

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

**ESTUDIO MICROTECTÓNICO DE LA VERTIENTE  
NORTE DEL MACIZO ÁVILA, ENTRE PUNTA CARE Y  
LA GUAIRA, ESTADO VARGAS**

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
para optar al Título de Ingeniero Geólogo  
Por los Brs. Argenis A. Bravo G.,  
Brian M. Vilas B.

Caracas, junio 2002

## **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

### **ESTUDIO MICROTECTÓNICO DE LA VERTIENTE NORTE DEL MACIZO ÁVILA, ENTRE PUNTA CARE Y LA GUAIRA, ESTADO VARGAS**

TUTORES ACADÉMICOS: Dr. Franco Urbani

Dr. Franck Audemard

TUTOR INDUSTRIAL: Dr. Víctor Vivas

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
para optar al Título de Ingeniero Geólogo  
Por los Brs. Argenis A. Bravo G.,  
Brian M. Vilas B.

Caracas, junio 2002

Caracas, junio de 2002

Los abajo firmantes, miembros del jurado designado por el Consejo de Escuela de Geología, Minas y Geofísica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por los Bachilleres Argenis Alonso Bravo Gómez y Brian Marcel Vilas Berrey, titulado:

**“Estudio microtectónico de la vertiente norte del macizo Ávila  
entre Punta Care y La Guaira, Estado Vargas”**

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Geólogo, y sin que ello signifique que se hacen solidario con las ideas expuestas por los autores, lo declaran APROBADO.

Prof. Sebastián Grande  
Jurado

Prof. Herbert Fournier  
Jurado

Dr. Franco Urbani  
Tutor Académico

Dr. Franck Audemard  
Cotutor Académico

Dr. Víctor Vivas  
Tutor Industrial

*...los cuatro puntos cardinales  
son tres,  
el norte y el sur.*

Vicente Huidobro

*Dedico este trabajo a*

*Mi abuelo Baltazar Raimundo Gómez Sotillo, mi bisabuela Maria Cornelia, mi abuela Audina, mis padres Florencia & Ángel Ramón, mis hermanos Florangel, Alina, Ángel Ramón, José Manuel y Cristina, mi Betsy, Aliángel y Alvaro Andrés, mis tíos Baltazar & Luz María, Luis Humberto & Aurelia, Raidi & Manuel Olivares, Aura Gómez, Luisa & Freddy, Salomón & Isabel, Aurora, Toña & Mujica, Candelaria, Nilida & Omar, Iraida, Chicho, Orángel, Flotilda & Efrain, Juan y Senelia, mis primos Pedro Sotillo, Luis Alexis, Audrey, Heidi, Víctor, Manuel Antonio, Jeannie & David Vilachá, David, Marai, Júnior, Juan Carlos, Gustavo & Marlene, Luz Cristina, Salomón, Aura Cristina, Anais, Luis Humberto, Luisita, Candearelis, Freddy & Romelia, Freddy José, Fredlia, Betty, Manuelito, José López, Tibisay, Alejandro, Micaela & José Manuel, Laura, María Laura, María, Aníbal & Mirella, Ramón, Francisco, Pedrito & Carolina, Pedro Alejandro & Marife, William, Alexis, Priska, Aníbal José, Diana, Róbinson, Yaremi, Emilia Miranda, Orángel, Isabel, Mauro, Euclides, Gollito, Fernandito, Lisbeth, Sorani, Audimari, Nilimar, Manuel, Efrain, Luis José, Jesús, Carlos y Reinaldo, mis “Tiburcios” Ernesto, Pablo, María, Daniel, Gabriela, José Manuel, Valentina, Maria Angélica y José Ángel, mis cuñados Ernesto, Juan, Carmen, María y Oswaldo, mi familia política Alicelia, Lenny, Alex, Alexander David, Mariangi, Maira, Daimer, Rainder, Dámari, Eulice, Saulita y Catalina, mis compaitos Dilcia, Teresa, Yadira, Mayela, Andrés Felipe y Godo, mis instructores PADI Dive Master Carlos Bolívar, Luis Márquez, Leonardo Acosta y Alejandro Raimundo & Carmen, mis amigos del GIDA Evelyn & Oscar, Doris Pieri, Sonia Sánchez, Adrián León, Ysauris Frontado, Jeiny & Carlos, Sonia & Héctor y su Yesenia, Hugo Romero, Manuel Palacio, Natalia Gil, Aniuscar García, Yosmar Bravo, Germán y su Pradip, Yesenia Marcano, Elda & Carlos, Fernando Quevedo, Félix & Carolina y su prole, Janeth Zarramera, Lisbeth Rodríguez, Claudio Suao, Renny Rivero, Jazmín Rodríguez, María de Sousa, Luis “Suruape” y su Ariana, Moses Grimaldo, León Fernández, Alilu & Marvin Baquero y su futuro retoño, Richard Marcano, Samuel Acuña, Luis Castillo, José A. Gantes, Kenny & Johan y su Selva, Jenny & Whitman y su Alejandro, Virgilio Abreu y “Lulo”, mis amigos del GUF, José Antonio, Manuel Sotelo, Sharon Manno & mama Ángela, Milagros Cordobés, Miguel Díaz, Norka & Carlos y su muchachera, Rafael & Carolina y sus Lucía & Paula, Antonio Contreras, Luis Hernández y Asdrúbal, mis amigos Brian Vilas, Matías Araujo, Roberto Chacón & Minerva, Omar Rojas & Ángela de Rojas, Miguel Vergara, Jorge Padrón y Miguel Núñez, mis Compañeros Roger Ramírez, Freddy Denis, Diana y Lino, mis colegas T.S.U. Francisco Benítez, Ángel Félix, Pedro Marcano, Wladimir Cedeño, Petra Amaya, “El guaro”, William Rodulfo, Oscar Siso, Gustavo “Panqueca” y José “El Pelón”, mis preparadores Rolando Benítez, Tulio Peraza, Jonathan Quintero & Gabriela Arostegui, Carolina Marchillanda, Redescal Uzcátegui, Elisa Ochoa, Raquel Cepeda, Lilian Navarro y Henry Aldana, mis tutores Franco Urbani, Victor Vivas y Frack Audemard, también a la Sra. Ana Lucía, Andrés y a mi hermano fraterno Raymond Duval Pacheco.*

