

## ***INTRODUCCIÓN***

En los últimos años el tema de la amenaza geológica o peligrosidad por eventos naturales ha tenido un gran auge a nivel mundial, y ha sido discutido por muchos profesionales de las ciencias de la Tierra entre ellos geólogos, geotecnistas, geógrafos, meteorólogos, geofísicos y vulcanólogos, así como también por personas del ámbito político debido al gran número de personas que mueren cada año en eventos catastróficos y a su repercusión en el desarrollo sostenible de las naciones.

Recientemente se llevó a cabo en la ciudad de Caracas el taller internacional sobre metodologías para la evaluación de amenazas por movimientos en masa, con la participación de Argentina, Bolivia, Chile, Ecuador, Perú, Colombia y Venezuela, contando con el apoyo del Servicio Geológico de Canadá. En éste, se expusieron diversas metodologías para la zonificación de la amenaza geológica, que en la mayoría de los casos, consisten en modelos empíricos en constante revisión y adaptación a las necesidades particulares de cada país. Esto pone de manifiesto la necesidad de proseguir las investigaciones para estandarizar una metodología adecuada en la evaluación de la amenaza geológica, ya que son muchas las variables que intervienen en el estudio y hay mucho que discutir.

En este trabajo presentamos una metodología semi-empírica para evaluar el grado de amenaza geológica por procesos de remoción en masa, en una zona del litoral central venezolano. Se realizó el diagnóstico del comportamiento geotécnico de las laderas a través del análisis cinemático y la evaluación de los siguientes parámetros físicos: orientación natural de las laderas, orientación de las estructuras, litología, pendiente del terreno, meteorización, fracturamiento y procesos geodinámicos.

## Ubicación del Área de Estudio

El área de estudio se encuentra en el flanco norte del macizo del Ávila, Estado Vargas entre las coordenadas U.T.M. N (1166500 – 1176000), E (740000 – 749000). Está limitada al norte por la línea de costa, al sur por la Fila Maestra, al oeste por la cuenca de la Quebrada Tanaguarena y al este por la cuenca del Río Naiguatá, cubre una extensión aproximada de 50 km<sup>2</sup> (Ver fig.1).

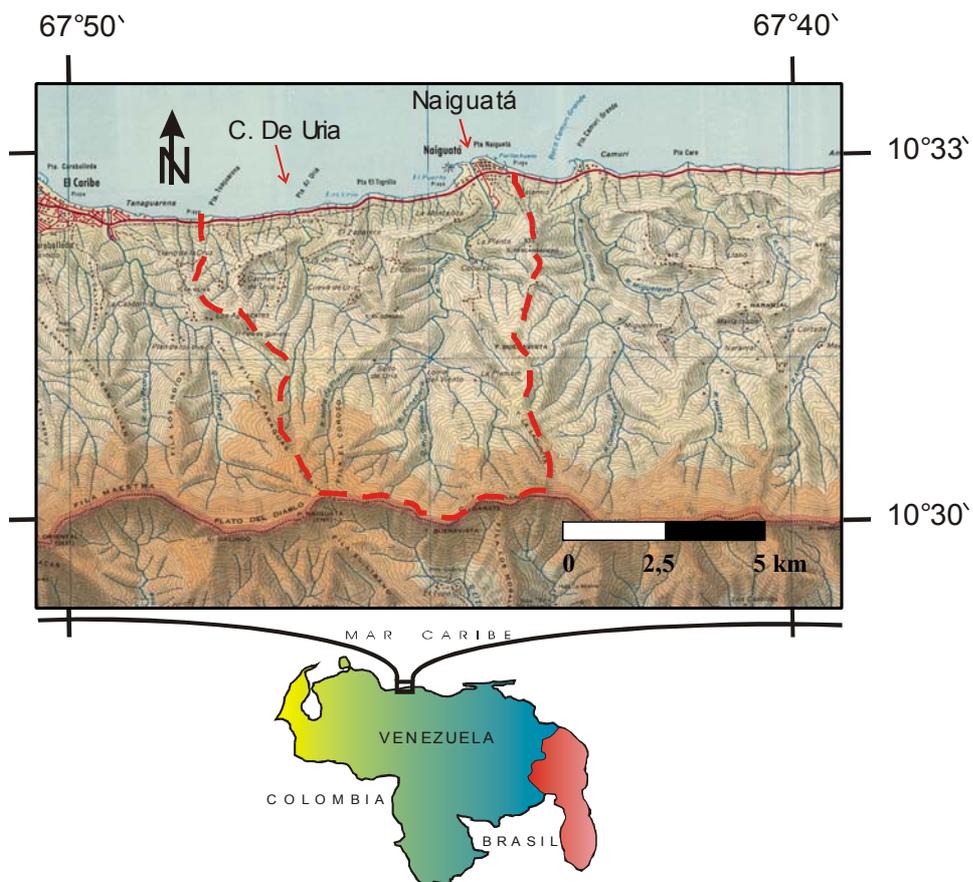


Fig. 1 Ubicación del área de estudio.

## Vías de acceso

El principal acceso es la carretera que une la población de Caraballeda con Los Caracas, seguida por las vías de acceso hacia la parte sur de las poblaciones de Tanaguarena, Carmen de Uria, Punta Tigrillo y Naiguatá. También se utilizaron como acceso los cauces de ríos y quebradas, así como picas que comunican con la parte alta de las diferentes cuencas en estudio.

## CAPÍTULO I

### ***EL PROBLEMA***

La región del Litoral Central venezolano presenta características geodinámicas típicas de zonas planas adyacentes a cordilleras de gran altura. En éstas se suscitan de manera recurrente procesos de remoción en masa que constituyen una amenaza constante para las poblaciones costeras del Estado Vargas. Sin embargo, son escasos los trabajos de cartografía de amenaza geológica que se han llevado a cabo en la zona, lo cual hace difícil la toma de decisiones en casos de inundaciones y flujos torrenciales por parte de los organismos competentes. Además, sin los estudios de estabilidad de las cuencas, es probable que las obras de protección y control que se lleven a cabo no cumplan con el objetivo para el cual fueron diseñadas, al subestimar el potencial de las cuencas al transporte de sedimento y rocas.

### **Justificación**

El diagnóstico geotécnico de las cuencas hidrográficas que se presenta, es necesario para ubicar las zonas de mayor inestabilidad, aportando información necesaria para la construcción del mapa de riesgo geológico, el cual permitirá a las instituciones encargadas de la protección civil realizar planes de contingencia y alerta temprana en casos de lluvias prolongadas que pudieran generar deslizamientos y flujos torrenciales. Además, se puede tener una buena idea en la recomendación técnica para el desarrollo de obras de protección y control de carácter público, a fin de resguardar el patrimonio urbanístico, sin embargo, son necesarios estudios detallados para garantizar un adecuado margen de seguridad de dichas obras.

### **Objetivo General**

Realizar la cartografía de amenaza geológica por procesos de remoción en masa a escala 1:10.000 de la zona entre las cuencas de la Quebrada Tanaguarena y el Río Naguayatá.

## **Objetivos Específicos**

### **Actividades Previas al Trabajo de Campo**

- (a) Recopilación y revisión bibliográfica de la información geológica y geotécnica.
- (b) Análisis e interpretación de fotografías aéreas, mapas topográficos y geológicos.
- (c) Preparación y calibración del equipo de campo.
- (d) Selección de las vías de acceso.

### **Trabajo de Campo**

- (a) Ubicación de las estaciones en el mapa de campo.
- (b) Levantamiento geológico geotécnico.
- (c) Toma de mediciones estructurales.
- (d) Descripción de unidades litodémicas aflorantes.
- (e) Determinación de los contactos entre unidades litodémicas.
- (f) Ubicación y delimitación de los procesos de remoción en masa.
- (g) Toma de muestras de rocas.
- (h) Toma de fotografías.
- (i) Cartografía geológica preliminar.

### **Trabajo de Laboratorio**

- (a) Elaboración del mapa clinométrico.
- (b) Análisis petrográfico y elaboración del mapa geológico.
- (c) Elaboración del mapa de orientación de laderas.
- (d) Elaboración del mapa geomorfológico.
- (e) Ponderación de los parámetros físicos y asignación de índices numéricos.
- (f) Análisis cinemático con el uso de proyecciones hemisféricas.
- (g) Elaboración del mapa de estabilidad de las laderas.
- (h) Delimitación de las zonas de amenaza geológica por procesos de remoción en masa en laderas y áreas planas.

## CAPÍTULO II

### *MÉTODOS*

#### ANTECEDENTES

Los trabajos de cartografía regional de amenaza geológica por procesos de remoción en masa, en el Macizo del Ávila son relativamente nuevos. Los trabajos llevados a cabo anteriormente, no han sido muy difundidos ni tomados en cuenta en la planificación urbana. Cabe destacar la labor llevada a cabo por tesisistas del Instituto Nacional de Geología y Minería (INGEOMIN) a través de la Gerencia de Investigaciones Geológicas y Recursos Minerales, en el marco del Proyecto Ávila para la zonificación de estabilidad de las laderas.

Entre los trabajos relacionados con la cartografía de amenaza geológica se encuentran los siguientes:

Singer, A, Rojas, C. & Lugo, M. (1983). En el inventario nacional de riesgos geológicos, reportaron arrastres torrenciales y derrumbes en la zona de Caraballeda en los años 1951 y 1978; Carmen de Uria 1973 y Río San Julián 1967. Realizan un mapa de la distribución nacional de procesos de remoción en masa.

Feliziani, P. (1985). Aplicó un modelo de predicción del comportamiento geotécnico en varios sectores del Área Metropolitana de Caracas. El modelo pondera los parámetros físicos que intervienen en el análisis de estabilidad y los expresa en forma numérica para llegar a un diagnóstico geotécnico en porcentajes de estabilidad.

García, R. (1999). Aplicó un modelo empleado en Suiza para elaborar mapas de amenaza por inundaciones de agua, lodo y detritos, en las principales cuencas hidrográficas del Estado Vargas. El modelo se basa en el software FLO-2D.

Rosso, O. (2001). Realizó un estudio de la dinámica geomorfológica del Litoral Central entre Maiquetía y Punta Care, para el Proyecto Ávila vertiente norte. Elaboró un mapa a escala 1:10.000 de la dinámica geomorfológica hasta la cuenca media.

Perdomo, E. 2002, junto con un equipo multidisciplinario de las ciencias de la tierra de INGEOMIN , elaboró el “Mapa de Amenaza Geológica para la Vertiente Sur del Macizo del Ávila” dentro del Proyecto Ávila; efectúan un análisis de estabilidad de las cuencas hidrográficas.

Peña, L. (2003). Realizó la cartografía de amenaza geológica a escala 1:10.000 en una zona del Litoral Central entre Maiquetía y la cuenca del Río San Julián.

## MÉTODO PARA LA CARTOGRAFÍA DE AMENAZA GEOLÓGICA

Se utilizó como base el modelo propuesto por Feliziani (1985), para la predicción del comportamiento geotécnico de los terrenos, el cual fue aplicado en varios sectores del Área Metropolitana de Caracas. Esta metodología fue experimentada por el Departamento Geotécnica del Ministerio de Energía y Minas, proporcionando excelentes resultados y grandes expectativas en el campo de la cartografía automatizada. El modelo utiliza la superposición de capas de información o mapas temáticos y está basado en el análisis de experiencias precedentes. La calibración del mismo se hizo a través de múltiples observaciones y mediciones (Ver fig 2).

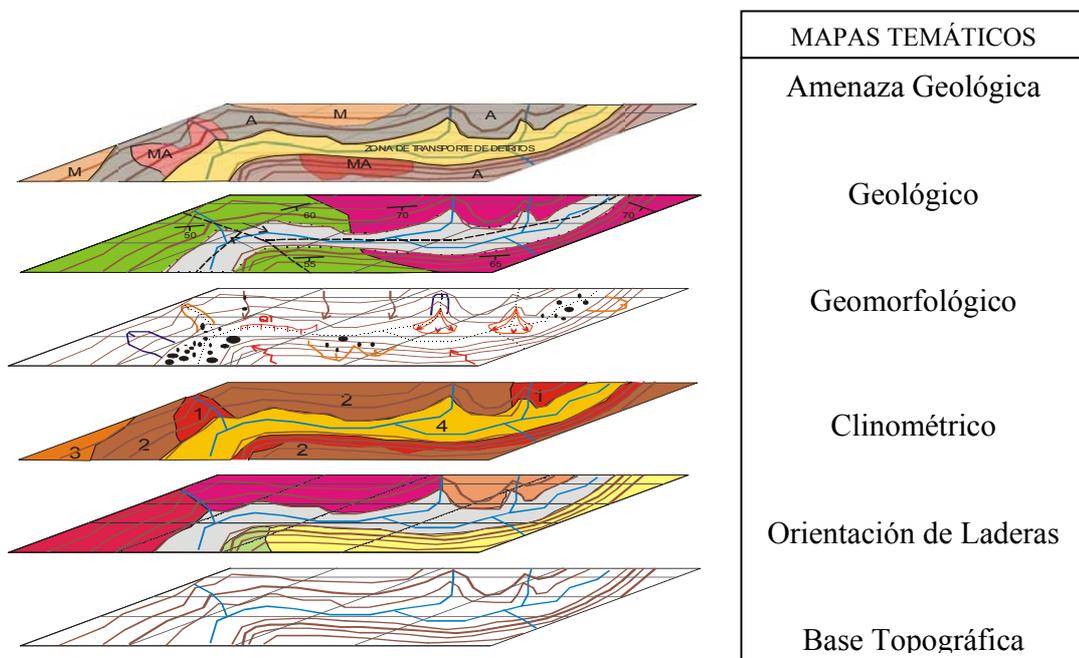


Fig. 2 Superposición de los mapas temáticos para la construcción del mapa de amenaza geológica por remoción en masa.

Los parámetros físicos que intervienen en el análisis son: litología (Peso=20%), fracturamiento y meteorización (Peso=20%), clinometría (Peso=20%), geomorfología (Peso=15%), análisis cinemático (Peso=25%). Éstos parámetros son ponderados y expresados en forma numérica para llegar a un diagnóstico geotécnico en porcentajes

de estabilidad, de manera que la estabilidad queda representada por un valor porcentual en donde el 100% corresponde al máximo de estabilidad y el 0% al mínimo, o sea, la inestabilidad total, pasando progresivamente por valores intermedios. Los sectores de amenaza quedan delimitados en función de la estabilidad. Un sector muy inestable presenta una alta amenaza a procesos de remoción, mientras que en un sector estable presenta menor amenaza.

Para la obtención de los valores porcentuales parciales se utilizaron índices comprendidos entre 0 y 1 que corresponde al mínimo y máximo con respecto a la calidad geotécnica de la variable analizada. Cabe destacar que la manera en que se delimitan de los sectores de amenaza difiere al modelo de Feliziani, en que la sumatoria de los valores ponderados parciales se realiza por cada polígono en los que cualquier parámetro cambia de rango y en ningún caso se promedian los valores por ladera. Las variables geotécnicas usadas y los índices se muestran en los respectivos capítulos referentes a la cartografía temática.

Los índices y la ponderación de los parámetros físicos fue consultada y discutida con un equipo multidisciplinario del Instituto Nacional de Geología y Minería (INGEOMIN). En esta metodología la valoración es de suma importancia ya que es el punto de partida de las futuras predicciones del comportamiento geotécnico de los terrenos, y debe ser revisada y calibrada a cada región en particular.

La sectorización de la amenaza en las áreas planas y semi-planas de abanicos aluviales y fondos de valle, se apoyó en el mapa geomorfológico, ya que la metodología usada es aplicable sólo en ladera y/o taludes. La zonificación en el abanico aluvial donde se asienta la población de Naiguatá, se adaptó del mapa síntesis de la peligrosidad geomorfológica y de la capacidad del territorio al uso urbano en el Río Naiguatá, a escala 1:5000, realizado por la Dirección de Prevención de Italia con apoyo del Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales de Venezuela

MARN; previo permiso de la División de Riesgos del Instituto Geográfico Simón Bolívar que es el ente encargado de publicar dicho mapa.

Dependiendo de la escala de trabajo se pueden incluir otras variables en el estudio, como por ejemplo, la vegetación el clima y la sismicidad, haciendo de esta manera más objetivos los resultados. Sin embargo, al aumentar las variables se hace más complejo el manejo de la información e interpretación final.

Es importante destacar, que con esta metodología es posible comparar todos los terrenos entre sí, ya que cada uno está identificado y clasificado mediante un valor porcentual de estabilidad. Sin embargo no existe una escala de valores que pueda proporcionar una buena definición de los terrenos situados bajo una misma calificación y representado con una misma simbología, por lo tanto en cada caso se debe consultar los mapas temáticos para comprobar cuales son los parámetros negativos o positivos que definen el diagnóstico.

### **Limitaciones**

El método utilizado emplea índices numéricos y pesos a los parámetros geotécnicos antes mencionados, asignándole un valor ponderado a las variables. Sin embargo, no deja de ser de naturaleza empírica ya que dichos valores son asignados de acuerdo a la experiencia y pericia del investigador.

Debido al carácter regional del estudio y la gran cantidad de laderas a evaluar (54), se estimaron los valores de fricción interna de las diferentes unidades litológicas. Al no contar con los valores reales puede haber sobrestimación o subestimación del ángulo de fricción interna, lo que puede generar algunas discrepancias en los resultados.

Otra limitante que afecta la objetividad de los resultados, la constituye el relieve abrupto del terreno, el cual obligó a realizar las mediciones estructurales a lo largo de los ríos y quebradas, y no en toda la ladera.

Aunque se obtuvieron algunos datos del perfil de meteorización de las diferentes unidades litológicas, no fueron suficientes como para construir un mapa temático referente al espesor de los suelos residuales. Por este motivo, la metodología se aplica con mejores resultados en laderas constituidas por roca o con suelos residuales poco espesos.

CAPÍTULO III  
**GEOGRAFÍA FÍSICA**

**RELIEVE**

En el área se observaron tres unidades del relieve: unidad de montañas (U1), unidad de colinas (U2) y unidad de valles y conos aluviales (U3) (Ver fig. 3).

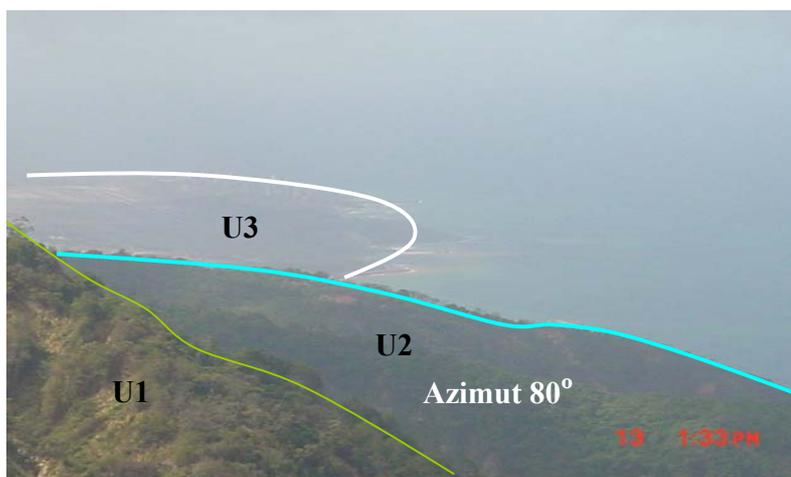


Fig.3 División de las Unidades del Relieve.

**(a) Unidad de Montaña U1:** Se ubica al norte, en una franja paralela a la línea de costa. Abarca un 70% del área total y se caracteriza por presentar montañas de gran altura, pendientes fuertes y estribos que declinan hacia el norte, separados por valles intramontanos estrechos. Las mayores elevaciones se disponen sobre la Fila Maestra, en dirección E – W. Destacan el Pico Naiguatá 2765 m.s.n.m., La Silla de Caracas 2640 m.s.n.m., Pico Oriental 2639 m.s.n.m., Pico Occidental 2476 m.s.n.m., y el Topo Las Llaves 2550 m.s.n.m. Los estribos se desarrollan transversalmente a la fila; entre ellos se encuentran los estribos El Corozo y Piedra Moler.

**(b) Unidad de Colinas U2:** Se ubica al norte, ocupa el 20% del área total y se caracteriza por presentar colinas menos empinadas, poca vegetación y estribos de aspecto rasgado o esquelético, debido a la alta erosión del esquisto de Tacagua. Un

ejemplo palpable es el que se observa a la entrada de Carmen de Uria y otras zonas cercanas a la línea de costa.

**(c) Unidad de Valle y Abanicos Aluviales U3:** Se conforma por los depósitos recientes de material Coluvio – aluvial y conos de deyección, abarca un 10% del área de estudio. En estas zonas relativamente planas es donde se desarrollan los principales centros poblados: Naiguatá, Carmen de Uria, Tanaguarena, El Tigrillo.

### DRENAJE

El drenaje principal se desarrolla subparalelo con dirección preferencial norte-sur. Los drenajes secundarios se disponen en forma dendrítica. En la cuenca alta el drenaje se va encajonando gradualmente. Se observan fuertes desniveles en forma de escalera, caídas de agua de gran altura y es frecuente la acumulación forzada de bloques (Ver fig. 5). El río Naiguatá presenta un patrón meandriforme en su cuenca baja. Hacia la costa los ríos principales se ensanchan a causa de la atenuación de la pendiente creando de esta manera depósitos sedimentarios en abanicos aluviales (Ver fig. 4). Los ríos Naiguatá y Carmen de Uria tienen agua todo el año debido a la extensión de sus cuencas de captación 33 y 14 Km<sup>2</sup> respectivamente, mientras que las quebradas Tanaguarena y El Tigrillo tienen agua en períodos lluviosos ya que presentan cuencas relativamente pequeñas de aproximadamente 3 Km<sup>2</sup>.



Fig.4 Cauce amplio en la cuenca baja del Río Naiguatá



Fig.5 Cauce obstruido por bloques en la cuenca alta del Río Naiguatá

## CLIMA

Las características climáticas son propias de zonas costeras de la fachada caribeña venezolana, con un clima tropical estepario semi – árido e influenciado durante todo el año por vientos Alisios del noreste. La temperatura media anual es 26,0° C, la precipitación media anual es 600 mm con 300 mm en sequía (diciembre – abril) y 700 mm en meses de lluvia (mayo – noviembre).

## VEGETACIÓN

Los principales tipos de vegetación que se observan en el área de estudio son:

**Vegetación xerófila** (hasta 400 m.s.n.m.): Especies de zonas secas como matorrales, y plantas espinosas.

**Vegetación de estación seca:** Arbustos y árboles de madera dura como la mara, pardillo, etc.

**Bosque nublado** (1.100 a 2.100 m.s.n.m): Especies típicas de zonas húmedas como helechos de varias especies, el araque, orquídeas, bromelias, etc.

CAPÍTULO IV  
***GEOLOGÍA REGIONAL***

**ANTECEDENTES**

Sin duda alguna el naturalista Alejandro de Humboldt, promotor de las exploraciones científicas en Venezuela, fue uno de los primeros en reseñar y describir el Macizo del Ávila en el año 1800. En esa oportunidad reportó gneises de aspecto granítico en la Silla de Caracas y cantos rodados en las quebradas Chacaito y Tócome. Incluso antes de esta fecha, Humboldt en su obra “Viaje a las regiones equinocciales” narra sucesos de 1797 donde describe la crecida de la quebrada la guaira conocida hoy como río Osorio, que alcanzó una altura de 4 a 5 metros dejando un saldo de 30 personas muertas, casas destruidas y pérdidas por el orden del medio millón de pesos.

Transcurridos los años, en la década de los 30, Aguerrevere y Zuloaga (1937) dan origen a la primera clasificación litológica de la Cordillera de la Costa, definiendo al Augengneis de Peña de Mora como la litología más representativa de la Cordillera, variando localmente su aspecto a gneis y le asignan un protolito sedimentario. Clasifican al Macizo del Ávila como un bloque epirogénico activo y mencionan peneplanaciones en el tope de la Fila Maestra. Además, reportan intrusiones ácidas y básicas como la que se encuentra en el Pico Naiguatá y las del Tigrillo, cerca de la población de Naiguatá.

En 1947, se inicia la cartografía geológica sistemática de la Cordillera por medio de estudiantes de doctorado de la Universidad de Princeton, como parte de un programa de cooperación con el Servicio Geológico Minero, adscrito al Ministerio de Fomento (luego Dirección de Geología y Dirección de Minas de Ministerio de

Minas e Hidrocarburos). El primero que se efectuó sobre la zona, y que generó un mapa a escala 1:50.000, fue el trabajo de Gabriel Dengo (1950) cubriendo el área de Caracas y parte del hoy estado Vargas, desde Mamo hasta Uria. Dengo nombra al Augengneis de Peña de Mora como un para-gneis con metamorfismo en la facies de la anfibolita y lo correlaciona con la Formación Las Brisas por la presencia de esquistos granatíferos y serpentinitas en su parte superior, considerando la foliación de las unidades descritas paralela a la estratificación original.

Entre los años 1968 y 1969, el MMH emprende la cartografía geológica de la misma zona extendiéndose hacia áreas no cubiertas, para lo cual encargan a Miguel Wehrmann para completar e integrar un mapa geológico a escala 1:100.000 de la área comprendida entre la Colonia Tovar y Guatire, por ello cubre casi todo el estado Vargas desde Puerto Cruz hasta Osma Wehrmann (1972).

Wehrmann divide a Peña de Mora en una parte inferior constituida por de gneises y augengneis cuarzo feldespáticos muscovíticos y una superior con esquistos y algunos gneises igualmente compuestos, además de algunos mármoles; todos estos tipos litológicos tienen un metamorfismo dentro de la facies de los esquistos verdes, en las subfacies cuarzo-albita-epidoto-almandino (parte alta) y cuarzo-albita epidoto-biotita (parte baja). Reporta fallas oblicuas N(50-80)°E con buzamiento 50° N normales; fallas longitudinales E-W y fallas transversales N60°W de rasgadura con movimientos verticales, que originalmente fueron fracturas de tensión engendradas por esfuerzos cortantes y luego sufrieron desplazamiento lateral de hasta 4 km y que han hecho aflorar a Sebastopol.

En esa misma década el geomorfólogo A. Singer (1997b) estudia la evolución geomorfológica de la parte central de la Cordillera y menciona aplanamientos neógenos, haciendo referencia a las cumbres achatadas en la Fila Maestra anteriormente reportadas por Aguerrevere y Zuloaga (1937) y concluye que

corresponden a elementos tectónicamente desnivelados de la Meseta de los Teques por la falla del Ávila. Sin embargo dice que “es difícil la correlación de los niveles del aplanamiento debido a la intensa deformación de la cadena litoral hasta el Cuaternario Superior, como consecuencia juegos de bloques transcurrentes y verticales ocurridos a raíz de la interferencia reciente y hasta actual de fracturas NNO-SSE, con el sistema de fallas E-O, Ávila y Macuto”.

Ostos (1981) trabajó en la zona de la autopista Caracas-La Guaira, reportando fallas longitudinales E-W que cortan fallas transversales N-S y oblicuas N(40-70)°W, observa por lo mínimo dos períodos de plegamiento. En cuanto al metamorfismo plantea que existen evidencias de transformaciones retrógadas, apareciendo clorita como producto de la alteración del granate y de la biotita. Propone la ocurrencia de dos períodos metamórficos, el primero en la facies de los esquistos azules y el segundo en la facies de los esquistos verdes.

Seis años más tarde, Ostos (1987a), realizó estudios estructurales dentro de la Formación Peña de Mora y revisó las texturas miloníticas asociadas las zonas de cizallas. Observa que el bandeamiento es más delgado hacia la zona de cizalla y propone que el transporte tectónico ocurrió desde NE hacia el SW de forma dextral.

Ese mismo año, Ostos (1987b), analizó muestras de la Formación Peña de Mora de la zona de la carretera Colonia Tovar – Chichiriviche y reporta el mismo transporte tectónico NE – SW, basándose en las microestructuras como sombras de presión asimétricas, deformación de los filosilicatos, fracturas y desplazamientos en los granos.

Urbani y Ostos (1989), proponen la nomenclatura del Complejo Ávila y dividen la Cordillera de la Costa en tres franjas al norte de los valles de Valencia-Maracay,

Caracas y Guatire. Las asociaciones litológicas presentes son: Faja meridional definida por las rocas del grupo Caracas (Formación Las Mercedes y Las Brisas ). Faja Septentrional constituida por las rocas del Complejo La Costa en sus fases Nirgua, Tacagua, Antímano y rocas ultramáficas serpentinizadas. Faja Central formada por las rocas del Complejo Ávila Aungengneis de Peña de Mora, Esquisto de San Julián. En ese trabajo se les asignó dichos nombres de carácter formal, además le asignaron a Peña de Mora una edad de 1.560 M.a. basándose en una isócrona de Rb/Sr.

En la década de los noventa, tesis de la Escuela de Geología de la Universidad Central de Venezuela realizaron levantamientos geológicos en la Cordillera de la Costa. Sabino (1995) trabajó en el flanco sur del pico Naiguatá y estableció cuatro unidades litológicas y una sub-unidad. Aranguren (1996) estudió la quebrada El Encantado y define cinco unidades informales. Uzcátegui (1997) reportó dos unidades informales al levantar parte del flanco sur de la Silla de Caracas y reconoció tres patrones de falla E-W, N60°E y NW-SE, estableció el metamorfismo en la facies de los esquistos verdes zona del granate, aunque no descarta presiones mayores debido a la presencia de barroisita.

Urbani et al. (1997), realizó la integración de los trabajos en el flanco sur del Macizo del Ávila y definió las siguientes unidades formales: Grupo Caracas (Formación Las Mercedes y Las Brisas), Complejo Ávila (Esquisto de San Julián, Aungengneis de Peña de Mora, Metaígneas de Tócome y Metagranito de Naiguatá). Identificó la zona de la biotita de la facies de los esquistos verdes, aunque algunas rocas pueden haber estado expuestas a presiones mayores debido a la presencia de almandino.

Urbani et al. (2000) propone una adaptación de la nomenclatura de las rocas metamórficas de la parte central de la Cordillera de la Costa de acuerdo a las normas de unidades litodémicas internacionales (Bellizia Y Macsotay 1997).

Cano & Melo. (2001). Realizan la cartografía geológica a escala 1:25.000 de la zona entre Quebrada Seca y Río Care, Estado Vargas.

Suarez J. & Castillo. (2001). Realizan la cartografía geológica a escala 1:25.000 de la región entre los ríos Anare y Osma, en la vertiente norte del Ávila, con el objeto de complementar la base geológico-estructural de la zona.

Barboza & Rodríguez (2001) Realizan la integración de la cartografía geológica del Estado Vargas y del Flanco sur del macizo del Ávila a escala 1:25.000.

La geología regional fue tomada de la separata n° 2.04 de Geos 35, del año 2002, UCV, Caracas. En ella se presentan descripciones actualizadas de las unidades de rocas ígneas y metamórficas de la Cordillera de la Costa, Venezuela. La nomenclatura sigue las normas internacionales para unidades litodémicas.

Las rocas que afloran en el área de estudio pertenecen a la Superasociación Metamórfica Cordillera de la Costa (Precámbrico-Mesozoico), que se puede subdividir en las siguientes tres franjas dispuestas de norte a sur:

**(a) Asociación Metamórfica La Costa (Mesozóico).**

Mármol de Antímano (mármol y anfibolitas)

Anfibolita de Nirgua (anfibolitas variadas)

Esquisto de Tacagua (esq. grafit. y epidocita)

Serpentinita

**(b) Asociación Metamórfica Ávila** (Paleozóico-Precámbrico).

Anfibolita de Tócome	(anfibolita, metagabro)
Metagranito de Naiguatá	(metagranito y gneis)
Metadiorita de Todasana	(dior., metagabro, anfib.)
Metatonalita de Caruao	(tonalita, anfib.)
Anfibolita de Cabo Codera	(anfib., metagabro)
Metagranito de Guaremal	(metagranito)
Gneis de Cabriales	(gneis granítico)
Gneis granítico de Choroní	(gneis granítico)
Gneis de Colonia Tovar	(gneis granítico)
Complejo San Julián	(esquisto, gneis, anfib.)
Augengneis de Peña de Mora	(augengneis)

**(c) Asociación Metasedimentaria Caracas** (Mesozóico)

Esquisto de Las Mercedes

Mármol de Los Colorados

**Esquisto de Las Brisas**

Mármol de Zenda

Metaconglomerado de La Mariposa

**Metaconglomerado de Baruta**

Esquisto de Chuspita

Gneis de Sebastopol. Edad: Paleozoico

## **LA COSTA, Asociación Metamórfica**

VÁLIDO

CRETÁCICO

Estado Vargas.

**Referencia original:** M. Ostos, E. Navarro y F. Yoris, 1987, p. 71.

**Consideraciones históricas:** Ostos *et al.* (1987) describen la “Unidad Litodémica de Corrimiento la Costa” agrupando en ella a las rocas correspondientes a las fases Nirgua, Tacagua y Antímamo. Posteriormente, Navarro *et al.* (1988) mantienen el mismo concepto pero denominan como “Complejo la Costa” a este mismo conjunto de rocas. Urbani y Ostos (1989), Urbani *et al.* (1989a, 1989b) presentan la cartografía geológica de este Complejo desde Morón, estado Carabobo, hasta Cabo Codera, Estado Miranda. Esta Asociación es el nombre formal de unidad litodémica propuesto para las rocas de la “Franja Tectónica Costera - Margarita” previamente descrita por Stephan *et al.* (1980) (véase también a Bellizzia, 1986 y Beck, 1989). Urbani (2000) propone el cambio de nombre a Asociación Metamórfica para adaptarse a las normas de unidades litodémicas.

**Localidad tipo:** No fue indicada pero está implícita en los afloramientos costeros del Litoral Central, Estado Vargas. Hoja 6747, escala 1:100.000, Cartografía Nacional.

**Descripción litológica:** Está constituido por una mezcla compleja de litologías fundamentalmente esquistos de variada mineralogía, mármol, anfíbolita, anfíbolita granatífera, anfíbolita glaucofánica, eclogita, rocas metavolcánicas, en fin todos aquellos tipos de rocas constituyentes del *Mármol de Antímamo* (esquisto cuarzo - micáceo, anfíbolita y mármol), *Esquisto de Tacagua* (esquisto grafitoso y rocas ricas en epidoto) y *Anfíbolita de Nirgua* (anfíbolita y esquistos de mineralogía diversa) que conforman la Asociación. Para mayores detalles véase las descripciones de estas fases.

**Extensión geográfica:** Aparece como una franja casi continua desde la zona de Nirgua, Estado Yaracuy, hasta Cabo Codera, Estado Miranda. Barboza & Rodríguez (2002), Cano & Melo (2002), Castillo & Suárez (2002) y Urbani (2002), cartografían y muestran la distribución de esta Unidad en el Estado Vargas.

**Expresión topográfica:** No se ha mencionado ninguna característica distintiva con respecto a las unidades circundantes de las asociaciones metamórficas Ávila y Caracas.

**Contactos:** En todos los casos se han interpretado como contactos tectónicos, donde en algunos sectores se desconoce su tipo, mientras que en otras zonas son fallas de corrimiento (Ostos, 1990, p. 102; Barboza y Rodríguez 2002). Mayormente se encuentra en contacto con la Asociación Metamórfica Ávila, pero en la zona de Tacagua - Antímano - Carayaca (bloque Carayaca de Urbani 2002) lo hace con la Asociación Metasedimentaria Caracas.

**Fósiles:** Algunos fósiles poco diagnósticos (Tintínidos o Calpionelas) del Neocomiense? se han encontrados en la Anfibilita de Nirgua (Bellizzia, 1972).

**Edad:** En base a la escasa evidencia paleontológica, así como a los diversos modelos evolutivos propuestos para la Cordillera de la Costa, se ha interpretado como Mesozoico sin diferenciar, más probablemente Cretácico.

**Paleoambiente:** Las rocas que lo constituyen representan multitud de ambientes geológicos, incluyendo diversos tipos de rocas de origen ofiolítico, desmembradas y mezcladas tectónicamente como consecuencia de la interacción entre las placas del Caribe y Sur América, en otras palabras corresponde a un melange ofiolítico.

**Correlación:** Beck (1985, p. 384, 1986) correlaciona las asociaciones ofiolíticas de su “Franja Costera - Margarita” con aquellas de su “napa de Loma de Hierro”.

**ÁVILA, Asociación Metamórfica**

VÁLIDO

PRE-MESOZOICO

Distrito Capital.

**Referencia original:** F. Urbani y M. Ostos, 1989, p. 207.

**Consideraciones históricas:** Las rocas atribuidas actualmente a esta unidad, son las que afloran en el macizo de El Ávila, por consiguiente han sido mencionadas o estudiadas en mayor o menor detalle por numerosos autores, desde que A. de Humboldt y A. Bonpland ascienden la Silla de Caracas en 1800. Los estudios modernos se inician con los trabajos de Aguerrevere y Zuloaga (1937), siguiendo entre otros, Dengo (1951) y Wehrmann (1972). Urbani y Ostos (1989) en su revisión de la cartografía geológica del macizo montañoso costero, al norte de los valles de Valencia - Maracay, Caracas y Guatire, revelan tres asociaciones de rocas distribuidas en igual número de fajas: Una septentrional o costera con rocas de la Anfibolita de Nirgua, Esquisto de Tacagua y Mármol de Antímamo de la Asociación Metamórfica la Costa; una faja central que soporta la parte más elevada de la Cordillera, compuesta por rocas metaígneas, gneis y esquisto de variada composición, que se agrupan bajo el nombre de Asociación Metamórfica Ávila; finalmente una faja meridional compuesta por rocas Mesozoicas de la Asociación Metasedimentaria Caracas.

Con este conocimiento actual, llama la atención lo acertado del mapa geológico de Aguerrevere y Zuloaga (1937), que cartografían al macizo de El Ávila en dos unidades: por una parte el Augengneis de Peña de Mora con una simbología propia, y otra diferente para las rocas circundantes (hoy Complejo de San Julián), aun cuando por omisión dicha simbología no aparece en la leyenda, pero es diferente al de las formaciones de la Asociación Metasedimentaria Caracas. Posteriormente Urbani *et al.* (1988, 1989a, 1989b, 1989c) extienden la cartografía de esta unidad hasta el Estado Carabobo al oeste y hasta Cabo Codera al este. Esta zona había sido cartografiada previamente por Dengo (1951, 1953) y Wehrmann (1972) como

Formación Peña de Mora y parcialmente como Formación Las Brisas. Urbani (2000) propone cambiar su anterior Complejo Ávila en Asociación Metamórfica Ávila, para adaptarse a las normas de nomenclatura de unidades litodémicas.

**Localidad tipo:** El nombre procede del macizo de El Ávila localizado al norte de Caracas y la localidad tipo es la quebrada San Julián al sur de Caraballeda, donde existen buenos afloramientos tanto de las rocas que se asignan al Complejo de San Julián, como del Augengneis de Peña de Mora.

**Descripción litológica:** Las litologías más resaltantes de esta Asociación son el gneis granítico (Augengneis de Peña de Mora), que está rodeado mayormente por esquisto (Complejo de San Julián). La distinción en el campo entre Peña de Mora y San Julián es usualmente fácil, pero en algunas ocasiones las litologías típicas de ambas unidades se intercalan con espesores variables desde pocos centímetros hasta de varios metros, haciendo difícil la cartografía. Como ejemplo de estas intercalaciones, los autores del nombre señalan al río Aguas Calientes (aguas arriba del Pozo del Cura) al sur del pueblo de Caruao, Estado Vargas.

Las rocas están metamorfozadas en la facies de los esquistos verdes, zona de la biotita y el almandino, pero hay algunas evidencias que apuntan a que previamente hayan estado sujetas a una fase metamórfica de mayor relación P/T (Barboza & Rodríguez 2002).

**Extensión geográfica:** Su cartografía se ha extendido desde la zona de Caracas, hasta el Estado Carabobo al oeste, y hasta Cabo Codera al este, Miranda (Urbani *et al*, Los trabajos de Barboza & Rodríguez (2002) y Urbani & Rodríguez (eds.) (2002) presentan nuevos mapas geológicos del Estado Vargas a escala 1:25.000, donde se muestra la distribución de las unidades de esta Asociación. Barboza & Rodríguez (2002), Cano & Melo (2002) y Castillo & Suárez (2002), cartografían y muestran la distribución de esta Unidad en el Estado Vargas. Urbani (2002) presenta un mapa

geológico simplificado con la distribución de esta Asociación en el Estado Vargas desde Chuspa hasta Puerto Cruz, pero notándose su ausencia entre Tacagua y Carayaca (su Bloque Carayaca).

**Expresión topográfica:** Soporta una topografía muy abrupta y de grandes pendientes, de hecho constituye Fila Maestra de la Cordillera de la Costa, desde el norte de Valencia hasta Cabo Codera.

**Contactos:** Los contactos de la Unidad con las rocas de la Asociación Metamórfica la Costa al norte, son de falla, tanto de ángulo alto como de corrimiento, mientras que en el flanco sur, usualmente están en contacto con fallas de ángulo alto con las rocas de la Asociación Metasedimentaria Caracas.

**Edad:** Muchos autores han opinado sobre la edad de las rocas en consideración, considerándolas desde Precámbrico (Rutten, 1940) hasta Cretácico (Dengo, 1951). Es sólo en las décadas de los años 70 y 80, cuando se publican edades obtenidas por isocronas de roca total Rb/Sr, las cuales apuntan a una edad Paleozoico - Precámbrico, a saber: Augengneis de la localidad de Peña de Mora y Chichiriviche con  $1.560 \pm 83$  Ma (Ostos *et al.*, 1988), gneis y esquisto de la quebrada San Julián con  $220 \pm 20$  y  $270$  Ma respectivamente (Kovach *et al.*, 1979, reinterpretado por Urbani, 1982), Gneis de Cabriales al norte de Valencia con  $264 \pm 4$  Ma Rb/Sr (Urbani, 1989), y Granito de Guaremal en la autopista Valencia - El Palito con  $403 \pm 6$  Ma Rb/Sr (Urbani, 1983, 1987) y con  $467 \pm 30$  Ma y  $494 \pm 52$  Ma por U/Pb en zircón (Avé Lallemant & Sisson 1993).

**Correlación:** Con base a las características litológicas y edades, Urbani y Ostos (1989) sugieren una correlación con el Complejo de Yaritagua y con parte de las rocas cartografiadas como Formación Las Brisas en el Estado Yaracuy.

## **TACAGUA, Esquisto**

**-Asociación Metamórfica la Costa-**

VÁLIDO

CRETÁCICO

Distrito Capital

*Referencia original:* G. Dengo, 1951, p. 66.

*Localidad tipo:* En la quebrada Tacagua, al norte de su intersección con la quebrada Topo. Este sitio se ubica cerca del Viaducto 2 de la Autopista Caracas - La Guaira, Distrito Capital. Hoja 6847, escala 1:100.000, Cartografía Nacional. A raíz de los eventos torrenciales de diciembre de 1999, se presentan excelentes afloramientos en los cauces bajos del Río Uria y de Quebrada Seca de Caraballeda.

*Descripción litológica:* En la localidad tipo y en los afloramientos en la zona costera del litoral central, se encuentra una asociación de esquisto albítico - calcítico - cuarzo - micáceo - grafitoso, de color gris oscuro, intercalados concordantemente con esquisto de color verde claro, constituido por cuarzo, albita, minerales del grupo del epidoto, así como actinolita, clorita y muscovita, también se ha descrito que contienen cantidades menores o trazas de hematita, calcita, pirita, anfíbol y granate; en muchas oportunidades la roca tiene altas concentraciones de epidoto siendo una verdadera epidocita. Adicionalmente se han reportado cuerpos de anfíbolita epidótica (resumen en González de Juana *et al*, 1980, p. 318). El carácter distintivo de esta fase es la alternancia de rocas esquistosas grises oscuras y verdes claro. Barboza y Rodríguez (2002) presentan una recopilación de todos los estudios petrográficos realizados en esta unidad en el Estado Vargas.

*Espesor:* Dengo (1951) menciona un espesor -que debe considerarse como aparente- de 150 a 200 m en la localidad tipo.

**Extensión geográfica:** La franja de afloramientos costeros de esta unidad se extiende desde Osma hasta Oricao, Estado Vargas, con un ancho medio de unos 2 km. En la zona de la localidad tipo, los afloramientos se extienden casi paralelamente al valle de la quebrada Tacagua, desde Mamo hasta cerca del Viaducto 1 de la Autopista Caracas - La Guaira.

**Contactos:** Urbani y Ostos (1989), Ostos (1990, p. 101), Barboza & Rodríguez (2002), Cano & Melo (2002) y Castillo & Suárez (2002), indican contactos tectónicos con unidades tales como: Complejo de San Julián y Augengneis de Peña de Mora de la Asociación Metamórfica Ávila, así como el Mármol de Antímamo y la Anfibolita de Nirgua y cuerpos de serpentinita de la misma Asociación Metamórfica la Costa.

**Fósiles:** No se han encontrado.

**Edad:** Con base a los modelos tectónicos de Talukdar y Loureiro (1982) y Navarro *et al.* (1988), es probable que esta unidad sea del Cretácico Tardío, pero a falta de más información preferimos considerarla como Cretácico sin diferenciar.

**Correlación:** Smith (1952) la consideró correlacionable con la Filita de Paracotos. Igualmente las rocas verdes de Tacagua se han comparado litológicamente con las metavolcánicas de la Formación Copey, en la Península de Araya - Paria.

**Paleoambiente y geoquímica:** Según los modelos evolutivos de Talukdar y Loureiro (1982) y Navarro *et al.* (1988), así como las características petrográficas y faunales de la muestra estudiada por Urbani *et al.* (1989), estos autores sugieren una sedimentación en un surco, formado dentro del prisma de acreción en un tiempo contemporáneo a la colisión. Méndez y Navarro (1987) analizan los componentes mayoritarios y algunos trazas de diversas muestras de las rocas verdes (metavolcánicas) de esta unidad, que interpretados utilizando diversos diagramas de variación, sugieren su origen en un magmatismo de afinidad subcalina de tendencia

toleítica, probablemente formadas en un ambiente tectónico de dorsales y fondos oceánicos. Beccaluva *et al.* (1996) deducen una afinidad MORB para el protolito basáltico de las rocas verdes de Tacagua, en parcial coincidencia con los autores anteriores.

Aguerrevere (1960) interpreta como metatoba a las rocas verdes intercaladas en las rocas grafitosas, idea igualmente apoyada por Urbani (2002).

### **ANTÍMANO, Mármol**

**-Asociación Metamórfica La Costa-**

VÁLIDO

CRETÁCICO

***Referencia original:*** G. Dengo, 1951, p. 63-64.

***Consideraciones históricas:*** Dengo (1951) describe formalmente esta Formación con localidad tipo en la zona de Antímano, Distrito Capital, pero algunos de los cuerpos de esta unidad según dicha descripción de Dengo, habían sido identificados previamente como pertenecientes a la Fase Zenda de la Formación Las Brisas (Dengo, 1947), o como parte de la Formación Las Mercedes (Aguerrevere y Zuloaga, 1937; Smith, 1952). Luego MacLachlan *et al.* (1960), Feo-Codecido (1962), Wehrmann (1972), González (1972) extienden esta unidad hacia los estados Miranda, Aragua y Carabobo. González de Juana *et al.* (1980, p. 314) son los primeros en interpretar que esta unidad probablemente “representa un horizonte tectónico y no una unidad litoestratigráfica”. Ostos *et al.* (1987), Navarro *et al.* (1988) la redefinen como Fase Antímano, formando parte de su unidad litodémica de corrimiento que denominan como Complejo la Costa, que reúne adicionalmente a sus fases Tacagua y Nirgua. Urbani y Ostos (1989) y Urbani *et al.* (1989) utilizan este nombre en los mapas geológicos de la zona de Puerto Cruz a Macuto, Estado Vargas, y El Palito - Morón - Valencia, Estado Carabobo. Urbani (2000) propone el nombre de Mármol de Antímano, acorde a las normas de las unidades litodémicas.

**Localidad tipo:** Dengo (1951) establece la localidad tipo a 0,5 Km al norte de Antímamo, Distrito Capital (Hoja 6847, escala 1:100.000, Cartografía Nacional), cuyos afloramientos hoy en día están totalmente cubiertos por el urbanismo de la ciudad de Caracas. Muy buenos afloramientos aún están visibles en las canteras de la cuenca de la quebrada Mamera.

**Descripción litológica:** Dengo (1951) describe esta unidad como un mármol masivo de grano medio, color gris claro, con cristales de pirita, alternando con capas de esquisto cuarzo micáceo, y asociadas con cuerpos concordantes de rocas anfibólicas, algunas con estructuras de “boudinage”. El mármol está formado de un 85-95% de calcita, con cantidades menores de cuarzo, muscovita (2,5%), grafito (2,5%) y pirita (2%).

Dengo (1950) describe con detalle las anfibolitas glaucofánicas de esta unidad, incluyendo análisis químico, indica que los mármoles son rocas estructuralmente competentes en comparación con los esquistos que las rodean, pero incompetentes en relación con las rocas anfibólicas, mostrando pliegues de flujo alrededor de ellas y resultando así la estructura de “boudinage”.

Schurmann (1950) igualmente estudia estas rocas glaucofánicas, presentando un mapa detallando de los diversos tipos litológicos aflorantes en el sector de Antímamo y Mamera.

En la región del Camino de los Españoles, Parque Nacional El Ávila, Ostos (1981) describe su “Unidad de esquisto cuarzo - muscovítico y mármol cuarcífero” equivalente a esta unidad, encontrando los siguientes tipos litológicos: esquisto cuarzo - muscovítico, mármol y esquistos calcáreos, esquisto cuarzo - feldespático y feldespático, cuarcita muscovítica - feldespática, epidocita y glaucofanita granatífera.

Barboza y Rodríguez (2002) presentan una recopilación de todos los estudios petrográficos realizados en esta unidad en el Estado Vargas. Cano & Melo (2002) en los afloramientos del Río Miguelena (uno de los brazos del Río Camuri Grande), describen mármol, boudines de anfibolita (en uno de ellas con cantidades macroscópicamente visibles de jadeita), y una roca de grano grueso, heterogénea que identifican como metaconglomerado calcáreo grafitoso.

En los trabajos ya mencionados de Ostos, Urbani y otros, el criterio para cartografiar esta unidad es la presencia de la asociación de mármol con rocas anfibólicas.

**Espesor:** Considerando a la foliación como plano de referencia, el espesor aparente de esta unidad es de 40 m en la localidad tipo, según Dengo (1951), disminuyendo hacia el este y oeste. Al sur de San Pedro, Smith (1952) indicó un espesor aparente máximo de 300 m.

**Extensión geográfica:** Se han descrito afloramientos aislados desde la zona de Antímano, hacia el oeste en San Pedro y hacia el este hasta La Florida (afloramientos hoy cubiertos por el urbanismo de la ciudad de Caracas), continúa la zona de afloramientos en una franja en el valle de la quebrada Tacagua, y de ahí hacia el Oeste como una franja entre Mamo, Carayaca y Tarma (Talukdar y Loureiro 1982), hacia el este alcanza hasta cerca de Los Caracas (Castillo & Suárez 2002), Estado Vargas. El mayor de los cuerpos de mármoles de esta unidad fue cartografiado por Smith (1952) al sur de San Pedro y Lagunetas, Estado Miranda, con una extensión de unos 6 x 1,5 km. Los afloramientos más occidentales se han reconocido en la zona de Morón, Estado Carabobo.

**Expresión topográfica:** En las zonas donde afloran cuerpos de mármol masivo y gruesos se nota una topografía abrupta, con estructuras kársticas superficiales.

**Contactos:** Cantisano (1989) interpreta como de falla de corrimiento el contacto con el Esquistos de Las Mercedes, e indica que los contactos son estructuralmente concordantes con los esquistos de Las Mercedes y Las Brisas. En el Estado Vargas entre Curucutí y Los Caracas la Unidad se encuentra en contacto de fallas de ángulo alto con el Esquistos de Tacagua al Norte y las unidades de la Asociación Metamórfica Ávila al sur (Barboza & Rodríguez (2002), Cano & Melo (2002), Castillo & Suárez (2002) y Urbani (2002).

**Fósiles:** Smith (1952, p. 357) señala que C. J. Maxwell y G. Dengo localizaron fragmentos de conchas intensamente trituradas en las canteras de Antimano. Urbani *et al.* (1989) señalan una localidad fosilífera en la cuenca de la quebrada Tacagua (69°59'25"W, 10°32'10"N), donde en una metarenisca calcítica aparecen fragmentos de moluscos (gasterópodos y bivalvos) y equinoides. El gasterópodo mejor preservado tiene semejanza con el género *Actaeonella*, pero debido a la imposibilidad de una identificación más segura, el conjunto faunal puede considerarse en forma conservadora como post-Paleozoico y más probablemente Jurásico - Cretácico.

**Edad:** Ante la ausencia de fósiles índices y por su presunta posición ha sido propuesta de edad Mesozoico medio a superior. Según los modelos de evolución de la Cordillera de la Costa de Ostos *et al.* (1987) y Navarro *et al.* (1988) se sugiere sea del Cretácico.

**Correlación:** Bellizzia y Rodríguez (1968, 1976), González (1972) y Wehrmann (1972) la correlacionan con la Anfibolita de Nirgua, mientras que Ostos *et al.* (1987), Navarro *et al.* (1988) y Ostos (1990) la correlacionan con sus fases Tacagua y Nirgua, integrantes de su unidad litodémica que denominan Complejo la Costa.

**Paleoambiente:** Maresh (1974), Talukdar y Loureiro (1982) y Beck (1985, 1986) postulan que las rocas anfibólicas de esta unidad se derivaron de basaltos relacionados con un evento de "rifting" Mesozoico entre norte y Sur América. Ostos

(1990) por sus estudios geoquímicos interpreta que las anfibolitas corresponden a basaltos metamorfizados, que fueron formados en un ambiente de cordillera centro oceánica.

**Geoquímica:** Smith (1952) menciona que estos mármoles son de bajo contenido de magnesio, a diferencia de los de Zenda. Esta observación está ampliamente corroborada por Urbani *et al.* (1997).

### **SAN JULIÁN, Complejo**

#### **-Asociación Metamórfica Ávila-**

VÁLIDO

PRE-MESOZOICO

Estado Vargas

**Localidad tipo:** Quebrada de San Julián, que nace en la Silla de Caracas y desemboca en el mar Caribe en Caraballeda, Estado Vargas. Hoja 6847, escala 1:100.000, Cartografía Nacional. Urbani y Ostos (1989) proponen adicionalmente secciones de referencia en el río Chuspa, al sur del pueblo de Guayabal, estado Miranda; carretera Chichiriviche - Colonia Tovar en el tramo de Paso Palomas - Naranjal, Estado Vargas, así como en la quebrada Vallecito, Guaremal, estado Carabobo.

