

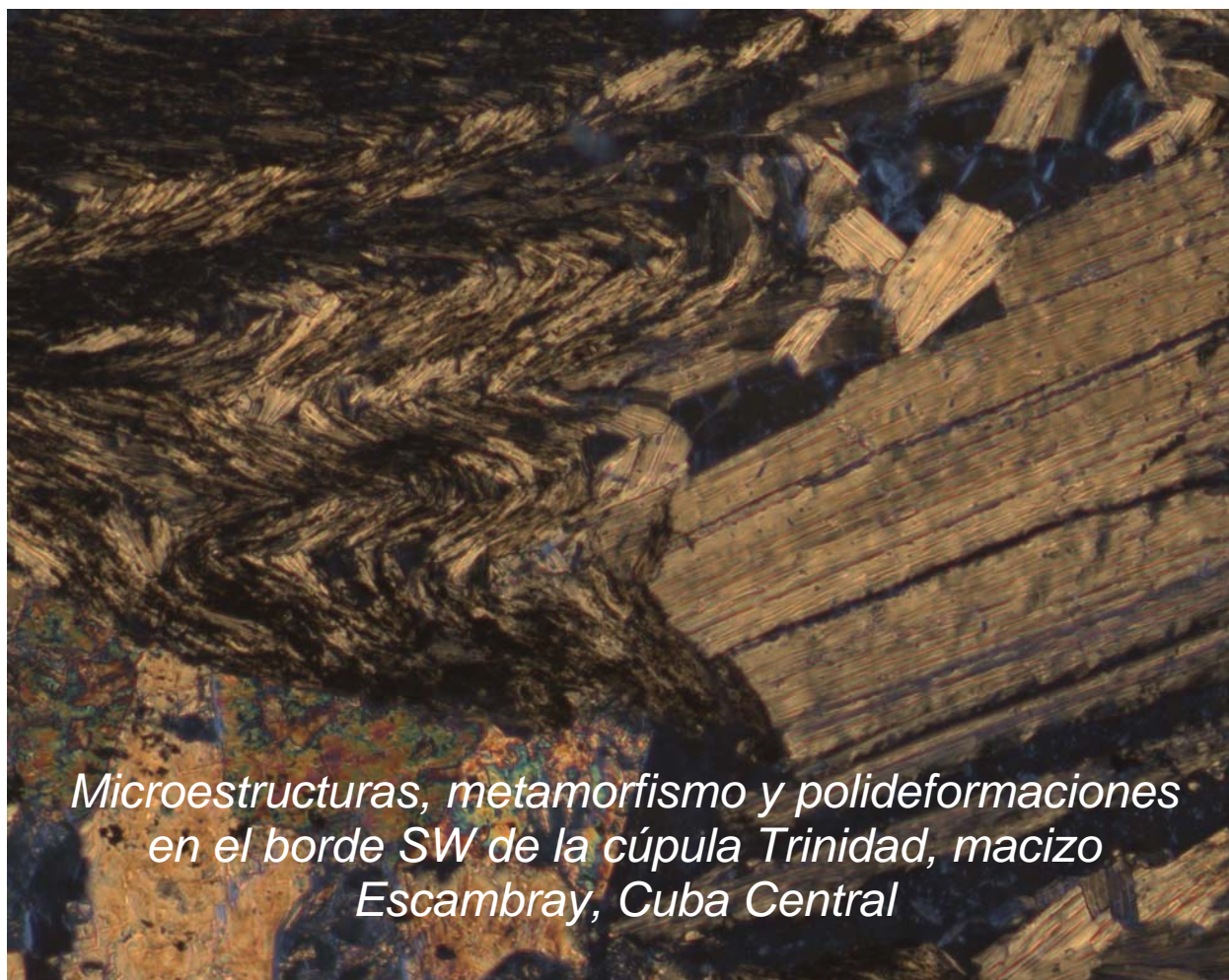


UNIVERSIDAD DE PINAR DEL RÍO

HERMANOS SAIZ

FACULTAD DE GEOLOGÍA

Tesis de diploma



*Microestructuras, metamorfismo y polideformaciones
en el borde SW de la cúpula Trinidad, macizo
Escambray, Cuba Central*

Año: 2007

Autor: *Lisnory Alazales Capetillo*

Tutor: MSc. *Ana Ibis Despaigne Díaz*

DECLARACIÓN

Yo: *Lisnory Alazales Capetillo*, declaro que los resultados de este trabajo los comparto con la universidad de Pinar del Río "Hermanos Saíz Montes de Oca". Los mismos son mi entera responsabilidad y no necesariamente deben coincidir con criterios y resultados postulados por otros autores.

Firma del autor

Lisnory Alazales Capetillo

***Creed en la luz, porque el que anda en tinieblas no
sabe a donde va...***

*A mami y a papi
por ser el rayo de luz
en el camino de mi vida*

AGRADECIMIENTOS

Agradezco la ayuda a todos los que de una forma u otra contribuyeron en la realización de esta tesis y en mi afán de realizar mis sueños, en especial:

A mi familia. Llevo en el corazón el apoyo y el ejemplo de mi abuelita Librada (Maito), mi abuelito Luis y mi tía Mercy.

A Noel, por su amor y dedicación

A José F. Lastra (pepito) por su humildad y su arte para enseñar

A Esther María por aportarme parte de sus conocimientos

A Roxana por su amabilidad

A Nereida y Miriala por su solidaridad

Le estoy eternamente agradecida a mi tutora **Ana Ibis** por enseñarme la virtud del saber y la perseverancia.

RESUMEN

Estudios macro y microtectónicos en el borde SW de la cúpula Trinidad arrojan la existencia de dos períodos de deformaciones fundamentales para el área estudiada en el macizo Escambray. Una D_2 desarrollada en un ambiente dúctil y una D_3 en un ambiente más frágil. Una etapa vinculada a movimientos hacia el sur, a través de fallas inversas. Este hecho queda demostrado por el análisis de indicadores cinemáticos como sombras de presión en minerales metálicos, mica fish, y procesos de imbricación en micas, como resultado del análisis microtectónico en secciones delgadas y también en estructuras macroscópicas, con el desarrollo de pliegues asimétricos, todos asociados a una fase deformacional D_2 . Se determinaron además movimientos hacia el N-NE, (aunque la superposición de ambos no pudo ser constatada), captados a través de fallas inversas, pliegues asimétricos, tanto en afloramientos como en secciones delgadas orientadas. En un estadio mas joven se detectaron fallas normales con movimientos hacia el NNW y un fuerte agrietamiento en las rocas del macizo, asociadas al parecer al levantamiento de la cúpula, y relacionadas con un ambiente de deformación más frágil. Este tipo de deformación frágil ocurre en una fase D_3 . A la par se mapearon fallas de deslizamiento por el rumbo que pudieran estar relacionadas a un estadio aún más joven (D_4 -?).

El estudio de los minerales en microestructuras y los resultados de análisis químico en óxidos mayores, indican un metamorfismo de bajo grado, formado a temperaturas entre 150-400°C, en la fase de los esquistos verdes, hecho que establece el rango de temperaturas en el cual ocurrieron las deformaciones.

ABSTRACT

Macro and microstructural analysis in the SW of Trinidad dome, Escambray massif, point to the existence of two deformation phases in the area. A ductile D_2 phase ductile phases and a more fragile D_3 phase. Tectonic movements to the south and south east have been mapped through reverse and thrust faults. Kinematics indicators in thin sections such as: pressure fringes in metallic minerals, mica fish, imbrications and tilting in micas together with macroscopic structures like fold vergence indicated this tectonic transport. In reverse faults, and rotated porphyroclasts in mylonites. In thin sections, rotated porphyroclast, NE vergent folds in amphibole bearing schists, and oblique foliations, all indicated a north, north east tectonic transport during this stage. A younger phase D_3 is observed in thin sections as calcite filled vein and joints and a crenulated S_2 foliation in folds. At outcrop scale a fracture cleavage develops. This patterns is thought to be a result of Escambray exhumation stage, causing a prominent joint pattern even in the adjacent complexes. Normal faulting with movement direction to the N and NW is also related to this phase. Strike slip movements have been recorded in Yaguanabo area and they could probably occurred during a post D_3 phase.

Analysis of microstructures in thin sections and the results of major oxides in rock samples indicated a low grade metamorphism with temperatures ranging from 150-400° belong to a green schist metamorphic phase. These are also the deformation temperatures for minerals in the area. The results of this work fit to a geodynamic environment with a north dipping subduction zone where Escambray was sank during the Cretaceous. The fact caused the high pressure low temperature (HP/LT) of the former and a metamorphism in a green schist phase.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
DISEÑO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN	2
CAPITULO I: " CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS Y ECONÓMICAS DE LA REGIÓN	4
1.1 Ubicación geográfica	5
1.2 Relieve	5
1.3 Vegetación	5
1.4 Hidrografía	5
1.5 Clima	6
1.6 Recursos naturales	6
1.7 Actividad económica	6
CAPÍTULO II " METODOLOGÍA DE TRABAJO"	9
2.1 Revisión de literatura	10
2.2 Trabajo de campo	10
2.3 Trabajo de laboratorio	10
2.3.1 Microscopio de polarización	11
2.3.2 Difracción de rayos X	11
CAPITULO III "GEOLOGÍA REGIONAL"	13
3.1 Antecedentes de la investigación	14
3.2 Geología de la región	17
3.2.1 Estratigrafía	18
3.2.2 Tectónica	24
3.2.2.1 Modelos geotectónicos del Caribe	25
3.2.3 Metamorfismo	27
3.2.4 Edad del metamorfismo	27
CAPITULO IV "GEOLOGÍA DEL ÁREA DE TRABAJO. ANÁLISIS MACROTECTÓNICO	30
4.1 Perfil Cafetal-Gavilanes	31
4.1.1 Descripción geológica del perfil por afloramientos	34
4.1.2 Estructuras plicativas	42
4.1.3 Estructuras disyuntivas	44
4.1.4 Proyecciones estereográficas de los elementos estructurales	44
4.2 Perfil Yaguanabo arriba-Playa Yaguanabo	48
4.2.1 Descripción geológica del perfil por afloramientos	49
4.2.2 Estructuras plicativas	59
4.2.3 Estructuras disyuntivas	60
4.2.4 Proyecciones estereográficas de los elementos estructurales	61
4.3 Análisis de los datos	66
CAPÍTULO V "PETROLOGÍA Y ANÁLISIS MICROTECTÓNICO	69
5.1 Micro estructuras y mecanismos de deformación	71
5.2 Perfil Cafetal-Gavilanes	73
5.2.1 Metacarbonatos	73
5.2.2 Metavulcanógenos	77
5.2.3 Indicadores cinemáticos	79

5.3 Perfil Yaguanabo arriba- Playa Yaguanabo	84
5.3.1 Metacarbonatos	84
5.3.2 Metavulcanógenos	85
5.3.3 Indicadores cinemáticos	88
5.4 Estimación de temperaturas de deformación	91
5.5 Metamorfismo	94
5.6 Análisis de los datos	97
CONCLUSIONES	99
Discusión de los resultados	99
RECOMENDACIONES	101
BIBLIOGRAFIA	102
APÉNDICES	

Listado de Figuras

Figura 1.1	Mapa de ubicación del área de estudio en la cúpula Trinidad, Escambray
Figura 1.2	Mapa de ubicación (microlocalización) de los perfiles en el área de trabajo.
Figura 2.1	Metodología utilizada en la tesis
Figura 3.1	Corte geológico a través de Cuba Central, exponiendo todas las unidades geológicas de la región y las relaciones entre ellas.
Figura 3.3	Mapa geológico del borde SW de la cúpula Trinidad (después de Millán G y Álvarez Sánchez, 1991).
Figura 3.2	Columna propuesta por K.P. Stanek et al, 2006
Figura 3.4	Modelo tectónico de la colisión del arco de islas (zona Zaza) con el margen continental pasivo cubano
Figura 3.5	Modelo tectónico de la colisión del terreno Escambray con el arco de islas
Figura 3.6	Edades de los procesos geológicos ocurridos en el Escambray según varios autores.
Figura 4.1	Modelo digital perfil Cafetal-Gavilanes con puntos de observación y muestreo para secciones delgadas orientadas
Figura 4.2	Esquema y perfil geológico Cafetal- Gavilanes. El esquema comprende los datos reales de la marcha ruta
Figura 4.3	Porfiroclasto de calcita rotado que indica un movimiento al norte. Se observa una lineación mineral en el plano perpendicular al buzamiento
Figura 4.4	Superficie de sobrecorrimento que separa mármoles de esquistos carbonatados.
Figura 4.5	Relación de S_0 y S_1
Figura 4.6	Porfiroclasto de calcita rotado en milonita
Figura 4.7	Pliegues de crenulación asimétricos F_2 en esquistos verdes
Figura 4.8	Columna litológica general del afloramiento 10
Figura 4.9	Desarrollo de tres tipos de esquistosidades
Figura 4.10	Mapa de elementos estructurales del perfil Cafetal
Figura 4.10a	Proyecciones estereográficas de los elementos estructurales del perfil Cafetal Gavilanes.
Figura 4.11	Modelo digital perfil Playa Yaguanabo-Yaguanabo arriba
Figura 4.12	Esquema y perfil geológico Playa Yaguanabo-Yaguanabo arriba
Figura 4.13	Relación entre S_1 y S_2
Figura 4.14	Esquistos talcosos con desarrollo de pliegues de crenulación F_2
Figura 4.15	Zona de falla con desarrollo de estrías horizontales
Figura 4.16	Veta de cuarzo plegada definiendo pliegue asimétrico F_2 dentro de esquistos verdes.
Figura 4.17	Zona de falla de desplazamiento horizontal sinistral
Figura 4.18	Grieta rellena de cuarzo en esquistos cuarzo micáceos
Figura 4.19	Sección delgada en el contacto entre el Escambray y el arco volcánico
Figura 4.20	Estructura hipotética del comportamiento de una gran estructura F_2 con vergencia NE en el perfil Yaguanabo
Figura 4.21	Mapa de elementos estructurales de Yaguanabo
Figura 4.21a	Proyecciones estereográficas de los elementos estructurales en

	el SECTOR I .Perfil Yaguanabo.
Figura 4.21b	Proyecciones estereográficas de los elementos estructurales en el SECTOR II. Perfil Yaguanabo.
Figura 4.22	Mapa donde se aprecian los desplazamientos en el perfil Yaguanabo
Figura 4.23	Mapa general de movimientos del perfil Sierrita-Gavilanes
Figura 5.24	Gráfico TAS (alcali total y sílice) para protolitos de origen volcánico. Tipo de roca de donde provienen las muestras.
Figura 5.25	Gráfico de $MnO-TiO_2-P_2O_5$ para basaltos y basalto andesitas
Foto 5.1	Muestra:CG-1(pp)
Foto 5.2	Muestra: CG-10 (pp)
Foto 5.3	Muestra: CG-10 (pp)
Foto 5.4	Muestra: CG-7(pp)
Foto 5.5	Muestra: CG-7(pp)
Foto 5.6	Muestra: CG-7(pp)
Foto 5.7	Muestra: CG-7(pp)
Foto 5.8	Muestra: CG-7(pp)
Foto 5.9	Muestra: CG-7(pp)
Foto 5.10	Muestra: CG-10 (pp)
Foto 5.11	Muestra: CG-10 (pp)
Foto 5.12	Muestra: CG-12 (pp)
Foto 5.13	Muestra: CG-12 (pp)
Foto 5.14	Muestra CG-12
Foto 5.15	Muestra:CG-12
Foto 5.16	Muestra CG-7 (pp).
Foto 5.17	Muestra: CG-7(pp).
Foto 5.18	Muestra: YG-20 (pp)
Foto 5.19	Muestra: YG-20 (pp).
Foto 5.20	Muestra: YG-20c (pp)
Foto 5.21	Muestra: YG-22 (p)
Foto 5.22	Muestra: YG-24C ₁ (pp)

Listado de tablas

Tabla 5.1	Resumen de la paragénesis mineral de las rocas en el perfil Cafetal-Gavilanes
Tabla 5. 2	Resumen de la deformación de los minerales Perfil Cafetal-Gavilanes.
Tabla 5.5	Tabla resumen de los mecanismos de deformación de los minerales y temperaturas de deformación en ambos perfiles.
Tabla 5.3	Resumen de la paragénesis mineral de las rocas en este perfil
Tabla 5.4	Fases de deformación de los minerales Perfil Yaguanabo arriba-Playa Yaguanabo.

Listado de Apéndices

Apéndice 1	Composición mineralógica de las muestras perfiles CG y YG.
Apéndice 2	Análisis químico en roca total muestras perfiles CG y YG.

INTRODUCCIÓN

El macizo Escambray en Cuba Central, área de interés de estudio, se conforma de dos estructuras en forma de domos, al oeste la cúpula de Trinidad y al este la cúpula de Santi Spiritus (Figura 1.1). El área presenta gran cantidad de unidades litológicas pertenecientes al margen continental pasivo del bloque de Yucatán (Iturralde Vinent, M; 1994, Rojas Agramonte, Y; Kroener, A et al, 2005), de edades comprendidas entre el Jurásico y Cretácico. Las unidades rocosas se encuentran fuertemente metamorizadas y formando estructuras de napes muy complejas. Por investigaciones anteriores, el área se subdivide en tres zonas de acuerdo a su grado de metamorfismo, sin embargo carece de un detallado análisis microestructural y de sucesión cronológica de los eventos relacionados con las deformaciones, la tectónica y el metamorfismo.

Los modelos geotectónicos postulados para el área del Caribe presentan problemas al no tener en cuenta la posición geológica del Escambray, su estructura interna, y configuración actual, lo que genera contradicciones en la evolución geológica del área caribeña. Un aspecto de discrepancia es la procedencia del macizo y su metamorfismo (Iturralde Vinent, M; 1994, Cobiella Reguera, J; 2000).

Este trabajo estará dirigido al estudio microestructural en secciones delgadas del área así como el estudio macroestructural en los afloramientos y la posterior correlación de ambos. Este permitirá establecer parámetros de la evolución geológica del macizo, tratándose de dar un orden cronológico a los diferentes eventos tectónicos que ocurrieron en el área. Por otra parte se pondrán de manifiesto las relaciones que existen entre la tectónica, las deformaciones y el metamorfismo en el área, y la importancia de la microtectónica en el estudio de la evolución geológica en un área compleja.

Los resultados aportarán datos sobre la estructura interna del Escambray y el papel que juega el macizo en la complicada geología de Cuba Central. También se podrán dar algunos resultados acerca de las estructuras sinmetamórficas y postmetamórficas del macizo. El esclarecimiento de la estructura interna del Escambray contribuirá a sentar bases para la búsqueda y exploración de yacimientos minerales en la zona, recursos escasamente

estudiados y explotados debido a la compleja estructura nappe escamada del macizo.

DISEÑO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN

Problema

Insuficiente grado de estudio de la estructura interna del macizo Escambray, su tectónica y metamorfismo que genera incertidumbre y contradicciones en la evolución geológica de Cuba y el Caribe y el manejo inadecuado de los recursos minerales del macizo.

Objetivo general

Establecer parámetros de la evolución geológica del Escambray a partir de análisis micro y macrotectónico en un área detallada.

Objetivos específicos

- Identificación, caracterización e interpretación de las diferentes fases de deformación ocurridas en el área a través de análisis tectónicos a nivel de afloramiento y secciones delgadas.
- Caracterizar las condiciones geológicas en las cuales ocurrió el metamorfismo y su relación con la tectónica.
- Establecer un orden en la sucesión de las deformaciones ocurridas y el papel de los minerales en cada una de ellas.

Objeto

Borde SW de la Cúpula Trinidad

Para desarrollar las investigaciones se tomaron dos perfiles del borde de la cúpula Trinidad llamados:

Playa Yaguanabo-Yaguanabo arriba (YG) que sigue un rumbo NE-SW extendiéndose aproximadamente cinco Km. El punto más NE se encuentra

cerca del poblado de Yaguanabo arriba con coordenadas X=583500 Y=229500 y el punto más SW cerca de la carretera del Circuito con coordenadas X=579750 Y=227450.

El segundo perfil **Cafetal-Gavilanes (CG)** se extiende aproximadamente 7 Km rumbo E-W el punto más Este se encuentra en el poblado Cafetal cuyas coordenadas son X=577250 Y=241500 y el punto más Oeste aparece en las cercanías del poblado Gavilanes con coordenadas X=570800 Y=239250

Materiales y métodos

Materiales

- Mapa geológico de la zona, escala 1: 25 000
- Artículos, revistas y libros sobre la geología del área
- Mapa tectónico y de metamorfismo del área, escala 1: 25 000
- Mapas topográficos a escala 1:50 000 y 1: 25 000

Métodos

- Revisión de literatura

Trabajo de campo:

- Reconocimiento geológico
- Análisis estructural en afloramientos
- Descripción de afloramiento
- Toma de muestras orientadas

Trabajos de laboratorio:

- Análisis químico de roca total en metacarbonatos y metavulcanógenos (difracción de rayos X).
- Análisis de rocas y minerales en el microscopio de polarización.

CAPITULO I: " CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS Y ECONÓMICAS DE LA REGIÓN "

1.1 Ubicación geográfica

1.2 Relieve

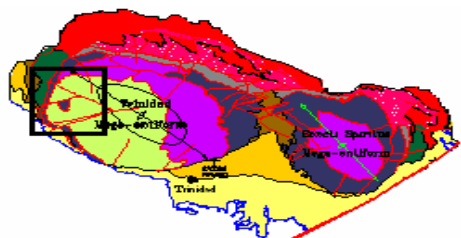
1.3 Vegetación

1.4 Hidrografía

1.5 Clima

1.6 Recursos naturales

1.7 Actividad económica



1.1 Ubicación

El área de estudio se presenta como un accidente geográfico de relieve elevado. Se denomina geográficamente como Macizo de Guamuhaia, más conocido como Macizo Escambray al Sur de la región central del Archipiélago cubano, ocupando territorios de las provincias de Cienfuegos, Sancti Espíritus Y Villa Clara. (Figura 1.1 y 1.2)

1.2 Relieve

El macizo presenta altitudes de 500-1000m en la parte más central y en la periferia de la cúpula entre 100-500m su elevación más prominente se encuentra la Sierra de Trinidad, denominada Pico San Juan con 1156m, los ángulos de las pendientes están entre 35-55° . (Atlas nacional de Cuba, 1989, Academia de Ciencias de Cuba).

1.3 Vegetación

Consta con una vegetación natural de bosques tropicales latifolios perennifolios de tipo pluvial montano y siempre verde mesófilo submontano. Como vegetación secundaria matorrales y comunidades herbáceas. Se llevan a cabo fundamentalmente procesos exógenos de tipo cársico-erosivo y erosivo-denudativo. También se han formado cortezas de intemperismo que aún se mantienen activas. (Atlas nacional de Cuba, 1989, Academia de Ciencias de Cuba).

1.4 Hidrografía

Los principales ríos de la región son Río Arimao cuyo afluente río Gavilanes es cortado por el perfil cafetal-gavilanes y Río Alabama con sus afluentes. La densidad de la red fluvial es de 100-150km-Km. -2 por cuenca y en zonas más locales cerca de la costa la densidad de la red aumenta. (Atlas nacional de Cuba, 1989, Academia de Ciencias de Cuba).

1.5 Clima

El macizo está caracterizado por un clima tropical húmedo con lluvias todo el año y templado cálido con lluvias todo el año en zonas más elevadas. Las temperaturas máximas oscilan entre 30-32°C y las mínimas entre 6-8°C, de forma tal que las temperaturas medias anualmente se encuentran entre 18-20°C.

Las precipitaciones medias en el período lluvioso que comprenden los meses desde Mayo hasta Octubre son de 2200mm y en el período seco (Noviembre-Abril) son de 400mm.

(Atlas nacional de Cuba, 1989, Academia de Ciencias de Cuba).

1.6 Recursos naturales

Los suelos son muy productivos y existe gran reservas de agua subterránea. En zonas localizadas aparecen yacimientos minerales medianos. Consta con yacimientos metálicos piríticos y hierro que se utiliza en la industria metalúrgica y química. Los yacimientos no metálicos están representados por arcillas y material carbonatado como recursos fundamentales que se utilizan en la cerámica y fabricación de cemento. (Atlas nacional de Cuba, 1989, Academia de Ciencias de Cuba).

11.7 Actividad económica fundamental

La economía se caracteriza por ser industrial-agropecuaria con predominio de la industria azucarera y la construcción. Sus principales producciones son de agua mineral y es una zona muy favorable para actividades turísticas. (Atlas nacionales de Cuba, 1989, Academia de Ciencias de Cuba).

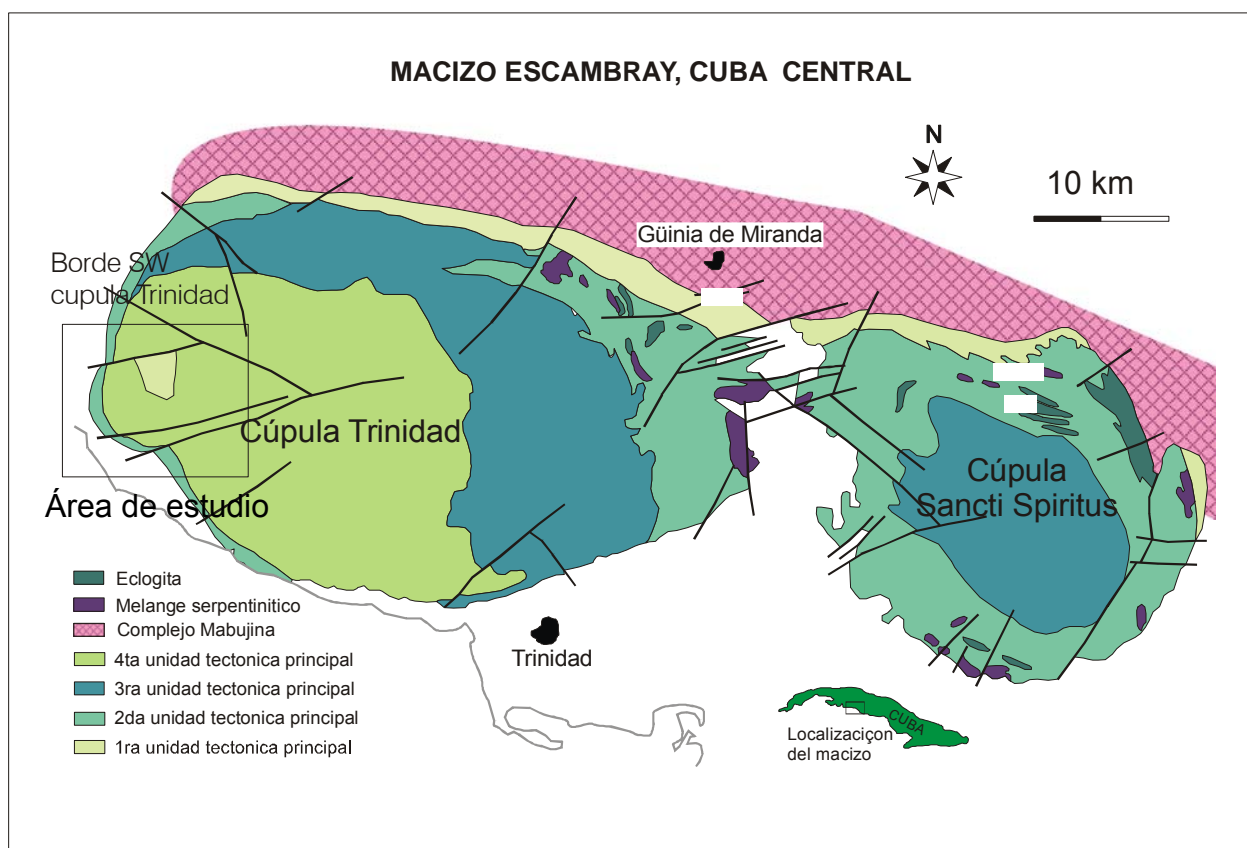
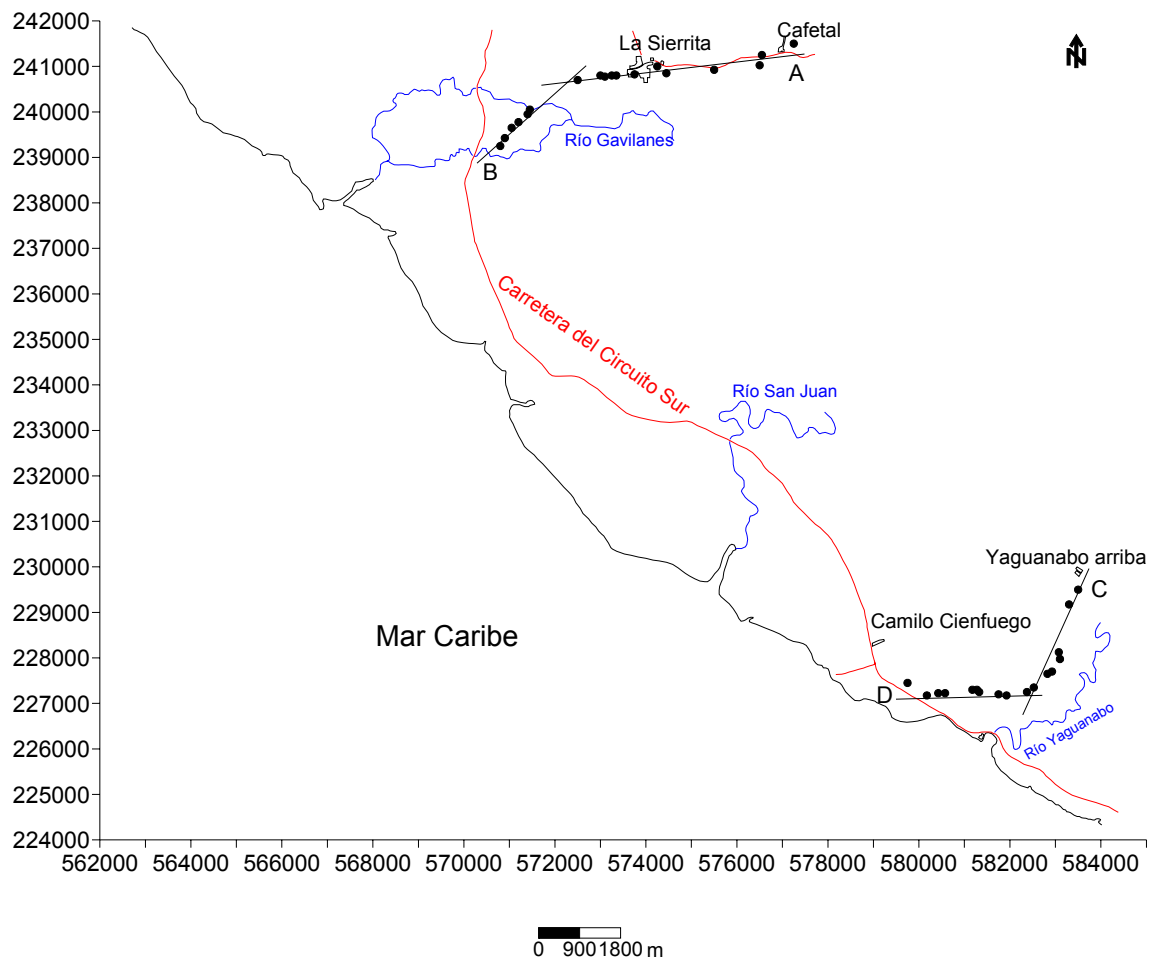


Figura 1.1. Mapa de ubicación del área de estudio en la cúpula Trinidad, Escambray. (Según Millán, G. 1997 b)

Mapa de ubicación de los perfiles estudiados



Leyenda





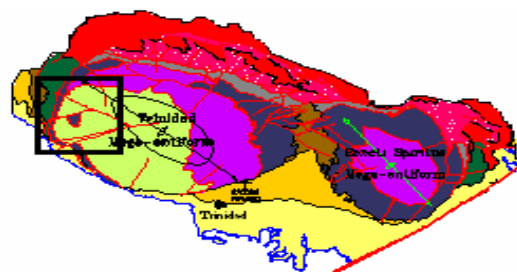
-  Línea de costa
-  Puntos de afloramientos
-  Carreteras
-  Ríos
- AB - Perfil Cafetal Gavilanes
- CD - Perfil Yaguanabo arriba Playa Yaguanabo

Figura 1.2 Mapa de ubicación (microlocalización) de los perfiles en el área de trabajo.

CAPÍTULO II “METODOLOGÍA DE TRABAJO”

- 2.1 Revisión de literatura
- 2.2 Trabajo de campo
- 2.3 Trabajo de laboratorio
 - 2.3.1 Microscopio de polarización
 - 2.3.2 Difracción de rayos X



Para lograr los objetivos de este trabajo se siguió una metodología específica que comprende el análisis detallado de las rocas del área y el papel de los minerales durante las deformaciones que afectan el macizo. Esta metodología puede servir de guía orientativa cuando se desee realizar análisis macro y microtectónico de minerales en función de la tectónica de un área. Los pasos establecidos pueden observarse en la figura 2.1.