Argenis

*Dedico este trabajo*

*A mis padres, Zulema y Domingo, y a su lucha, a mis hermanos Mauricio y Atalia, los compañeros, a Yanela Battaglini, mi pequeña talibana, a todos mis tíos y primos del Uruguay, que tanto me hicieron falta, a mi madrina, y su familia, a los amigos del liceo que siempre se han mantenido, Gilberto, Giuseppe, José Rafael, Jonás, Carlos, Wilfredo, a los amigos y compañeros forjados en la Universidad: a Argenis Bravo (¡el engarruñamiento de la tesis!), a la memoria de Andrés Tur, a José Joaquín & Maritania, Hector & Estrella, a Rubén & Rosalina, Jorge & Lillianne y sus chiquillos, Karina, Oscar Battaglini & Enza Mastropietro, Juan Pablo Rodríguez (y sus amigos los clientes), Daniel Gonzalez & Chipi (Aura Silva), José Baena, Crisanto Silva & Mariangela, Tulio Peraza, Cesar Milian, Jonathan Quintero & Gabriela Arostegui, Eduardo Carrillo, Leonardo Duerto, Alejandro (Atreyu), Alejandro (Chile), Agustín Díaz, Pedro, Antonio Russoniello (el Russo) & Maria Helena Heredia, Juan Carlos Matos, Siul Rodríguez & Lucía Barboza (los burros hombres burros), Ernesto (Garimpa), Ernesto Tundidor, Alonso Padrón, Herbert Fournier (¡somos los me...!), José M. Blanco, Ricardo Rodríguez, Ricardo Bongiovani (el bosque de sherwood), Marvin Baquero, a Luis Belmonte y su budismo, Richard Marcano, Argelia Calzadilla, Gustavo, a Waldo, con quien comparto buenos gustos tanto poéticos como femeninos, a John, Ringo, Paul y George, a los dos Jimmy, Jim, Roger, David, Rick, Mick, Key, Joaquín, Charlie (say no more), a Brian Vilas, a los profesores: Omar Rojas, a su memoria, al profesor Oscar Battaglini y a su familia, a Franco Urbani, a Víctor Vivas, a Franck Audemard, a Oliver Mcsotay, a Wolfgang Scherer, muy especialmente al profesor Virgil Wincler, a los amigos de Defensa Civil: Roberto Herrera, Maigualida Vargas, Deyanira Biscoechea, Harold Licon, Luis Salcedo, Luz Gamarra, Ana Paredes, (¡cuidado se cae el techo!), al General José Luis Rivas Abreu, y a todos los funcionarios con los cuales compartí aventuras, a los amigos del IMME, Sergio Rodríguez y su familia, sobre todo a la simpática Roraima, al sr. José, Robert, José, Andrés, Eleone (límite líquido en 2 minutos), a los amigos del Colegio de Ingenieros: Alejandro y su familia, Carlitos, Toño, Víctor, Hernan (¡vivan los aurinegros!), Gorky, Iván, Ricardo y su hermano.*

*Brian*

**AGRADECIMIENTOS**

Deseamos expresar nuestros agradecimientos:

A la ilustre Universidad Central de Venezuela, institución que ha acunado nuestras ideas, desarrollándolas y evolucionándolas, convirtiéndose en una más de nuestras madres.

A la Escuela de Geología, Minas y Geofísica, donde nuestro desarrollo se ha ido perfeccionando y profesionalizando.

A INGEOMIN, por su apoyo económico, logístico e intelectual, en particular la Dra. Rosario Bajo de Osuna, a los Ing. Elda Perdomo, Pascuale De Luca, Franklin Alarcón, José A. Chaparro, Alfredo Aranguren, Berta Chachati, a los Geóg. Oscar Rosso y Marilín Manchego, a Omar Suárez, Nayiris Contreras, a Nancy, a la Sra. Argelia, y muy en especial al Ciud. Ing. Geól. Dr. ✨ Victor Vivas que además es amigo fraterno, compañero, jefe de Cartografía Geológica Regional, novio de la madrina, dueño del equipo y la pelota y además, tutor nuestro.

Al Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar, en especial a la Lic. Alicia Moreau y a todo su equipo.

A Defensa Civil, donde una vez más encontramos, sabiduría, compañerismo, disposición de servicio y la camaradería que tanto necesitan las instituciones.

Al IMME, donde encontramos a los amigos que tanto nos acompañaron.

A nuestro amigo Franco Urbani a quien debemos los mejores consejos y la excelente guía que siempre posee, por estar tan pendiente de nuestras cosas más que nosotros mismos, por exigimos hacer las cosas bien.

Al Dr. Víctor Vivas, nuestro tutor industrial, por sus sabios consejos, por su excelente guía, su alegría y eficiencia.