**Descripción litológica:** Las rocas preponderantes son el esquisto y gneis cuarzo - plagioclásico - micáceo, frecuentemente se nota una rápida gradación desde una textura esquistosa haciéndose la granulometría más gruesa hasta que pasa a rocas de carácter gnéisico (Urbani y Ostos, 1989). Las litologías minoritarias (menos del 5%) son mármol, cuarcita y diversos tipos de rocas metaígneas mayoritariamente máficas (como anfibolita, metagabro, metadiorita, metatonalita y metagranodiorita. Éstas rocas cuando aparecen en zonas de dimensiones cartografiables a escala 1:10.000 se han denominado como Metaígneas de Tócome). El esquisto es de color gris a gris oscuro con tonalidades verdes, meteoriza a tonos pardos, usualmente se presenta muy

bien foliado. A escala centimétrica o plurimétrica pueden encontrarse niveles alternos de esquisto y/o gneis con proporciones variables de los minerales esenciales y accesorios, adquiriendo características diferentes en cuanto a color y desarrollo de foliación. El gneis siempre tiene colores más claros que los esquistos, ya que su textura se debe fundamentalmente a la mayor proporción de feldespatos y menor de filosilicatos. Una característica resaltante de ciertos sectores donde aflora el esquisto cuarzo - plagioclásico - micáceo, es que la plagioclasa (albita - oligoclasa) se desarrolla marcadamente porfidoblástica, y cuando su concentración es alta puede enmascarar a la foliación, impartándole a la roca un aspecto moteado. Buenos ejemplos de esto pueden verse en la cuenca del río Chichiriviche, Vargas, y en la quebrada Vallecito, Carabobo.

Según Ostos (1981) en el macizo de los picos Ávila y Silla de Caracas, los tipos litológicos predominantes son el esquisto y gneis cuarzo - feldespático - micáceo, usualmente de color grisáceo a blanquecinos y más o menos verde según la cantidad de actinolita, epidoto y clorita. También encuentra litologías minoritarias como cuarcita, epidocita, cloritocita, esquisto anfibólico y otras. Este autor encuentra que el gneis es más abundante al este del poblado de San José de Galipán reduciéndose al oeste.

En la cuenca del río Tócome, al noreste de Caracas, García *et al.* (1995) encuentra los siguientes tipos litológicos dentro de esta unidad, esquisto (plagioclásico - micáceo - epidótico, micáceo - cuarcífero, cuarzo - epidótico, micáceo - plagioclásico, clorítico - epidótico, anfibólico - plagioclásico, plagioclásico - epidótico, plagioclásico - anfibólico - epidótico) y gneis (plagioclásico - cuarzo - micáceo, plagioclásico - micáceo). Así mismo, Sabino y Urbani (1995) en el flanco sur del pico Naiguatá describen: esquistos (feldespático - cuarzo - micáceo, cuarzo - micáceo, epidótico - cuarcífero), gneises (feldespático - cuarzo - micáceo) y cantidades menores de cuarcita y mármol.

Todos estos autores a partir de evidencias petrográficas interpretan que entre esta amplia gama de litologías, aquellas más ricas en feldespatos corresponden a rocas metaígneas félsicas, las esquistosas ricas en micas sean producto de un protolito sedimentario, mientras que aquellos esquistos ricos en epidoto, actinolita ± clorita las interpretan como producto del metamorfismo de horizontes volcánicos, probablemente tobas.

**Espesor:** No se ha medido ni estimado.

**Extensión geográfica:** Desde la localidad tipo el noroeste de Caracas, se ha extendido hacia el oeste hasta la zona de El Cambur en el Estado Carabobo, y hacia el este hasta Cabo Codera en el Estado Miranda.

Barboza & Rodríguez (2002), Cano & Melo (2002) y Castillo & Suárez (2002), Urbani & Rodríguez (2002) muestran la distribución de esta unidad en el Estado Vargas.

**Expresión topográfica:** Por formar parte de la Asociación Metamórfica Ávila que constituye el núcleo de la Cordillera de la Costa, siempre aflora en zonas de topografía muy abrupta y con grandes pendientes.

**Contactos:** En muchos casos los contactos son de fallas de ángulo alto con unidades adyacentes. El contacto con el Augengneis de Peña de Mora, cuando es visible se muestra abrupto y en concordancia estructural, pero en otras ocasiones son gradacionales con intercalaciones de ambos tipos de litologías. Los contactos con las rocas de la Asociación Metamórfica la Costa al norte (Nirgua, Antímano y Tacagua) son interpretados predominantemente de fallas de corrimiento y de ángulo alto (Urbani y Ostos, 1989).

**Edad:** Kovach *et al.* (1979) presenta datos de Rb/Sr de cantos rodados de muestras esquistosas de la quebrada San Julián, que al ser recalculados por Urbani (1982, p.

81) resulta en una edad de 270 Ma. Estos escasos datos geocronológicos impide mayor precisión en la asignación de una edad a esta unidad, por tal motivo se ha sugerido una edad genérica de Paleozoico - Precámbrico al Complejo Ávila (Urbani y Ostos, 1989).

**Correlación:** Se correlaciona con las rocas esquistosas del Complejo de Yaritagua.

**Geoquímica:** Ostos (1981) analiza componentes mayoritarios y elementos trazas de diversas rocas de esta unidad, deduciendo un origen sedimentario para el esquisto cuarzo - feldespático - micáceo.

**PEÑA DE MORA, Augengneis de**  
**-Asociación Metamórfica Ávila-**

VÁLIDO

PRE-MESOZOICO

Distrito Capital.

**Referencia original:** S. E. Aguerrevere y G. Zuloaga, 1937, p. 8.

**Localidad tipo:** Sitio de Peña de Mora, en la rama ascendente de la antigua carretera de Caracas a La Guaira, justamente por encima de donde se localiza el Túnel Boquerón 1 de la Autopista Caracas - La Guaira. Hoja 6747, escala 1:100.000, Cartografía Nacional. Urbani y Ostos (1989) proponen una sección de referencia en el curso bajo del río Chichiriviche, Estado Vargas.

**Descripción litológica:** Aguerrevere y Zuloaga (1937) describieron augengneis que interpretan como formados por inyección “lit - par - lit” de un magma granítico en una roca laminar, posteriormente Dengo (1951, 1953) añadió a esta descripción niveles sin estructura augen, capas de cuarcita y diques de aplita, que generalmente no sobrepasan 30 cm de espesor, igualmente incluye en su unidad a lentes de mármol en la parte superior del augengneis. Wehrmann (1972) a su vez amplió la acepción de

la “Formación Peña de Mora” definiéndola como un complejo ígneo - metamórfico equivalente lateral, por lo menos en parte, de la “Formación Las Brisas” que prácticamente forma el núcleo de la Cordillera de la Costa, incluyendo augengneis grueso y bandeado, gneis de grano fino a medio, también cuarcita de poco espesor, esquisto cuarzo - muscovítico y ocasionalmente anfibolita, mármol, así mismo dentro de esa secuencia identifica cuerpos dispersos de rocas metaígneas ultramáficas, máficas y félsicas. Encuentra que el augengneis es de color claro ligeramente verdoso y meteorización marrón claro; los “augen” son mayoritariamente de feldespato potásico, llegando a alcanzar hasta 3 cm de largo y están rodeados por minerales micáceos y cuarzo.

Estudios estructurales de Ostos (1987a, 1987b) en las localidades de Peña de Mora y Chichiriviche, revelan el carácter milonítico de gran parte de la unidad debido a deformación en el régimen plástico. Estas texturas miloníticas se encuentran típicamente desarrolladas hacia las zonas de cizalla, ocurriendo un cambio textural del gneis grueso con poco desarrollo de bandeamiento en las zonas alejadas a las zonas de cizalla, a augengneis y gneis fino (milongas) al acercarse y entrar en dichas zonas. Los planos de cizalla son indicativos de un transporte tectónico desde el noroeste hacia el sureste, el cual coincide con la dirección de las alineaciones mineralógicas. Ostos (1990) indica que hay zonas esquistosas formadas por cizallamiento del augengneis, siendo los augen reliquias de textura ígnea. Estas rocas son cuerpos graníticos metamorfizados que han sufrido diferentes grados de deformación. Aún cuando se carece de información concluyente al respecto, se estima que algunos de estos cuerpos gnéisicos, pueden ser intrusivos dentro de las rocas esquistosas adyacentes, pero debido al gran contraste mecánico ante la deformación, de ambos tipos de rocas (granito vs. metasedimentos pelíticos), quizás en la mayoría de los casos, las rocas graníticas han sido emplazadas tectónicamente dentro del esquisto adyacente. En algunos lugares (quebrada San Julián, río Caruao, etc. ) se observan estructuras migmatíticas sugiriendo que estas rocas pueden haber alcanzado condiciones anatécticas y las relaciones iniciales fueron borradas.

**Espesor:** No se ha medido ni estimado.

**Extensión geográfica:** Desde la localidad tipo el noroeste de Caracas, se ha extendido hacia el oeste hasta la zona de El Cambur en el Estado Carabobo, y hacia el este hasta cerca de Chirimena en el Estado Miranda.

**Expresión topográfica:** Siempre aflora en zonas de topografía muy abrupta y con grandes pendientes.

**Contactos:** En muchos casos los contactos son de fallas de ángulo alto con unidades adyacentes. El contacto con el Complejo de San Julián, cuando es visible se muestra abrupto y en concordancia estructural, en otras ocasiones transicionales, e inclusive gradacionales con intercalaciones de litologías (augengneis, gneis y esquisto). Los contactos con las rocas de la Asociación Metamórfica la Costa al norte (Nirgua, Antímamo) son predominantemente de fallas de corrimiento (Urbani y Ostos, 1989), pero a lo largo del sistema de fallas de Macuto de orientación este-oeste, es frecuente encontrar al Augengneis en contacto con el Esquisto de Tacagua por medio de fallas normales. En particular en la localidad tipo, Ostos (1990) reconoce que esta unidad está sobrecorrida por un klippe del Mármol de Antímamo.

**Edad:** Ostos *et al.* (1989) presentan una isocrona Rb - Sr de roca total que corresponde a una edad de  $1.560 \pm 83$  Ma, incluyendo dos muestras de la localidad tipo y una del río Chichiriviche.

Aquí conviene mostrar el comentario de Urbani (2002), quien indica que a los efectos prácticos de la cartografía geológica regional se ha utilizado el nombre de Augengneis de Peña de Mora, para todos los cuerpos de este tipo de roca de la Cordillera, que se conocen desde Chirimena en Miranda, hasta Urama en el estado Carabobo. Pero conviene recalcar que la estructura augen se forma por la deformación de rocas graníticas de grano grueso a muy grueso, por consiguiente, no

se puede esperar que todos los cuerpos cartografiados como pertenecientes a esta Unidad, provengan de un protolito de la misma edad (1,56 Ga) que en la localidad tipo. Seguramente al continuar los trabajos geocronológicos se encontrará toda una gama de edades. Por poseer una sola edad y por los comentarios indicados, se prefiere asignarle una edad de Paleozoico - Precámbrico, como a toda la Asociación Metamórfica Ávila.

**Correlación:** Previamente Aguerrevere y Zuloaga (1937), Dengo (1951) y Wehrmann (1972) correlacionaron la “Formación Peña de Mora” al menos parcialmente con la “Formación Las Brisas”, por el hecho de que los esquistos circundantes al augengneis se había cartografiado como de esta última unidad. El reconocimiento a lo largo de toda la Cordillera de la Costa (Carabobo - Miranda) de que dichos esquistos forman parte de otra unidad diferente (Complejo de San Julián), hace que esta correlación ya no sea válida. Por el contrario, la correlación del Augengneis de Peña de Mora hay que hacerla con otros cuerpos de la misma litología en la Cordillera, por ello la correlación propuesta por Bellizzia y Rodríguez (1968) entre las rocas augengnéisicas de Peña de Mora con aquellas del Complejo de Yaritagua parece adecuada, esta misma opinión es compartida por González de Juana *et al.* (1980, p. 326).

**Geoquímica:** En base al estudio geoquímico de elementos mayoritarios y trazas realizado por Ostos (1981) se confirma la naturaleza metaígneas de las rocas de esta unidad.

**NAIGUATÁ, Metagrano de**  
**-Asociación Metamórfica Ávila-**  
VÁLIDO  
Estado Miranda

PRE-MESOZOICO

**Referencia original:** F. Urbani *et al*, 1997.

**Localidad tipo:** Fila Maestra de la Cordillera de la Costa en las cercanías del pico Naiguatá. Estado Miranda. Hoja 6847, escala 1:100.000, Cartografía Nacional.

**Descripción litológica:** Wehrmann (1972) señala una mineralogía de cuarzo (36,5%), feldespatos (37), biotita (11,5), muscovita (7,5), epidoto (5), clorita (2,5) y trazas de apatito, turmalina, zircón, hematita, magnetita y granate, igualmente indica que cantos rodados de metagrano se ubican en diversas quebradas y ríos, deduciendo que puede haber una amplia variedad de este tipo de rocas, desde granodiorita hasta monzonita.

García *et al.* (1995) y Sabino y Urbani (1995, p. 294) al estudiar el cuerpo ubicado entre Puertas de Hércules y el pico Naiguatá, señalan que la roca es un meta-leucosienograno de grano medio con ligera gneisoidad. La mineralogía promedio es de feldespato potásico (45%), cuarzo (35), plagioclasa - albita (15), biotita (2) y trazas de epidoto, muscovita, esfena, granate y hematita. Esta metamorfizado en la facies de los esquistos verdes, zona de la biotita. Su cartografía en las zonas donde no se observan afloramientos fue facilitada con el uso de un contador portátil de radiación gamma, siendo que esta roca presenta mayores niveles de radioactividad gamma total (140 cps) que las demás unidades circundantes.

Al este del pico Naiguatá el cuerpo deja de aflorar, apareciendo nuevamente en la zona de Gárate - Macanillal, donde es estudiado por Aranguren (1996) quien lo clasifica como un meta-sienograno, indicando una mineralogía constituida por:

feldespato potásico (55%), cuarzo (20), plagioclasa (albita - oligoclasa) (10), muscovita (6), biotita (4), y cantidades menores de clorita, anfíbol, epidoto, esfena, zircón y apatito. Este cuerpo estudiado por Aranguren (1996) es el que fuera previamente delimitado por Wehrmann (1972) en base a sus características fotogeológicas. Barboza y Rodríguez (2002) presentan una recopilación de todos los estudios petrográficos realizados en esta unidad.

***Extensión geográfica:*** Es un cuerpo alargado en dirección este - oeste a lo largo de la Fila Maestra de la Cordillera de la Costa, desde Puertas de Hércules hasta un poco antes del Pico Naiguatá (Sabino y Urbani, 1995). Aranguren (1996) y Baena (1998) cartografían otro cuerpo un poco más al este del pico Naiguatá, en la zona de los picos Gárate, Macanillal y Tacamahaca. Wehrmann (1972) basándose en interpretación fotogeológica extiende este último cuerpo hasta unos 2 km al norte de la Fila Maestra, e igualmente delimita otro cuerpo mayor al norte de Guatire.

***Contactos:*** La cobertura de vegetación y meteorización impiden observarlos por lo tanto se desconoce su naturaleza.

***Expresión topográfica:*** Constituye la culminación de la cordillera con una topografía relativamente más suave que las rocas circundantes. La meteorización produce formas rocosas redondeadas, formando entre otros los conocidos “Platos del Diablo”.

***Edad:*** Por formar parte de la Asociación Metamórfica Ávila se considera de edad Pre-Mesozoico.

## CAPITULO V

### ***DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA DEL MACIZO ROCOSO***

El siguiente capítulo tiene como objetivo describir las características geológicas y geotécnicas de las diferentes unidades litológicas que se encuentran en el área de estudio. Para tal fin se evaluó el estado físico del macizo rocoso mediante el fracturamiento, meteorización y las características litológicas. Se realizó la petrografía de 20 muestras para determinar el tipo de roca y la ubicación dentro de las unidades litodémicas previamente establecidas. Los porcentajes promedios de la mineralogía que se presentan, fueron tomados de Cano y Melo (2001).

#### **UNIDADES LITOLÓGICAS (Peso= 20%)**

A continuación se describen las unidades litológicas haciendo énfasis en las características mineralógicas y texturales de la roca, especialmente la foliación ya que se considera de gran importancia en el comportamiento geotécnico del macizo rocoso.

##### **(a) Unidad de Esquistos blandos muy foliados (Índice= 0 - 0,2)**

(Equivalente a la Unidad Litodémica Esquisto de Tacagua)

Se encuentra aflorando en una franja paralela a la costa en toda la extensión del área estudiada, desde la población Tanaguarena hasta Naiguatá y desde los 0 m hasta 200 m s.n.m. La unidad limita al norte con la línea de costa y de manera discordante está cubierta con las rocas sedimentarias. Al sur está en contacto de falla con el Mármol de Antímano, observándose en la cuenca de Naiguatá. Igualmente se encuentra en contacto tectónico con las rocas de la Asociación Metamórfica Ávila.

Se caracteriza por presentar rocas con textura esquistosa y composición mineral constituida por plagioclasa, clorita, carbonatos, minerales del grupo del epidoto, grafito y muscovita; los colores de estas asociaciones de esquistos varían entre grises medianamente oscuros hasta verdes de tonalidades claras (Ver fig. 6). En esta unidad también se observan intercalaciones de roca epidótica, de tonos verdosos. Esta unidad litológica es generalmente blanda y se fractura fácilmente con la piqueta, aunque localmente se presentan niveles más resistentes. En general la roca se encuentra muy foliada, fracturada y plegada. Es común encontrar profundos espesores de meteorización, con rocas descompuestas y suelos residuales arcillosos muy susceptibles a la intervención y propensos a deslizamientos someros, y fenómenos de cárcavas superficiales. El ángulo de fricción interna de estos materiales es muy variable y fluctúa entre los 18 y 25 grados (en este trabajo se usó 25 grados).



Fig.6 Afloramiento de la unidad de esquistos blandos muy foliados.  
( Equivalente a la unidad litodémica Esquisto de Tacagua)

### **Petrografía**

La composición mineralógica como sus porcentajes promedio, mínimo y máximo de esta roca es: plagioclasa 28 (6-50), minerales del grupo del epidoto 20 (1-85), clorita 19 (0-47), cuarzo 10 (0-36), muscovita 9 (0-44), carbonatos 8 (0-40), anfíbol 3 (0-15), y trazas de esfena y pirita. Tomado de Cano y Melo (2001) (Ver fig 7).

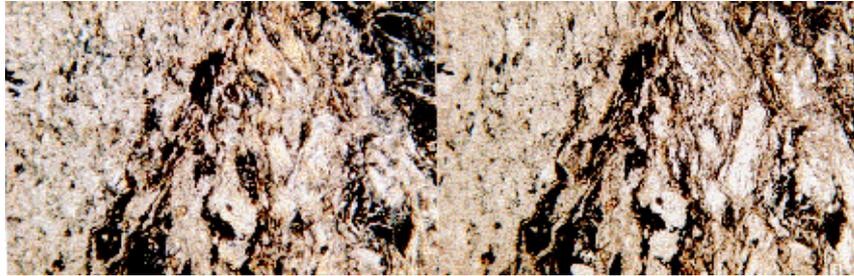


Fig.7 Fotomicrografía. Objetivo 4 / 0.12. NX:N//. Muestra # 3 Esquisto calcáreo-cuarzo-micáceo muy foliado. Obsérvese el plegamiento de las micas.

**(b) Unidad de Esquistos y gneises duros, foliados y parcialmente foliados (Índice=0,4 - 0,6)**

(Equivalente al Complejo San Julián)

Se caracteriza principalmente por esquistos cuarzo-plagioclásicos-micáceos, foliados y parcialmente foliados, con intercalaciones locales de gneis de la misma composición y anfibolita granatífera de aspecto masivo. Los contactos con los gneises y rocas anfibólicas de la unidad son concordantes, paralelos a la foliación y con colores frescos y de meteorización distintivos (Ver fig 8). Las rocas fracturadas se parten con la ayuda de la mandarina y sincl.



Fig.8 Afloramiento unidad de esquistos y gneises duros foliados y parcialmente foliados. Se observe la intercalación concordante.

La variación en el contenido de cuarzo y la componente micácea (mayormente muscovita) genera situaciones locales de transición, debido a que estos elementos se encuentran en polos opuestos en cuanto al comportamiento geotécnico. Las bandas micáceas paralelas representan zonas de debilidad que actúan como planos preferenciales de deslizamientos. Además se generan problemas de inestabilidad por la alteración química debido al alto contenido de feldespatos. El ángulo de fricción interna usado en este estudio es de 34 grados aunque puede ser menor en zonas de alto contenido micáceo. Se generan suelos limoarenosos de espesor variable con sectores muy permeables e inestables por la saturación del material en periodos lluviosos. Se presentan frecuentemente el desarrollo de cárcavas profundas, deslizamientos y derrumbes.

### **Petrografía**

La constitución mineralógica porcentual está representada por cuarzo 29 (15-50), plagioclasa (albita-oligoclasa) 28 (5-42), muscovita 12 (0-30), clorita 9 (0-30), minerales del grupo del epidoto 9 (0-37), biotita 4 (0-16), anfíboles 3 (0-19), feldespato potásico 2 (0-14), granate 2 (0-12) y algunas rocas con porcentaje considerable de carbonatos 2 (0-30). Entre los minerales trazas se encuentra la esfena, leucoxeno, pirita, magnetita y hematita. Tomado de Cano y Melo (2001) (Ver fig. 9 y 10).

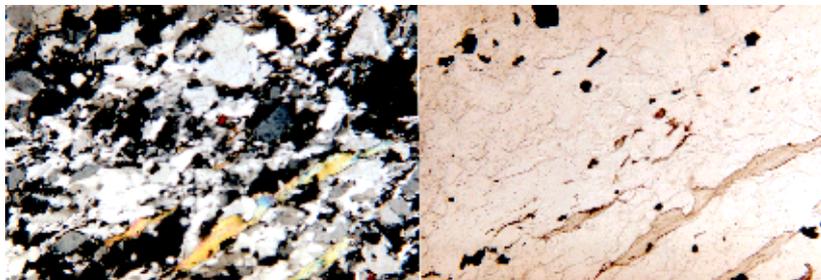


Fig. 9 Fotomicrografía. Objetivo 4/0.12. NX : N//. Muestra # 17. Esquisto cuarzo-plagioclásico-biotítico. Obsérvese la orientación de los minerales.



Fig. 10 Fotomicrografía. Objetivo 4/0.12. NX : N//. Muestra # 4. Gneis Cuarzo-plagioclásico-muscovítico. Obsérvese el aspecto masivo.

**(c) Unidad de Aungengneis muy duros, poco foliados a masivos. (índice= 0,8 - 1)**  
(Equivalente a la unidad litodémica Gneis de Peña de Mora)

Se caracteriza por rocas esencialmente félsicas y competentes con textura gruesa tales como Augengneis y gneis plagioclásico-cuarzo-muscovítico, con bandas cuarzo feldespáticas (Ver figs. 11 y 12). La textura característica es el *augen*, ojos ricos en plagioclasa (albita-oligoclasa) y feldespato potásico (microclino) rodeados de agregados minerales cuarzo feldespático micáceos. Posee un color fresco de bandas blancas que intercalan con bandas grises oscuras a negras, meteorizando a marrón oscuro con bandas claras y remanentes de óxidos de color marrón.

### **Petrografía**

La mineralogía promedio, con sus máximos y mínimos en valores porcentuales es: plagioclasa 37 (30-42), feldespato potásico 9 (0-16), cuarzo 33 (23-44), muscovita 9 (0-20), biotita 5 (0-12), clorita 4 (0-10), epidoto 2 (0-10) y como minerales accesorios el granate, carbonatos, anfíbol, esfena, leucóxeno, circón, pirita y hematita. Tomado de Cano y Melo (2001).

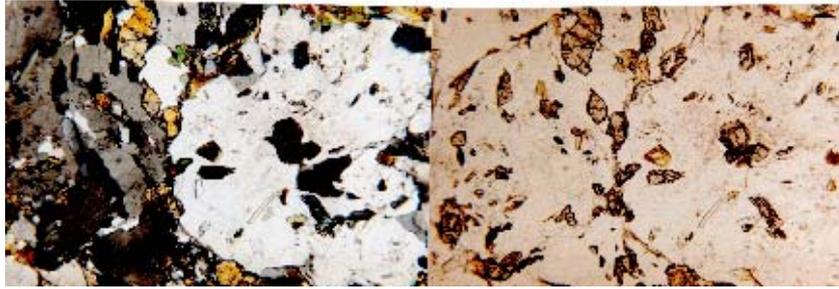


Fig. 11 Fotomicrografía. Objetivo 4/0.12. NX : N//. Muestra # 16. Augengneis Cuarzo-plagioclásico-muscovítico. Obsérvese la estructura Augen.

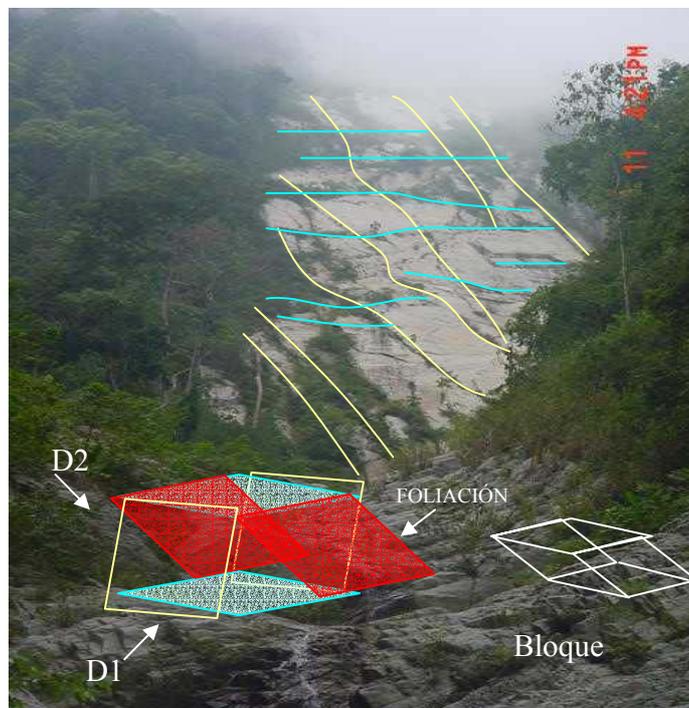


Fig.12 Afloramiento de la unidad de augengneis poco poliado a masivo, equivalente a la unidad litodémica Augengneis de Peña de Mora. Obsérvese el fracturamiento en bloques de gran tamaño generados por la intersección de las diaclasas y la foliación.

**(d) Unidad de Conglomerados Heterométricos (índice=0, no aplicado en laderas, sólo para zonas planas y semiplanas)**

Esta unidad está representada por las terrazas aluviales encajonadas y/o escalonadas (Ver figs. 13 y 14) que se desarrollan a lo largo del cauce de ríos y quebradas. Se caracteriza por presentar mayormente conglomerados muy mal escogidos, dispuestos de manera caótica, mezclando clastos de variados tamaños, desde pocos centímetros hasta metros, soportados por una matriz del mismo tipo de material pero de grano fino a muy fino. Todo este material es aportado por las litologías que se encuentran al sur. En algunas terrazas se puede observar el contenido de materia orgánica, representada esencialmente por pedazos de material leñoso arrastrado por eventos fluvio-torrenciales.

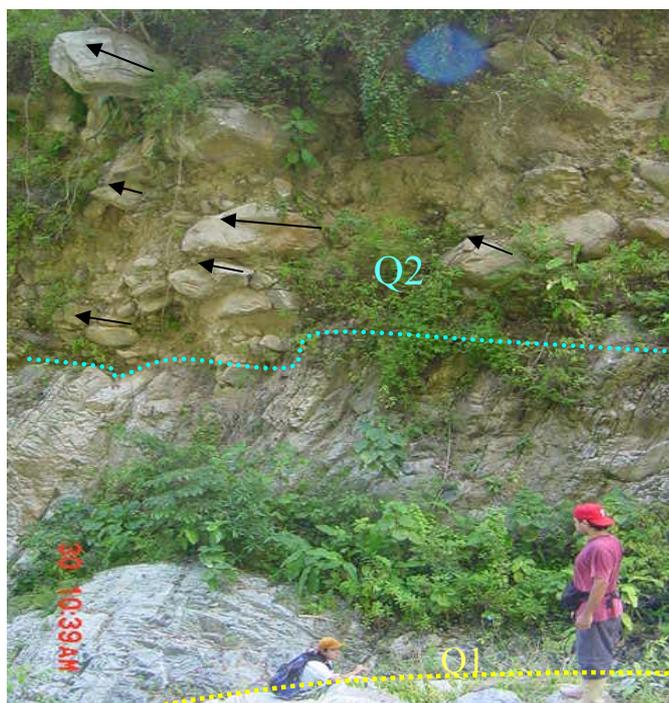


Fig.13 Terraza escalonada. Obsérvese el afloramiento rocoso en la base del nivel Q2 y la imbricación de los bloques de roca. El río pasa por debajo del nivel Q1 en donde se encuentran paradas las personas.



Fig.14 Terraza Encajonada. Obsérvese la variación en tamaño de los bloques. La persona se encuentra parada en el cauce del Río Naiguatá.

## FRACTURAMIENTO

El fracturamiento y la meteorización son factores de gran importancia en la estabilidad de taludes, sobre todo en zonas tropicales como el Estado Vargas, donde los perfiles de meteorización pueden alcanzar espesores considerables.

En cuanto al fracturamiento se evaluaron las características de los sistemas de diaclasas, tomando en cuenta los siguientes parámetros:

- a) **Frecuencia:** Mide las fracturas por metro tomadas perpendicularmente al sistema en cuestión (Ver tabla 1).
- b) **Continuidad o persistencia:** Mide la longitud de la fractura.
- c) **Abertura:** Mide el promedio del tamaño de las grietas (Ver tabla 2).
- d) **Rugosidad:** Define la textura de la superficie de la diaclasa.
- e) **Rumbo y Buzamiento:** Mide la orientación espacial de la diaclasa.

Tabla 1. Separación y Frecuencia de las Diaclasas			
Descripción	Separación	Frecuencia	Tipo de Macizo Rocoso
Muy ancho	> 3 m	0:1.	Sólido
Ancho	(1 - 3) m	(0 - 1):1	Masivo
Moderadamente ancho	(0,3 - 1) m	(1 - 3):1	Fracturado en Bloques
Cerrado	(50 - 300) mm	(3 - 15): 1	Fracturado
Muy cerrado	< 50 mm	> 15:1	Triturado

Tabla 2. Abertura de las Diaclasas	
Descripción	Tamaño
Abierta	> 5 mm
Moderadamente abierta	1 - 5 mm
Cerrada	0,1 - 1 mm
Muy Cerrada	< 0,1 mm

En la tabla 3 se muestran los resultados de la evaluación de las diaclasas obtenidos en campo.

Tabla 3. Características de las diaclasas obtenidas en campo.

TANAGUARENA										
Punto	Coordenadas(UTM)		Sistema de Diaclasas	Orientación		Características				
	Norte	Este		Rumbo	Buzam.	Fr.	Abertura	Relleno	Continuidad	Superficie
TNG-01	1174092	740940	D'	N 50 E	60 N	10 : 1	2 mm	no	continua	Rugosa
			D''	N 30 W	60 S	8 : 1	10 mm	no	continua	Lisa
TNG-02	1173880	740512	D'	N 80 W	65 N	7 : 1	Cerrada	no	continua	Lisa
			D''	N 15 E	85 N	7 : 1	Cerrada	no	local	Lisa
TNG-03	1173775	740570	D'	N 30 E	55 N	5 : 1	30 mm	Cuarzo	continua	Lisa
			D''	N 54 W	64 S	8 : 1	120 mm	Cuarzo	continua	Rugosa
			D'''	N 44 E	71 S	5 : 1	Cerrada	no	local	Lig. Rug.
TNG-04	1173480	740730	D'	N 65 E	62 N	6 : 1	30 mm	Carbonato	continua	Lig. Rug.
			D''	N 73 E	30 S	5 : 1	Cerrada	no	local	Lig. Rug.
TNG-06	1172400	740445	D'	N 5 E	V	4 : 1	Cerrada	no	local	Rugosa
			D''	N 80 W	70 N	3 : 1	Cerrada	no	continua	Rugosa
TNG-07	1172220	740700	D'	N 5 W	60 N	3 : 1	Cerrada	no	continua	Lisa
			D''	N - S	70 E	2 : 1	Cerrada	no	continua	Lisa
			D'''	N 20 W	5 S	2 : 1	Cerrada	no	local	Lisa
CARMEN DE URIA										
Punto	Coordenadas(UTM)		Sistema de Diaclasas	Orientación		Características				
	Norte	Este		Rumbo	Buzam.	Fr.	Abertura	Relleno	Continuidad	Superficie
CU-01	1174060	741560	D'	N - S	V	5 : 1	2 mm	no	continua	Lig. Rug.
			D''	N 50 E	55 N	4 : 1	Cerrada	no	local	Lisa
CU-02	1174237	742170	D'	N 20 W	75 S	2 : 1	20 mm	cuarzo	local	Lig. Rug.
			D''	N 30 W	70 S	6 : 1	3 mm	no	local	Rugosa
CU-05	1174310	742794	D'	N - S	55 W	10 : 1	5 mm	no	local	Lig. Rug.
			D''	N 40 E	50 S	5 : 1	Cerrada	no	continua	Lig. Rug.
			D'''	N 40 W	V	5 : 1	Cerrada	no	local	Rugosa
CU-06	1174110	742820	D'	E - W	V	4 : 1	10 mm	no	continua	Lisa
			D''	N 70 W	45 S	3 : 1	3 mm	no	continua	Rugosa
CU-07	1174340	743138	D'	N 50 W	80 N	5 : 1	2 mm	no	continua	Rugosa
			D''	N - S	80 W	3 : 1	Cerrada	no	local	Rugosa
			D'''	N 70 E	70 N	2 : 1	2 mm	no	continua	Lisa

Continuación Tabla 3.

CU-08	1174420	743575	D'	N 55 W	75 S	4 : 1	2 mm	no	local	Rugosa
			D''	N 40 W	70 N	4 : 1	5 mm	no	continua	Rugosa
			D'''	E - W	60 N	5 : 1	3 mm	no	local	Rugosa
CU-09	1173680	743170	D'	N 10 W	V	3 : 1	30 mm	Carbonato	continua	Lisa
			D''	N 40 W	50 S	4 : 1	6 mm	Carbonato	continua	Lisa
			D'''	N 50 E	54 N	3 : 1	10 mm	Carbonato	continua	Lisa
CU-13	1173052	742790	D'	N 54 E	V	10 : 1	Cerrada	no	continua	Lisa
			D''	N 45 W	35 S	5 : 1	Cerrada	no	local	Lisa
			D'''	N 25 W	60 S	4 : 1	10 mm	Carbonato	local	Lisa
CU-14	1172897	742732	D'	N 15 E	75 S	2 : 1	Cerrada	no	local	Lisa
			D''	N 45 W	V	2 : 1	Cerrada	no	continua	Lisa
			D'''	N 55 W	25 N	2 : 1	Cerrada	no	continua	Lisa
CU-15	1172810	742586	D'	N 10 W	V	4 : 1	Cerrada	no	continua	Lisa
			D''	N 10 E	40 N	3 : 1	Cerrada	no	local	Lisa
			D'''	N 45 W	15 N	6 : 1	Cerrada	no	local	Lisa
CU-16	1172753	742168	D'	N 30 W	70 N	5 : 1	Cerrada	no	continua	Lisa
			D''	N 70 E	V	5 : 1	Cerrada	no	local	Lig. Rug.
			D'''	N 80 W	20 S	4 : 1	Cerrada	no	local	Lig. Rug.
CU-17	1172870	742995	D'	N 10 E	65 S	4 : 1	150 mm	cuarzo	continua	Lisa
			D''	N - S	V	6 : 1	Cerrada	no	continua	Lisa
CU-18	1172438	743042	D'	N 45 W	75 N	3 : 1	Cerrada	no	continua	Rugosa
			D''	N 10 E	V	2 : 1	Cerrada	no	local	Lisa
			D'''	N 60 E	10 S	1 : 1	Cerrada	no	local	Lisa
CU-19	1172118	743189	D'	N 60 E	65 N	5 : 1	Cerrada	no	continua	Lisa
			D''	N 35 W	V	3 : 1	Cerrada	no	local	Rugosa
CU-20	1171988	743210	D'	N 40 W	V	4 : 1	Cerrada	no	local	Rugosa
			D''	N 20 E	70 N	3 : 1	Cerrada	no	local	Rugosa
			D'''	N 35 E	25 N	3 : 1	Cerrada	no	local	Rugosa
CU-21	1171475	743177	D'	N 45 W	60 N	2 : 1	Cerrada	no	continua	Lig. Rug.
			D''	N 40 E	20 S	2 : 1	Cerrada	no	local	Lig. Rug.
			D'''	N - S	V	2 : 1	Cerrada	no	local	Lig. Rug.
CU-22	1171815	743740	D'	N 40 W	70 S	3 : 1	Cerrada	no	continua	Lisa
			D''	N 10 E	15 S	2 : 1	Cerrada	no	continua	Lig. Rug.

Continuación Tabla 3.

CU-23	1171642	744098	D'	N 15 W	80 N	3 : 1	Cerrada	no	continua	Lisa
			D''	E - W	75 S	3 : 1	Cerrada	no	local	Lig. Rug.
CU-24	1171400	744152	D'	N 55 W	70 S	2 : 1	Cerrada	no	continua	Lisa
			D''	N 60 W	25 S	2 : 1	Cerrada	no	continua	Lisa
CU-25	1171500	744412	D'	N 20 E	50 S	4 : 1	Cerrada	no	continua	Lig. Rug.
			D''	N 35 W	45 S	3 : 1	Cerrada	no	local	Lisa
CU-26	1171410	744585	D'	N 50 W	80 N	10 : 1	Cerrada	no	local	Lisa
			D''	N 25 E	70 N	10 : 1	Cerrada	no	continua	Lisa
CU-27	1171315	744765	D'	N 50 W	75 N	10 : 1	Cerrada	no	local	Lisa
			D''	N 70 W	65 S	10 : 1	Cerrada	no	local	Lisa
<b>EL TIGRILLO</b>										
Punto	Coordenadas(UTM)		Sistema de Diaclasas	Orientación		Características				
	Norte	Este		Rumbo	Buzam.	Fr.	Abertura	Relleno	Continuidad	Superficie
TG-01	744650	1174700	D'	N 20 E	65 S	6 : 1	3mm	no	continua	Rugosa
			D''	N 25 E	65 N	5 : 1	3mm	no	continua	Rugosa
TG-02	745290	1174525	D'	N 20 E	55 N	7 : 1	Cerrada	no	continua	Rugosa
			D''	E - W	40 N	10 : 1	Cerrada	no	local	Lisa
<b>NAIGUATA</b>										
Punto	Coordenadas(UTM)		Sistema de Diaclasas	Orientación		Características				
	Norte	Este		Rumbo	Buzam.	Fr.	Abertura	Relleno	Continuidad	Superficie
NGT-01	1174555	745810	D'	N - S	65 W	7 : 1	2 mm	no	continua	Rugosa
			D''	N 60 W	80 S	4 : 1	3 mm	no	continua	Rugosa
			D'''	N 10 E	65 S	8 : 1	3 mm	no	local	Rugosa
NGT-02	1175275	748450	D'	N 85 E	60 S	4 : 1	2 mm	no	continua	Lisa
			D''	N 20 E	75 S	4 : 1	2 mm	no	local	Lisa
			D'''	N 20 E	80 N	3 : 1	1 mm	no	local	Lisa
NGT-03	1174287	747890	D'	N 10 W	75 N	9 : 1	Cerrada	no	continua	Lisa
			D''	N 30 W	50 S	7 : 1	Cerrada	no	continua	Lisa
			D'''	N 75 E	15 N	5 : 1	Cerrada	no	local	Lisa
NGT-04	1174005	747610	D'	N 25 W	80 S	4 : 1	Cerrada	no	continua	Lisa
			D''	N 15 E	40 N	6 : 1	2 mm	no	local	Lig. Rug.
			D'''	N 15 W	30 N	2 : 1	Cerrada	no	local	Lig. Rug.

Continuación Tabla 3.

NGT-05	1173650	747005	D'	N 15 E	75 S	3 : 1	2 mm	no	continua	Lisa
			D''	N 35 W	15 S	5 : 1	Cerrada	no	local	Lig. Rug.
			D'''	N 75 W	85 N	4 : 1	Cerrada	no	continua	Lisa
NGT-06	1173405	747015	D'	N 55 E	40 S	2 : 1	3 mm	no	local	Lisa
			D''	N 35 W	18 N	2 : 1	Cerrada	no	continua	Lisa
			D'''	N 38 W	83 N	2 : 1	Cerrada	no	local	Lisa
NGT-07	1173070	747095	D'	N 55 W	35 N	3 : 1	Cerrada	no	continua	Lisa
			D''	N 30 W	65 N	7 : 1	10 mm	no	continua	Muy Rug.
			D'''	N 65 E	70 N	2 : 1	Cerrada	no	local	Rugosa
NGT-08	1173220	746748	D'	N 15 W	70 N	6 : 1	Cerrada	no	continua	Lisa
			D''	N 38 E	82 S	2 : 1	Cerrada	no	continua	Lisa
			D'''	N 33 W	53 N	3 : 1	Cerrada	no	continua	Lisa
NGT-09	1173130	746560	D'	N 65 E	30 N	9 : 1	10 mm	no	continua	Lisa
			D''	N 30 W	75 N	8 : 1	Cerrada	no	local	Lisa
			D'''	N 40 W	V	6 : 1	5 mm	no	local	Lig. Rug.
NGT-10	1172960	746290	D'	N 70 E	87 N	6 : 1	Cerrada	no	continua	Rugosa
			D''	N 80 E	64 S	10 : 1	Cerrada	no	local	Rugosa
			D'''	N 72 E	44 N	6 : 1	5 mm	cuarzo	local	Lig. Rug.
NGT-11	1172440	746140	D'	N 82 W	70 S	3 : 1	2 mm	no	continua	Lisa
			D''	N 42 W	75 N	4 : 1	Cerrada	no	local	Lig. Rug.
NGT-12	1172060	746462	D'	N 35 E	76 N	5 : 1	Cerrada	no	local	Lisa
			D''	N - S	77 W	6 : 1	5 mm	no	local	Lisa
NGT-13	1171840	746545	D'	N 20 E	65 S	4 : 1	Cerrada	no	continua	Lisa
			D''	E - W	75 N	3 : 1	15 mm	cuarzo	continua	Lisa
NGT-14	1171665	746589	D'	N 20 E	65 S	4 : 1	Cerrada	no	continua	Lisa
			D''	E - W	75 N	3 : 1	15 mm	cuarzo	local	Lisa
NGT-15	1171601	746180	D'	N 15 E	40 S	4 : 1	Cerrada	no	continua	Lisa
			D''	N 70 E	65 S	5 : 1	Cerrada	no	local	Lisa
			D'''	N 50 E	V	4 : 1	Cerrada	no	local	Lisa
NGT-16	1171310	746488	D'	N 60 E	70 N	8 : 1	10 mm	no	continua	Lig. Rug.
			D''	N 60 E	40 S	2 : 1	10 mm	no	local	Lig. Rug.
			D'''	N - S	70 E	3 : 1	Cerrada	no	continua	Lisa

Continuación Tabla 3.

NGT-17	1170823	746380	D'	N - S	70 E	7 : 1	Cerrada	no	continua	Lisa
			D''	E - W	40 S	2 : 1	5 mm	cuarzo	local	Lig. Rug.
			D'''	N 70 E	75 S	3 : 1	10 mm	no	local	Rugosa
NGT-18	1170663	746240	D'	N 50 E	30 N	8 : 1	Cerrada	no	local	Lisa
			D''	N 11 E	V	6 : 1	Cerrada	no	continua	Lisa
			D'''	N 65 W	80 N	6 : 1	Cerrada	no	continua	Lisa
NGT-19	1170390	746610	D'	N 50 E	35 S	6 : 1	1 mm	cuarzo	local	Lisa
			D''	N 80 E	55 S	2 : 1	2 mm	no	continua	Lisa
			D'''	N 70 E	80 N	4 : 1	2 mm	no	local	Lisa
NGT-20	1170130	746602	D'	N - S	65 W	5 : 1	1 mm	no	continua	Rugosa
			D''	N 60 W	50 S	3 : 1	2 mm	no	continua	Rugosa
NGT-21	1169788	746700	D'	N 80 W	50 S	5 : 1	1 mm	no	continua	Lisa
			D''	N 30 E	20 S	1 : 1	1 mm	no	local	Lig. Rug.

## METEORIZACIÓN

La meteorización define al grado de alteración en que se encuentra el macizo rocoso. Se definen cuatro grupos:

**Roca Fresca:** Es la roca que mantiene sus características iniciales y no muestra efectos de meteorización.

**Roca Meteorizada:** Es aquella cuya composición química, textura, estructura y color han sido levemente alterados y son próximos a los de la roca original.

**Roca Muy Meteorizada:** Son rocas cuyas propiedades mencionadas han sido muy alteradas; pueden haber cambios en la composición química y textura, hay cambios notables en el color original de la roca y ha perdido su consistencia original.

**Roca Descompuesta:** Es aquella que conserva sólo restos de su textura y estructura original.

Según la consistencia encontramos los siguientes tipos de rocas:

**Roca Dura:** Es aquella roca para la cual es necesario el uso de explosivos para su remoción. En caso de estar muy fracturada se pueden usar medios mecánicos de gran intensidad.

**Roca Blanda:** Es la roca poco competente que se puede disgregar por medios mecánicos.

## **ESTADO FÍSICO DEL MACIZO ROCOSO (Peso=20%)**

Después de observar conjuntamente la intensidad del fracturamiento y el grado de meteorización, se definieron cinco rangos según el estado físico del macizo rocoso (20%) .

En este trabajo es posible encontrar la letra m antecediendo al grado de meteorización o al fracturamiento, la cual significa “muy” por ejemplo: una RmMbf corresponde a una roca muy meteorizada blanda fracturada y RMdmf una roca meteorizada dura muy fracturada.

### **Roca Muy Buena (índice=1):**

RFds, macizo rocoso sólido o masivo, separación de las diaclasas  $> 3$  m, presenta superficies rugosas, cerradas sin relleno, continuidad  $< 1$  m.

### **Roca Buena (índice=0,8):**

RMdf, macizo rocoso masivo o fracturado en bloques, frecuencia entre 1:1 y 3:1, superficies rugosas ligeramente meteorizada, abertura  $< 1$ mm, rellenos duros, continuidad 1-3 m.

### **Roca Media (índice=0,4-0,6):**

RMdmf, macizo rocoso fracturado, frecuencia entre 3:1 y 15:1, superficies moderadamente meteorizadas y oxidadas, abertura 1-5mm, rellenos duros, continuidad 3-10 m. La alteración comienza a penetrar dentro de la roca.

### **Roca Mala (índice=0,2):**

RmMdmf, macizo rocoso triturado, frecuencia  $>15:1$ , superficies planas muy meteorizadas y oxidadas, abertura  $>5$ mm, predominan los rellenos blandos. La

alteración ha penetrado profundamente la roca aunque pueden haber remanentes de roca menos meteorizada.

**Roca Muy Mala(indice=0):**

RDb, Regolitos con superficies muy meteorizadas y abiertas con rellenos blandos, prácticamente corresponde a un suelo residual.

CAPÍTULO VI  
***GEOLOGÍA ESTRUCTURAL***

**GEOLOGÍA ESTRUCTURAL REGIONAL**

Los autores interpretan dos estructuras principales plegadas a gran escala: el antiformal del Junquito y el antiformal del Ávila. De acuerdo a trabajos previos de Arreaza (1978), Lara (1978), López (1979), Larez (1978), Mendoza (1978), Serrano (1978) y Ostos (1981) se interpretan dos períodos de plegamiento isoclinal de plano axial paralelos a la foliación regional y el segundo que afecta a los pliegues de período anterior, por lo que pliega el plano axial y se encuentra superpuesto al plegamiento más antiguo. Sin embargo trabajos más recientes en microtectónica por Bravo Y Vilas (2003), demuestran que pueden existir más de dos períodos de plegamiento.

Los patrones de fallamiento a nivel regional son los siguientes:

**Grandes fallas regionales longitudinales de rumbo este oeste:** A este patrón pertenecen las fallas de San Sebastián, El Ávila, Las Pailas, Macuto entre otras. Éste es el sistema de falla más antiguo en la zona, de acuerdo a las relaciones de corte. La falla de San Sebastián es la generadora de los campos de esfuerzos que han originado los patrones de fracturamiento que han afectado a las rocas de la región. Estas fallas este oeste pueden interpretarse de acuerdo al modelo de Wilcox (1973), como fallamiento tipo D.

**Fallas Oblicuas de rumbo N(40-70)°O.** Es el patrón de fallas más frecuente y según el modelo de Wilcox corresponde a fracturas de riedel sintéticas.

**Fallas de rumbo N(30-70)°E.** Estas fallas pueden ser del tipo P según Wilcox, fallas inversas perpendiculares a la dirección de  $\sigma_1$  NO-SE.

El rumbo preferencial de la foliación es N45°E y los buzamientos aumentan gradualmente hacia la Fila Maestra. Las rocas asociadas a las fallas son Milonitas y Cataclasitas, que se concentran mayormente en el Complejo San Julián. Este cambio de textura plástica a cataclástica probablemente se deba a que el sistema de fallas del Ávila fue activo a profundidades mayores a los 15 Km originando rocas miloníticas y más tarde fue elevado generando rocas cataclásticas.

## **GEOLOGÍA ESTRUCTURAL LOCAL**

### **Foliación**

La tendencia principal de la foliación sigue un rumbo N60°E con buzamientos hacia el norte entre 40 y 50 grados, los cuales aumentan progresivamente hacia el sur (Fila Maestra), donde se encuentran los mayores buzamiento entre 50 y 70 grados (Ver Tablas 4 y 5).

Se observan algunos planos de foliación con buzamientos suaves hacia el sur, en la unidad litodémica esquisto de Tacagua, sin embargo la tendencia principal sigue un rumbo N60E 40 N.

En la serpentinita que aflora en la cuenca de Carmen de Uria el rumbo promedio es E-W con buzamientos entre 60 y 80 grados, aunque las mediciones son escasas debido a la poca extensión de los afloramientos.

El Augengneis de Peña de Mora, posee rumbos que varían entre N65°E y N80°E y buzamientos entre 60° y 70° al norte.

La textura predominante en las rocas es de tipo esquistosa, donde las micas como la biotita, muscovita y clorita, forman la textura lepidoblástica.

En los gneises y augengneises se observa una marcada foliación, producto del bandeamiento de minerales claros como plagioclasa y cuarzo con textura granoblástica, intercalados con bandas oscuras de biotita, clorita y muscovita con textura lepidoblástica.

### **Pliegues**

Los plegamientos observados en la zona de estudio se encuentran principalmente en la unidad litodémica Esquisto de Tacagua, la cual se encuentra bastante deformada. Se observaron pliegues con tamaños variables desde centímetros a metros. Sin embargo no se clasificaron ya que no se consideró objetivo del estudio.

En el Complejo San Julián se observaron pliegues de arrastre asociados a fallamientos locales.

El aumento de la foliación hacia la Fila Maestra se interpreta como resultado de la estructura antiformal de carácter regional que contiene plegamientos de segundo orden y eje paralelo a la estructura mayor (E-W), en concordancia con el “anticlinal” del Ávila mencionado por AGUERREVERE & ZULOAGA (1937) y WEHRMANN (1972).

### **Fallas**

Se determinaron tres patrones de fallas por medio del análisis de fotografías aéreas y evidencias morfológicas y estructurales observadas en campo. Estos patrones son:

- a) Fallas con dirección E-W.
- b) Fallas con dirección N40°-60°W.
- c) Fallas con dirección N50°-70°E.

Tabla 4. Foliaciones medidas en campo

PUNTO	Coordenadas(UTM)		RUMBO	BUZAM.
	ESTE	NORTE		
TNG-01	740940	1174092	N 40 W	35 N
TNG-02	740512	1173880	N 70 E	65 N
TNG-03	742570	1173775	N 77 E	60 S
TNG-04	740730	1173480	N 73 E	60 N
TNG-05	740420	1172800	N 60 E	V
TNG-06	740445	1172400	N 25 E	30 S
TNG-07	740700	1172220	E - W	75 S
CU-01	741560	1174060	N 80 E	75 N
CU-02	742170	1174237	N 80 E	40 N
CU-03	742130	1174090	N - S	40 E
CU-04	742035	1173670	N 10 E	70 N
CU-05	742794	1174310	N 60 E	50 N
CU-06	742820	1174110	N 70 E	35 N
CU-07	743138	1174340	N 50 E	40 N
CU-08	743575	1174420	N 65 E	70 N
CU-09	743170	1173680	N 45 E	25 S
CU-10	742920	1173540	N 80 E	80 N
CU-11	742760	1173420	N 80 E	75 N
CU-13	742790	1173052	N 85 W	45 N
CU-14	742732	1172897	N 85 W	75 S
CU-14	742732	1172897	N 85 E	V
CU-15	742586	1172810	N 70 W	75 S
CU-15	742586	1172810	N 65 E	70 N
CU-16	742168	1172753	N 75 W	75 N
CU-16	742168	1172753	E - W	50 N
CU-17	742995	1172870	N 65 E	70 N
CU-18	743042	1172438	N 65 E	40 N
CU-19	743189	1172118	N 85 E	70 N
CU-20	743210	1171988	E - W	50 N
CU-21	743177	1171475	N 60 E	45 N
CU-22	743740	1171815	N 70 E	55 N
CU-23	744098	1171642	N 35 E	45 N
CU-24	744152	1171400	N 75 E	60 N

Continuación Tabla 4.

PUNTO	Coordenadas(UTM)		RUMBO	BUZAM.
	ESTE	NORTE		
CU-25	744412	1171500	N 75 W	45 N
CU-26	744585	1171410	N 40 W	20 N
CU-27	744765	1171315	N 40 W	20 N
TG-01	744650	1174700	N 80 E	80 N
TG-02	745290	1174525	N 60 E	55 N
NGT-01	745810	1174555	N 80 E	55 N
NGT-02	748450	1175275	N 60 W	70 N
NGT-03	747890	1174287	N 80 E	80 N
NGT-04	747610	1174005	N 65 E	70 N
NGT-05	747005	1173650	N 85 E	60 N
NGT-05	747005	1173650	N 75 E	65 N
NGT-06	747015	1173405	N 70 E	75 N
NGT-07	747095	1173070	N 55 E	80 N
NGT-08	746748	1173220	N 82 E	50 N
NGT-09	746560	1173130	E - W	40 N
NGT-10	746290	1172960	N 45 E	44 N
NGT-11	746140	1172440	N 80 W	35 N
NGT-12	746462	1172060	N 80 E	50 N
NGT-13	746545	1171840	N - S	V
NGT-14	746589	1171665	N 50 E	45 N
NGT-15	746180	1171601	N 70 E	50 N
NGT-16	746488	1171310	N 70 E	55 N
NGT-17	746380	1170823	N 80 E	35 N
NGT-18	746240	1170663	N 75 E	V
NGT-19	746610	1170390	E - W	65 N
NGT-19	746610	1170390	N 80 W	60 N
NGT-20	746602	1170130	N 75 E	45 N
NGT-21	746700	1169788	N 70 E	60 N
NGT-22	746860	1169570	E - W	60 N

Las siguientes foliaciones fueron tomadas de diversos autores como complemento para la cartografía geológico-geotécnica, por este motivo tienen una numeración diferente.