2.1 Revisión de literatura

Para el desarrollo del trabajo se han empleado varios textos como son folletos, libros, documentos, mapas, los cuales han servido de base para encausar nuestros objetivos. La consulta de bibliográfica se desarrolló durante la trayectoria del trabajo.

2.2 Trabajo de campo

El trabajo de campo consistió en la toma de muestras orientadas, descripción de 34 afloramientos entre los perfiles Cafetal-Gavilanes y Yaguanabo arriba-Playa Yaguanabo, así como su localización geográfica en mapas topográficos y geológicos preexistentes a una escala de 1:25000 con el fin de confeccionar los perfiles y mapas geológicos a esa misma escala. También comprendió el análisis de las deformaciones in situ y la superposición de eventos en el tiempo.

2.3 Trabajos de laboratorio

El corte y la preparación de las muestras orientadas fueron realizados en la Universidad "Ernst Morritz", Greifswald, Alemania. Las muestras fueron cortadas en dos direcciones principales una paralela a la esquistosidad y otra

perpendicular a ésta, con un espesor de 30 μ , para posteriormente ser analizadas en el microscopio petrográfico.

Microscopio de luz polarizada

Los trabajos se realizaron en el laboratorio de petrología de la Universidad "Hermanos Saíz " de Pinar del Río, Cuba. Para los análisis se utilizó un Microscopio de Polarización Estándar "Carl Zeiss" con un ocular de 10x y distintos objetivos 2.5x; 3.2x; 10x. De la observación de las secciones delgadas se extrajo información acerca de las diferentes fases de deformación minerales, fábrica, relación entre las texturas, indicando cinemática en zonas de shear, etc. Estas observaciones microscópicas sirven además para elegir en cuales muestras se realizará posteriormente Microsonda Electrónica.

2.3.1 Difracción de rayos X

Los rayos X son una onda electromagnética con una longitud de onda del orden de los 10^{-9} nm. Se utiliza para la *identificación de minerales y fases minerales*. Se basa en: un haz de electrones en un tubo de descarga incidiendo en el vidrio del mismo, el cual produce una radiación X de pequeña intensidad que provoca la fluorescencia de cualquier cuerpo mineral situado en las proximidades. La difracción ocurre cuando se cumple la ley de Bragg, al producirse una interferencia entre los rayos X y un obstáculo, en este caso la muestra. Los ángulos de incidencia y reflexión tienen el mismo valor.

Los análisis fueron realizados en la Universidad "Ernst Morritz", Greifswald, Alemania. Para la preparación de las muestras estas fueron trituradas utilizándose sólo un gramo de muestra. Esta técnica fue utilizada para la determinación de óxidos totales, elementos mayores, menores y trazas en roca total (WR).

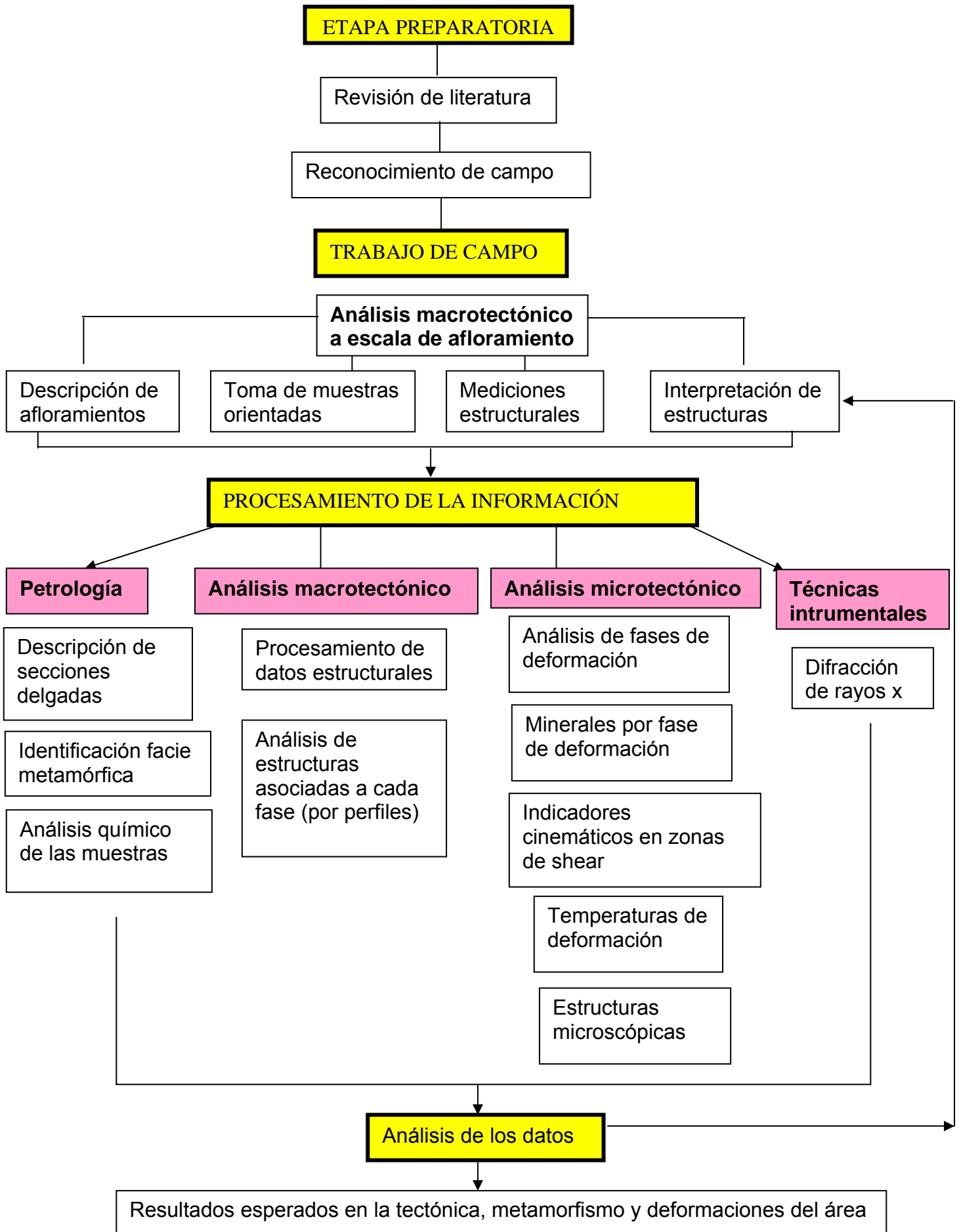


Figura 2.1. Metodología utilizada en la tesis

ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

El área del Escambray ha sido estudiada desde principios de la década de 1900 por muchos geólogos de Cuba y el mundo, dirigidos hacia numerosos problemas de la estructura, tectónica y metamorfismo de la zona.

Los primeros trabajos se reportan a partir del 1937 (Thiadens, A, 1937, Hill, 1959) basados principalmente en la estratigrafía y litología y sin tomar mucho en cuenta las deformaciones y estructuras relacionadas, inclusive el macizo se concibió como un área de una estructura geológica simple.

Mas tarde Bolotin et al publicaron en el año 1970, una generalización de la geología con los escasos datos que existían pero de una pequeña área, el resto del macizo era prácticamente desconocido.

Muchos geólogos discutieron y estudiaron el problema de **las edades** de las secuencias primarias del macizo antes del metamorfismo y las ubicaron en el paleozoico (Allende, 1928; Rigassi-Studer, 1961; Weyl, 1956; Pusharoswsky, 1966; Meyerhoff, 1967; Hatten, 1967; Tijomirov, 1967; Khudoley and Meyerhoff, 1971). Otro grupo estableció las similitudes que existían entre el Escambray y las secuencias metaterrigenas de la Fm San Cayetano, en la cordillera de Guaniguanico, Pinar del Río y consideraron su edad entre Jurásico y Cretácico (Butterlin, 1956; Nuñez Jimenez et al, 1962; Judoley et al, 1963), Furrázola Bermúdez et al, 1964; Khudoley, 1967; Khudoley and Meyerhoff, 1971). Finalmente el hallazgo de amonites en mármoles del grupo San Juan en el centro del macizo confirmó la edad de las rocas entre el Jurásico y el Cretácico (Butterlin, 1956; Nuñez Jimenez et al, 1962; Judoley et al, 1963), Furrázola Bermúdez et al, 1964; Khudoley, 1967; Khudoley and Meyerhoff, 1971). A partir de este momento fue asumida esta edad por todos los trabajos posteriores realizados hasta el día de hoy.

El metamorfismo del Escambray es considerado en parte, de tipo glaucofanítico. El mismo muestra una relación de HP-LT. En la región del Caribe existen lugares que muestran también este tipo de metamorfismo en

secuencias parecidas al Escambray, tal es el caso del grupo Caracas en la cordillera de la costa, Venezuela (Millán, G ; Somin, M; 1985a).

Por los estudios de Somin y Millán en el Escambray, 1977, se destacó la presencia de tres zonas metamórficas:

Zona 1. Metamorfismo en la facie de esquistos verdes (hacia el centro de las cúpulas).

Zona 2. Metamorfismo en la parte baja de la facie anfibolítica (hacia el borde de las cúpulas).

Zona 3. Metamorfismo en la parte alta de la facie anfibolítica (hacia el borde de las cúpulas).

Otro punto de debate fue el problema de la **posición del Escambray** en la geología de Cuba y el Caribe. Algunos opinan que el macizo es parte de la zona norte del bloque de Sur América (Puscharosvky et al, 1989), otros consideran que el Escambray es parte del bloque de Yucatán junto con el macizo metamórfico de Isla de la Juventud y el terreno Guaniguanico (Iturralde Vinent, 1994), otros consideran la procedencia de Escambray como parte de la corteza del protocaribe que fue sobrecorrida hacia el sur y que producto de estos sobrecorrimientos; el macizo se encuentra ubicado actualmente bajo el arco volcánico Cretácico (Cobiella, J L; 2000).

Otro aspecto de discrepancias lo constituye la **posición del complejo anfibolítico Mabujina** rodeando al Escambray. Este complejo constituye la base del arco volcánico metamorfizado debido a las condiciones calóricas originadas durante el desarrollo del arco volcánico (Somin, M y Millán,G; 1981, Millán, G y Somin, M; 1985, Millán, G; 1997) o esta unidad constituye parte de la litosfera oceánica ahora metamorfizada (Cobiella, J,L, 2000).

La posición de las eclogitas y bloques exóticos es otro tópico oscuro en la geología del macizo. Existen 4 puntos de vista sobre su origen:

1. Fueron tectónicamente mezclados con las rocas del Escambray antes del proceso metamórfico
2. Constituyen el basamento del Escambray

3. Son rocas intrusivas que afectaron la zona metamórfica 3 antes del metamorfismo del macizo
4. Son rocas derivadas del comienzo del proceso metamórfico bajo condiciones específicas.

Estas alternativas fueron postuladas por Somin, M y Millán, G; 1981. Basado en observaciones de campo las posibilidades 1 y 2 parecen ser las más probables. Millán, G y Somin, M; 1981, 1985 a y b reportaron el hallazgo de capas de eclogitas boudinadas en las formaciones Loma la Gloria y Cobrito lo que hace pensar en un origen diferente a un transporte tectónico, sino más bien que fueron metamorizadas durante el proceso metamórfico conjuntamente con las rocas del Escambray.

Todas las investigaciones realizadas en esta área hasta hoy relacionados con el metamorfismo, litología y estructuras, están referidas a estructuras mayores y observaciones de campo (Millán, G y Somin, M; 1976, 1977). Pero trabajos detallados sobre microestructuras y su correlación con los diferentes eventos en el macizo no se han llevado a cabo en la cúpula Trinidad. En trabajos de campo desarrollados por los citados autores, cuatro fases de deformación han sido identificadas, las primeras tres (F_1 , F_2 y F_3) relacionadas principalmente al metamorfismo y la última F_4 aún está incierta. Eventos postmetamórficos se refieren a fallas verticales de sobrecorrimeientos (Somin, M. y Millán, G.; 1977). Sin embargo no hay trabajos de detalle sobre la sucesión cronológica de los eventos pre, sin y postmetamórficos y su edad.

Si observamos los problemas en el macizo durante las investigaciones realizadas, es obvio la significación de un estudio microestructural en el área. El mismo contribuiría sin lugar a dudas a ofrecer datos sobre las diferentes deformaciones en el área, la sucesión de los eventos en el tiempo y su relación con las diferentes etapas de la tectónica y metamorfismo del macizo, un punto clave para esclarecer aspectos todavía dudosos en la geología del Escambray.

3.2 GEOLOGIA DE LA REGIÓN

El Macizo Escambray constituye el terreno metamórfico más grande de los tres que existen en Cuba, ubicado en la zona sur de Cuba Central, es el más elevado de todas las unidades geológicas de la región (Figura 3.1). Caracterizado por un metamorfismo regional invertido de baja relación T/P, yace tectónicamente bajo el complejo anfibolítico Mabujina. Está constituido por dos antiformas: las cúpulas de Trinidad y de Santi Espíritus separadas por una cobertura sedimentaria paleogénica. Se compone principalmente por rocas metasedimentarias siliciclásticas; mármoles; rocas metabásicas y serpentinitas de edades comprendidas entre Jurásico-Cretácico (Figura 3.2). El Macizo está fuertemente deformado y sus rocas se disponen en posición invertida con relación a la posición espacial de las cúpulas, respecto al metamorfismo. Las unidades más metamorizadas se encuentran en los bordes mientras que las de menor grado de metamorfismo aparecen en el centro (Blein et al, 2002), constituyendo estructuras de nappes, donde rocas de alta presión (Escambray) contactan tectónicamente con anfibolitas de bajas presiones que a su vez están intruidas por cuerpos granitoides (Mabujina) (Grafe, F; 2001).

Debido a procesos tectónicos y exógenos de erosión-denudación el Escambray fue levantándose desde el Paleoceno el cual continua en su proceso de exhumación hasta nuestros días (Grafe, F; 2001).

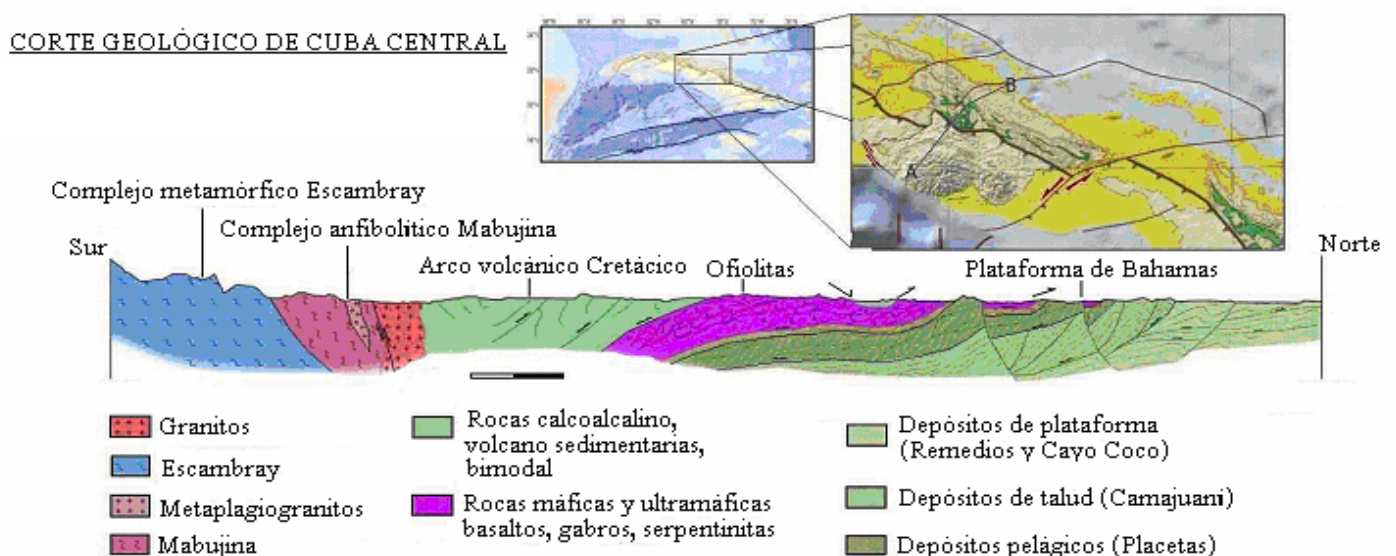


Figura 3.1 Corte geológico a través de Cuba Central, exponiendo todas las unidades geológicas de la región y las relaciones entre ellas. Según Sommer, M y Despaigne, A, 2003.

3.2.1 Estratigrafía

El macizo Escambray está caracterizado por un complejo rocoso primario que parece abarcar un intervalo estratigráfico bastante amplio desde el Jurásico inferior hasta el cretácico superior pre-Campaniano. Dentro del mismo se separan las siguientes unidades (formaciones): Loma la Gloria, Cobrito, La Chispa, los esquistos verdes Felicidad del J1-oxfordiano medio; las formaciones comprendidas entre el Oxfordiano medio-K1, Narcizo, Sauco, Mayarí y Collantes; también se encuentran las formaciones, Charco Azul, Loma Quivicán, La Sabina, Yaguanabo y el Tambor con edad K1-K2. (Figura 3.3).

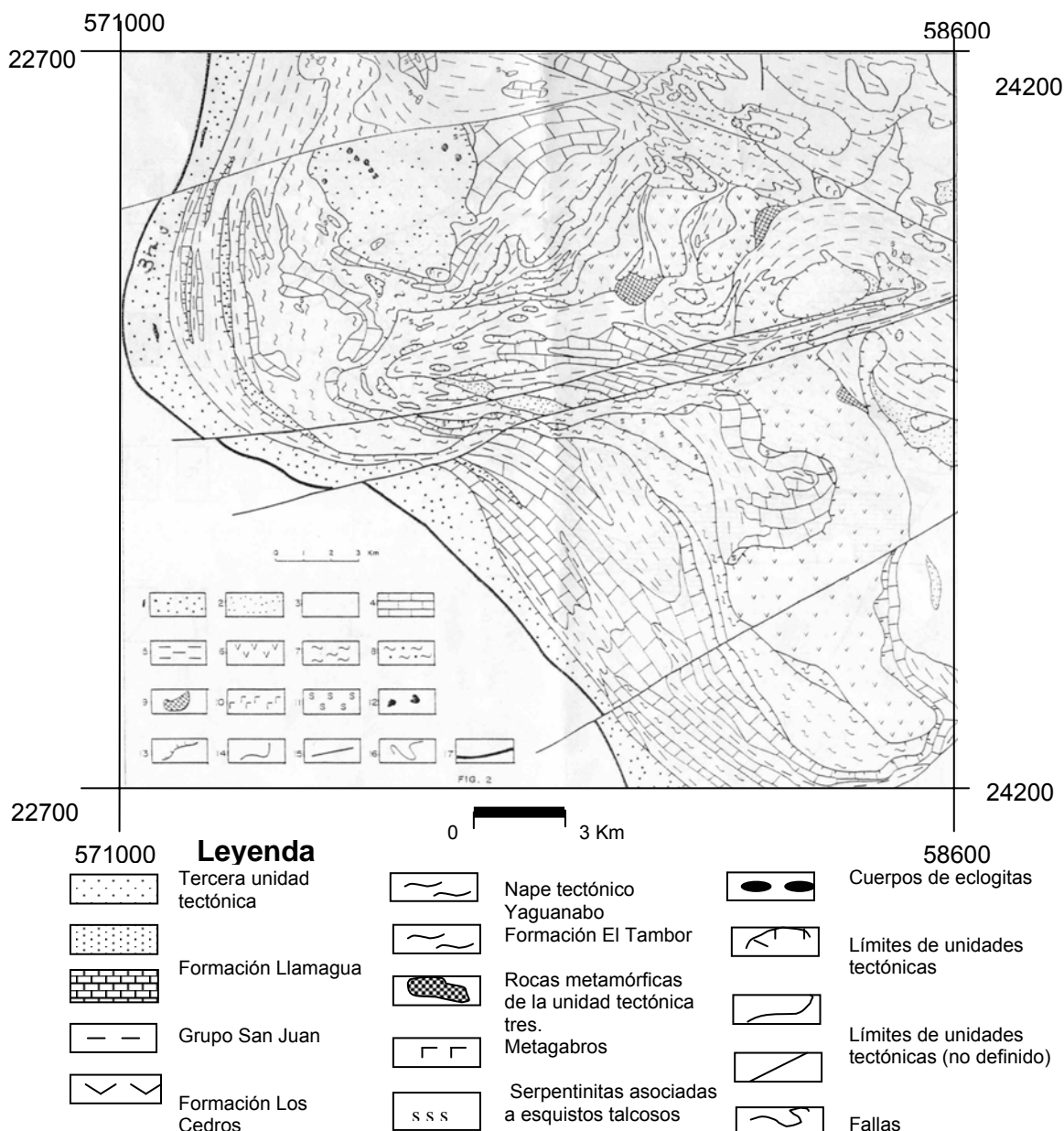


Figura 3.2. Mapa geológico del borde SW de la cúpula Trinidad (Según Millán, G y Álvarez Sánchez, H; 1991).

Columna geológica generalizada de las rocas del Escambray

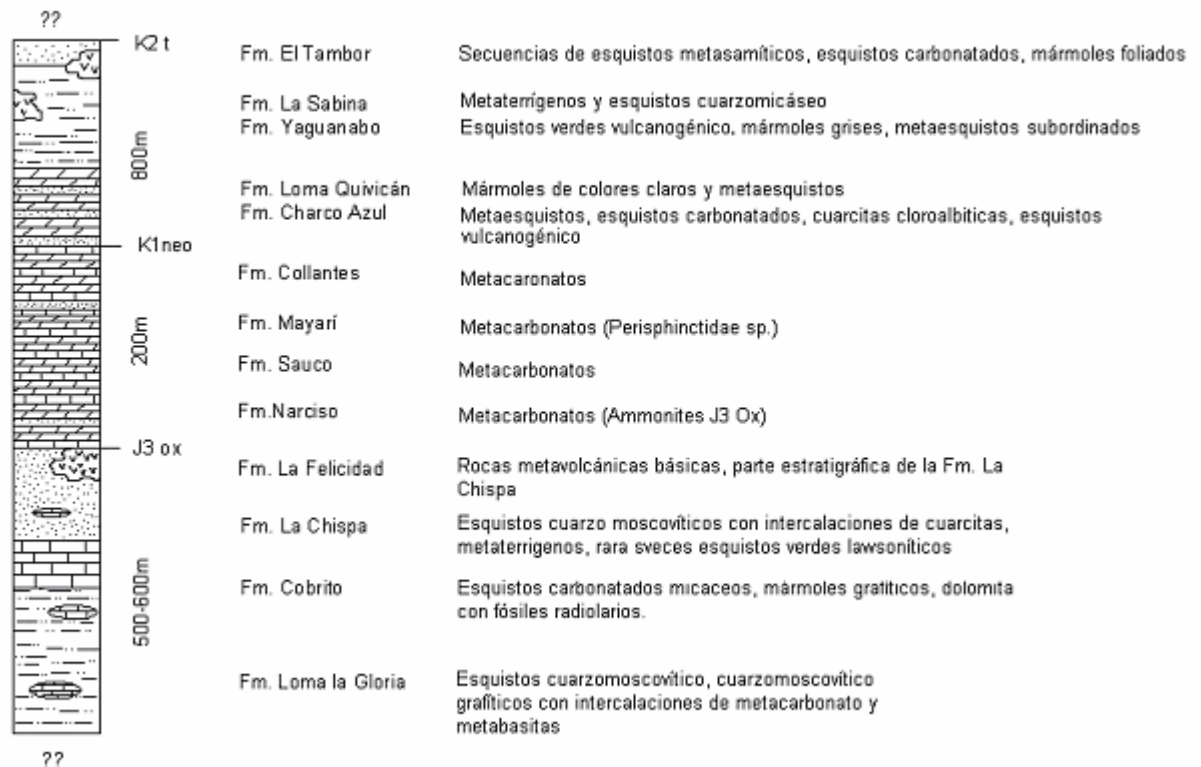


Figura 3.3 Columna propuesta por K.P. Stanek et al, 2006.

- Formación Loma la Gloria

Litología: Metareniscas cuarcíferas recrystalizadas con delgadas intercalaciones de esquistos metapelíticos (moscovítico con grafito). Intercalaciones de mármol foliado gris oscuro, esquistos cristalino granate glaucofánico, apoeclogitas, cuarzo anfibolita granatíferos y de metasilicita granatífera.

Composición mineralógica de las rocas metaterrígenas: circón detrítico, glaucofana, clinopiroxeno, granate, raramente cianita, albita, moscovita, cuarzo, carbonato de calcio.

Contactos: Estratigráficos con la Fm. Cobrito

Edad: Jurásico Inferior. (Millán, G y Somin, M; 1985 a y b; Millán, G y Álvarez Sánchez, H; 1991).

- Formación Cobrito

Litología: Esquistos calcito moscovíticos en muchas ocasiones graníticos con intercalaciones de mármoles gris foliado y algunos cuerpos o capas de esquistos verdes y rocas granato-anfibolíticas. También existen esquistos metaterrígenos formando intercalaciones, y cuarcita metasilicíticas bandeadas y esquistos metasilicíticos arcillosos.

Composición mineralógica de las rocas metacarbonatadas: carbonato de calcio, moscovita, grafito, cuarzo, plagioclasas ácidas, a veces granate y anfíboles (tremolita), manganeso.

Contactos: Estratigráfico con Loma la Gloria

Edad: Jurásico inferior-medio. (Millán, G y Somin, M; 1985 a y b; Millán, G y Álvarez Sánchez, H; 1991).

- Formación La Chispa

Litología: Esquistos metaterrígenos con intercalaciones de metasilicitas, estratos o budinas de una caliza cristalina gris oscura y algunas capas de esquistos verdes:

Metaterrígenos: Esquistos metapelítico sericito-cuarcíferos y sericito cloríticos (en menor grado). Además de Metareniscas cuarcíferas.

Metasilicitas: cuarcitas puras, metasilicitas clinozoisíticas o granatíferas

Esquistos verdes: Metavulcanógenos básicos.

Composición mineralógica: clinozoisita, granate, grafito, albita, moscovita, cuarzo y calcita

Contactos: Estratigráfico con la Fm. Cobrito y tectónico con el Grupo San Juan.

Edad: Jurásico medio Oxfordiano. (Millán, G y Somin, M; 1985 a y b; Millán, G y Álvarez Sánchez, H; 1991)

- Formación Felicidad

Litología: Son cuerpos de ortoesquistos verdes de origen vulcanógeno básico que parecen metatufogénicos, metatobas y metaglomerados volcánicos.

En ocasiones contiene intercalaciones de paquetes de mármoles grises a negro, capas de metasilicitas de esquistos metaterrígenos y de esquistos calcáreos.

Composición mineralógica de los ortoesquistos: albita, actinolita, clorita, clinozoisita, esfena accesoria. A menudo lawsonita transformada en clinozoisita y clorita. Raramente jadeita y restos de clinopiroxenos magmáticos

Contactos Se encuentra como megacuerpos dentro de la formación La Chispa contactando estratigráficamente con él. También contacta con Grupo San Juan estratigráficamente.

Edad: Jurásico medio-superior. (Millán, G y Somin, M; 1985 a y b; Millán, G y Álvarez Sánchez, H; 1991).

- Grupo San Juan

Constituido por diferentes unidades carbonatadas partiendo desde la base que formaron parte de una sucesión estratigráficas primaria continua. Lo constituyen las formaciones *Narciso*, *Sauco*, *Mayarí* y *Collantes*, la composición litológica de dichas formaciones fundamentalmente es de metacarbonatos. Ocupa un intervalo estratigráfico que abarca desde Oxfordiano medio-parte baja del Cretácico inferior.

(Millán, G y Somin, M; 1985 a y b; Millán, G y Álvarez Sánchez, H; 1991).

- Formación Charco Azul

Litología: Mármoles negros moscovíticos con intercalaciones de mármoles grises con tonos rosados a cremosos. También aparecen esquistos (calcito-Q-micáceo, micáceos silicíticos, y silícico-micáceo) derivados de sedimentos silicios arcillosos-calcáreos. En la formación también aparecen metasilicitas.

Composición mineralógica de las rocas metacarbonatadas: calcita, cuarzo, moscovita.

Contactos: Estratigráfico con Grupo San Juan y Fm. Collantes, también contacta con Fm. Yaguanabo que le sobreyace y Fm. La Sabina.

Edad: Cretácico inferior. (Millán, G y Somin, M; 1985 a y b; Millán, G y Álvarez Sánchez, H; 1991).

- Formación Quivicán

Litología: Caliza cristalina de tonos claros (blanquecino, grisáceo, verdoso, rosado, violeta) sin grafito, laminados y foliados, en ocasiones con capillas de metapedernales. Muchas veces intercalaciones de esquistos verdes calcáreos con aspectos flyschoidico que contiene caliza cristalina clara. También existen metabrechas intraformacionales.

Composición mineralógica de las rocas metacarbonatadas: calcita, cuarzo

Contactos: Estratigráfico con la Fm. La Sabina, también pueden producirse contactos tectónicos con esta Formación. Ocupa posiciones estratigráficas suprayacente al Grupo San Juan e infrayacente a la Fm. La Sabina.

Edad: Cretácico inferior. (Millán, G y Somin, M; 1985 a y b; Millán, G y Álvarez Sánchez, H; 1991).

- Formación Yaguanabo

Litología: Esquistos verdes de carácter metavulcanógeno básico (metatobas), su protolito parece tratar esencialmente de rocas tufogénicas y lavas basálticas. Existen también capas delgadas de intercalaciones de mármol de color gris claro-oscuro. Estratos intercalados de metasilicitas.

Composición mineralógica de los esquistos verdes: albita, actinolita, clorita, clinozoisita, o epidota, esfena y moscovita.

Contactos: Estratigráfico con la Fm. Charco Azul y Tectónico con Fm. El Tambor.

Edad: Cretácico medio. (Millán, G y Somin, M; 1985 a y b; Millán, G y Álvarez Sánchez, H; 1991).

- Formación La Sabina

Litología: Cuarcitas metasilicíticas bandeadas a veces magnesíferas, esquistos metaterrígenos (metareniscas), con capillas aisladas de mármoles grises oscuros.

Composición mineralógica de las rocas metaterrígenas: albita, sericita, clorita, circón detrítico, hidróxidos de Mg, actinolita, clinozoisita y cuarzo.

Composición mineralógica de las rocas carbonatadas: calcita, mica blanca.

Contactos: Estratigráfico y tectónico con Fm. Loma Quivicán que la sobreyace, también contacta con Fm. Collantes del Grupo San Juan.

Edad: Aptiano-Turoniano. (Millán G; y Somin,M; 1985 a y b; Millán, G y Álvarez Sánchez, H; 1991) .

- Formación El Tambor

Litología: Composición terrígeno carbonática. Esquistos metapsamítico, pueden ser calcáreo o no calcáreo con intercalaciones de esquistos metapelíticos, de mármoles foliados y metasilicitas.

Composición mineralógica de la fracción calcárea: calcita, albita, clinozoisita, clorita, mica blanca, esfena, actinolita, hidrobiotita.

Contactos: Estratigráfico sobre Fm. Yaguanabo, también se pueden producir contactos tectónicos.

Edad: Cretácico superior. (Millán, G y Somin,M; 1985 a y b; Millán, G y Álvarez Sánchez, H 1991).

- Formación Yayabo

Litología: Anfibolitas esquistosas a veces con intercalaciones de cuarcitas.

Composición mineralógica de las anfibolitas: hornblenda, albita, moscovita, clinozoisita, granate, cuarzo.

Contactos: Tectónico con formación Loma la Gloria.

Edad: Más vieja que 85m.a. (Millán G, y Somin, M; 1985 a y b; Millán, G y Álvarez Sánchez, H; 1991).

3.2.1 Tectónica

La estructura interna del macizo se caracteriza por ser muy complicada, lo cual se refleja en la propia distribución de sus diferentes unidades litoestratigráficas. Estas particularidades obedecen a: Las dislocaciones tectónicas premetamórficas, las diferentes etapas sucesivas y superpuestas de plegamientos sin metamórficas, y una cupulogénesis postmetamórfica asociada con plegamientos. (Millán, G y Somin, M; 1985 a).

Una tectónica premetamórfica de mantos y escamas, dislocó intensamente las secuencias primarias del Escambray, por tal razón una parte de los límites entre las unidades litoestratigráficas eran de carácter tectónico antes del proceso metamórfico que afectó al macizo. (Millán, G y Somin,M; 1985 a).

Las deformaciones plicativas sinmetamórficas que afectaron el macizo, están dadas por cuatro etapas de plegamientos superpuestos una sobre la otra. La fase segunda (F2) y tercera (F3) se caracterizan por pliegues visibles en los afloramientos. La fase dos presenta tipos de pliegues similares, agudos a isoclinales. La fase tres presenta tipos de pliegues concéntricos bastante abiertos, similares agudos a isoclinales. La superposición de estas fases ocasionó figuras de interferencias complejas. Las sucesiones de plegamientos sinmetamórficos a diferente escala deben haber borrado estructuras lineales que existían previamente. (Millán;G y Somin,M; 1985 a).