Al Dr. Franck Audemard, nuestro tutor académico, por sus enseñanzas y amplia visión al atacar problemas estructurales, sirviéndonos de ejemplo.

A la memoria del profesor Omar Rojas.

A los Profesores que largamente nos han servido de enseñanzas a lo largo de la carrera.

A Ricardo Alezones por su disposición a aclararnos cualquier duda sea cual fuere.

A María Auxiliadora y Eunice, quienes siempre nos sacaron de aprietos y nos dieron su compañía.

A Adrián Castillo, Juan Carlos Suárez, Julio Martínez y Elías Varela por su compañerismo, guía y apoyo en el laboratorio además de las inolvidables travesías de 6:00 a 9:00 por esos mundos del cyber espacio... “Recueden no formatear el disco duro”.

A Lucía Barboza y Siul “Luis al revés” Rodríguez por su buen ánimo y las distintas locuras a las que nos empujó. Lucy, aquella que puso orden en todo este escenario.

A Luis Peña por esos agradables momentos durante la etapa de campo.

A Ruth Quereguan por sus extraordinarias revisiones petrográficas.

A Tulio Peraza, por sus consejos y diálogos.

A Nestor Flores, por su sabia ayuda en los problemas estructurales.

Al Sr. Flores quienes muchos no conocen perdiendo la oportunidad de compartir del buen humor (y vaya que lo tiene), disposición de trabajo y animo que lo caracteriza.

A Oswaldo Flores por las excelentes secciones finas elaboradas para este trabajo.

A Ernesto Tundidor por sus brincos de sabiduría.

A los “Tal-ivanes” Ivan Barito e Ivan Arias, como siempre: “radioactivos”.

A Herbert Fournier “Pitch: Cabeceo... Plunge: Declive... Pitch: Cabeceo... Plunge: Declive...”

A Luis Camposano, incondicional amigo y siempre dispuesto a tendernos la mano.

A SANTIAGO & MARIELA, PEDRO & ALBERTO (está en versales ¡eh!) nuestros compañeros de laboratorio...

A todos nuestros compañeros de campo largo (Guaibacoa, Estado Falcón 1999), en especial a Alonso Padrón, Gilberto Sánchez, Lenin González, Oliver Sánchez, Alonso Vera, Carlos Sánchez, Tatiana Machado, Nexis Rodríguez, Eduardo Rojas, entre otros.

Y a cualquier persona que directa o indirectamente haya colaborado con la realización de esta investigación.

<b>ÍNDICE</b>	
	Página
RESUMEN.....	1
1. INTRODUCCIÓN	
1.1. Generalidades.....	2
1.1.1. Objetivo y alcance del trabajo.....	2
1.1.2. Área de trabajo.....	3
1.1.3. Vías de acceso.....	3
2. GEOGRAFÍA FÍSICA	
2.1. Relieve.....	5
2.2. Drenaje.....	6
2.3. Clima.....	8
2.4. Vegetación.....	11
2.5. Geomorfología.....	12
3. METODOS	
3.1. Método de campo.....	14
3.1.1. Equipos .....	14
3.1.2. Libreta de campo.....	14
3.1.3. Mapas y fotografías aéreas.....	16
3.1.4. Simbología de mapas y anotaciones.....	17
3.1.5. Escalas.....	17
3.1.6. Recopilación de datos.....	18
3.1.7. Técnicas de medición.....	20
3.1.8. Recolección de muestras orientadas.....	24
3.1.9. Fotografías.....	24
3.2. Método de laboratorio.....	26
3.2.1. Equipos.....	26
3.2.2. Proyección estereográfica.....	26
3.2.3. Elaboración de secciones finas orientadas.....	27
3.2.4. Análisis microtectónico.....	31
3.2.5. Criterios microtectónicos.....	33
4. ASPECTOS GEOLOGICOS	
4.1. Geología regional.....	39
4.1.1. Generalidades.....	39
4.2. Geología local.....	50
4.2.1. Generalidades.....	50

4.2.2. Asociación Metamórfica la Costa.....	51
Esquisto de Tacagua.....	51
Mármol de Antímano.....	58
4.2.3. Asociación Metamórfica Ávila.....	63
Complejo San Julián.....	63
Augengneis de Peña de Mora.....	70
4.3. Geología estructural regional.....	74
4.3.1. Generalidades.....	74
4.4. Geología estructural local.....	77
4.4.1. Quebrada Care.....	78
4.4.2. Río Masare.....	81
4.4.3. Río Miguelena.....	84
4.4.4. Río Naiquatá.....	88
4.4.5. Río Uria.....	93
4.4.6. Quebrada Tanaguarena.....	98
4.4.7. Río Cerro Grande.....	100
4.4.8. Quebrada Seca.....	103
4.4.9. Río San Julián.....	107
4.4.10. Río Camurí Chiquito.....	112
4.4.11. Quebrada El Cojo.....	117
4.4.12. Quebrada San José de Galipán.....	121
4.4.13. Quebrada Cariaco.....	123
4.4.14. Quebrada Guanape.....	126
4.4.15. Quebrada Osorio.....	128
4.4.16. Quebrada Piedra Azul.....	133
5. DISCUSIONES GENERALES.....	
5.1. Discusión por litologías.....	137
5.1.1. Asociación Metamórfica la Costa.....	137
Esquisto de Tacagua.....	137
Mármol de Antímano.....	139
5.1.2. Asociación Metamórfica Ávila.....	141
Complejo San Julián.....	141
Augengneis de Peña de Mora.....	143
5.2. Discusión general.....	145
5.2.1. Discusión de fracturas y fallas.....	145
5.2.2. Discusión de pliegues.....	146
5.2.3. Discusión de datos de laboratorio.....	147
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	153
7. BIBLIOGRAFÍA.....	156