Tabla 5. Foliaciones tomadas de diversos autores

<b>NAIGUATÁ</b>				
<b>PUNTO</b>	<b>ESTE</b>	<b>NORTE</b>	<b>RUMBO</b>	<b>BUZAM.</b>
P1	748540	1175200	N 71 W	75 N
P2	748640	1175170	N 77 E	81 S
P3	748400	1174940	N 45 E	75 N
P4	746795	1173020	N 85 E	65 N
P5	746480	1172350	N 58 E	40 N
P6	747340	1172180	N 58 E	50 N
P7	748700	1172115	N 70 W	70 N
P8	747110	1171660	N 81 E	65 N
P9	747345	1171315	N 56 E	80 N
P10	746380	1171450	N 50 E	60 N
P11	746520	1171020	N 55 E	80 N
P12	746020	1170600	N 76 E	80 N
P13	745840	1170310	E - W	70 N
P14	744125	1170300	N 79 W	50 N
P15	743825	1169900	N 71 E	50 N
P16	743500	1169725	N 72 E	50 N
P17	743380	1169500	N 70 E	80 N
P18	744045	1169720	N 71 E	70 N
P19	744700	1166310	N 54 E	50 S
P20	744900	1165810	N 60 W	17 N
P21	746640	1170550	N 72 W	70 N
P22	746720	1170430	N 80 E	80 N
P23	747160	1170350	N 72 E	70 N
P24	747215	1170200	N 85 W	70 N
P25	747040	1170250	N 75 E	75 N
P26	747215	1170200	N 70 E	80 N
P27	746130	1169815	N 63 E	70 N

Continuación Tabla 5.

<b>TANAGUARENA</b>				
P47	741270	1173790	N 25 E	35 S
P48	741380	1173835	N 56 E	40 S
P49	741790	1173840	N - S	22 E
P50	740940	1172680	N 78 W	45 S
P51	741400	1172765	N 85 W	45 N
P52	741000	1173885	N 20 W	21 S
<b>CARMEN DE URIA</b>				
P28	743020	1174060	N 56 E	60 S
P29	743270	1174155	N 63 E	80 N
P30	743600	1174095	N 56 E	53 N
P31	743485	1174200	N 60 E	50 N
P32	743345	1173860	N 32 E	70 N
P33	743370	1173420	N 42 E	50 S
P34	743080	1173360	N 80 E	42 S
P35	740780	1173710	N 66 E	42 S
P36	740560	1173220	N 28 E	30 S
P37	740130	1173040	N 70 E	30 S
P38	739840	1172965	N 60 E	65 N
P39	740095	1173750	N - S	25 E
P40	742720	1166700	N 73 E	60 S
P41	742375	1166400	E - W	70S
<b>EL TIGRILLO</b>				
P42	744185	1174130	N 38 E	89 N
P43	744440	1174140	N 80 E	76 N
P44	744450	1174300	N 16 E	86 N
P45	744560	1174380	N 80 E	75 N
P46	744900	1174330	N 69 E	14 S

CAPÍTULO VII  
*DESCRIPCIÓN DE LAS LADERAS*

**ORIENTACIÓN NATURAL DE LAS LADERAS**

La orientación natural de las laderas es un parámetro de gran importancia en el análisis de estabilidad del macizo rocoso, ya que determina el tipo de arreglo geométrico entre las discontinuidades y la superficie de la ladera, lo cual es un factor determinante en la ocurrencia de fallas por cuña, planar y/o volcamiento. Cabe destacar que esta orientación por sí sola, no implica una estabilidad determinada, sin embargo, la evaluación de la orientación de la ladera, junto con la pendiente y el tipo litológico, determinan el comportamiento cinemático del macizo rocoso.

**Clasificación de Las Laderas por Rangos**

La división de las laderas se llevó a cabo mediante la observación de las curvas de nivel en el mapa topográfico. La separación en rangos se realizó a través de un instrumento llamado Taludómetro, (Ver Fig.15) el cual consiste en una circunferencia dividida en 8 sectores de 45° cada uno. El Taludómetro se orienta hacia el norte y se observa la orientación preferencial de escurrimiento superficial de las laderas, la cual define el rango de las mismas.

Las cuencas del área de estudio se subdividieron en 54 laderas de la siguiente manera: Naiguatá 28, Carmen de Uria 17, Tigrillo 4, Tanaguarena 5. Las laderas fueron numeradas por cuenca, comenzando con la más cercana a la costa en el margen izquierdo del río o quebrada. Los resultados se muestran en el mapa de orientación natural de laderas (Ver anexo A).

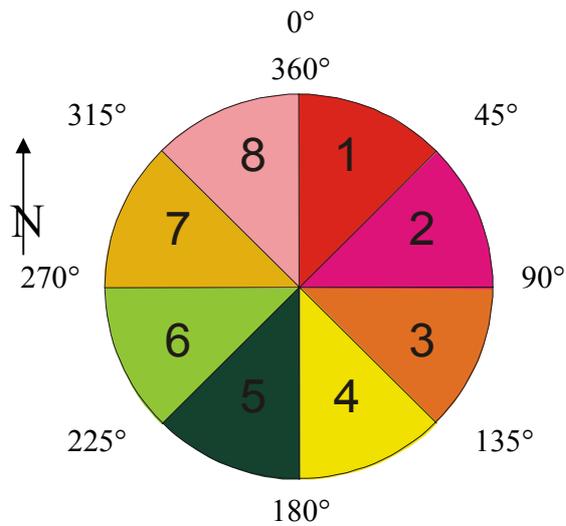


Fig.15 Taludómetro usado para definir los rangos de orientación natural de las laderas.

### **PENDIENTE (PESO=20%)**

El siguiente segmento tiene como objetivo evaluar las pendientes del terreno para construir el mapa clinométrico.

La pendiente es de gran importancia en la evaluación de la amenaza geológica, ya que afecta directamente la estabilidad de los taludes, controla la infiltración y facilita la ocurrencia de los procesos de remoción en masa.

La pendiente de la ladera y su relación con la orientación de las discontinuidades, es determinante en la estimación de la estabilidad que se presenta en el análisis cinemático del macizo rocoso. Cuando la pendiente del terreno es mayor que la de las discontinuidades y éstas cortan en la cara de la ladera, se genera un arreglo estructural geoméricamente inestable. Sin embargo, se condiseró necesario incluir el parámetro de la pendiente de manera separada en el análisis global de estabilidad, ya que se observó que en las zonas de alta pendiente es donde ocurrió el mayor número de movimientos de remoción, por acción de la gravedad

(deslizamientos, derrumbes y caída de bloques). En las zonas de menor pendiente predomina la acumulación y el movimiento de materiales clásticos influenciados por la presencia de agua.

### **Clasificación de la Pendiente por Rangos**

Para sectorizar las pendientes se utilizó un ábaco clinométrico. Desplazando este instrumento perpendicularmente a las curvas de nivel con diferencia vertical de 100m, se registra los diferentes rangos (Ver fig 16).

Para construir el ábaco se usó la siguiente formula:

$$P = V / H \quad ; \quad H = V / \text{Tg } \beta$$

*Donde:* P= pendiente; V= distancia vertical; H= distancia horizontal ;  $\beta$ =ángulo límite

Se determina la distancia horizontal que corresponde a cada rango para una distancia vertical de 100 metros y se determinan los límites en el ábaco.

$$\text{Rango 1= } DH = (100/\text{tag}45^\circ)/100 = 1\text{cm} < 1\text{ cm}$$

$$\text{Rango 2= } DH = (100/\text{tag}33^\circ)/100 = 1,53\text{cm} \text{ (1 -1,53 cm]}$$

$$\text{Rango 3= } DH = (100/\text{tag}18^\circ)/100 = 3,07\text{cm} \text{ (1,53- 3,07 cm]}$$

$$\text{Rango 4= } DH = (100/\text{tag}5^\circ)/100 = 11,4\text{cm} \text{ (3,07-11,4 cm]}$$

$$\text{Rango 5= } DH = (100/\text{tag}33^\circ)/100 = 1\text{cm} > 11,4\text{ cm}$$

Además, se construyeron tres ábacos con diferencia vertical de 25, 50 y 75 metros, los cuales se utilizaron junto con una mesa de luz para corregir los cambios de pendiente imperceptibles por el ábaco con diferencia vertical de 100 metros.

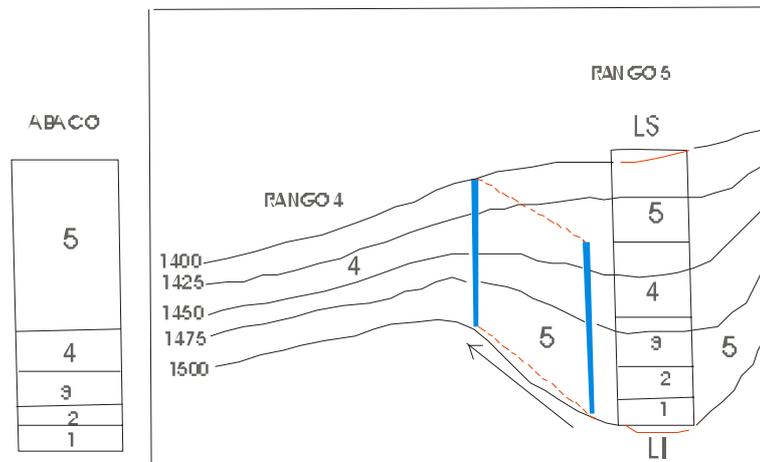


Fig. 16 Desplazamiento del ábaco clinométrico

En la siguiente tabla se muestran los rangos de pendientes establecidos:

Tabla 6. Rangos de Pendiente

RANGOS	GRADOS	ÁREAS
1	> 45°	PENDIENTE MUY ALTA
2	33° - 45°	PENDIENTE ALTA
3	18° - 33°	PENDIENTE INTERMEDIA
4	5° - 18°	ÁREAS SEMIPLANAS
5	0° - 5°	ÁREAS PLANAS

Para el cálculo del valor porcentual parcial de estabilidad se le asignó a cada rango un índice entre 0 y 1 el cual se multiplicó posteriormente por el valor asignado a la variable pendiente (20%). El índice "0" corresponde a las pendientes muy altas y el índice "1" a las zonas planas (Ver tabla 7).

Tabla 7. Rangos de pendiente, índices y valores ponderados

DESCRIPCIÓN	PLANAS	SEMIPLANAS	INTERMEDIAS	ALTAS	MUY ALTAS	
RANGOS	5	4	3	2	1	
GRADOS	0°	5°	18°	33°	45°	90°
ÍNDICE	1	0,75	0,5	0,25	0	
VALOR PONDERADO	20	15	10	5	0	

### DISTRIBUCIÓN DE LA PENDIENTE EN EL ÁREA DE ESTUDIO

En las cuencas estudiadas se observó que la pendiente sigue la siguiente tendencia:

- a) Las pendientes van aumentando de rango de la línea de costa hacia la Fila Maestra, es decir, en la cuenca alta se presentan laderas con pendientes más abruptas (Ver Tabla 8).
- b) Las áreas planas y semiplanas se encuentran en las zonas próximo costeras creadas por la acumulación de abanicos aluviales coalescentes, terrazas aluviales y fondos de valle. Además, se observan áreas semiplanas en el tope de las colinas y estribos con topes acolinados que han sido aplanados por la erosión intensa.
- c) Las áreas de pendiente intermedia se presentan mayormente a lo largo de las estribaciones y en laderas donde los drenajes son poco encajados.

- d) Las áreas de pendientes altas dominan en general las cuencas del área de estudio y se distribuyen uniformemente en toda la zona (Ver fig. 17).
- e) Las áreas de pendiente muy alta se ubican próximas a los ejes de los ríos principales y sus afluentes más importantes, así como en la cabecera de los mismos que nacen en la Fila Maestra. La intensa socavación y encajamiento del sistema de drenaje aunado a la tectónica generan pendientes muy altas (Anexo B).
- f) El porcentaje sobre el área total de la cuenca de los rangos de pendiente, es muy similar en las cuencas estudias (Ver fig. 17).

Tabla 8. Distribución de la pendiente en las cuencas.

Cuenca	Cuenca Baja	Cuenca Media	Cuenca Alta
Tanaguarena	2++ 1- 4-	2+ 3°	2++
Carmen de Uria	3++ 2° 4-	2++ 1- 3-	2+ 3°
Tigrillo	2+ 3°	2+ 1°	2++
Naiguatá	2++ 3° 4- 5-	2++ 1° 3-	1+ 2° 3-

++ Muy Dominante    + Dominate    ° Frecuente    - Poco Frecuente

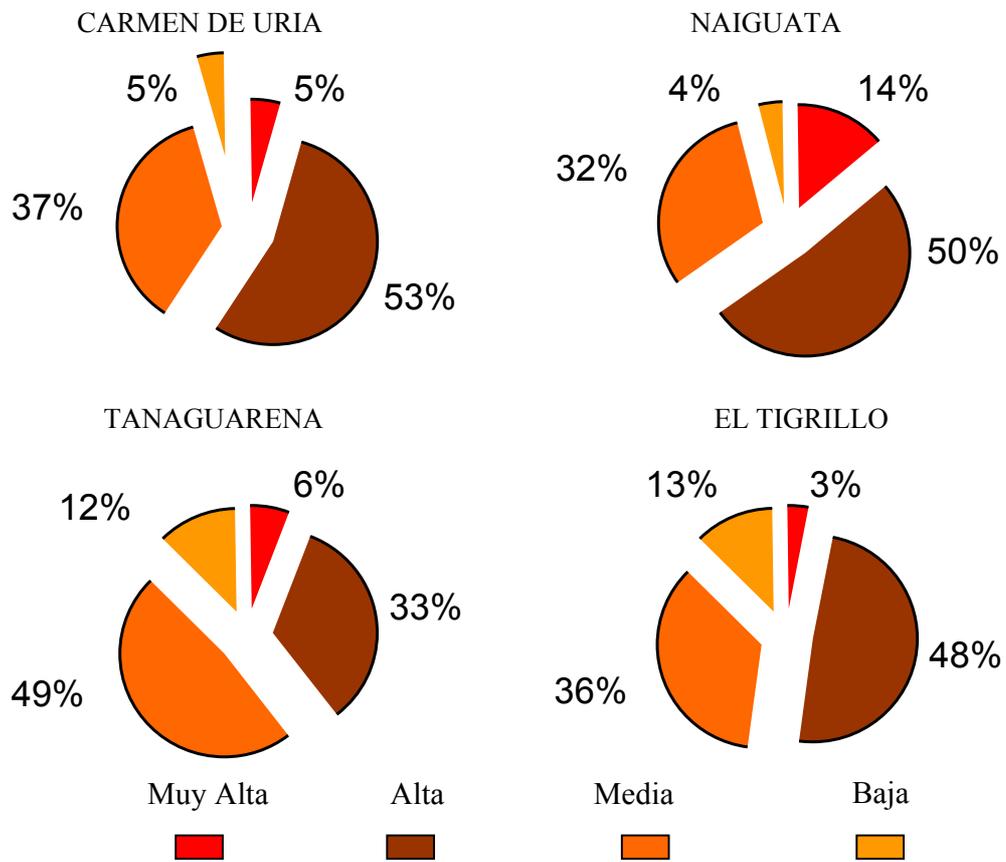


Fig.17 . Porcentajes de los rangos de pendiente sobre el área total de la cuenca

## CAPITULO VIII

### ***GEOMORFOLOGÍA (PESO=15%)***

El norte de Venezuela se encuentra en el margen de una zona de contacto entre las placas de Sudamérica y el Caribe. La transpresión de la litósfera oceánica del Caribe durante el Terciario ha controlado la evolución geológica, tectónica y sísmica del territorio, desarrollándose estructuras geológicas frágiles y complejas. Los planos de falla delimitan a los bloques de una estructura de horst y graben propuesta por SINGER (1977) y están representados en la zona de estudio por escarpes de falla y ensilladuras alineadas E-W.

La Cordillera de la Costa, incorpora abundantes rasgos deformativos y morfologías empinadas, zonas de falla y diaclasas que originan terrenos geomecánicamente débiles. Aunado a estos factores internos o propios del macizo rocoso, se encuentran los factores externos, como la pluviosidad que actúa como detonante de grandes remociones.

Cada cierto tiempo y de manera recurrente, ocurren lluvias excepcionales en el Litoral Central, como las ocurridas en diciembre de 1999, consecuencia de una zona de alta presión atmosférica ubicada hacia el noreste del Océano Atlántico, que generó lluvias fuertes y prolongadas (911,1 mm en 3 días). Durante periodos de pluviosidad extrema se desencadenan grandes movimientos de remoción en masa que generan importantes volúmenes de sedimentos y modelan el relieve.

## INTERACCIÓN CLIMA - LITOLOGÍA

El régimen pluviométrico del Estado Vargas controla directamente la infiltración y el régimen de las aguas subterráneas, las cuales afectan la estabilidad de las laderas. Parte de la lluvia se infiltra y la otra fluye superficialmente. El agua infiltrada aumenta la saturación y determina la elevación del nivel freático, generando condiciones de inestabilidad en las laderas.

En las formaciones rocosas cubiertas de suelos residuales arcillosos como en el caso de las zonas conformadas por el Esquisto de Tacagua, la infiltración se reduce y la escorrentía superficial aumenta, lo cual genera la erosión concentrada en el sistema de drenaje. La alteración del esquisto y el gneis de San Julián origina suelos arenosos, muy permeables que facilitan la infiltración en periodos lluviosos, generando la activación de deslizamientos y derrumbes. Estas diferencias en el proceso de infiltración indican que el tiempo que se requiere para que una lluvia produzca un deslizamiento es mayor en los suelos limo-arcillosos del esquisto de Tacagua que en los suelos arenosos del esquisto de San Julián; “El tiempo es inversamente proporcional a la permeabilidad” (Alonso 1995).

El régimen de infiltración dentro del macizo rocoso metamórfico del Ávila, está controlado principalmente por los sistemas de fallas y diaclasas. En general las rocas que constituyen a Tacagua y San Julián se encuentran altamente fracturadas, lo cual favorece en gran forma la infiltración, generando suelos residuales. En contraposición el gneis de Peña de Mora que es de naturaleza masiva y con una frecuencia de fracturamiento menor que limita la infiltración y el desarrollo del regolito y suelos residuales.

## **CLASIFICACIÓN DE LOS PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA**

Los movimientos de remoción en masa son procesos de movilización lenta o rápida de grandes volúmenes de suelo, roca o ambos en diversas proporciones, por la fuerza de gravedad y son generalmente influenciados por la presencia de agua, o movimientos telúricos.

La ocurrencia de un tipo de procesos de remoción en masa está directamente relacionada con la existencia del material disponible para ser removido. En este sentido, juega un papel primordial las características lito – estructurales de la roca o en el caso de suelos, sus características granulométricas y texturales.

Es necesario diferenciar los procesos de remoción en el que el material rocoso o terroso se desplaza en estrecho contacto intergranular, y los procesos de flujo en el que el material es transportado a través de un medio fluido.

En este trabajo adoptamos la clasificación de Whittow (1986) que realiza una representación triangular a partir de tres estados iniciales básicos, en respuesta a modificaciones por aumento gradual en el contenido de agua e incremento en el movimiento de material comprometido (suelo/roca) (Ver fig.18).

Los principales procesos que se identificaron en la zona de estudio en orden de magnitud decreciente son: deslizamiento de rocas, derrumbes de roca, flujo de detritos, flujo de barro, caída de bloques, erosión en surco y erosión laminar. Éstos se describirán a continuación.

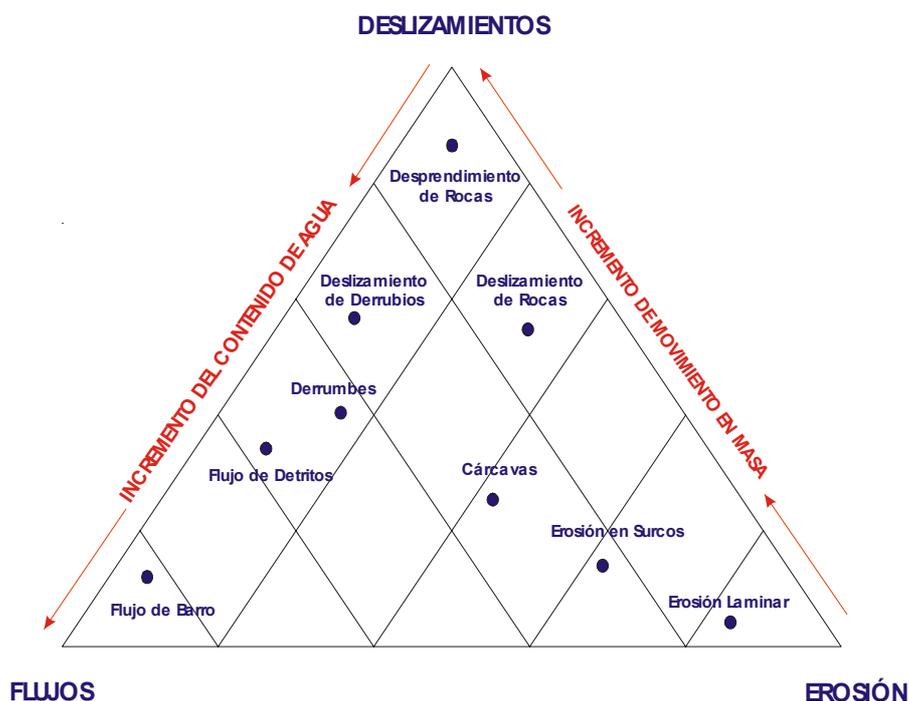


Fig. 18 Clasificación de los procesos de remoción en masa.

Tomado y modificado de Whittow (1986).

### Deslizamiento

Este movimiento se caracteriza por el desplazamiento a lo largo de una o varias superficies de rotura semicirculares, al superarse la resistencia al corte. Los deslizamientos pueden ser de una sola masa que se mueve o puede estar formado por varias unidades semi-independientes. Los deslizamientos generan claras expresiones morfológicas y son fáciles de reconocer: escarpes, grietas y deformaciones frescas.

Existen varios factores que contribuyen a la ocurrencia de deslizamientos; Factores endógenos: litología, meteorización, discontinuidades (estratificación, foliación, fallas y diaclasas), Factores exógenos: fuerza de gravedad, precipitaciones, sismos y la acción antrópica.

Los deslizamientos se clasifican de acuerdo a la geometría de la superficie de falla y al material comprometido. En la zona se reconocieron los siguientes tipos:

### a) Deslizamiento Laminar o Traslacional

Consiste en que el movimiento de la masa de suelo se desplaza hacia abajo, a lo largo de una superficie más o menos plana o ligeramente ondulada y tiene muy poco a ninguna rotación. En muchos deslizamientos de traslación la masa se desmorona y puede convertirse en flujo. En el campo se observó que este tipo de movimiento se desarrolla principalmente en el contacto entre los planos de foliación y el suelo residual en laderas muy empinadas con foliación en cuesta de buzamiento (Ver fig.19).

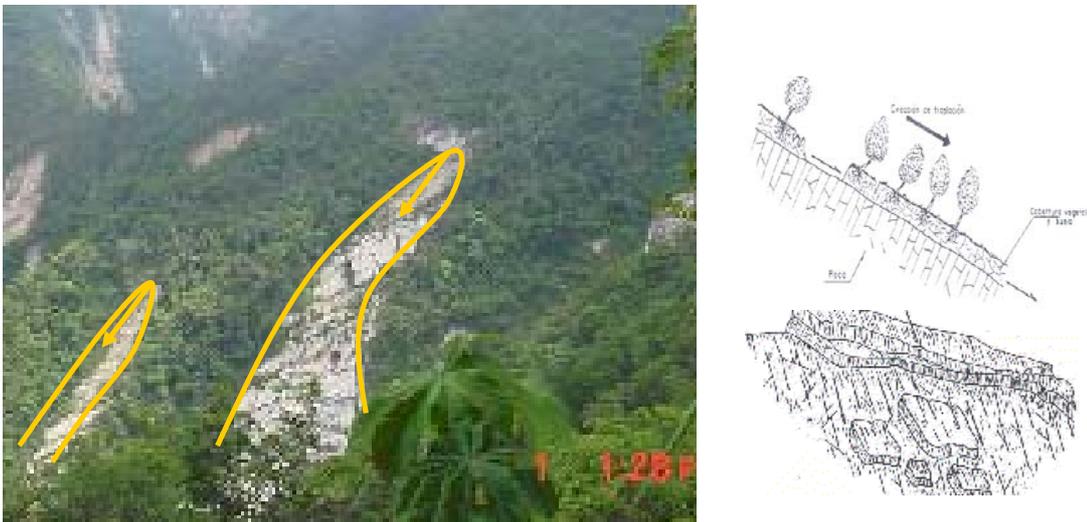


Fig.19 Deslizamiento Traslacional.

### b) Deslizamiento de Derrubios

En este caso el movimiento ocurre a través de superficies irregulares o semicirculares, dependiendo de la uniformidad del material. En la zona de estudio ocurren mayormente en los suelos residuales y en las rocas alteradas y fracturadas del esquistos de San Julián y Tacagua (Ver fig.20). El movimiento produce un área superior de hundimiento y otra inferior de deslizamiento, generándose frecuentemente flujos de detritos por debajo del pie del deslizamiento.

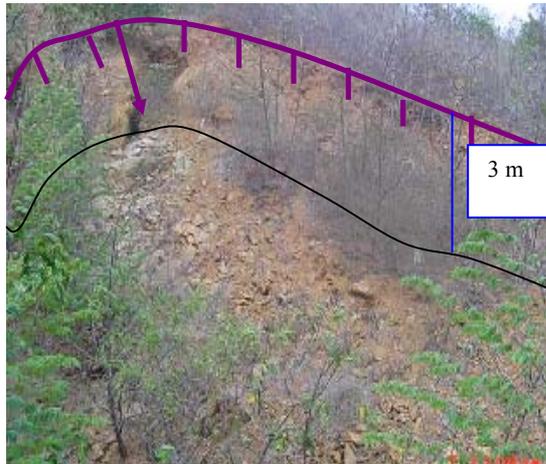


Fig.20 Deslizamiento de derrubios en la Cuenca de Carmen de Uria.

### c) Derrumbes de Roca

Es el desprendimiento de bloques de roca desde una ladera de alta pendiente en caída libre, al menos en parte de su trayectoria; generalmente están vinculados a la pérdida de resistencia en los planos de discontinuidades por la presencia de agua (Ver fig.21).



Fig.21 Derrumbe en la Cuenca del río Naiguatá.

Eventualmente todos los tipos de deslizamientos nombrados anteriormente pueden desencadenar posteriores flujos de detritos y/o barro. Si el material deslizado impacta contra el fondo del valle con suficiente energía, se va fragmentando por el transporte y al perder energía potencial aumenta su energía cinética evolucionando en un flujo. El inicio de un flujo se ve favorecido por la saturación de los materiales deslizados, la altura del deslizamiento, las altas pendientes de las laderas y pueden llegar a adquirir un comportamiento torrencial.

### **Flujos**

Los flujos son movimientos de masa lentos o rápidos, de material sin cohesión en suelos muy susceptibles a perder resistencia con el movimiento, las partículas se movilizan como un fluido sin presentar superficies de rotura definida (Ferrer 1987).

El principal agente desencadenante de los flujos es el agua, que al sobresaturar los materiales comprometidos produce la pérdida de los contactos intergranulares. Los principales tipos son: flujo de detritos y flujo de barro.

#### **d) Flujo de Detritos**

Contienen 50% de grava, bloques de roca y restos orgánicos que fluyen rápidamente ladera abajo confinados en cursos preexistentes (Van Dine, 1985). Las lluvias de gran intensidad inducen este tipo de movimientos, especialmente en ambientes desprovistos de vegetación. (Ver fig.22)



Fig. 22 Flujo de detritos en la cuenca de Carmen de Uria.

**e) Flujo de Barro**

Está constituido por suelos muy finos y se originan comúnmente en zonas donde existen grandes espesores de suelo residual y/o transportados sin cobertura vegetal, en períodos de intensas lluvias. Los flujos de barro ocurren con velocidad variable y pueden llegar a ser bastante destructivos (Ver fig.23).



Fig.23 Flujo de Barro y detritos en el abanico aluvial del río Naguayá.

#### **f) Erosión Laminar**

Se produce por el impacto directo de las gotas de lluvia contra la superficie del suelo, complementada por la fuerza de la escorrentía, produciendo un lavado de la superficie del terreno como un todo sin formar canales definidos (Ver fig.24).



Fig.24 Erosión Laminar Cuenca de Tanaguarena.

#### **g) Erosión en Surcos**

Se caracteriza por la concentración del flujo de agua en surcos o caminos preferenciales, que transportan material de suelo y crean canales de poca profundidad generalmente paralelos.

#### **h) Erosión Concentrada en Cárcavas**

Las cárcavas reflejan el estado más avanzado de la erosión, poseen mayor profundidad, lo cual favorece el avance lateral y frontal por medio de desprendimientos en los taludes que forman el límite de la cárcava.

En la siguiente tabla se muestran los índices utilizados para obtener los valores ponderados parciales que serán usados en la sumatoria total de estabilidad.

Tabla 9. Índices y valores ponderados parciales utilizados para los procesos geomorfológicos.

PROCESOS GEOMORFOLÓGICOS PESO= 15%		
<i>Tipo</i>	<i>Índice</i>	<i>Valor Ponderado</i>
Erosión Laminar	0,7	11
Erosión Concentrada (erosión intensa, cárcavas)	0,5	8
Flujos con Denudación (Flujos superficiales, deslizamiento superficiales de derrubios)	0,14	2
Flujos con Denudación y Transporte de Rocas (deslizamientos de rocas, derrumbes, caída de rocas, volcamientos)	0	0

### **DISTRIBUCIÓN DE LOS PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA EN LA ZONA DE ESTUDIO**

Al observar el mapa geomorfológico se aprecia que la gran intensidad de procesos de remoción que se activaron en el Litoral Central, no ocurrieron de manera aleatoria y desordenada. La distribución espacial de los procesos está influenciada por la interacción clima – litología, es decir, por la meteorización diferencial sobre las distintas unidades litodémicas aflorantes y el régimen de lluvias que controla la infiltración. En este orden de ideas podemos decir que los procesos de remoción en masa se distribuyen de manera general de la siguiente forma:

**(a) Unidad litodémica aflorante: Esquisto de Tacagua**

En esta unidad predominan los deslizamientos de derrubios y los flujos de barro y detritos. La naturaleza esquistosa, el alto fracturamiento y la poca competencia de la roca originan materiales clásticos de tamaño reducido.

Las rocas se presentan muy fracturadas y alteradas, con un perfil de meteorización espeso de suelos secos, oxidados y muy friables generalmente desprovistos de vegetación, lo que favorece la erosión intensa y los deslizamientos de derrubios (Ver fig. 25).



Fig.25 Meteorización del Esquisto de Tacagua en la Cuenca de Uria.

**(b) Unidad Aflorante: Complejo San Julián**

En esta unidad el material producto de la alteración es de textura granular, a veces parecen verdaderas arenas playeras de color blanco y ricas en cuarzo; este material debido a su permeabilidad favorece la infiltración de las aguas de lluvia; el suelo se satura de agua y genera derrumbes y deslizamientos con mucha frecuencia.

El material comprometido en la remoción es mucho más grueso y es frecuente encontrar bloques de roca de gran tamaño acumulados en el pie de los deslizamientos y derrumbes. Además, se observa un gran número de flujos de detritos que ocurrieron por la movilización de bloques, los cuales se encuentran principalmente en el cauce de las quebradas que alimentan el drenaje principal de la cuenca.

**(c) Unidad Litodémica Aflorante: Augengneis de Peña de Mora**

Esta unidad aflora en la parte media y alta de las cuencas hidrográficas de la zona de estudio. Se ubica en un ambiente de bosque tropical húmedo, por lo que no se generan importantes espesores de suelo. El material de alteración es de textura granular y de poco espesor, lo cual favorece la infiltración del agua de lluvia que se introduce por las fracturas de la roca, disolviendo el material cementante y ocasionando así la separación y caída de grandes bloques (Ver fig. 26). Además, se observó el desarrollo frecuente de deslizamientos laminares, principalmente en las superficies de contacto entre la roca y el suelo residual, en laderas con pendientes altas.

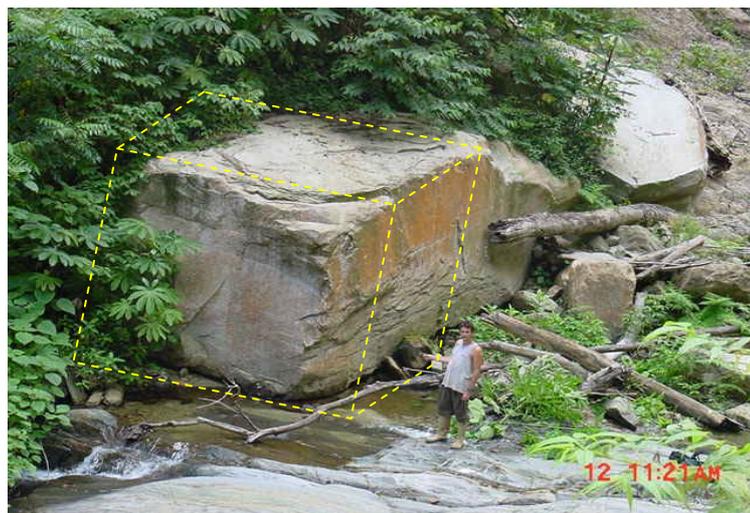


Fig.26 Bloque de Augengneis Limitado por Diaclasas Ortogonales.

CAPITULO IX  
**ANÁLISIS DE RESULTADOS**

**ANÁLISIS CINEMÁTICO (Peso=25%)**

En el siguiente capítulo se realiza el análisis cinemático de las 54 laderas en las cuales se dividió el área de estudio. Las estructuras están expresadas por dos números mediante la notación americana dip, dip direction. Los planos de foliación y diaclasas que se plotean en la red equiareal son las respectivas tendencias de múltiples mediciones en cada ladera que se obtuvieron a través del programa esteronet.

Las laderas están definidas por la orientación preferencial de escurrimiento superficial, la cual es aproximadamente perpendicular a las curvas de nivel en cada ladera e igualmente se expresan con la notación dip, dip direction. Las variaciones en la pendiente dentro de la ladera son expresadas por medio de tres círculos mayores con inclinación de 28, 40 y 70 grados, que corresponden a los valores promedios de los rangos de pendientes medias, altas y muy altas. En la tabla 10, se muestra la leyenda de los símbolos utilizados en el análisis cinemático.

Se utilizaron los valores empíricos para el ángulo de fricción interna sugeridos para Venezuela por JIMENEZ, SALAS (1975). Para el esquisto descompuesto de Tacagua  $\phi_1=25^\circ$ , esquisto y gneis cuarzo-plagioclásico-micáceo (Complejo San Julián)  $\phi_2=34^\circ$ , Augengneis (Peña de Mora)  $\phi_3=44^\circ$ , y para el Metagranito  $\phi_4=48^\circ$ . (Metagranito de Naiguatá).

Se evaluó el comportamiento de la tendencia principal de foliación y diaclasas dentro de cada ladera, tomando en cuenta las condiciones cinemáticas de falla planar, falla por volcamiento y falla en cuña. Además, se determinan los casos de comportamiento potencialmente inestable, estable o estabilidad moderada.

Tabla 10. Símbolos utilizados en el análisis cinemático	
	Tendencia principal de foliación.
	Tendencia de diaclasas.
	Orientación de la ladera (zonas de pendientes muy altas).
	Orientación de la ladera (zonas de pendientes altas).
	Orientación de la ladera (zonas de pendientes medias).
	Sistema de diaclasas en condición de falla planar.
	Sistema de diaclasas en condición cinemática de falla por volcamiento.
	Foliación en condición cinemática de falla planar.
	Foliación en condición cinemática de falla por volcamiento.
	Intersección en condición cinemática de falla en cuña.

  
 Cabe destacar que el análisis cinemático está enfocado a la estabilidad del macizo rocoso y representa sólo 25% de la estabilidad total, ya que se considera que existen otros factores que influyen en la estabilidad de la ladera, como por ejemplo el estado físico de la roca y el efecto del clima sobre la litología.

  
  
 A continuación se presentan 54 figuras, donde se muestra el análisis cinemático realizado a cada ladera. La explicación de los mismos se colocó inmediatamente después de cada gráfico.



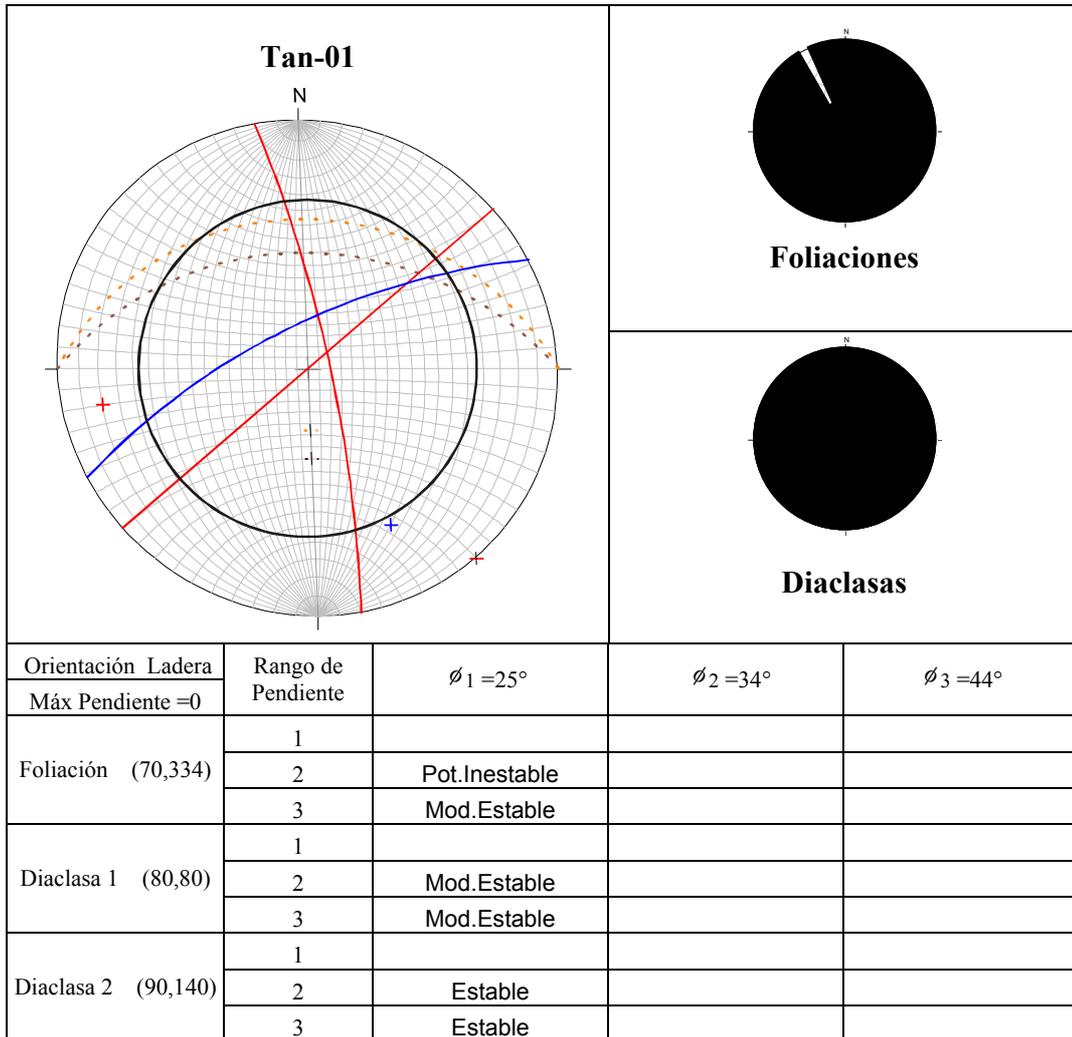


Fig. 27 Análisis Cinemático Ladera: Tan-01

La tendencia principal de foliación es subparalela a la orientación de la ladera y en cuesta de buzamiento, su buzamiento es mayor al ángulo de fricción  $\phi_1 = 25^\circ$  pero mayor a la inclinación del terreno y no cortan en la cara de la ladera, cinemáticamente es moderadamente estable, sin embargo en las zonas de pendiente en el rango 2 son potencialmente inestables, ya que el buzamiento es ligeramente mayor a la inclinación del terreno. Las tendencias de diaclasas de D1 y D2 se encuentran orientadas en condición cinemática estable.

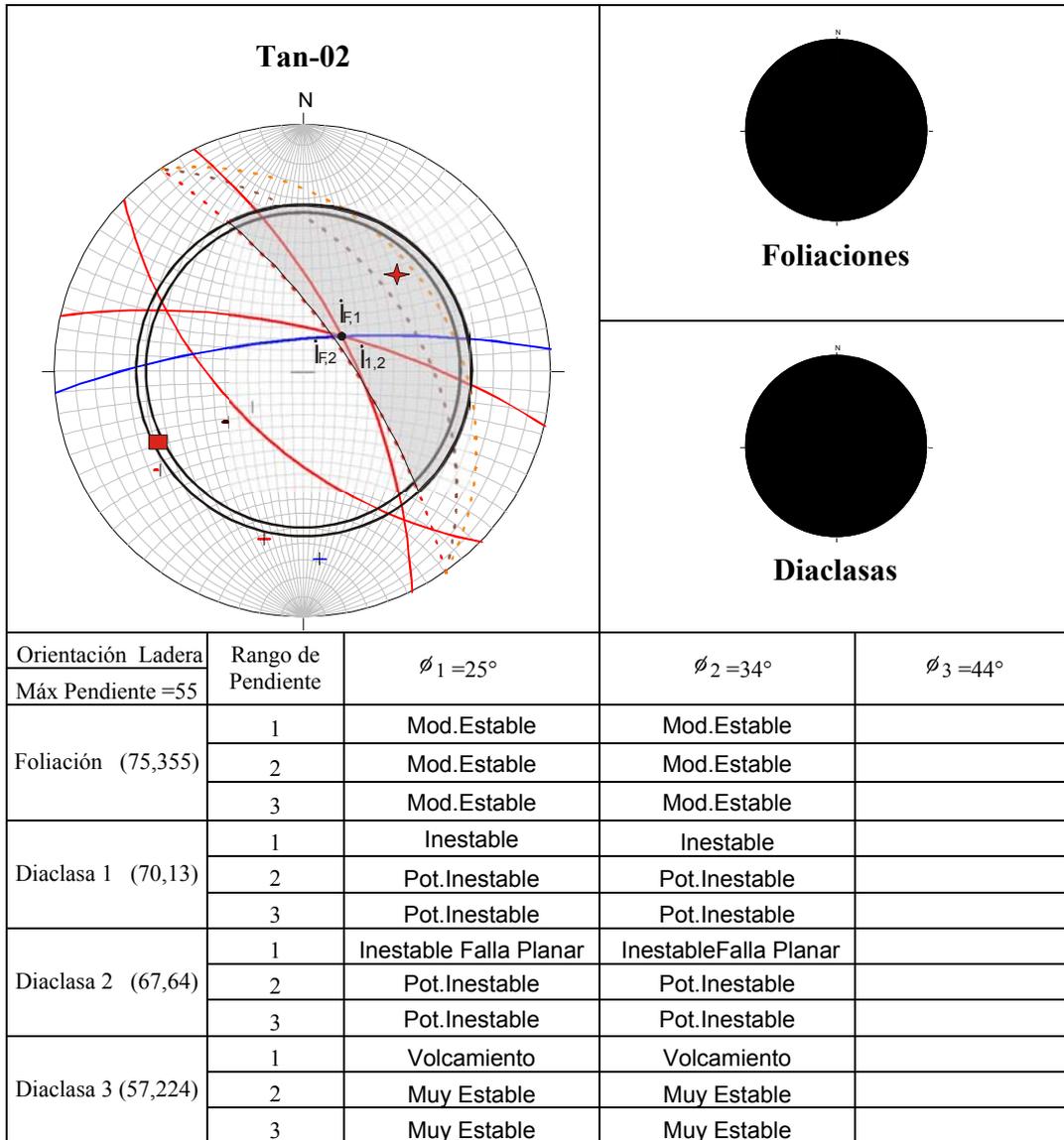


Fig. 28 Análisis Cinemático Ladera: Tan-02

La foliación es ortogonal a la ladera y es moderadamente estable. D1 está orientado en cuesta de buzamiento, lo cual es un arreglo inestable en las zonas con pendiente en el rango 1. D1 es potencialmente inestable en el rango 2 y 3 ya que su buzamiento es ligeramente mayor a la inclinación de la ladera. D2 es paralela a la ladera y cumple las condiciones de falla planar en el rango 1 y es potencialmente inestable en el rango 2 y 3. D3 es subparalela a la ladera y cumple la condición de

volcamiento en el rango 1, mientras que en el rango 2 y 3 se orienta en contracuesta de buzamiento en un arreglo muy estable. La intersección de la foliación con D1 y D2, y D1-D2 son potencialmente inestables por falla en cuña en las zonas con pendiente en el rango 1, donde el declive de las intersecciones es mayor al  $\phi_1 = 25^\circ$ ,  $\phi_2 = 34^\circ$  y menor a la inclinación de la ladera.

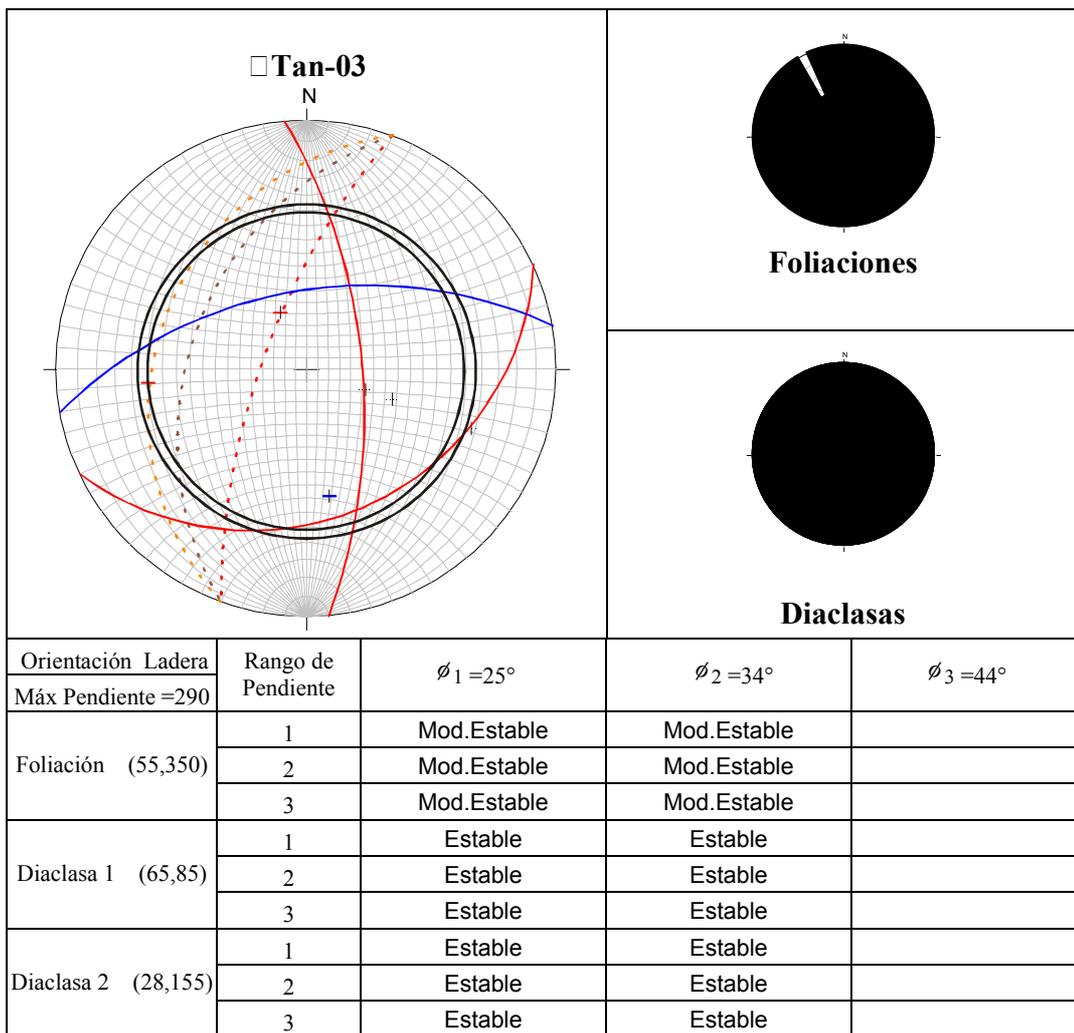


Fig. 29 Análisis Cinemático Ladera: Tan-03

La foliación es ortogonal a la orientación de la ladera lo cual es un arreglo estructural moderadamente estable. Las tendencias de diaclasas D1 y D2 están orientadas en contracuesta de buzamiento con respecto a la ladera y son estables.

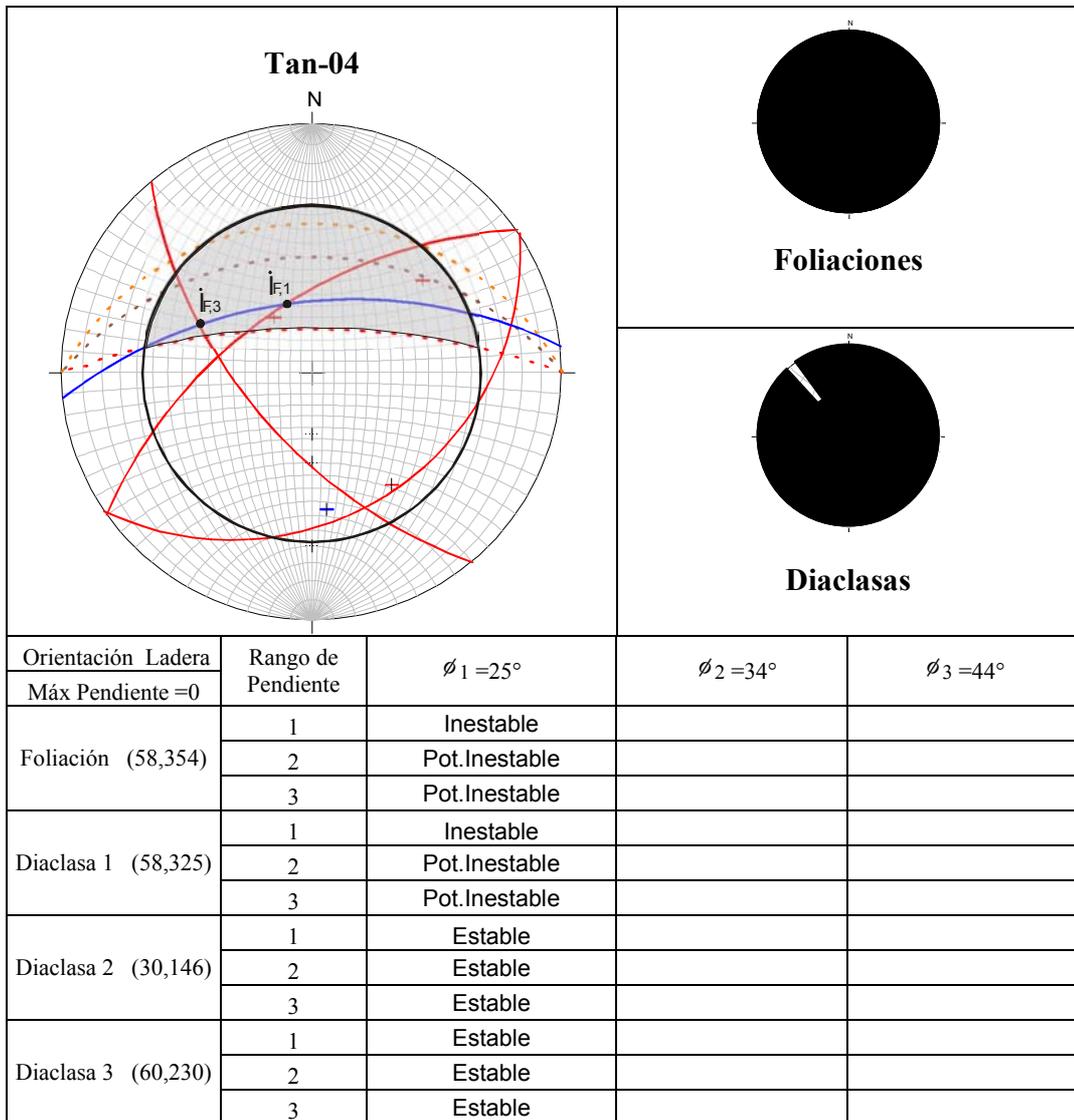


Fig.30 Análisis cinemático Ladera Tan-04

La foliación es subparalela a la ladera y se dispone en cuesta de buzamiento, además, el buzamiento es mayor al  $\phi_1 = 25^\circ$ , y menor a la inclinación de la ladera en las zonas de pendiente en el rango 1, lo cual es inestable y en las zonas de pendiente 2 potencialmente inestable, ya que el buzamiento es mayor a la inclinación de la

ladera. El sistema de diaclasas D1 está en cuesta de buzamiento y es inestable en el rango de pendiente 1. D2 y D3 están orientadas en contracuesta de buzamiento y son estables. La intersección de la foliación con D1 y D3 son potencialmente inestables por falla en cuña en las zonas con pendiente en el rango 1.

