dze dza)

Se localiza en la parte baja del deslizamiento formando una terraza plana en la parte superior y escarpada en sus límites. Este depósito se presenta compuesto por fragmentos de areniscas en una matriz limoarenosa ligeramente compacta. Este depósito está en gran parte enmascarado por las construcciones de viviendas.

3.9.3.4 Depósitos inconsolidados

En zonas, fuera del perímetro de los deslizamientos en donde predominan los materiales inconsolidados se definieron las siguientes unidades: suelo residual y areniscas meteorizadas, suelo residual y coluvión, depósito aluvial, suelo residual y depósito fluvio-glacial.

Suelo residual y areniscas meteorizadas (Sr+Arm)

Se presentan en la parte noroccidental del área de estudio, se componen de un suelo residual poco profundo (1 a 1,5 metros), cubriendo capas medias de areniscas cuarzosas con alguna intercalaciones de lodolitas. Ver Foto 3-27.



Foto 3-27 Detalle de areniscas meteorizadas en capas delgadas cubiertas por suelos residuales orgánicos.

Suelo residual y coluvión (Sr+Cv)

Los depósitos coluviales se presentan en gran parte del área de estudio a nivel local, sin embargo en la cartografía se destacó un depósito localizado en el extremo nororiental del área en el sitio conocido como Santa Viviana o Vista Hermosa. Se compone de fragmentos de areniscas cuarzosas de tamaño medio (20 –30 cm) en matriz limoarenosa de color gris clara. Foto 3-28



Foto 3-28 Depósito coluvial bajo suelo residual en el sector de Santa Viviana

Depósito aluvial (Dal)

Se presenta sobre los lechos de las quebradas Carbonera, Rosales y Santa Rita, formado depresiones poco profundas y estrechas. Estos depósitos se distinguen principalmente por su morfología y la presencia de pastos asociados a la humedad de sus zonas de inundación. Litológicamente se componen primordialmente de sedimentos tipo arena y limo con algunas gravas y guijos. Foto 3-29



Foto 3-29 Vista panorámica de depósito aluvial en el cauce de la quebrada Santa Rita. Obsérvese el contraste morfológico y la presencia de lagunas por obstrucción de su cauce.

Suelo residual y depósito fluvioglacial (D Fg)

Los depósitos fluvioglaciales se presentan bien expuestos en los taludes de la vía a Sierra Morena y en el área de estudio se restringen principalmente al sector de La Carbonera. Esta posición limitada a la Carbonera podría explicarse por el cubrimiento de un paleorelieve y finalizando en una barrera morfológica dejada probablemente por el salto de la falla de Rosales.

Estos depósitos desarrollan suelos orgánicos y residuales delgados evidenciando su antigüedad (Cuaternario holoceno). El espesor del depósito es variable en el área considerando un espesor máximo de unos 40 metros: En la perforación IGR-1, en el sitio de la Carbonera se registraron 10m, en los taludes de la vía a Sierra Morena espesores hasta de 20 metros y según los registros sísmicos en algunos sectores puede alcanzar los 40 metros de espesor, se componen de bloques de areniscas de bordes subangulares en una matriz arcillolimososa ligeramente plástica a plástica de color gris clara y amarilla moderadamente compacta. El espesor de estos depósitos determinado en la perforación. Ver Foto 3-30.



Foto 3-30 Detalle de depósitos fluvio-glaciales en la parte alta de La Carbonera. Obsérvese en la parte superior del mismo los suelos orgánicos y la presencia de bloques erráticos de areniscas en una matriz amarillenta en el depósito mismo.

3.9.3.5 Unidades de roca (R)

Como unidades de roca aflorantes en la zona de estudio se diferenciaron: Areniscas; areniscas meteorizadas y lodolitas; lodolitas con areniscas; brecha de falla, y arcillolitas.

Areniscas (R_Ar)

Comprende areniscas cuarzosas cementadas y arcillosas, de alta dureza, frescas a poco meteorizadas aflorantes en forma de escarpes en la parte alta de La Carbonera. Estas rocas corresponden a las areniscas de la Formación Guadalupe Arenisca Tierna.