8. ANEXOS	
8.1. Marco teórico.....	166
8.1.1. Geología estructural y microtectónica.....	166
8.1.2. Esfuerzo y deformación.....	166
Esfuerzo.....	166
Relación esfuerzo deformación.....	170
Deformación.....	171
8.1.3. Deformación discontinua.....	175
Tipos de fallas.....	176
Grietas de tensión.....	178
Diaclasas.....	178
Juntas estilolíticas o estilolitos.....	178
Deformación discontinua en medios discontinuos.....	179
8.1.4. Deformación continua.....	182
Estructuras de la deformación continua homogénea.....	183
Estructuras de la deformación continua heterogénea.....	186
Estructuras a escala microscópica.....	187
Estructuras a escala de afloramiento.....	189
8.1.5. Pliegues.....	191
Clasificación de los pliegues.....	194
8.1.6. Microtectónica.....	200
Defectos cristalinos.....	202
Orientaciones cristalográficas preferentes.....	203
Forma de grano.....	203
Inclusiones y su relación con la foliación.....	204
Tipos de microestructuras asociadas a la deformación.....	205
Microestructuras asociadas a fases frágiles y dúctiles.....	206
Indicadores cinemáticos en zonas de cizalla.....	207
Bandas de cizalla y foliaciones oblicuas.....	207
Sombras y márgenes de presión.....	208
8.2. Datos de campo.....	209
8.2.1. Minutas de campo.....	209
8.2.2. Resumen del esfuerzo compresivo por estación.....	222
8.3. Datos de laboratorio.....	224
8.3.1. Minutas de laboratorio.....	224
8.3.2. Resumen del esfuerzo compresivo para cada estación.....	238
8.4. Control de muestras y secciones finas.....	240
8.5. Ubicación de las estaciones de trabajo.....	243
9. APÉNDICES..... (Mapa de la zona de estudio y disco compacto)	

**Bravo G. Argenis A.  
Vilas B. Brian M.**

## **ESTUDIO MICROTTECTÓNICO DE LA VERTIENTE NORTE DEL MACIZO ÁVILA ENTRE PUNTA CARE Y LA GUAIRA, ESTADO VARGAS**

**Tutores Académicos: Dr. Franco Urbani y Dr. Franck Audemard. Tutor  
Industrial: Dr. Victor Vivas. Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería.  
Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Departamento de Geología. Año 2002,  
243 p.**

**Palabras Claves:** Cordillera de la Costa, Microtectónica, Muestras y Secciones Finas Orientadas, partición de esfuerzos, Venezuela.

### **Resumen.**

Este trabajo muestra el aporte de la microtectónica (herramienta de la geología estructural) en la observación de una zona de 120 km<sup>2</sup>, comprendida entre las cuencas de Punta Care al este y Piedra Azul (La Guaira) al oeste, en la vertiente norte del macizo Ávila, Estado Vargas.

A través de esta herramienta fue posible determinar estadísticamente la dirección del vector compresivo  $\sigma_1$  en estructuras a escala de afloramiento, de muestra (mesoescala) y de secciones finas (microescala), para lo cual fue indispensable la recolección de muestras orientadas y un corte específico de las mismas debido a la necesidad de secciones finas orientadas para la búsqueda de microestructuras que revelaran direcciones de esfuerzo. La dirección general resultó ser NNO-SSE, con un leve declive hacia el SE, lo que se relaciona con el proceso geodinámico en macroescala actualmente activo, a saber, el movimiento relativo (transpresivo) de la placa Caribe contra la placa Suramericana.

Los resultados del vector  $\sigma_1$  y la orientación de las estructuras en las distintas unidades litodémicas, indican un acomodo de tipo dextral que obedece a las particularidades de gran escala y contribuye a reforzar el concepto de partición de esfuerzos, aunque existen variaciones leves del vector a escala de afloramiento y de sección fina, las cuales son atribuidas a las características geológicas del entorno y la escala de trabajo.

Se agrega información tectónico-estructural con indicadores de esfuerzo compresivo en cada estación, en un mapa a escala 1:50.000.

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Generalidades

Después de los eventos torrenciales que afectaron al Estado Vargas en diciembre de 1999, se evidenció que la información cartográfica-geológica-estructural de la Cordillera de la Costa estaba dispersa y en muchos sectores del flanco norte desactualizada e incompleta. En este sentido, aprovechando los afloramientos de roca recién expuestos, se procedió a generar y en otros casos reagrupar, la información geológico-estructural; surgiendo por iniciativa de la Coordinación de Cartografía Geológica Regional (Gerencia de Investigación Geológica y de Recursos Minerales, INGEOMIN), la necesidad de realizar un estudio detallado relacionado con la tectónica, utilizando una herramienta de estudio estructural denominada “microtectónica”, que permitió relacionar los vectores de esfuerzo presentes en una zona específica, a través de estructuras geológicas determinadas a escala de afloramiento o menor, y con esto establecer rasgos relacionados con la geodinámica y así compararlos con los modelos propuestos.