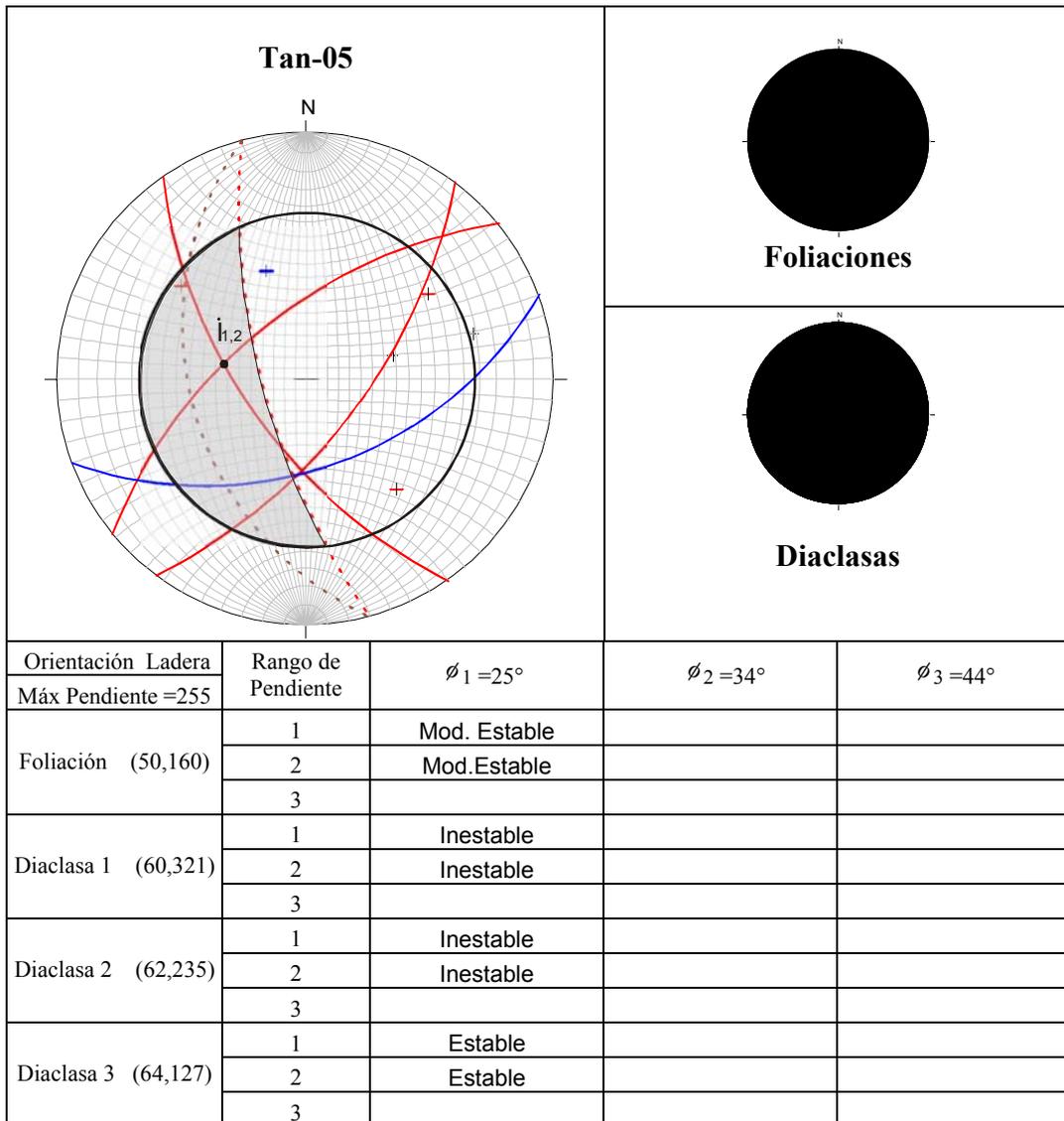


Fig.31 Análisis Cinemático Ladera: Tan-05

La foliación es ortogonal a la orientación de la ladera, siendo un arreglo estructural moderadamente estable. D2 está en cuesta de buzamiento y es cinemáticamente inestable. D3 se orienta en contracuesta y es estable. La intersección de la foliación

con las tendencias de diaclasas D1 y D2 son potencialmente inestables por falla en cuña en las zonas con pendiente en el rango 1, donde el declive de la intersección es mayor al  $\phi_1 = 25^\circ$  y menor a la inclinación de la ladera.

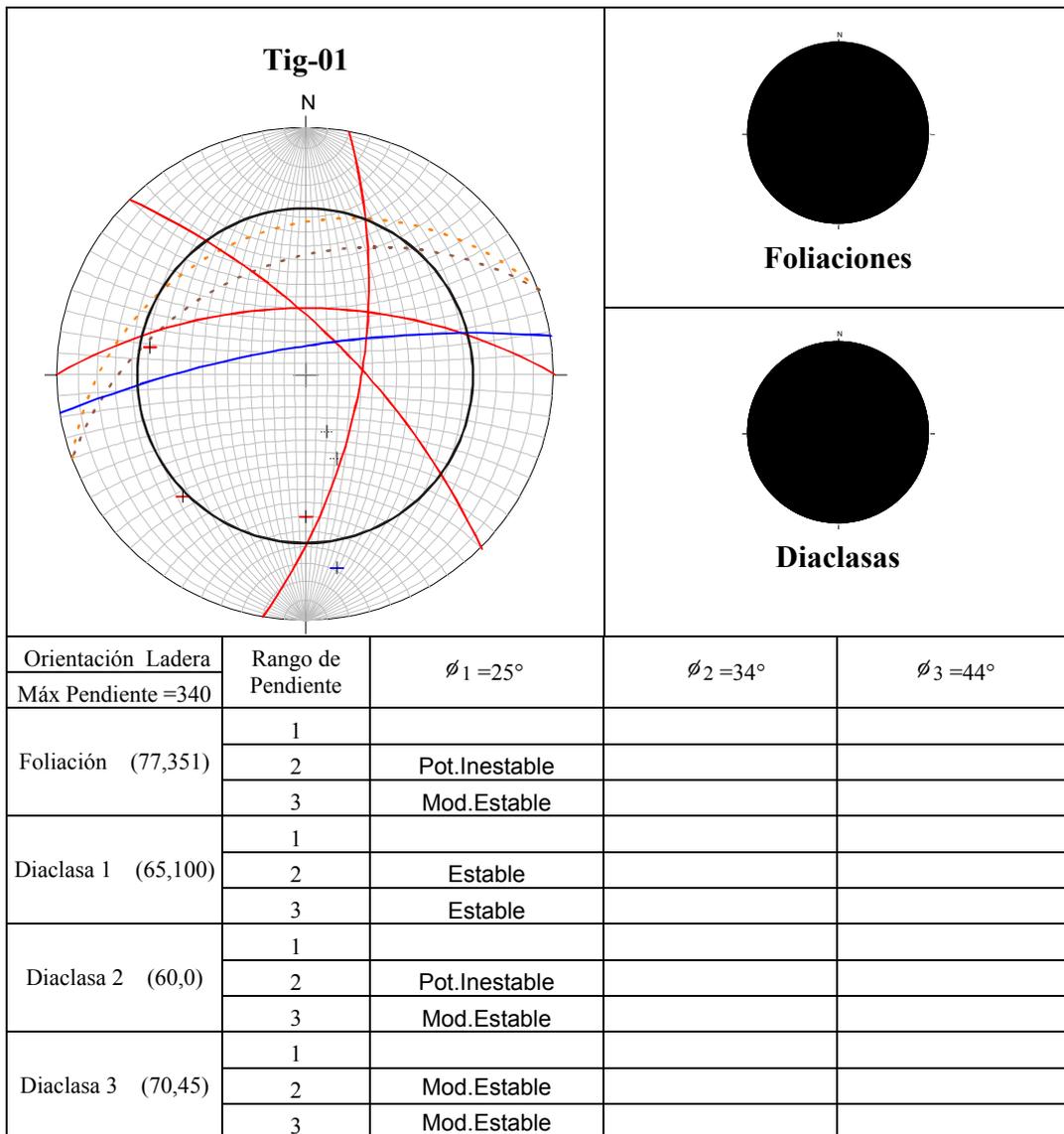


Fig.32 Análisis Cinemático Ladera: Tig-01

La foliación y la tendencia de diaclasas D2 son subparalelas a la orientación de la ladera y en cuesta de buzamiento, sus buzamientos son mayores al ángulo de fricción  $\phi_1 = 25^\circ$  pero mayor a la inclinación del terreno y no cortan en la cara de la

ladera, cinemáticamente es moderadamente estable, sin embargo en las zonas de pendiente en el rango 2 son potencialmente inestables, ya que el buzamiento es ligeramente mayor a la inclinación del terreno. D1 se orienta en contracuesta de buzamiento y es cinemáticamente estable. D3 es ortogonal a la orientación de la ladera lo que representa un arreglo moderadamente estable.

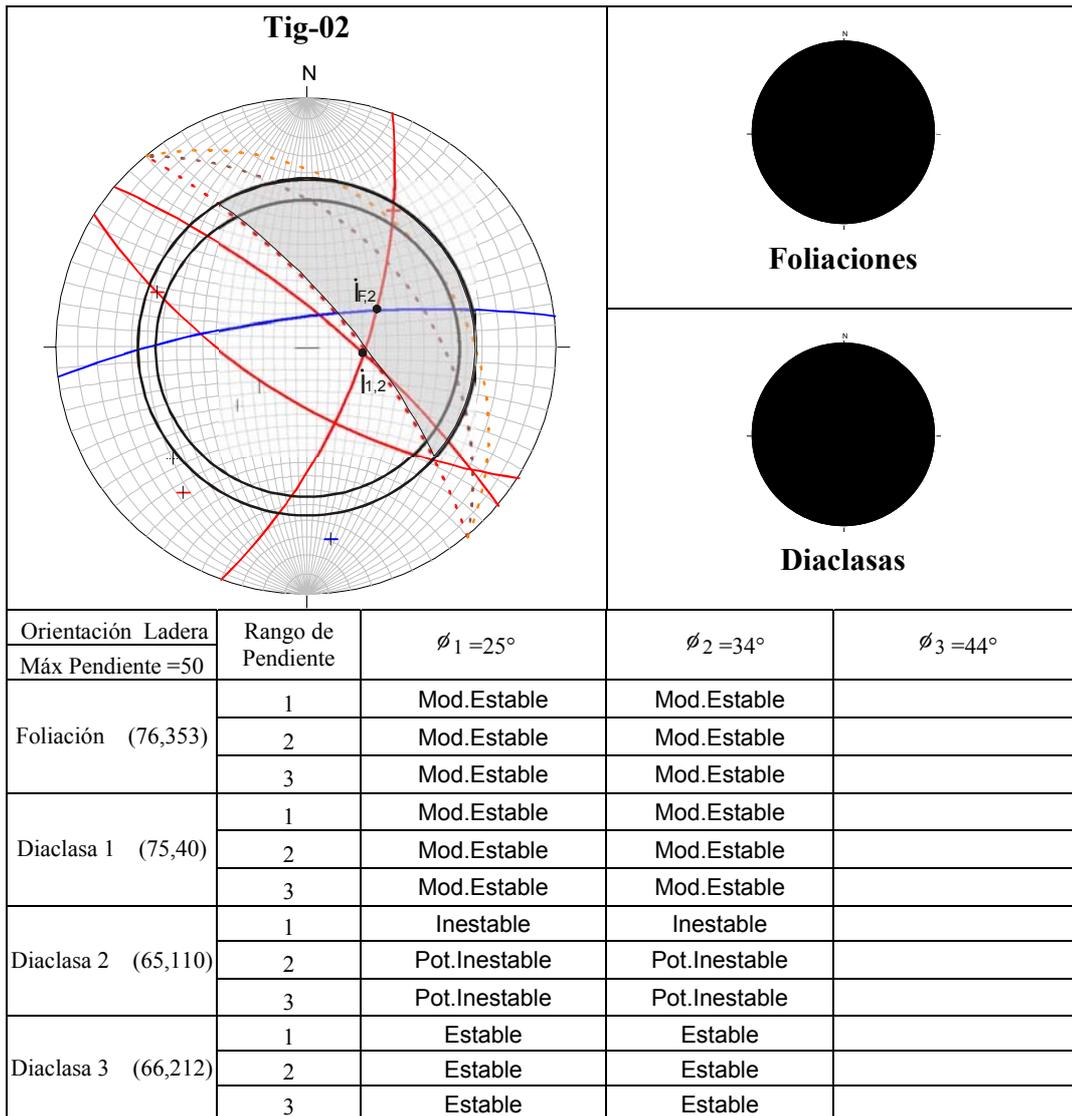


Fig.33 Análisis Cinemático Ladera: Tig-02

La foliación y la tendencia de diaclasas D1 son ortogonales a la orientación de la ladera lo cual es un arreglo geométrico moderadamente estable. D3 es estable, ya que se orienta en contracuesta de buzamiento. D2 es subparalela a la orientación de la

ladera y se dispone en cuesta de buzamiento, su buzamiento es mayor al ángulo de fricción interna  $\phi_1 = 25^\circ$  y  $\phi_2 = 34^\circ$  menor que la inclinación de la ladera en las zonas de rango 1 (inestable) y mayor en las zonas de rango 2 y 3 (potencialmente inestable) para ambas unidades litológicas. La intersección de la foliación con D1 y D1 con D2 son potencialmente inestables por falla en cuña en las zonas con pendiente en el rango 1.

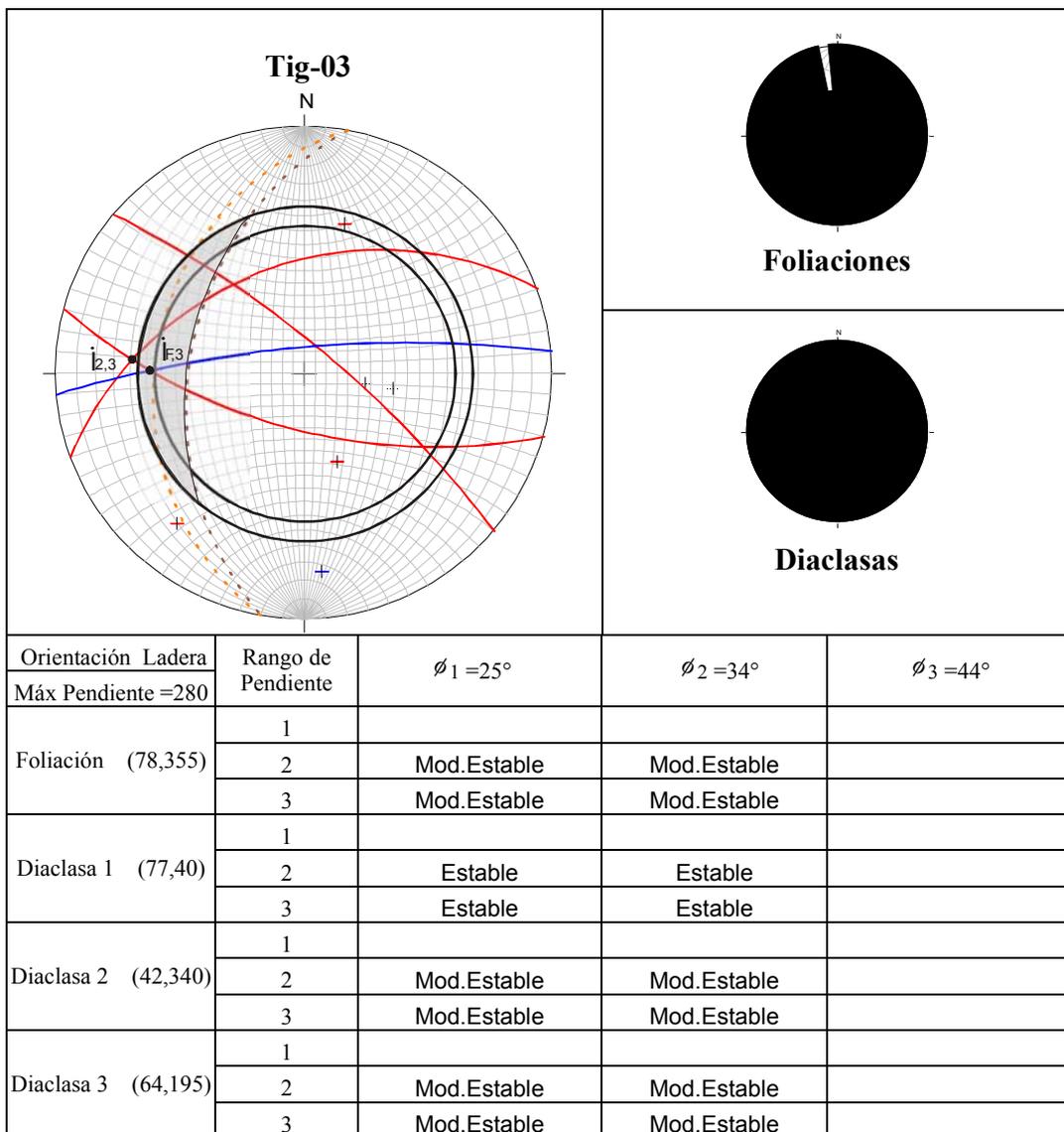


Fig.34 Análisis Cinemático Ladera: Tig:03

La foliación y las tendencias de diaclasas D2 y D3 son ortogonales a la orientación de la ladera, lo que se considera un arreglo geométrico moderadamente estable. D1 está orientada en contracuesta de buzamiento y es estable. Las intersecciones de la foliación con D3 y D2-D3 son potencialmente inestables por falla en cuña en las zonas con pendiente en el rango 1 y  $\phi_1 = 25^\circ$  donde el declive de la intersección es mayor al ángulo de fricción interna y menor a la inclinación de la ladera.

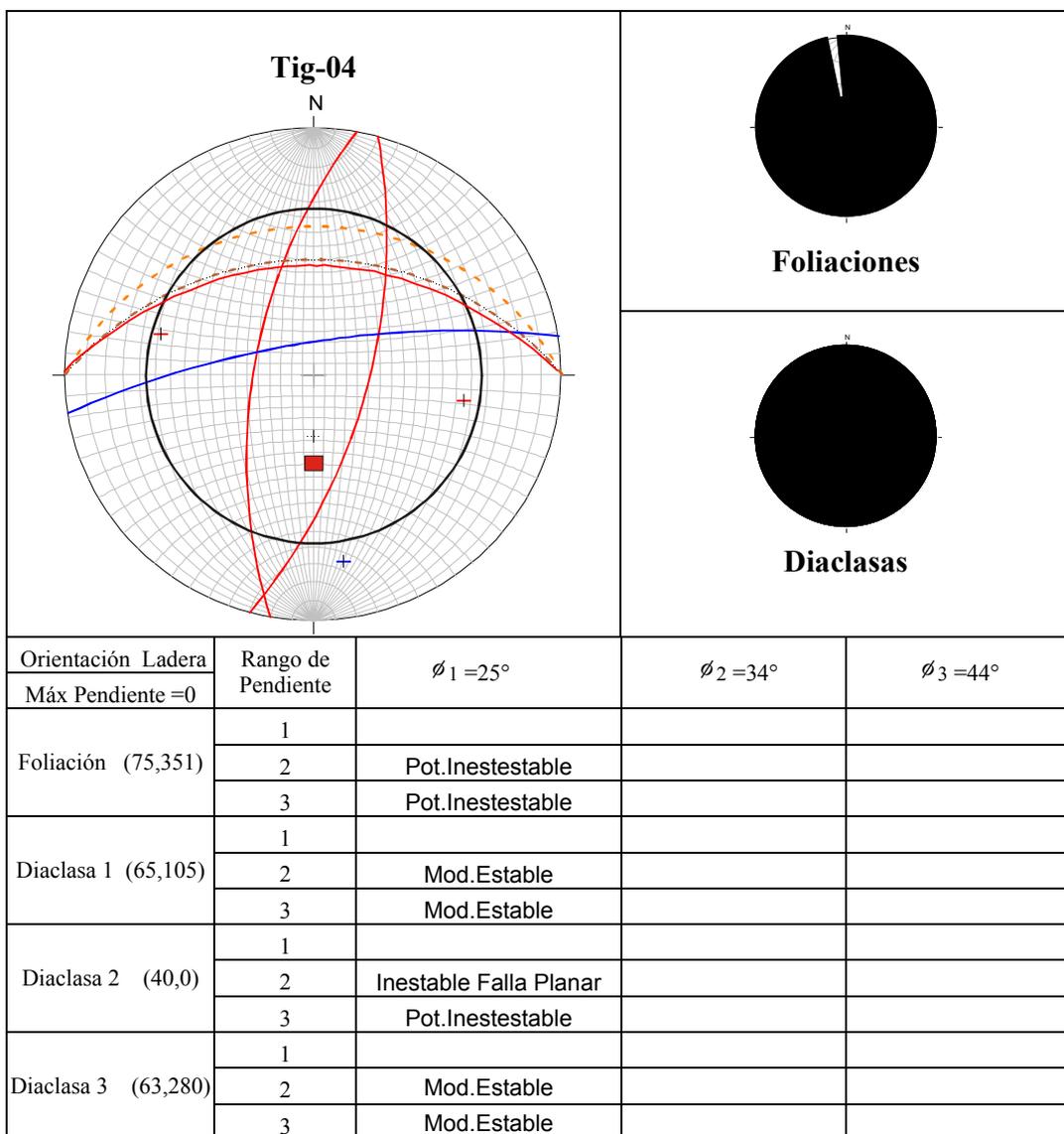


Fig.35 Análisis Cinemático Ladera: Tig-04

La tendencia principal de foliación es subparalela a la orientación de la ladera y en cuesta de buzamiento, su buzamiento es ligeramente mayor a la inclinación de la ladera por lo tanto se considera potencialmente inestable en las zonas con rango de pendiente 2. La tendencia de diaclasas D2 es paralela a la ladera y cumple las condiciones de falla planar en las zonas de pendiente dentro del rango 1, mientras que en el rango 2 es potencialmente inestable ya que la inclinación de la ladera es menor que el buzamiento de D2. D1 y D3 son casi ortogonales a la orientación de la ladera, lo cual es un arreglo geométrico moderadamente estable.

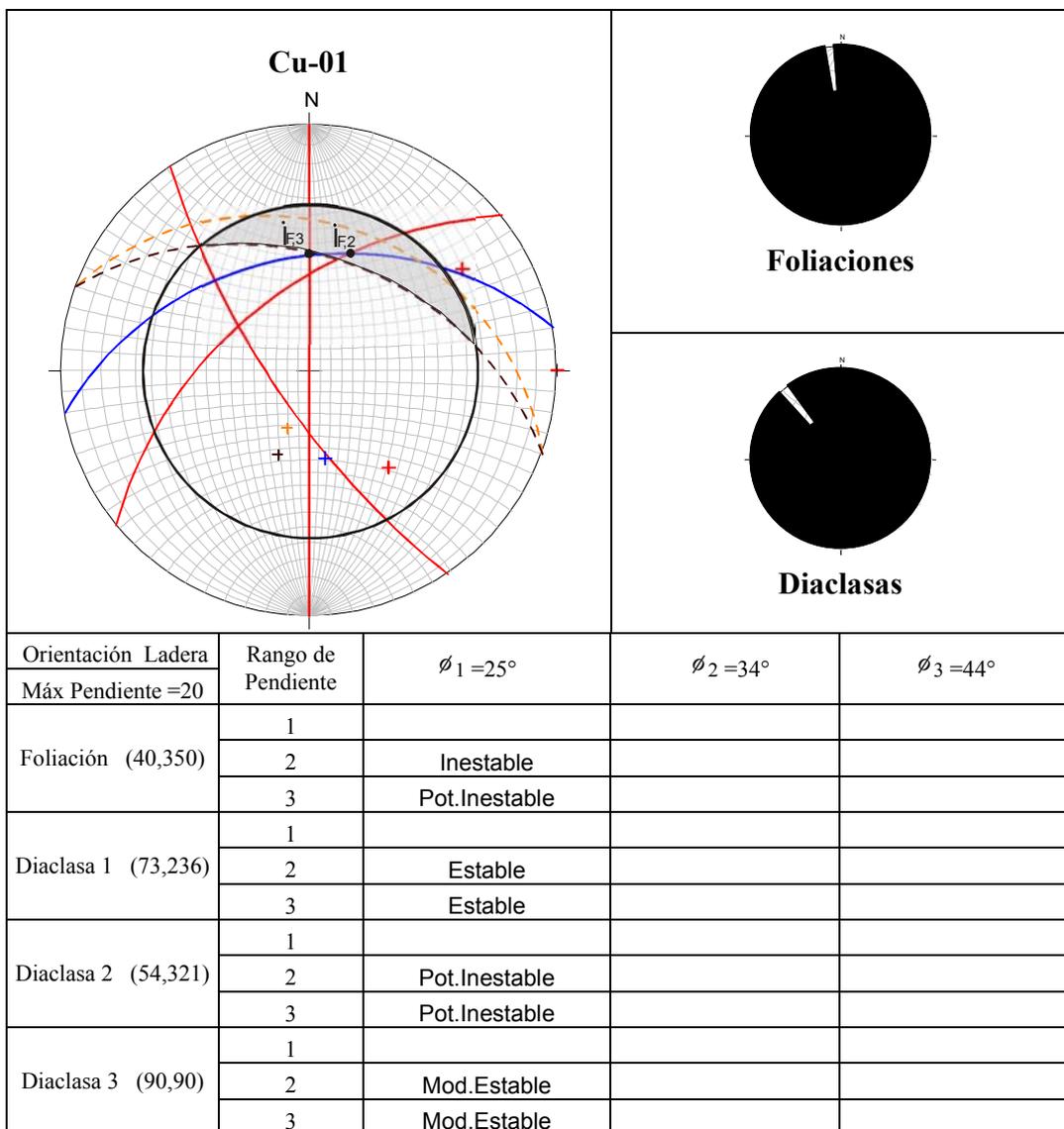


Fig.36 Análisis Cinemático Ladera: Cu-01

La foliación es subparalela a la orientación de la ladera y se dispone en cuesta de buzamiento considerándose inestable en las zonas de pendiente en el rango 2. Sin embargo, se observa un gran dispersión de la foliación y diaclasas debido a la deformación, esto se considera potencialmente inestable por falla circular. La intersección de las tendencias principales de diaclasas D1 y D2 son potencialmente inestables por falla en cuña en las zonas con pendiente en el rango 2, donde el declive de la intersección es mayor al  $\phi_1 = 25^\circ$  y menor a la inclinación de la ladera.

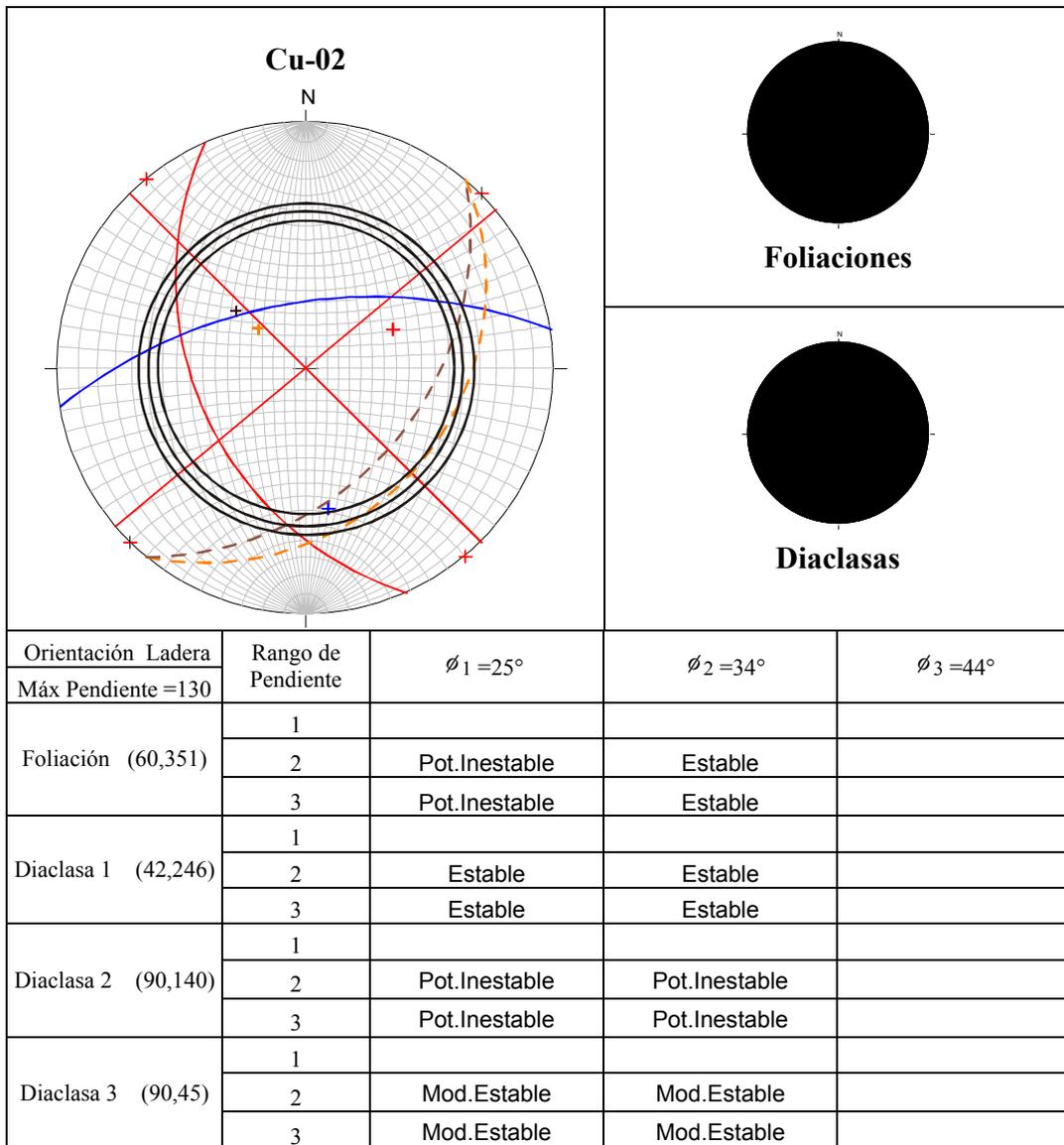


Fig.37 Análisis Cinemático Ladera: Cu-02

La tendencia principal de la foliación en contracuesta a la ladera lo cual es un arreglo estable. Sin embargo, se observa una gran dispersión de la foliación y diaclasas debido a la deformación de las unidades litológicas, lo cual es potencialmente inestable por falla circular especialmente en las zonas con mayor alteración. D1 está orientada en contracuesta de buzamiento y es estable. D3 es ortogonal a la orientación de la ladera, lo cual es un arreglo geométrico moderadamente estable. D2 es subparalelo a la ladera y de buzamiento subvertical, es potencialmente inestable por volcamiento en las zonas con pendiente en el rango 2.

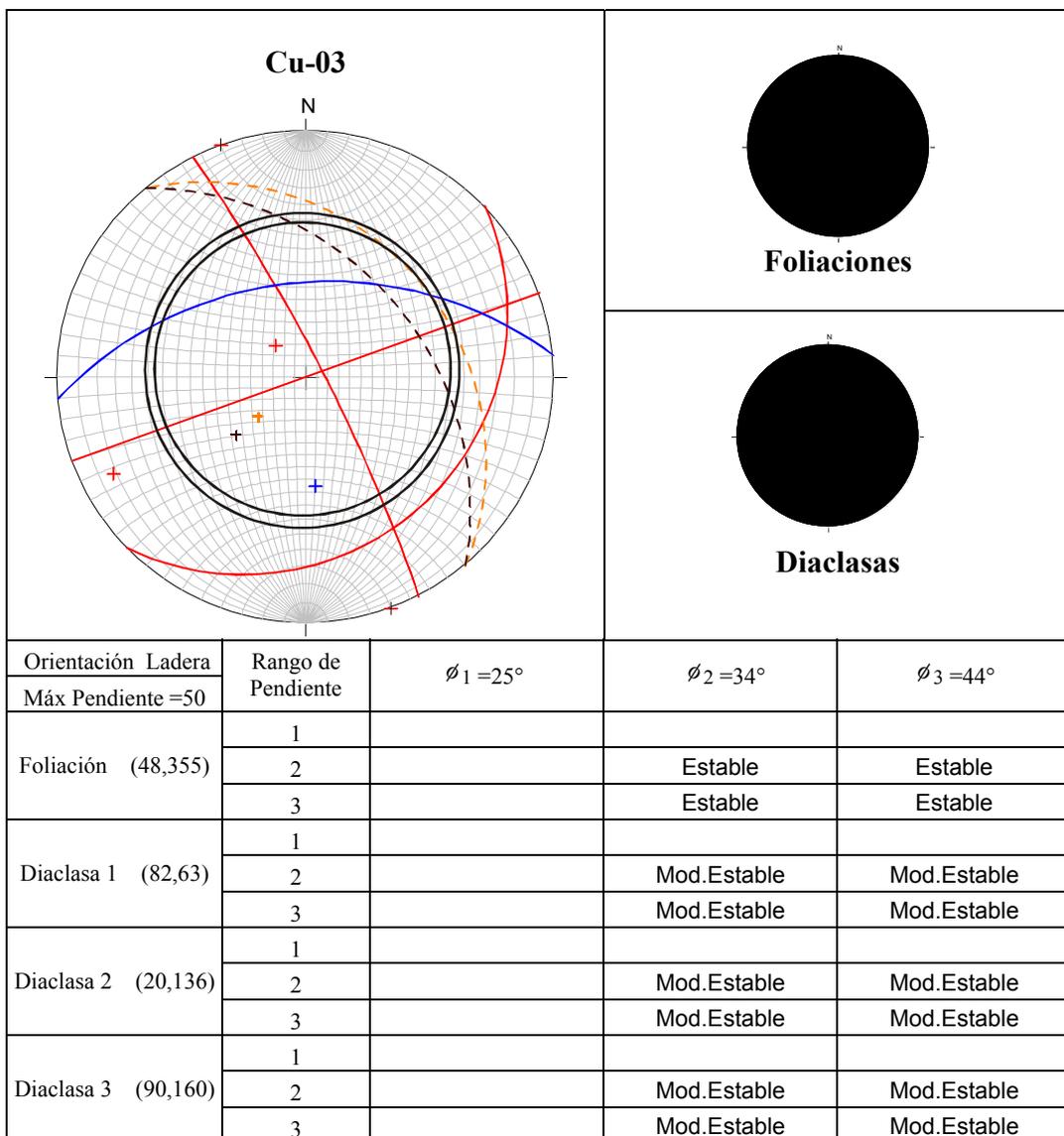


Fig. 38 Análisis Cinemático Ladera: Cu-03

La foliación es ortogonal a la orientación de la ladera, lo cual es un arreglo estable en las unidades litológicas con ángulos de fricción  $\phi_2 = 34^\circ$  y  $\phi_3 = 44^\circ$ . D1 es subparalela a la orientación de la ladera pero su buzamiento es mucho mayor a la inclinación del terreno lo que constituye un arreglo estructural moderadamente estable. D2 y D3 son ortogonales a la orientación de la ladera, lo que se considera un arreglo estructural moderadamente estable.

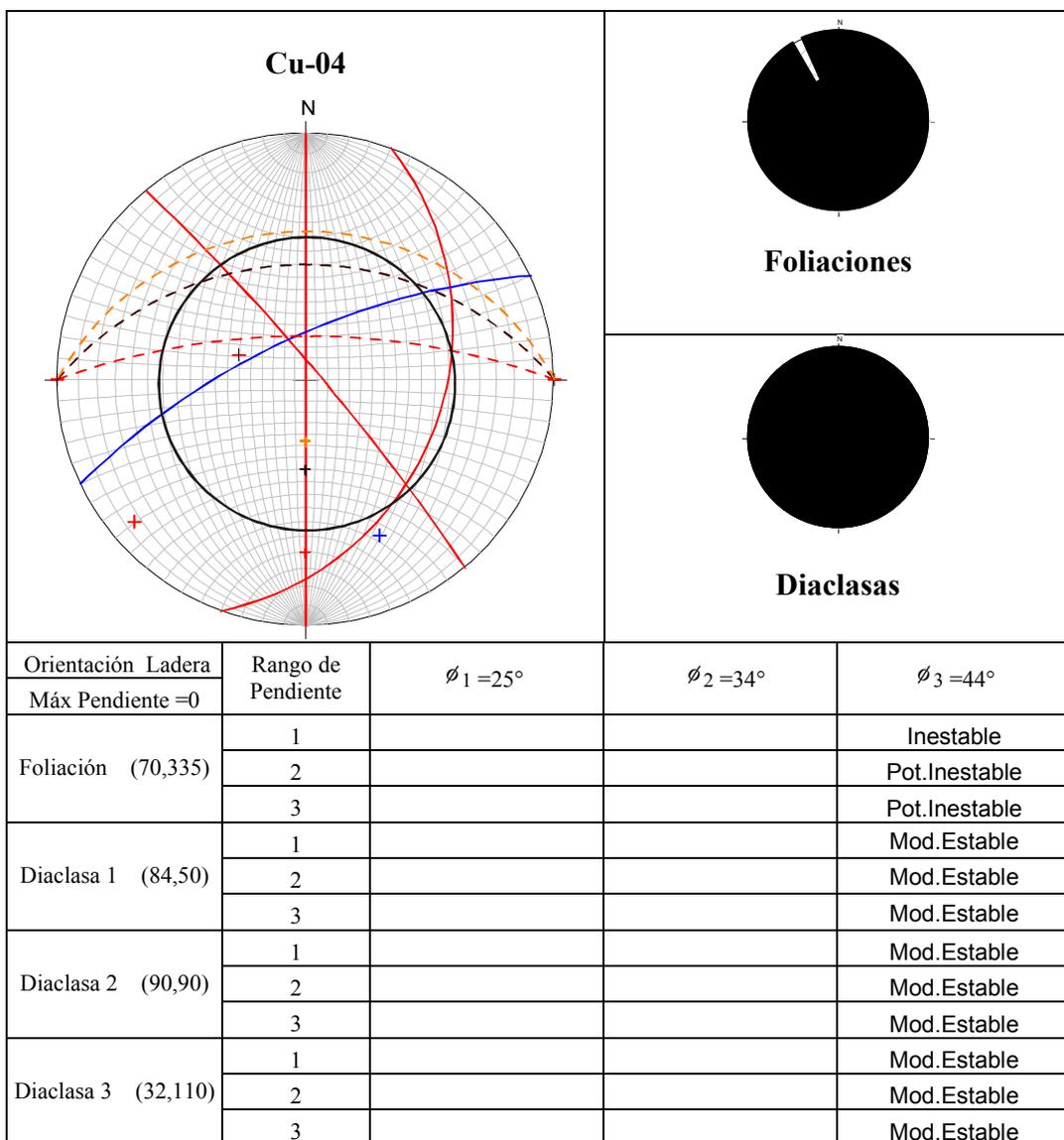


Fig.39 Análisis Cinemático Ladera: Cu-04

La tendencia principal de foliación es subparalela a la orientación de la ladera y se dispone en cuesta de buzamiento cumpliendo la condición cinemática, lo que se considera inestable en las zonas de pendiente en el rango 1 y potencialmente inestable en las zonas con pendiente rango 2. D1 se orienta en cuesta de buzamiento sin embargo su buzamiento es mucho mayor a la inclinación de la ladera y es moderadamente estable. D2 y D3 son ortogonales a la orientación de la ladera, en un arreglo estructural moderadamente estable.

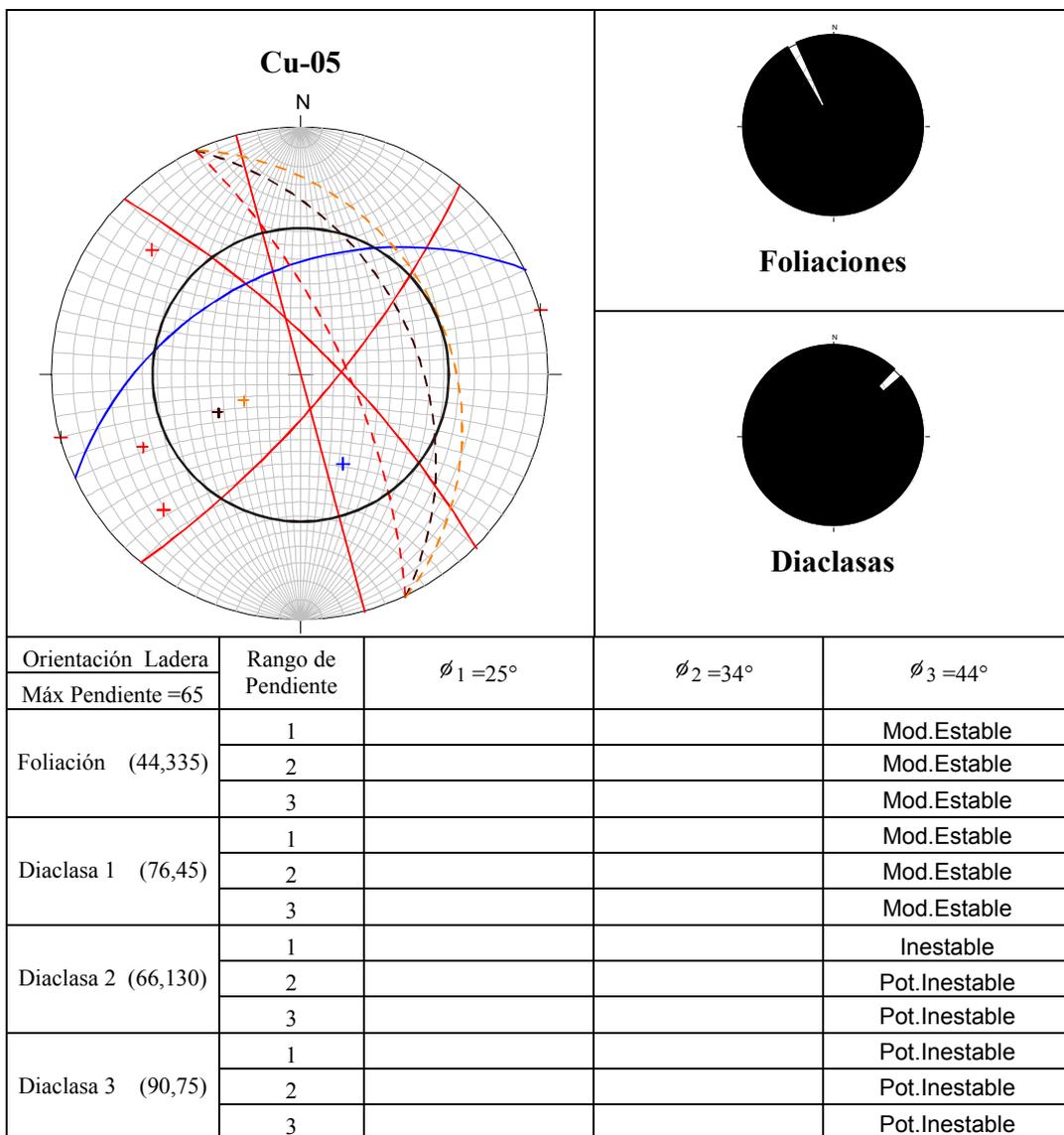


Fig. 40 Análisis Cinemático Ladera: Cu-05

La tendencia principal de foliación es ortogonal a la orientación de la ladera, para un arreglo estructural moderadamente estable. D1 es ortogonal a la orientación de la ladera y es un arreglo estructural moderadamente estable. D2 es subparalela a la orientación de la ladera y se dispone en cuesta de buzamiento, además, el buzamiento es mayor al  $\phi_3 = 44^\circ$  y menor a la inclinación de la ladera en las zonas de pendiente en el rango 1, lo cual es inestable. D3 es subparalela a la ladera y de buzamiento subvertical, lo cual es potencialmente inestable por volcamiento.

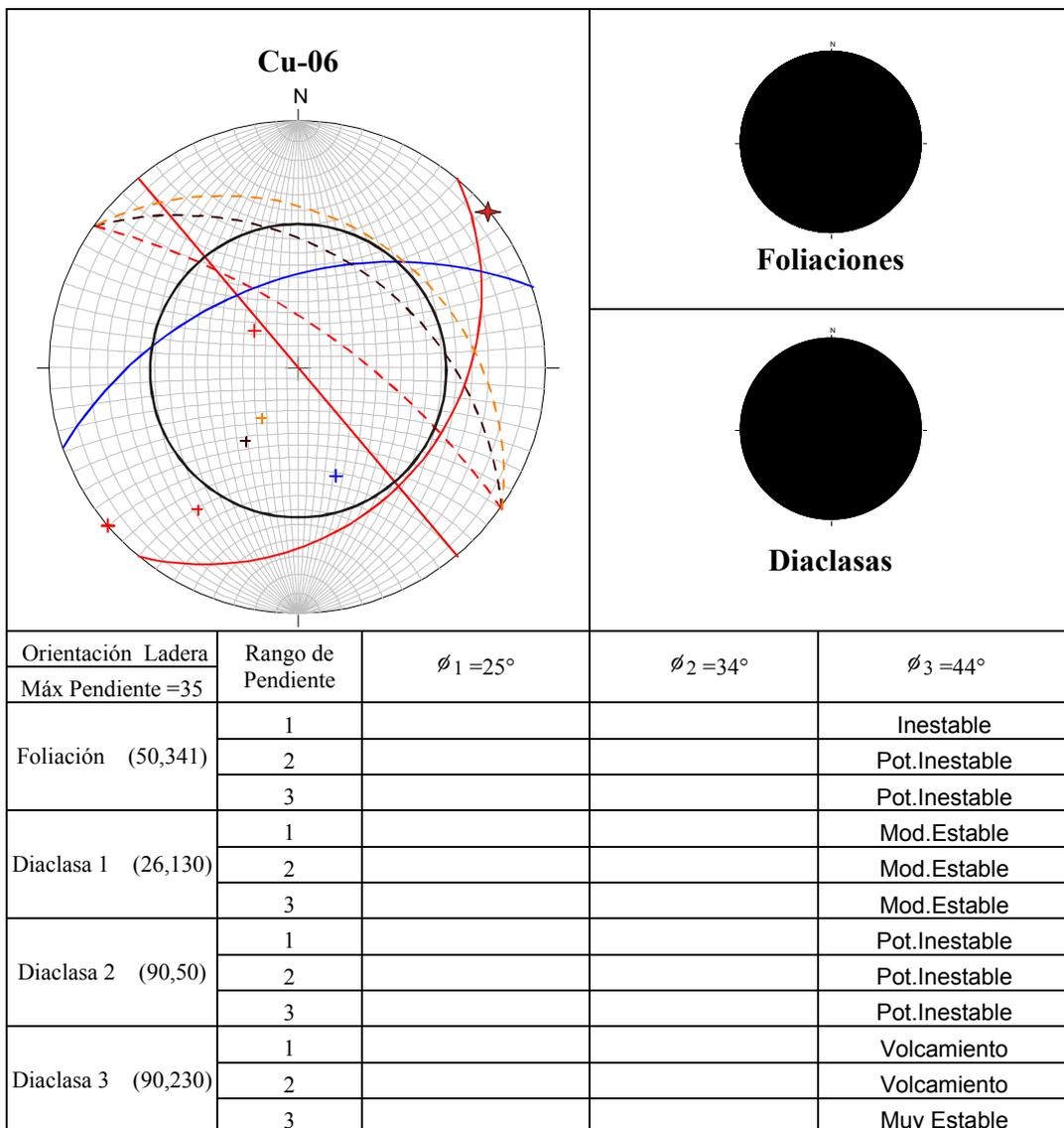


Fig.41 Análisis Cinemático Ladera: Cu-06

La foliación está orientada en cuesta de buzamiento sin llegar a ser subparalela a la ladera y es cinemáticamente inestable en las zonas de pendiente en el rango 1 y potencialmente inestable en las de rango 2, ya que en estas la inclinación del terreno es menor al buzamiento. D1 es ortogonal a la orientación de la ladera, lo que constituye un arreglo estructural moderadamente estable. D2 es subparalela a la ladera y es potencialmente inestable por volcamiento en las zonas con pendiente en el rango 1. D3 cumple las condiciones cinemáticas para falla por volcamiento en las zonas de pendiente rango 1 y 2.

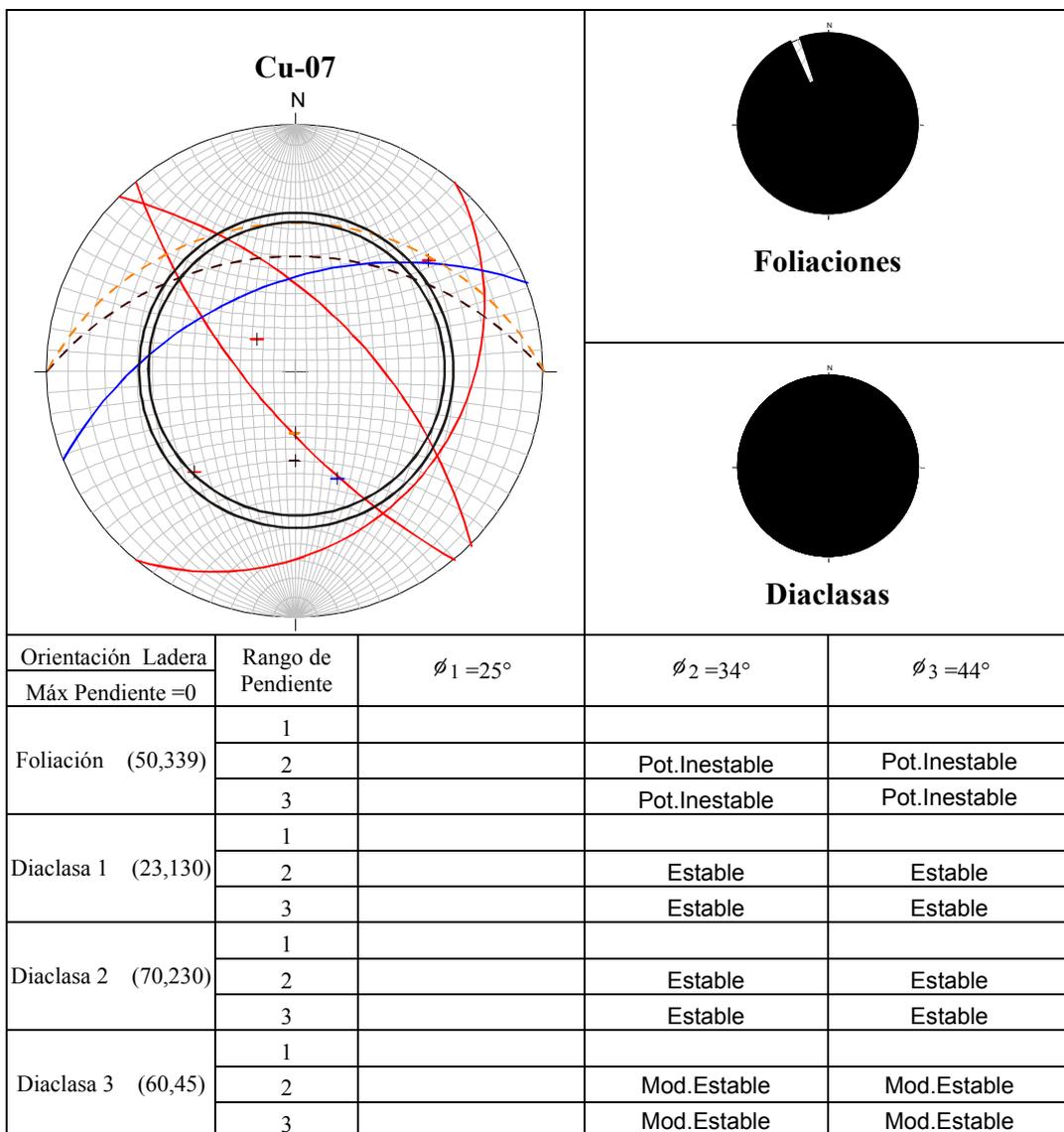


Fig.42 Análisis Cinemático Ladera: Cu-07

La foliación es subparalela a la orientación de la ladera y se dispone en cuesta de buzamiento, además, el buzamiento es mayor al  $\phi_2 = 34^\circ$  y  $\phi_3 = 44^\circ$  y menor a la inclinación de la ladera en las zonas de pendiente en el rango 2, lo cual es inestable y en las zonas de pendiente 3 potencialmente inestable ya que el buzamiento es mayor a la inclinación de la ladera. D1 y D2 orientadas en contracuesta de buzamiento a la ladera para un arreglo estructural estable. D3 es casi ortogonal a la orientación de la ladera lo cual es un arreglo estructural moderadamente estable.

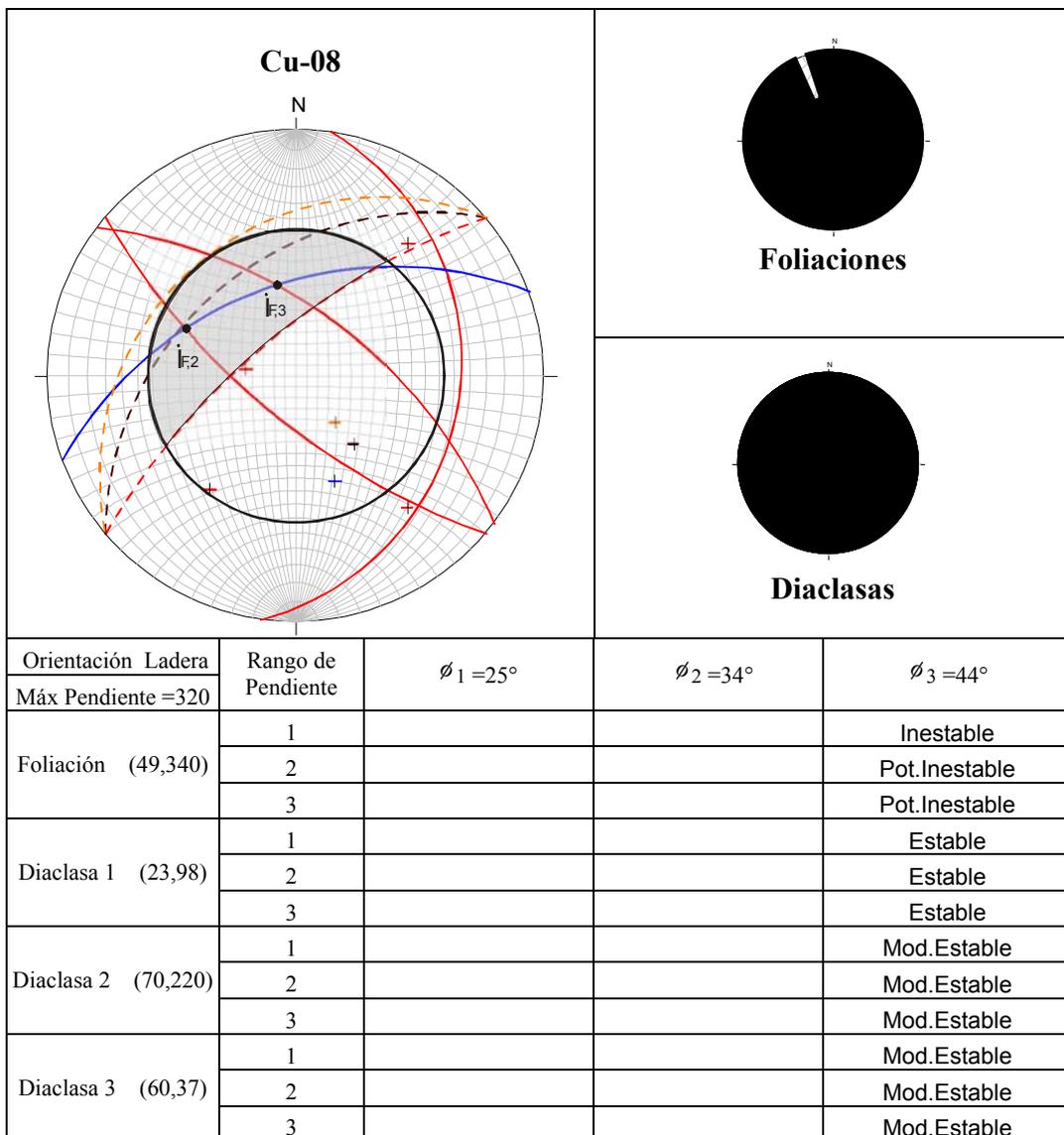


Fig.43 Análisis Cinemático Ladera: Cu-08

La foliación es subparalela a la orientación de la ladera y se dispone en cuesta de buzamiento, su buzamiento es mayor al  $\phi_3 = 44^\circ$  y menor a la inclinación de la ladera en las zonas de pendiente en el rango 1, lo cual es inestable y en las zonas de pendiente 2 y 3 potencialmente inestable. D1 está en contracuesta de buzamiento y es estable. D2 y D3 son ortogonales a la ladera e individualmente son estables, pero su intersección es potencialmente inestable por falla en cuña en las zonas de pendiente en el rango 1, donde el declive de la intersección es mayor al  $\phi_3 = 44^\circ$  y menor a la inclinación de la ladera.