Areniscas meteorizadas y lodolitas (R_Ar+Ac)

Comprenden afloramientos de areniscas meteorizadas con capas de lodolitas y arcillolitas. Las areniscas son cuarzosas y arcillosas de color crema y amarillo, en capas delgadas a medias. Ver Foto 3-31.



Foto 3-31 Afloramiento de areniscas meteorizadas con capas de arcillolita y lodolita , sector El Espino.

Lodolitas y areniscas (R Ac+Ar)

Corresponde a capas de lodolitas de color gris claro en capas delgadas con algunas intercalaciones de arenisca en capas medias. Se presentan bien expuestas sobre el escarpe del derecho de la quebrada Rosales, Foto 3-32.



Foto 3-32 Detalle de afloramiento de lodolitas con capas de arenisca en la margen Izquierda de la quebrada Rosales

Areniscas y lodolitas (R Ar+Ac)

Se presentan en el sector de El Espino, en inmediaciones de la Quebrada Rosales. Se trata de areniscas de color amarillo y crema en capas delgadas a medias con intercalaciones de lodolitas y arcillolitas grises. Ver Foto 3-33.



Foto 3-33 Afloramiento de areniscas en capas gruesas y medias con intercalaciones de lodolitas y arcillolitas grises en la margen izquierda de la Quebrada Rosales

Brecha de falla (R Bf)

Se presenta en el sector de Los Rosales asociada a la falla de Santa Rita. Es una brecha de falla con cohesión primaria, es decir con una matriz soldada embebiendo bloques de areniscas cizalladas y de forma angular. Ver Foto 3-6.

Arcillolitas (R. Ac)

Corresponden a arcillolitas grises y rojizas localizadas en el sector de El Espino e inmediaciones de San Rafael. Las arcillolitas se presentan de color negro y rojizo muy alteradas en forma masiva. Ver Foto 3-34.



Foto 3-34 Detalle de arcillolitas grises y amarillas en el sector de la zona de falla de Santa Rita, las capas a lado y lado del camino buzan o se inclinan contrariamente.

3.10 EVOLUCIÓN Y MODELO GEOLÓGICO

Dada la densidad de información geológica obtenida en este estudio que en cierta forma puede dificultar el entendimiento del modelo geológico por no expertos en el tema, en esta sección se presentará una descripción sencilla del modelo y la evolución geológica del Cerro denominado como Altos de la Estancia. Cabe aclarar que algunas de estas postulaciones son basadas en evidencias de campo y el uso de imágenes de satélite expuestas en este capítulo y otras simplemente, en estimaciones subjetivas.

Para iniciar esta evolución el primer punto a definir es si el Cerro Altos de la Estancia corresponde a un cerro residual con correspondencia geológica y estructural de la Cordillera Oriental a la entrada de la Sabana de Bogotá o es un cerro estructural con características geológicas y estructurales particulares. El análisis geológico y estructural regional y semiregional, demostraron que el Cerro Altos de la Estancia corresponde mas a un cerro de origen estructural que a procesos denudacionales. Esto se evidencia por el cambio brusco de la morfología, la estratigrafía y la estructura. Ver Figura 3-26 y Figura 3-27.

Morfológicamente la Cordillera Oriental antes de entrar a la Sabana de Bogotá, está formada por laderas abruptas que a medida que se acercan a la planicie descienden formando laderas mas suaves orientadas en una dirección NE. Esta morfología concuerda con la dirección de inclinación la estratificación de las capas litológicas al NW y SE con ángulos diversos. Estructuralmente forman pliegues sinclinales y anticlinales con ejes en dirección NE y flancos estrechos, constituyendo pliegues apretados. Estratigraficamente se presentan rocas de la Formación Guadalupe con sus unidades arenisca dura, plaeners y arenisca tierna.

Por el contrario el Cerro Altos de la Estancia muestra una morfología conformada por una geoforma de Cerro estructural, orientada en dirección EW, asea casi perpendicular a la dirección de las laderas que venían de la Cordillera Oriental. La estructura regional de pliegues en dirección NE se pierde y se presentan capas de rocas de las formaciones Guadalupe y Guaduas formando pendientes estructurales inclinadas hacia el NE. Estratigraficamente se constituye de rocas de la formación Guadalupe (Plaeners y Arenisca tierna) y de la formación Guaduas.