#### 1.1.1. Objetivos y alcance del trabajo

El presente trabajo persiguió la realización de un estudio microtectónico en la zona comprendida entre las cuencas de las quebradas Care y Piedra Azul, en la vertiente norte del macizo Ávila, del Estado Vargas, con el propósito de afinar los conocimientos de la tectónica del área y precisar la geodinámica que ha incidido en la zona de estudio, relacionándola con los modelos geodinámicos propuestos para el Caribe. Para ello se propuso dilucidar estilos estructurales de las distintas unidades litodémicas ubicadas en la zona antes mencionada, mediante los siguientes lineamientos:

- Estudio detallado (levantamiento y croquis) de aproximadamente tres estaciones de trabajo para cada una de las siguientes unidades litodémicas: Esquisto de Tacagua, Complejo San Julián, Augengneis de Peña de Mora y Mármol de Antímano.
- Selección de una estación de trabajo por cada contacto entre unidades litodémicas.

- Caracterización de los diversos elementos de fallas y pliegues. Recolección de muestras orientadas y medición de orientación y buzamiento de los planos de falla, cabeceo (pitch) o declive (plunge) y establecimientos de los sentidos de movimientos a través de los criterios microtectónicos.
- Análisis de las estructuras microtectónicas a través del microscopio petrográfico.
- Obtención de las direcciones de esfuerzos tectónicos principales responsables de las deformaciones ocurridas en la zona.

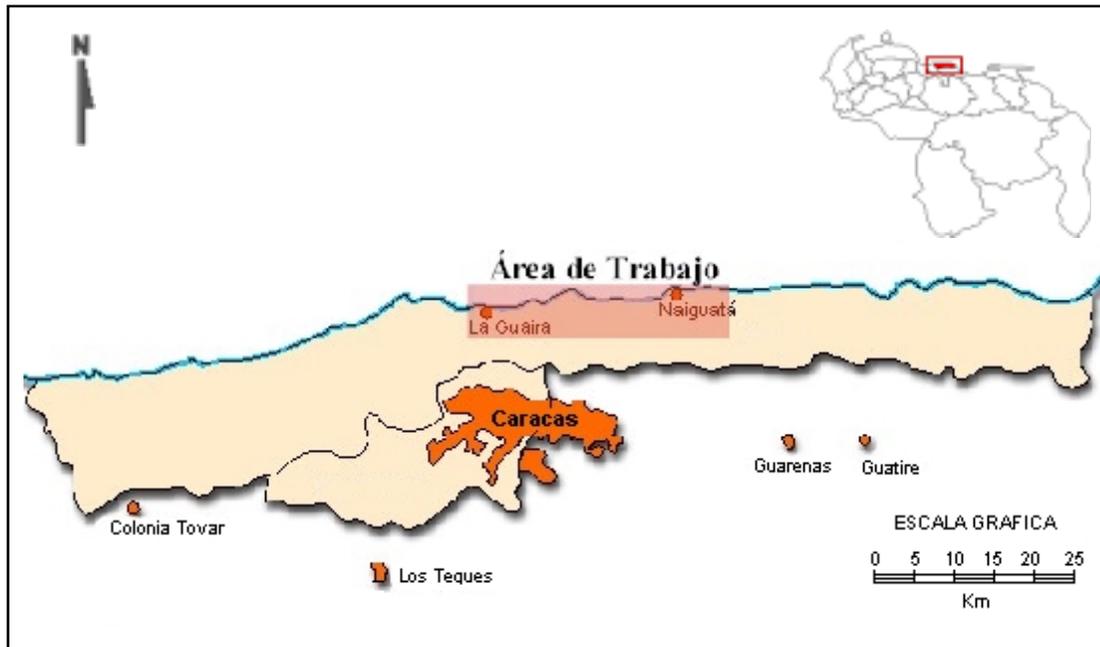
### **1.1.2. Área de trabajo**

El área de trabajo está ubicada entre las quebradas de Care y Piedra Azul, formando una franja de aproximadamente 30 x 4 km, en el Estado Vargas. Las figuras 1.1 y 1.2 muestran la ubicación relativa del área de trabajo y los límites en coordenadas geográficas. El área cubierta es de aproximadamente de 120 km<sup>2</sup> y en ella se estudiaron 16 cuencas drenadas tanto por ríos como quebradas.