La cupulogénesis constituyó un proceso tardío, posterior al metamorfismo y plegamientos asociados que se inició en el Maastrichtiano y se prologa hasta el presente, esto ocasionó la concentricidad de la zonación del metamorfismo invertido que caracteriza a ambas cúpulas, de la litología y de los elementos estructurales principalmente en la parte exterior de las cúpulas. Durante la etapa postmetamórfica ocurrieron numerosas fallas de diferentes sistemas y cabalgamientos. (Millán, G y Somin,M; 1985 a).

En el caso de la cúpula de Trinidad la estructura interna es más complicada, presentando mayor grado de desmembramiento tectónico. Esta fue más levantada y erodada, de ahí que posee un área mayor que la de Sancti Spíritus. (Millán y Somin, 1985 a).

3.2.2.1 Modelos geotectónicos del Caribe

Los siguientes modelos geotectónicos resumen las diferentes posiciones de un grupo de autores sobre el origen del Escambray (en Draper, G y Barros ,A ; 1994). En la figura 3.4 se asume la colisión del frente norte del arco de islas (zona Zaza) con el margen continental pasivo cubano y en la figura 3.5 se asume una colisión del terreno Escambray con el frente sur del arco de isla lo que siguió a un emplazamiento de esta zona (parte posterior del arco con Escambray) con el margen continental pasivo de las Bahamas. Como puede observarse la zona de subducción donde se insertó Escambray tiene dos versiones: Una al norte (figura 3.4) y otra al sur (figura 3.5).

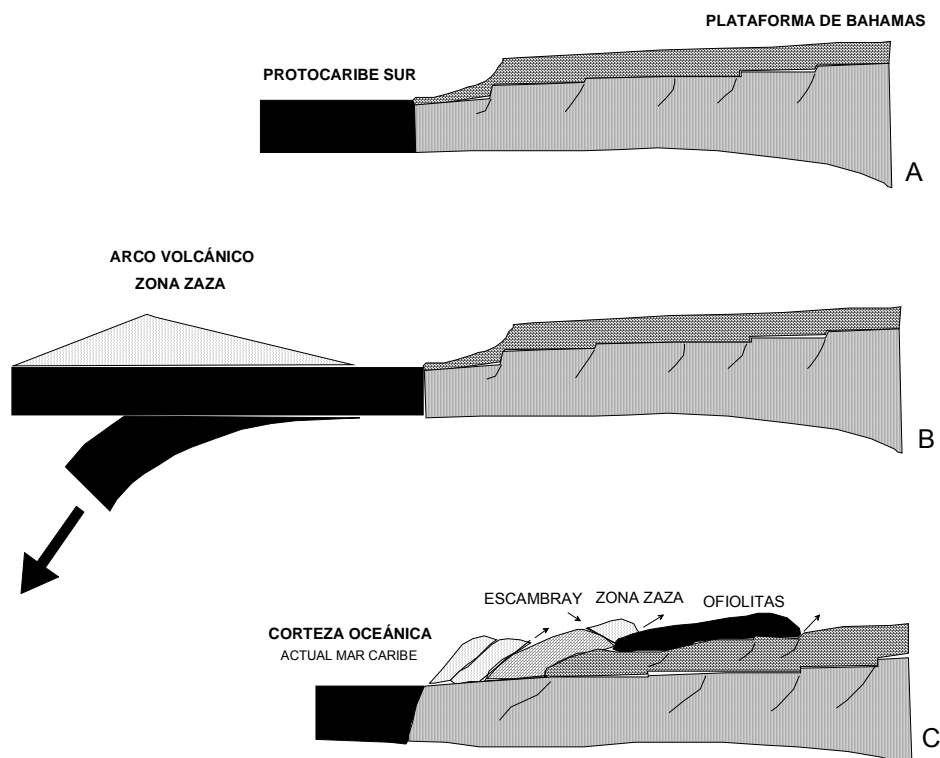


Figura 3.4 Modelo tectónico de la colisión del arco de islas (zona Zaza) con el margen continental pasivo cubano, asumiendo una zona de subducción al norte. **A** El margen continental pasivo cubano en el Jurásico tardío-Cretácico temprano. **B** Acercamiento del arco de islas (Cretácico medio). **C** Configuración aproximada después de la colisión (Cretácico tardío-Terciario temprano) (Según Draper y Barros, 1994).

En el modelo, la zona Zaza es considerada totalmente aloctona y sobrecorrida sobre el margen pasivo; el cinturón ofiolítico cubano interpretado como el basamento oceánico del arco. La subducción cesa cuando el Escambray (terreno de alta densidad) entra en la zona y se bloquea el proceso, comenzando la exhumación del macizo.

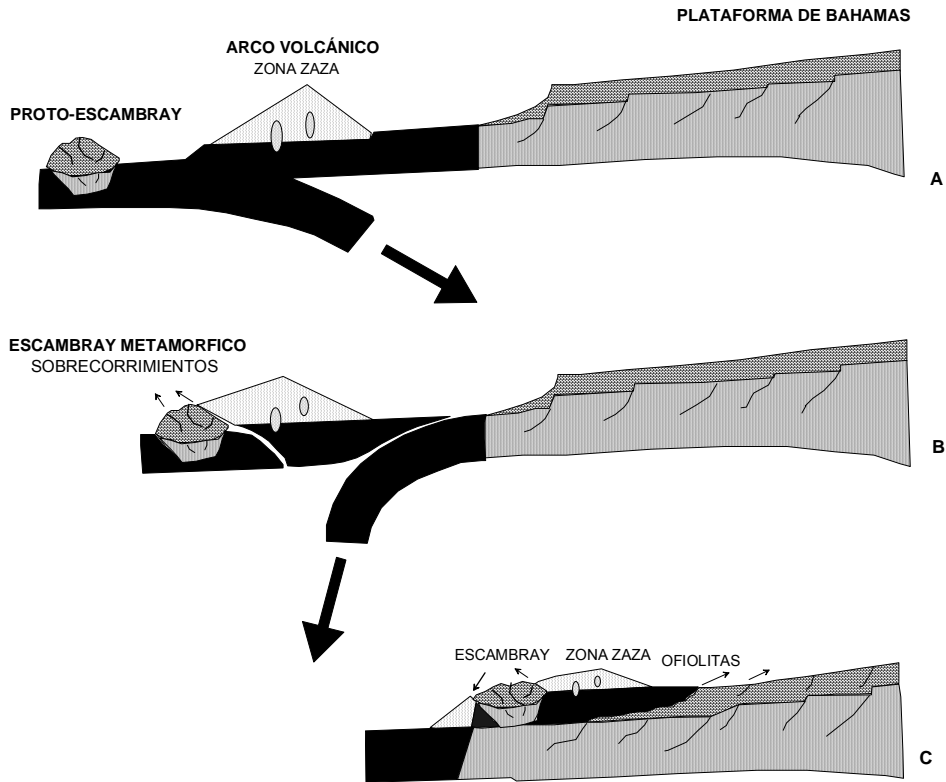


Figura 3.5 Modelo tectónico de la colisión del terreno Escambray con el arco de islas, asumiendo una zona de subducción al sur, seguido por un emplazamiento de la parte trasera del arco sobre el margen pasivo cubano. **A** acercamiento de los terrenos del Escambray (mitad del Cretácico). **B** Colisión e intento de subducción del Escambray con el arco Zaza (Campaniano), causando metamorfismo de alta presión. La colisión pudo haber bloqueado la zona de subducción e iniciado un pequeño período de sobrecorrimientos de la cuenca antepais del arco resultando **C** Emplazamiento del arco y las ofiolitas en el margen pasivo (Según Draper y Barros, 1994).

En este modelo el cinturón ofiolítico cubano es interpretado como parte de la cuenca antepais. Cuando toda la cuenca ha sido subducida, el arco colisiona con el margen continental (Escambray) y lo sobrecorre totalmente. Aquí la zona Zaza es considerada totalmente alóctona.

3.2.3 Metamorfismo

El macizo sufrió un metamorfismo regional invertido de baja relación T/P y metasomatismo sódico. Es muy probable que el metamorfismo esté vinculado directamente con un infracorrimiento limitado del borde septentrional de la placa Caribe, luego el arco volcánico Cretácico experimentó una obducción o sobrecorrimiento hacia el norte. (Millán, G y Somin, M; 1985 a y b).

Las rocas del macizo se pueden dividir en tres Unidades estructurales bien definidas, las cuales disminuyen su grado metamórfico a medida que alcanzamos el centro de la antiforma: La Unidad estructural más baja compuesta por rocas en la facie de los esquistos verdes de composición pelítica carbonatada; la Unidad II secuencias metasedimentarias que incluyen budinas de composición básica y ultra básica en la facie de los esquistos azules-lawsoníticos; la Unidad III formada por eclogitas preservadas dentro de una matriz serpentinitica (Schneider, J et al; 2004). (Figura 1.1).

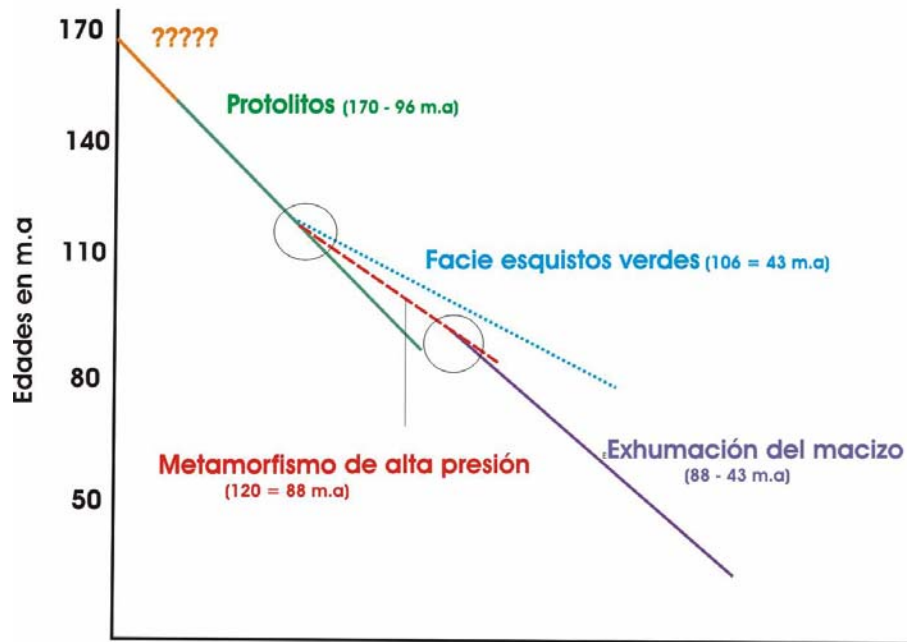
El metamorfismo de alta presión fue generado en un régimen de subducción relacionado con una zona de arco volcánico. La fase de esquistos verdes es mucho más joven, ocurrió en el Cretácico temprano durante la colisión de las rocas del Escambray y el arco volcánico Cretácico. (Millán, G; 1997).

3.2.4 Edad del metamorfismo

Por dataciones geocronológicas de las rocas del Escambray se ha podido determinar la edad absoluta de los procesos metamórficos que han ocurrido en esta área. El evento más viejo tiene aproximadamente 100-106 ma., obtenido por circones metamórficos. (Hatten et al, 1988). También se han utilizado método de K/Ar en mica blanca proveniente de muestras tomadas dentro del macizo arrojando edades comprendidas entre 68-85 ma. (Somin y Millan, 1985, Hatten et al, 1988, Iturralde Vinent, 1996). En muestras de hornblenda en eclogitas datadas se obtuvieron de 90 ma. (Renne in Draper y Nagle, 1981);

aunque es más conveniente asumir la edad del metamorfismo de facie de esquistos verdes de 85 ma. (Millán,G; 1997).

Según datos compilados de varios autores se elaboró un gráfico geocronológico donde se relacionan los eventos ocurridos en el macizo (Figura 3.6) En el gráfico se muestra un rango de edades entre el Jurásico superior-Cretácico superior cenomaniano para los protolitos de las secuencias metamorfizadas del Escambray, y al mismo tiempo el desarrollo de metamorfismo de alta presión. Esta coincidencia no es posible si tenemos en cuenta que primero debe formarse el protolito y después metamorfizarse. Se evidencia además una convergencia en el tiempo de la exhumación del macizo y el metamorfismo de alta presión, lo que puede ser válido, debido a que si las secuencias fueron metamorfizadas en una zona de subducción "madura" (período desarrollado de la subducción) puede producirse el levantamiento de las secuencias que han sido metamorfizadas en alta presión, este fenómeno posee un solape en cuanto a la evolución de los dos procesos. Estos intervalos de coincidencia y las dudas referentes a ellos muestran la necesidad de seguir estudiando este aspecto en la zona, en vistas a esclarecer las edades en las que ocurrieron los diferentes eventos.



LEYENDA

????? Protolitos (edades de interpretación dudosa)

Protolitos (Jurásico superior bajociano - Cretácico superior cenomaniano)

Metamorfismo de alta presión (Cretácico inferior hauteriviano - Cretácico superior cenomaniano)

Facie esquistos verdes (Cretácico inferior albiano - Cretácico superior campaniano)

Exhumación del macizo (Cretácico superior cenomaniano - Eoceno inferior luteciano)

○ Intervalo de coincidencia de varios eventos en el tiempo

Figura 3.6. Edades de los procesos geológicos ocurridos en el Escambray según varios autores.

***CAPITULO IV "GEOLOGÍA DEL ÁREA DE TRABAJO
ANÁLISIS MACROTECTÓNICO "***

4.1 Perfil Cafetal-Gavilanes

4.1.1 Descripción geológica del perfil por afloramientos

4.1.2 Estructuras plicativas

4.1.3 Estructuras disyuntivas

4.1.5 Proyección estereográfica de los elementos estructurales

4.2 Perfil Yaguanabo arriba-Playa Yaguanabo

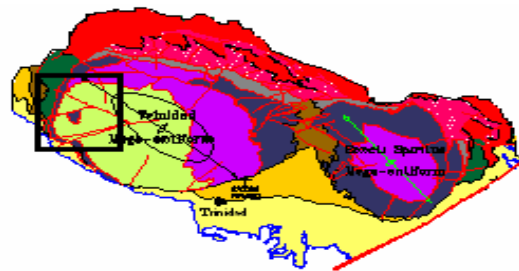
4.2.1 Descripción geológica del perfil por afloramientos

4.2.2 Estructuras plicativas

4.2.3 Estructuras disyuntivas

4.2.5 Proyección estereográfica de los elementos estructurales

4.3 Análisis de los datos



Según ParK, R, G; 1989, **foliación** es un set de estructuras planares producidas en la roca producto de deformaciones. Este constituye un término general que cubre diferentes tipos de estructuras producidas de diferente modo. Algunas veces , la capa (So) es obliterada por deformaciones y la primera superficie planar visible es de carácter tectónico o el origen de la primera superficie planar puede ser indeterminada.

Para el análisis de este capítulo se ha determinado que:

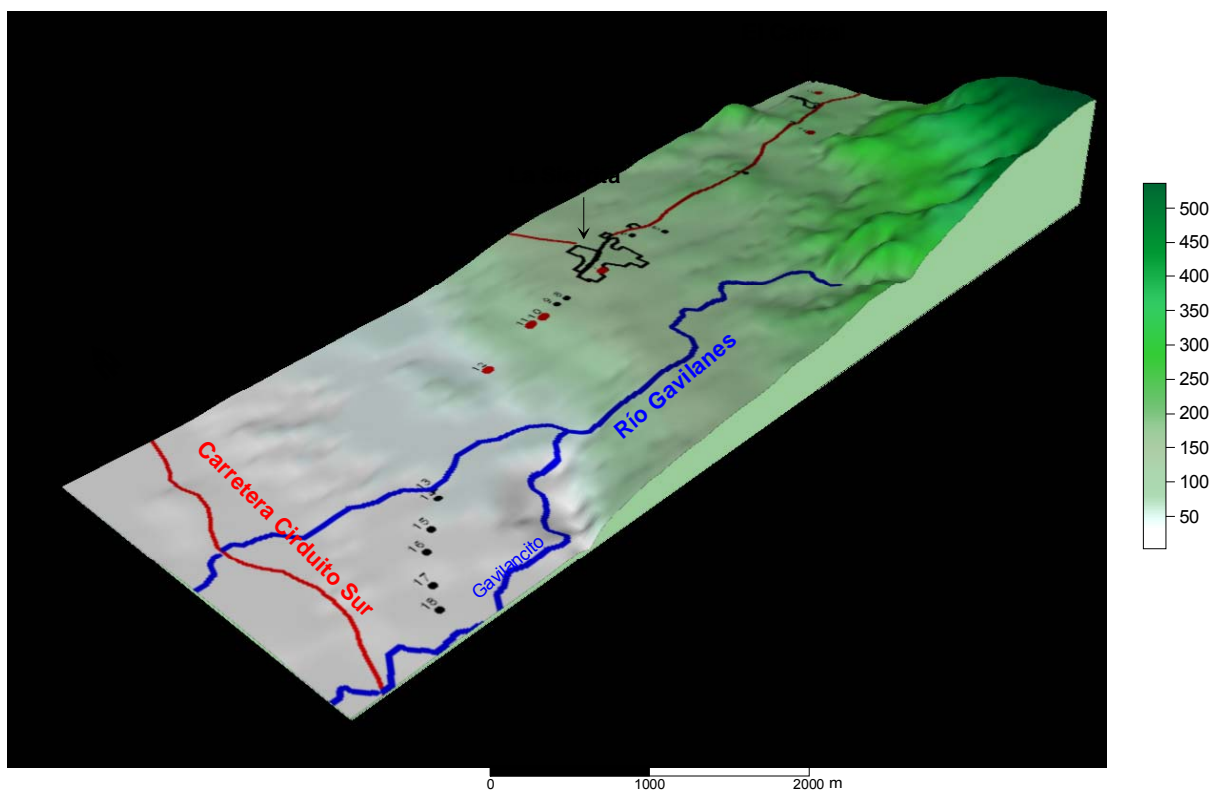
- Cuando se hace referencia a S_0 se considera la primera superficie mapeada, o sea la yacencia de la roca sin deformar.
- Cuando se refiere a S_1 se considera la primera superficie mapeada producto de la acción de deformaciones en la roca.
- Y así sucesivamente las demás estructuras planares se denotan S_2 , S_3 , etc.

El tipo de estructura planar que se forma depende de factores como: temperatura, presión confinante, esfuerzos diferenciales y composición de la roca (Mc Clay, K; 1987).

4.1 Perfil Cafetal-Gavilanes

El perfil se encuentra localizado entre los puntos coordenados (577250, 241500) y (570800, 239250), siguiendo la carretera que pasa por la Sierrita hacia Topes de Collantes y el camino que lo continúa hacia Gavilanes (Figura 4.1). Está caracterizado por presentar rocas carbonatadas, metaterrígenas y metavulcanógenas. Se realizaron observaciones en 18 puntos de afloramientos a lo largo de todo el itinerario. Las rocas están deformadas y plegadas, con una yacencia de los elementos planares casi constante al suroeste (Figura 4.2). Las rocas de este perfil pertenecen a la Fm Loma la Gloria, La Sabina y El Tambor.

Modelo digital La Sierrita



Leyenda






	Carreteras		Puntos de afloramientos		Poblados
	Ríos		Toma de muestras orientadas para secciones delgadas		

Figura 4.1. Modelo digital del itinerario Cafetal-Gavilanes con puntos de observación y puntos de muestreo para secciones delgadas orientadas.

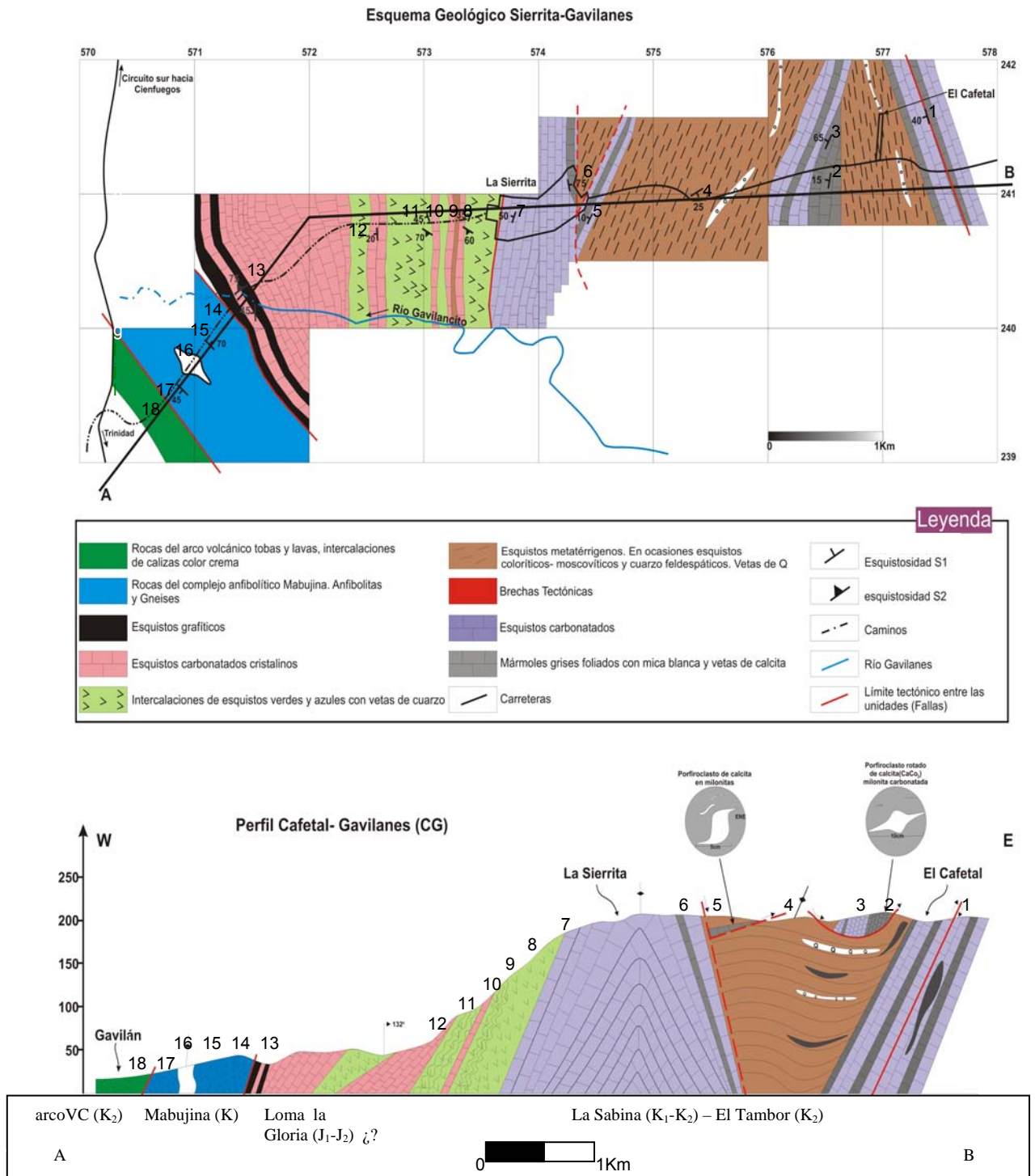


Figura 4.2. Esquema y perfil geológico Cafetal- Gavilanes. El esquema comprende los datos reales de la marcha ruta.

4.1.1 Descripción geológica del perfil por afloramientos

Los puntos de observación correspondientes a este itinerario están representados en la figura 4.1. La litología mapeada así como las foliaciones medidas se observan en la figura 4.2. El perfil no presenta un buen grado de aflorabilidad, los afloramientos no son abundantes y los escarpes poseen una vegetación exuberante, además de tener un grado de meteorización muy intenso.

Punto 1

Coordenadas: 577250, 241500

Descripción: En este punto predominan los esquistos de diferentes tipos. Sólo se observa una esquistosidad principal en las secuencias observadas S_1 $260^\circ/40^\circ$. Las intercalaciones de esquistos cloríticos son muy finas (hasta 15cm), se observa muy bien la clorita en finas hojas. En el corte se observan esquistos metapelíticos moscovíticos, esquistos carbonatados (Sección delgada CG-1, apéndice 1) que laminan el corte e intercalaciones de mármoles negros. Además se pueden observar estructuras disyuntivas como fallas inversas (PF $266^\circ/40^\circ$; L $064^\circ/35^\circ$) cuyas lineaciones dadas por escamas de calcita definen movimientos al este y grietas de extensión rellenas de calcita y de cizalla. En este punto se superponen generaciones de fallas, observándose estrías de falla inversa que indican movimiento este, evento más viejo que la falla normal de movimiento suroeste. Se tomaron muestras orientadas (Figura 4.1).

Punto 2

Coordenadas: 576500, 241025

Descripción: Afloramiento de mármoles grises foliados con abundante moscovita y calcita (Sección delgada CG-2, apéndice 1) en bloques grandes de hasta dos metros de espesor. Aparecen vetas de calcita paralelas al rumbo. También se observan porfiroclastos rotados de calcita en una matriz calcito moscovítica. La línea media del porfiroclasto y su cola muestra el paso adelantado de la cola (step up) indicando un movimiento hacia el norte (Figura 4.3). La superficie planar fundamental es un clivaje milonítico S_2 ($086^\circ/80^\circ$),

también se observa una esquistosidad S_1 ($274^\circ/15^\circ$) y en el plano perpendicular al buzamiento se observa una lineación mineral L_2 ($176^\circ/02^\circ$). Esta roca se clasificó como una tectonita lineal. Se tomaron muestras orientadas (Figura 4.1).

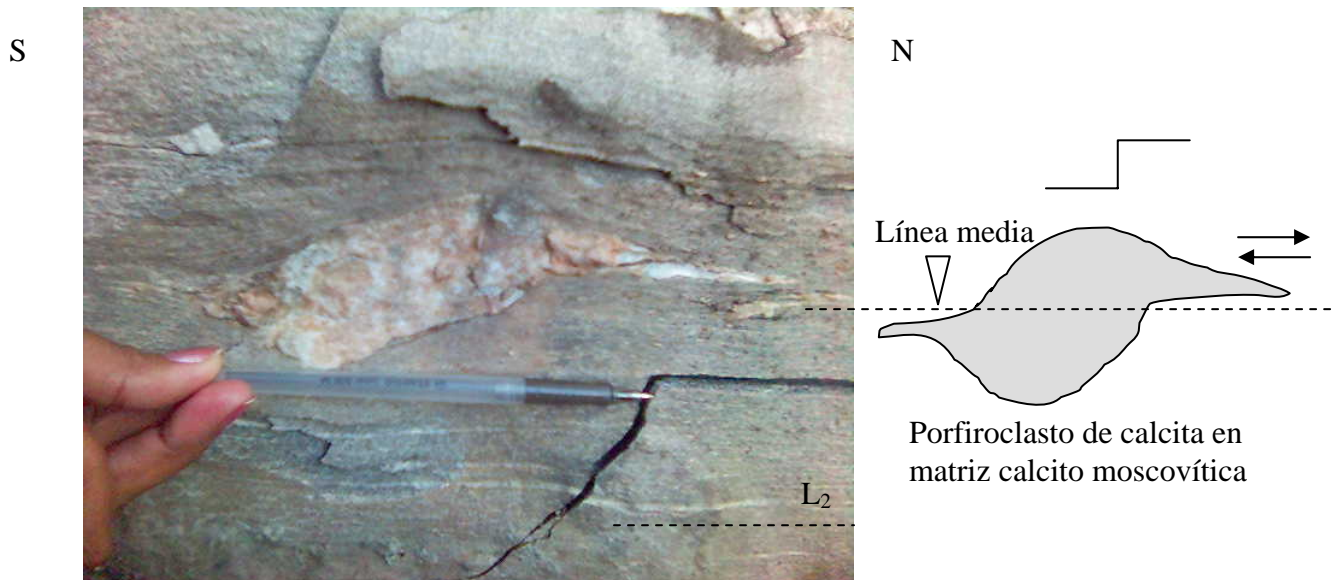


Figura 4.3. Porfiroclasto de calcita rotado que indica un movimiento al norte. Se observa una lineación mineral en el plano perpendicular al buzamiento.

Punto 3

Coordenadas: 576550, 241250

Descripción: Afloramiento de 60m de altura de mármoles, esquistos carbonatados y areniscas calcáreas. Se observa un contacto tectónico, a través de una superficie de sobrecorrimiento, entre mármoles grises a negros muy potentes con rocas muy trituradas de mármoles y esquistos carbonatados con abundantes minerales como calcita, clorita y moscovita con una esquistosidad S_1 ($232^\circ/45^\circ$). En el afloramiento también aparecen fallas normales (PF $116^\circ/40^\circ$, L $038^\circ/90^\circ$) e inversas (PF $124^\circ/75^\circ$, L $212^\circ/80^\circ$), no se puede establecer el orden de ocurrencia de ellas (Figura 4.4). En este punto también se observa la relación que existe entre la S_0 y la segunda esquistosidad (S_2). La S_0 ($076^\circ/35^\circ$) está representada por areniscas polimícticas muy calcáreas, de grano medio que aparecen plegadas y desarrollan un clivaje intenso, planar

axial que se corresponde con la dirección de S_2 . En la intersección de ambos planos (S_0 y S_2) se forma la lineación L_0^2 (Figura 4.5). Los pliegues son asimétricos cuyos planos axiales miden $232^\circ/45^\circ$ y eje de pliegue ($178^\circ/05^\circ$).

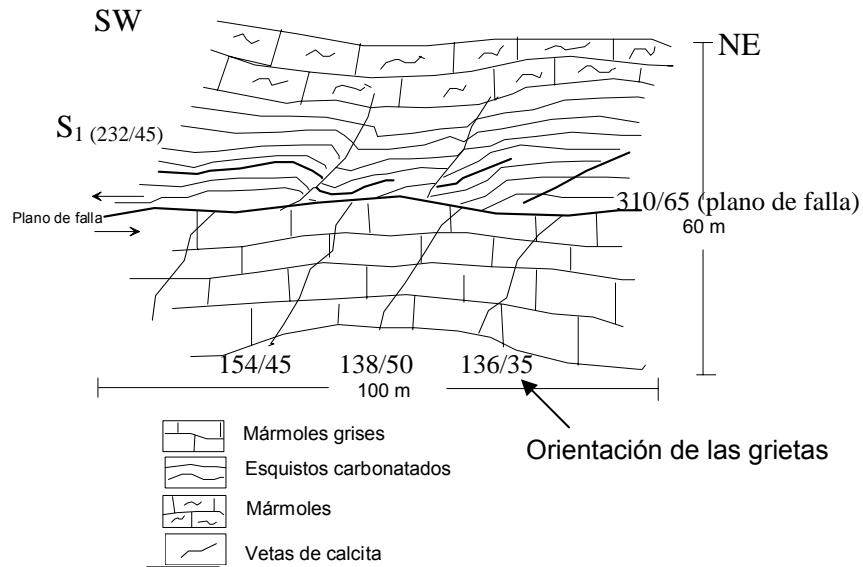


Figura 4.4. Superficie de sobrecorrimiento que separa mármoles de esquistos carbonatados. Bajo del plano de falla en los mármoles se observa un sistema de grietas bien definido.

WNW

ESE

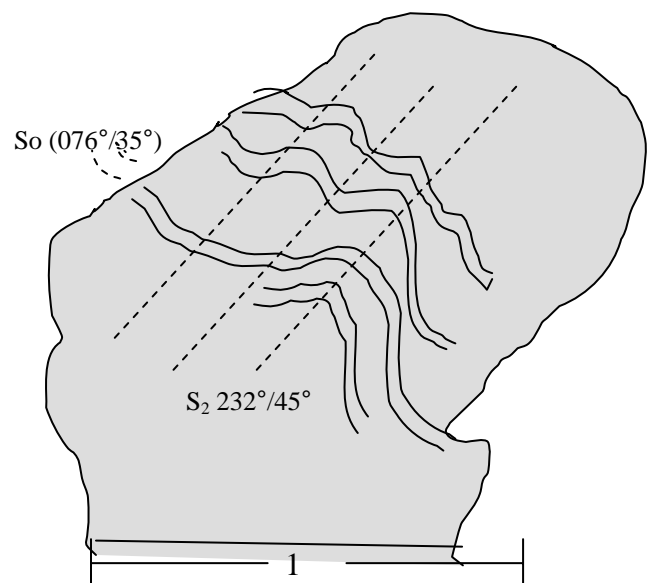


Figura 4.5. Relación de S_0 y S_2 . Desarrollo de la lineación L_0^2 por intersección de los planos S_2 y S_0 en el plano de S_2 . La S_0 está definida por un estrato de areniscas cálcneas. S_2 es un clivaje planar axial.