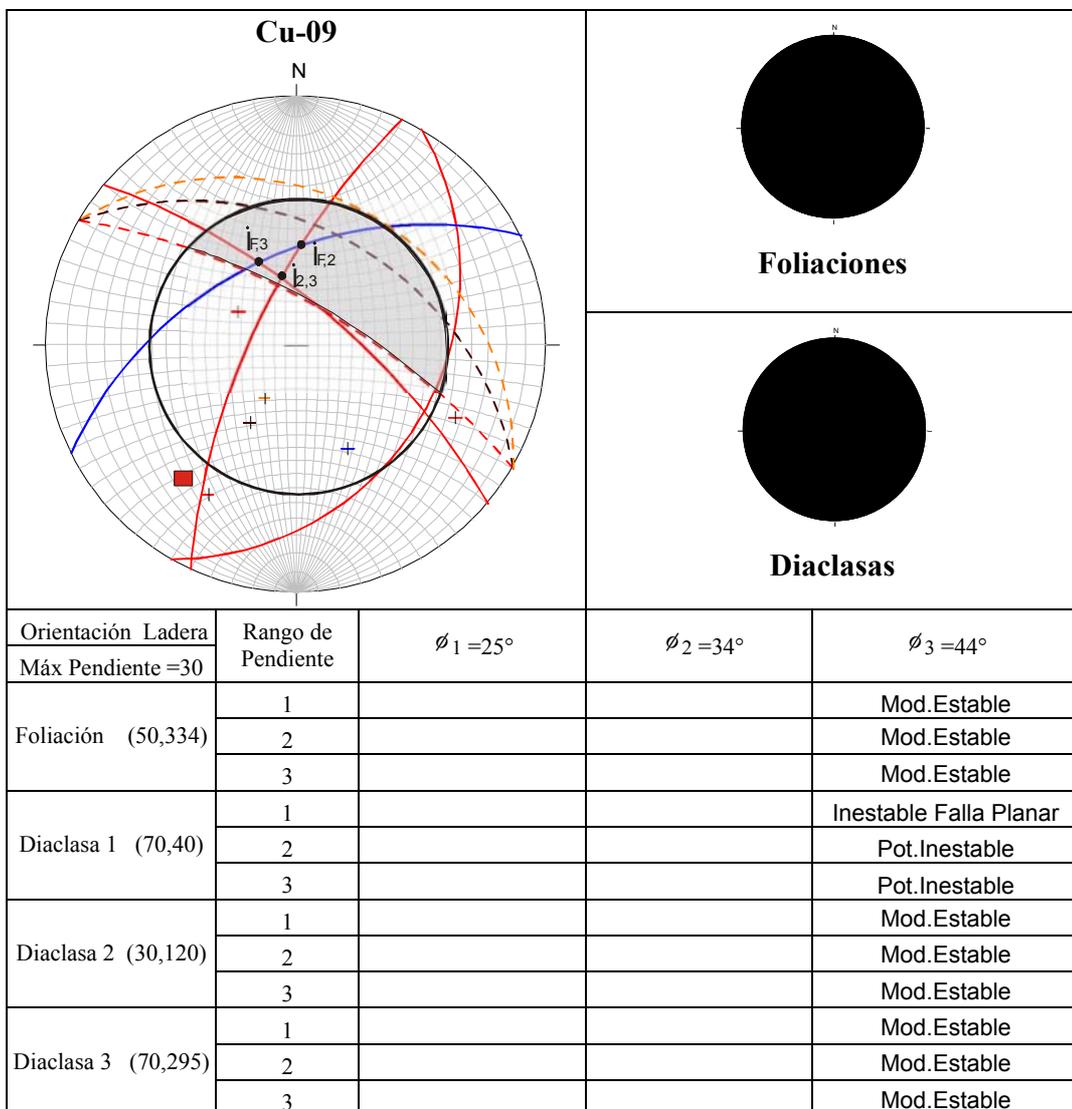


Fig.44 Análisis Cinemático Ladera: Cu-09

La foliación es casi ortogonal a la orientación de la ladera, para un arreglo estructural moderadamente estable. D1 en condición cinemática de falla planar, es subparalela a la orientación de la ladera y se dispone en cuesta de buzamiento, además, el buzamiento es mayor al  $\phi_3=44^\circ$  y menor a la inclinación de la ladera en las zonas de pendiente en el rango 1, lo cual es inestable y en las zonas de pendiente 2 potencialmente inestable. D2 y D3 se orientan ortogonales a la ladera y son moderadamente estables. Las intersecciones de la foliación con D2 y D3 y D2,D3 son potencialmente inestables por falla en cuña en las zonas de pendiente en el rango 1.

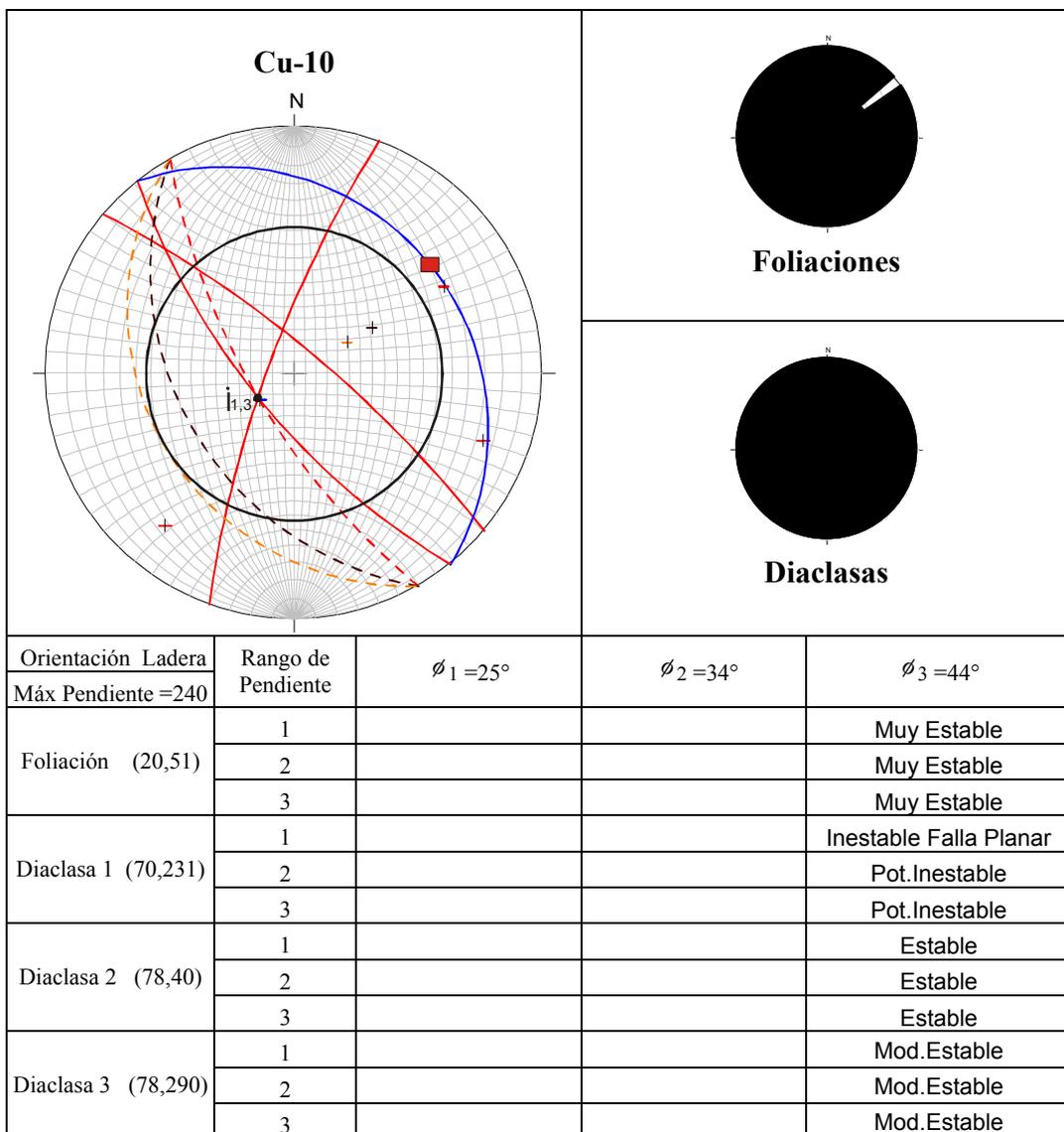


Fig.45 Análisis Cinemático Ladera: Cu-10

La foliación y D2 son subparalelas a la ladera y están orientadas en contracuesta de buzamiento, lo cual es un arreglo estructural muy estable. D1 en condición cinemática de falla planar, es subparalela a la orientación de la ladera y se dispone en cuesta de buzamiento, además, el buzamiento es mayor al  $\phi_3 = 44^\circ$  y menor a la inclinación de la ladera en las zonas de pendiente en el rango 1, lo que se considera inestable y en las zonas de pendiente 2 y 3 potencialmente inestable ya que el buzamiento es mayor a la inclinación de la ladera. D3 es casi ortogonal a la orientación de la ladera lo cual es un arreglo estructural moderadamente estable.

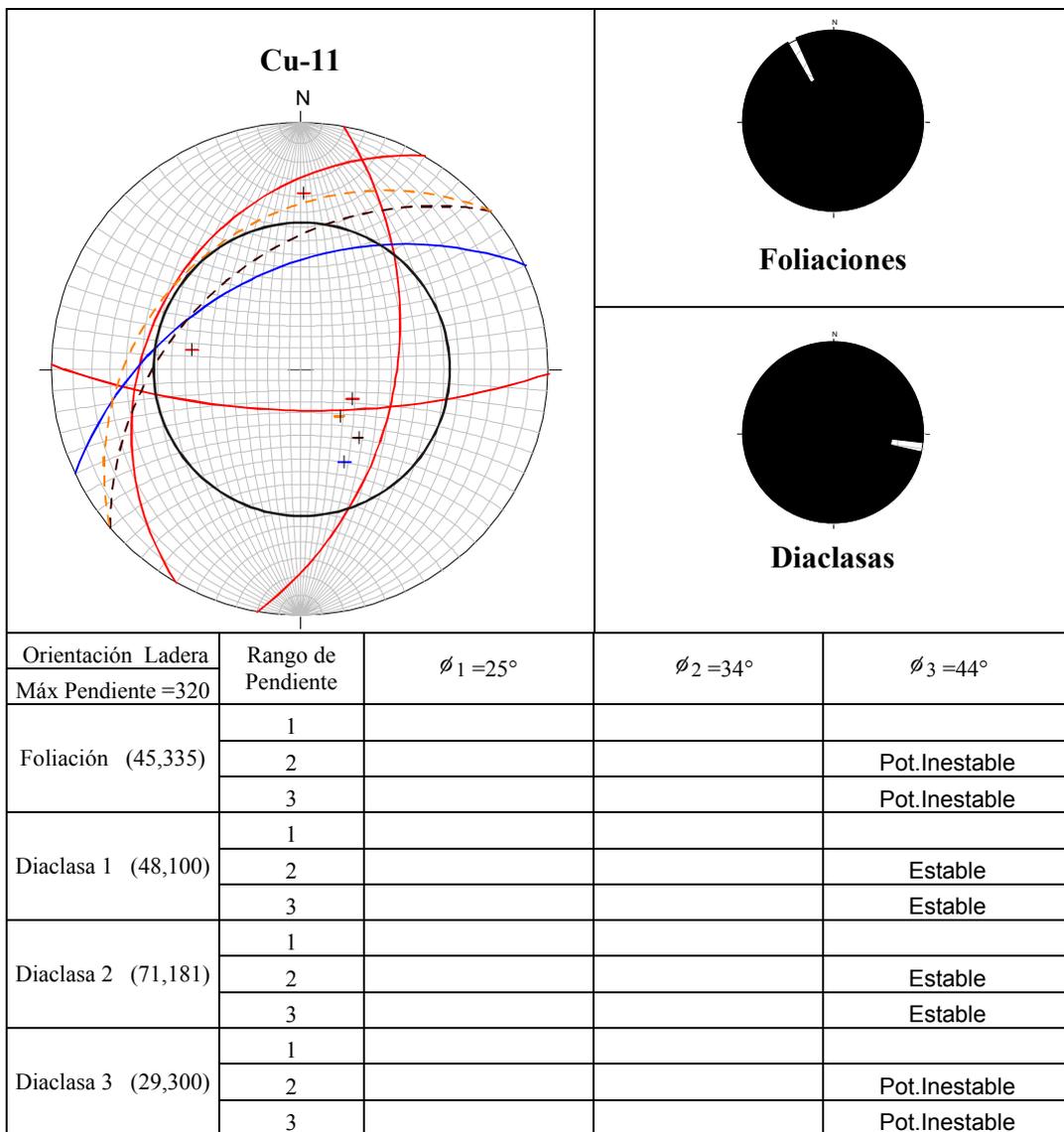


Fig.46 Análisis Cinemático Ladera: Cu-11

La foliación es subparalela a la orientación de la ladera y se dispone en cuesta de buzamiento, además, su buzamiento es mayor al  $\phi_3 = 44^\circ$  y ligeramente mayor a la inclinación de la ladera en las zonas de pendiente en el rango 2, considerándose potencialmente inestable. D1 y D2 están orientadas en contracuesta de buzamiento y son estables. D3 es potencialmente inestable ya que se orienta subparalela a la ladera en cuesta de buzamiento, cumpliendo las condiciones cinemáticas.

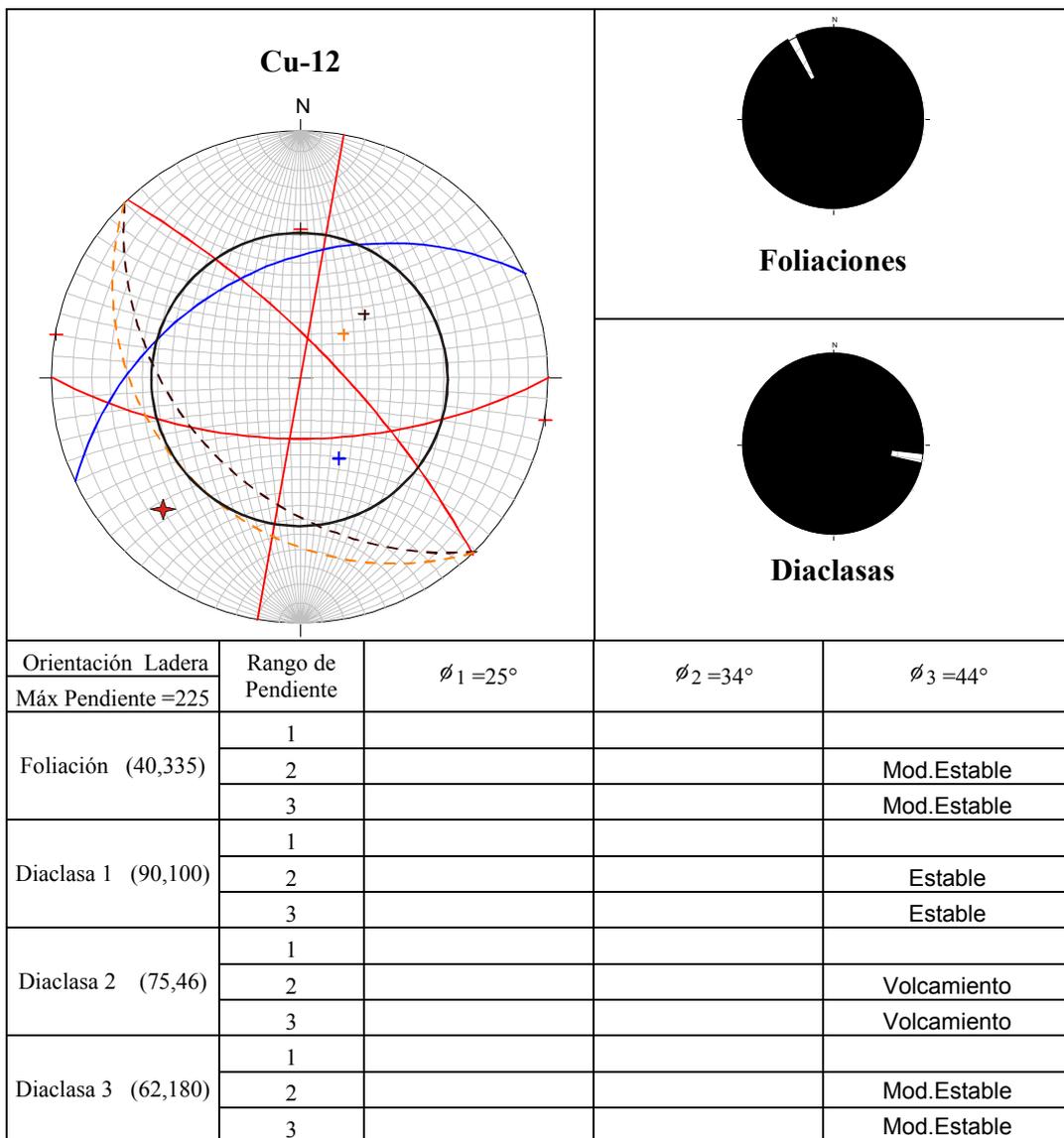


Fig.47 Análisis Cinemático Ladera: Cu-12

La foliación y D3 son ortogonales a la orientación de la ladera lo cual es un arreglo estructural moderadamente estable. D1 está orientada en contracuesta de buzamiento y es estable. D2 cumple las condiciones cinemáticas para falla por volcamiento en las zonas de pendiente en el rango 2 y 3.

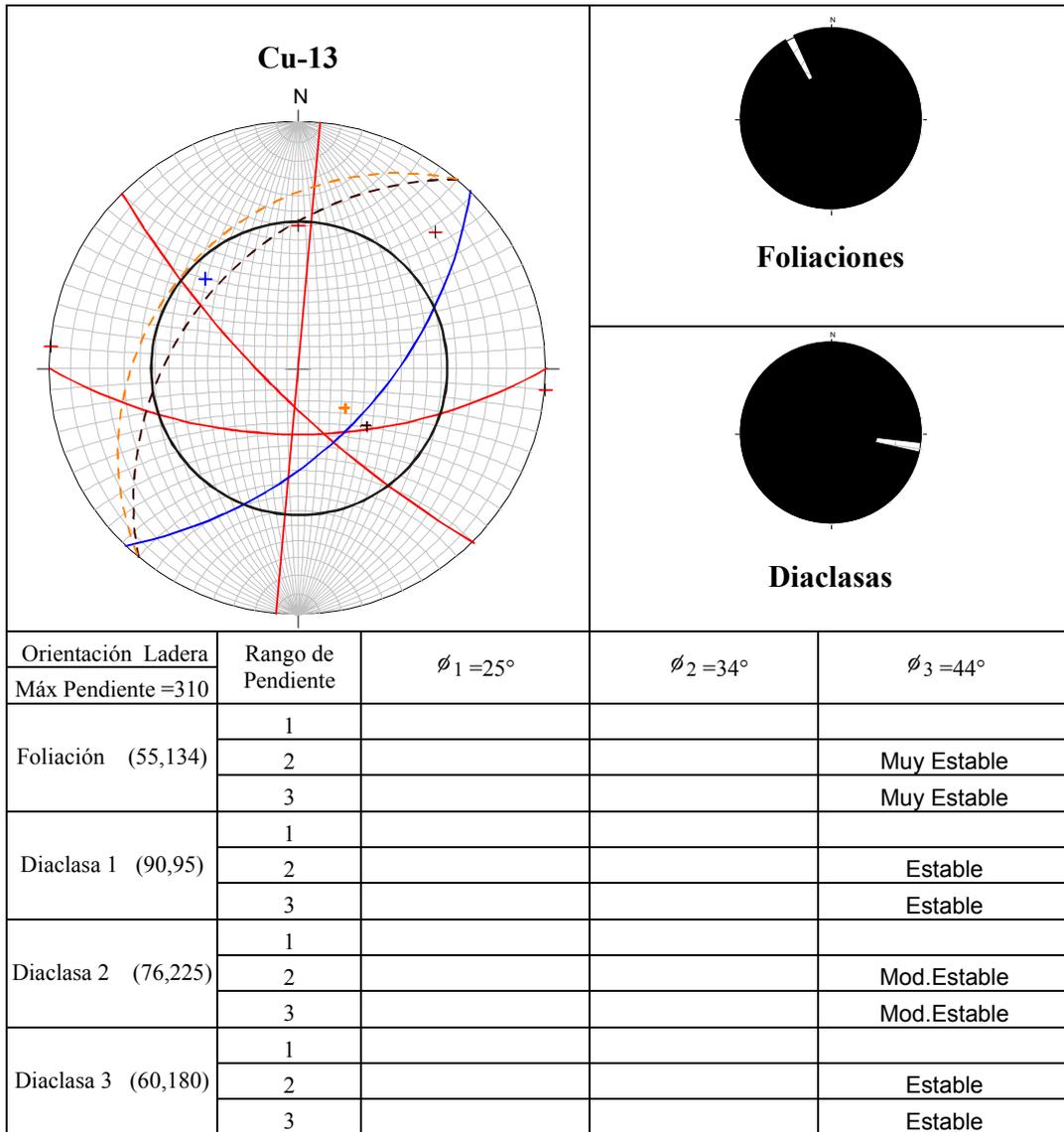


Fig.48 Análisis Cinemático Ladera: Cu-13

La foliación es subparalela a la ladera y está orientada en contracuesta de buzamiento, lo cual es un arreglo estructural muy estable. D2 es ortogonal a la

orientación de la ladera lo cual es un arreglo estructural moderadamente estable. D1 y D3 son cinemáticamente estables ya que se orientan casi ortogonales a la ladera.

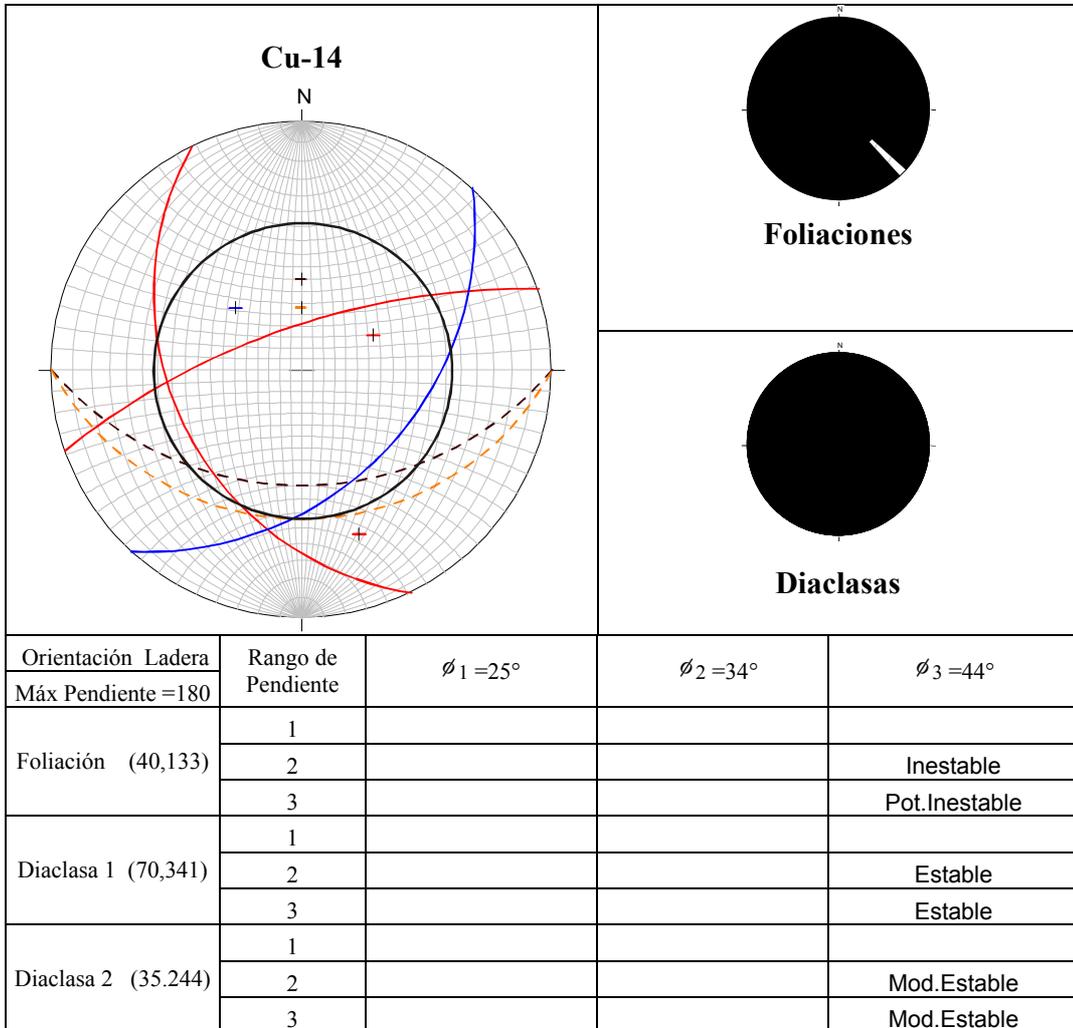


Fig.49 Análisis Cinemático Ladera: Cu-14

La foliación esta orientada en cuesta de buzamiento. Además, su buzamiento es ligeramente menor al  $\phi_3 = 44^\circ$  y menor a la inclinación de la ladera en las zonas de pendiente en el rango 2, lo que se considera inestable y en las zonas de pendiente 3 potencialmente inestable ya que el buzamiento es mayor a la inclinación de la ladera. D2 es ortogonal a la orientación de la ladera lo cual es un arreglo estructural

moderadamente estable. D1 está orientada en contracuesta de buzamiento, para un arreglo estructural estable.

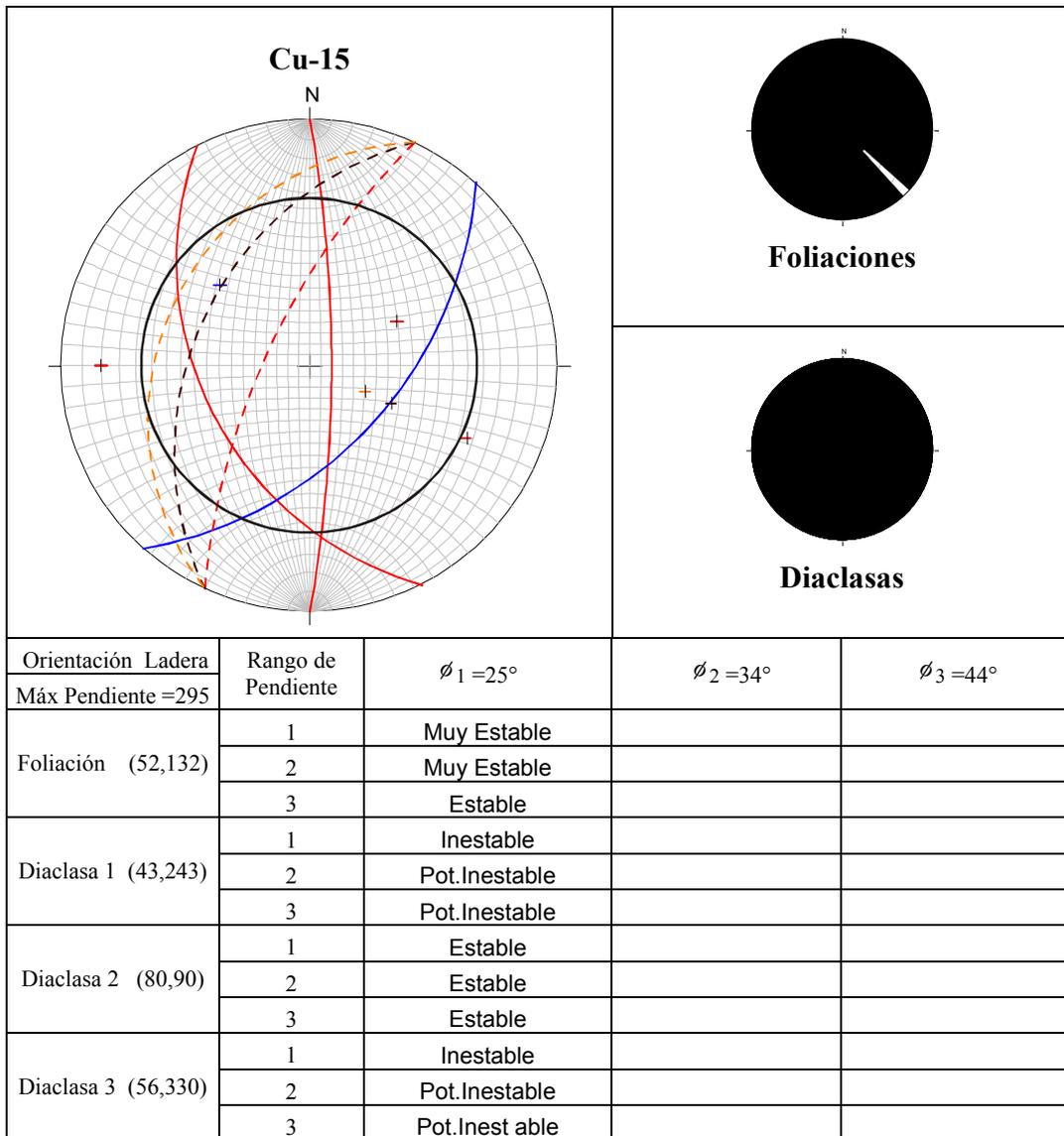


Fig.50 Análisis Cinemático Ladera: Cu-15

La foliación es subparalela a la ladera y está orientada en contracuesta de buzamiento, lo cual es un arreglo estructural muy estable. D1 y D3 están orientadas en cuesta de buzamiento, además, sus buzamientos son mayores al  $\phi_1 = 25^\circ$  y menor a la inclinación de la ladera en las zonas de pendiente en el rango 1, lo cual es

inestable y en las zonas de pendiente 2 y 3 potencialmente inestable ya que los buzamientos es mayor a la inclinación de la ladera. D2 está orientada en contracuesta de buzamiento en un arreglo estructuralmente estable.

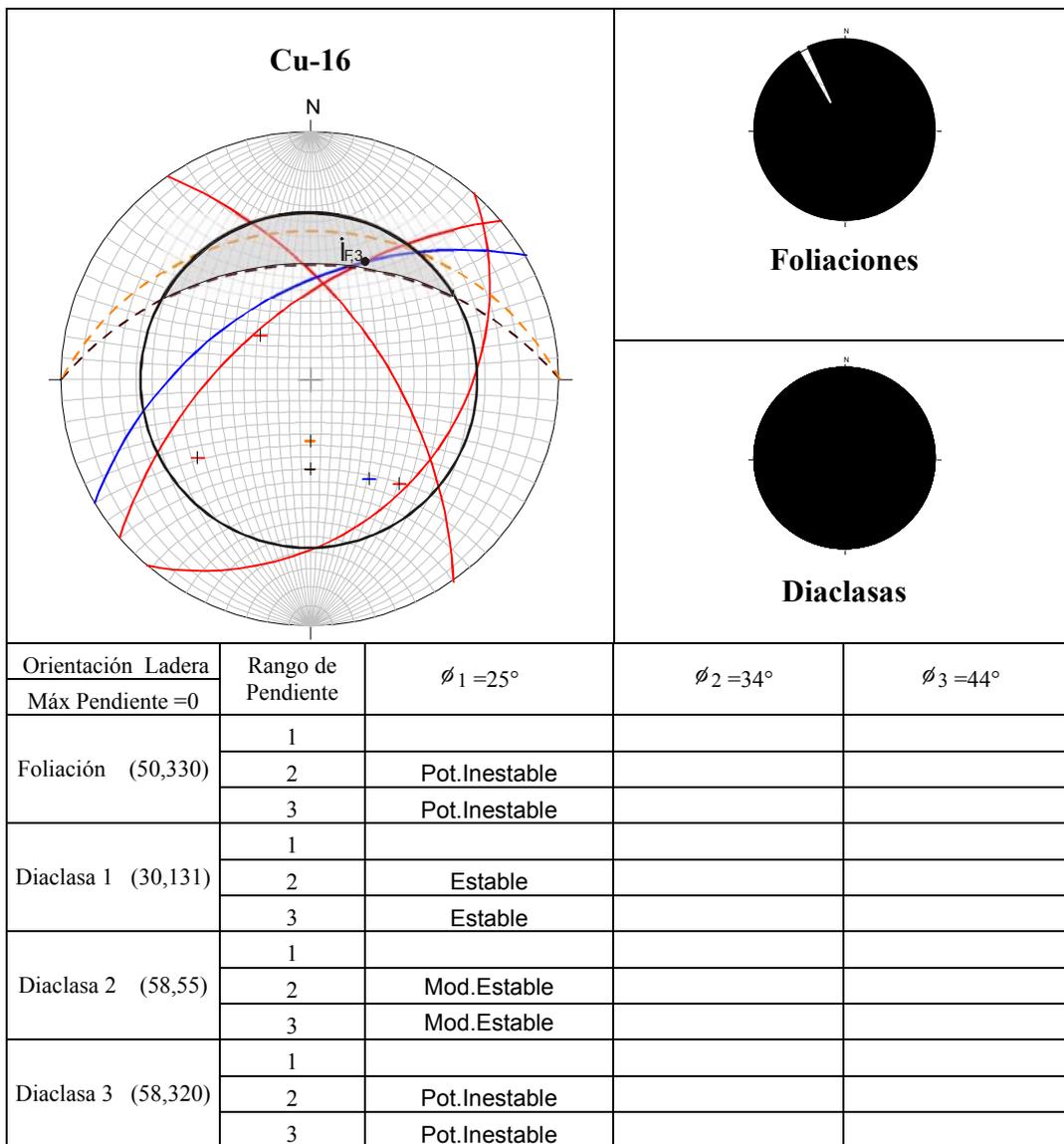


Fig.51 Análisis Cinemático Ladera: Cu-16

La foliación y D3 están orientadas en cuesta de buzamiento. Sus buzamientos son mayores al  $\phi_1 = 25^\circ$  y ligeramente mayores a la inclinación de la ladera en las zonas de pendiente en el rango 2 y 3, lo cual es potencialmente inestable. D1 está orientada en contracuesta de buzamiento, lo que representa un arreglo estructural estable. D2

es ortogonal a la orientación de la ladera en un arreglo estructural moderadamente estable. La intersección de la foliación con D3 es potencialmente inestable por falla en cuña en las zonas de pendiente en el rango 2, donde el declive de la intersección es mayor al  $\phi_1 = 25^\circ$  y menor a la inclinación de la ladera.

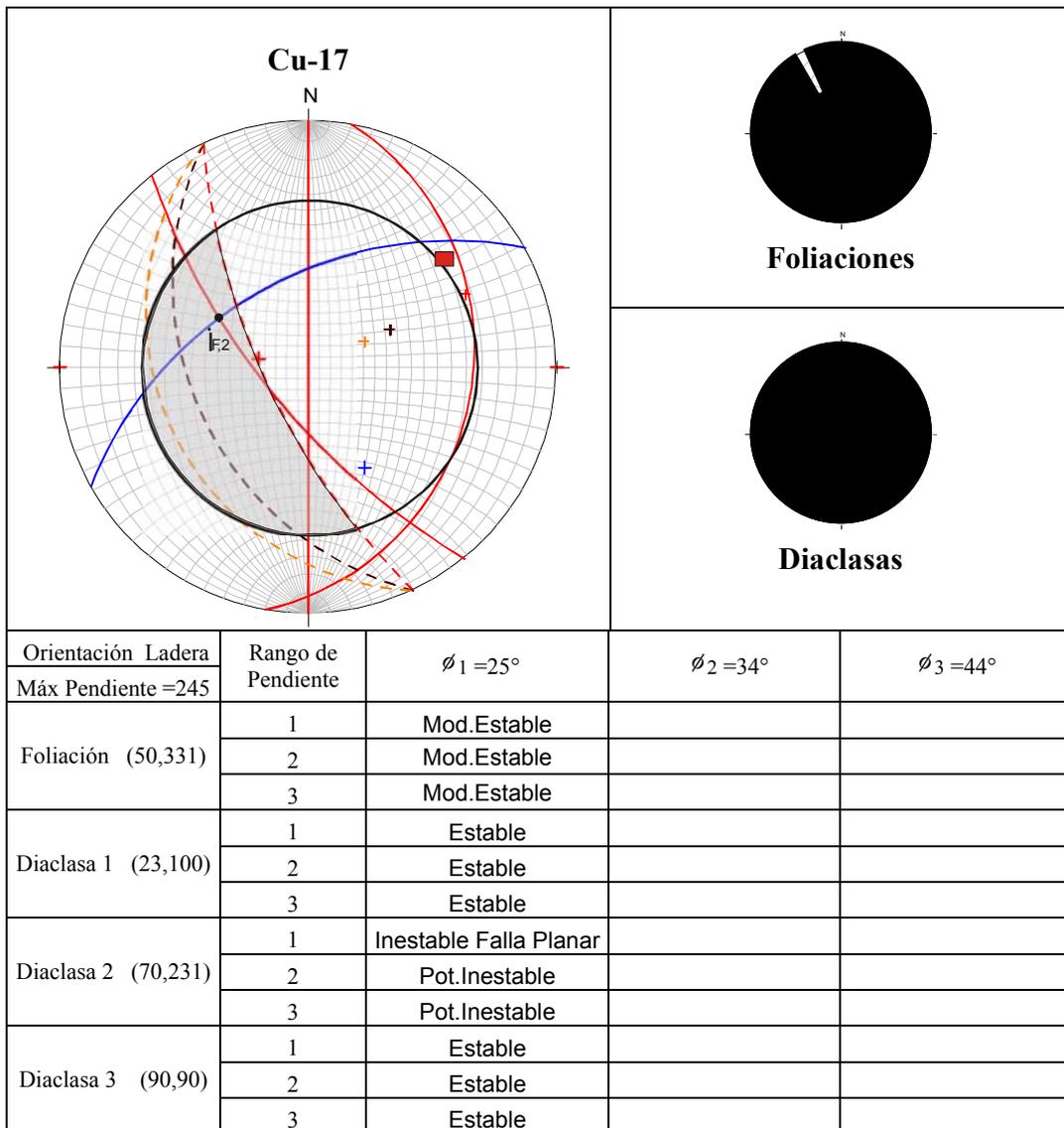


Fig.52 Análisis Cinemático Ladera: Cu-17

La tendencia principal de foliación es ortogonal a la orientación de la ladera, lo que se considera un arreglo estructural moderadamente estable. D1 está orientada en contracuesta de buzamiento en un arreglo estructuralmente estable. D2 se encuentra en condición cinemática de falla planar, es subparalela a la orientación de la ladera y

se dispone en cuesta de buzamiento, además, su buzamiento es mayor al  $\phi_1 = 25^\circ$  y menor a la inclinación de la ladera en las zonas de pendiente en el rango 1, lo cual es inestable y en las zonas de pendiente 2 potencialmente inestable ya que el buzamiento es mayor a la inclinación de la ladera. La intersección de la foliación con D2 es potencialmente inestable por falla en cuña en las zonas de pendiente en el rango 1, donde el declive de la intersección es mayor al  $\phi_1 = 25^\circ$  y menor a la inclinación de la ladera. D3 se orienta cinemáticamente estable.

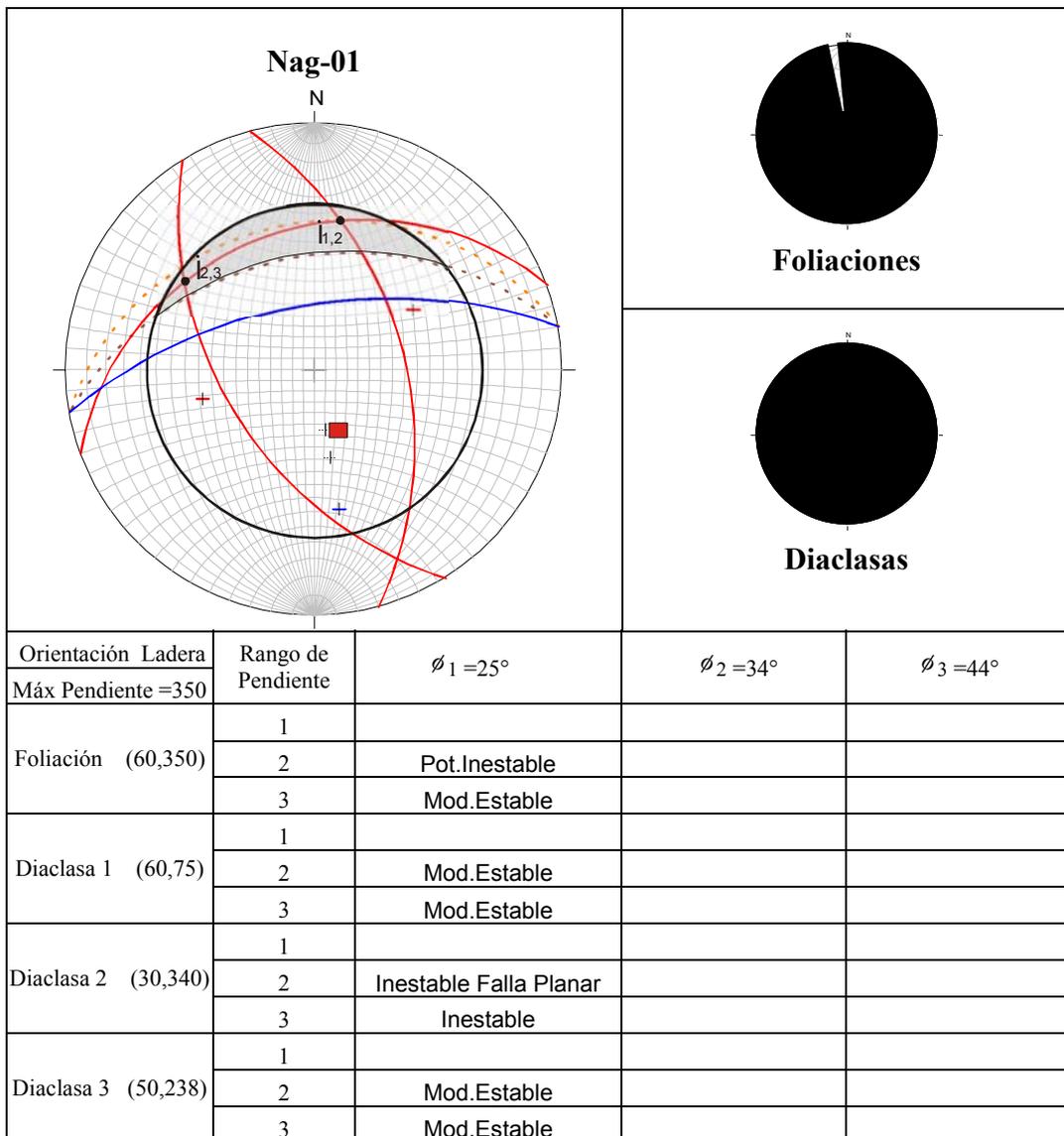


Fig.53 Análisis Cinemático Ladera: Nag-01

La foliación es subparalela a la orientación de la ladera y se dispone en cuesta de buzamiento, su buzamiento es mayor al  $\phi_1 = 25^\circ$  y mayor a la inclinación de la ladera en el rango 2, para un arreglo potencialmente inestable. En las zonas de pendiente en el rango 3, la foliación es moderadamente estable ya que el buzamiento es mayor a la inclinación de la ladera y no la corta. Sin embargo, se observa un gran dispersión de la foliación, lo cual es potencialmente inestable por falla circular. D1 y D3 se orientan ortogonales a la orientación de la ladera en un arreglo moderadamente estable. D2 es inestable, se encuentra en condición cinemática de falla planar, es subparalela a la orientación de la ladera y se dispone en cuesta de buzamiento, además, su buzamiento es mayor al  $\phi_1 = 25^\circ$  y menor a la inclinación de la ladera en las zonas de pendiente en el rango 2 y 3. Las intersecciones D2-D1 y D2-D3 son potencialmente inestable por falla en cuña en las zonas de pendiente en el rango 2.

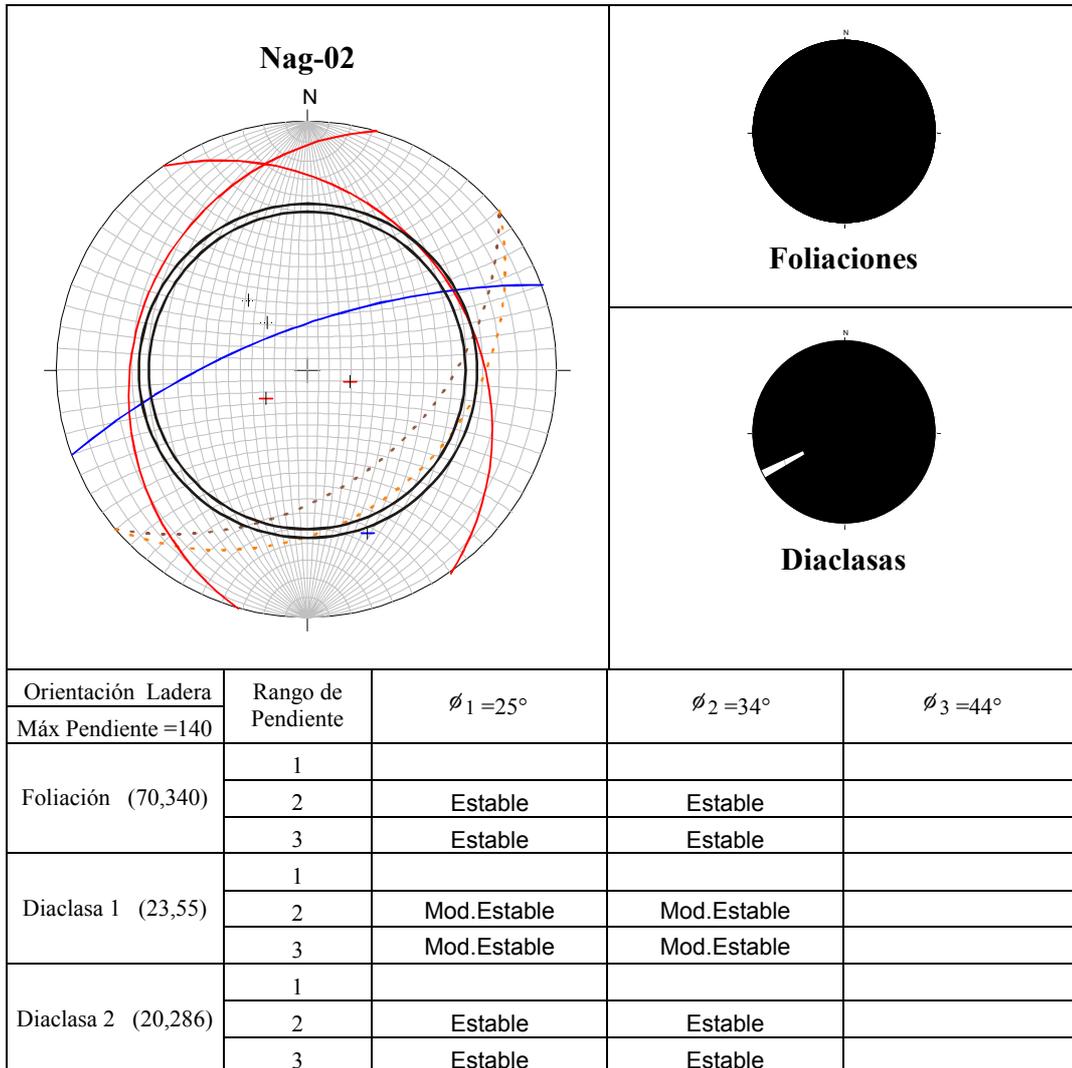


Fig.54 Análisis Cinemático Ladera: Nag-02

La foliación es subparalela a la ladera y está orientada en contracuesta de buzamiento, lo cual es un arreglo estructural estable. Las tendencias principales de diaclasas D1 y D2 son ortogonales a la orientación de la ladera y se orientan en un arreglo estructural moderadamente estable.

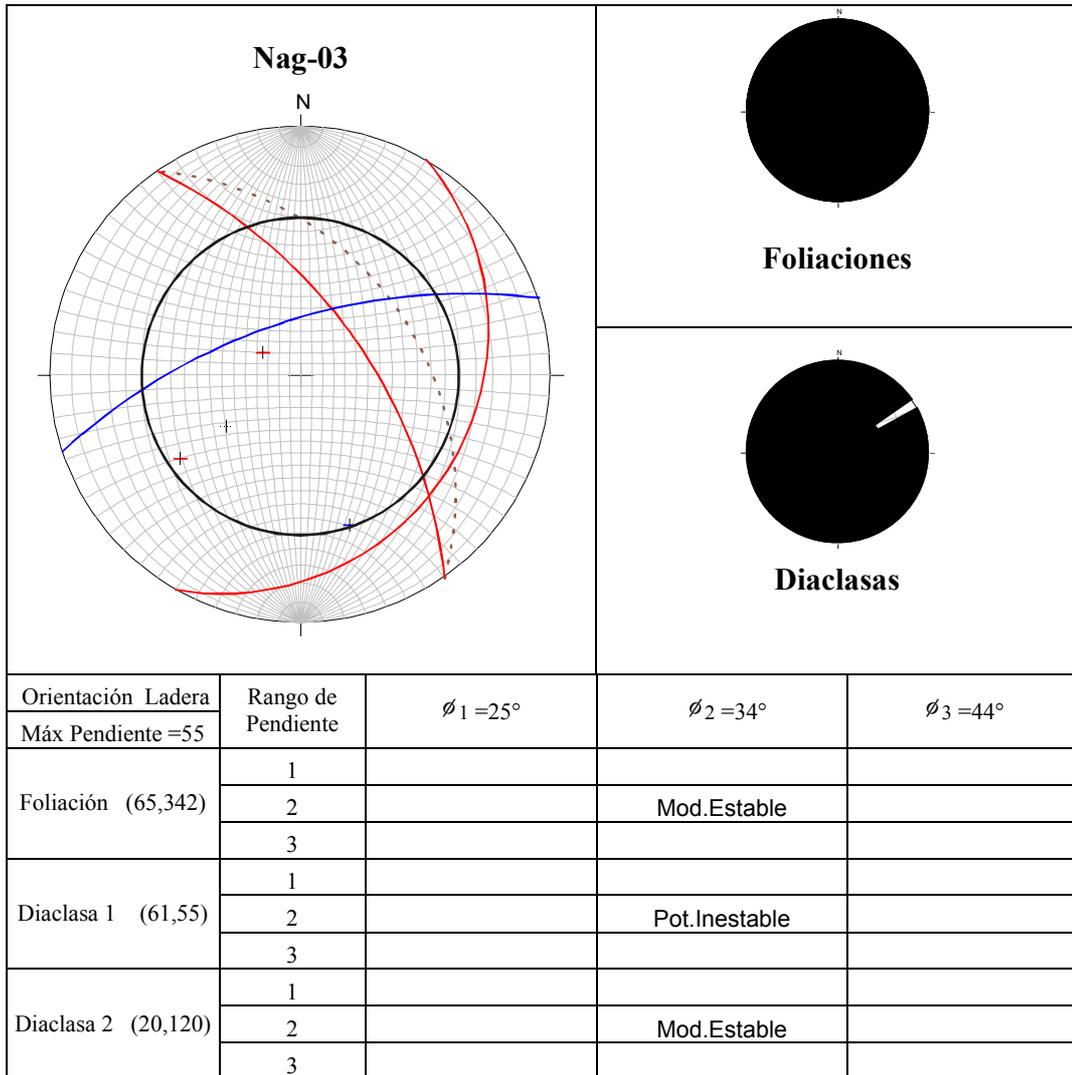


Fig.55 Análisis Cinemático Ladera: Nag-03

La foliación y D2 son ortogonales a la orientación de la ladera lo cual es un arreglo estructural moderadamente estable. La tendencia D1 es potencialmente inestable, es subparalela a la orientación de la ladera y en cuesta de buzamiento, su buzamiento es mayor al ángulo de fricción al  $\phi_2 = 34^\circ$  y mayor a la inclinación de la ladera por lo que no la corta.