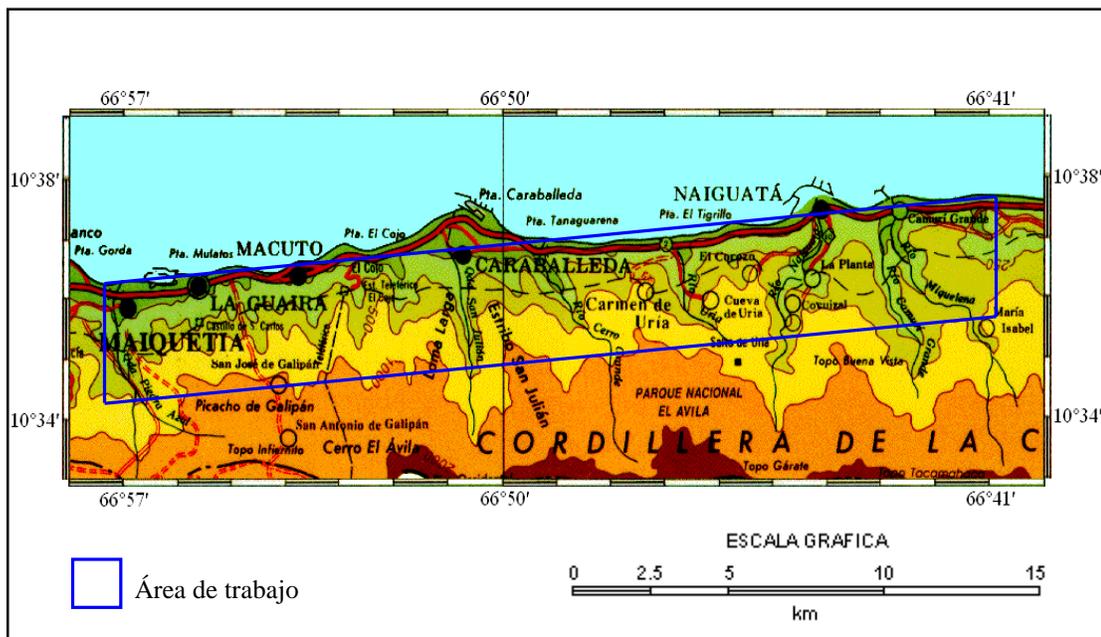
### **1.1.3. Vías de acceso**

El acceso a la zona de estudio se hace a través de la carretera de la costa conocida también como la troncal N° 2, que comunica las poblaciones costeras del litoral central del Estado Vargas. Por medio de ésta se acceden a las vías secundarias que conducen hacia las 16 cuencas estudiadas: Qda. Care, Río Masare, Río Miguelena, Río Naiquatá, Río Uria, Qda. Tanaguarena, Río Cerro Grande, Qda. Seca, Río San Julián, Río Camurí Chiquito, Qda. El Cojo, Qda. San José de Galipán, Qda. Cariaco, Qda. Guanape, Qda. Osorio y Qda. Piedra Azul.

Para llegar a los 37 afloramientos o estaciones de trabajo que se levantaron durante la realización de esta investigación, se utilizaron accesos a pie. Éstos incluyen los cauces de ríos y quebradas, así como picas o senderos que comunican con las partes altas de las diferentes cuencas en estudio.



**Figura 1.1** Ubicación relativa del área de trabajo (modificado del sitio de internet <http://www.avenezuela.com/mapas/map/html/estados/vargas.html>).



**Figura 1.2.** Mapa de ubicación del área de trabajo (modificado de SAGECAN, 1997).

## 2. GEOGRAFÍA FÍSICA

### 2.1. Relieve

En términos geomorfológicos, el relieve es el nombre genérico que se da al conjunto de accidentes o formas tales como cordilleras, colinas, valles o fosas, que modelan la superficie de la corteza terrestre. Las formas de relieve están determinadas por la composición, la estructura litológica y por los procesos que llevaron a su génesis. En este sentido, las causas de formación del relieve pueden ser tectónicas, erosivas, orogénicas, volcánicas o por la acción en conjunto de dos o más de estos factores, lo que generalmente ocurre. Los relieves se clasifican, de acuerdo a su origen, en estructurados, residuales y de erosión; esta última engloba a las formas no estructuradas que forman parte del modelado (ENCARTA, 2000).

El área de estudio corresponde al macizo de El Ávila, formado parte de la Serranía Nor-Central Venezolana conocida como “Cordillera de la Costa”, la cual está incluida en la primera de las cuatro franjas o napas de corrimiento, ordenadas de norte a sur (BELL, 1971 y BECK , 1983).

En el área de estudio se ha podido observar tres zonas donde el relieve presenta cambios, siendo nombradas de norte a sur como sigue: la primera, donde el relieve tiende a ser redondeado, de pendientes suaves, con dos niveles observables de terrazas aluviales, la cual está en contacto con zonas aplanadas o planicies de forma definida similar a un triángulo truncado, que corresponden a los abanicos aluviales de los drenajes principales presentes; este relieve es observable entre la cota 0 m, o línea de costa y una cota que oscila entre 200 y 250 m. Presenta una litología de esquistos grafitosos, mármoles, esquistos epidóticos y serpentinitas, lo que los hace incompetentes al proceso de meteorización. En esta zona se puede observar también un control estructural, debido a la gran cantidad de drenajes “colgados” que forman taludes paralelos a la costa, con laderas que oscilan aproximadamente entre los 10 y

los 30 m de altura; y por la gran cantidad de ensilladuras y alineamientos de filas y drenajes.

El segundo tipo de relieve presente se hace identificable a partir de la cota variable de los 200 a 250 m hasta los 1.600 m. Es predominante en toda la región y posee pendientes abruptas formando saltos intercalados con tramos de drenaje de poca pendiente inmersos en valles encajados que tienen forma de “V”, cuya abertura es variable de 30 a 50 grados, aunque hacia las zonas más bajas los valles aluviales se abren algo más. Este relieve es característico de la litología presente, la cual está conformada de esquistos cuarzo micáceos, gneises y augengneises presentes. SINGER (1977) menciona un abombamiento pronunciado puesto que las superficies S2 se inclinan fuertemente hacia el litoral en la orientación NNW-SSE. Menciona además un juego de bloques fallados con disposiciones antitéticas características que acompañan el movimiento de torsión de la flexura litoral.

A partir de la cota 1.600 m hasta 2.400 m, el relieve continúa con la tendencia de encajonamiento, pero los valles se vuelven más estrechos y aumenta el porcentaje general de la pendiente hasta llegar a la fila o zonas más altas donde puede apreciarse la divisoria de aguas. A partir de aquí se observa un nuevo relieve aplanado o superficie de aplanamiento. Esta característica se debe también en gran medida a la litología, la cual se caracteriza por hacerse más competente, puesto que está formada en gran medida de augengneises, gneises y metagranitos. SINGER (1977) menciona una superficie de aplanamiento S1 de la que solo quedan testigos amesetados aislados y elementos pequeños arraigados a más de 2.000 m, pero los reporta en la fila Colonia Tovar - El Junquito.