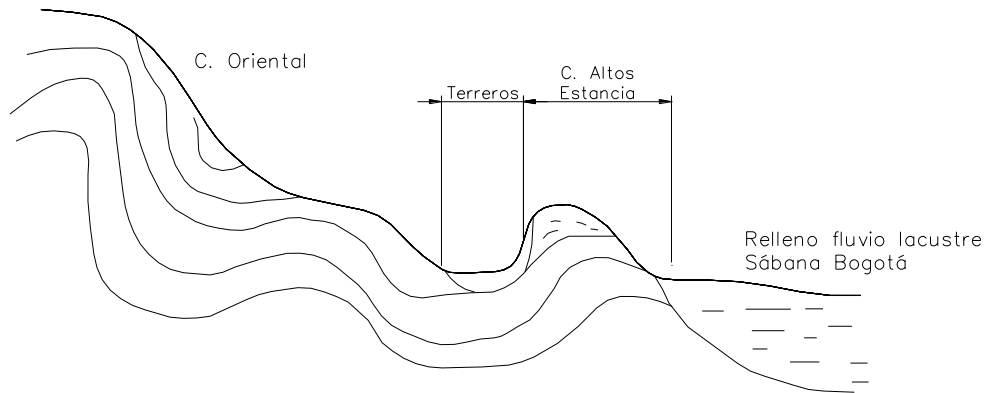


Figura 3-26 Esquema Modelo de Cerro Residual Conservando La Estructura Geológica De La Cordillera Oriental

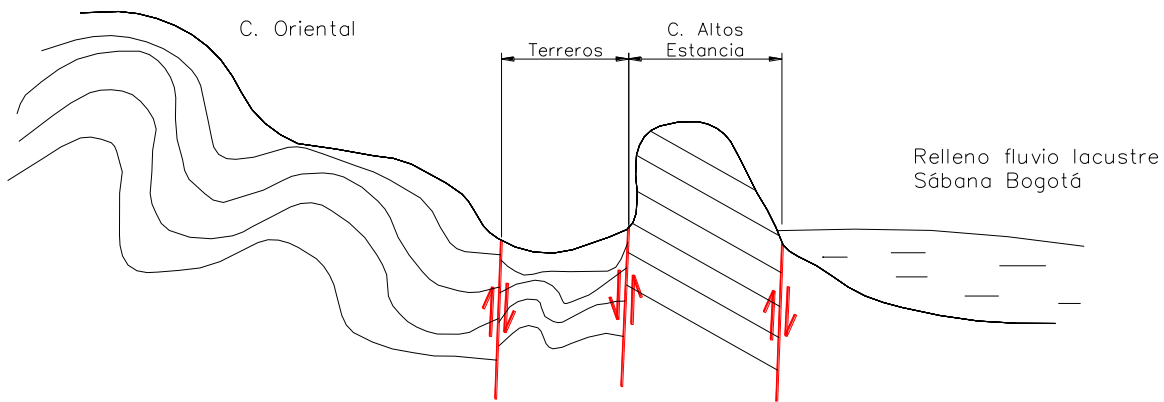


Figura 3-27 Esquema Modelo de cerro estructural limitado por fallas y con cambios estructurales y estratigráficos

La historia geológica del Cerro Altos de la Estancia podríamos iniciarla desde cuando se produce un fallamiento de dirección NW, asociado por el costado SW con el sistema de fallas de Terreros y por el NE con el sistema de Fallas de Mochuelo, estas fallas de dirección $N60^{\circ}-45^{\circ} W$ produce el levantamiento de un bloque que conforma el Cerro de interés. Ver Figura 3-28. Este fallamiento puede ser de edad Terciario medio a inferior.

Posteriormente, se produce un fallamiento (falla Rosales), del bloque levantado "Cerro Altos de la Estancia" originando dos bloques que dividen el cerro en dos sectores. Un bloque levantado que corresponde al sector de la Carbonera y un bloque hundido que corresponde al sector del Espino. Ver Figura 3-29. La acción de esta falla se evidencia bien en afloramientos de campo, en donde se registran dos movimientos tectónicos uno inicial de tipo normal con componente vertical y otro posterior lateral con componente de rumbo sinistral.