Punto 4

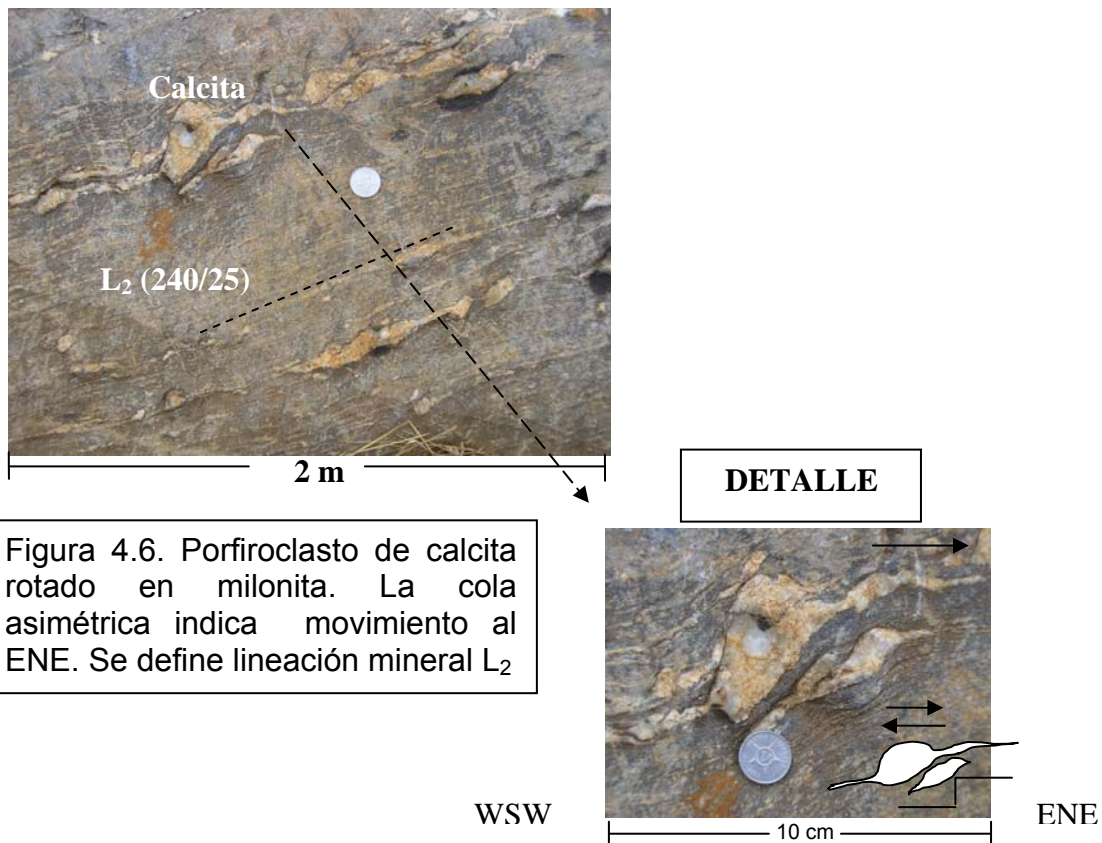
Coordenadas: 575500, 240925

Descripción: Secuencias de esquistos cuarzo feldespáticos intercalados con esquistos cuarzosos más duros, en finas capas. Existe una esquistosidad S_1 ($140^\circ/25^\circ$). El corte está atravesado por vetas de cuarzo sublatitudinales.

Punto 5

Coordenadas: 574450, 240850

Descripción: Afloramiento de esquistos metaterrígenos finos de color rojo en la base del corte, seguidos por mármoles foliados con desarrollo de porfiroclastos de calcita. S_1 ($300^\circ/10^\circ$) es de carácter milonítico. La roca está muy foliada, con aspecto de milonita y aparecen porfiroclastos de calcita rotados en la foliación que indican movimiento al este, noreste (Figura 4.6). Por encima de estos mármoles miloníticos, aparecen esquistos metaterrígenos iguales a los de la base con una capa fina de cuarcita aproximadamente de 10cm y en el tope esquistos metaterrígenos. Se observa una lineación mineral L_2 ($240^\circ/25^\circ$). El contacto entre los esquistos metaterrígenos del punto 4 y las rocas de este punto, es de carácter tectónico.



Punto 6

Coordenadas: 574250, 241000

Descripción: El corte comienza con esquistos carbonatados, mármoles grises oscuros, finos, esquistos carbonatados, lentes de cuarcita y esquistos metaterrígenos que llegan a predominar. Se observa una esquistosidad S_1 ($080^\circ/75^\circ$). Se trata de un pliegue concéntrico que tiene un flanco reosionado. En dirección oeste, aumentan los lentes de cuarcita. En este punto se observa una lineación L_2 ($324^\circ/05^\circ$) por intersección de los planos S_1 con S_2 .

Punto 7

Coordenadas: 573750, 240825

Descripción: El corte presenta una secuencia de esquistos carbonatados gris oscuros donde se observan grietas de cizallas conjugadas, sobre ellos aparecen intercalaciones de una brecha carbonatada con clastos de esquistos carbonatados y cuarzo. Seguidamente en el corte aparecen intercalaciones de esquistos carbonatados más finos con pliegues de crenulación, sobre estos existen esquistos verdes (Sección delgada CG-7b, apéndice 1) donde se observan las mismas grietas de cizalla conjugadas y una capa blanca cuarzo feldespática en los planos de esquistosidad, S_1 ($280^\circ/50^\circ$). En este punto aparecen pliegues de crenulación deformando la esquistosidad S_1 lo que desarrolla una segunda dirección S_2 , clivaje de crenulación la cual no se puede medir en el afloramiento. Se tomaron muestras orientadas (Figura 4.1).

Punto 8

Coordenadas: 573350, 240800

Descripción: Afloramiento a lo largo del camino aproximadamente 30m de esquistos verdes con abundante mica e intercalaciones de cuarcitas muy trituradas (15cm) y grietas de cizalla conjugada, con esquistosidad S_1 ($284^\circ/35^\circ$). La esquistosidad mapeada hasta este punto aparece plegada, con desarrollo de pliegues de crenulación asimétricos que definen una nueva dirección S_2 ($208^\circ/60^\circ$). Los plieguecillos de crenulación se observan en los flancos de un pliegue mayor. Los planos axiales de estos pliegues están inclinados al sur y su flanco largo también indicando una vergencia al N. (Figura 4.7).

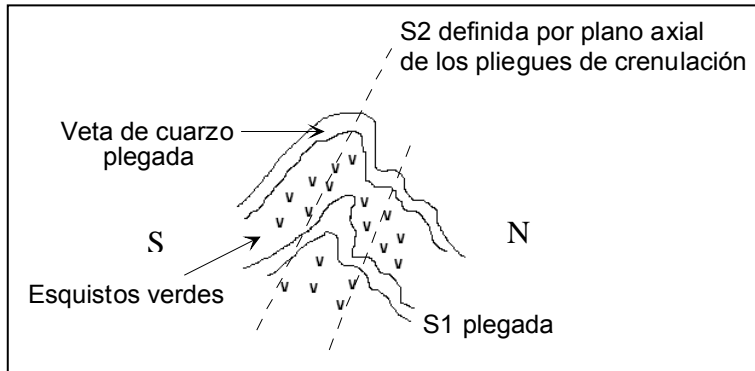


Figura 4.7. Pliegues de crenulación asimétricos F_2 en esquistos verdes. Planos axiales y flanco largo inclinados al Sur indicando vergencia al norte. S_1 esquistosidad principal S_2 clivaje de crenulación

Punto 9

Coordenadas: 573250, 240800

Descripción: Afloramiento de esquistos carbonatados cristalinos de grano grueso, de color negro, con predominio sobre las intercalaciones de esquistos metaterrígenos micáceos y capas cuarzo feldespáticas, estas secuencias presentan una esquistosidad S_1 con orientación $(308^\circ/30^\circ)$. Aparecen numerosas grietas de cizalla y extensión.

Punto 10

Coordenadas: 573100, 240775

Descripción: Afloramiento de 350m con esquistos carbonatados cristalinos (igual al punto anterior) intercalados con esquistos carbonatados de grano mas finos (Sección delgada CG-10, apéndice 1) y más arriba en el corte esquistos verdes carbonatados. Presentan una esquistosidad S_1 con orientación $(310^\circ/15^\circ)$. Se tomó muestra orientada (Figura 4.8).

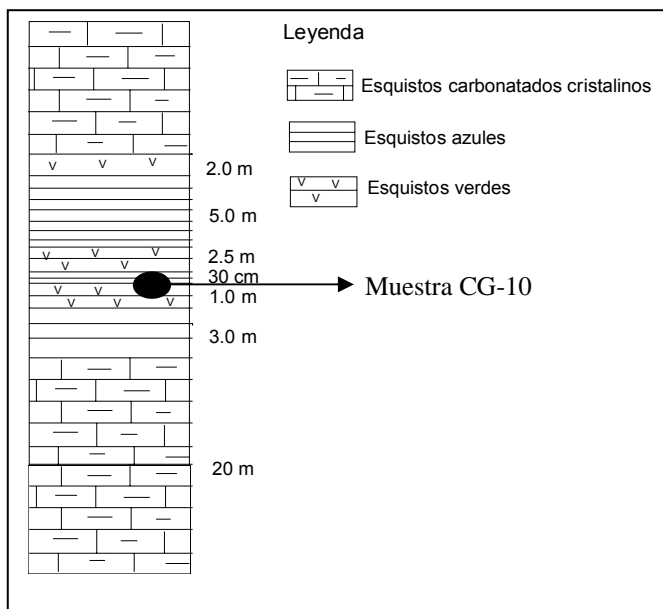


Figura 4.8 Columna litológica general del afloramiento 10.

En este perfil se aprecia la abundancia de esquistos verdes en casi todo el corte, sin embargo su protolito parece ser de areniscas impuras con componente volcánico (Secciones delgadas CG 7a, 7b, apéndice 1), pues estos esquistos presentan un componente carbonatado apreciable, diferente al de los esquistos metavulcanógenos del perfil Yaguanabo.

Punto 11

Coordenadas: 573000, 240775

Descripción: Afloramiento de 60 m de largo donde se observa alternancia entre esquistos carbonatados (Sección delgada CG 11, apéndice 1) y esquistos verdes cloríticos muy cálcareos con predominio de los primeros. Aparece una esquistosidad S_1 ($250^\circ/45^\circ$) y vetas de cuarzo paralelas al rumbo que han sido intensamente plegadas conjuntamente con estos esquistos. La esquistosidad S_1 aparece plegada con pliegues isoclinales y pliegues de crenulación asimétricos con vergencia sur, definiendo una nueva dirección caracterizada por el clivaje de crenulación S_2 . Los planos axiales de los pliegues tienen orientación PA ($214^\circ/70^\circ$). Los planos axiales de estos pliegues se inclinan al SW. En este punto aparecen representados tres clivajes (Figura 4.9).

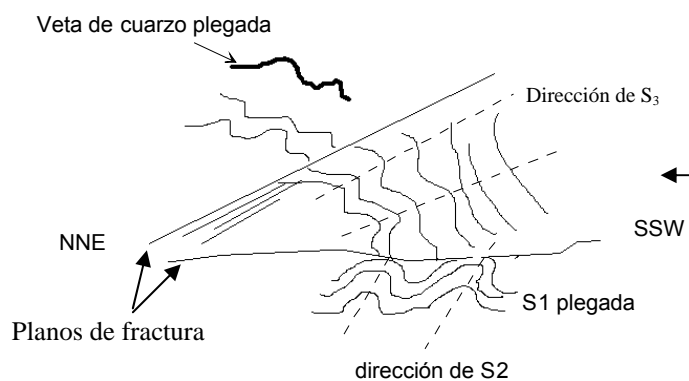


Figura 4.9 Desarrollo de tres tipos de esquistosidades a partir del plegamiento de la esquistosidad principal S_1 .

S_1 esquistosidad principal
 S_2 clivaje de crenulación
 S_3 clivaje de fractura

Punto 12

Coordenadas: 572500, 240700

Descripción: Afloramiento de esquistos calcito moscovíticos dentro de la secuencia de esquistos carbonatados, muy meteorizados, intercalados con pequeñas capas de cuarcita (4cm) con esquistosidad S_1 ($270^\circ/20^\circ$) (Sección

delgada CG-12, apéndice 1). La secuencia está atravesada por grietas de extensión rellenas de calcita. Se tomó muestra orientada (Figura 4.1).

Punto 13

Coordenadas: 571200, 239750

Descripción: El afloramiento consiste en una intercalación de esquistos calcáreos muy grafiticos que se pliegan con numerosos pliegues de crenulación milimétricos con esquistos calcáreos cristalinos más duros. La esquistosidad S_1 ($280^\circ/45^\circ$) en los esquistos grafiticos es crenulada definiéndose una S_2 (clivaje de crenulación) con orientación ($310^\circ/75^\circ$).

Punto 14

Coordenadas: 571400, 239950

Descripción: Aparece roca de color verde oscuro a negro con gran cantidad de anfíboles (minerales prismáticos alargados de color verde oscuro) y minerales blancos (plagioclasas) observándose una débil esquistosidad, la cual no puede ser medida. Pudiera tratarse del complejo Mabujina pero la zona es muy llana, y el contacto está enmascarado por la erosión.

Punto 15

Coordenadas: 570900, 239450

Descripción: Se observan anfibolitas con textura muy esquistosa e intensamente agrietadas con grietas de extensión y de cizalla. S_1 ($030^\circ/70^\circ$). Estas anfibolitas pertenecen al complejo Mabujina.

Punto 16

Coordenadas: 570800, 239250

Descripción: Intrusión de un cuerpo cortante muy félsico completamente triturado dentro de las anfibolitas.

Punto 17

Coordenadas: 570900, 239425

Descripción: Afloramiento de anfíbolitas con esquistosidad S_1 ($226^\circ/45^\circ$), muy esquistosas. El corte está afectado por un intenso agrietamiento. Se desarrollan fundamentalmente, grietas de cizalla y cizalla conjugada.

Cizalla ($132^\circ/75^\circ$), ($310^\circ/75^\circ$), ($140^\circ/75^\circ$)

Cizalla conjugada ($300^\circ/60^\circ$), ($042^\circ/45^\circ$)

Punto 18

Coordenadas: 570800, 239250

Descripción: El corte está representado por rocas volcánicas de color verde, rocas volcánicas de color rojo intenso (lavas), con fenocristales de plagioclasas dentro de una matriz fina y amígdalas rellenas, textura masiva. Se observa un intenso agrietamiento de todo el afloramiento, en múltiples direcciones, sin direcciones preferenciales. También aparecen rocas color crema que por la forma de meteorizar es posible que sean tobas.

Es de destacar que a partir del punto 14, comienzan a predominar las anfíbolitas lo que representa que se trata del complejo anfíbolítico Mabujina en contacto con el Escambray. El contacto está en una zona muy llana, erosionada, pero puede observarse el intenso agrietamiento que marca las rocas en esta parte del perfil. Al parecer el contacto original se encuentra enmascarado en la actualidad y el intenso agrietamiento se debe a los períodos de levantamiento del macizo Escambray que al ser un macizo tan extenso, genera una influencia marcada en los complejos adyacentes en su ascenso desde las profundidades.

4.1.2 Estructuras Plicativas

En este perfil se determinaron tres períodos de deformación. La primera deformación D_1 no ha sido clasificada al existir escasas mediciones de S_0 en los afloramientos. A esta fase debe estar asociada una fase de plegamiento F_1 . Sólo se observa de esta fase una esquistosidad S_1 . Un segundo período de deformación (D_2) a la cual se le asocia la fase de plegamiento (F_2), es la más

representativa en la zona. Está caracterizada por pliegues asimétricos, en ocasiones vergentes al norte (punto 8) y pliegues de crenulación desarrollados en los flancos de pliegues mayores, aproximadamente de 2.5m de tamaño, así como también pliegues isoclinales. En afloramientos de forma muy local se observa un tercer período de deformación (D_3). El clivaje desarrollado es del tipo fractura y pudiera estar relacionado a pliegues de orden hectométrico.

En todo el perfil aparece representada la esquistosidad S_1 . Los pliegues de esta fase no son tan abundantes. Son pliegues, generalmente, asimétricos vergentes (F_1). La esquistosidad S_1 aparece plegada pero su buzamiento es generalmente hacia el WNW con ángulos entre 25 y 65°. Los ejes de los pliegues se hunden hacia el Sur y el SE. La lineación L_1 se produce en la intersección de los planos S_0 y S_1 (Figura 4.5), y posee buzamientos muy suaves. Ella está poco desarrollada lo que posiblemente indica que el desarrollo de la segunda esquistosidad fue un proceso intenso que solapó la primera y por eso en la actualidad aparecen mejor representadas las que se corresponden con la segunda fase, incluyendo la lineación asociada, L_2 que puede ser de tipo mineral o por intersección de planos.

La esquistosidad S_2 , está representada en la zona y posee buzamientos abruptos hacia el SW (figura 4.10). A ella se relaciona una lineación L_2 cuya tendencia fluctúa desde el NW hasta el NE (figura 4.10). Esta lineación se produce en la intersección entre los planos de S_0 y S_2 , aunque en algunas ocasiones, está representada por una lineación mineral (Figuras 4.5 y 4.6). Los pliegues de esta fase son de crenulación, asimétricos, en algunas ocasiones vergentes al norte. Aparecen además pliegues isoclinales con planos axiales que se hunden hacia el sur y SW.

La fase F_3 está muy poco representada y solo se observa como un clivaje de fractura, que corta a las dos primeras. Es posible que los pliegues asociados a ella sean estructuras grandes, de orden hectométrico y métricos, abiertas, relacionadas con la etapa de formación de las estructuras cupuliformes. En otras zonas aledañas se ha observado desarrollo de este clivaje.

4.1.3 Estructuras disyuntivas

Las estructuras disyuntivas en este perfil no son tan abundantes. En el punto 1 se pudo observar la superposición de fallas normales mas jóvenes, sobre fallas inversas mas viejas (ver descripción punto 1) evidenciando que los movimientos normales son más jóvenes.

Hay desarrollo de grietas de extensión y de cizalla conjugada en diferentes litologías. Las grietas de extensión están siempre rellenas con calcita.

La zona de contacto entre las rocas del Escambray y el complejo Mabujina está muy erosionado aunque por el análisis de fotos aéreas y la abundancia de fragmentos de rocas en la zona de contacto, además del intenso agrietamiento que estas poseen en el límite entre ambos complejos, suponemos que es de carácter tectónico (Figura 4.2).

Los indicadores cinemáticos analizados en este perfil, definen movimientos marcados hacia el N y ENE (porfiroclastos rotados), hacia el S, SE (en pliegues vergentes) y escamas de calcita en planos de fallas (Figura 4.10)

4.1.4 Proyecciones estereográficas de los elementos estructurales

Para el procesamiento de los datos estructurales se tomó en cuenta el comportamiento de los elementos a lo largo de todo el perfil. Existe una orientación consistente de la esquistosidad S_1 y S_2 con poca variación y cierta uniformidad en la distribución de las lineaciones (Figuras 4.2 y 4.10) por lo que los datos se procesan para todo el perfil como un todo.

Los datos fueron procesados con el programa Rocworks/2006. Las proyecciones se realizaron en el hemisferio inferior usando la plantilla estereográfica de Wulf.

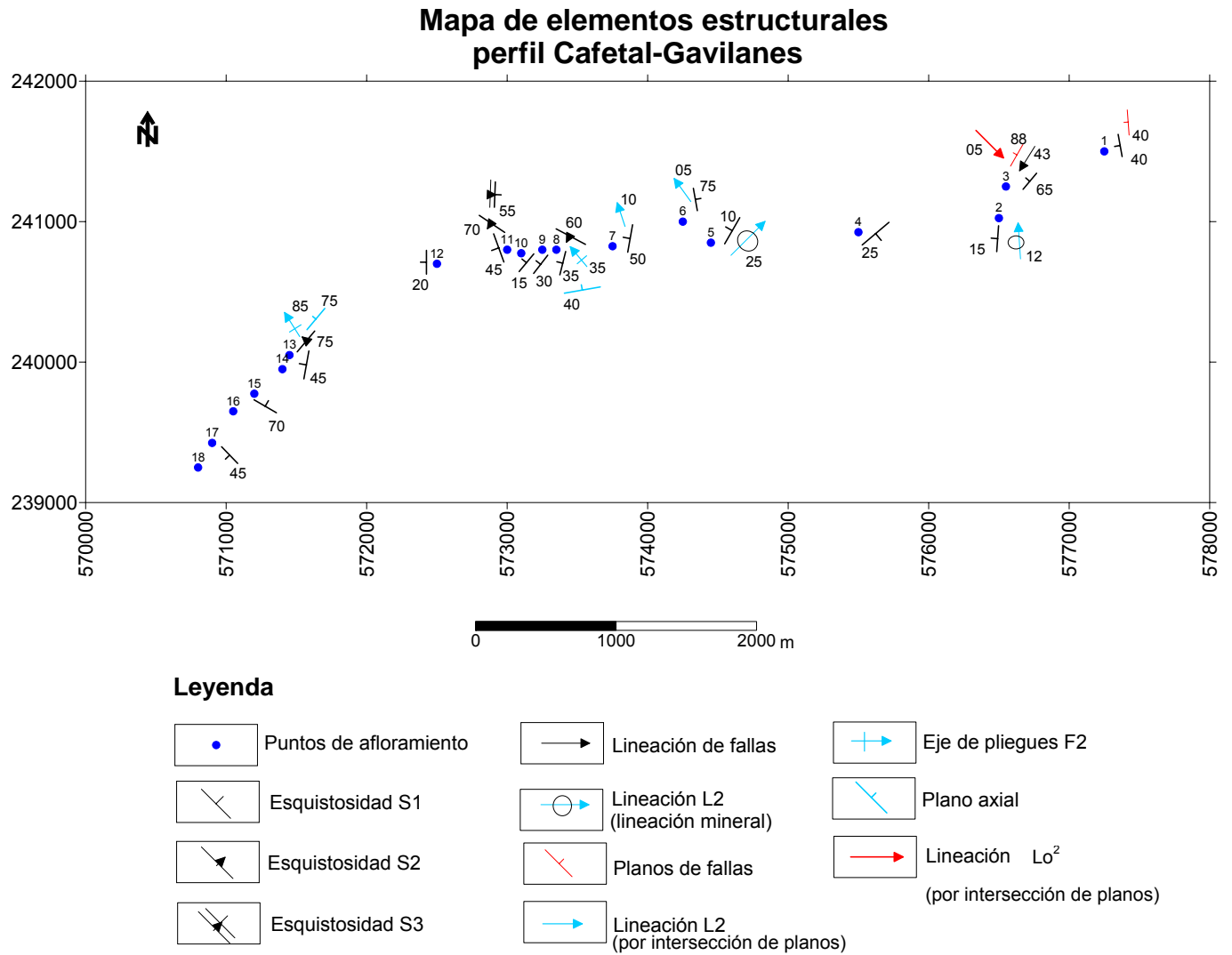


Figura 4.10. Mapa de elementos estructurales del perfil Cafetal

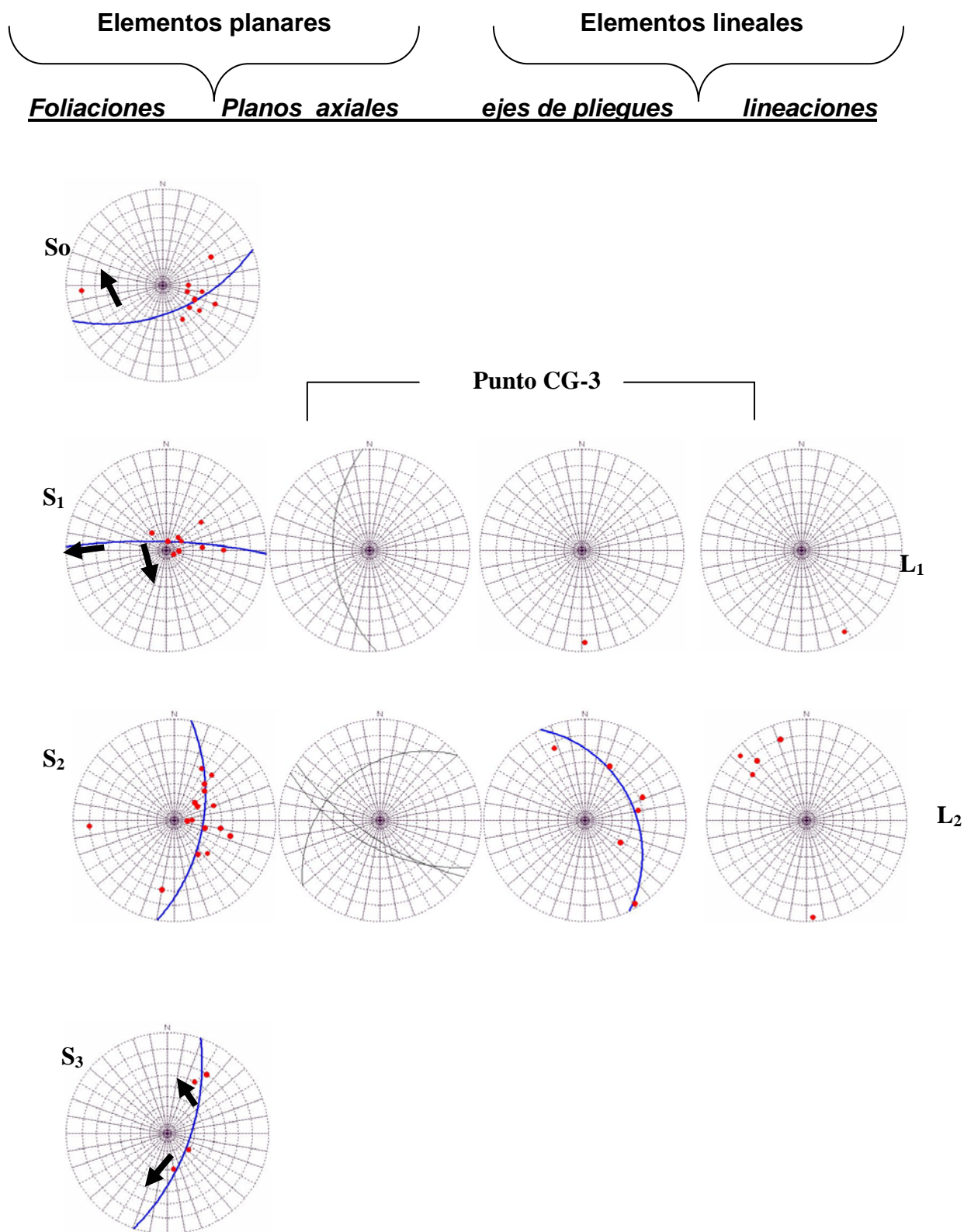


Figura 4.10a. Proyecciones estereográficas de los elementos estructurales del perfil Cafetal Gavilanes.

Las flechas negras en los diagramas representan la tendencia general del buzamiento de los elementos planares. Las líneas azules el arco de círculo máximo (best fit great circle) que ajusta a la media de los datos. Los datos de So han sido tomados de Millán, G y Álvarez Sánchez, H, 1991 para el área.

Como puede observarse en los diagramas de proyección estereográfica la So presenta buzamientos hacia el NW con ángulos suaves y los puntos esparcidos, aunque escasos, demuestran la idea de que esta se encuentra plegada, el plegamiento donde se involucra la So puede observarse en la figura 4.5. Las concentraciones de las mediciones en un cluster puede significar la realización de mediciones en un flanco de un pliegue. La esquistosidad S_1 posee buzamientos muy suaves generalmente hacia el oeste y sur este y el patrón de la proyección no es evidente pero aparece plegada. El comportamiento de S_2 es mucho más heterogéneo, los datos se encuentran concentrados a lo largo de un círculo máximo y a la vez dispersos. Este patrón indica el intenso plegamiento de esta esquistosidad. Consideramos que esta fase se encuentran la mayor parte de las estructuras mapeadas. Si se observa la disposición de los ejes de los pliegues de esta fase, vemos que se hunden hacia el N, NE y SE. Los planos axiales de pliegues de esta fase se hunden hacia el sur.

La S_3 fue descrita en el campo como un clivaje de fractura. Según los estereogramas de este perfil (figura 4.10 a) se observa el plegamiento intenso y la dispersión de S_2 , lo que significaría que ha sido afectada por una D_3 .

Las lineaciones de intersección de planos son generalmente paralelas a los ejes de los pliegues (Mc Clay, 1987). En la fase F_2 , tanto los ejes de los pliegues como las lineaciones de intersección indican un movimiento en sentido norte, NE y NW para el hundimiento de los ejes. Esta situación también se correlaciona con los planteamientos debatidos en este capítulo, que postulan, según los datos, un movimiento al N, NE predominantemente. Las que indican al NW pudieran tratarse de una etapa de variación en la dirección del máximo estrés compresivo, aunque este planteamiento quedaría solo en el terreno de hipótesis. La esquistosidad S_3 es más restringida y se observa que el

comportamiento es variable lo que reafirma la presencia de plegamientos asociados a ella.

4.2 Perfil Yaguanabo arriba-Playa Yaguanabo.

El perfil se localiza entre los puntos coordenados (583500,229500) y (579750,227450) por el camino que va de la carretera del circuito sur al poblado de Yaguanabo arriba. Se caracteriza por presentar rocas metacarbonatadas y metavulcanógenas donde estas secuencias rocosas se encuentran fuertemente plegadas y falladas. Se tomaron en este itinerario 16 puntos de afloramientos (Figura 4.11). La marcha ruta presenta buen grado de aflorabilidad. Las rocas en este perfil pertenecen a las formaciones Yaguanabo y el Tambor.

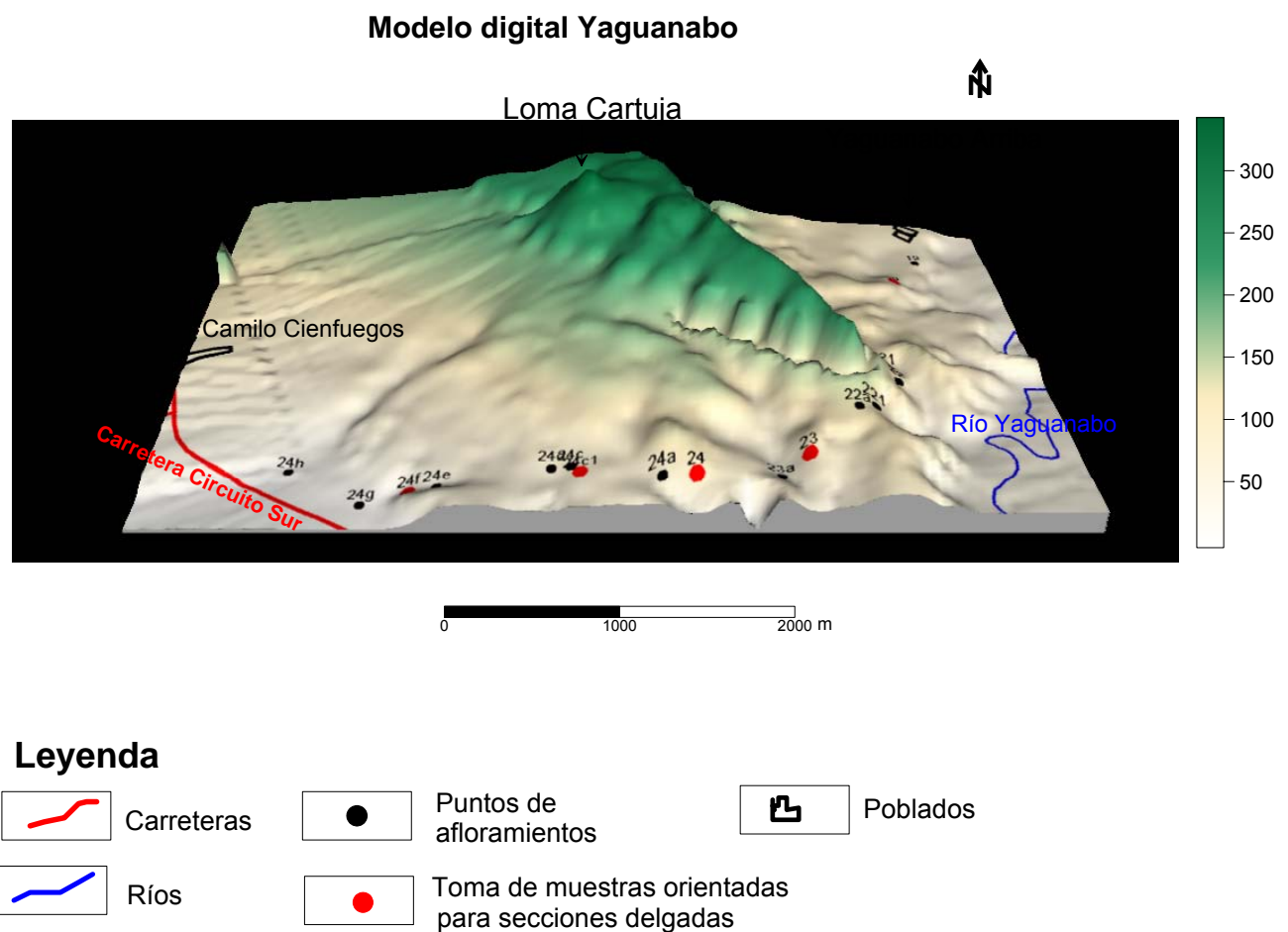


Figura 4.11. Modelo digital del itinerario Playa Yaguanabo-Yaguanabo arriba con puntos de observación y muestreo para secciones delgadas orientadas.