## **2.2. Drenaje**

El drenaje presente en el área estudiada pertenece a las cuencas que desaguan en dirección sur-norte, las cuales están ubicadas en la vertiente norte del macizo Ávila, en las sub-cuencas del litoral. Está conformada por una serie de ríos y quebradas que evidencian una morfología dendrítica a sub-paralela dependiendo de la zona y como

producto de las diversas litologías que allí se encuentran, la influencia tectónica, y el clima característico.

En las zonas de mayor altitud se observa que los ríos y quebradas son bien encajados (véase Fig. 2.1-A y Fig. 2.1-B) en valles jóvenes con pendientes abruptas y saltos de decenas de metros.

Se observa una segunda zona intermedia entre las partes altas y bajas de las cuencas donde se aprecia una disminución del porcentaje de la pendiente y un ensanchamiento progresivo de los valles aluviales (véase Fig. 2.1-B).



(A) Fotografía rumbo 055°

(B) Fotografía rumbo 010°

**Figuras 2.1.** (A) Río Uria, cota 255 m; se observa un cambio de relieve, con salto de agua en un valle encajado. (B) Río San Julián; cota 20 m, comprende una zona con poco desnivel, además se aprecia el volumen de material de gran competencia depositado por flujos torrenciales.

Por último se observa la parte que pertenece a los abanicos aluviales, que presentan una pendiente mínima, entre 2° y 5°, por lo cual se han asentado comunidades generando una modificación antrópica. Se presentan, en esta zona

costera y en algunas de las cuencas, un segundo y hasta un tercer nivel de depósitos de sedimentos fluviales (terrazas aluviales) pertenecientes a eventos antiguos de crecidas (véanse Fig. 2.2 y 2.3).

La mayoría de las cuencas presentan agua todo el año, exceptuando las cuencas muy pequeñas que están presentes en cotas inferiores a los 300 m.



**Figura 2.2.** Fotografía con rumbo 340°, mostrando un panorama del abanico aluvial del río Uria y el urbanismo que sobrevivió a las crecidas de diciembre de 1999.

### 2.3. Clima

Es resultado del efecto a largo plazo de la radiación solar sobre la superficie y la atmósfera del Planeta en rotación. Se interpreta en términos de medias anuales o estacionales de temperatura y precipitaciones. Se han definido en el planeta unas zonas climáticas a través de isotermas. Sin embargo, dentro de cada una de estas

zonas cabe distinguir diferentes tipos y subtipos de climas en función de factores tales como la temperatura, la precipitación y otros.

Debido a esta razón, para cualquier área dada de la Tierra, debe considerarse no sólo su latitud (que determina la inclinación de la incidencia de los rayos solares), sino también su altitud, el tipo de suelo, la distancia del océano, su relación con sistemas montañosos y lacustres, y otras influencias similares.



**Figura 2.3.** Fotografía aérea misión 030602, escala 1:5.000, vista 1.154, año 1999 - 2000. Se aprecia el abanico aluvial del río Uria.

En general, Venezuela se encuentra limitada por el norte y por el sur con climas caracterizados por el predominio de situaciones extremas de mal tiempo, tales como

precipitaciones severas durante casi todo el año, o por el desplazamiento de peligrosos huracanes en el Caribe; sin embargo, puede decirse que el clima en Venezuela está moldeado y por ello no llega a límites dañinos para su desarrollo y normal desenvolvimiento.

Para dar una idea más específica del clima presente en la zona de estudio se debe conocer que existen varios microclimas ligados a la vegetación y producidos por la fuerte variación de altitud en pocos kilómetros, cuya causa es debida al cambio abrupto del relieve que se observa entre la zona costera y la cadena montañosa.

### **2.3.1. Clasificación climática ligada a la vegetación**

Los parámetros meteorológicos de temperatura y humedad no son suficientes para satisfacer la necesidad de una descripción climática exacta y universal. La vegetación, por su parte, ofrece una referencia importante. La influencia del clima en la vegetación natural viene determinada fundamentalmente por las precipitaciones, la temperatura y la luz; de ahí la estrecha relación existente entre la distribución de los regímenes climáticos y de la vegetación.

En la zona de estudio se observa una variación climática por la altura dentro de unas condiciones climáticas dominadas por la latitud, lo que indica un mesoclima unido a varios microclimas, los cuales han sido denominados anteriormente como pisos climáticos.

Se encuentran de esta manera cuatro pisos climáticos. Entre los 0 a 600 m se presenta una baja humedad con un promedio de temperatura en 27° C. En este piso climático se han obtenido mediciones pluviométricas de la estación Naiguatá, con una media mensual de 51 mm, presentando un máximo en el mes de diciembre de 107 mm y un mínimo en mayo con 25 mm (MARN, 1999) correspondiente al período de 1951 a 1997. En los pisos intermedios, la temperatura promedio fluctúa entre 18 a 21°C entre las cotas de 600 a 1.500 m y de 13 a 18°C para las cotas 1.500 a 2.000 m. En el último piso climático, que va desde 2.000 a los 2.765 m, la temperatura varía de 10 a 13° C, pudiendo llegar a temperaturas menores. Este piso climático posee casi

todo el año la presencia de pluviosidad al igual que niebla, siendo los meses de sequía febrero y abril.