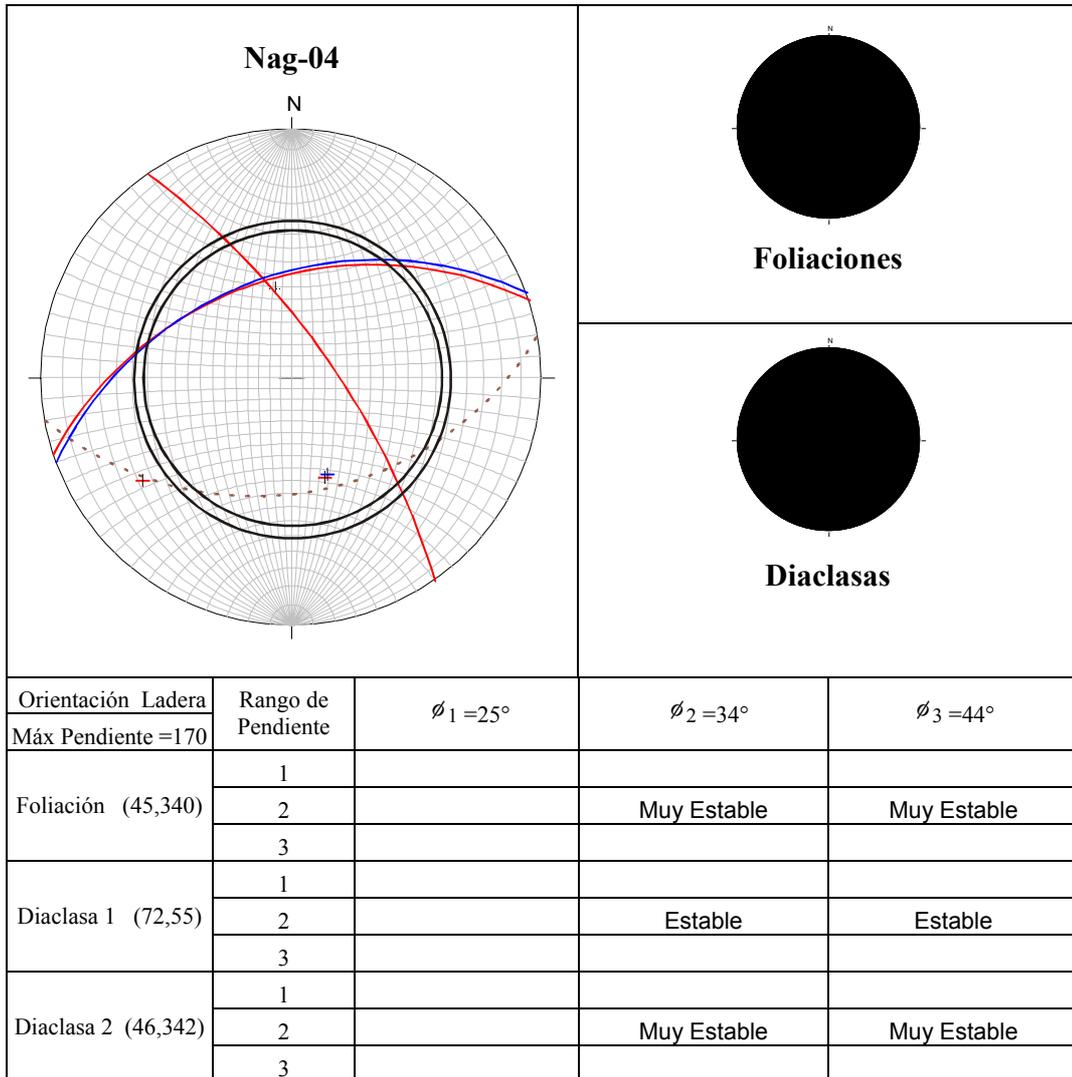


Fig.56 Análisis Cinemático Ladera: Nag-04

La foliación y D2 son subparalelas a la orientación de la ladera y está orientada en contracuesta de buzamiento, constituyendo un arreglo estructural muy estable. La tendencia D1 se orienta en contracuesta de buzamiento y es estable.

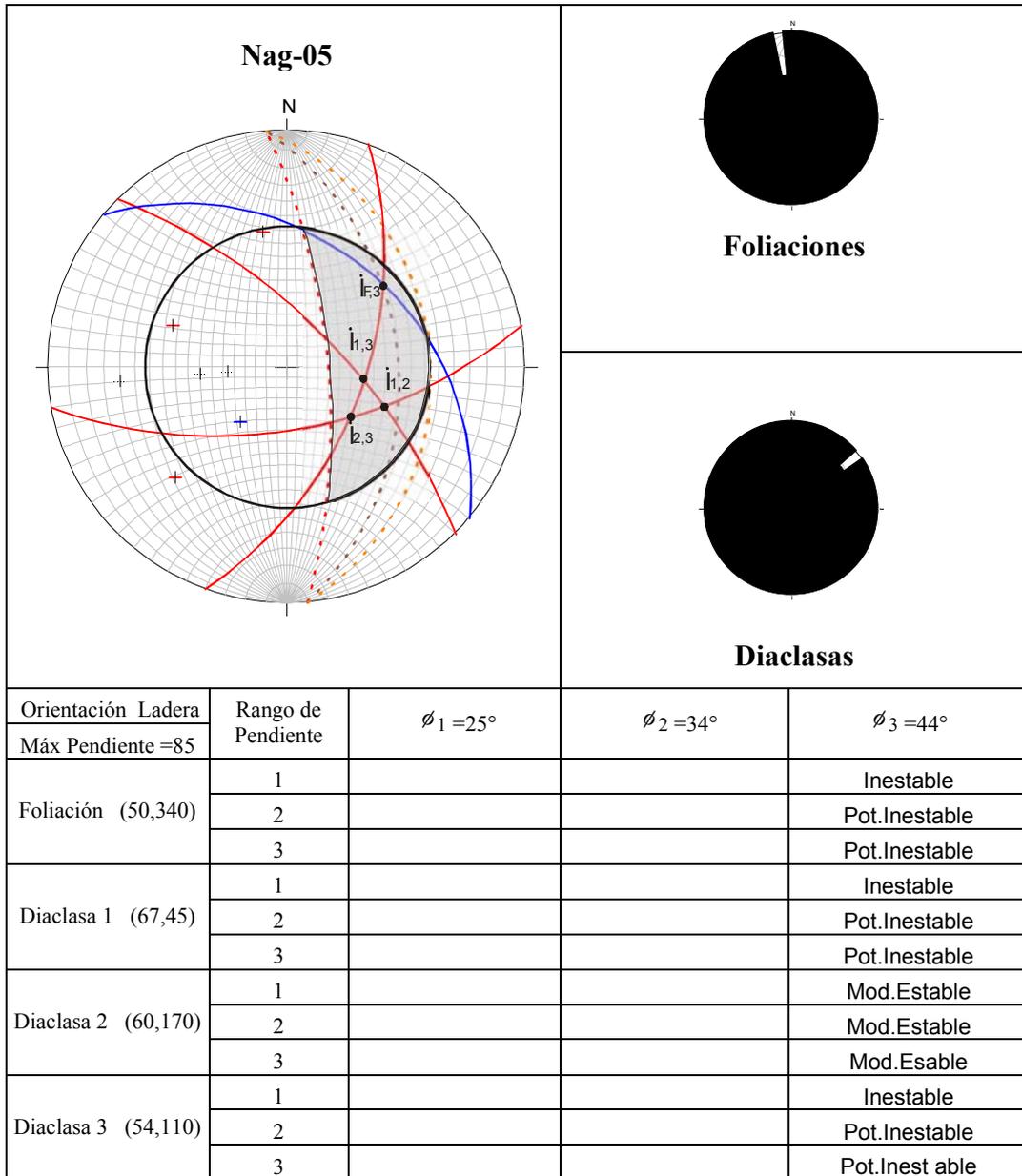


Fig.57 Análisis Cinemático Ladera: Nag-05

La foliación y D1 están orientadas en cuesta de buzamiento, sin llegar a ser subparalela a la orientación de la ladera, sus buzamientos son mayores al  $\phi_3 = 44^\circ$  y menores a la inclinación de la ladera en las zonas de pendiente en el rango 1, lo que se considera inestable y en las zonas de pendiente 2 y 3 potencialmente inestable ya que sus buzamientos son mayores a la inclinación de la ladera. D2 es ortogonal a la orientación de la ladera lo cual es un arreglo estructural moderadamente estable. D3

esta orientada en cuesta de buzamiento y es cinemáticamente inestable en las zonas de pendiente en el rango 1. Las intersecciones D1-D2, D1-D3, D2-D3 y de la foliación con D3 son potencialmente inestables por falla en cuña en las zonas con pendiente en el rango 1, donde el declive de la recta de intersección es mayor al ángulo de fricción  $\phi_3 = 44^\circ$  y menor a la inclinación de la ladera.

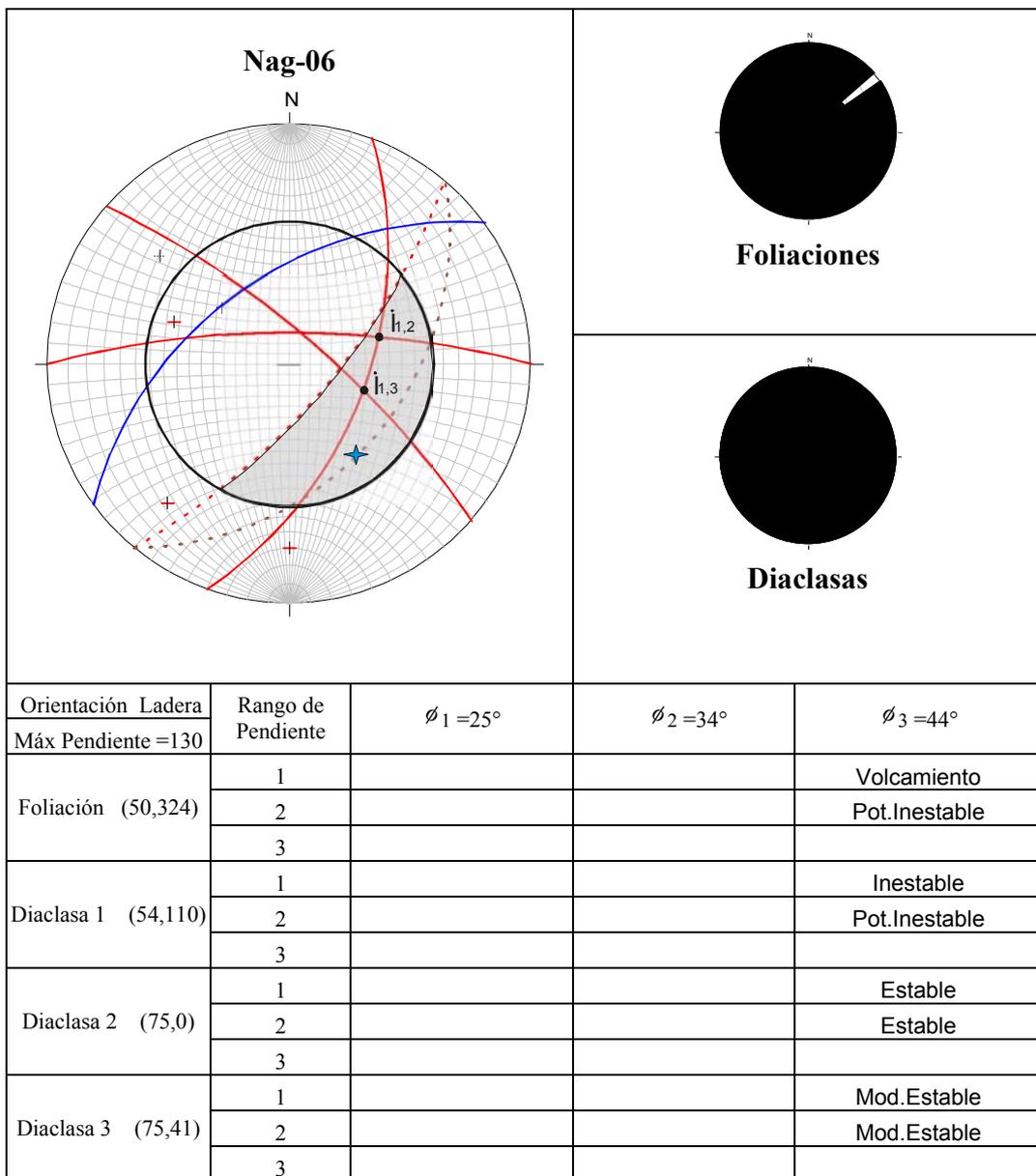


Fig.58 Análisis Cinemático Ladera: Nag-06

La foliación es subparalela a la orientación de la ladera y está orientada en condición cinemática de volcamiento en las zonas de pendiente en el rango 1, y potencialmente inestable en las de rango 2. D1 esta orientada en cuesta de buzamiento, su buzamiento es mayor al  $\phi_3 = 44^\circ$  y menor a la inclinación de la ladera en las zonas de pendiente en el rango 1, lo cual es inestable y en las zonas de pendiente 2 potencialmente inestable ya que el buzamiento es mayor a la inclinación de la ladera. D2 está orientada en contracuesta de buzamiento y es estable. D3 es ortogonal a la orientación de la ladera lo cual es un arreglo estructural moderadamente estable. Las intersecciones D1-D2 y D1-D3 son potencialmente inestables por falla en cuña en las zonas con pendiente en el rango 1, donde el declive de las intersecciones es mayor al  $\phi_3 = 44^\circ$  y menor a la inclinación de la ladera.

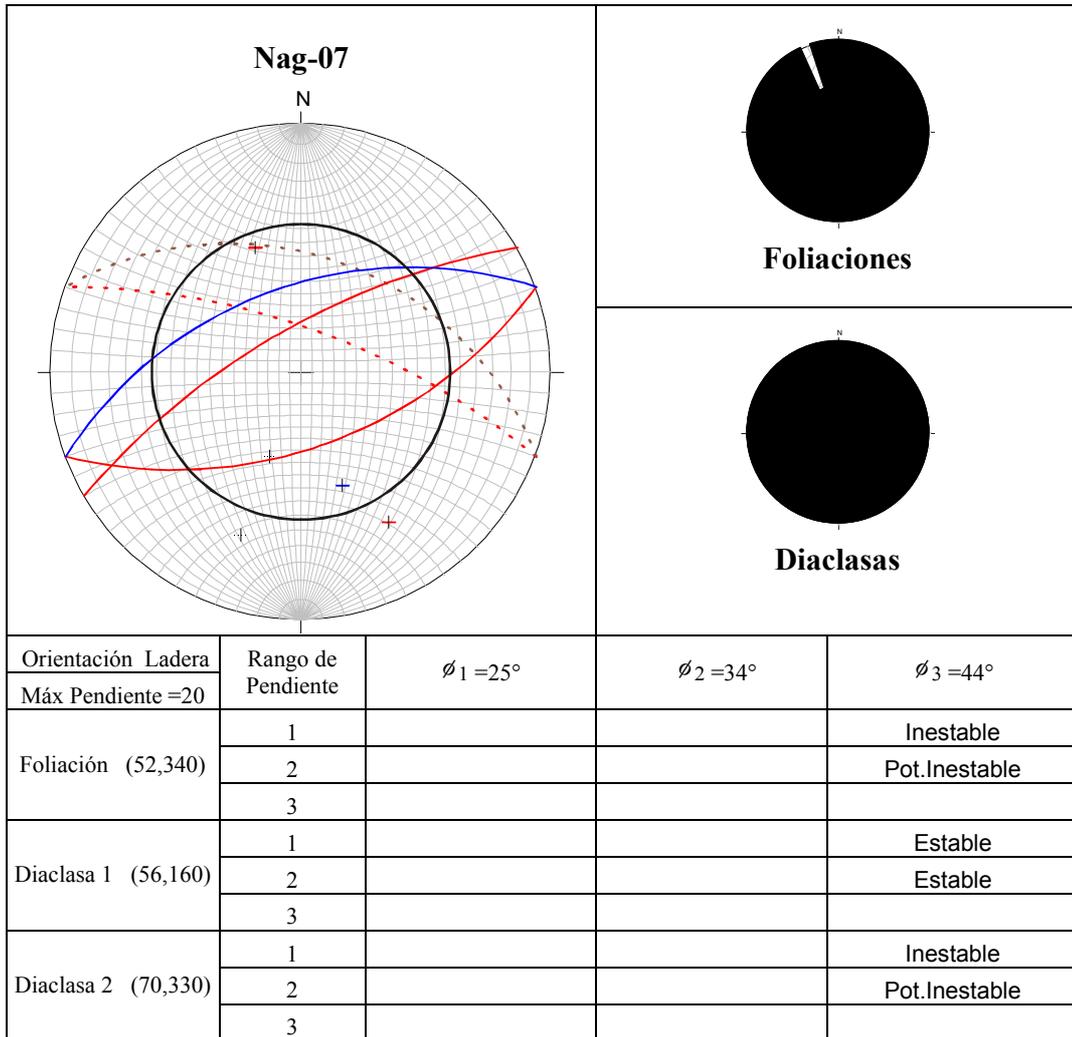


Fig.59 Análisis Cinemático Ladera: Nag-07

La foliación y D2 están orientadas en cuesta de buzamiento respecto a la ladera, son inestables en las zonas de pendiente en el rango 1 y potencialmente inestables en las de rango 2. D1 se orienta en contracuesta de buzamiento y es estable.

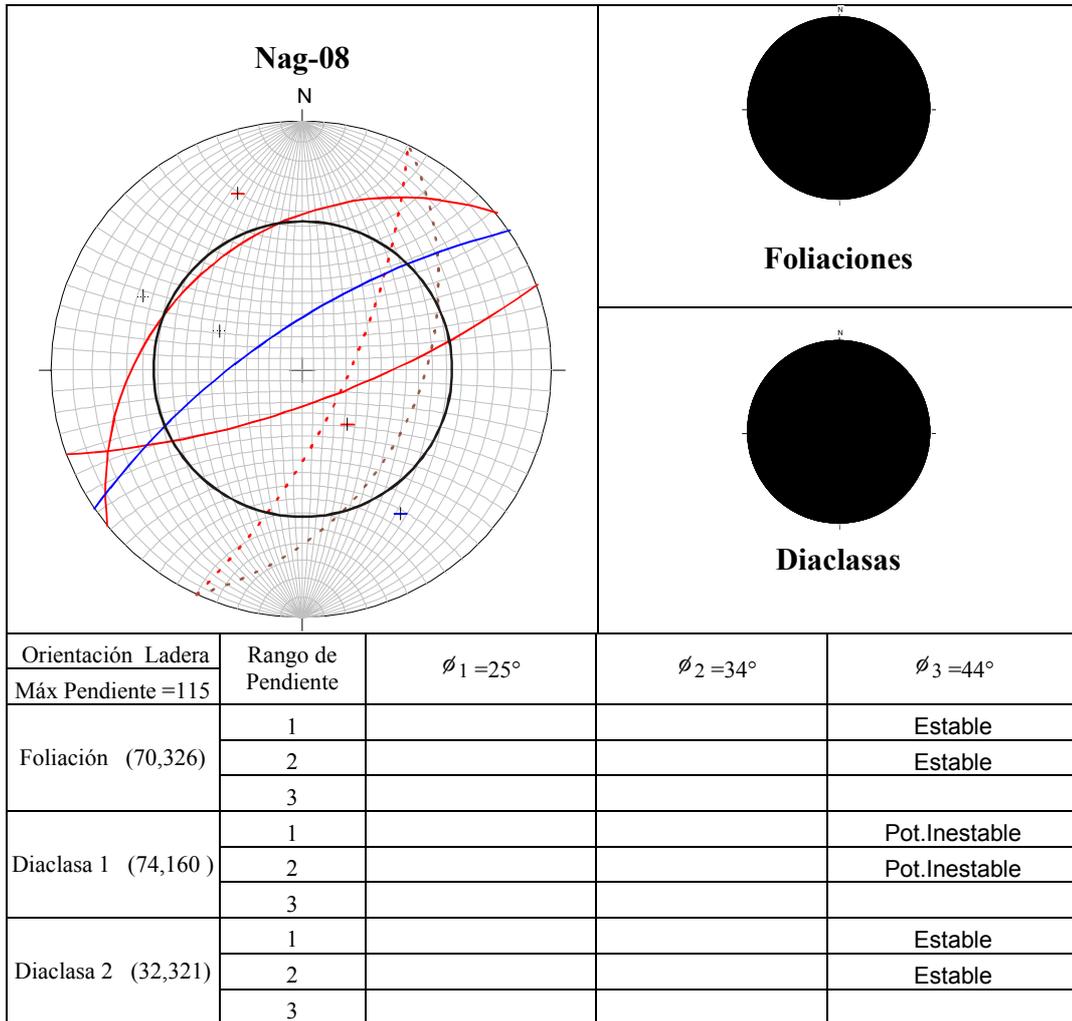


Fig.60 Análisis Cinemático Ladera: Nag-08

Las tendencias principales de la foliación y D2 están orientadas en contracuesta a la ladera, lo que constituye un arreglo estructural estable. D1 es subparalela a la orientación de la ladera y se dispone en cuesta de buzamiento, además, el buzamiento es mayor al  $\phi_3 = 44^\circ$  y ligeramente mayor a la inclinación de la ladera en las zonas de pendiente en el rango 1 y 2, lo cual es potencialmente inestable.

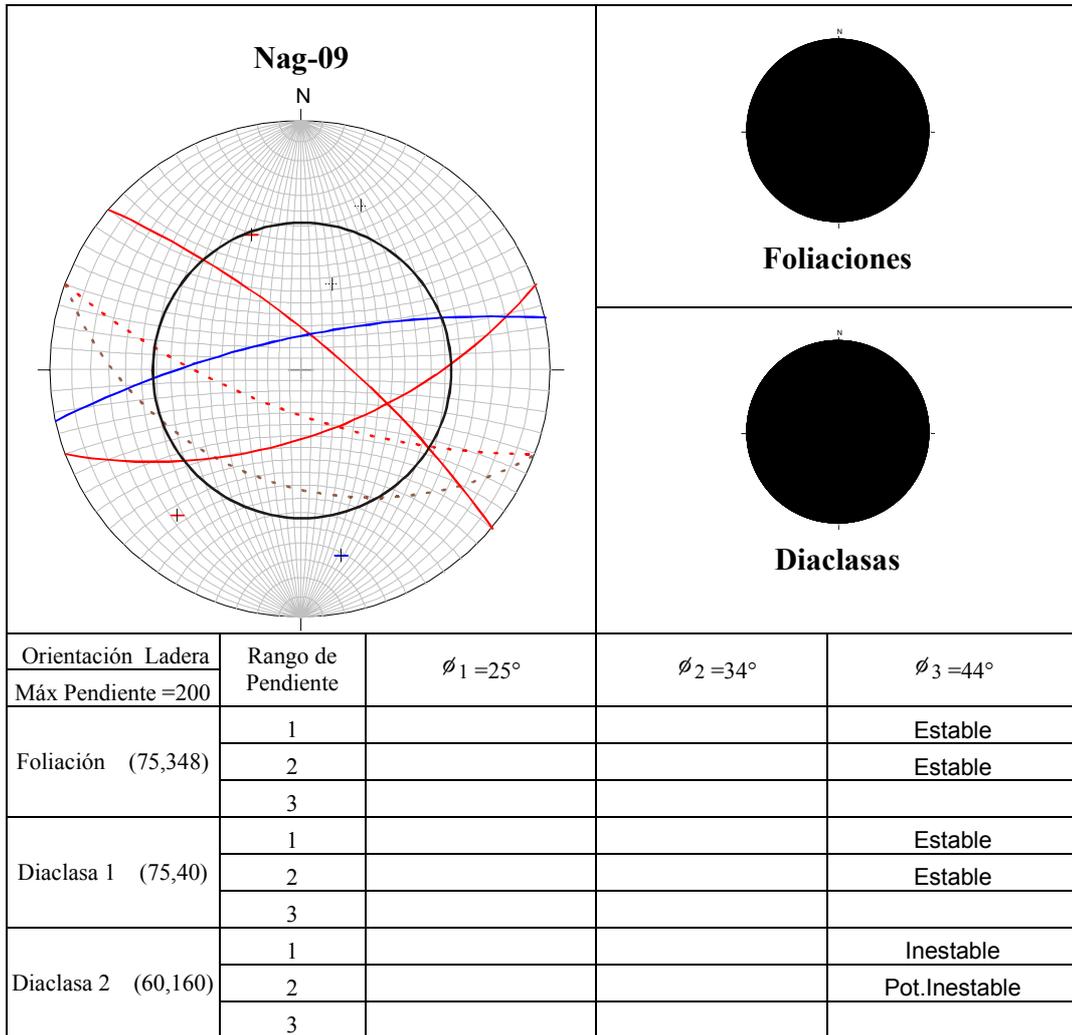


Fig.61 Análisis Cinemático Ladera: Nag-09

La foliación y D1 están orientadas en contracuesta de buzamiento respecto a la ladera, lo cual es un arreglo estructural estable. D2 se orienta en cuesta de buzamiento, su buzamiento es mayor al  $\phi_3 = 44^\circ$  y menor a la inclinación de la ladera en las zonas de pendiente en el rango 1, lo que representa un arreglo cinemáticamente inestable. En las zonas de pendiente en el rango d2, D2 es potencialmente inestable, ya que el buzamiento es mayor a la inclinación de la ladera y no la corta.

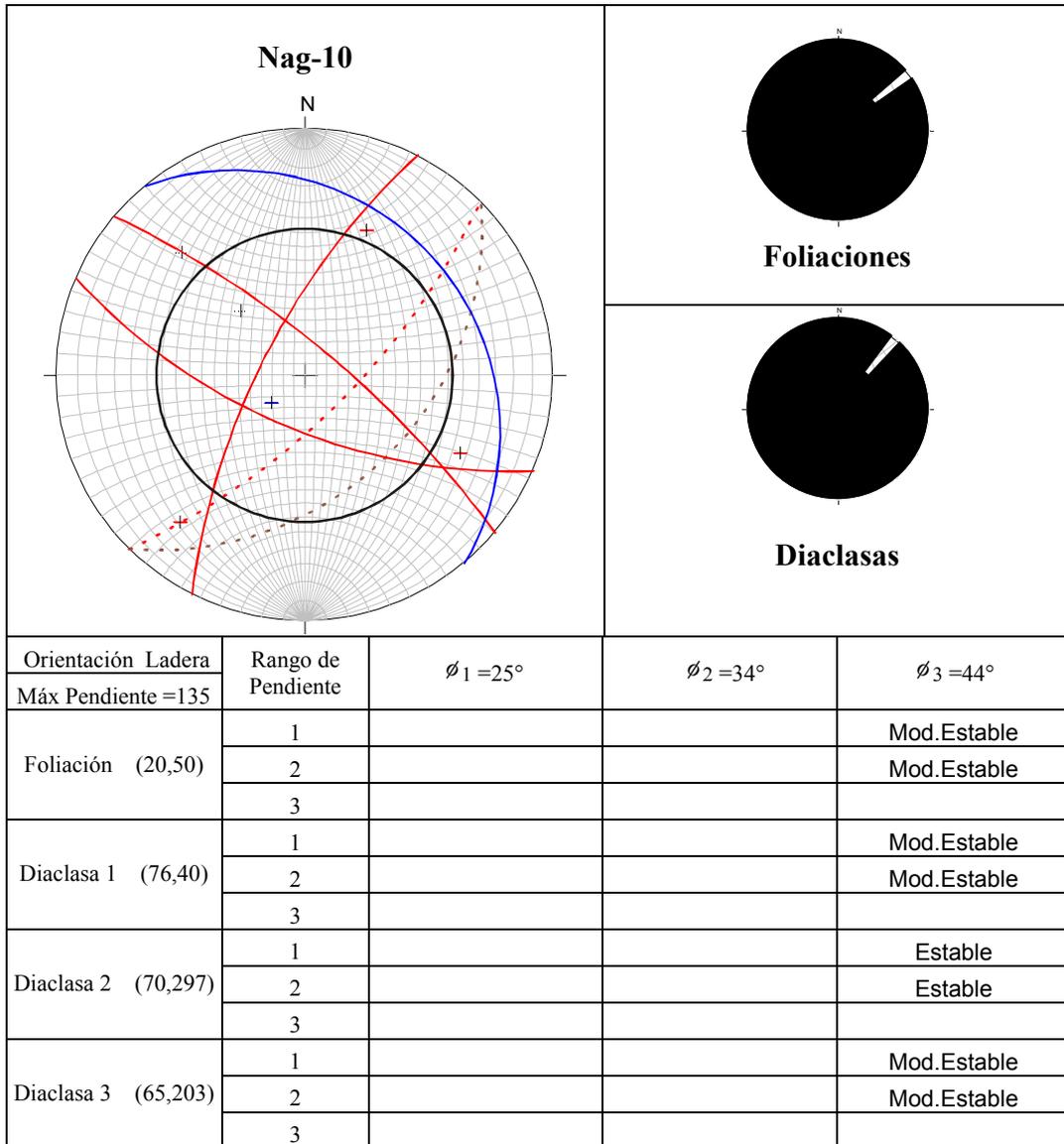


Fig.62 Análisis Cinemático Ladera: Nag-10

La tendencia principal de foliación es ortogonal a la orientación de la ladera, lo cual es un arreglo estructural moderadamente estable. Igualmente D1 y D3 son ortogonales a la orientación de la ladera. D2 está en contracuesta de buzamiento y es estable.

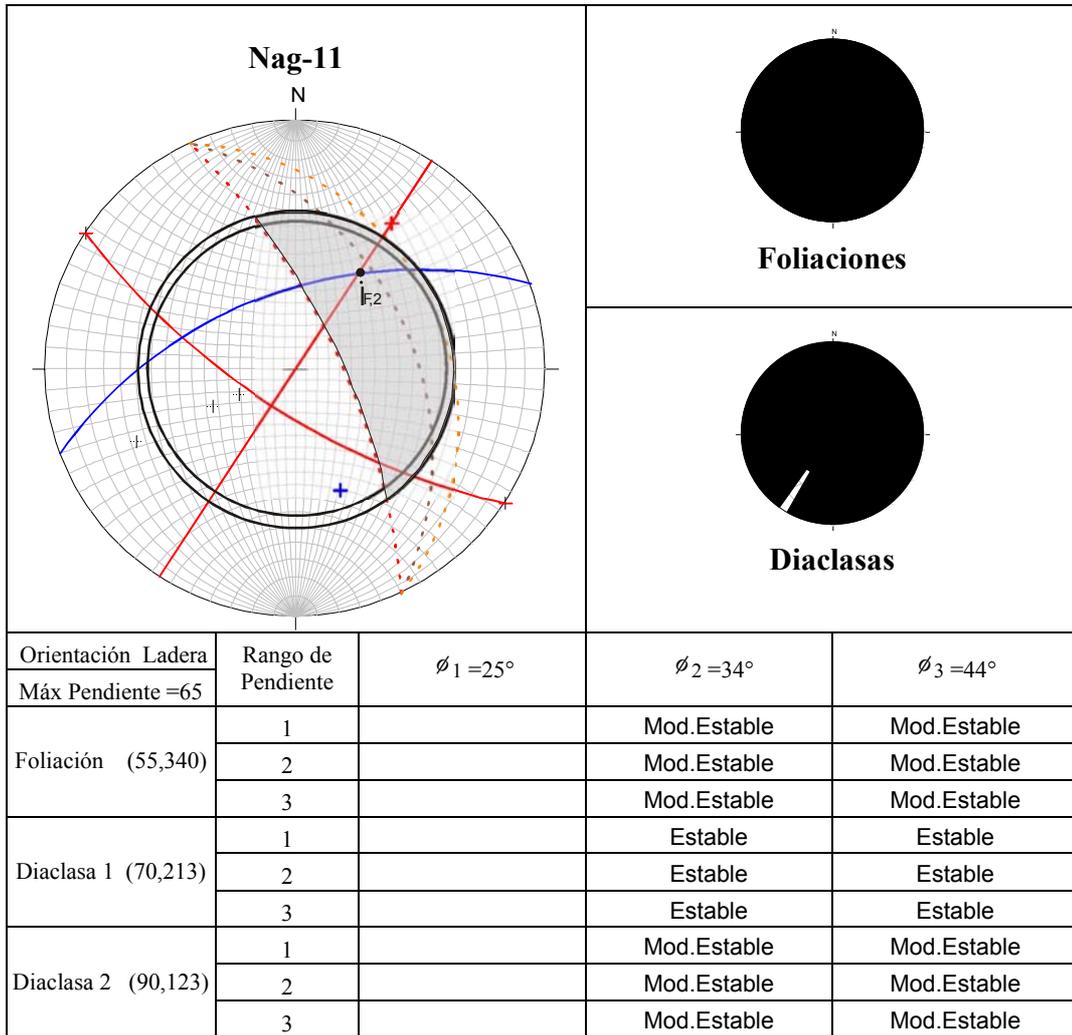


Fig.63 Análisis Cinemático Ladera: Nag-11

La tendencia principal de foliación es ortogonal a la orientación de la ladera, lo cual representa un arreglo estructural moderadamente estable. D1 está en contracuesta de buzamiento y es estable. D2 es ortogonal a la ladera y de buzamiento subvertical, es moderadamente estable. La intersección de la foliación con D2 es potencialmente inestable por falla en cuña en las zonas de pendiente en el rango 1, donde el declive de la intersección es mayor al  $\phi_2 = 34^\circ$ ,  $\phi_3 = 44^\circ$  y menor a la inclinación de la ladera.

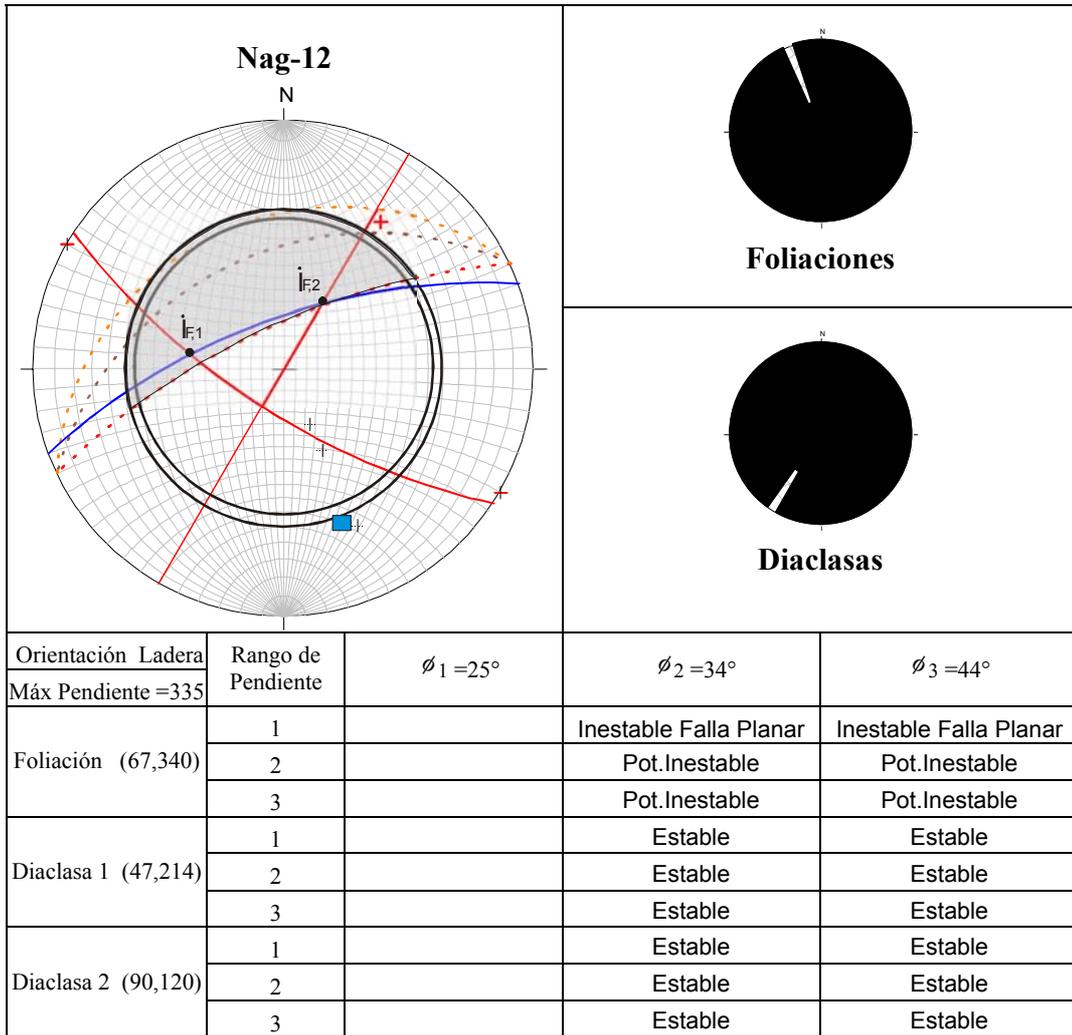


Fig.64 Análisis Cinemático Ladera: Nag-12

La foliación se encuentra en condición cinemática de falla planar, es subparalela a la orientación de la ladera y se dispone en cuesta de buzamiento, además, su buzamiento es mayor al  $\phi_2 = 34^\circ$ ,  $\phi_3 = 44^\circ$  y menor a la inclinación de la ladera en las zonas de pendiente en el rango 1, lo cual es inestable y en las zonas de pendiente 2 y 3 potencialmente inestable ya que el buzamiento es mayor a la inclinación de la ladera. D1 está orientada en contracuesta de buzamiento, representando un arreglo estructural estable. D2 es estable, se orienta ortogonal a la ladera y de buzamiento subvertical. La intersecciones de la foliación con D1 y D2 son potencialmente inestables por falla en cuña en las zonas con pendiente en el rango 1, donde el

declive de la intersección es mayor al  $\phi_2 = 34^\circ$ ,  $\phi_3 = 44^\circ$  y menor a la inclinación de la ladera.

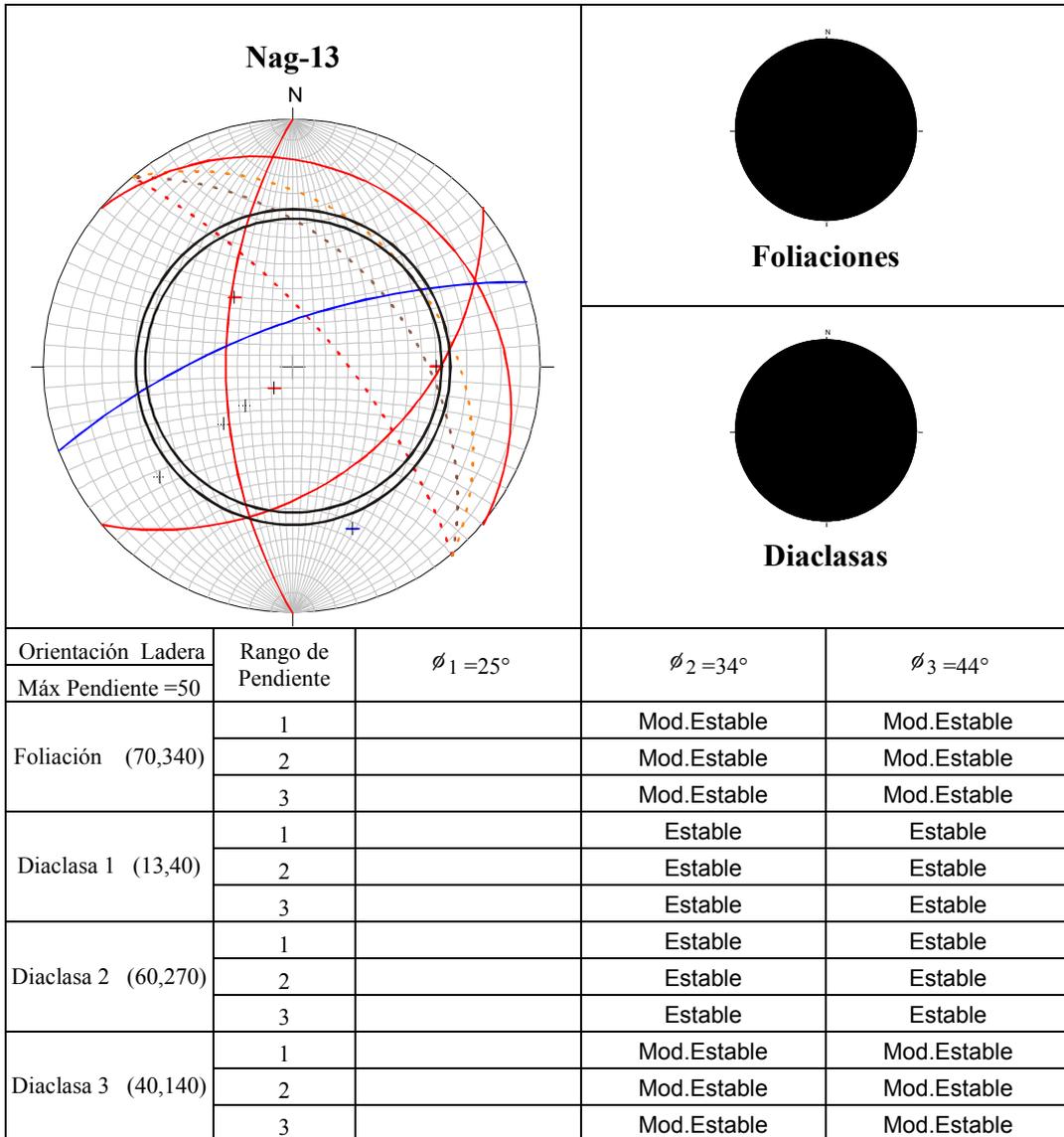


Fig.65 Análisis Cinemático Ladera: Nag-13

La tendencia principal de foliación es ortogonal a la orientación de la ladera en un arreglo estructural moderadamente estable. Sin embargo, se observa un gran dispersión de la foliación y diaclasas debido a la deformación existente en las unidades litológicas, lo cual es potencialmente inestable por falla circular,

especialmente en las zonas con mayor alteración. D1 es subparalela a la ladera, su buzamiento es menor al ángulo de fricción  $\phi_2 = 34^\circ$  y  $\phi_3 = 44^\circ$  es cinemáticamente estable. D2 está orientada en contracuesta de buzamiento y es estable. D3 está orientada ortogonal a la ladera en un arreglo estructural moderadamente estable.

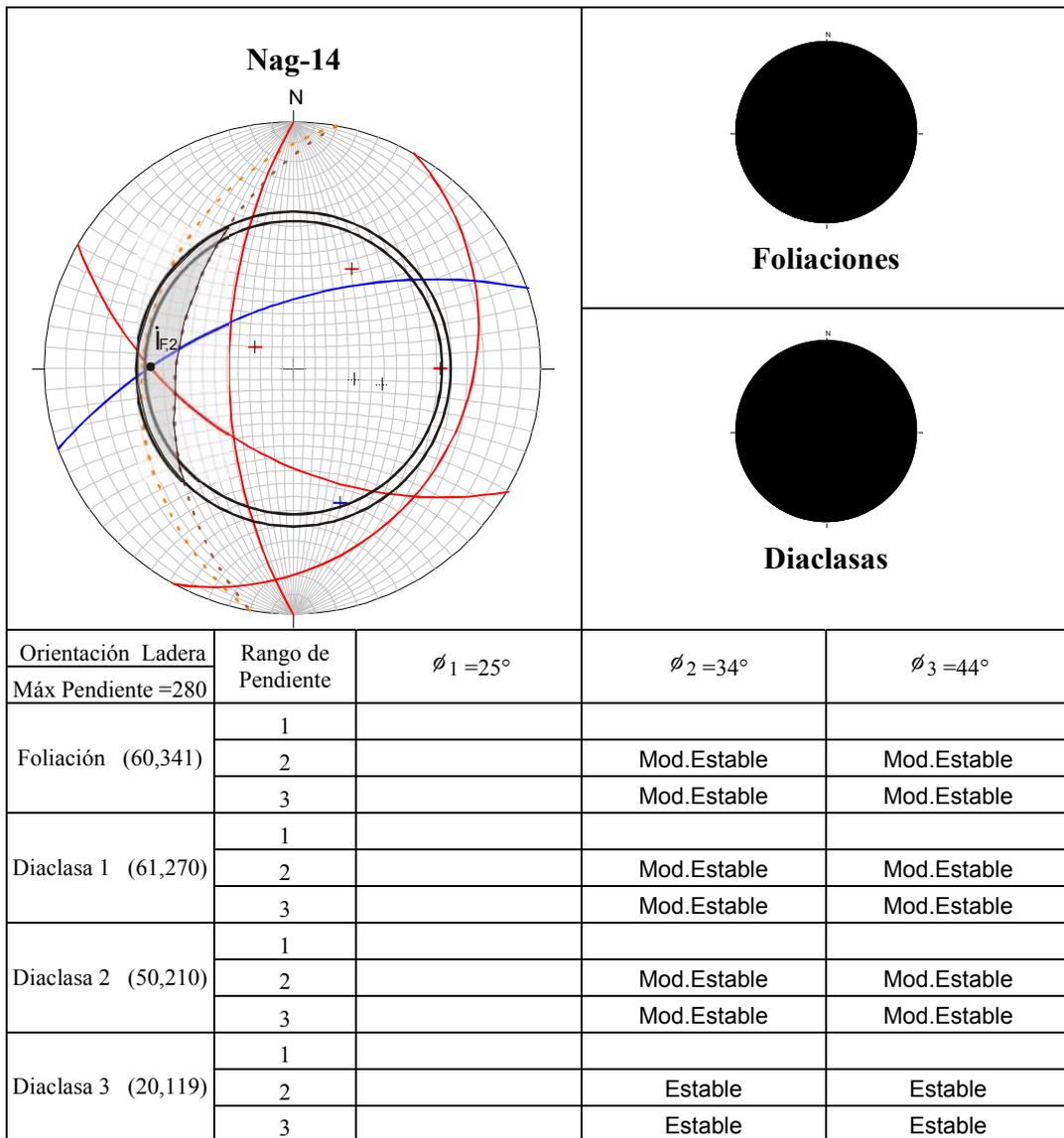


Fig.66 Análisis Cinemático Ladera: Nag-14

La tendencia principal de foliación y D2 son casi ortogonales a la orientación de la ladera, lo cual es un arreglo estructural moderadamente estable. D1 es subparalela a

la orientación de la ladera, sin embargo no corta en la cara de la ladera ya que su buzamiento es mayor a la inclinación del terreno, esto se considera un arreglo estructural moderadamente estable. D3 es estable ya que es subparalela a la ladera en contracuesta de buzamiento. La intersección de la foliación y D2 es potencialmente inestable por falla en cuña en las zonas de pendiente en el rango 2, donde el declive de la intersección es mayor al ángulo de fricción interna y menor a la inclinación del terreno.

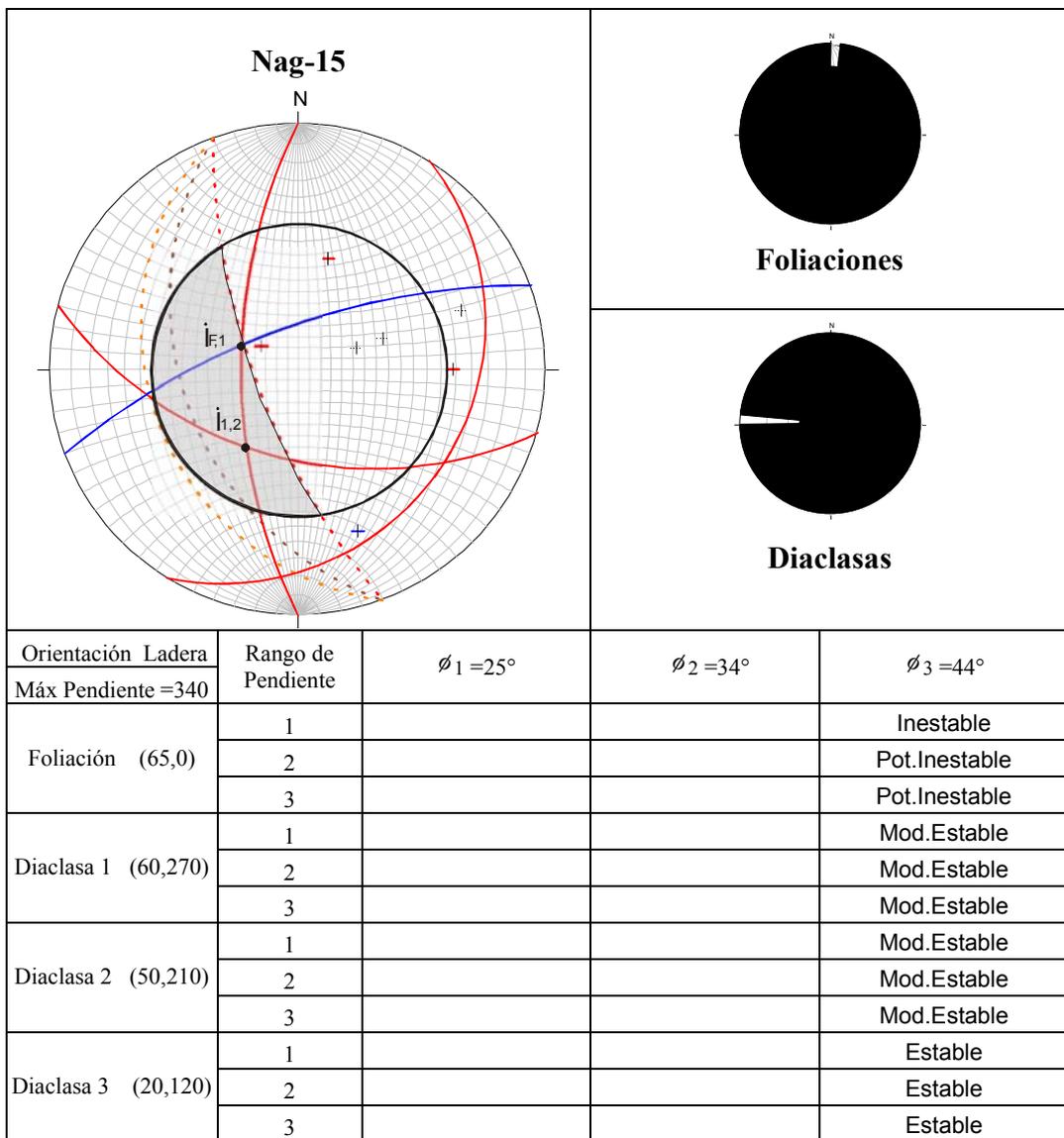


Fig.67 Análisis Cinemático Ladera: Nag-15

La foliación y D2 ortogonales a la orientación de la ladera, son moderadamente estable. D1 es subparalela a la orientación de la ladera y se dispone en cuesta de buzamiento, su buzamiento es mayor al  $\phi_3 = 44^\circ$  y menor a la inclinación de la ladera en las zonas de pendiente en el rango 1, lo cual es inestable y en las zonas de pendiente 2 y 3 potencialmente inestable. D3 está orientada en contracuesta de buzamiento y es estable. Las intersecciones de la foliación con D1 y D1-D2, son potencialmente inestables por falla en cuña en las zonas de pendiente en el rango 1.

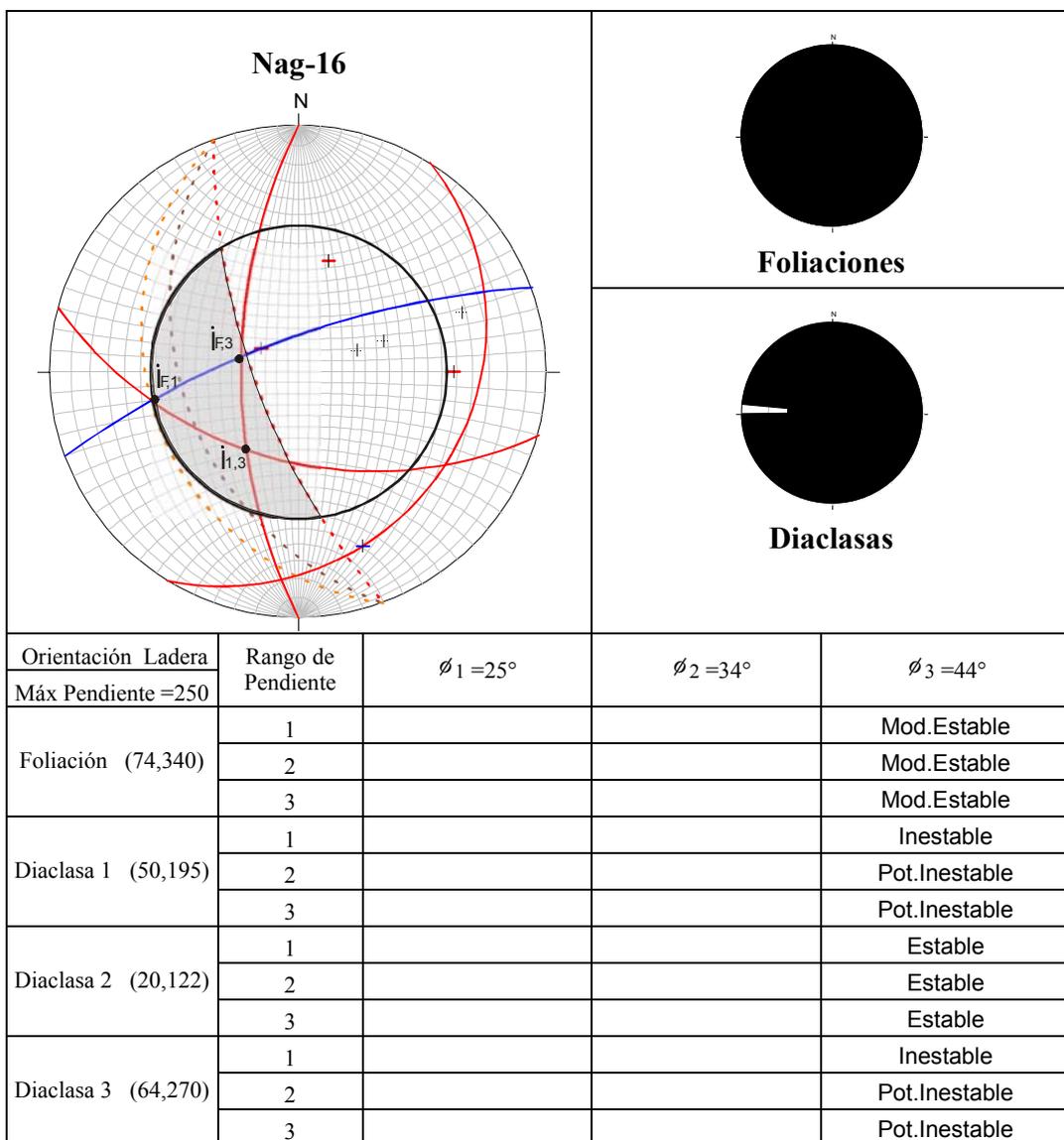


Fig.68 Análisis Cinemático Ladera: Nag-16

La foliación y D1 ortogonales a la orientación de la ladera, lo cual es un arreglo estructural moderadamente estable. D2 está orientada en contracuesta de buzamiento y es estable. D3 es subparalela a la orientación de la ladera y se dispone en cuesta de buzamiento, pero su buzamiento es menor al  $\phi_3 = 44^\circ$ , lo que se condisera moderadamente estable. Las intersecciones de la foliación con D1 y D3 y D1-D3 son potencialmente inestables por falla en cuña en las zonas de pendiente en el rango 1. Además la intersección Fol-D1 es inestable en las zonas de rango 2.