El perfil Yaguanabo se caracteriza por un predominio de esquistos actinolíticos talcosos y mármoles, metamorizados en la facie de los esquistos verdes. Representa un área donde se intercalan rocas metavulcanógenas con rocas metacarbonatadas principalmente (Figura 4.12).

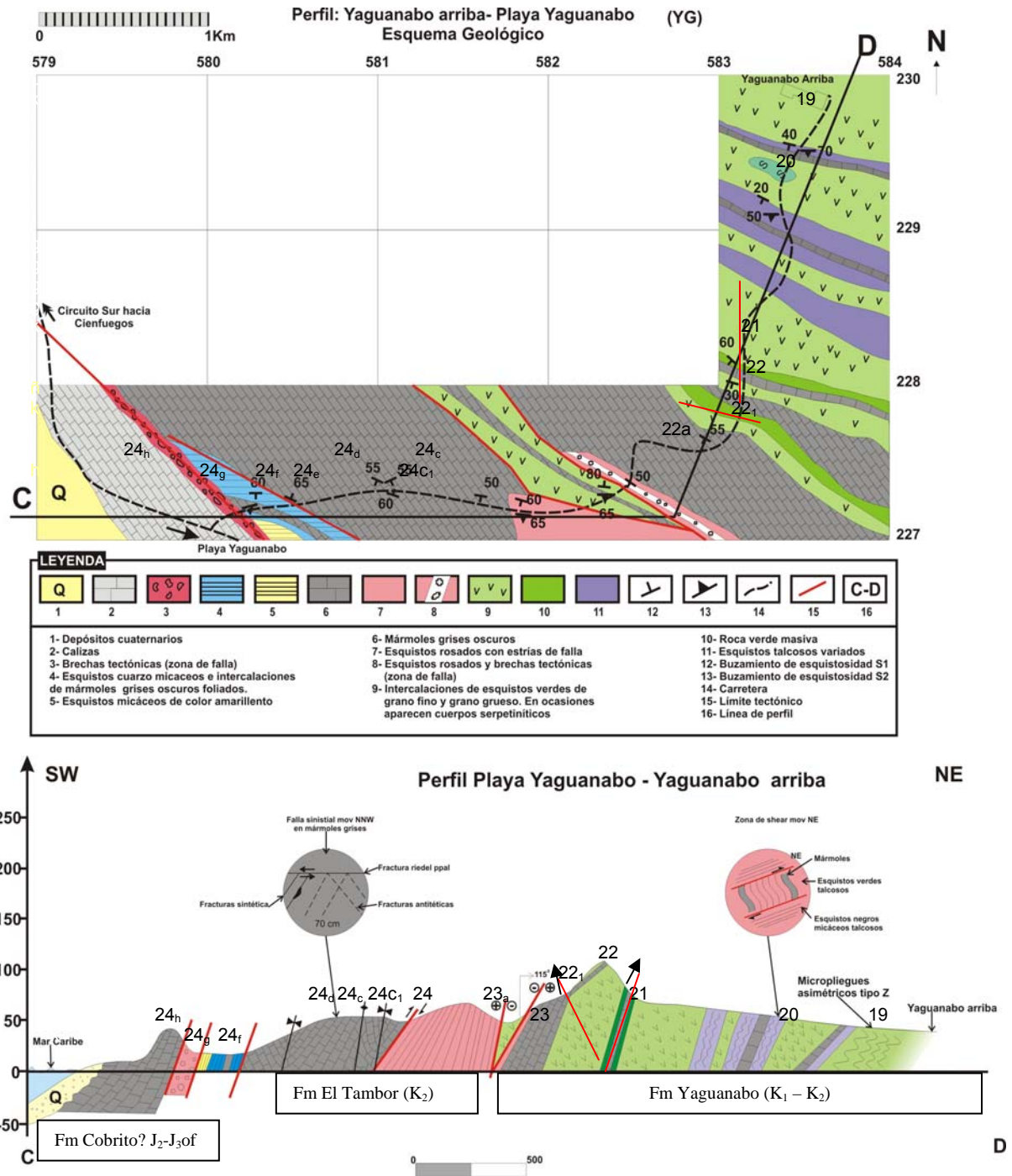


Figura 4.12. Esquema y perfil geológico Playa Yaguanabo-Yaguanabo arriba. El esquema comprende los datos reales de la marcha ruta.

Punto 19

Coordenadas: 583500, 229500

Descripción: Afloramiento de esquistos verdes con actinolita, con vetas de calcita, intercalados con unos esquistos verdes más claros con abundante mica (esquistos verdes micáceos). Por encima aparecen rocas verdes de grano muy gruesos donde sobresalen cristales muy grandes de piroxeno. El corte se repite rítmicamente y se mantiene la esquistosidad S_1 $202^\circ/40^\circ$. En la parte superior del corte comienzan aparecer intercalaciones de mármoles. Existen plegamientos dentro de estas secuencias. Todo el corte se encuentra afectado por un sistema de cizallas conjugadas. En este afloramiento se observa la relación entre las esquistosidades S_1 y la esquistosidad de crenulación S_2 , generándose la segunda por el plegamiento de crenulación de la primera (**B**). Además existen plegamientos isoclinales cuyas relaciones entre S_1 y S_2 es paralela a subparalelas (**A**) (Figura 4.13).

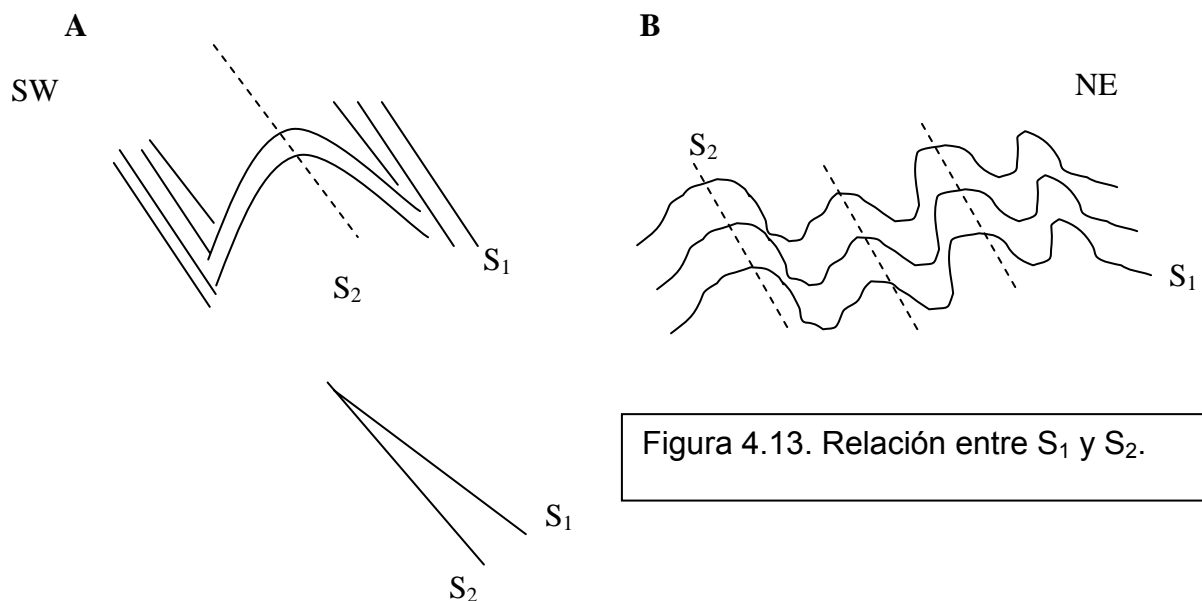


Figura 4.13. Relación entre S_1 y S_2 .

Punto 20

Coordenadas: 583300, 229175

Descripción: Afloramiento con una secuencia de mármoles masivos grises con grietas perpendiculares al rumbo intercalados con cuerpos serpentínicos y esquistos talcosos (Sección delgada YG-20c, apéndice 1), entre los bloques de mármoles, las secuencias presenta una esquistosidad S_1 ($222^\circ/50^\circ$). Aparecen pliegues de crenulación en los esquistos talcosos definiendo un

clivaje de crenulación S_2 ($176^\circ/70^\circ$), también presentan pliegues asimétricos de tipo z (Figura 4.14), y pliegues isoclinales donde $S_1 \sim S_2$. En zonas muy localizadas aparecen evidencias de un clivaje S_3 ($250^\circ/80^\circ$), tipo fractura. Es de destacar que estas capas finas de serpentinitas son el resultado de la alteración de los anfíboles (actinolita), que se transforman en talco y antigorita (serpentina). Se tomaron muestras orientadas (Figura 4.11).

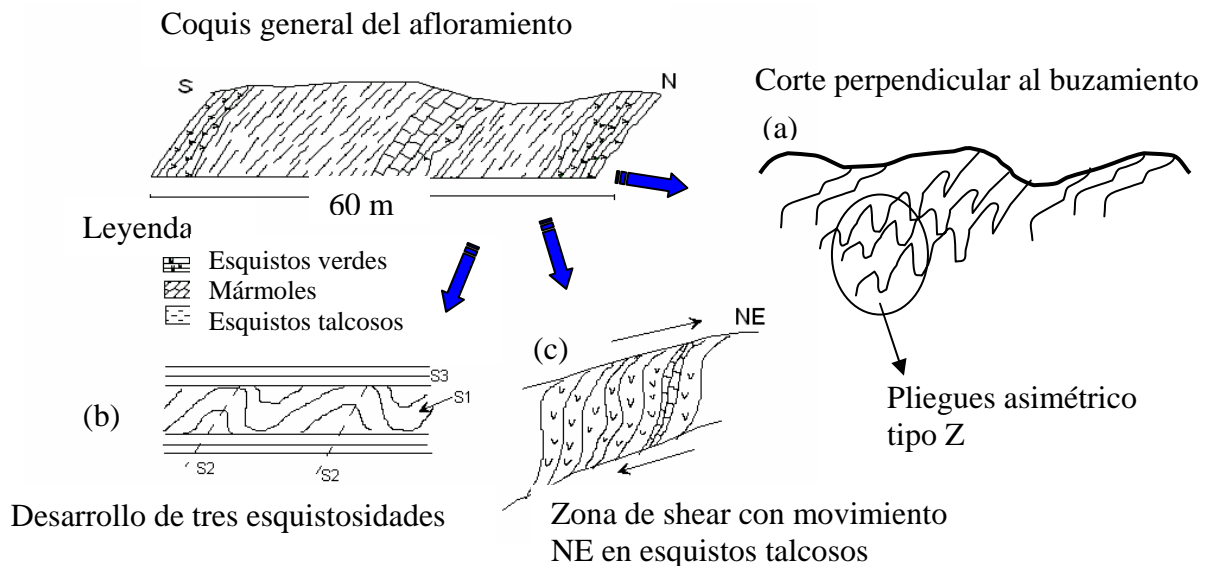


Figura 4.14. Esquistos talcosos con desarrollo de pliegues de crenulación F_2 (a), pliegues asimétricos vergentes tipo z (b), y zona de shear (c) que indican movimiento noreste.

Punto 21

Coordenadas: 583 075, 228 125

Descripción: Afloramiento de esquistos verdes cloríticos intercalados con una roca masiva verde de grano fino y una capa fina de mármoles, estas rocas presentan esquistosidad S_1 ($224^\circ/60^\circ$). Entre los planos de contacto entre los mármoles y la roca verde aparecen estrías de falla inversa desplazándose al NW con plano de falla ($270^\circ/80^\circ$), lineación de la falla ($354^\circ/60^\circ$). También pueden observarse grietas de cizalla conjugada ($168^\circ/70^\circ$; $004^\circ/35^\circ$).

Punto 22

Coordenadas: 583 100, 227 975

Descripción: El corte empieza en la base con esquistos verdes con clorita y grietas rellenas de cuarzo seguidos por una fina capa de mármoles, por encima

de los mármoles aparece un estrato potente de una roca verde foliada (esquistos cloríticos) (Sección delgada YG-22, apéndice 1) concordante con las rocas intercaladas, estas secuencias presentan esquistosidad S_1 ($196^\circ/35^\circ$). Ver figura 4.12.

Punto 22₁

Coordenadas: 582 925, 227 700

Descripción: Afloramiento representado por mármoles grises oscuros bandeados con esquistosidad S_1 ($220^\circ/55^\circ$), en estratos muy potentes con estrías de falla normal con desplazamiento noreste, plano de falla ($020^\circ/75^\circ$) y lineación de la falla ($272^\circ/80^\circ$).

Punto 22_a

Coordenadas: 582 825, 227 650

Descripción: Afloramiento de mármoles con esquistosidad S_1 ($330^\circ/45^\circ$) donde se desarrolla un sistema de clivaje de fractura rellenas de calcita (S_3) con orientación $340^\circ/55^\circ$.

Punto 23

Coordenadas: 582525, 227350

Descripción: Afloramiento con esquistos carbonatados rosados con esquistosidad S_1 ($214^\circ/70^\circ$) en los que aparecen planos de falla strike slip (Figura 4.15). Las estrías en el plano de falla poseen buzamientos muy suaves, entre $0 - 10^\circ$. También aparecen numerosos fragmentos de brechas en una matriz terrígena de color rojizo. Se observan bloques que conservan la esquistosidad principal. El corte está afectado por grietas rellenas de minerales de hierro. Este punto constituye una zona de falla con 90m de largo. (Figura 4.12). En esta zona de falla las estrías que predominan son de desplazamiento horizontal diestro con plano de falla ($262^\circ/70^\circ$).

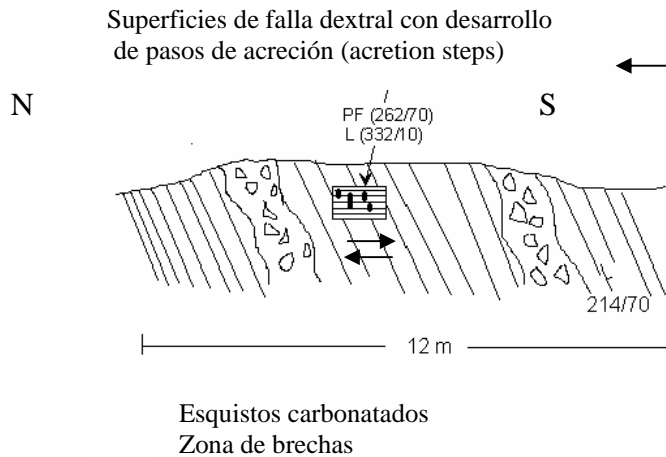


Figura 4.15. Zona de falla con desarrollo de estrías horizontales que indican desplazamiento N-S.

Punto 23_a

Coordenadas: 582 375, 227 250

Descripción: Afloramiento de esquistos micáceos de color verde, de grano grueso con finas intercalaciones de mármoles con esquistosidad S_1 ($010^\circ/80^\circ$). Aparece un potente estrato de areniscas cálcneas con yacencia S_0 ($192^\circ/65^\circ$). La secuencia está atravesada por vetas de cuarzo que siguen el rumbo de los estratos. Toda la secuencia se encuentra afectada por un fuerte plegamiento, este se caracteriza por ser asimétricos con vergencia NW (Figura 4.16) definiendo un clivaje planar axial S_2 que se corresponde o es paralela a los ejes de los pliegues.

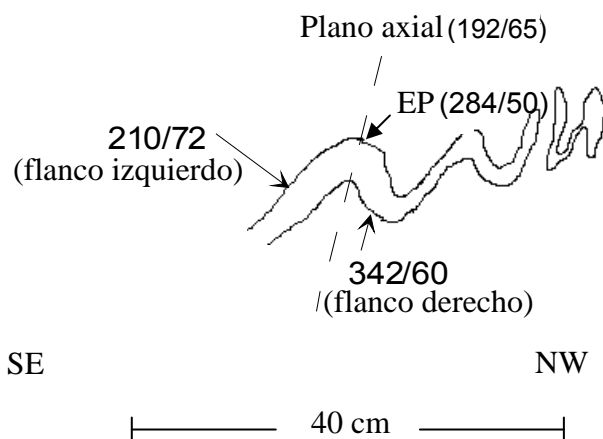


Figura 4.16. Veta de cuarzo plegada definiendo pliegue asimétrico F_2 dentro de esquistos verdes.

Punto 24

Coordenadas: 581 925, 227 175

Descripción: Afloramiento de esquistos rosados carbonatados (Sección delgada YG-24, apéndice 1) con esquistosidad S_1 ($214^\circ/60^\circ$) donde se desarrolla una lineación L_2 ($144^\circ/30^\circ$) en el plano de S_1 , en los planos de intersección de S_1 ($214^\circ/60^\circ$) y S_2 ($214^\circ/70^\circ$), además de aparecer indicadores de fallas inversas con movimiento SE, grietas y algunos plegamientos. Al parecer estos esquistos son areniscas recrystalizadas que se encuentran intercaladas con horizontes de mármoles.

Punto 24a

Coordenadas: 581 750, 227 200

Descripción: Afloramiento de mármoles foliados gris oscuros con nódulos negros de calcita, intercalados con esquistos micáceos en paquetes más finos (hasta 1 cm) con esquistosidad S_1 ($194^\circ/50^\circ$). El afloramiento tiene 10m de largo, afectado por gran cantidad de grietas de extensión rellenas de calcita (Tabla 4.1) y superficies con escamas de fallas. Este punto presenta un gran desarrollo de escamas de calcita que indican fallas tanto diestras como siniestras, con lineaciones suaves hasta 15° y movimientos al NW – SE (Tabla 4.2).

Grietas de extensión rellenas de calcita

<u>No. de grietas</u>	<u>Posición espacial de las grietas</u>
1	154/55
2	092/85
3	010/15
4	000/30
5	022/30
6	152/60
7	144/55
8	154/55
9	000/30
10	348/45
11	292/88
12	328/88
13	262/65
14	352/37
15	338/50

Posición Espacial de las Fallas.

<u>Tipo de Falla</u>	<u>Orientación del plano de Falla</u>	<u>Movimiento</u>
Sinistral	248/75	S-SE
Sinistral	222/45	NW-SE
Dextral	232/50	NW-SE
Dextral	216/60	NW-SE
Dextral	212/60	N-NW
Inversa	248/75	E

Tabla 4.2. Posición espacial de las fallas de desplazamiento horizontal Punto YG-24^a.

Tabla 4.1. Grietas de extensión rellenas de calcita.

Punto 24c

Coordenadas: 581 325, 227 250

Descripción: Afloramiento de mármoles foliados con indicadores de zona de shear frágil, grietas sintéticas (a favor del movimiento) y antitéticas (contrarias al movimiento). Las grietas sintéticas forman un ángulo bajo con la fractura principal. Las grietas se encuentran rellenas de calcita (Figura 4.17). La relación entre las fracturas secundarias y la fractura principal indica un movimiento al WNW.

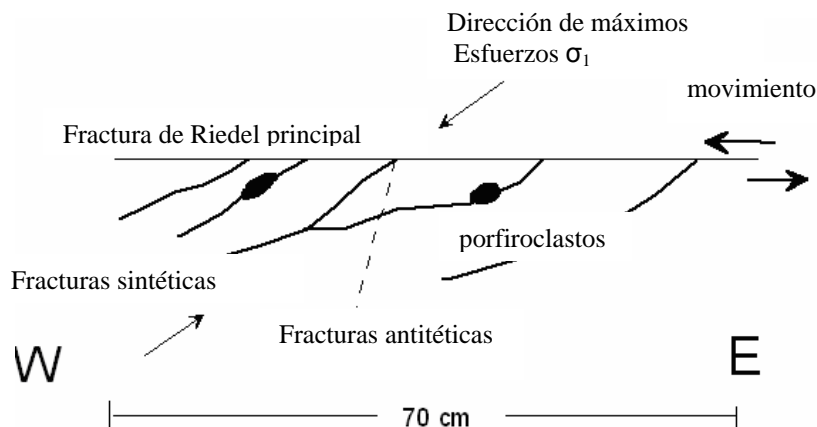


Figura 4.17. Zona de falla de desplazamiento horizontal (sinistral) en ambiente frágil desarrollada en mármoles foliados grises. La distribución de los elementos en la falla indican movimiento NNW .

Punto 24c₁

Coordenadas: 581 325, 227 250

Descripción: Afloramiento de mármoles miloníticos con indicadores de fallas muy erosionados. Estas rocas presentan nódulos negros de CaCO_3 . Se tomó muestra orientada (Figura 4.11).

Punto 24d

Coordenadas: 581 175, 227 300

Descripción: Mármoles oscuros masivos algo brechosos. Se observa una falla normal con movimiento noroeste, con orientación del plano de falla $132^\circ/55^\circ$.

Punto 24e

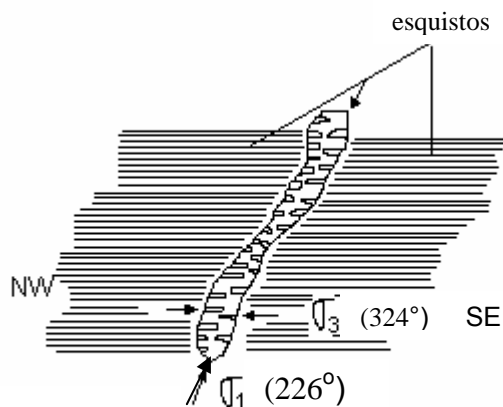
Coordenadas: 580 575, 227 225

Descripción: Mármoles grises oscuros con esquistosidad S_1 ($024^\circ/65^\circ$) y brechas con matriz carbonatada y clastos de esquistos, mármoles y fragmentos de cuarzo. Podría tratarse de un contacto tectónico con una nueva unidad.

Punto 24f

Coordenadas: 580 425, 227 225

Descripción: Afloramiento de esquistos micáceos muy finos con tonalidades gris azulosa donde predominan las micas y el cuarzo. Están intercalados con mármoles grises oscuros foliados y otros esquistos muy micáceos. Se observa una esquistosidad S_1 de $182^\circ/60^\circ$. Presenta numerosas grietas de extensión rellenas de cuarzo (Tabla 4.3) paralelas al rumbo de la esquistosidad y de extensión rellenas de calcita (Tabla 4.4), también aparecen grietas de extensión con crecimiento de cristales de cuarzo paralelos a σ_3 , perpendicular a las paredes de la grieta (Figura 4.18). Existen plegamientos de crenulación cuyos planos definen una S_2 ($290^\circ/70^\circ$).



Grieta de extensión con cristales de cuarzo perpendiculares a las paredes de la grieta.

Figura 4.18 Grieta rellena de cuarzo en esquistos cuarzo micáceos.

Grietas de extensión**rellenas de cuarzo.**

No. De Grietas	Posición espacial de las grietas de extensión.
1	008/50
2	198/60
3	302/65
4	202/77
5	048/65
6	164/70
7	150/72
8	162/70
9	324/70
10	006/50
11	282/65
12	142/60
13	302/60

Tabla 4.3. Grietas de extensión rellenas de cuarzo.

Grietas de extensión**rellenas de calcita**

<u>No. de grietas</u>	<u>Posición espacial de las grietas</u>
1	188/74
2	176/60
3	194/70
4	180/70
5	250/60
6	260/62
7	208/68
8	262/60
9	308/50
10	300/55
11	302/50
12	332/95
13	116/70
14	346/60
15	004/50

Tabla 4.4. Grietas de extensión rellenas de calcita.

Punto 24g

Coordenadas: 580 175, 227 175

Descripción: Afloramiento donde se observa una brecha tectónica, con matriz carbonatada color pardo rojizo claro, con clastos de fragmentos de roca: mármoles foliados masivos de color gris con una esquistosidad incipiente con tamaños desde 1.5cm hasta 20 cm; esquistos calcito moscovíticos finos de color gris verdoso de tamaños entre 0.5cm hasta 6.5cm; roca volcánica color carmelita oscuro hasta 2.5cm de tamaño. Zona de debilidad tectónica en el contacto entre Escambray y arco volcánico.

(Figura 4.19. Sección delgada YG 24, apéndice 1). Constituye un límite tectónico entre ambos complejos (Figura 4.12).

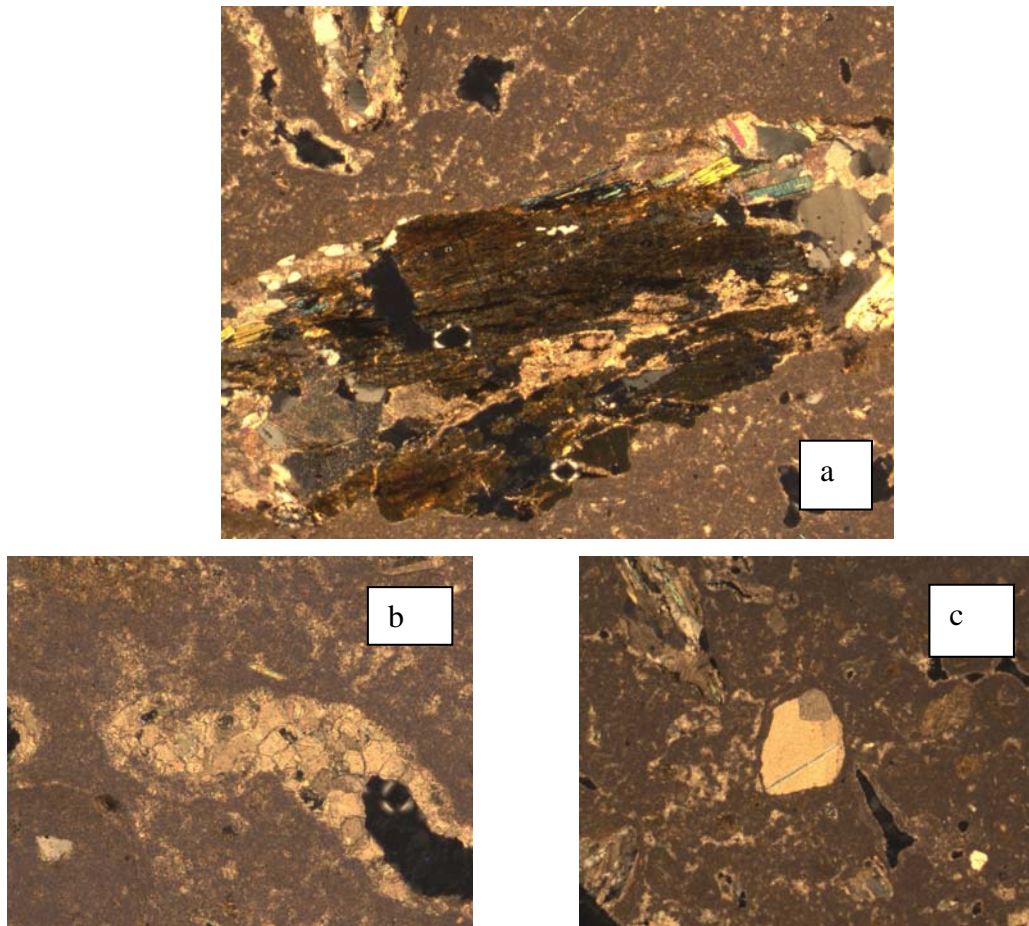


Figura 4.19 .Sección delgada en el contacto entre el Escambray y el arco volcánico. Brecha con cemento carbonatado y fragmentos de rocas. (a) fragmento de esquisto, (b) fragmento de caliza, (c) fragmento de roca.

Punto 24h

Coordenadas: 579 750, 227 450

Descripción: Afloramiento de rocas calizas muy agrietadas, sin dirección preferente, calizas de grano fino, algunas veces brechosas. No se distingue la estratificación. Los bloques sueltos presentan superficies de fricción y numerosas grietas, además de hoyos cársticos. No se hicieron mediciones en este punto por su incoherencia en la posición espacial de las rocas con el objetivo de no introducir falsas mediciones.

4.2.2 Estructuras plicativas

En este perfil se determinaron tres períodos de deformación con sus tipos de estructuras asociadas. La primera fase (F_1) al igual que el perfil Cafetal Gavilanes no ha sido caracterizada por las escasas mediciones de S_0 . Suponemos que su relación con S_1 es $S_0 \sim S_1$. Sólo se observa en esta fase una esquistosidad S_1 . La fase F_2 presenta pliegues de crenulación asimétricos y vergentes tipo Z, al N (Figura 4.14). Los pliegues F_2 están desarrollados en todo el perfil. La fase F_3 está muy localizada y no es evidente a escala de afloramiento. Se observó nuevamente, al igual que en el perfil del Cafetal, un sistema de clivaje de fractura que afecta a las secuencias que pudiera tratarse de una fase asociada con la formación de las cúpulas.

La esquistosidad S_1 es manifiesta en todo el corte, sin embargo solo en pocos lugares pudo observarse la capa original, unas areniscas carbonatadas subparalelas con la esquistosidad S_1 . En la deformación D_2 , se forman pliegues asimétricos, de crenulación, micropliegues parásitos, desarrollados en el flanco de una estructura mayor, ellos tienen forma de z, e indican una vergencia al N, NE. Suponemos que pertenece a una estructura volcada en esa dirección donde solo se ha observado un flanco dentro del perfil (Figura 4. 20)

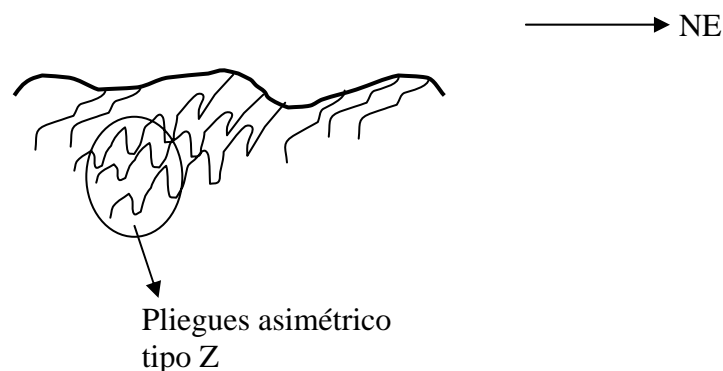


Figura 4.20. Estructura hipotética del comportamiento de una gran estructura F_2 con vergencia NE en el perfil Yaguanabo.

4.2.3 Estructuras disyuntivas

En este perfil las fallas tienen un amplio desarrollo (Figuras 4.12 y 4.21). Se mapearon fallas inversas, normales y de strike slip tanto diestras como siniestras. Las lineaciones medidas en escamas de clacita en fallas inversas indican dirección de movimiento al SE y NE, los movimientos normales indicados por los mismos indicadores que el anterior, marcan sentido de movimiento al NW y las de desplazamiento horizontal (strike slip) movimientos de bloques al N - S, y WNW.

Existe una zona de falla muy amplia entre los puntos 23 y 24 donde abundan las brechas, intenso agrietamiento y donde predominan las estrías de fallas horizontales con buzamientos desde 0° hasta 15° (figura 4.12). Esta situación no se observó en el perfil Cafetal- Gavilanes donde las formaciones son más viejas (K_1). Estas fallas aparecen en formaciones mas jóvenes (Yaguanabo y El Tambor (K_1 - K_2)).

Las grietas son abundantes también en esta zona. Se destacan sistemas de grietas de extensión con dirección preferente al NW (figura 4.21, tablas) coincidiendo plenamente con la dirección de las fallas normales mapeadas. Sistemas de grietas conjugadas afectan a toda la secuencia del corte.

Proyección estereográfica de los elementos estructurales

Los datos estructurales en el perfil muestran un comportamiento que permiten agruparlos en dos sectores, I y II. Al observar la figura 4.21, vemos que hay una orientación consistente de S_1 y S_2 hasta el punto 22 con poca variación y cierta uniformidad en la distribución de las lineaciones. Esta área se corresponde con los afloramientos de la Fm Yaguanabo, a partir del punto 23 prevalecen los sistemas de fallas de desplazamiento horizontal y existen variaciones en la distribución de S_1 y S_2 y una orientación de las lineaciones en las fallas hacia el NW. Esta zona pertenece mayormente a depósitos pertenecientes a la Fm El Tambor (Figura 4.12).

Los datos fueron procesados con el programa Rocworks/2006 y la versión demostrativa del programa FABRIC 7. Las proyecciones se realizaron en el hemisferio inferior usando la plantilla estereográfica de Wulf. El 80% de las mediciones se realizaron en esquistos verdes.