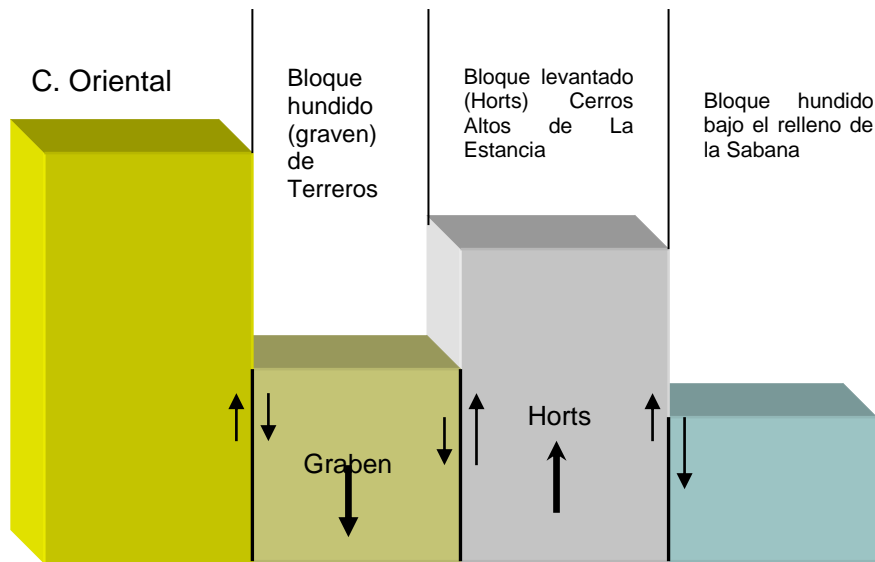


Figura 3-28 Esquema que muestra los movimientos tectónicos que dieron origen al Cerro estructural de Altos de la Estancia

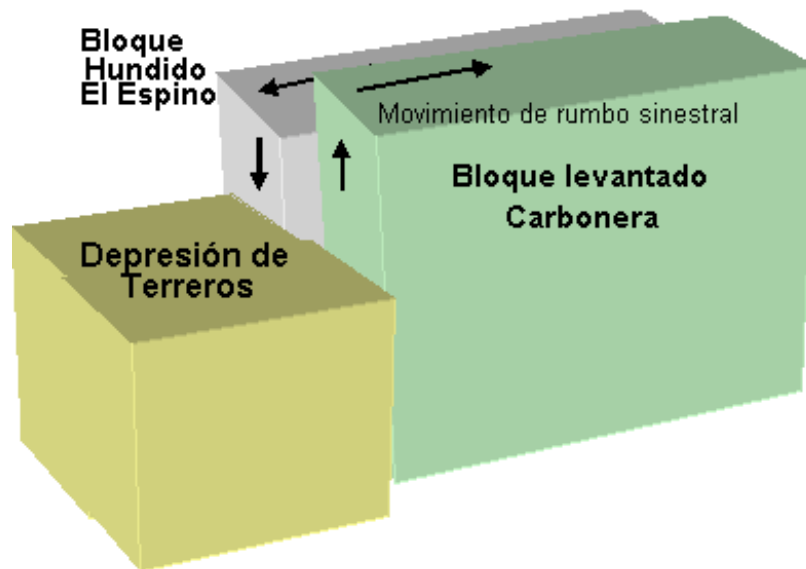


Figura 3-29 Esquema de bloques tectónicos que dividen el bloque levantado en dos bloques menores uno levantado (Carbonera) y otro hundido (El Espino)

Luego se estima que viene un proceso denudacional importante en el que la morfología se invierte por diferenciación litológica y resistencia de los materiales a la erosión. En el bloque hundido queda una expresión morfológica más prominente por la resistencia de las areniscas (La Guía) que en el bloque levantado (arcillositas de la formación Guaduas

Inferior). Simultáneamente cada bloque, es afectado por otras fallas con dos sistemas, uno paralelo y el otro perpendiculares a este primer sistema. Como sistemas paralelos en el bloque hundido aparece la falla de Santa Rita y en el bloque levantado la falla de Carbonera y como sistemas perpendiculares se presentan fallas normales que dislocan estos bloques, formando una especie de escalonamiento. Ver Figura 3-30.