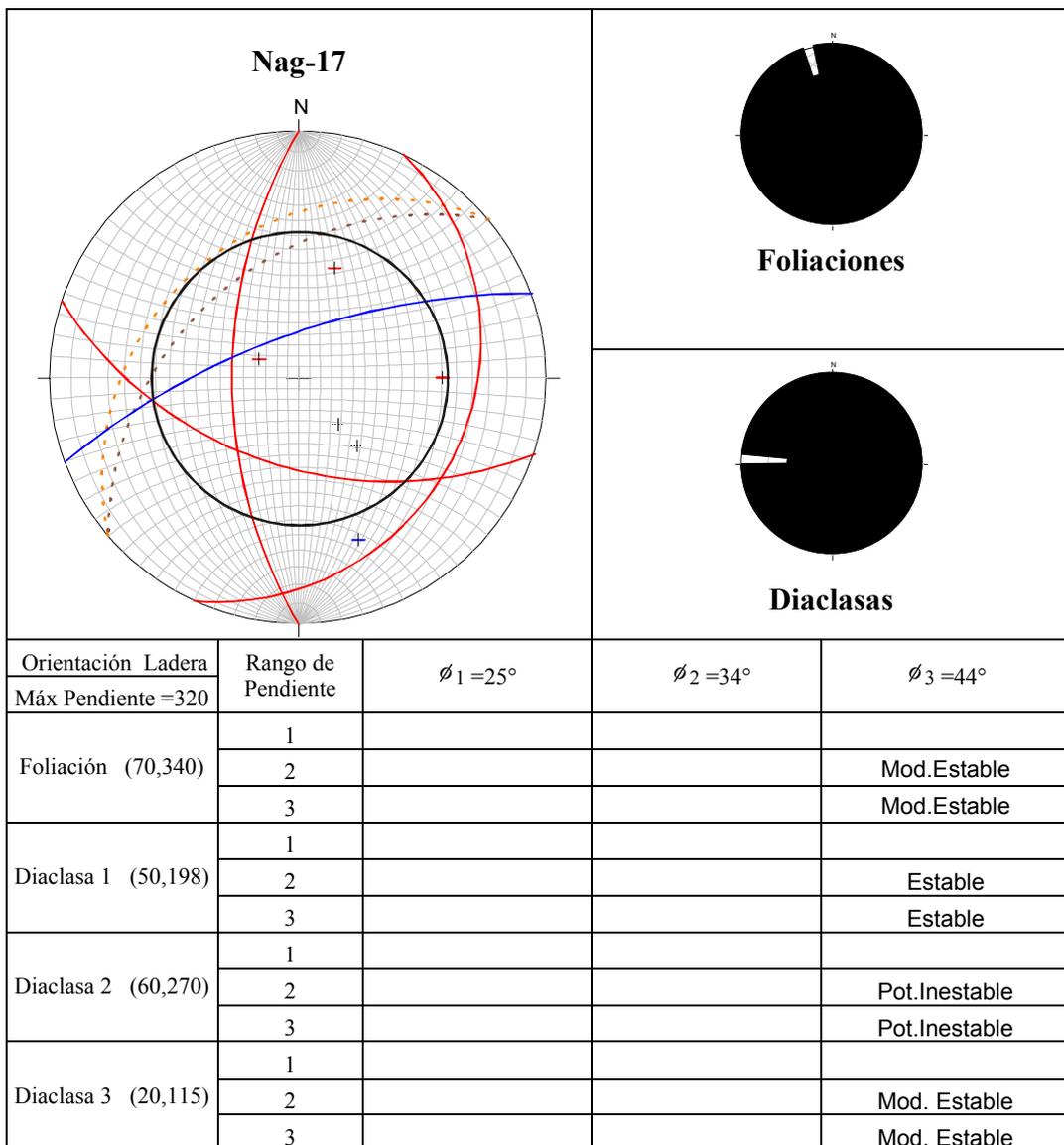


Fig.69 Análisis Cinemático Ladera: Nag-17

La foliación es subparalela a la orientación de la ladera y se dispone en cuesta de buzamiento, su buzamiento es mayor al  $\phi_2 = 34^\circ$ , sin embargo se considera moderadamente estable ya que no corta en la cara de la ladera por que la inclinación del terreno es mucho menor. D1 y D3 están orientadas en contracuesta de buzamiento lo cual es un arreglo estructural estable. D2 se orienta en cuesta de buzamiento y es potencialmente inestable en las zonas de pendiente en el rango 2 y 3.

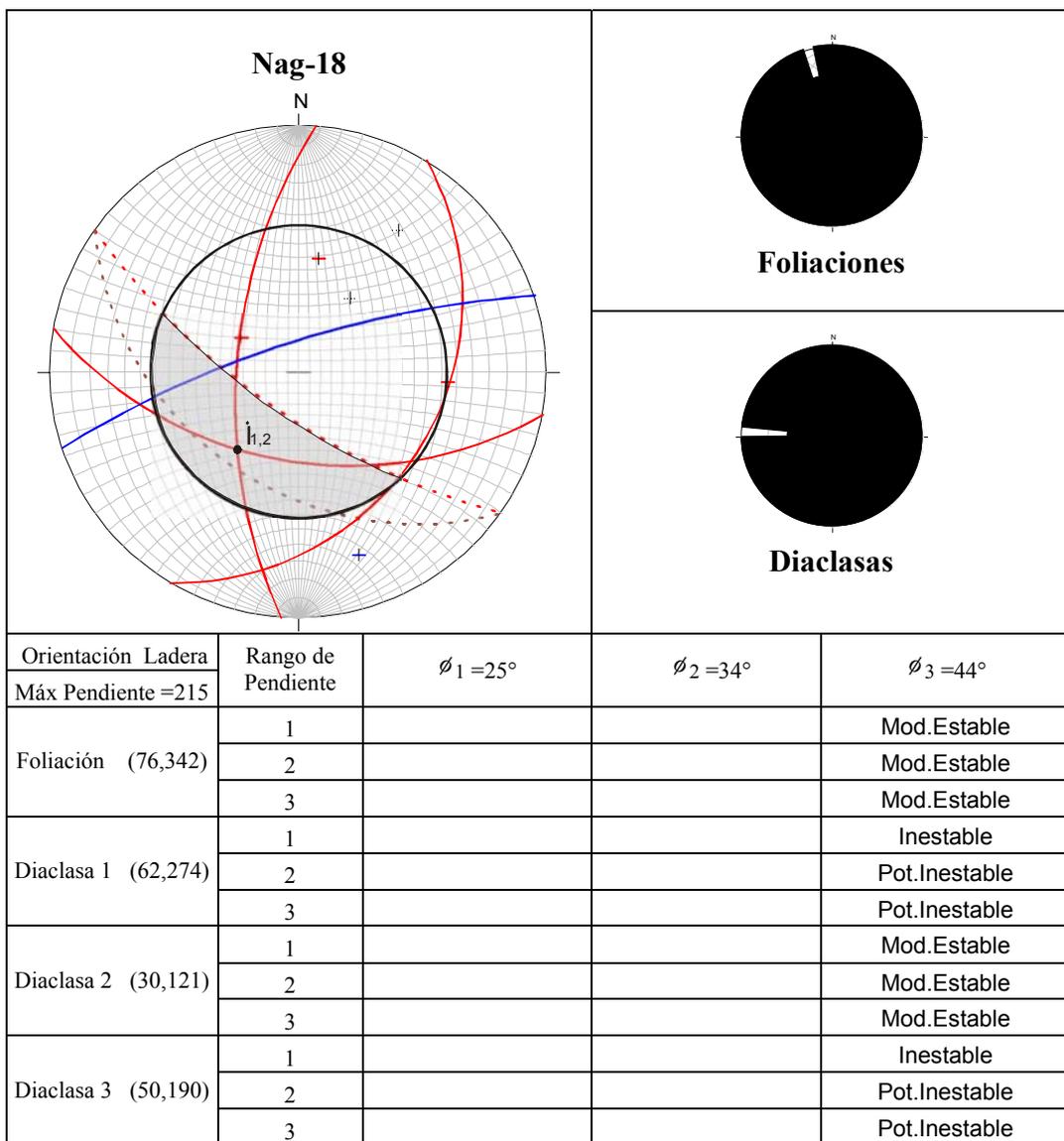


Fig.70 Análisis Cinemático Ladera: Nag-18

La tendencia principal de foliación y D2 son ortogonales a la orientación de la ladera, representando un arreglo estructural moderadamente estable. D1 y D3 están orientadas en cuesta de buzamiento a la ladera y son inestables en las zonas de pendiente en el rango 1, donde cumplen las condiciones cinemáticas. En las zonas de rango 3 son potencialmente inestables ya que la inclinación del terreno es menor al buzamiento de D1 y D3; además, su intersección es potencialmente inestable por falla en cuña en las zonas de rango 1.

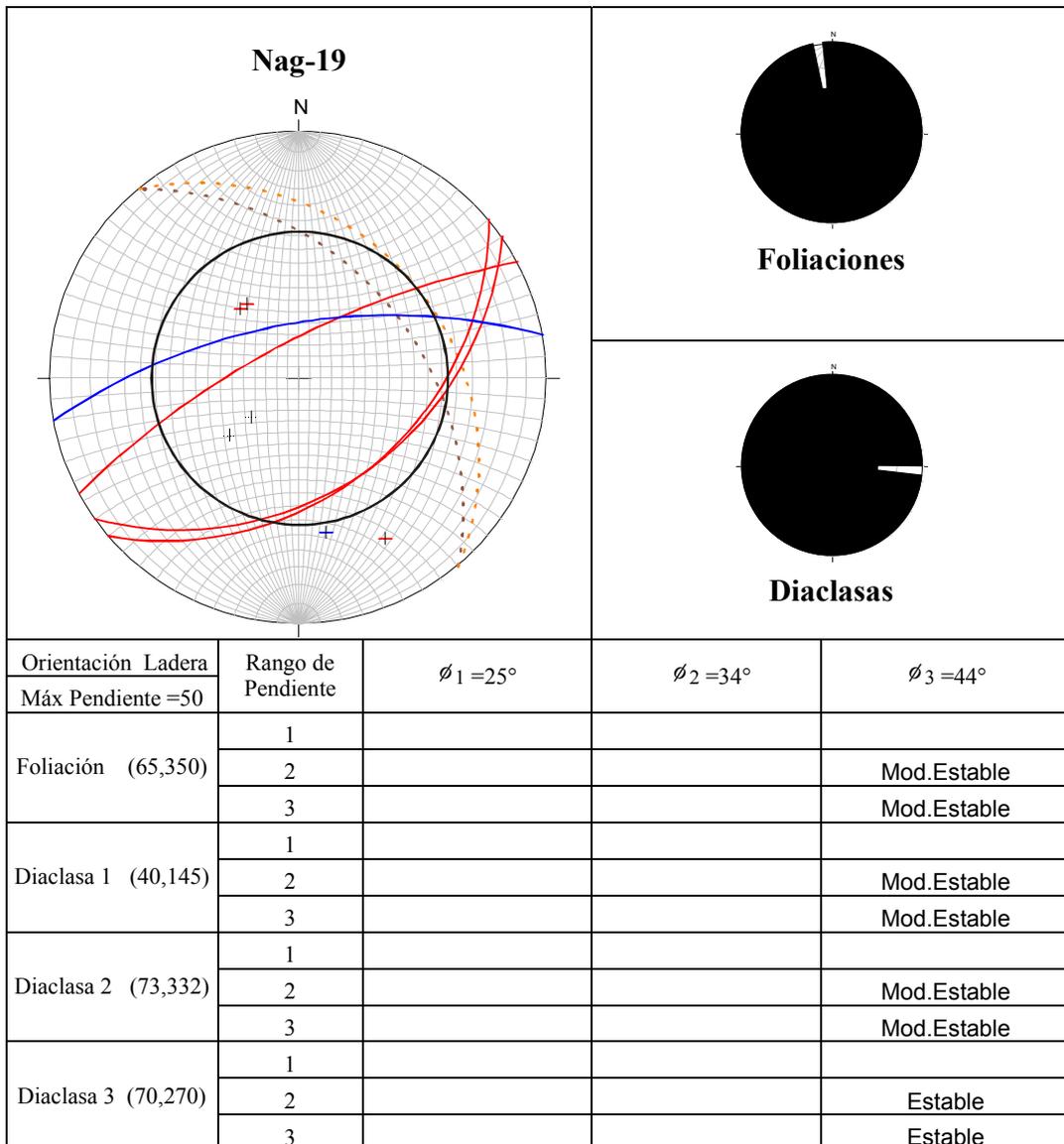


Fig.71 Análisis Cinemático Ladera: Nag-19

La tendencia principal de foliación se aprecia moderadamente estable, ya que se orienta en cuesta de buzamiento en forma casi ortogonal respecto a la orientación de la ladera, además su buzamiento es mayor a la inclinación del terreno. D1 y D2 están orientadas ortogonalmente respecto a la ladera en un arreglo estructural moderadamente estable. D3 está orientada en contracuesta de buzamiento y es estable.

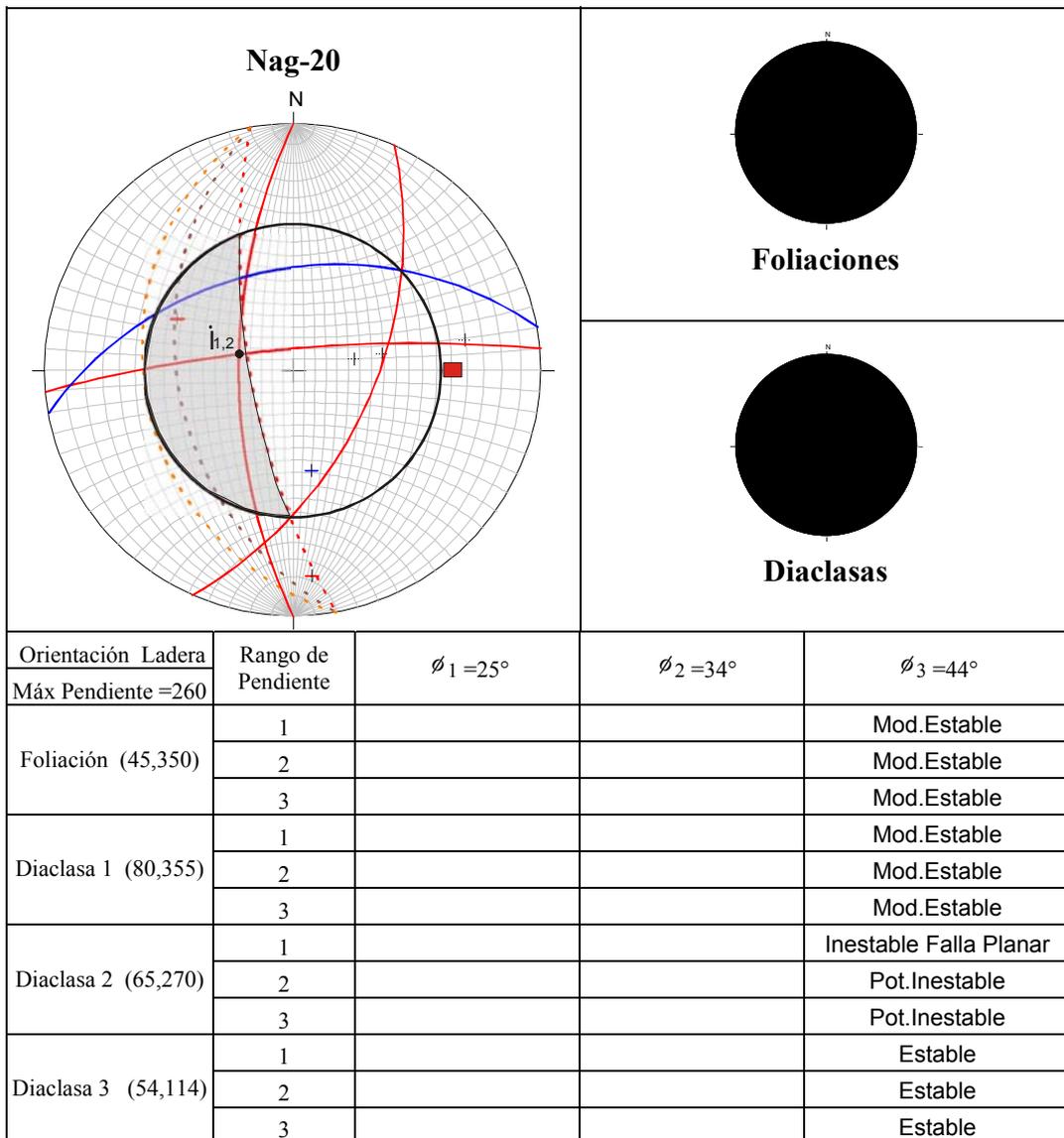


Fig.72 Análisis Cinemático Ladera: Nag-20

La foliación y D1 son ortogonales a la orientación de la ladera, constituyendo un arreglo estructural moderadamente estable. D2 es inestable, se encuentra en condición cinemática de falla planar, es subparalela a la orientación de la ladera y se dispone en cuesta de buzamiento, además, su buzamiento es mayor al  $\phi_3 = 44^\circ$  y menor a la inclinación de la ladera en las zonas de pendiente en el rango 1, mientras que en las zonas de rango 2 y 3 es potencialmente inestable ya que el buzamiento es mayor a la inclinación del terreno. D3 está orientada en contracuesta de buzamiento y es estable.

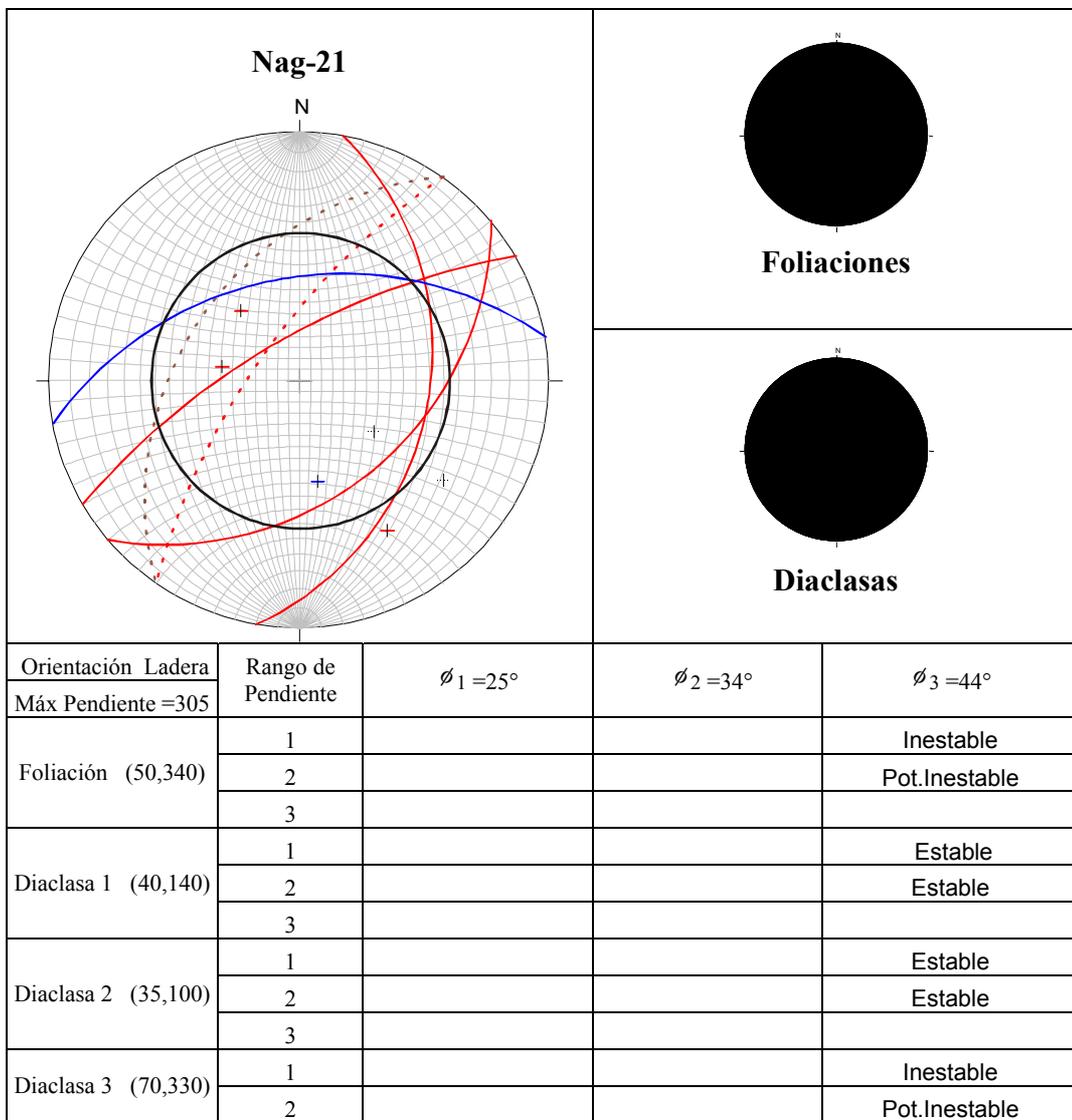


Fig.73 Análisis Cinemático Ladera: Nag-21

La foliación y D3 están orientadas en cuesta de buzamiento respecto a la ladera, son inestables en las zonas de pendiente en el rango 1 y potencialmente inestables en las de rango 2. D1 y D2 se orientan en contracuesta de buzamiento y son estables.

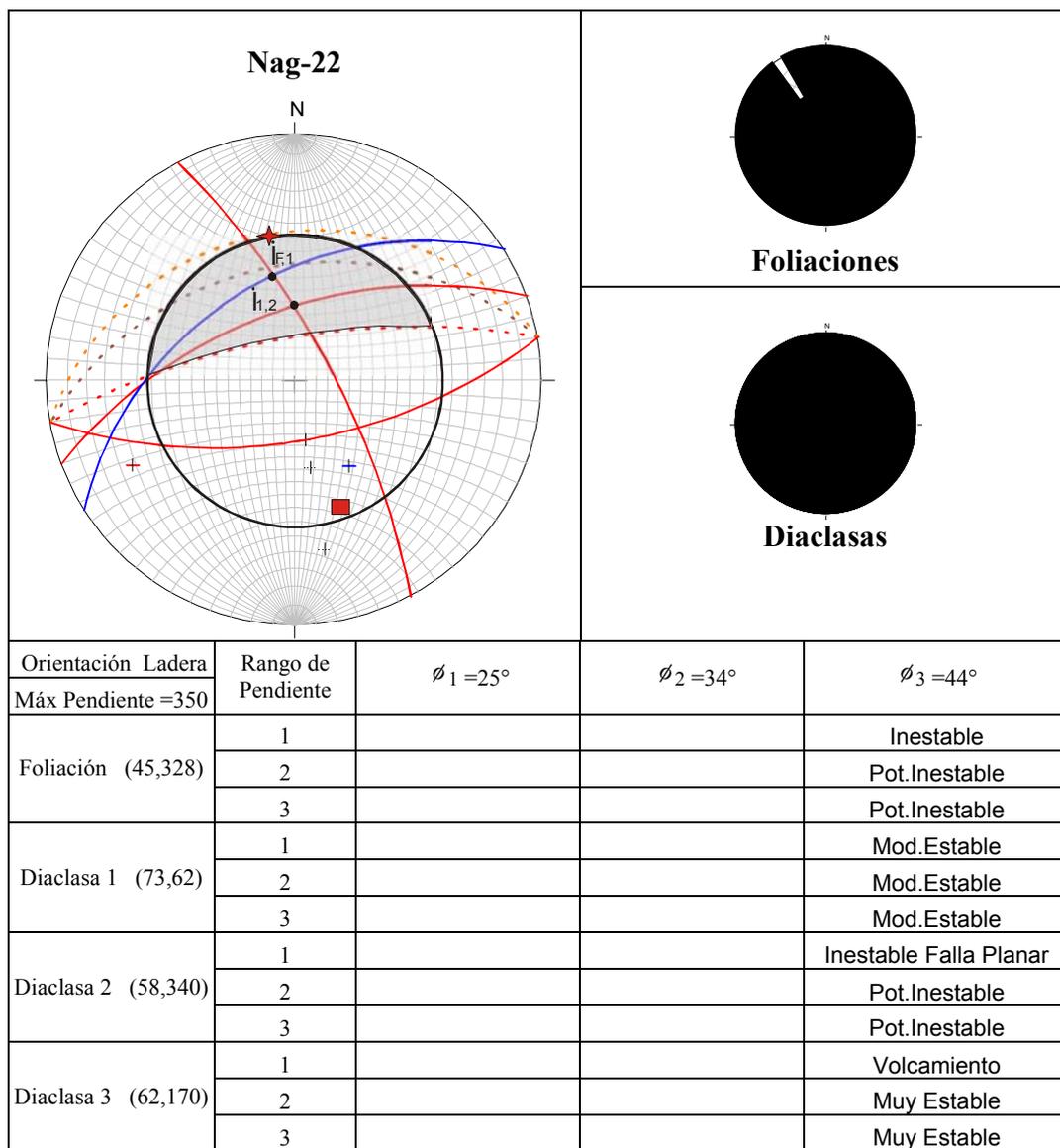


Fig.74 Análisis Cinemático Ladera: Nag-22

La foliación es subparalela a la orientación de la ladera y se dispone en cuesta de buzamiento, su buzamiento es ligeramente mayor al  $\phi_3 = 44^\circ$  y menor a la

inclinación de la ladera en el rango 1, lo cual inestable. En las zonas de pendiente en el rango 2 y 3, la foliación es potencialmente inestable ya que el buzamiento es ligeramente mayor a la inclinación de la ladera y no la corta. D2 es inestable, se encuentra en condición cinemática de falla planar, es paralela a la orientación de la ladera y se dispone en cuesta de buzamiento, su buzamiento es mayor al  $\phi = 44^\circ$  y menor a la inclinación de la ladera en las zonas de pendiente en el rango 1, mientras que en las zonas de rango 2 y 3 es potencialmente inestable ya que el buzamiento es mayor a la inclinación del terreno y no corta en la cara de la ladera. D1 es ortogonal y es moderadamente estable. D3 es muy estable, se orienta subparalela y en contracuesta de buzamiento. Las intersecciones Fol-D1, D1-D2 son inestables por falla en cuña en las zonas de pendiente en el rango 1.

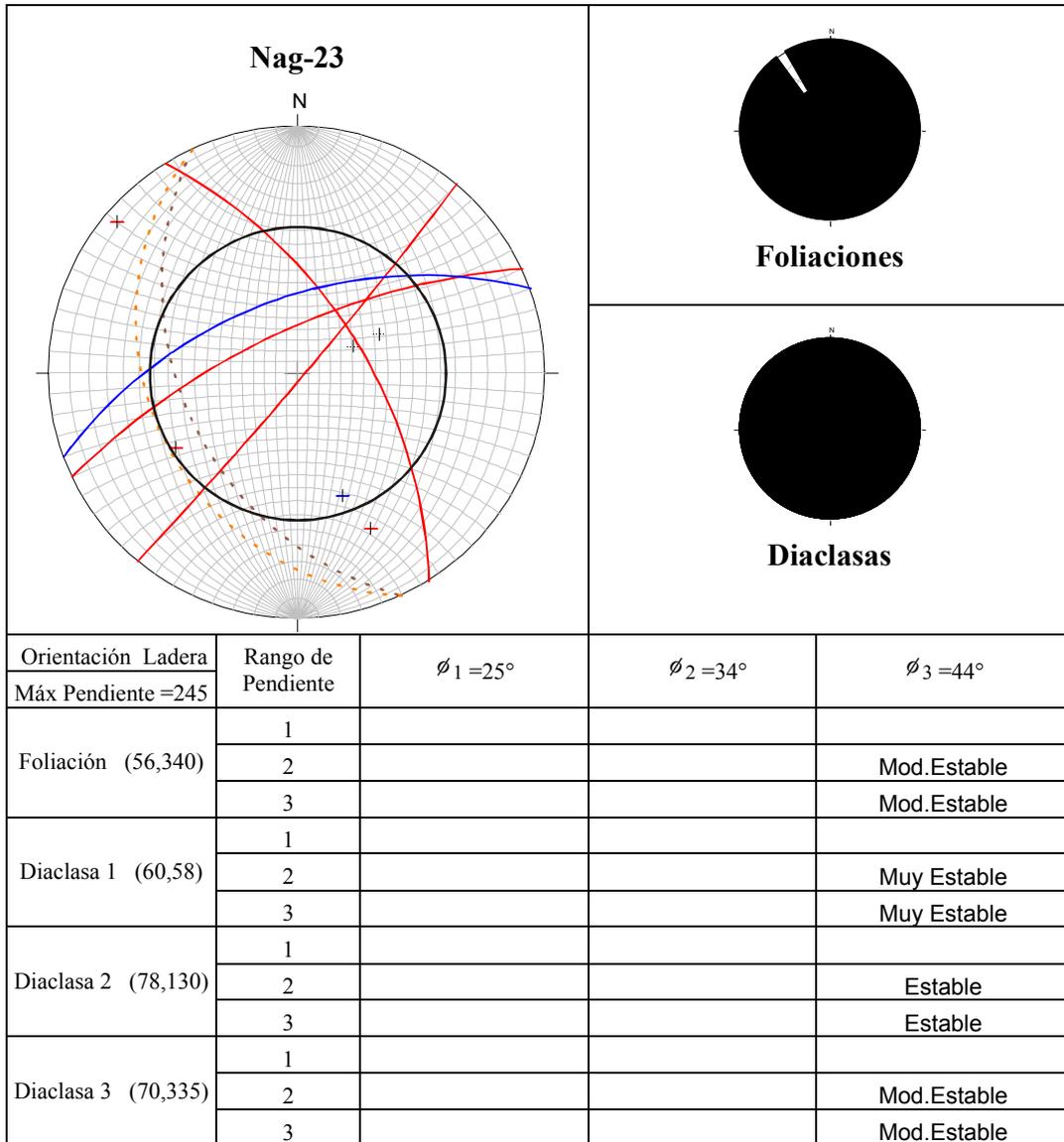


Fig.75 Análisis Cinemático Ladera: Nag-23

La tendencia principal de foliación y D3 son ortogonales a la orientación de la ladera, para un arreglo estructural moderadamente estable. D1 es subparalela a la ladera y en contracuesta de buzamiento lo cual es un arreglo estructural muy estable. D2 es moderadamente estable, es subvertical y se orienta ortogonal al terreno.

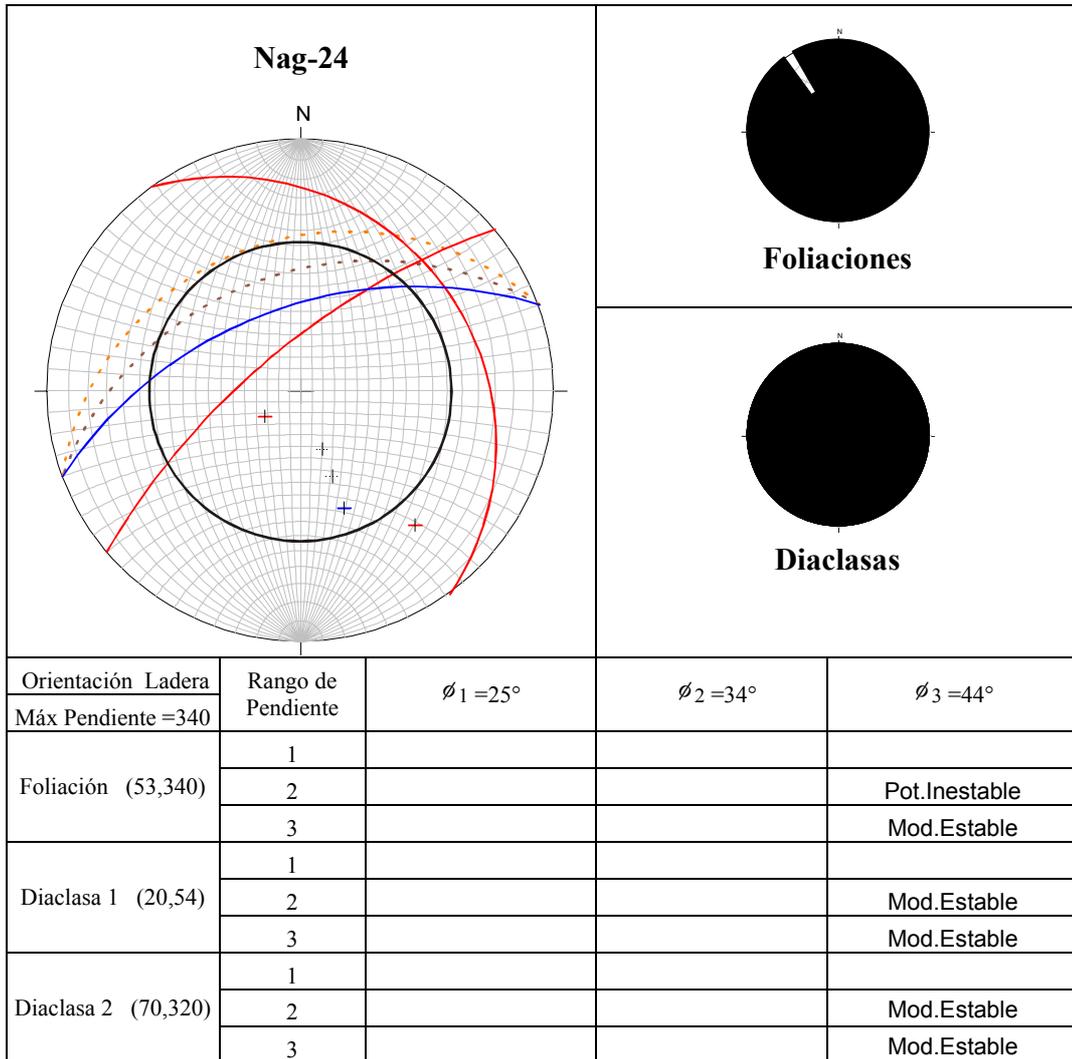


Fig.76 Análisis Cinemático Ladera: Nag-24

La foliación es subparalela a la orientación de la ladera y es potencialmente inestable en las zonas de pendiente en el rango 2, donde el buzamiento es ligeramente mayor a la inclinación del terreno; en las zonas de rango 3 la foliación no corta en la cara de la ladera y se considera moderadamente estable. D1 es ortogonal y es moderadamente estable. D2 es subparalela a la orientación de la ladera, su buzamiento es mucho mayor a la inclinación del terreno y no corta en la cara de la ladera, lo cual es un arreglo estructural moderadamente estable.

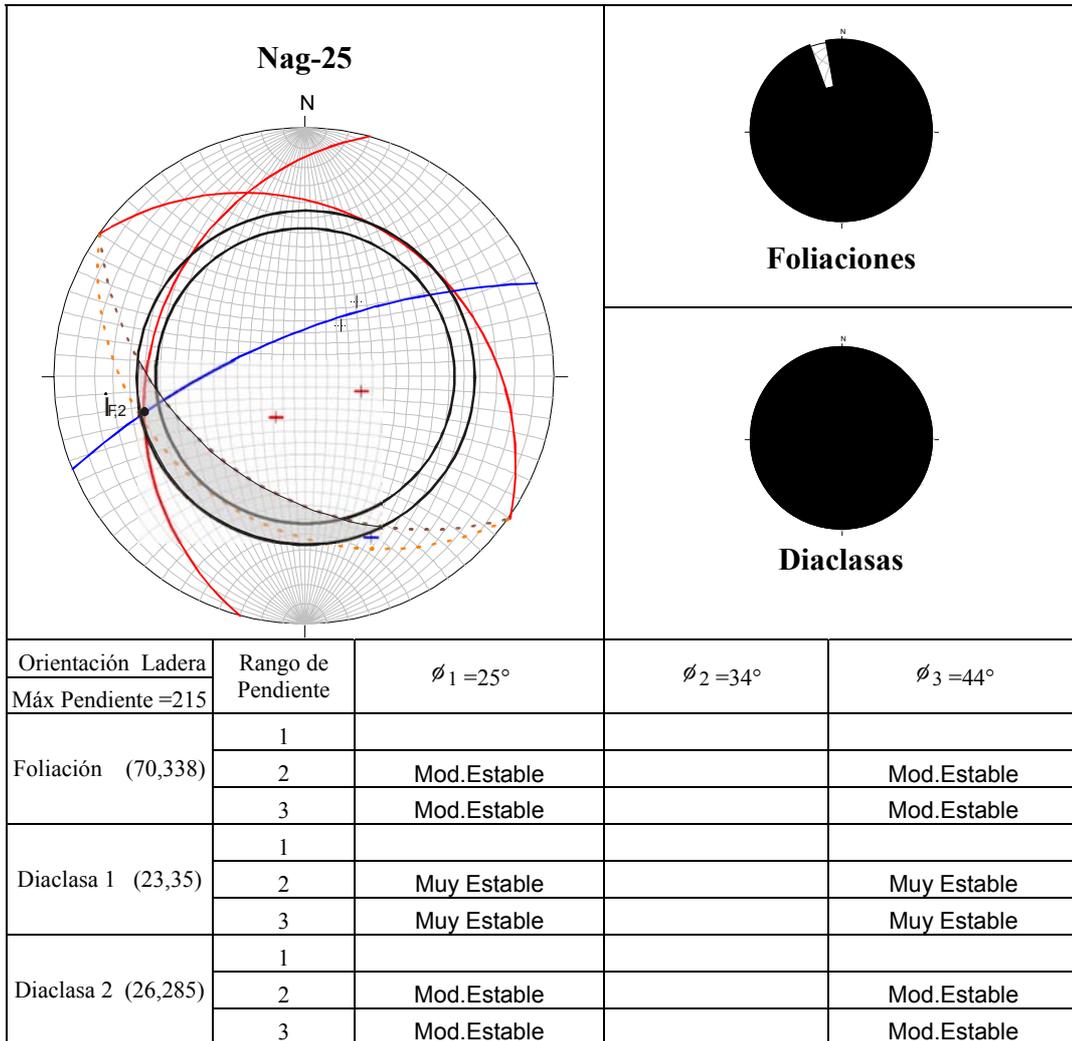


Fig.77 Análisis Cinemático Ladera: Nag-25

La tendencia principal de foliación y D2 son ortogonales a la orientación de la ladera, representando un arreglo estructural moderadamente estable. D1 es subparalela a la ladera y en contracuesta de buzamiento y es muy estable. La intersección de la foliación y D2 es potencialmente inestable por falla en cuña en las zonas de pendiente en el rango 2, donde el declive de la intersección es mayor al ángulo de fricción interna y menor a la inclinación del terreno.

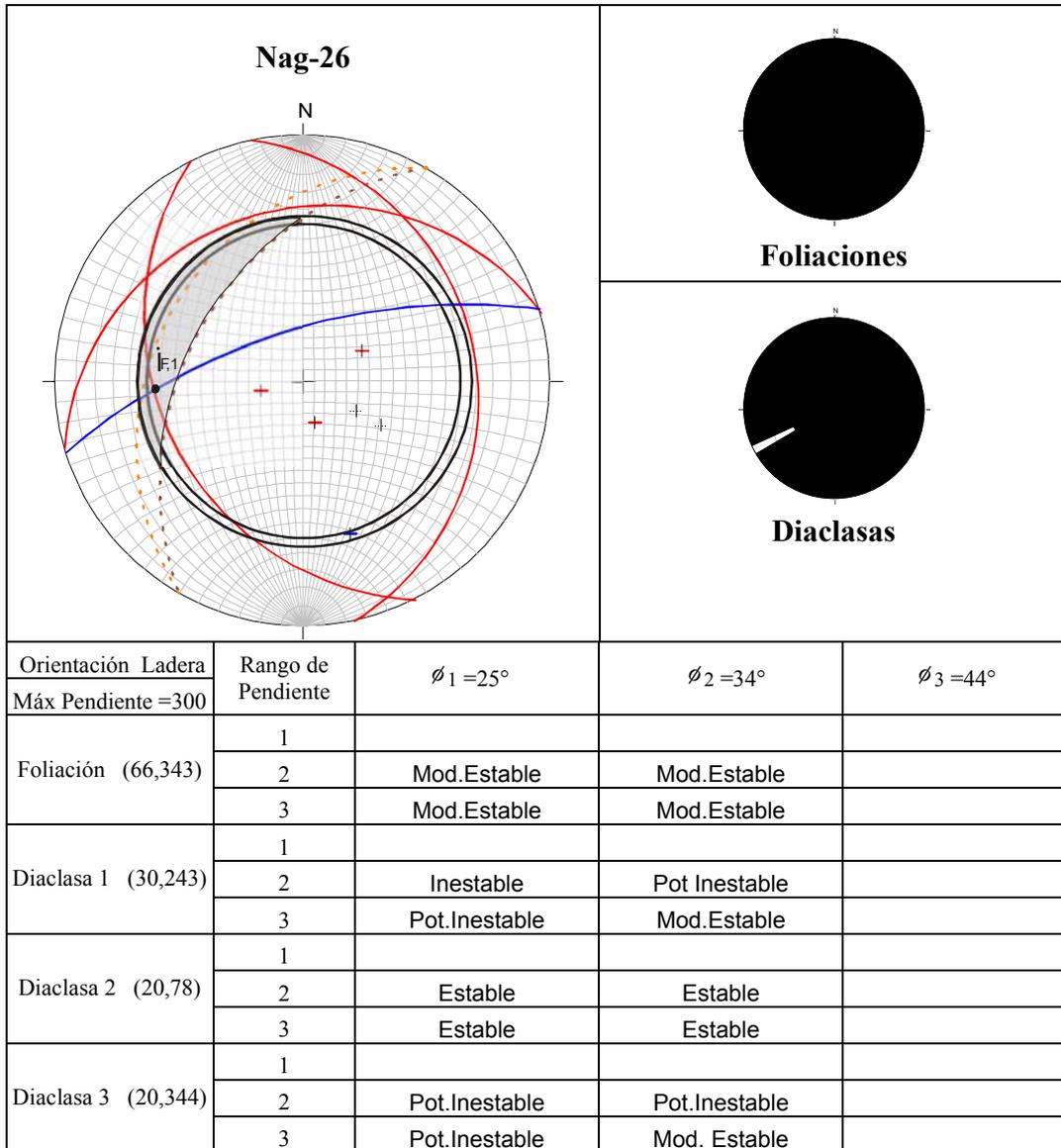


Fig.78 Análisis Cinemático Ladera: Nag-26

La foliación se orienta en cuesta de buzamiento sin llegar a ser subparalela a la ladera, su buzamiento es mayor a la inclinación del terreno por lo que no corta en la cara de la ladera, para un arreglo moderadamente estable. D1 y D3 subparalelas a la ladera y cuesta de buzamiento, son potencialmente inestables para  $\phi_1 = 25^\circ$ , ya que sus buzamientos son mayores al ángulo de fricción interna. Para  $\phi_2 = 34^\circ$  D1 y D3 son moderadamente estables ya que su buzamiento es menor al ángulo de fricción

D2 está orientada en contracuesta de buzamiento y es estable. La intersección de la foliación y D1 es potencialmente inestable por falla en cuña en las zonas de pendiente en el rango 2, donde el declive de la intersección es mayor al ángulo de fricción interna y menor a la inclinación del terreno.

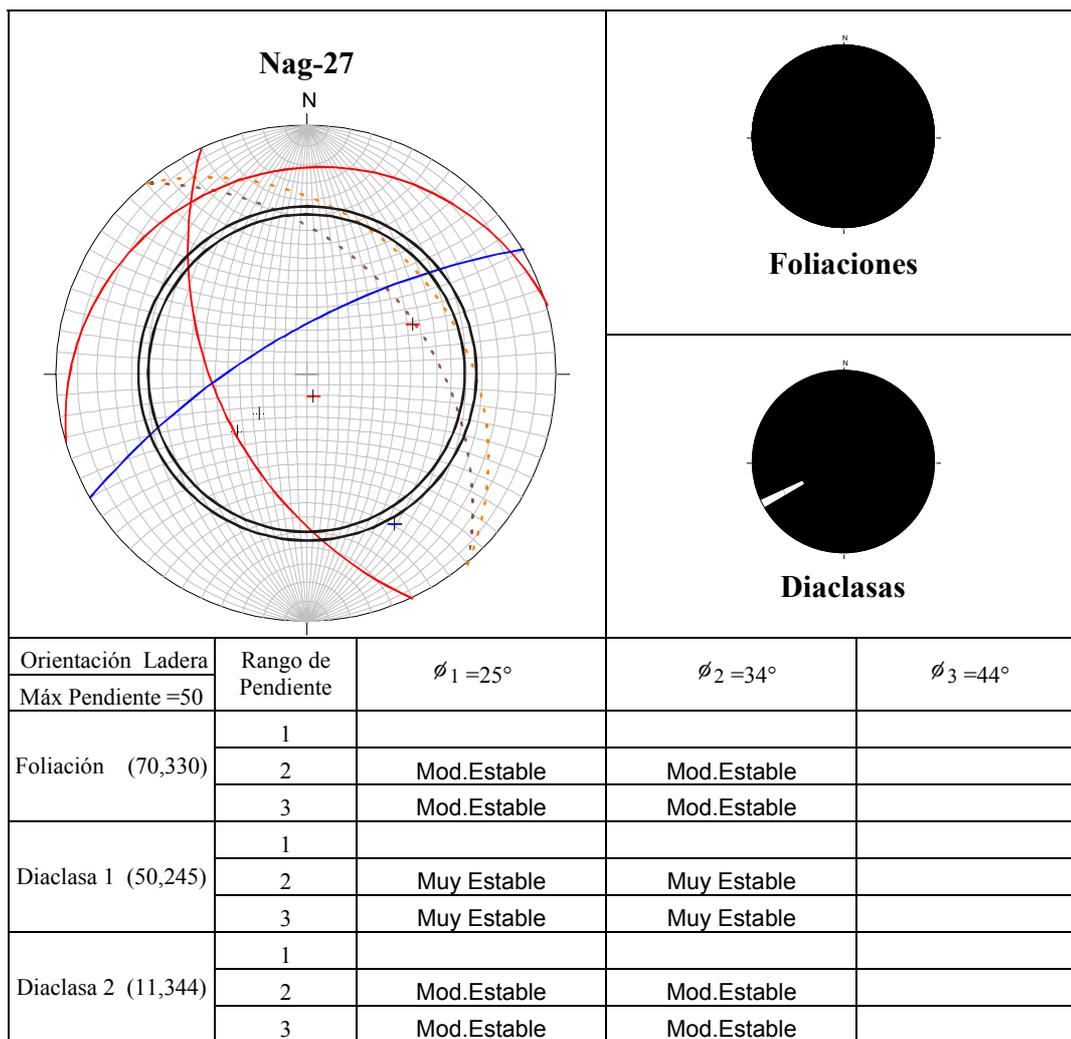


Fig.79 Análisis Cinemático Ladera: Nag-27

La foliación y D2 son ortogonales a la orientación de la ladera lo cual es un arreglo estructural moderadamente estable. Sin embargo, se observa un gran dispersión de la foliación, lo cual es potencialmente inestable por falla circular. D1 es subparalela a la ladera y en contracuesta de buzamiento y es cinemáticamente muy estable.

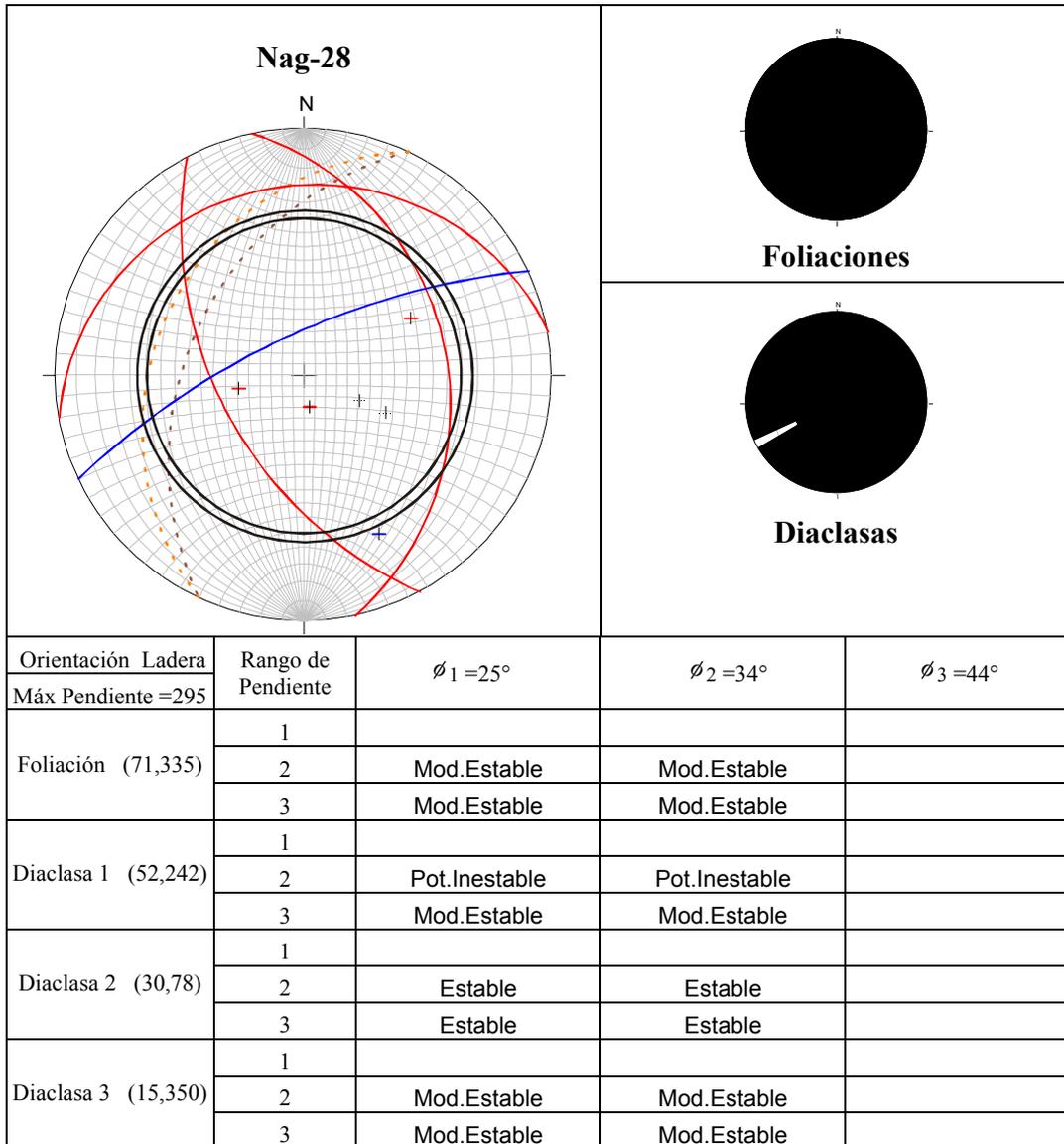


Fig.80 Análisis Cinemático Ladera: Nag-28

La foliación se orientan en cuesta de buzamiento sin llegar a ser subparelela a la ladera, su buzamiento es mayor a la inclinación del terreno por lo que no corta en la cara de la ladera, lo que constituye un arreglo moderadamente estable. D1 se orienta en cuesta de buzamiento y es potencialmente inestable en las zonas de pendiente en el rango 1, donde su buzamiento es ligeramente mayor a la inclinación del terreno, mientras que en las zonas de rango 3, D1 no corta en la cara de la ladera y es moderadamente estable. D2 es estable ya que está orientada en contracuesta de

buzamiento. D3 es ortogonal a la ladera, lo que representa un arreglo estructural moderadamente estable.

### **El Clima y La Meteorización Diferencial**

Como se dijo en otra oportunidad, una de las mayores limitantes de este trabajo es la falta de una mapa temático que muestre el espesor, ubicación y características de las rocas muy descompuestas o regolitos, siendo esto de gran importancia ya que la mayoría de los procesos de remoción se llevan a cabo en este tipo de materiales. Sin embargo, gracias a las observaciones de campo y a la naturaleza regional del estudio, se consideró posible realizar una evaluación implícita de dichos materiales, al incluir dentro de la sumatoria de estabilidad, los parámetros más importantes que influyen en la meteorización de las rocas: El fracturamiento y la litología.

Como se vió en el capítulo de geomorfología, el fracturamiento facilita la infiltración de las aguas de lluvia y la meteorización de la roca. Al observar las características del fracturamiento (Ver Tabla de diaclasas) en la zona de estudio, se observa que la frecuencia de diaclasas disminuye de norte a sur, siendo menor en el augengneis de Peña de Mora y mayor en el esquisto de Tacagua. Igualmente, el espesor promedio del manto regolítico aumenta de norte a sur. Además, el efecto del clima sobre las diferentes unidades litológicas es determinante en la alteración del macizo rocozo, debido a la meteorización diferencial de las rocas.

La unidad de esquistos blandos y muy foliados (El esquisto de Tacagua) aflora en una franja paralela a la costa y desde los 0 hasta 200 m.s.n.m. aproximadamente, por lo que se ubica dentro de la zona vegetación xerófila (hasta 400 m.s.n.m.), en la cual crecen especies de zonas secas. Esto hace pensar que las condiciones semi-áridas junto con litología poco competente y muy fracturada, están favoreciendo el desarrollo del regolito, el cual se observó en esta unidad con un espesor promedio de 6 m.

La unidad de esquistos y gneises duros foliados (equivalente al Complejo San Julián), aflora en un área extensa dentro de la zona de vegetación xerófila y la vegetación de estación seca ( de 400 hasta 1.100 m.s.n.m.), en la que se reportaron los mayores espesores de roca descompuesta hasta 4 m. Otra parte de esta unidad litológica aflora dentro de la zona de vegetación bosque nublado (1.100 a 2.100 m.s.n.m) donde crecen especies típicas de zonas húmedas. En esta zona se observa la disminución del manto regolítico con espesor promedio de 2 m. La unidad de Augengnes y gneis poco foliados afloran dentro de la zona de vegetación de bosque nublado, y el espesor promedio del regolito que se apreció en campo fue de 1 m.

También existe el efecto generado por la orientación de las cuencas, conocido con el nombre de umbría y solana. Las cuencas con orientación norte sur, es decir aquellas cuyo cauce principal corre hacia el sur o hacia el norte (como es el caso de las cuencas estudiadas), no reciben insolación uniforme en las dos vertientes durante todo el día, lo que influye entre otras cosas en la evaporación, la humedad, vegetación y la meteorización. Cabe destacar que este efecto no se consideró para la sumatoria total de estabilidad, ya que se consideran necesarios otros estudios para determinar la cantidad de sol que reciben las vertientes y el ángulo de los rayos solares sobre las mismas. Sin embargo, a través de la evidencia de campo, se puede decir que el efecto de umbría y solana favorece la insolación en las laderas que se encuentran en el margen izquierdo de los ríos, pero sólo en la cuenca baja y media, ya que en la cuenca alta, el encajamiento del drenaje genera vertientes muy inclinadas y cercanas, lo que neutraliza el efecto de insolación diferencial de la umbría y solana.

## **ANÁLISIS GLOBAL DE ESTABILIDAD**

(SUMATORIA DE VALORES PONDERADOS)

A continuación se muestran una serie de tablas, en las cuales se realiza la sumatoria de los valores ponderados parciales para llegar al valor de estabilidad total de los diferentes terrenos. El mapa de amenaza geológica que se presenta (Ver Anexos E) es el producto de expresar los resultados de las tablas en una base topográfica a través de la sumatoria individual de polígonos. Cada polígono corresponde a la sumatoria de los diferentes parámetros dentro de la ladera.