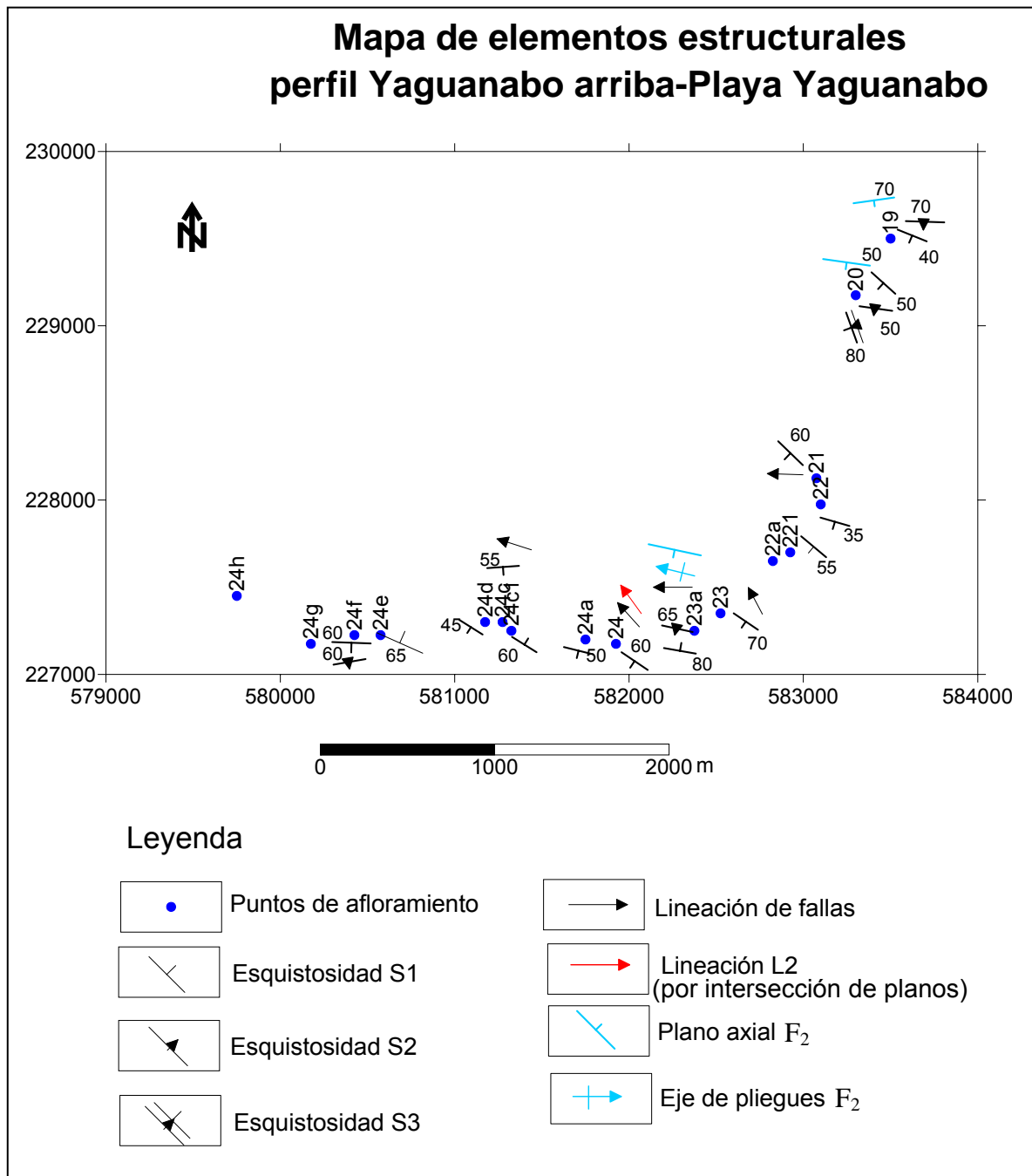
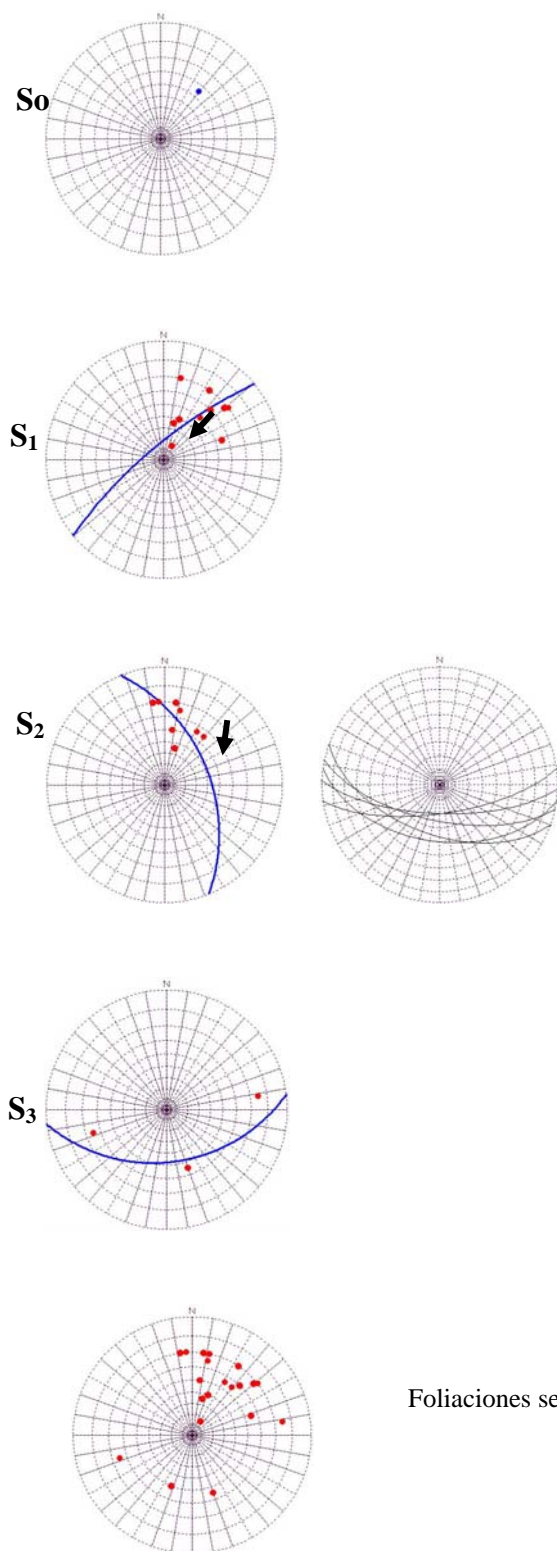


Figura 4.21. Mapa de elementos estructurales de Yaguanabo

SECTOR I (Fm Yaguanabo)

Elementos planares

Foliaciones Planos axiales

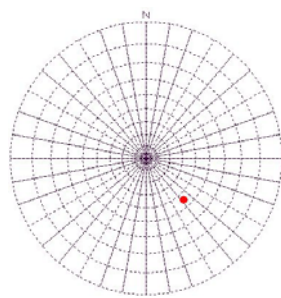
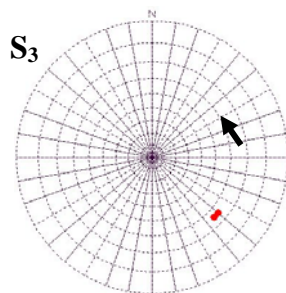
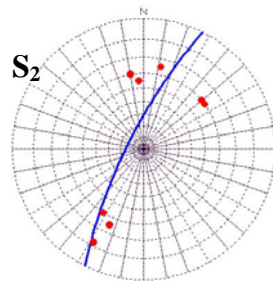
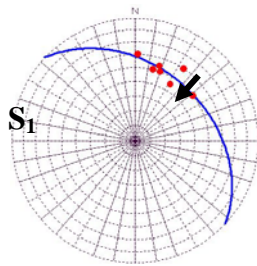
Foliaciones sector I perfil YG

Figura 4.21a. Proyecciones estereográficas de los elementos estructurales en el SECTOR I .Perfil Yaguanabo.

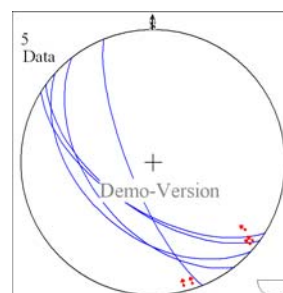
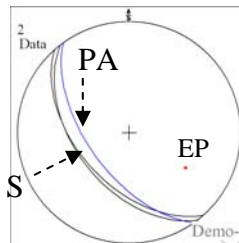
SECTOR II (Fm El Tambor)

Elementos planares

Elementos lineales

FoliacionesPlanos axialesejes de pliegues

Lineación en falla
inversa. Pto YG 24,
esquistos



Lineaciones en fallas
strike slip

Figura 4.21b. Proyecciones estereográficas de los elementos estructurales en el SECTOR II. Perfil Yaguanabo.

Nota

EP.....eje de pliegue

PA.....plano axial

S.....esquistosidad

El diagrama de proyección estereográfica para todas las foliaciones, en la Fm yaguanabo (Figura 4.21a) muestran un patrón de dispersión amplio lo que indica que existe plegamiento. La esquistosidad S_1 y S_2 en los diagramas poseen buzamientos hacia el SE y SW casi constantes lo que indica que las mismas tienen una relación con la posición espacial de las cúpulas. En este caso en el borde SW de la cúpula Trinidad, por lo que el levantamiento del macizo ha influenciado casi todos los procesos ocurridos en el área. Los planos axiales de los pliegues asociados a F_2 tienen inclinación al sur (Figura 4.21a) lo que se corresponde con movimientos hacia el Norte. En el segundo dominio, las proyecciones corresponden a rocas de la Fm El Tambor y se observa un comportamiento similar para la primera esquistosidad (S_1), sin embargo el patrón de S_2 está más evidente que en el dominio I, esta esquistosidad está plegada definiendo pliegues isoclinales apretados con ejes hundidos hacia el este (Figura 4.21b).

Las estrías en fallas inversas indican dirección NW, mientras que los diagramas para fallas strike slip tienen una orientación constante al N-S, WNW (Figura 4.22).

4.3 Análisis de los datos

En una zona afectada por más de una fase de deformación se debe tener en cuenta la organización de los datos por estructuras y por fases individuales. El indicador vergencia de los pliegues no debe ser analizado en solitario ya que en un área donde han existido movimientos en diferentes etapas y direcciones puede dar la impresión errónea del sentido del movimiento, sin embargo si este se usa conjuntamente con otros indicadores se convierte en un indicador importante. En este caso se ha utilizado siempre con otros indicadores como complemento del análisis.

La forma actual de yacencia de estas rocas es provocada por el levantamiento de la cúpula, puesto que existe una relación directa entre las yacencias y la posición geométricas en que se encuentran situadas (suroeste del domo Trinidad).

La esquistosidad S_1 se encuentra plegada formando pliegues de crenulación asimétricos e isoclinales. Los planos axiales de estos pliegues están hundidos al NNW, así como su flanco largo, indicando vergencia SE. La esquistosidad S_2 también se encuentra plegada, con pliegues asimétricos de crenulación fundamentalmente, a veces isoclinales. En el perfil Yaguanabo la fase D_2 define una estructura grande volcada al NE donde se ha mapeado sólo su flanco largo (micropliegues parásitos tipo z). En el perfil Cafetal, los planos axiales y el flanco largo de los pliegues están inclinados en dirección sur lo que indica una vergencia norte. Como puede constatarse los dos perfiles a pesar de tener estructuras diferentes muestran un comportamiento similar en cuanto a regímenes y deformaciones. La S_3 en zonas muy localizadas puede aparecer plegada (Estereograma de S_3 perfil Yaguanabo) por lo que se supone debe existir una esquistosidad S_4 en áreas muy localizadas (S_4 no fue constatada en el campo).

Las superposiciones de los planos de fallas observadas en el punto 1 de Cafetal-Gavilanes y punto 24_a de Yaguanabo indican movimientos antiguos hacia el este. Los eventos ocurridos en ambos perfiles que indican sentido de

movimiento, muestran evidencias de haber existido desplazamientos tanto al norte como al sur; pero no se ha encontrado la superposición de los eventos que permita darle orden cronológico. Cabe destacar que las secuencias del perfil YG (cuyas edades son las más jóvenes del macizo), muestran movimientos de desplazamiento horizontal con direcciones al NW-SE (Figura 4.22), lo que es posible que estos sea la tendencia más actual de desplazamiento del macizo (Figuras 4.22 y 4.23).

Mapa de indicadores cinemáticos Yaguanabo arriba-Playa Yaguanabo

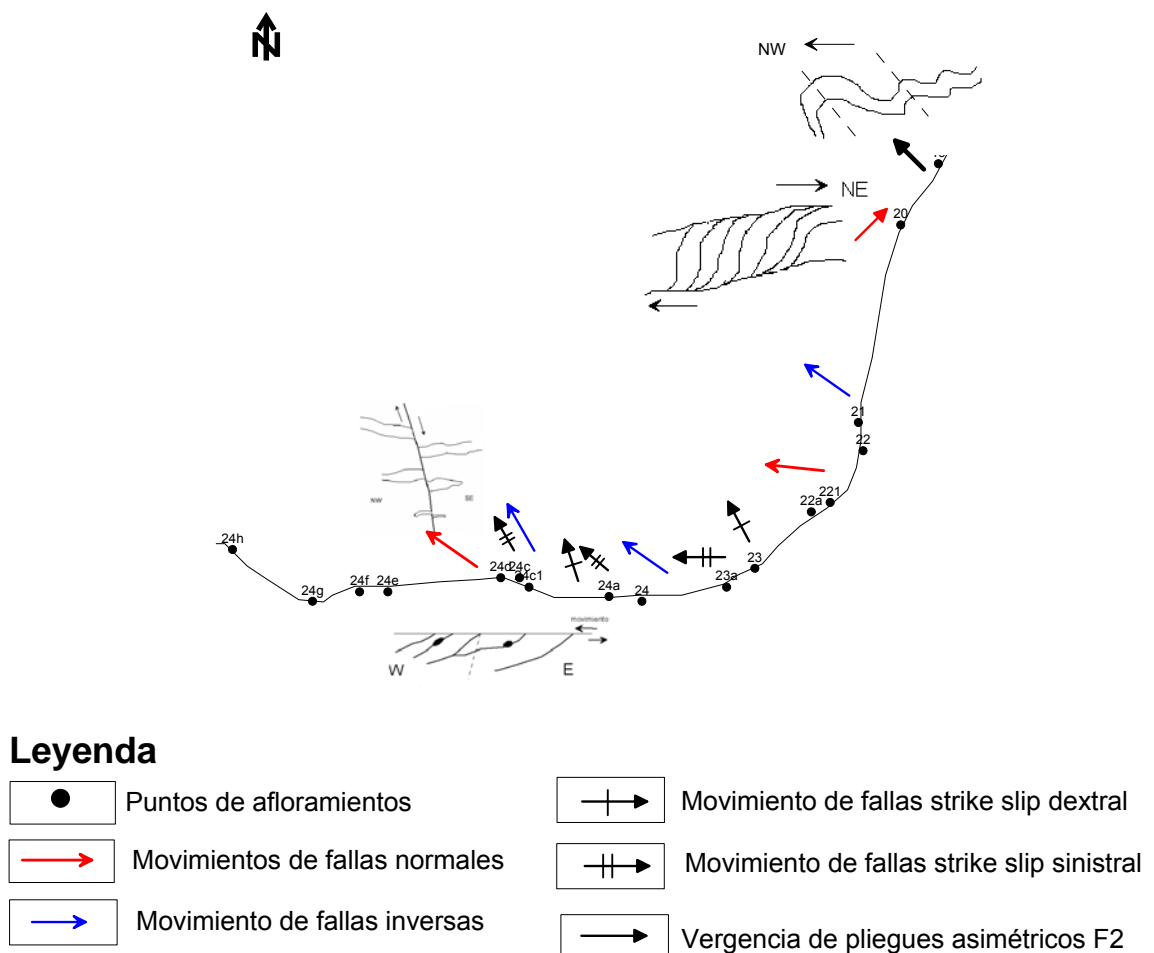


Figura 4.22. Mapa donde se aprecian los desplazamientos en el perfil Yaguanabo.

Mapa de indicadores cinemáticos Sierrita-Gavilanes

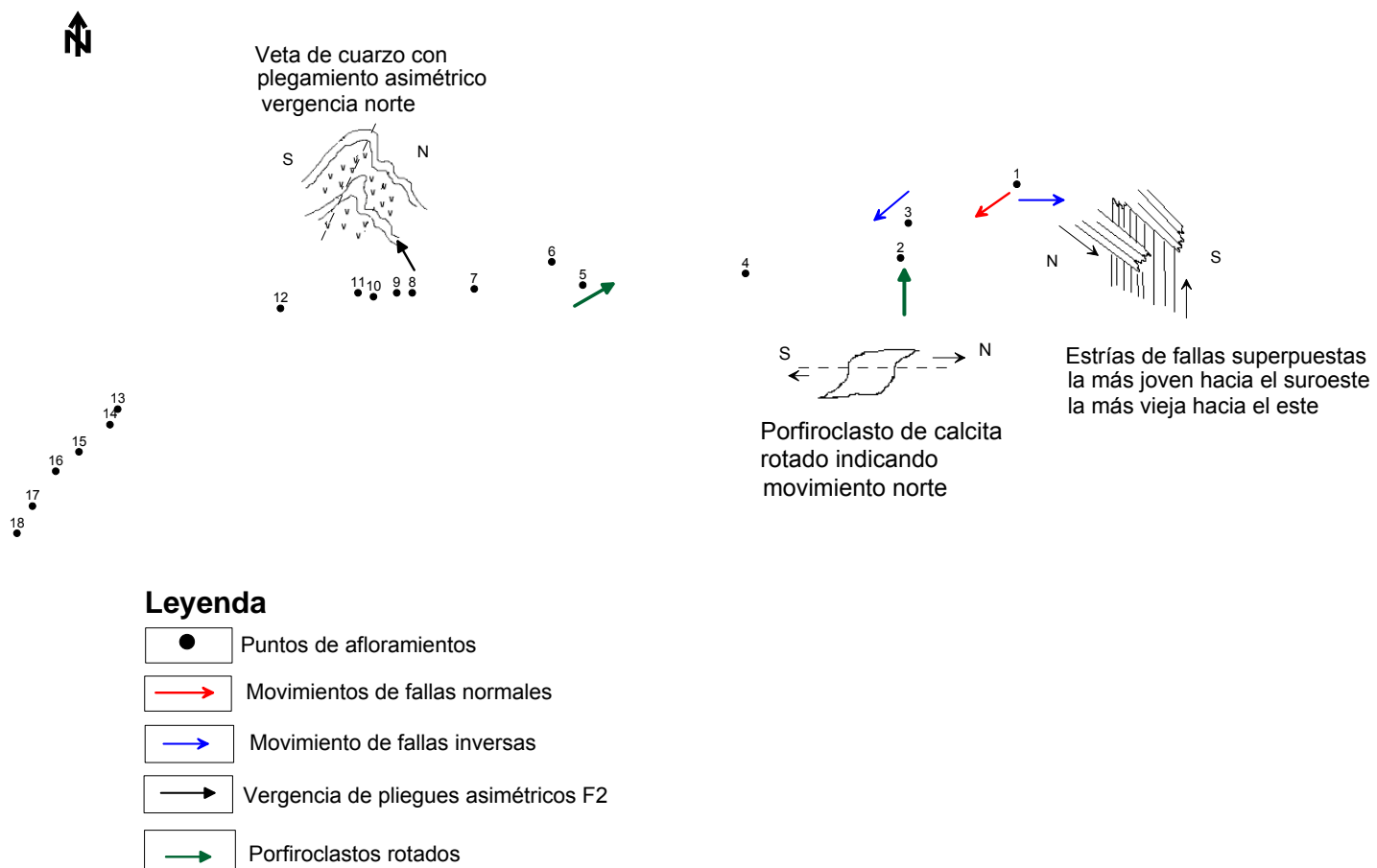


Figura 4.23. Mapa general de movimientos del perfil Sierrita-Gavilanes

CAPÍTULO V "PETROLOGÍA Y ANÁLISIS MICROTECTÓNICO"

5.1 Microestructuras y mecanismos de deformación

5.2 Perfil Cafetal-Gavilanes

5.2.1 Metacarbonatos

5.2.2 Metavulcanógenos

5.2.3 Indicadores cinemáticos

5.3 Perfil Yaguanabo arriba- Playa Yaguanabo

5.3.1 Metacarbonatos

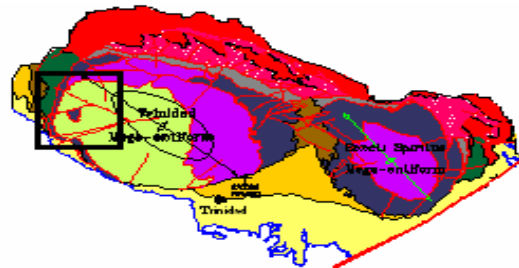
5.3.2 Metavulcanógenos

5.3.3 Indicadores cinemáticos

5.4 Estimación de temperaturas de deformación

5.5 Metamorfismo

5.6 Análisis de los datos



A continuación se relacionan algunas abreviaturas (Bucher y Frey, 1994) que han sido utilizadas en la descripción de este capítulo:

Act	Actinolita
An	Anfiboles
Atg	Antigorita
Cal	Calcita
Chl	Clorita
Cpx	Clinopiroxenos
Ep	Epidota
E	Titanita (esfena)
Hbl	Hornblenda
Ms	Moscovita
Q	Cuarzo
Tls	Talco
Zo	Zoisita
Pl	Plagioclasa

Además de estas abreviaturas en este capítulo aparecen:

S	Esquistosidad
D	Deformación
Pp	Sección cortada perpendicular a la esquistosidad principal
P	Sección cortada paralela a la esquistosidad principal
N	Norte

Las secciones delgadas analizadas en este capítulo han sido cortadas perpendicular y paralelas a la esquistosidad principal. Las secciones perpendiculares permiten hacer análisis de las microestructuras, para determinar sentido de movimiento en zonas de shear porque en esta dirección los minerales presentan simetría monoclinica.

5.1 Microestructuras y mecanismos de deformación

A continuación se define la terminología empleada en el presente capítulo. El estudio de las microfábricas fue realizado en el Laboratorio de petrología del departamento de Geología de la universidad de Pinar del Río.

Las microfábricas comprenden dos rasgos característicos en las rocas:

Microestructura (*Microstructure*): que se interpreta como la forma y orientación de todos los rasgos observables con el microscopio óptico o electrónico.

Textura (*Texture*): es la orientación preferencial cristalográfica, (LPO) de un agregado cristalino. Esta terminología es compatible con el lenguaje común utilizado en la geología estructural moderna y literatura a fin con la ciencia de los materiales. El uso de ésta terminología en la literatura es aún confuso.

Mecanismos de deformación: La deformación de las rocas es influenciada por diversos procesos ocurridos a escala granométrica, los cuales dependen de factores externos tales como presión, temperatura y el diferencial de esfuerzo. Por otro lado ésta es también controlada por factores litológicos como la composición mineralógica de la roca, el contenido y composición de las fases fluidas presentes.

Los mecanismos de deformación se definen como procesos elementales, los cuales son responsables de la deformación de cuerpos rígidos cristalinos, ellos son ***deformación intracristalina (intracrystalline deformation), maclado (twinning), recristalización dinámica (dynamic recrystallisation)***.

Deformación intracristalina (intracrystalline deformation): Los cristales normalmente tienen defectos internos en su red cristalina (vacantes). Las transformaciones en la forma pueden ser logradas por cambios en la posición relativa de las moléculas o átomos, es ocasionado por movimientos a través de los planos defectuosos del cristal, como resultado de este proceso el cristal no

puede extinguirse homogéneamente (extinción ondulatoria) o presenta maclado.

Maclado (twinning): El maclado opera en una dirección cristalográfica específica asociado a rangos bajos de temperaturas y presiones. Constituye una deformación intracristalina en los cristales minerales.

Recristalización dinámica (dynamic recrystallisation): Existen dos características microestructurales que pueden distinguirla: recristalización del grano parcialmente o completamente. En la recristalización parcial coexisten granos de diferentes tamaños, con agregados de granos pequeños entre granos de tamaño más grande que presentan extinción ondulatoria, de tal forma que los nuevos granos formados de tamaño pequeño es debido a procesos de recristalización dinámica.

Foliaciones: Preferente orientación de los minerales en la roca. Según la distribución de los elementos en ella se definen dos tipos de foliaciones espaciada y continua.

Foliación espaciada: Consiste en dos tipos de dominio, dominio de clivage (cleavage domain) y microlitones (microlithons).

Zonas de movimiento (Shear zone): Las deformaciones en estas zonas causan desarrollo de estructuras características y grupos minerales que reflejan condiciones de presión y temperatura específicas y cuya fábrica indica sentido de desplazamiento en la zona. Son muy importantes en dar información para la historia geológica.

Milonitas: Es una roca foliada y lineada que muestra evidencia de deformaciones dúctiles y normalmente contiene elemento de fábricas con simetría monoclinas. Es un término que se refiere solo a la estructura de la roca y no a la composición mineral.

Porfiroclastos: Son cristales simples dentro de una matriz granular fina. Constituyen estructuras relícticas de las fábricas originales que se han originado por mecanismos de deformación en la roca. Son característicos de rocas miloníticas y esquistos.

Porfidoblastos: Habilidad de los cristales de crecer más que otros en una matriz, es independiente de las deformaciones, solo responde a crecimiento de los cristales.

Foliación oblicua (oblique foliation): Desarrollo de foliaciones en direcciones diferentes dentro de la roca. Representa un buen indicador de sentido de movimiento.

Mica fish: Cristales simples de mica que tienen una forma lozenge. Muchas mica fish tiene una forma simétrica monoclinar con un lado curvado y otro planar que puede ser usado para indentificar sentido de movimiento. (Foto 5.1)

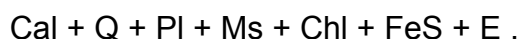
5.2 Perfil Cafetal-Gavilanes

5.2.1 Metacarbonatos

Están representados por mármoles, esquistos carbonatados y milonitas carbonatadas, son rocas que presentan en su composición mineral fundamentalmente, calcita.

Mármoles

Los mármoles presentan textura granoblástica con una paragénesis mineral de:



La calcita presenta un contacto de tipo suturado asociado a bordes de grano de ángulos obtusos y la disminución del tamaño del grano como resultado de procesos de recrystalización dinámica. Se observan además sistemas de maclas que según las características microscópicas se identifican tres tipos de estas, de acuerdo a la clasificación de Burkhard (1993). Un primer tipo de macla (tipo I) se caracteriza por ser muy finas, rectas, racionales, con 2 o 3 set por grano. Maclas definidas como de tipo II un poco más gruesas que la de tipo I, rectas y muchas culminan antes del límite del grano. Las maclas de tipo III se presentan curvas y macladas (twining-twin) muy gruesas e irracionales (Foto 5. 10). También existe extinción ondulatoria en los granos.

El cuarzo se presenta en menor por ciento. Se produce una disminución del tamaño del grano, unidos unos con otros a consecuencia de procesos de recrystalización dinámica. También presenta extinción ondulatoria en los pequeños granos.

Las plagioclasas se presenta en aglomerados granulares, con granos lobulares de tamaño pequeño. Presenta extinción ondulatoria. Estas se encuentran muy alteradas y sufren proceso de carbonatización.

La moscovita tiene forma prismática en cristales orientados, de tamaño pequeño. Los granos de mica sufren, fundamentalmente, procesos de fracturación mecánica, aunque también presenta extinción ondulatoria.

Se distingue, en las secciones delgadas, sólo una fase de deformación según los análisis microtectónicos. Esta deformación D₁ es caracterizada por tener asociado minerales como: la calcita, cuarzo, plagioclasas y micas (Tabla 5.2).

Esquistos carbonatados

Los esquistos presentan una paragénesis mineral:



Los granos de calcita se encuentran elongados en el sentido de la esquistosidad principal conjuntamente con cristales de mica, creando una textura grano-lepidoblástica en la roca. En los esquistos rige un sistema de esquistosidad espaciada, donde las bandas en el "cleavage domain" son fundamentalmente de mica moscovita la cual tiene forma prismática con exfoliación perfecta en una dirección (Foto 5.14), se encuentra moteada en muchas ocasiones y presenta extinción ondulatoria. Asociado a la misma banda se encuentran minerales como la clorita y minerales opacos que aprovechan los planos de esquistosidad para alojarse. Las bandas de microlitones están representadas por granos de calcita maclados (Foto 5.14). La maclas de calcita son de tipo I y II, también este mineral presenta extinción ondulatoria. En los microlitones se encuentran minerales como el cuarzo, la zoisita, y anfíboles los cuales tienen extinción ondulatoria.

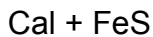
Se pudieron definir tres fases de deformación en este tipo de roca. La primera fase de deformación D_1 desarrollada en un ambiente dúctil se le asocian minerales como el cuarzo con extinción ondulatoria, calcita en granos grandes y maclados, además de mica con cristales fuertemente orientados asociados a una esquistosidad S_1 . La segunda fase de deformación D_2 se acentúa el carácter dúctil de la deformación y aparecen típicas fábricas de subgranos de cuarzo por procesos de recrystalización dinámica los cuales presentan extinción ondulatoria, también la calcita presenta procesos de recrystalización dinámica y las micas desarrollan formas de mica-fish (Foto 5.1). La deformación D_3 se caracteriza por desarrollar fábricas distintivas de un ambiente frágil como son grietas rellenas de calcita, procesos de fracturación en las micas. (Foto 5.11). Para una mayor comprensión de los minerales que intervienen en las fases de deformación ver Tabla 5.2.

La esquistosidad S_1 viene dada por calcita, anfíboles, cuarzo y mica, la cual fue deformada en un ambiente dúctil formando pliegues isoclinales en cuyos flancos se asocian minerales como la calcita, anfíboles y cuarzo. El plegamiento de S_1 produce diferencia en la orientación de los elementos planares, esto mejora la disolución preferencial en los limbos de los pliegues que da lugar a la nueva dirección S_2 . Consecuentemente a este proceso, la S_2

es paralela a la esquistosidad principal. La S_2 es definida principalmente por mica, asociada a ella se encuentran minerales como la calcita, zoisita y anfíboles.

Milonitas carbonatadas

Es una roca formada en un ambiente dúctil. Su composición mineral está dada por:



La calcita se presenta en granos grandes bien recrystalizados con maclas de tipo III (caracterizada en los mármoles) y IV, todas ellas están deformadas, son irracionales y de bordes irregulares, además este mineral presenta extinción ondulatoria. La roca tiene un carácter dual en su textura (Foto 4.16), exhibiendo una textura granoblástica en una porción determinada de la roca, la cual cambia bruscamente a una textura milonítica (Foto 5.16b) con una matriz carbonatada presentando cristales grandes de minerales metálicos (Fotos 5.4 a 5.9). Este cambio tan brusco en la calcita es debido a que esta sufre proceso de recrystalización dinámica. La sección que presenta textura granoblástica posee una composición mineralógica compuesta por:



El *cuarzo* se encuentra en pocas proporciones, los granos son de bordes irregulares presenta recrystalización dinámica y extinción ondulatoria.

Minerales metálicos: Se presentan en secciones cúbicas, muchas veces ocupando espacios de fragilidad.

La *moscovita* aparece en cristales prismáticos con exfoliación perfecta en una dirección, presenta extinción ondulatoria.

El análisis microtectónico determinó que existen tres fases de deformación en las rocas. Una primera deformación D_1 controlada por un régimen dúctil donde los minerales como el cuarzo presenta extinción ondulatoria, la mica moscovita se orienta fuertemente en una dirección preferente (N-S) y las maclas de calcita son de tipo III y IV. Dentro de este mismo régimen las deformaciones se hacen mucho más fuertes pasando a un período de deformación D_2 , donde la calcita sufre un proceso de recrystalización dinámica y se desarrollan sombras de presión en los minerales metálicos (Fotos 5.4 a 5.9) y se rotan porfiroclastos en la matriz. Los minerales metálicos con sombras de presión actúan como cuerpos rígidos dentro del flujo plástico. Ellos bajo dichas condiciones desarrollan a su alrededor espacios vacíos que son ocupados por cuarzo y calcita, fundamentalmente. En ocasiones los porfiroclastos no desarrollan sombras de presión, sino que se rotan dentro de la matriz. La deformación D_3 está dada por un ambiente frágil en el cual se desarrollaron grietas que fueron rellenadas por calcita en un proceso tardío (Foto 5.17) (Tabla 5.2)

5.2.2 Metavulcanógenos

Esquistos

Están dados por una paragénesis mineral

Act + Ep + Pl + Zo + minerales opacos + restos Cpx + Cal.

(Es muy probable que este tipo de roca halla sido originada por una roca magmática básica de acuerdo a su composición mineralógica).

Estas rocas presentan una granulometría muy fina con textura lepidonematoblástica. La *epidota* se presenta en agregados columnares muy finos, los cristales tienen extinción ondulatoria, y se presenta como producto de Cpx alterados tomando la forma prismática del antiguo mineral. La actinolita se encuentra muy alterada con forma prismática y extinción ondulatoria (Foto 5.15). La *zoisita* y las *plagioclasas* también tienen extinción ondulatoria. Esta

forma de extinción ondulatoria que se produce en los minerales es debido a una deformación intracristalina bajo condiciones de bajo grado de metamorfismo.

Por los análisis realizados en este tipo de roca se observó una fase de deformación D_1 a la cual se asocia una esquistosidad S_1 . Los minerales que se orientan según S_1 son la epidota, zoisita, anfíboles, restos de Cpx y Pg. (Tabla 5.2).