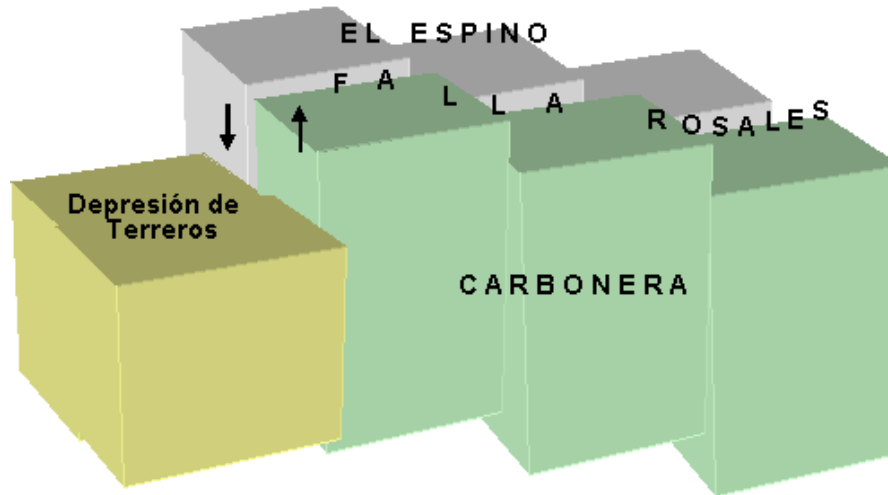


Figura 3-30 Esquema de callamiento perpendicular generando bloques en escalón

Por el asentamiento de los procesos denudacionales la morfología de capas resistentes en el bloque del Espino conserva su carácter estructural y la morfología en el bloque Carbonera por su baja resistencia ofrecida por las arcillolitas del Guaduas inferior se suaviza mas, dando una apariencia de formas denudacionales.

Ya en el Cuaternario los procesos denudacionales se acentúan mucho más con los periodos interglaciares acumulando depósitos glaciares que posteriormente fueron retrabajados por corrientes fluviales. Una probable explicación de la presencia de materiales fluvioglaciares mas asociados al sector de la Carbonera, se puede relacionar mas a la presencia de una barrera morfológica del paleorelieve dejado por la diferencia de resistencia de materiales entre las areniscas (Espino) y las arcillolitas (Carbonera) sobre el plano de falla Rosales, para llegar a una situación actual. Ver Figura 3-31.

Los movimientos en masa formados recientemente (La carbonera y El Espino) se originaron probablemente por la conjunción de factores naturales (litología, estratificación, pendiente, lluvia, etc.) y factores antrópicos (cortes inadecuados del terreno, deforestación, sobrecarga de taludes, urbanismo, infiltración de aguas negras y de lluvia, etc.), que seguramente en la zonificación de la amenaza serán esclarecidos con mayor detalle.

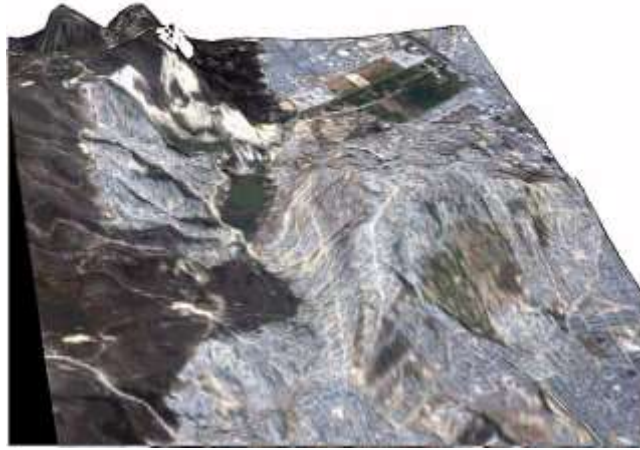


Figura 3-31 Vista actual del Cerro Altos de la estancia

3.11 CONCLUSIONES GEOLÓGICAS ESTRUCTURALES

Se puede estimar que en la zona del proyecto la información geológica de detalle a través de los estudios y exploraciones de superficie y del subsuelo, es bastante completa teniendo en cuenta la poca extensión de la zona de interés, sin embargo uno de los interrogantes principales para la realización de este estudio fue determinar si la dinámica de la zona obedecía únicamente a factores antrópicos relacionados con la minería o la ocupación inadecuada del suelo con fines urbanos o influencia regional por la composición litológica y la dinámica asociada a la tectónica y geología estructural.