**Ejemplo:** Si vemos la primera fila de la tabla 11, correspondiente a la ladera N° 1 de la cuenca de Carmen de Uria (Cu-01), se observa que afloran dos unidades litológicas. El valor 4 es el ponderado parcial resultado de multiplicar el índice 0,2 de la unidad de esquistos blandos muy foliados por el peso 20%, mientras que el valor 8 es el resultado de multiplicar el índice 0,4 de la unidad de esquistos duros foliados por el mismo peso asignado al parámetro litología. La segunda columna de valor 0 corresponde al estado físico; es obviamente el resultado de multiplicar el índice 0 (roca muy mala) por el peso 20% del parámetro estado físico. La siguiente columna se divide en 3 filas, ya que dentro de esta ladera con las litologías mencionadas, existen zonas con pendiente en los rangos 2, 3 y 4 que corresponden a pendiente alta, media y baja de valores ponderados de 5, 10 y 15 respectivamente. La columna siguiente presenta el resultado del análisis cinemático para las pendientes y litologías mencionadas, donde los valores 0, 6 y 19, son el producto de multiplicar por el peso 25%, los índices para sectores inestables, potencialmente inestables y estables. En la última columna tenemos el tipo de proceso geomorfológico que se encuentra en cada zona. Los valores 2, 8 y 11, son los valores ponderados parciales para los flujos con denudación, erosión concentrada y erosión laminar respectivamente. Finalmente se observa la sumatoria en porcentajes de estabilidad para cada polígono dentro de la ladera en cuestión. Si dos polígonos adyacentes entran dentro del mismo rango de estabilidad, se unen en uno sólo ya que se pintan del mismo color.

Abreviaciones utilizadas en las tablas:

I= inestable; Pot I= potencialmente inestable; E= estable; Mod E= moderadamente estable; F= flujos con denudación; D= Flujos con denudación y transporte de rocas; E.S.= erosión en surcos; E.L.= erosión laminar; Median Est= medianamente estable; Palcialm Est= Parcialmente estable.

Tabla 11. Sumatoria de Valores Ponderados Cuenca Carmen de Uria											
N° Ladera	Litología (20%)	Estado Físico(20%)	Pendiente (20%)		Análisis Cinemático (25%)		Procesos Geodinámicos(15%)		Valor Pond. (100%)	Categoría	
	Valor	Valor	Rango	Valor	Rango	Valor	Tipo	Valor	Sumatoria	Estabilidad	Amenaza
Cu-01	4	0	2	5	I	0	F	2	11	Muy Inestable	Muy Alta
			3	10	Pot I	6	F	2	22	Inestable	Alta
			4	15	E	19	E.S.	8	28	Inestable	Alta
							F	2	40	Inestable	Alta
	8		2	5	I	0	F	2	15	Muy Inestable	Muy Alta
			4	15	E	19	E.S.	8	32	Inestable	Alta
							F	2	44	Parcialm Est	Media
Cu-02	8	0	2	5	Pot I	6	F	2	21	Inestable	Alta
			3	10	Mod E	13	D	0	31	Inestable	Alta
							F	2	33	Inestable	Alta
							E.S.	8	39	Inestable	Alta
			4	15	E	19	D	0	42	Parcialm Est	Media
							F	2	44	Parcialm Est	Media
E.L.	11	53					Parcialm Est	Media			
Cu-03	16	10	2	5	Pot I	6	F	2	39	Inestable	Alta
			3	10	Mod E	13	E.S.	8	45	Parcialm Est	Media
							E.L.	11	71	Median Est	Baja
Cu-04	16	15	1	0	I	0	D	0	31	Inestable	Alta
							E.S.	8	39	Inestable	Alta
			2	5	Pot I	6	D	0	42	Parcialm Est	Media
							E.S.	8	50	Parcialm Est	Media
			3	10	Pot I	6	D	0	47	Parcialm Est	Media
							E.L.	11	58	Parcialm Est	Media
Cu-05	16	15	1	0	I	0	D	0	31	Inestable	Alta
							E.S.	8	39	Inestable	Alta
			2	5	Pot I	6	D	0	42	Parcialm Est	Media
							E.S.	8	50	Parcialm Est	Media

Continuación Tabla 11. Cuenca Carmen de Uria											
N° Ladera	Litología (20%)	Estado Físico(20%)	Pendiente (20%)		Análisis Cinemático (25%)		Procesos Geodinámicos(15%)		Valor Pond. (100%)	Categoría	
	Valor	Valor	Rango	Valor	Rango	Valor	Tipo	Valor	Sumatoria	Estabilidad	Amenaza
Cu-06	16	5	1	0	I	0	F	2	23	Inestable	Alta
							E.S.	8	29	Inestable	Alta
			2	5	Pot I	6	E.S.	8	40	Inestable	Alta
			3	10	Mod E	13	E.S.	8	52	Parcialm Est	Media
			4	15	E	9	E.L.	11	56	Parcialm Est	Media
Cu-07	12	10	2	5	Pot I	6	E.S.	8	41	Parcialm Est	Media
			3	10	Pot I	6	E.S.	8	46	Parcialm Est	Media
			4	15	E	19	E.L.	11	67	Median Est	Baja
	16		2	5	Pot I	6	E.S.	8	45	Parcialm Est	Media
			3	10	Pot I	6	E.S.	8	50	Parcialm Est	Media
			4	15	E	19	E.L.	11	71	Median Est	Baja
Cu-08	16	15	1	0	I	0	E.S.	8	39	Inestable	Alta
			2	5	Pot I	6	E.S.	8	50	Parcialm Est	Media
			3	10	Mod E	13	E.S.	8	62	Median Est	Baja
			4	15	E	19	E.S.	8	73	Median Est	Baja
Cu-09	12	15	1	0	I	0	D	0	27	Inestable	Alta
							E.S.	8	35	Inestable	Alta
			2	5	Pot I	6	D	0	38	Inestable	Alta
							E.S.	8	46	Parcialm Est	Media
	3		10	Mod E	13	E.S.	8	58	Parcialm Est	Media	
	4		15	E	19	E.S.	8	69	Median Est	Baja	
	16		1	0	I	0	D	0	31	Inestable	Alta
							E.S.	8	39	Inestable	Alta
			2	5	Pot I	6	D	0	42	Parcialm Est	Media
							E.S.	8	50	Parcialm Est	Media
3		10	Mod E	13	E.S.	8	62	Median Est	Baja		
4		15	E	19	E.S.	8	73	Median Est	Baja		

Continuación Tabla 11. Cuenca Carmen de Uria											
N° Ladera	Litología (20%)	Estado Físico(20%)	Pendiente (20%)		Análisis Cinemático (25%)		Procesos Geodinámicos(15%)		Valor Pond. (100%)	Categoría	
	Valor	Valor	Rango	Valor	Rango	Valor	Tipo	Valor	Sumatoria	Estabilidad	Amenaza
Cu-10	12	10	1	0	Pot I	6	D	0	28	Inestable	Alta
			2	5	Pot I	6	D	0	33	Inestable	Alta
							E.S.	8	41	Parcialm Est	Media
			3	10	Pot I	6	D	0	38	Inestable	Alta
						E.S.	8	46	Parcialm Est	Media	
	16		1	0	Pot I	6	D	0	32	Inestable	Alta
			2	5	Pot I	6	D	0	37	Inestable	Alta
							E.S.	8	45	Parcialm Est	Media
3		10	Pot I	6	D	0	42	Parcialm Est	Media		
				E.S.	8	50	Parcialm Est	Media			
Cu-11	12	10	2	5	Pot I	6	D	0	33	Inestable	Alta
							F	2	35	Inestable	Alta
			3	10	Pot I	6	D	0	38	Inestable	Alta
							E.S.	8	46	Parcialm Est	Media
Cu-12	8	5	2	5	Pot I	6	F	2	26	Inestable	Alta
			3	10	Pot I	6	F	2	31	Inestable	Alta
Cu-13	4	0	2	5	Mod E	13	F	2	24	Inestable	Alta
			3	10	E	19	F	2	35	Inestable	Alta
	8		2	5	Mod E	13	F	2	28	Inestable	Alta
			3	10	E	19	F	2	39	Inestable	Alta
Cu-14	4	0	2	5	I	0	F	2	11	Muy Inestable	Muy Alta
			3	10	Pot I	6	F	2	22	Inestable	Alta
Cu-15	4	0	1	0	I	0	F	2	6	Muy Inestable	Muy Alta
			2	5	Pot I	6	F	2	17	Muy Inestable	Muy Alta
			3	10	Pot I	6	F	2	22	Inestable	Alta
Cu-16	4	0	2	5	Pot I	6	F	2	17	Muy Inestable	Muy Alta
			3	10	Pot I	6	F	2	22	Inestable	Alta
Cu-17	4	0	1	0	I	0	F	2	6	Muy Inestable	Muy Alta
			2	5	Pot I	6	F	2	17	Muy Inestable	Muy Alta
			3	10	Mod E	13	F	2	29	Inestable	Alta

Tabla 12 Sumatoria de Valores Ponderados Cuenca de la Quebrada Tanaguarena														
N° Ladera	Litología (20%)	Estado Físico(20%)	Pendiente (20%)		Análisis Cinemático (25%)		Procesos Geodinámicos(15%)		Valor Pond. (100%)	Categoría				
	Valor	Valor	Rango	Valor	Rango	Valor	Tipo	Valor	Sumatoria	Estabilidad	Amenaza			
Tan-01	4	0	2	5	Pot I	6	F	2	17	Muy Inestable	Muy Alta			
			3	10	Pot I	6	F	2	22	Inestable	Alta			
			4	15	E	19	F	2	40	Inestable	Alta			
	8		2	5	Pot I	6	F	2	21	Inestable	Alta			
			3	10	Pot I	6	F	2	26	Inestable	Alta			
Tan-02	4	5	1	0	I	0	D	0	9	Muy Inestable	Muy Alta			
							F	2	11	Muy Inestable	Muy Alta			
			2	5	Pot I	6	D	0	20	Muy Inestable	Muy Alta			
							F	2	22	Inestable	Alta			
							E.L.	11	31	Inestable	Alta			
							D	0	25	Inestable	Alta			
			3	10	Pot I	6	F	2	27	Inestable	Alta			
							D	0	43	Parcialm Est	Media			
			4	15	E	19	F	2	45	Parcialm Est	Media			
							1	0	I	0	D	0	13	Muy Inestable
	8		5	2	5	Pot I	6	F	2	15	Muy Inestable	Muy Alta		
								D	0	24	Inestable	Alta		
				3	10	Pot I	6	F	2	26	Inestable	Alta		
								D	0	29	Inestable	Alta		
				4	15	E	19	F	2	31	Inestable	Alta		
								D	0	47	Parcialm Est	Media		
				16	5	1	0	I	0	F	2	49	Parcialm Est	Media
										D	0	21	Inestable	Alta
	2		5	Pot I	6	F	2	23	Inestable	Alta				
						D	0	32	Inestable	Alta				
3	10	Pot I	6	F	2	34	Inestable	Alta						
				E.L.	11	43	Parcialm Est	Media						
4	15	E	19	D	0	37	Inestable	Alta						
				F	2	39	Inestable	Alta						
4	15	E	19	D	0	55	Parcialm Est	Media						

Continuación Tabla 12. Cuenca Tanaguarena														
N° Ladera	Litología (20%)	Estado Físico(20%)	Pendiente (20%)		Análisis Cinemático (25%)		Procesos Geodinámicos(15%)		Valor Pond. (100%)	Categoría				
	Valor	Valor	Rango	Valor	Rango	Valor	Tipo	Valor	Sumatoria	Estabilidad	Amenaza			
Tan-03	4	0	1	0	I	0	D	0	4	Muy Inestable	Muy Alta			
			2	5	Pot I	6	D	0	15	Muy Inestable	Muy Alta			
							F	2	17	Muy Inestable	Muy Alta			
							E.S.	8	23	Inestable	Alta			
			3	10	E	19	D	0	33	Inestable	Alta			
							F	2	35	Inestable	Alta			
							E.S.	8	41	Parcialm Est	Media			
			4	15	E	19	E.L.	11	44	Parcialm Est	Media			
							E.L.	11	49	Parcialm Est	Media			
							E.L.	11	49	Parcialm Est	Media			
			8	0	1	0	I	0	D	0	8	Muy Inestable	Muy Alta	
					2	5	Pot I	6	D	0	19	Muy Inestable	Muy Alta	
	F								2	21	Inestable	Alta		
	E.S.								8	27	Inestable	Alta		
	3				10	E	19	D	0	37	Inestable	Alta		
								F	2	39	Inestable	Alta		
								E.S.	8	45	Parcialm Est	Media		
	4				15	E	19	E.L.	11	48	Parcialm Est	Media		
								E.L.	11	53	Parcialm Est	Media		
								E.L.	11	53	Parcialm Est	Media		
	16				0	1	0	I	0	D	0	16	Muy Inestable	Muy Alta
						2	5	Pot I	6	D	0	27	Inestable	Alta
			F	2						29	Inestable	Alta		
			E.S.	8						35	Inestable	Alta		
3		10	E	19		D	0	45	Parcialm Est	Media				
						F	2	47	Parcialm Est	Media				
	E.S.				8	53	Parcialm Est	Media						
4	15	E	19	E.L.	11	56	Parcialm Est	Media						
				E.L.	11	61	Median Est	Baja						

Continuación Tabla 12. Cuenca Tanaguarena												
N° Ladera	Litología (20%)	Estado Físico(20%)	Pendiente (20%)		Análisis Cinemático (25%)		Procesos Geodinámicos(15%)		Valor Pond. (100%)	Categoría		
	Valor	Valor	Rango	Valor	Rango	Valor	Tipo	Valor	Sumatoria	Estabilidad	Amenaza	
Tan-04	4	0	1	0	I	0	F	2	6	Muy Inestable	Muy Alta	
			2	5	Pot I	6	F	2	17	Muy Inestable	Muy Alta	
			3	10	E	19	F	2	35	Inestable	Alta	
							E.S.	8	41	Parcialm Est	Media	
	E.L.						11	44	Parcialm Est	Media		
	4		15	E	19	E.L.	11	49	Parcialm Est	Media		
	8		1	0	I	0	F	2	10	Muy Inestable	Muy Alta	
			2	5	Pot I	6	F	2	21	Inestable	Alta	
			3	10	E	19	F	2	39	Inestable	Alta	
							E.S.	8	45	Parcialm Est	Media	
							E.L.	11	48	Parcialm Est	Media	
			4	15	E	19	E.L.	11	53	Parcialm Est	Media	
Tan-05		4	0	1	0	I	0	F	2	6	Muy Inestable	Muy Alta
				2	5	I	0	F	2	11	Muy Inestable	Muy Alta
	3			10	Pot I	6	F	2	22	Inestable	Alta	

Tabla 13. Sumatoria de Valores Ponderados Cuenca de la Quebrada El Tigrillo											
N° Ladera	Litología (20%)	Estado Físico(20%)	Pendiente (20%)		Análisis Cinemático (25%)		Procesos Geodinámicos(15%)		Valor Pond. (100%)	Categoría	
	Valor	Valor	Rango	Valor	Rango	Valor	Tipo	Valor	Sumatoria	Estabilidad	Amenaza
Tig-01	4	0	2	5	Pot I	6	F	2	17	Muy Inestable	Muy Alta
			3	10	Pot I	6	F	2	22	Inestable	Alta
							E.S.	8	28	Inestable	Alta
Tig-02	4		1	0	I	0	D	0	14	Muy Inestable	Muy Alta
			2	5	Pot I	6	D	0	25	Inestable	Alta
							F	2	27	Inestable	Alta
							E.S.	8	33	Inestable	Alta
			3	10	Pot I	6	D	0	30	Inestable	Alta
							E.S.	8	38	Inestable	Alta
	8	10	1	0	I	0	D	0	18	Muy Inestable	Muy Alta
			2	5	Pot I	6	D	0	29	Inestable	Alta
							F	2	31	Inestable	Alta
							E.S.	8	37	Inestable	Alta
			3	10	Pot I	6	D	0	34	Inestable	Alta
							E.S.	8	42	Parcialm Est	Media
	12		1	0	I	0	D	0	22	Inestable	Alta
			2	5	Pot I	6	D	0	33	Inestable	Alta
							F	2	35	Inestable	Alta
						E.S.	8	41	Parcialm Est	Media	
3			10	Pot I	6	D	0	38	Inestable	Alta	
						E.S.	8	46	Parcialm Est	Media	
Tig-03	4	5	2	5	Pot I	6	F	2	22	Inestable	Alta
							E.S.	8	28	Inestable	Alta
	8		2	5	Pot I	6	F	2	26	Inestable	Alta
							E.S.	8	32	Inestable	Alta
			3	10	Mod E	13	F	2	38	Inestable	Alta
				E.S.	8	44	Parcialm Est	Media			
Tig-04	4	5	2	5	I	0	F	2	16	Muy Inestable	Muy Alta
			3	10	Pot I	6	F	2	27	Inestable	Alta

Tabla 14. Sumatoria de Valores Ponderados Cuenca del Río Naguayá													
N° Ladera	Litología (20%)	Estado Físico(20%)	Pendiente (20%)		Análisis Cinemático (25%)		Procesos Geodinámicos(15%)		Valor Pond. (100%)	Categoría			
	Valor	Valor	Rango	Valor	Rango	Valor	Tipo	Valor	Sumatoria	Estabilidad	Amenaza		
Nag-01	4	5	2	5	I	0	F	2	16	Muy Inestable	Muy Alta		
			3	10	Pot I	6	F	2	27	Inestable	Alta		
			4	15	E	19	F	2	45	Parcialm Est	Media		
Nag-02	4	5	2	5	Mod E	13	F	2	29	Inestable	Alta		
			3	10	E	19	F	2	40	Inestable	Alta		
			4	15	E	19	F	2	45	Parcialm Est	Media		
	8		2	5	Mod E	13	F	2	33	Inestable	Alta		
	3		10	E	19	F	2	44	Parcialm Est	Media			
Nag-03	8	10	2	5	Pot I	6	F	2	31	Inestable	Alta		
Nag-04	4	5	2	5	E	19	D	0	33	Inestable	Alta		
							F	2	35	Inestable	Alta		
							E.S.	8	41	Parcialm Est	Media		
	4		15	E	19	F	2	45	Parcialm Est	Media			
	8		2	5	E	19	D	0	37	Inestable	Alta		
							F	2	39	Inestable	Alta		
							E.S.	8	45	Parcialm Est	Media		
F		2					49	Parcialm Est	Media				
Nag-05	4	5	1	0	I	0	D	0	9	Muy Inestable	Muy Alta		
							E.S.	8	17	Muy Inestable	Muy Alta		
			2	5	Pot I	6	D	0	20	Muy Inestable	Muy Alta		
							E.S.	8	28	Inestable	Alta		
			3	10	Pot I	6	D	0	25	Inestable	Alta		
							E.S.	8	33	Inestable	Alta		
	E.L.						11	36	Inestable	Alta			
	4		15	E	19	E.S.	8	51	Parcialm Est	Media			
						E.L.	11	54	Parcialm Est	Media			
	8		1	0	I	0	D	0	13	Muy Inestable	Muy Alta		
							E.S.	8	21	Inestable	Alta		
2		5					Pot I	6	D	0	24	Inestable	Alta
									E.S.	8	32	Inestable	Alta

Continuación Tabla 14. Cuenca de Naiguatá												
N° Ladera	Litología (20%)	Estado Físico(20%)	Pendiente (20%)		Análisis Cinemático (25%)		Procesos Geodinámicos(15%)		Valor Pond. (100%)	Categoría		
	Valor	Valor	Rango	Valor	Rango	Valor	Tipo	Valor	Sumatoria	Estabilidad	Amenaza	
Nag-06	12	10	1	0	I	0	E.S.	10	32	Inestable	Alta	
			2	5	Pot I	6	F	2	35	Inestable	Alta	
							E.S.	8	41	Parcialm Est	Media	
	4		15	E	19	E.L.	11	67	Median Est	Baja		
	16		10	1	0	I	0	E.S.	10	36	Inestable	Alta
				2	5	Pot I	6	F	2	39	Inestable	Alta
E.S.		8						45	Parcialm Est	Media		
4	15	E	19	E.L.	11	71	Median Est	Baja				
Nag-07	16	10	1	0	I	0	E.S.	8	34	Inestable	Alta	
			2	5	Pot I	6	F	2	39	Inestable	Alta	
							E.S.	8	45	Parcialm Est	Media	
			4	15	E	19	E.L.	11	71	Median Est	Baja	
Nag-08	16	5	1	0	Pot I	6	E.S.	8	35	Inestable	Alta	
			2	5	E	19	F	2	47	Parcialm Est	Media	
							E.S.	8	53	Parcialm Est	Media	
			4	15	E	19	E.L.	11	66	Median Est	Baja	
Nag-09	16	5	1	0	Pot I	6	F	2	29	Inestable	Alta	
							E.S.	8	35	Inestable	Alta	
			2	5	E	19	F	2	47	Parcialm Est	Media	
							E.S.	8	53	Parcialm Est	Media	
Nag-10	12	5	1	0	Mod E	13	E.S.	8	38	Inestable	Alta	
			2	5	Mod E	13	F	2	37	Inestable	Alta	
							E.S.	8	43	Parcialm Est	Media	
	4		15	E	19	E.L.	11	62	Median Est	Baja		
	16		5	1	0	Mod E	13	E.S.	8	42	Parcialm Est	Media
				2	5	Mod E	13	F	2	41	Parcialm Est	Media
E.S.		8						47	Parcialm Est	Media		
4	15	E	19	E.L.	11	66	Parcialm Est	Media				

Continuación Tabla 14. Cuenca de Naiguatá											
N° Ladera	Litología (20%)	Estado Físico(20%)	Pendiente (20%)		Análisis Cinemático (25%)		Procesos Geodinámicos(15%)		Valor Pond. (100%)	Categoría	
	Valor	Valor	Rango	Valor	Rango	Valor	Tipo	Valor	Sumatoria	Estabilidad	Amenaza
Nag-11	12	10	1	0	Pot I	6	F	2	30	Inestable	Alta
			2	5	Mod E	13	F	2	42	Parcialm Est	Media
			3	10	Mod E	13	F	2	47	Parcialm Est	Media
	16		1	0	Pot I	6	F	2	34	Inestable	Alta
			2	5	Mod E	13	F	2	46	Parcialm Est	Media
			3	10	Mod E	13	F	2	51	Parcialm Est	Media
Nag-12	12	10	1	0	I	0	E.S.	8	30	Inestable	Alta
			2	5	Pot I	6	E.S.	8	41	Parcialm Est	Media
			3	10	E	19	E.S.	8	59	Parcialm Est	Media
	16		1	0	I	0	E.S.	8	34	Inestable	Alta
			2	5	Pot I	6	E.S.	8	45	Parcialm Est	Media
			3	10	E	19	E.S.	8	63	Median Est	Baja
Nag-13	12	10	1	0	Pot I	6	F	2	30	Inestable	Alta
							E.S.	8	36	Inestable	Alta
			2	5	Mod E	13	F	2	42	Parcialm Est	Media
							E.S.	8	48	Parcialm Est	Media
			3	10	Mod E	13	F	2	47	Parcialm Est	Media
							E.S.	8	53	Parcialm Est	Media
	4		15	E	19	E.L.	11	67	Median Est	Baja	
	16		1	0	Pot I	6	F	2	34	Inestable	Alta
							E.S.	8	40	Inestable	Alta
			2	5	Mod E	13	F	2	46	Parcialm Est	Media
							E.S.	8	52	Parcialm Est	Media
			3	10	Mod E	13	F	2	51	Parcialm Est	Media
E.S.		8					57	Parcialm Est	Media		
4	15	E	19	E.L.	11	71	Median Est	Baja			

Continuación Tabla 14. Cuenca de Naiguatá											
N° Ladera	Litología (20%)	Estado Físico(20%)	Pendiente (20%)		Análisis Cinemático (25%)		Procesos Geodinámicos(15%)		Valor Pond. (100%)	Categoría	
	Valor	Valor	Rango	Valor	Rango	Valor	Tipo	Valor	Sumatoria	Estabilidad	Amenaza
Nag-14	12	10	2	5	Pot I	6	F	2	35	Inestable	Alta
							E.S.	8	41	Parcialm Est	Media
			3	10	Pot I	6	F	2	40	Inestable	Alta
							E.S.	8	46	Parcialm Est	Media
	16		4	15	E	19	E.L.	11	67	Median Est	Baja
							F	2	39	Inestable	Alta
			2	5	Pot I	6	E.S.	8	45	Parcialm Est	Media
							F	2	44	Parcialm Est	Media
3	10	Pot I	6	E.S.	8	50	Parcialm Est	Media			
				E.L.	11	71	Median Est	Baja			
Nag-15	12	10	1	0	I	0	E.S.	8	30	Inestable	Alta
			2	5	Pot I	6	F	2	35	Inestable	Alta
							E.S.	8	41	Parcialm Est	Media
			3	10	E	19	F	2	53	Parcialm Est	Media
							E.S.	8	59	Parcialm Est	Media
4	15	E	19	E.L.	11	67	Median Est	Baja			
Nag-16	12	10	1	0	I	0	E.S.	8	30	Inestable	Alta
			2	5	Pot I	6	F	2	35	Inestable	Alta
							E.S.	8	41	Parcialm Est	Media
	3		10	Pot I	6	E.L.	11	49	Parcialm Est	Media	
	16		1	0	I	0	E.S.	8	34	Inestable	Alta
							F	2	39	Inestable	Alta
			2	5	Pot I	6	E.S.	8	45	Parcialm Est	Media
E.L.		11					53	Parcialm Est	Media		
Nag-17	16	10	2	5	Pot I	6	E.S.	8	45	Parcialm Est	Media
			3	10	Pot I	6	E.S.	8	50	Parcialm Est	Media
			4	15	E	19	E.L.	11	71	Median Est	Baja

Continuación Tabla 14. Cuenca de Naiguatá											
N° Ladera	Litología (20%)	Estado Físico(20%)	Pendiente (20%)		Análisis Cinemático (25%)		Procesos Geodinámicos(15%)		Valor Pond. (100%)	Categoría	
	Valor	Valor	Rango	Valor	Rango	Valor	Tipo	Valor	Sumatoria	Estabilidad	Amenaza
Nag-18	12	10	1	0	I	0	E.S.	8	30	Inestable	Alta
			2	5	Pot I	6	E.S.	8	41	Parcialm Est	Media
			3	10	Pot I	6	E.S.	8	46	Parcialm Est	Media
			4	15	E	19	E.L.	11	67	Median Est	Baja
	16		1	0	I	0	E.S.	8	34	Inestable	Alta
			2	5	Pot I	6	E.S.	8	45	Parcialm Est	Media
			3	10	Pot I	6	E.S.	8	50	Parcialm Est	Media
			4	15	E	19	E.L.	11	71	Median Est	Baja
Nag-19	12	10	2	5	Pot I	6	E.S.	8	36	Inestable	Alta
			3	10	Mod E	13	E.S.	8	48	Parcialmente E	Media
			4	15	E	19	E.L.	11	62	Medianamente E	Baja
	16		2	5	Pot I	6	E.S.	8	40	Inestable	Alta
			3	10	Mod E	13	E.S.	8	52	Parcialm Est	Media
			4	15	E	19	E.L.	11	66	Median Est	Baja
Nag-20	8	10	1	0	I	0	F	2	20	Muy Inestable	Muy Alta
			2	5	Pot I	6	F	2	31	Inestable	Alta
							E.S.	8	37	Inestable	Alta
			3	10	E	19	E.S.	8	55	Parcialm Est	Media
	4		15	E	19	E.L.	11	63	Median Est	Baja	
	12		1	0	I	0	F	2	24	Inestable	Alta
			2	5	Pot I	6	F	2	35	Inestable	Alta
							E.S.	8	41	Parcialm Est	Media
			3	10	E	19	E.S.	8	59	Parcialm Est	Media
	4		15	E	19	E.L.	11	67	Median Est	Baja	
	16		1	0	I	0	F	2	28	Inestable	Alta
			2	5	Pot I	6	F	2	39	Inestable	Alta
							E.S.	8	45	Parcialm Est	Media
			3	10	E	19	E.S.	8	63	Median Est	Baja
4	15	E	19	E.L.	11	71	Median Est	Baja			

Continuación Tabla 14. Cuenca de Naiguatá															
N° Ladera	Litología (20%)	Estado Físico(20%)	Pendiente (20%)		Análisis Cinemático (25%)		Procesos Geodinámicos(15%)		Valor Pond. (100%)	Categoría					
	Valor	Valor	Rango	Valor	Rango	Valor	Tipo	Valor	Sumatoria	Estabilidad	Amenaza				
Nag-21	12	5	1	0	I	0	F	2	19	Muy Inestable	Muy Alta				
							E.S.	8	25	Inestable	Alta				
			2	5	Pot I	6	F	2	30	Inestable	Alta				
	E.S.						8	36	Inestable	Alta					
	16		1	0	I	0	F	2	23	Inestable	Alta				
							E.S.	8	29	Inestable	Alta				
2		5	Pot I	6	F	2	34	Inestable	Alta						
					E.S.	8	40	Inestable	Alta						
Nag-22	4	5	1	0	I	0	D	0	9	Muy Inestable	Muy Alta				
							F	2	11	Muy Inestable	Muy Alta				
			2	5	Pot I	6	D	0	20	Muy Inestable	Muy Alta				
							F	2	22	Inestable	Alta				
							E.S.	8	28	Inestable	Alta				
							F	2	34	Inestable	Alta				
	3		10	Mod E	13	E.S.	8	40	Inestable	Alta					
						F	2	13	Muy Inestable	Muy Alta					
	8		1	0	I	0	F	2	15	Muy Inestable	Muy Alta				
							D	0	24	Inestable	Alta				
							2	5	Pot I	6	F	2	26	Inestable	Alta
											E.S.	8	32	Inestable	Alta
							3	10	Mod E	13	F	2	38	Inestable	Alta
											E.S.	8	44	Parcialm Est	Media
			4	15	E	19	F	2	49	Parcialm Est	Media				
							E.S.	8	55	Parcialm Est	Media				
							1	0	I	0	D	0	17	Muy Inestable	Muy Alta
											D	0	28	Inestable	Alta
2		5	Pot I	6	F	2					30	Inestable	Alta		
					E.S.	8	36	Inestable	Alta						
3	10	Mod E	13	F	2	42	Parcialm Est	Media							
				E.S.	8	48	Parcialm Est	Media							

Continuación Tabla 14. Cuenca de Naiguatá											
N° Ladera	Litología (20%)	Estado Físico(20%)	Pendiente (20%)		Análisis Cinemático (25%)		Procesos Geodinámicos(15%)		Valor Pond. (100%)	Categoría	
	Valor	Valor	Rango	Valor	Rango	Valor	Tipo	Valor	Sumatoria	Estabilidad	Amenaza
Nag-23	8	10	2	5	Mod E	13	F	2	38	Inestable	Alta
			3	10	E	19	D	0	47	Parcialm Est	Media
							F	2	49	Parcialm Est	Media
	12		2	5	Mod E	13	F	2	42	Parcialm Est	Media
			3	10	E	19	D	0	51	Parcialm Est	Media
							F	2	53	Parcialm Est	Media
Nag-24	8	10	2	5	Pot I	6	D	0	29	Inestable	Alta
							F	2	31	Inestable	Alta
			3	10	Pot I	6	D	0	34	Inestable	Alta
	12						F	2	36	Inestable	Alta
			2	5	Pot I	6	D	0	33	Inestable	Alta
			3	10	Pot I	6	F	2	35	Inestable	Alta
Nag-25	8	10	2	5	E	19	D	0	42	Parcialm Est	Media
							F	2	44	Parcialm Est	Media
							E.S.	8	50	Parcialm Est	Media
			3	10	E	19	D	0	47	Parcialm Est	Media
							F	2	49	Parcialm Est	Media
							E.S.	8	55	Parcialm Est	Media
4	15	E	19	E.L.	11	63	Median Est	Baja			
Nag-26	4	0	2	5	I	0	F	2	11	Muy Inestable	Muy Alta
							E.S.	8	17	Muy Inestable	Muy Alta
			3	10	Pot I	6	F	2	22	Inestable	Alta
	E.S.						8	28	Inestable	Alta	
	E.L.						11	31	Inestable	Alta	
	8		5	I	0	F	2	15	Muy Inestable	Muy Alta	
E.S.		8				21	Inestable	Alta			
3	10	Pot I	6	F	2	26	Inestable	Alta			

Continuación Tabla 14.Cuenca de Naiguatá											
N° Ladera	Litología (20%)	Estado Físico(20%)	Pendiente (20%)		Análisis Cinemático (25%)		Procesos Geodinámicos(15%)		Valor Pond. (100%)	Categoría	
	Valor	Valor	Rango	Valor	Rango	Valor	Tipo	Valor	Sumatoria	Estabilidad	Amenaza
Nag-27	4	0	2	5	Pot I	6	F	2	17	Muy Inestable	Muy Alta
			3	10	Mod E	13	F	2	29	Inestable	Alta
							E.L.	11	38	Inestable	Alta
	4		15	E	19	E.L.	11	49	Parcialm Est	Media	
	8		2	5	Pot I	6	F	2	21	Inestable	Alta
			3	10	Mod E	13	F	2	33	Inestable	Alta
					E.L.	11	42	Parcialmente E	Media		
Nag-28	4	0	2	5	Pot I	6	F	2	17	Inestable	Alta
			3	10	Pot I	6	E.S.	8	28	Inestable	Alta
			4	15	E	19	E.L.	11	49	Parcialm Est	Media
	8		2	5	Pot I	6	F	2	21	Inestable	Alta
			3	10	Pot I	6	E.S.	8	32	Inestable	Alta
			4	15	E	19	E.L.	11	53	Parcialm Est	Media

## **CARÁCTERÍSTICAS GENERALES DE LOS SECTORES DE AMENAZA**

### **ÁREAS EN LADERAS**

#### **Amenaza Muy Alta (0-20%):**

Sectores muy inestables que presentan laderas de alta pendiente, condiciones litoestructurales desfavorables planos estructurales en cuesta de buzamiento, rocas muy meteorizadas, suelos residuales espesos, alta densidad de procesos geodinámicos activos, escasa o nula cobertura vegetal. Cualquier proyecto de desarrollo resulta muy costoso y con poco margen de seguridad.

#### **Amenaza Alta (21-40%) :**

Sectores inestables de pendiente alta a media, condiciones litoestructurales potencialmente desfavorables, procesos geodinámicos antiguos y activos. Los proyectos de desarrollo deben estar basados en estudios de detalle y el uso de técnicas altamente especializadas, costosas y de difícil ejecución.

#### **Amenaza Media (41-60%) :**

Sectores con condiciones de estabilidad límite debido a arreglos litoestructurales parcialmente favorables, pendientes intermedias, rocas poco meteorizadas, perfil de suelos poco profundo, procesos geodinámicos incipientes y laderas con protección vegetal intermedia. Son sectores aprovechables previo estudio de detalle para evaluar las condiciones del sitio ya que una mala intervención antrópica pueden convertirlos en sectores de baja estabilidad, especialmente aquellos cuyos valores se acercan al 40%.

**Amenaza Baja (61-80%):**

Sectores de estabilidad regular, presentan sectores de pendientes medias y arreglo estructural favorable, litologías competentes con niveles de meteorización poco profundos, suelos residuales poco espesos, buena cobertura vegetal, procesos geodinámicos incipientes. Estos sectores son aprovechables con buen margen de seguridad si se respetan los retiros prudenciales de los bordes y se controla el escurrimiento superficial.

**Amenaza Muy Baja (81-100%) :**

Sectores estables que presentan áreas semiplanas y planas hacia el tope de la ladera por aplanamiento o logradas mediante terraceo en laderas sobre litologías competentes o suelos residuales resistentes, procesos geodinámicos generalmente ausentes o muy incipientes con óptima protección vegetal.

**ÁREAS EN ABANICOS ALUVIALES Y FONDOS DE VALLE**

**Amenaza Muy Alta:**

Áreas cuyas características geodinámicas las tipifican como muy inestables debido a la evidencia actual o antigua de procesos de transporte de rocas de gran tamaño y acumulación de material aluvial y vegetal a través de flujos de detritos y barro. Causas de ríos, quebradas principales y zonas del abanico aluvial. Cualquier proyecto de desarrollo debe ser prohibido y los ya existentes requieren la implementación de medidas de protección y control de carácter público que abarquen grandes extensiones y aún así tienen escaso margen de seguridad a largo plazo.

**Amenaza Alta:**

Áreas inundables afectadas o potencialmente susceptibles a ser afectadas por corrientes de alta energía. Sectores cercanos a laderas inestables y quebradas secundarias que transportan barro y detritos. Cualquier proyecto requiere la implementación de medidas de protección y control de carácter público a fin de proteger el patrimonio público existente.

**Amenaza Media**

Áreas apartadas de los drenajes principales, secundarios y laderas inestables. Son zonas potencialmente edificables luego de la ejecución de obras de protección y control con margen de seguridad aceptables.

**Amenaza Baja**

Áreas cuyas condiciones geodinámicas moderadas las tipifican como estables a procesos de remoción en masa, pueden ser aprovechadas a través de la implementación de medidas técnicas en el ámbito particular.

**Observaciones**

Con esta metodología es posible comparar todos los terrenos entre sí, ya que cada uno está identificado y clasificado mediante un valor porcentual de estabilidad. Sin embargo, no existe una escala de valores que pueda proporcionar una buena definición de los terrenos situados bajo una misma calificación y representado con una misma simbología. Por esta razón, en cada caso se debe consultar los mapas temáticos para comprobar cuáles son los parámetros negativos o positivos que definen el diagnóstico.

## DISTRIBUCIÓN DE LOS SECTORES DE AMENAZA EN EL ÁREA DE ESTUDIO

### CARMEN DE URIA

Los sectores bajo amenaza muy alta ocupan 1,5 Km<sup>2</sup>, que representan el 11% del área de la cuenca. Se encuentran principalmente en las áreas del cauce del río y el abanico aluvial, en las cuales son transportados y depositados grandes volúmenes de sedimento y rocas durante eventos fluvio-torrenciales. También se concentran en las laderas que rodean el área urbana en forma de anfiteatro. Las zonas bajo amenaza alta se distribuyen ampliamente en toda la cuenca abarcando un área de 10 Km<sup>2</sup>, que conforma el 74 % del área. Las zonas bajo amenaza media abarcan 1,8 Km<sup>2</sup>, representando el 13 % del área total de la cuenca y se localizan en las crestas de los estribos como: Estribo de Uria, la Fila de Puerto Escondido, Fila La Esperanza, Fila de San José, Fila de Buena Vista y el Topo La Hacienda. Las zonas bajo amenaza baja son muy escasas, ocupan el 0,6 % y se ubican en el tope del estribo El Corozo, y el Topo La Cumbre.



Fig.81 Cuenca de Carmen de Uria .Zonas bajo amenaza muy alta.

## **NAIGUATÁ**

Las zonas de amenaza muy alta tienen una extensión de 4,5 Km<sup>2</sup> que representan un 13% del área total y se encuentran distribuidas en toda la cuenca, especialmente en el pie de las laderas a ambos márgenes del río Naiguatá y sus afluentes principales en la cuenca alta, así como en los taludes de corte a lo largo de la carretera del Litoral Central. También se incluyen en este sector las zonas planas y semiplanas cercanas al cauce del río Naiguatá y el abanico aluvial. Las zonas de amenaza alta conforman la mayor parte de las laderas y ocupan el 64%. Las zonas de amenaza media abarcan 6 Km<sup>2</sup> que representan el 18% del área. Se ubican en este sector la Loma del Viento, Fila La Totuma, Fila de Piedra Moler, Sector de la Hacienda Cocuizal, La Planicie, Topo El Descansadero, y hacia la Fila Maestra los Topos Macanilla, La Sabana y Las Llaves. Las zonas bajo amenaza baja se localizan en el Topos Buena Vista, Los Araguatos, La Lagunita y el topo al sur de La Loma del Viento.

## **TANAGUARENA**

Los sectores de amenaza muy alta abarcan el 27% de la cuenca y se ubican en las laderas a ambos márgenes de la quebrada Tanaguarena y en los taludes a lo largo de la carretera costera. Los sectores bajo amenaza alta ocupan la mayor parte de la cuenca con 1,6 Km<sup>2</sup> que representan el 47% del área total. Los sectores bajo amenaza media ocupan el 24% del área y se encuentran en los estribos que limitan la cuenca: Topo Macanilla, Estribo de Uria. Entre los sectores bajo amenaza baja se encuentran el Topo Oliva y parte del Topo La Cumbre.

## **EI TIGRILLO**

Los sectores bajo amenaza muy alta representan el 25% de la cuenca, y se concentran principalmente en las laderas cercanas a la quebrada El Tigrillo y en los taludes a lo largo de la carretera costera. Los sectores bajo amenaza alta se extienden ampliamente ocupando el 65%, mientras que los sectores bajo amenaza media se encuentran ubicados en el tope de los estribos que limitan la cuenca: Fila de Puerto Escondido, y El Corozo. No se observaron sectores bajo amenaza baja.

## **CONCLUSIONES**

Existen muchas variables que determinan la ocurrencia de los movimientos en masa en las cuencas de estudio. Sin embargo, la interacción de las características intrínsecas del macizo rocoso junto con los factores externos (especialmente el clima y la gravedad), es la que genera una condición de inestabilidad en las laderas y abanicos aluviales.

En el área se observaron tres unidades del relieve: unidad de montañas (70%), unidad de colinas (20%) y unidad de valles y conos aluviales (10%). El drenaje principal se desarrolla subparalelo con dirección preferencial norte sur, mientras que en la cuenca alta el drenaje secundario se dispone en forma dendrítica, observándose encajonamiento de las quebradas y fuertes desniveles en forma de escalera.

Las rocas que afloran en el área de estudio pertenecen a la Asociaciones Metamórficas La Costa (Mesozóico) y Ávila (Paleozóico-Precámbrico), que forman parte de la Superasociación Metamórfica Cordillera de la Costa. En ellas se identificaron las siguientes unidades geotécnicas:

### **Unidad de Esquistos blandos muy foliados**

(Equivalente a la Unidad Litodémica Esquisto de Tacagua)

Se caracteriza por presentar rocas con textura esquistosa y composición mineral constituida por plagioclasa, clorita, carbonatos, minerales del grupo del epidoto, grafito y muscovita; los colores de estas asociaciones de esquistos varían entre grises medianamente oscuros hasta verdes de tonalidades claras. En esta unidad también se observan intercalaciones de roca epidótica, de tonos verdosos. Esta unidad litológica es generalmente blanda y se fractura fácilmente con la piqueta, aunque localmente se presentan niveles más

resistentes. En general la roca se encuentra muy foliada, fracturada y plegada. Es común encontrar profundos espesores de meteorización, con rocas descompuestas y suelos residuales arcillosos muy susceptibles a la intervención y propensos a deslizamientos someros, y fenómenos de cárcavas superficiales.

### **Unidad de Esquistos y gneises duros, foliados y parcialmente foliados**

(Equivalente al Complejo San Julián)

Se caracteriza principalmente por esquistos cuarzo-plagioclásicos-micáceos, foliados y parcialmente foliados, con intercalaciones locales de gneis de la misma composición y anfibolita granatífera de aspecto masivo. Los contactos con los gneises y rocas anfibólicas de la unidad son concordantes, paralelos a la foliación y con colores frescos y de meteorización distintivos.

En esta unidad el material producto de la alteración es de textura granular, a veces parecen verdaderas arenas playeras de color blanco y ricas en cuarzo; este material debido a su permeabilidad favorece la infiltración de las aguas de lluvia; el suelo se satura de agua y genera derrumbes y deslizamientos con mucha frecuencia.

### **Unidad de Augengneis muy duros, poco foliados a masivos.**

(Equivalente a la Unidad Litodémica Gneis de Peña de Mora)

Se caracteriza por rocas esencialmente félsicas y competentes con textura gruesa tales como augengneis y gneis plagioclásico-cuarzo-muscovítico, con bandas cuarzo feldespáticas. La textura característica es el *augen*, ojos ricos en plagioclasa (albita-oligoclasa) y feldespato potásico (microclino) rodeados de agregados minerales cuarzo feldespático micáceos. Posee un color fresco de bandas blancas que intercalan con bandas grises oscuras a negras, meteorizando a marrón oscuro con bandas claras y remanentes de óxidos de color marrón.

Esta unidad aflora en la parte media y alta de las cuencas hidrográficas de la zona de estudio. Se ubica en un ambiente de bosque tropical húmedo, por lo que no se generan importantes espesores de suelo. El material de alteración es de textura granular y de poco espesor, lo cual favorece la infiltración del agua de lluvia que se introduce por las fracturas de la roca, disolviendo el material cementante y ocasionando así la separación y caída de grandes bloques.

En cuanto a la clinometría podemos concluir que las zonas de pendiente abrupta representan el mayor porcentaje areal en las cuencas estudiadas y son producto de la intensa socavación del drenaje aunado a la tectónica. En estas zonas se genera el mayor número de movimientos en masa influenciados por la gravedad.

Las áreas planas y semiplanas se encuentran en las zonas próximo costeras, creadas por la acumulación de abanicos aluviales coalescentes y terrazas aluviales. También se observan áreas semiplanas en el tope de las colinas y estribos con topes acolinados, producto del aplanamiento por erosión.

El análisis cinemático es fundamental en el diagnóstico de estabilidad del macizo rocoso, pero no representa el 100% de la estabilidad, ya que existen otros parámetros involucrados. Se observó una correspondencia de las zonas de inestabilidad cinemática y las zonas donde se desarrollan deslizamientos traslacionales, especialmente en las laderas en los rangos 1 ( $0^{\circ}$ - $45^{\circ}$ ) y 8 ( $315^{\circ}$ - $360^{\circ}$ ), donde la estructura principal (foliación) es subparalela a la orientación de la ladera y en condición de cuesta de buzamiento. Sin embargo, en las zonas donde la roca se encuentra muy alterada y el espesor del regolito es considerable, se observan algunas discrepancias en el análisis cinemático; los deslizamientos tienden a ser superficiales y de tipo semicircular, por lo que no se aprecia una influencia directa de las discontinuidades sobre la estabilidad del macizo. En estas

zonas es donde gana importancia la evaluación del fracturamiento y la meteorización, ya que permite describir el estado físico del macizo rocoso.

Al realizar la sumatoria de los valores ponderados parciales asignados para la litología, pendiente, estado físico, análisis cinemático y geomorfología, se establecieron 5 zonas de amenaza geológica por procesos de remoción en masa en las laderas. Estas zonas son: Amenaza muy alta (0-20%), amenaza alta (21-40%), amenaza media (41-60%), amenaza baja (61-80%) y amenaza muy baja (81-100%).

En las zonas planas de abanicos aluviales y fondos de valle la zonificación se basó en las características geodinámicas, ya que la metodología usada es aplicable sólo en laderas.

## ***RECOMENDACIONES***

Se recomienda incluir en la cartografía temática un mapa referente a las formaciones superficiales, es decir, el espesor y características de los suelos, ya que en estos materiales se suscitan la mayor cantidad de procesos de remoción en masa.

Realizar un estudio detallado de las variaciones climáticas locales en función de las biozonas climáticas. Para tal motivo se debe incluir un mapa de vegetación, tomando en cuenta las alteraciones antrópicas causadas por deforestación o sustitución de la capa vegetal.

Estudiar la morfología y orientación de la cuenca y realizar estudios para determinar la insolación diferencial de las laderas generadas por el efecto de umbría y solana, igualmente determinar la humedad de las mismas.

Incluir el análisis morfométrico y los perfiles de equilibrio del drenaje principal, y que estos ayudan a conocer el posible comportamiento torrencial de las cuencas hidrográficas.

Las recomendaciones técnicas propuestas para reducir la inestabilidad de las laderas y mitigar la amenaza por remociones en masa, deben estar basadas principalmente en el control de la infiltración y el manejo de las aguas de escorrentía, ya que estos factores son los que propician el inicio de flujos y deslizamientos los cuales alimentan el fondo del valle con materiales coluvio-aluviales, que se encuentran en espera para ser removidos. Además, los deslizamientos generan represamientos a lo largo del cauce, los cuales al romperse generan una “ola” de gran energía que es capaz de movilizar bloques de roca de gran tamaño. Sin embargo, debido a la magnitud de los procesos de remoción en masa que ocurrieron en la zona, cualquier medida tomada no mitigará totalmente la amenaza geológica debido al gran potencial morfogenético de la zona.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Audemard, F. (2000). *La Vertiente Caracas del Macizo del Ávila en el espejo del desastre de Vargas de diciembre de 1.999*. Sem.Geot., 6. SOVEGEO.Caracas, Venezuela. p: 213-229.
- Cano, V. & Melo, L. (2001). *Reconocimiento geológico entre la cuenca de la Quebrada Seca y la cuenca del Río Care, Estado Vargas*. UCV, Escuela de Geología, Trabajo Especial de Grado. 155 p.
- Cantisano, M. 1989 . *Estudio geológico y geotécnico de la cuenca de la Quebrada Mamera, Distrito Federal*, Mem. VII. Congr. Geol. Venezolano, Barquisimeto,4:1047-1069.
- CEPREDENAC.(2002). *Simposio Internacional de Deslizamientos en Latinoamérica*. Conclusiones Mesa de Trabajo. Panamá, 2002.
- Humboldt, A. (1991). *Viaje a las regiones equinocciales del Nuevo Continente*. Caracas. Monte Ávila Latinoamericana. Tomo II:293-374.
- Dengo, G. (1951). *Geología de la región de Caracas*. Bol.Geol.Caracas, 1(1):39-115p.
- Feliziani, P. et al. (1985) .*Estudio Geotécnico del Área Metropolitana de Caracas Sector Central*. Cong. Geol. Venez., 6. SVG., Caracas, VENEZUELA. 7:4612-4681.

- García, L. Romero, P. y Urbani, F.(1993). *Reconocimiento geológico de la silla de Caracas, Parque Nacional El Ávila, Estado Miranda*. II Jornadas Científicas 55 Aniversario de la Escuela de Geología, Minas y Geofísica, UCV, Caracas, Programa y Resúmenes, p. 30.
- Gonzalez, L. (1972). *Geología de la Cordillera de la Costa, zona centro occidental*. Mem.IV.Cong.Geol.Vzlano,Bol.Geol.Publ.Esp.III:1589-1618.
- Hess, H. (1950). *Investigaciones geofísicas y geológicas en la región del Caribe*. AVGMP, II . (1):5-23.
- Lambe,W. (2000). *Mecánica de Suelos*. Edit. Limusa. Balderas, México. 582p.
- MARN. 2000. *Desastre natural de diciembre de 1999 zona norte-centro costera de Venezuela, aspectos climatológicos*. Comisión para la evaluación de daños y riesgos. Caracas, s/p.
- MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS. (1997) *Léxico Estratigráfico de Venezuela*. MEM. Caracas, Venezuela,
- Muñoz, F. (2000). *Perspectivas para la evolución de amenaza y riesgos geológicos* . En Simp. Panam.
- Ojeda, J. (2001). *Evaluación del riesgo de fenómenos de remoción de masas*. Editorial Seuela. Colombia. 285 p.

- Ostos, M. (1981). *Geología de una zona ubicada entre la autopista Caracas -La Guaira y el estribo Galindo, Parque Nacional El Ávila*, D.F. UCV. Escuela de Geología, Trabajo de ascenso. Inédito. 279p.
- Ostos, M. (1987). *Transporte tectónico de la Formación Peña de Mora, parte central de la Cordillera de la Costa*. Men. 1eras Jornadas de Investigación. Ingeniería. UCV, Caracas, p. 102-105.
- Rios, D. (1989). *Geología de un segmento de la Cordillera de la Costa entre Macuto-Naiguatá y los Ocumitos Distrito Federal y Estado Miranda*.UCV-EG.283 p.
- Salcedo, D. (2000). *Los flujos torrenciales catastróficos de diciembre de 1999, en El Estado Vargas y Área Metropolitana de Caracas. Características y lecciones aprendidas*. SEM. GEOT.,6. SOVEGEOT. CARACAS, VENEZUELA. P:125-172. 2000.
- Sancio, R. (2000). *Algunos Aspectos científicos relacionados con el fenómeno hidrometeorológico de diciembre 1999, en el Estado Vargas*. Sem. Geot.,6. SOVEGEOT. CARACAS, VENEZUELA.
- Singer, A. (1977). *Síntesis regional de la evolución geomorfológica de la Cordillera de la Costa*. V Congreso Geológico Venezolano. Guía de excursión N° 1, Caracas, 8p.
- Singer, A, ROJAS, C & LUGO, M. (1983). *Inventario Nacional de Riesgos Geológicos, estado preliminar*. FUNVISIS. Serie Técnica. 200p.
- Singer, A. (1977). *Tectónica reciente, morfogénesis sísmica y riesgo geológico en el graben de Caracas*. Seminario de riesgo geológico, Caracas, OEA-FUNVISIS.

Singer, A. (1977). *Acumulaciones torrenciales catastróficas, de posible origen sísmico y movimientos neotectónicos de subsidencia en la parte orientada del valle de Caracas*. UCV. Caracas.

SOCIEDAD VENEZOLANA DE GEOTÉCNIA. (2000). *Calamidades geotécnicas urbanas con visión al siglo XXI*. XVI Seminario. Caracas, Venezuela. 585 pp.

Suarez D. (1998). *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*. Instituto de Investigaciones sobre la Erosión y Deslizamientos. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, Colombia. 548 p.

Talukdar, S. & Loureiro, D. (1982). *Geología de una zona ubicada en el segmento norcentral de la Cordillera de la Costa, Venezuela: metamorfismo y deformación. Evolución del margen septentrional de Suramérica en el marco de la tectónica de placas*. Geos, Caracas, (27):15-76.

Terzagui, K. & PECK, R. (1972). *Mecánica de suelos en la ingeniería práctica*. Editorial El Ateneo. Barcelona. 722 p.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA.(1968). *Climatología e hidrología de la cuenca hidrográfica del Valle de Caracas*. Ediciones de la Biblioteca Central. Caracas, Venezuela. p: 3-20.

Urbani, F. (1982). *Comentarios sobre algunas edades de las rocas de la parte central de la Cordillera de la Costa*. Geos, UCV, Caracas, (27): 77-85.

- Urbani, F. (1999). *Revisión de las unidades de rocas ígneas-metamórficas de la Cordillera de la Costa, Venezuela*. Geos. UCV. Caracas, (33): 1-170.
- Urbani. (2000). *Revisión de las unidades de las rocas ígneas y metamórficas de la Cordillera de la Costa, Venezuela*, Geos, UCV, Caracas (33): 1 - 170.
- Urbani, F, RODRIGUEZ & VIVAS. (2000). *Geología del Estado Vargas*:. Nomenclatura actualizada de las unidades ígneo-metamórficas de la parte central de la Cordillera de la Costa. GEOS. UCV, Caracas (35) 621-622.
- Uzcátegui, R. (1997). *Geología del flanco sur de la silla de Caracas, Parque Nacional El Ávila*. UCV-EG. 104 p.
- Villagron, J. (2001). *Aporte a la prevención de desastres naturales en Venezuela*. Proyecto Prevene. MARN. Caracas, Venezuela.
- Wehrmann, M. (1972). *Geología de la región Guatire - Colonia Tovar*. Bol. Geol., Public. Esp. 5 (4): 2043-2121.