De forma general cada tipo de roca en el perfil presenta sus características mineralógicas (Tabla 5.1) y fábricas de estructuras que identifican la fase de deformación y ambientes de formación en los cuales se originaron.

ROCAS	PARAGÉNESIS MINERAL
Mármoles	Cal + Q + Pl + Ms + Chl + FeS + E
Esquistos carbonatados	Cal + Q + FeS + Ms + Pl + Chl + Zo
Milonita carbonatada	Cal + Ms + FeS + Q + Chl
Esquistos	Ep + An + Pl + Zo + Cpx + Cal + FeS

Tabla 5.1. Resumen de la paragénesis mineral de las rocas en el perfil Cafetal-Gavilanes

MINERALES	FASES DE DEFORMACIÓN		
	D1	D2	D3
Calcita			
Cuarzo			
Plagioclasa			
Moscovita			
Pirita			
Anfibol			
Clinopiroxeno			
Zoisita			
Epidota			
Clorita			
Esfena			

Tabla resumen de los minerales por fase de deformación

Tabla 5. 2. Minerales por fase de deformación del perfil Cafetal-Gavilanes.

5.2.4 Indicadores cinemáticos

En todos los casos para el análisis de las microestructuras en las secciones delgadas, el tope de la muestra está hacia arriba de la foto.

Los indicadores cinemáticos fundamentales de zonas de shear en las muestras analizadas en este perfil son: mica-fish, procesos de imbricación de micas (tilting) y sombras de presión (pressure fringes) en minerales metálicos.

Sombras de presión (pressure fringes)

Los minerales involucrados en este tipo de eventos son: sulfuros (cubos de pirita) y la zoisita. El análisis microtectónico indica direcciones de movimiento al **norte** y al **sur** (Fotos 5.3 a 5.9), predominando los movimientos al Sur.

Mica fish

Otra manera de reaccionar las micas a los cambios deformativos es desarrollando estructuras de mica fish en una matriz e indicando la forma

lozenge que ellas toman, el sentido del movimiento en la zona de shear. Los mica fishs en la sección indican movimiento **este** (Foto 5.13).

Los movimientos que más se desarrollan en este perfil son en sentido **sur** y de manera más discretas los que indican movimiento norte y este. Es posible que los movimientos más desarrollados hayan solapado un antiguo desplazamiento sur.

Imbricación de micas (tilting)

Las micas reaccionan ante la deformación fracturándose y tumbándose unas sobre las otras indicando el sentido de dirección de los esfuerzos máximos hacia el **norte** mediante un proceso que se llama imbricación (tilting) (Foto 5.12).

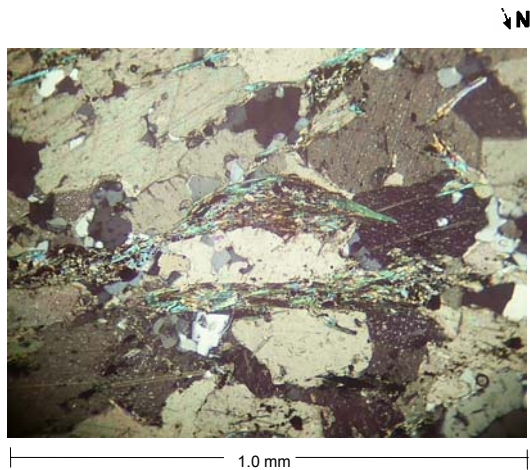


Foto 5.1

Muestra: CG-1(pp) Tomada con un objetivo de 10x10. Esquisto carbonatado representando la moscovita formando mica fish, proceso que se desarrolla en zona de shear.

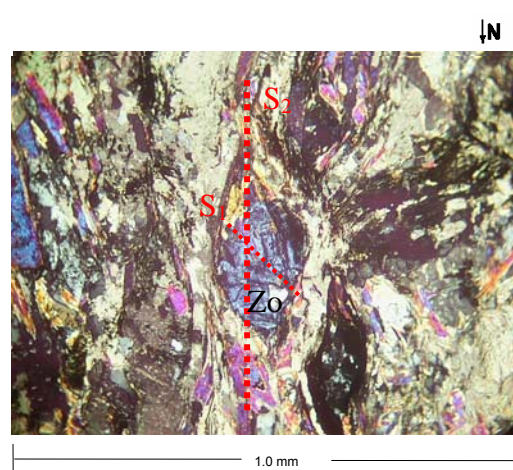


Foto 5.2

Muestra: CG-10 (pp) Tomada con un objetivo de 10x10. Esquisto carbonatado donde el material carbonatado y micas engloban a un cristal de zoisita con inclusiones de mica conservando una antigua esquistosidad S_1 . Las micas que engloban el cristal desarrollan una nueva esquistosidad S_2 con dirección N-S.

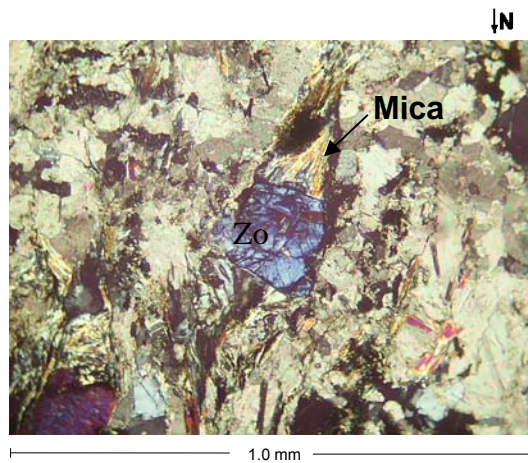


Foto 5.3

Muestra: CG-10 (pp) Tomada con un objetivo de 10x10. Cristal de zoisita en esquistos carbonatados con inclusiones de mineral, desarrollando sombras de presión (strain shadow). Las sombras de presión están rellenas de mica.

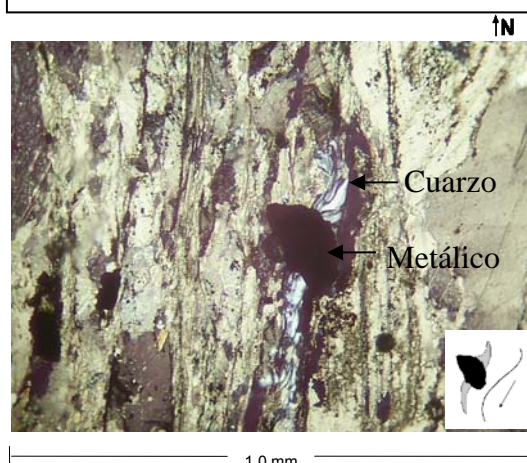


Foto 5.4

Muestra: CG-7(pp) Tomada con un objetivo de 10x10. Esquisto carbonatado que transiciona a milonita muestra mineral metálico que se comporta rigidamente en el flujo dinámico y desarrolla pressure fringes rellenas de cuarzo indicando zona de shear con movimiento **Sur**

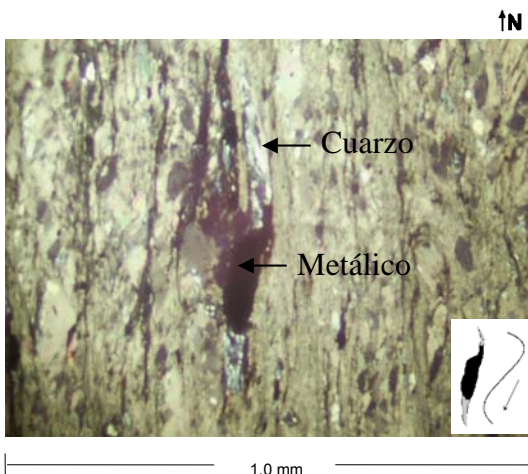


Foto 5.5

Muestra: CG-7(pp) Tomada con un objetivo de 10x10. Esquisto carbonatado que transiciona a milonita muestra mineral metálico que se comporta rigidamente en el flujo dinámico y desarrolla pressure fringes rellenas de cuarzo indicando zona de shear con movimiento **Sur**

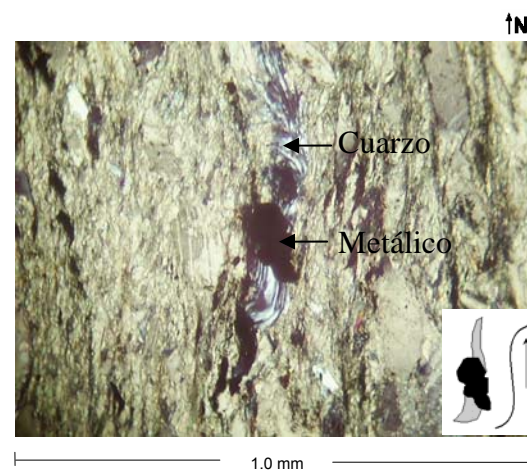


Foto 5.6

Muestra: CG-7(pp) Tomada con un objetivo de 10x10. En esquisto carbonatado que transiciona a milonita. Se observa mineral metálico que se comporta rigidamente en el flujo dinámico y desarrolla pressure fringes indicando zona de shear con movimiento **NORTE**

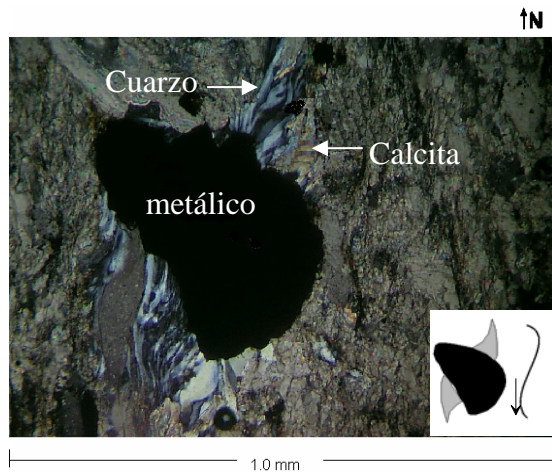


Foto 5.7
Muestra: CG-7(pp) Tomada con un objetivo de 10x10. En esquistos carbonatados que transicionan a milonita. Muestra un mineral metálico que se comporta rígidamente en el flujo dinámico y desarrolla pressure fringes rellenas de cuarzo y calcita indicando zona de shear con movimiento **Sur**

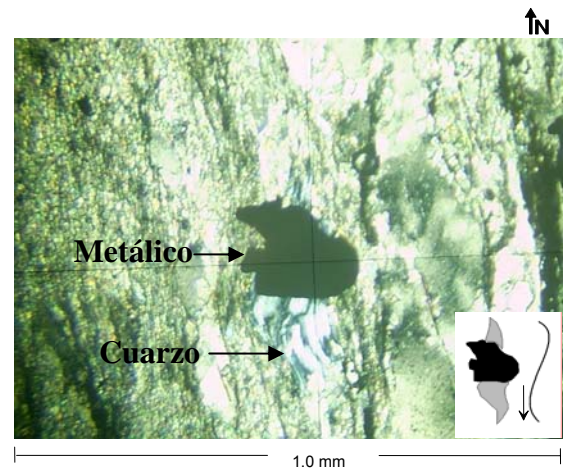


Foto 5.8
Muestra: CG-7(pp) Tomada con un objetivo de 10x10. En esquistos carbonatados que transicionan a milonita muestra mineral opaco que se comporta rígidamente en el flujo dinámico y desarrolla pressure fringes indicando zona de shear con movimiento **Sur**

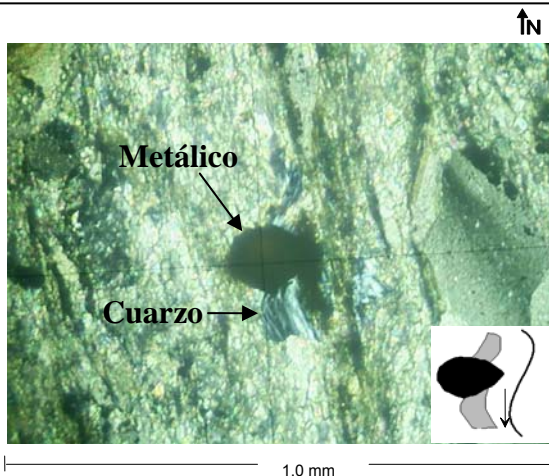


Foto 5.9
Muestra: CG-7(pp) Tomada con un objetivo de 10x10. En esquistos carbonatados que transicionan a milonita muestra mineral metálico que se comporta rígidamente en el flujo dinámico y desarrolla pressure fringes indicando zona de shear con movimiento **Sur**.

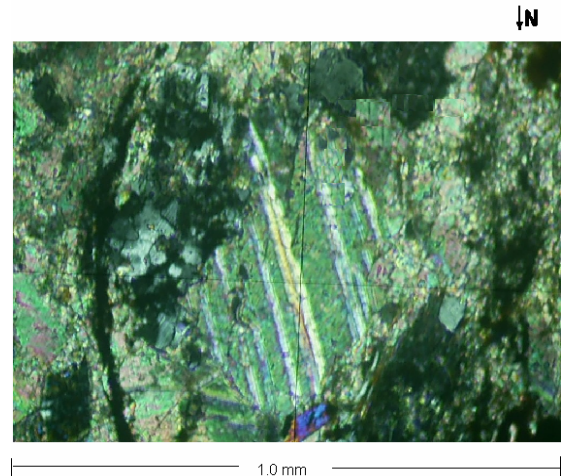


Foto 5.10
Muestra: CG-10 (pp) Tomada con objetivo de 10x10. Maclas en la calcita de tipo III formadas aproximadamente temperaturas de 250°C

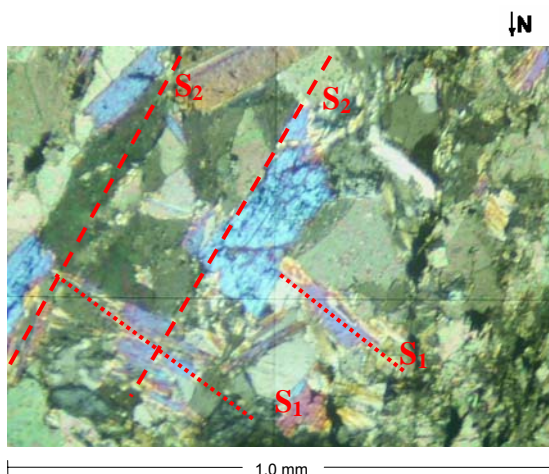


Foto 5.11
Muestra: CG-10 (pp) Tomada con objetivo 10x10 esquistos carbonatados micáceos. Micas que sufren procesos de fracturación, donde definen dos direcciones de esquistosidad, esquistosidad S_1 con dirección SE-NW y S_2 con dirección SW-NE.

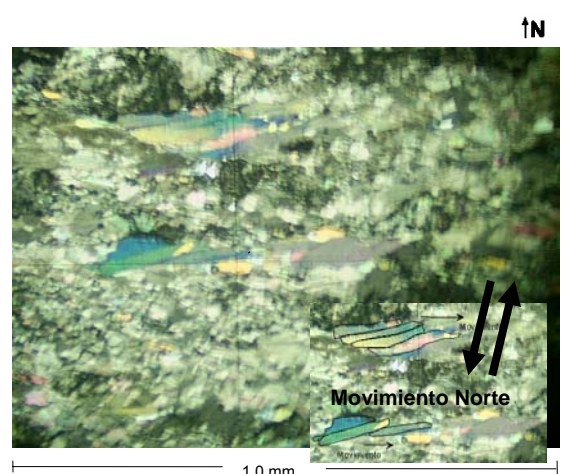


Foto 5.12
Muestra: CG-12 (pp) Tomada con un objetivo de 10x10. Esquistos carbonatados donde se desarrolla un proceso de imbrication en las micas característico en zona de shear con movimiento **Este**

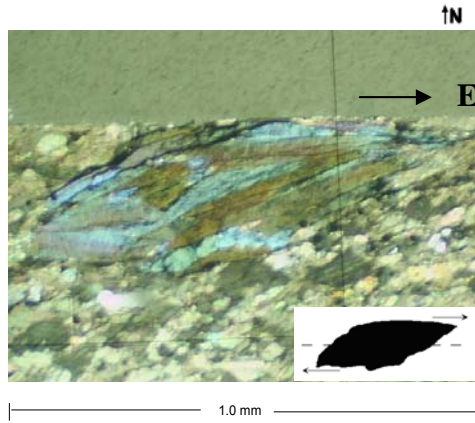


Foto 5.13
Muestra: CG-12 (pp). Tomada con un objetivo de 10x10. Esquisto carbonatado donde se desarrolla un proceso de mica fish en mica moscovita, indicando movimiento **Este**

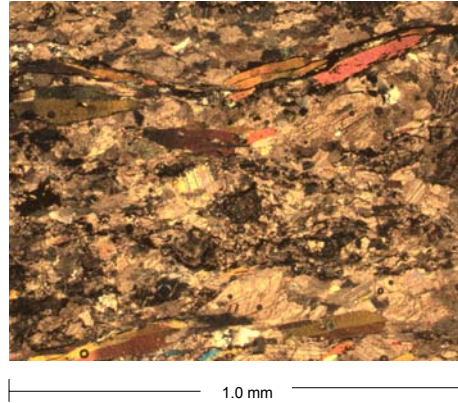


Foto 5.14
Muestra CG-12. Esquisto carbonatado con esquistosidad espacada, el dominio del clivage determinado por cristales de mica los microlitones por la calcita.

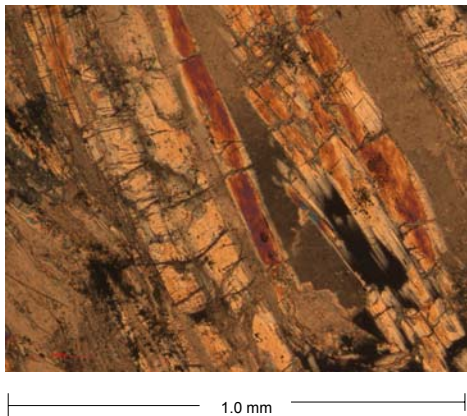


Foto 5.15
Muestra: CG-12. Esquisto con presencia de anfíboles, donde se produce un proceso de alteración de la actinolita a cristales de talco.

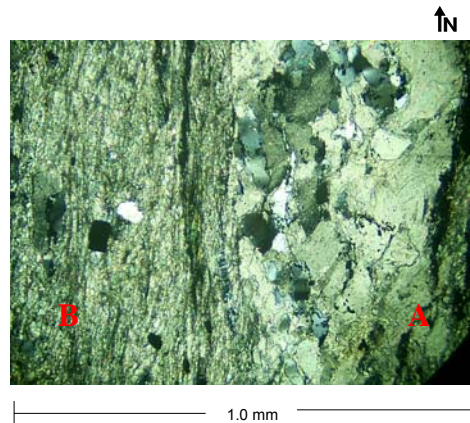


Foto 5.16
Muestra CG-7 (pp). Tomada con un objetivo de 10x10. Transición de un esquisto a una milonita carbonatada.
A) Textura granoblástica
B) Textura milonítica.

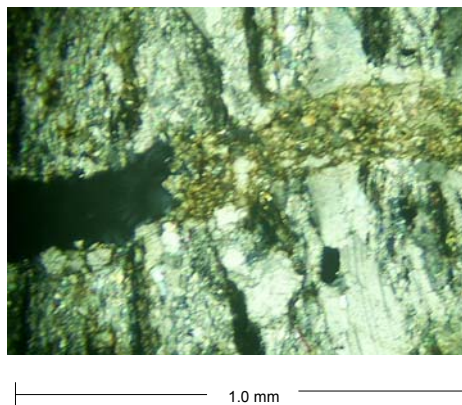


Foto 5.17
Muestra: CG-7(pp). Esquisto carbonatado con Grieta rellena de calcita perteneciente a una fase D₃.

5.3 Perfil PlayaYaguanabo- Yaguanabo Arriba

5.3.1 Metacarbonatos

Mármoles foliados

Los mármoles presentan textura foliada, con fábricas que forman ángulos aproximados de 120^0 entre los límites de los granos de la calcita. La paragénesis mineral presente es:

Cal + Q + Ms + FeS + material carbonoso. (Tabla 5.3).

La calcita presenta deformación por maclado, proceso que cobra gran importancia en condiciones de bajo grado de metamorfismo (Passchier y Trouw, 1996). Según la clasificación dada por Burkhard en 1993, en las muestras se aprecian tres tipos de maclas en la calcita. Existen maclas finas, rectas, racionales que van de borde a borde del cristal hasta dos set por grano definidas por maclas de tipo I (Foto 5.22). También existen maclas con las mismas características lo que mucho más gruesas clasificadas como de tipo II. El tercer tipo de maclas (tipo III) se caracterizan por ser curvas, irracionales, presentan hasta dos set por grano. Además de su deformación por maclas, la calcita presenta deformación intracrystalina observándose como resultado una extinción heterogénea en el cristal, efecto conocido como extinción ondulatoria.

El cuarzo se presenta en pequeñas proporciones. Los granos son anhédricos, pequeños, los cuales forman agregados, aparecen dispersos o rellenando grietas. Presentan extinción ondulatoria debido a procesos de deformación intracrystalina.

La moscovita se presenta de forma prismática con cristales dispersos. Esta presenta extinción ondulatoria por procesos de deformación intracrystalina.

En los estudios microestructurales se definieron dos fases de deformación. A la primera fase D_1 se asocian minerales como la calcita, la

moscovita, el cuarzo y material carbonoso. Estos minerales se deforman en condiciones de bajo grado de metamorfismo. En esta deformación la moscovita define una esquistosidad S_1 en sentido NW-SE. La segunda fase de deformación D_2 se caracteriza por una esquistosidad S_2 en sentido SW-NE, definida por cristales de moscovita. En esta fase se desarrolla recristalización tardía de cristales de calcita rellenando grietas. (Tabla 5.4).

Brecha tectónica

Estas rocas se presentan en la zona de contacto entre el complejo del Escambray y el arco volcánico Cretácico (Figura 4.12). Las brechas presentan textura porfiroclástica. Está constituida por una matriz carbonatada y fragmentos de roca de ambos complejos, estos fragmentos lo componen varios tipos de litología como son esquistos, mármoles y calizas. Estas rocas demuestran el carácter tectónico del contacto entre las rocas del Escambray y el arco volcánico Cretácico.

La matriz la compone un material carbonatado fino de color pardo oscuro que presenta extinción ondulatoria. Los clastos están representados por esquistos carbonatados micáceos y esquistos cuarzo-micáceos. Los minerales que componen los fragmentos de rocas están deformados, observándose extinción ondulatoria en ellos. También existen fragmentos de mármoles foliados con mica moscovita, además fragmentos de rocas, al parecer calizas, pues en su composición mineralógica solo está la calcita, de grano muy fino, sin maclas. (Tabla 5.3).

La brecha presenta contacto tectónico con un esquisto cuarzo-moscovítico. En el contacto que se establece entre estas dos litologías aparece la calcita con maclas de tipo I, rellenando el plano de ruptura.

5.3.2 Metavulcanógenos

Los metavulcanógenos están representados por esquistos actinolíticos talcosos con textura lepidoblástica caracterizado por una esquistosidad

espaciada. El dominio del clivaje (cleavage domine) contiene fábricas de elementos subparalelos-paralelos a la dirección de la esquistosidad. Usualmente los dominios son ricos en minerales del grupo de los anfíboles (Act + Hbl), además del talco. La existencia de estos anfíboles (horblenda) en esta roca es debido a relictos de rocas magmáticas de las cuales fueron originadas. Los microlitones (microlithons) están representados por minerales serpentiniticos y anfíboles.

La paragénesis de estos esquistos es

Act + Hbl + Tlc+ Atg. (Tabla 3).

La *actinolita* se presenta en secciones rómbicas y prismáticas con extinción ondulatoria y cristales maclados. La *hornblenda* también se presenta en secciones rómbicas y prismáticas con extinción ondulatoria. Los anfíboles se encuentran alterados a talco y antigorita. Los cristales de *talco* son de forma acicular con extinción ondulatoria. La *antigorita* se encuentra en agregados fibrosos lamelar dentro de la esquistosidad crenulada como cuerpo independiente, también con extinción ondulatoria.

Los estudios microtectónicos permiten distinguir tres fases de deformación a las cuales están asociadas las esquistosidades (S). La esquistosidad S_1 con sentido NE- SW definida por folias de talco y minerales anfíbolíticos alterados. La esquistosidad S_2 es subparalela a S_1 formando entre ellas ángulos menores o igual a 45° , definida por talco (Fotos 5.18 a 5.20). Esta se produce debido a la crenulación de la esquistosidad principal S_1 . En zonas muy localizadas la S_2 se encuentra crenulada definiéndose una tercera esquistosidad S_3 por minerales de talco. El talco y la serpentina aparecen en esta roca debido a procesos de alteración por metamorfismo de bajo grado. Asociada a estos minerales en la fase de deformación D_1 se encuentran cristales relícticos de Horblenda. (Tabla 5.4)

Esquistos cloríticos

En el punto 22 aparecen esquistos cloríticos con abundantes plagioclasas (Sección delgada YG 22, apéndice 1). Las plagioclasas pertenecen a la roca magmática que le dió origen. Las mismas se encuentran englobadas y rotadas como porfiroclastos dentro de la esquistosidad principal S_1 compuesta por clorita (Foto 5.21). La composición mineralógica de esta roca es:

Pl + Chl + restos de Px

La textura de la roca es porfiro-lepidoblástica donde los minerales presentan extinción ondulatoria y las plagioclasas en especial se deforman también por maclado.

Se determinó una sola fase de deformación D_1 la cual está representada fundamentalmente por la clorita, plagioclasas y piroxenos.

ROCA	PARAGÉNESIS MINERAL
Esquistos actinolíticos talcosos	Act + Hbl + Tlc + Atg
Esquistos cloríticos	Pl + Chl + restos de Px
Mármoles foliados	Cal + Q + Ms + materia carbonosa
Brecha tectónica	Cal + fragmentos de roca + materia carbonosa

Tabla 5.3. Resumen de la paragénesis mineral de las rocas en Yaguanabo

MINERALES	FASES DE DEFORMACIÓN		
	D1	D2	D3
Calcita			
Cuarzo			
Moscovita			
Actinolita			
Hornblenda			
Antigorita			
Talco			
min. metalicos			
Piroxeno			
Clorita			
Plagioclasas			

Tabla resumen de minerales por fase de deformación

Tabla 5.4. Minerales por fase de deformación del perfil Yaguanabo arriba-Playa Yaguanabo.

5.3.3 Indicadores cinemáticos

Los indicadores cinemáticos presentes son pliegues asimétricos vergentes y foliación oblicua.

Pliegues asimétricos

Minerales como el talco y los anfíboles que se encuentran asociados a la esquistosidad S_1 bajo condiciones inestables se deforman desarrollando pliegues asimétricos de crenulación que indican una vergencia de movimiento este (Fotos 5.18 y 5.19).

Foliación oblicua

La foliación principal S_1 desarrollada por anfíboles alterados se deforma flexionándose provocado por movimientos al norte.

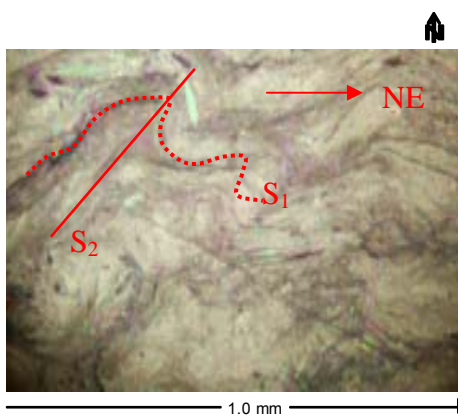


Foto 5.18
Muestra: YG-20 (pp)
Pliegues de crenulación asimétricos definiendo una nueva esquistosidad S_2 y una posible esquistosidad S_3 . Los pliegues asimétricos indican una vergencia **Nor-Este**.

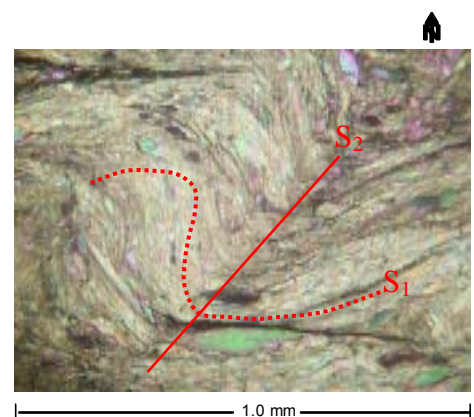


Foto 5.19
Muestra: YG-20 (pp). Pliegue asimétrico sinforma con vergencia **Nor-Este**. Definido por talco y anfíboles. (Hbl)

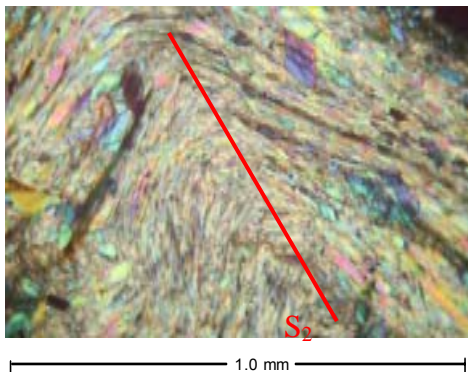


Foto 5.20
Muestra: YG-20c (pp) Pliegue definiendo una esquistosidad S_2 . Definido por talco y anfíboles (Hbl)

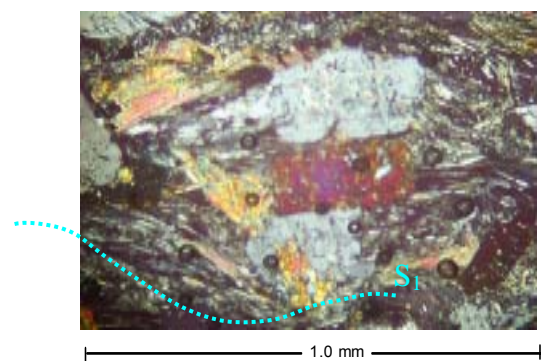


Foto 5.21
Muestra: YG-22 (p). Porfiroblastos sintectónicos de plagioclasas dentro de una matriz clorítica, la cual define una esquistosidad S_1 .

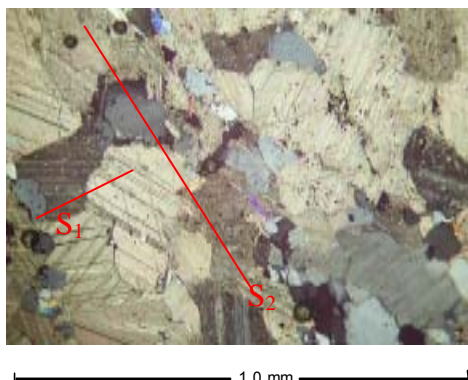


Foto 5.22
Muestra: YG-24C₁ (pp) Calcita con maclas de deformación tipo I, cuarzo con granos irregulares de diferente tamaño y cristales de mica definiendo dos esquistosidades diferentes S_1 (NE-SW) cortada por una nueva muy bien desarrollada S_2 (N-S)

Microestructuras, mecanismos y regímenes de deformación				
Calcita	Moscovita	Cuarzo	Plagioclasa	t (°C)
Maclas deformación I, II, III, IV	Fracturación mecánica	Deposición en venas	Fracturación mecánica	150 - 300
Deposición en venas	Extinción ondulatoria	Extinción ondulatoria	Extinción ondulatoria	≤ 200 ¿?
	Formación de mica fish			
Recristalización dinámica		Recristalización dinámica	Deformación por maclas	300 - 400
		Extinción ondulatoria		

Tabla 5.5 Tabla resumen de los mecanismos de deformación de los minerales indicadores de ambientes térmicos, y temperaturas de deformación en ambos perfiles.

5.4 Estimación de las temperaturas de deformación

Para establecer la temperatura a las cuales se han producido las deformaciones que afectan las rocas del área estudiada, se han utilizado minerales indicadores de ambientes térmicos específicos (temperature microgauges). Los minerales utilizados como indicadores de temperaturas de deformación son la *calcita*, *micas*, *anfíboles*, *cuarzo* y *feldespatos* (Passhier and Touw, 1996). Las temperaturas se consideran geométricas porque no son temperaturas absolutas determinadas por métodos petrológicos, sino temperaturas estimadas por la fábrica de los minerales en las secciones delgadas.

En los gráficos representados en la figura 5.23 aparecen los minerales individuales con los procesos de deformación que los afectan. En el eje de las X se representa la dureza de los minerales y en eje Y, las temperaturas correlacionadas con el grado de metamorfismo que las mismas representan. Las líneas rectas reflejan el rango en el cual los minerales tienen un comportamiento frágil, y las curvas cuando ellos pasan a un régimen dúctil.

La *calcita* presenta deformaciones por maclas lo cual ha servido para establecer mediciones geométricas de temperatura. Las maclas rectas y finas de tipo I indican temperaturas menores de 200⁰C, las que son un poco más gruesas clasificadas de tipo II indican condiciones hasta 300⁰C. Las temperaturas por encima de 200⁰C son identificadas por maclas curvas de tipo III. Existen maclas con límites irregulares de tipo IV que indican temperaturas superiores a 250⁰C (Passchier y Touw, 1996. cap 8.9). En el caso del *cuarzo*, este presenta dos mecanismos básicos que reflejan temperaturas hasta los 400°.