Este estudio no solamente ha permitido la integración de un gran volumen de información geológica existente de estudios anteriores, sino la generación de nuevo conocimiento de la geología local, semiregional y regional, estableciendo un modelo geológico apoyado en el uso de tecnología de punta con imágenes de satélite de diferentes tipos óptico y radar con resoluciones espaciales para análisis regionales, semiregionales y locales, entre 30 y 1 metro, sondeos geofísicos de refracción y reflexión sísmica

A lo largo de este capítulo se han consignado múltiples evidencias del origen y la dinámica de bloques tectónicos en el área de interés y en particular sobre el cerro en el cual se ubica el proyecto denominado como Altos de la estancia.

En primer lugar se puede resaltar la independencia geológica-estructural determinada por este Cerro, respecto al sistema NE traído de la cordillera Oriental. En él se presenta una orientación general Este - Oeste y está separado al sur por la depresión tectónica asociada al sistema de fallas de Terreros y al norte por el sistema de Fallas de Mochuelo, ambos correspondientes a sistemas de dirección NW. Perpendicularmente a estos sistemas de fallas se presenta en la zona de estudio un sistema de fallas más reciente denominadas Santa Rita, Rosales y Carbonera y orientadas en dirección NE entre los 45

y 85 grados. Estas fallas presentan movimientos normales e inversos. Análisis de estrías de falla evidencian también pulsos de movimientos en sentido de rumbo sinestral (Rosales) y dextral (Carbonera).

Litoestratigráficamente en la zona de estudio se presentan dos unidades de roca de tipo sedimentario clástico conformando las Formaciones Guadalupe de edad Cretáceo superior con su unidad Arenisca Tierna y la Formación Guaduas de edad Cretáceo – Terciario y de composición predominantemente arcillosa y en menor proporción arenosa.

El estudio y análisis litoestratigráfico del subsuelo permite establecer que a partir del trazo de la falla de Los Rosales ubicada en la parte central se presentan en el área de interés, dos bloques tectónicos, uno hundido que corresponden a la zona de El Espino permitiendo aflorar una secuencia predominantemente arenosa de la parte media de la Formación Guaduas (Segmentos 3, 4 y 5) y otro bloque levantado que corresponde a la zona de la Carbonera y en donde subyacen bajo los depósitos cuaternarios una secuencia predominantemente arcillosas de la Formación Guaduas (segmentos 1 y 2).

Otros sistemas de fallas menores y posteriores a este último, se presentan en dirección NW como las fallas denominadas El Espino, Sierra Morena y el Morro, los cuales forman bloques menores.

Otra característica estructural importante del área es la dirección de la estratificación de las rocas en el mismo sentido y similar ángulo de la pendiente topográfica (15-25°) y la presencia de fracturas y fallas menores normales y perpendiculares a la dirección de los estratos formando geoestructuras en forma escalonada.

En cuanto a la caracterización de las formaciones litológicas superficiales se puede resaltar la presencia de una espesa secuencia de materiales inconsolidados, particularmente en la zona de la Carbonera, con la presencia de depósitos de residuos de exploraciones (1m de espesor), depósitos fluvio-glaciares con espesores máximos de 40 metros y en menor proporción suelos residuales y depósitos coluviales y aluviales. En el sector o zona de El Espino los materiales inconsolidados se relacionan principalmente a suelos residuales y localmente a algunos coluviones y depósitos aluviales.

En conclusión el componente geológico estructural influye en gran proporción en la inestabilidad del área, particularmente por la presencia de fallas que producto del movimiento relativo a través de sus planos de fallas han producido una zona de bloques tectónicos con movimientos diferenciales y efectos sobre las rocas afectadas de composición arcillosa y arenosa, ocasionando una moderada a alta meteorización fracturadas a cizalladas y con direcciones de estratificación paralelas a la pendiente. Por otra parte la presencia de diferentes tipos de materiales depósitos inconsolidados, particularmente en la zona de la Carbonera evidencia una alta dinámica de estas laderas durante el Cuaternario.

Mapa 3-1 Unidades litoestratigráficas del subsuelo

Mapa 3-2 Secciones geológicas

Mapa 3-3 Formaciones litológicas superficiales