Las *micas* son posiblemente los minerales más resistentes a las deformaciones, deformándose solo por procesos de fracturación mecánica y extinción ondulatoria (deformación intracristalina). Las *plagioclasas* según los procesos que la afectan indican ambientes térmicos hasta los 300° (Figura 5.23).

Además de estos minerales en la zona estudiada existen también minerales como la epidota y la clorita, los cuales indican metamorfismo de baja temperatura aproximadamente entre 200-400°. Este planteamiento también es válido para el talco y la antigorita.

En el gráfico que reúne a todos los minerales estudiados se observa que la calcita es el mineral que mas rápidamente pasa de condiciones frágiles a dúctil y los mas resistentes son las micas. Las temperaturas de deformación estimadas han sido identificadas hasta un rango de 400°. Esta estimación ha sido basada en los mecanismos que han afectado a los minerales y las temperaturas a las cuales estos ocurren. También el rango ha sido definido por la ausencia de mecanismos típicos de altas temperaturas (Figura 5.23).

Según los estudios microtectónicos de las muestras analizadas, los minerales estudiados se asocian a temperaturas entre los 150-400°C. En el perfil Cafetal-Gavilanes las maclas de la calcita que se pueden apreciar son de tipo I, II, III, IV de forma tal que se evidencia un predominio de las maclas tipo III y IV cuando nos acercamos al poblado de Gavilanes, otorgándole a esta zona un considerable aumento de la temperatura que pudo haber alcanzado hasta 400°C, suponemos que este aumento de la temperatura, reflejado en el tipo de maclas que se desarrollan, pudieran estar condicionadas por la superposición de los napes de baja y de alta presión. En el perfil Yaguanabo arriba-Playa Yaguanabo las maclas son de tipo I y II lo que evidencia temperaturas estables que no sobrepasaron los 300°C, en este caso los datos han sido tomados siempre dentro de un mismo nape.

Es de destacar la importancia que tienen los metacarbonatos en la estimación de las temperaturas de deformación y el grado de metamorfismo al realizar estudio de las maclas de calcita en las secciones delgadas. Para este trabajo se han analizado un total de 600 granos de calcita con maclas.

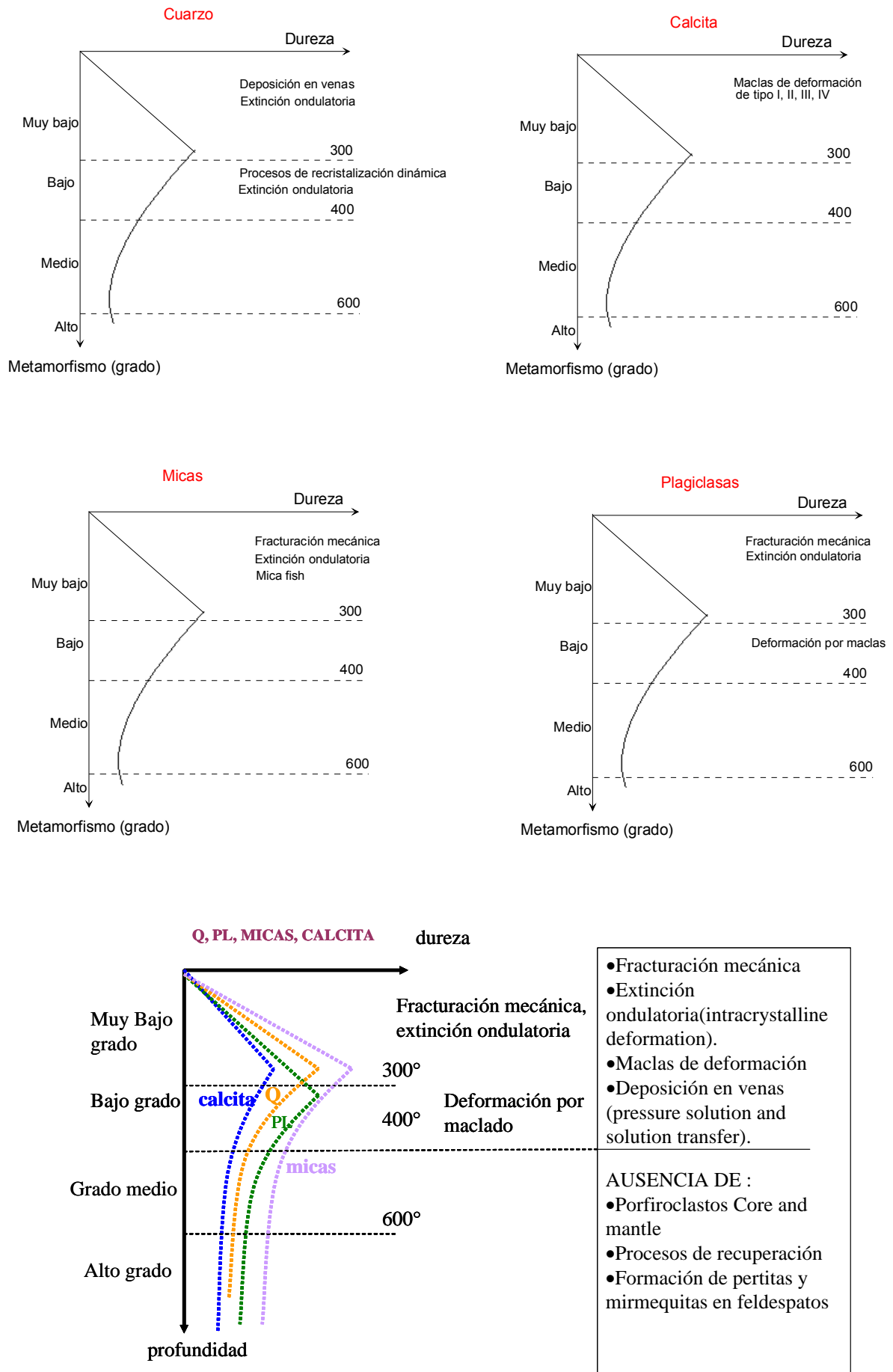


Figura 5.23 Gráficos de temperaturas geométricas de deformación de los minerales.

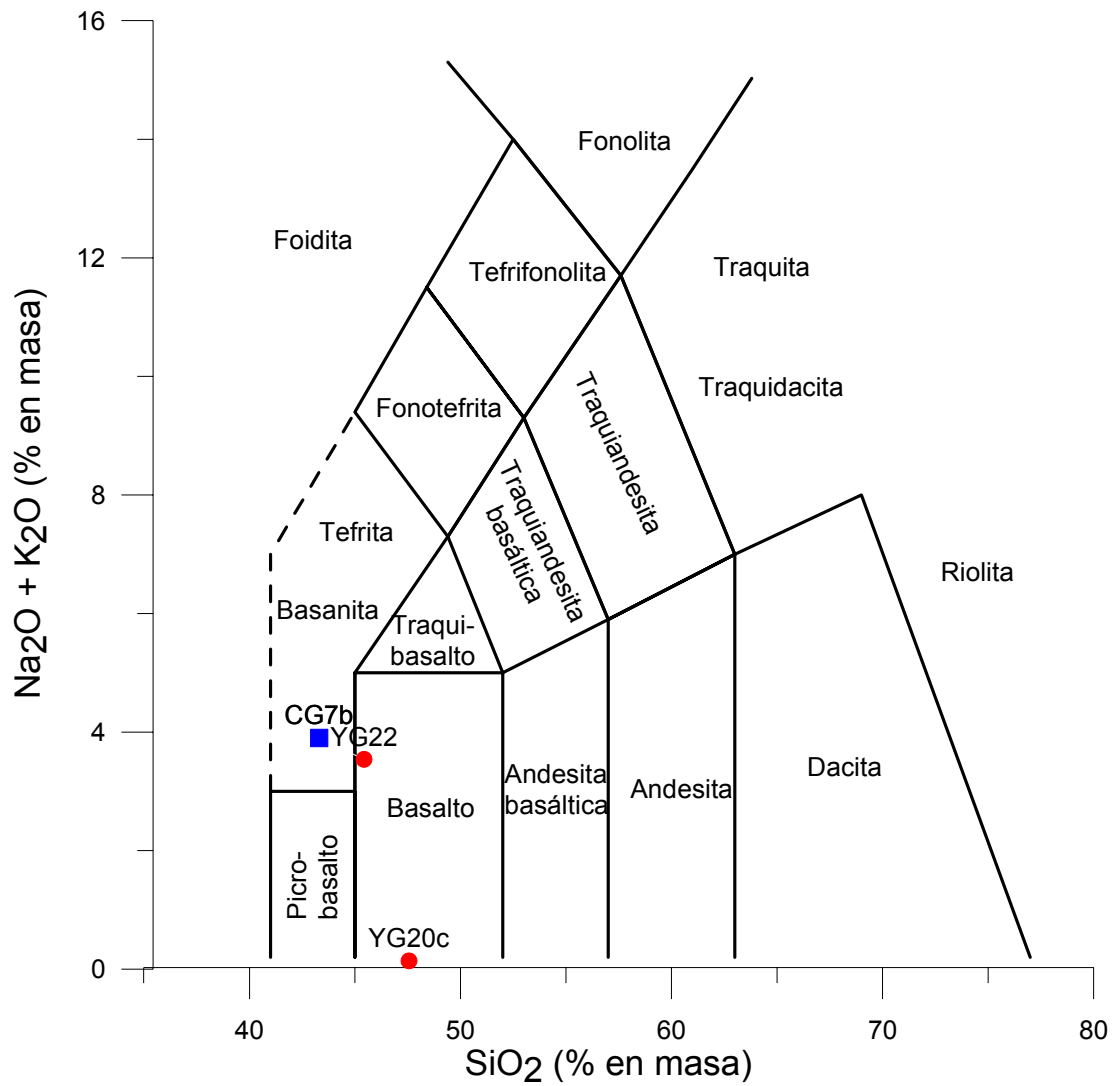
5.5 Metamorfismo

Estudios microtectónicos en secciones delgadas confirman la existencia de una correlación entre el grado metamórfico durante las deformaciones y la geometría de las microestructuras (Passchier y Touw, 1996). Según los análisis realizados se establecen temperaturas geométricas de deformación entre los 150-400°. En los gráficos correspondientes a los minerales usados en las estimaciones, se pueden observar las causas que condicionan el por que de las temperaturas hasta 400 grados y no mayores (figura 5.23).

Composición química y naturaleza de los protolitos

Se le realizaron análisis químico a seis muestras de las rocas estudiadas, tres en el perfil Yaguanabo y tres en el perfil Cafetal-Gavilanes. Del total de muestras analizadas tres pertenecen a protolitos de origen magmático. Los resultados indican tipos de rocas con composiciones diferentes. Existen muestras con un componente máfico fuerte cuyos contenidos de MgO, Fe₂O₃ y SiO₂ son elevados y tienen contenidos de K₂O bajos. El segundo grupo de muestras analizadas arrojó altísimos contenidos de CaO, minimizando por completo los contenidos de otros óxidos (Apéndice 2). La composición química de las muestras analizadas indica protolitos diferentes: volcánicos y sedimentarios, secuencia típica de un margen continental pasivo con cierto vulcanismo.

Las muestras se han ploteado en gráficos representativos para visualizar los tipos de ambientes donde se formaron los protolitos y el tipo de roca del cual provienen antes de metamorfizarse (Figuras 5.24 y 5.25). En resumen, parte de los protolitos del área estudiada provienen de basaltos y rocas ultramáficas.



● Muestras del perfil Yaguanabo

■ Muestra de Cafetal-Gavilanes

Figura 5.24. Gráfico TAS (alcali total y sílice) para protolitos de origen volcánico. Tipo de roca de donde provienen las muestras.

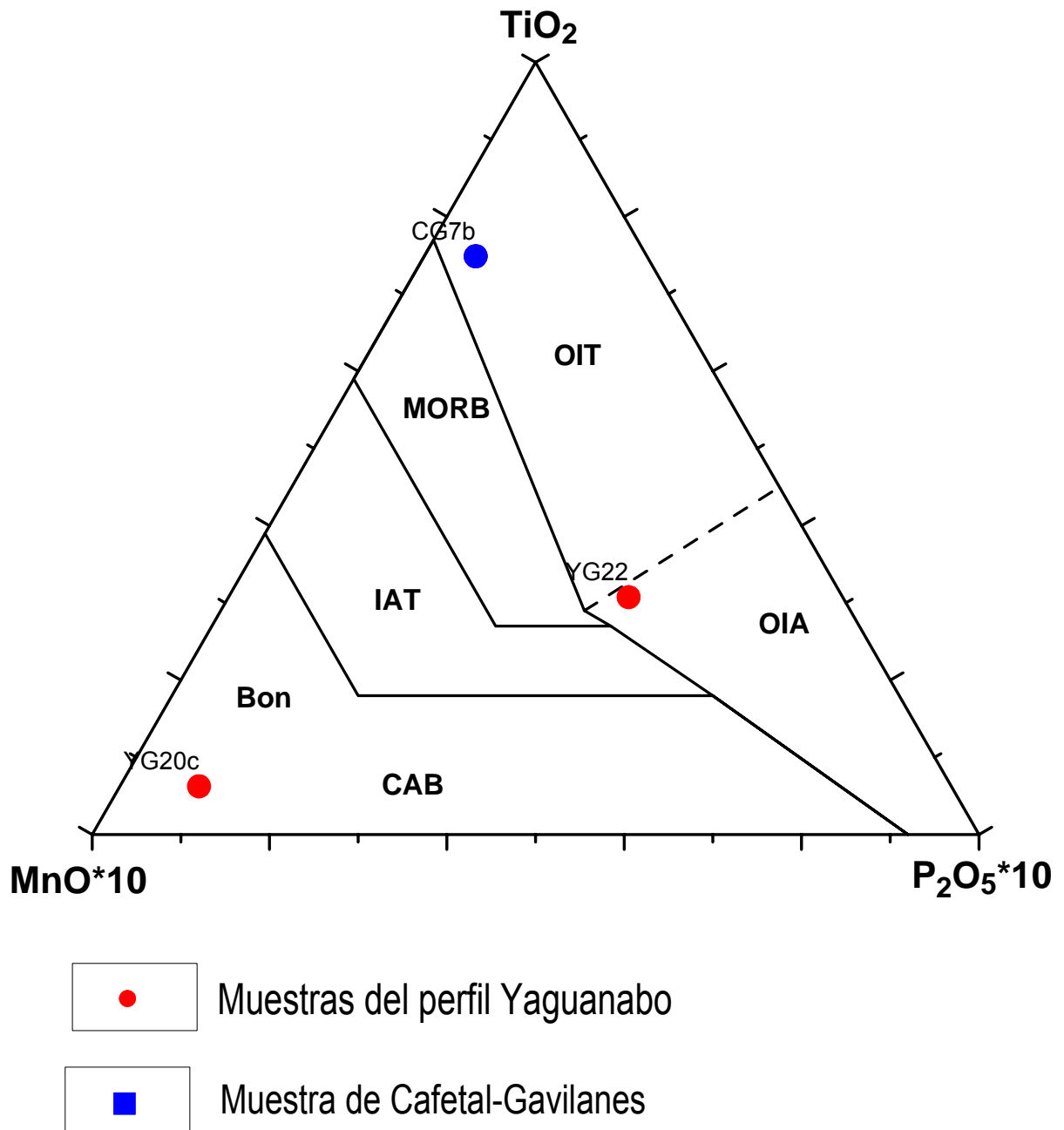


Figura 5.25. Gráfico de $\text{MnO}-\text{TiO}_2-\text{P}_2\text{O}_5$ para basaltos y basalto andesitas. Muestras de procedencia volcánica de los dos perfiles.

MORB: toleitas de cordillera centrooceánicas, **OIT:** Toleitas de islas oceánicas, **OIA:** basaltos alcalinos de islas oceánicas, **CAB:** Basaltos calcoalcalinos de arcos de islas, **IAT:** Toleitas de arcos de islas, **Bon:** boninitas.

Estudios recientes en circones detríticos provenientes del Escambray, indican un rango amplio de edades para los protolitos: Greenvillanas (1187-964-1506 ma) , Panafricanas (594 ma) y Paleozoicas (279 – 484 ma.), estas edades sugieren una posible procedencia de los protolitos del bloque Maya y Chortis de la América Central (Rojas Agramonte, Y, et al, 2005).

Análisis de facies metamórficas

La mineralogía de las rocas de los perfiles estudiados es bastante simple. El componente máfico contiene

Act + Atg + Tlc + Ep + Chl + Zo

y en el sedimentario,

Cal + Ms + Q;

estas asociaciones minerales indican *metamorfismo regional* en la facie de esquistos verdes, además también fueron analizados los mecanismos de deformación en los minerales y microestructuras asociadas, como fracturación de los cristales, extinción ondulatoria, mica fish, deposición en venas y maclas, factores los cuales indican temperaturas de deformación entre 150°- 400°C. Por tanto el metamorfismo en el área es de bajo grado, formado bajo temperaturas que no sobrepasan los 400°C en la facie de los esquistos verdes.

5.6 Análisis de los datos

Al realizar análisis microtectónico en secciones delgadas es importante la previa interpretación de campo de las estructuras principales y las foliaciones asociadas.

En general se observan bajo el microscopio tres tipos de deformaciones en las rocas analizadas, a las cuales se le asocian esquistosidades S₁, S₂ y la

S₃ aparece como un sistema de fracturación, lo cual aprovechan los fluidos para depositarse en grietas y venas. La deformación D₁ se desarrolló bajo condiciones de ambiente dúctil, caracterizado por minerales como: anfíbol, calcita, cuarzo, minerales metálicos, moscovita, plagioclasas, clorita, restos de clinopiroxenos, esfena, epidota, y zoisita. La deformación D₂ también se desarrolló en condiciones dúctiles a la cual se le asocia una esquistosidad S₂, definida por minerales como: calcita, moscovita, zoisita, talco, minerales metálicos y antigorita. La D₃ se enmarca en condiciones de dúctil frágil donde se producen agrietamientos los cuales, en ocasiones, son rellenados por la calcita y el cuarzo, también existen fracturación en los granos minerales de mica (Tabla 5.5).

Según los análisis de microestructuras en zonas de shear (indicadores cinemáticos), se detectaron movimientos **sur y norte**, siendo más abundante el movimiento sur dado por las sombras de presión desarrolladas en minerales metálicos. No se encontraron evidencias de superposición de los mismos.

Las temperaturas a las cuales ocurrieron las deformaciones varían en un rango desde 150 hasta 400°. Esto se evidencia por las fábricas de los minerales en las secciones delgadas y permite enmarcar las deformaciones ocurridas en el área, en un régimen de metamorfismo de bajo grado.

Los principales mecanismos que deformaron los minerales aparecen representados en la tabla 5.5 así como las temperaturas a las que ocurrieron los mismos. El metamorfismo observado en la zona y descrito en las secciones delgadas se corresponde con un metamorfismo regional de bajo grado en la facie de los esquistos verdes, en el cual los protolitos de las rocas metamorfizadas provienen tanto de rocas volcánicas como sedimentarias.

Las estructuras observadas bajo el microscopio guardan relación con la tectónica, o sea, los minerales metamórficos se encuentran formando estructuras como pliegues, porfiroclastos rotados, foliaciones oblicuas, mica fish y sombras de presión, además de mostrar una orientación preferente. Ésto significa que los procesos tectónicos son sincrónicos con los procesos metamórficos.

CONCLUSIONES

Discusión de los resultados

El objetivo fundamental de este trabajo consistía en esclarecer aspectos de la tectónica y el metamorfismo del borde SW de la cúpula de Trinidad a partir de análisis macrotectónico y microtectónico en un área detallada. Los resultados obtenidos incluyen parámetros de la evolución geológica del Escambray que pueden contribuir a esclarecer algunos aspectos de su estructura interna. Para cumplir el mismo se estudiaron aspectos como las fases de deformación, estructuras tectónicas, indicadores cinemáticos en zonas de shear y movimientos ocurridos en la zona.

1. Los análisis macroestructurales arrojaron que existen tres fases de deformación en la región estudiada.

- La fase de deformación D_1 a la cual está asociada la esquistosidad S_1 .
- La fase de deformación D_2 a la cual está asociada una esquistosidad S_2 , muy plegada, desarrolla pliegues asimétricos con vergencia **N-NE**. En ambiente dúctil.
- La tercera fase de deformación D_3 relacionada con estructuras disyuntivas fundamentalmente grietas y clivaje de fractura que pueden estar vinculadas a la exhumación del macizo. Es muy característico de esta fase fallas normales que indican movimiento NW. En ambiente frágil.
- En el área no se encontraron evidencias de una fase F_4 pero las fallas de movimientos horizontales mapeadas en el perfil Yaguanabo, según la geología regional de la zona y de Cuba pueden constituir el evento más joven y estar asociado a una fase tardía, post D_3 .

2. Como resultado del análisis microtectónico se determinaron tres fases de deformación ocurridas en el área correlacionables con las macroestructuras. Una primera fase de deformación D_1 la cual estuvo regida por un ambiente dúctil, donde intervinieron minerales como la calcita, cuarzo,

plagioclasas, minerales opacos, anfíboles, clinopiroxeno, esfena, clorita, zoisita, epidota, moscovita y talco. Los minerales en esta fase de deformación se deforman fundamentalmente por mecanismos de extinción ondulatoria y maclado. y puede observarse además un desarrollo amplio de recristalización dinámica de la calcita y la presencia de milonitas. La fase de deformación D₂ esta caracterizada también por un régimen dúctil, a esta se le asocia minerales como la calcita, cuarzo, minerales opacos, zoisita, anfíboles, clorita, moscovita, antigorita y talco. Estos minerales sufren deformación intracristalina observándose en ellos extinción ondulatoria y maclado. La fase D₃ se desarrolla en un ambiente frágil apareciendo grietas rellenas de calcita, y minerales fracturados como las micas. Los minerales que intervienen en esta deformación se deforman por maclado, extinción ondulatoria y facturación.

3. Existe una correlación entre los datos macro y microtectónicos del área, evidenciando así la importancia de un análisis integral, donde los minerales constituyen el eje fundamental y la clave de la resolución de los problemas planteados en esta investigación.

4. Según los datos compilados de los análisis macro y microtectónicos realizados y estableciendo un posible orden cronológico de los eventos ocurridos en el Escambray tenemos que existieron movimientos al S-SE bajo un régimen compresivo, en ambiente dúctil y movimientos al N, NE. Aunque el orden cronológico de ocurrencia de ambos no pudo ser determinado. En una etapa más tardía se manifiestan desplazamientos horizontales con direcciones al N-S, NW.

5. El metamorfismo en el área mapeada, es de bajo grado, formado en condiciones de temperaturas entre los 150 – 400°C, en la facie de los esquistos verdes.

6. Según los análisis realizados los procesos tectónicos tienen una estrecha relación con los metamórficos puesto que. Los minerales metamórficos están

involucrados en todas las deformaciones observadas., evidenciando el sincronismo entre el metamorfismo y la tectónica.

RECOMENDACIONES

1. Continuar los trabajos en áreas aledañas en aspectos tales como: mapeo de estructuras geológicas y microtectónica en base a esclarecer la superposición de los eventos al S y al N.
2. Enfatizar en los estudios de la fase de movimientos horizontales para su mejor caracterización.
3. Profundizar en el estudio de los sistemas de agrietamiento del macizo y su relación con la tectónica.

BIBLIOGRAFÍA

ALLENDE, R, 1928. *Yacimientos piritosos de la sierra de Trinidad, mina Carlota, Cuba*. Bol de minas, 12, pag 50-57.

ATLAS NACIONALES DE CUBA. Academia de Ciencias de Cuba, , 1989. La Habana.

BAKKER, H E ET AL, 1989. *The geodynamic evolution of the internal zone of Betic Cordilleras (south-east Spain): a model based on structural analysis and geothermobarometry*. Journal of metamorphic petrology, vol 7, pp 359-381.

BLATT, H Y TRACY R J; 2000. *PETROLOGY: Igneous, sedimentary and metamorphic rocks*, second edition. W:F Freeman and company, New York. 523 pp.

BLEIN, O, GUILLOT, H ET AL, 2002. *Geochemistry of Mabujina Complex: Implications on the Caribbean Cretaceous Arc Rocks*. Journal of geology, vol 11, No 1, pages 1-12.

BOLOTIN, Y.A ET AL; 1970. *Yacimientos de minerales sulfurosos de la serie metamórfica Escambray, en la parte noreste del macizo metamórfico del mismo nombre*. Rev. Tecnológica, vol8(2), pag 35-48.

BUCHER; K Y FREY, M; 1994. *Petrogénesis of metamorphic rock*. Springer Verlag. 318 pp.

BURKHARD MARTIN, 1993. *Calcite twins, their geometry, appearance and significance as stress-strain markers and indicators of tectonic regime: a review*. Journal of Structural Geology, vol 15, Nos, pp 351-368.

BUTTERLIN, J; 1956. *La constitution geologique et la structure des Antilles*. C.N.R.S, París, 453 pag.

COBIELLA REGUERA, J; 2000. *Jurassic and Cretaceous Geological history of Cuba*. International Geology review, vol 42, pp 594-616.

DESPAIGNE DIAZ, ANA I, 1995. *Structural study of the peridotite –contact rocks in Pujerra area, south Spain with emphasis on development of cleavages and mineralogy*. MSc thesis. 100 pp.

DRAPER, G AND BARROS, A; 1994. *Cuba en Caribbean Geology: An introduction*. U.W.I Publishers Association, Kingston. Pp 65-86.

DRAPER, G Y LEWIS, J F; 1991. *Metamorphic belts in Central Hispaniola*. Geological society of America, special paper 262. Página 29-45.

- FURRAZOLA ET AL, 1964. *Geología de Cuba*, I:C:R:M, La Habana, 239p.
- GRAFE, P ET AL, 2001. *Rb-Sr and Ar^{40}/Ar^{39} mineral ages of granitoid intrusives in the Mabujina unit, central Cuba: thermal exhumation history of the Escambray massif*. Journal of geology, vol 109, pag 615-631.
- HATTEN, C.W et al, 1988. *Tectonostratigraphic units of Central Cuba*. In 11th Carib.Geol.Conf.Symp.Volumen. Barbados.
- HATTEN, C.W; 1967. *Principal features of Cuban geology:discussion*.A:A:P:G, vol 51(5), pag 780-789.
- HILL, P.A, 1959. *Geology and structure of the Northwest Trinidad mountains. Las Villas Province, Cuba*. Geol. Amer. Boll, vol 70(11), pag 1459-1478.
- ITURRALDE VINENT, M.A, 1996. *Ofiolitas y arcos volcánicos de Cuba*. IUGS/UNESCO. 247 pag.
- ITURRALDE VINENT, M; 1994. *Cuban Geology: a New plate tectonic syntesis*. Journal of Petroleum Geology, vol , pp .
- JUDOLEY, C.M ET AL, 1963. *Mapa de yacimientos minerales de Cuba, escala 1: 50 000*. I.C.R.M, La Habana.
- KHUDOLEY, K.M ; 1967. *Principal features of Cuban geology*. A.A.P.G, 51(5), pag 668-667.
- KHUDOLEY, K.M AND MEYERHOFF, A.A; 1971. *Paleogeography and geological history of Greater Antilles*. Geol.Soc Amer. Boll, vol 129, 199 pp.
- LEWIS J F AND DRAPER, G; 1990. *Geology and tectonic evolution of the northern Caribbean margin. The Geology of North America*, vol H, The Caribbean region, The Geological society of America. Pp 77-133.
- MARTÍNEZ, M C; 2000. *Tectónica, metamorfismo y magmatismo del basamento ígneo-metamórfico localizado en el nordeste del macizo del Deseado, Santa Cruz, Argentina*. Argentina. 314 pp. Tesis (en opción al grado científico de doctor en ciencias geológicas).
- MC CLAY, K; 1987. *The mapping of geological structures*. Geological society of London handbook. 161 pp.
- MEYERHOFF, A.A AND HATTEN, C.W; 1967. *Future hidrocarbon provinces of Gulf of Mexico Caribbean region*. Trans.Gulf.Coast.assoc.Geol.Soc, vol17, pag 217-260.

MILLÁN, G, y SOMIN, ML; 1976. *Algunas consideraciones sobre las metamorfitas cubanas*. Acad.Cienc.Cuba, serie geol, vol 27 pag 1-21.

MILLÁN, G; AND MYCZYŃSKI, R; 1978. *Fauna jurásica y consideraciones sobre la edad de las secuencias metamórficas del Escambray*. Acad.Cien.Cuba, inf.Cient.Tecnica, vol 80, pag 1-14.

MILLAN, G and SOMIN, M.L; 1985 a. *Nuevos aspectos sobre la estratigrafía del macizo metamórfico Escambray, en su contribución al conocimiento geológico de la metamorfitas del Escambray y del Purial*. IGP. Reporte de investigación, vol 2, pag 1-42.

MILLÁN, G y ALVAREZ SÁNCHEZ, H; 1991. *Estratigrafía y tectónica del borde SW de la cúpula Trinidad*. Pp. Inédito.

MILLÁN, G, 1997. *Geología del macizo metamórfico Escambray*. Estudios sobre geología de Cuba, Centro nacional de información geológica (CNIG). 519 pag, pag 259-271.

NUÑEZ JIMENEZ, A ET AL, 1962. *Mapa geológico de Cuba a escala 1: 100 000*. I: C: R: M, La Habana.

PARK R G. *Foundations of Structural Geology*, 2nd edition; 1989. Chapman and Hall, New York. 145 pp.

PASSCHIER, Y R. A. J. TROUW, C. W ; 1996. *Microtectonics*. Alemania. 289 pp.

PUSHAROSWSKI, Y.M ET AL, 1966. *Mapa tectónico de Cuba a escala 250 000*. Acad.Cienc.URSS, acad.Ciec.Cuba.

PUSHAROSWSKI, Y.M ET AL, 1989. *Tectonics of the Republic of Cuba: Explanatory note to the tectonic map of Cuba, scale 1: 50 000*. Edit Nauka, Moscow, pag 1-77.

RIGASSI-STUDER, D; 1961. *Quelques vues nouvelles sur la geologie cubaine*. Chronique des Mines et de la Recherche Miniere, vol 29(302), pag 3-7.

ROJAS AGRAMONTE ET AL, 2005. *Geodynamic implications of zircon ages from Cuba*. Abstract of the international conference about Caribbean Geology at the university of Salsburg, Austria.

ROLLINSON, H; 1996. *Using Geochemical data: evaluation, presentation, interpretation*. Longman Singapore Publishers Ltd. 344 pp.

SHNEIDER, J ET AL, 2004. *Origin and evolution of the Escambray Massif (Central Cuba): an example of HP/LT rocks exhumed during intraoceanic subduction.*

SOMIN M.L AND MILLÁN, G; 1981. *Geología de los complejos metamórficos de Cuba (en ruso).* Moscú. Editorial Nauka. 219 pag.

SOMIN M.L AND MILLÁN, G; 1974. *Algunos rasgos estructurales de los complejos metamórficos mesozoicos de Cuba (en ruso).* Geotectonika, vol5, pag 19-30.

STANEK, K P ET AL, 2006. *Structure tectonics, and metamorphic development of the Sancti Spiritus Dome (eastern Escambray massif, Central Cuba).* Geologica Acta, vol 4; No 12, pp 1- 21.

THIADENS, A.A; 1937. *Geology of the southern part of the province of Santa Clara (Las Villas), Cuba.* Geogr.Geol:Meded.Phys.Geol.Reeks, vol 2(12), pag 1-69.

TIJOMIROV, I.N; 1967. *Formaciones magmáticas de Cuba y algunas particularidades de su metalogenia.* Rev.Tecnol., vol 5(4), pag 13-22.

WEYL, R; 1956. *Geologie der Antillen.* G

ZWART H J; 1960. *Relations between folding and metamorphism in the Central Pyrenees, and their chronological succession.* Geologie en mijnbouw, 39e jaargang, pp 163-180.

SOMIN, M.L. y MILLÁN, G., 1977. *Sobre la edad de las rocas metamórficas cubanas.* Informe científico-técnico, La Habana. Academia de Ciencias de Cuba.

MILLÁN TRUJILLO, G, 1996. *Geología del Complejo Mabujina.* In: Iturralde-Vinemt, M.A., (ed). Cuban ophiolites and volcanic arcs. Miami University Press, International Geological Correlation Program, 364 pg.

MILLÁN, G. y SOMIN, M.L., 1985 b. *Contribución al conocimiento geológico de las metamorfitas del Escambray y del Purial.* La Habana, Academia de Ciencias de Cuba, 74 pg.

SOMIN, M.L. y MILLÁN, G., 1981. *Geology of the metamorphic complexes of Cuba.* Moscow, Nauka, 128 pg.

MILLÁN, G. y SOMIN, M.L., 1985. *Características del metamorfismo del Complejo Anfibolítico Mabujino, sur de Cuba central.* Academia de Ciencias de Cuba. Instituto de geología y Paleontología.