#### 2.4. Vegetación

Los pisos de vegetación son franjas vegetales de aspecto relativamente homogéneo y composición característica que recubren las laderas montañosas. Al representar estos pisos en secciones, los cuales están relacionados a los pisos climáticos, éstos forman una serie de renglones que pueden ser divididos en zonas desde el piedemonte hasta la cima. Alexander Von Humboldt, en sus estudios y exploraciones por varios países incluyendo la Cordillera de la Costa (Venezuela), describió la distribución altitudinal de la vegetación, la cual indica que se dispone en bandas concéntricas alrededor de las cumbres.

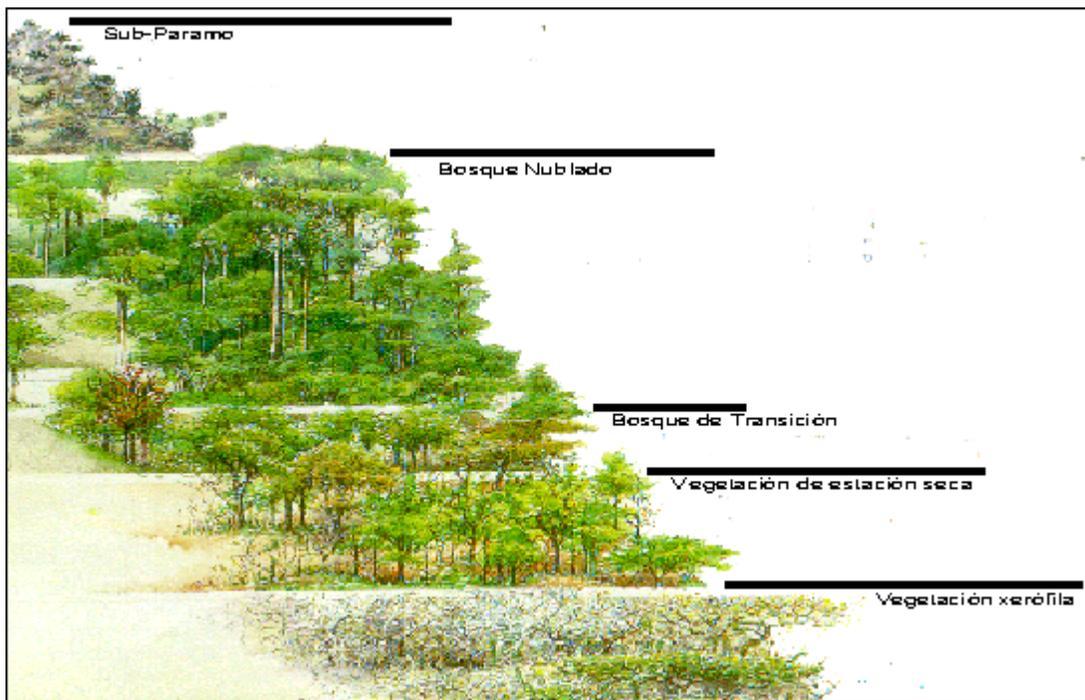
En la Cordillera de la Costa, este cambio debido a la altitud se ve acentuado por otro contraste especial entre las vertientes orientadas al viento, que están cubiertas de vegetación densa pero que reciben toda la humedad del mar (barlovento) y por ende son más propensas a deslizamientos producidos por saturación de los suelos durante las lluvias, como los ocurridos en Vargas en diciembre de 1999 y las vertientes protegidas del viento, más secas y de vegetación más rala.

De acuerdo al esquema planteado por HUBER (1984), el área de estudio puede ser separada en cinco tipos de vegetación (véase Fig. 2.4), los cuales están íntimamente ligados al relieve, clima y suelo. Enumerándolos desde la parte más próxima a la costa hasta la zona más elevada, éstos son:

- *Vegetación xerófila*: formada por las especies típicas de las zonas secas, tales como matorrales, plantas espinosas, etc., se encuentran en la vertiente norte del macizo del Ávila desde la línea de costa (0 m) hasta los 300 m aproximadamente.
- *Vegetación de estación seca*: con especies típicas de arbustos y árboles de madera dura.
- *Bosque de transición*: intervenido por el hombre, que durante muchos años lo usó para los cafetales. Además, se han introducido varias especies no autóctonas para dar

sombra y frutas, siendo común el platanillo, los árboles de mango, araguaney, eucalipto, etc. Este tipo de vegetación se encuentra en una pequeña franja que oscila entre los 900 a 1.100 m.

- *Bosque nublado*: las copas de los árboles generalmente tienen formas irregulares y no son muy densos, encontrándose también palmas de montaña (araque) y helechos. Gracias a los niveles de humedad altos, las orquídeas y bromelias son abundantes en ramas de las copas de los árboles. Esta vegetación se encuentra entre los 1.100 y 2.100 m.
- *Sub-páramo*: Esta vegetación es similar al páramo de los Andes, siendo muy común las especies de pequeño tamaño, tal como la hierba de páramo.



**Figura 2.4.** Esquema de los tipos de vegetación observados en el flanco norte del macizo (tomado de HUBER 1984).

## 2.5. Geomorfología

La geomorfología estudia los procesos endógenos y exógenos que ejercen cambios morfológicos del relieve de una zona específica. En esta área de trabajo el

proceso endógeno que ha actuado y actúa, es la orogénesis de la Cordillera de la Costa, la cual ha surgido como producto de un movimiento a mayor escala, y corresponde a la dinámica de toda la región del Caribe. Esta orogénesis ha producido el levantamiento de la cordillera, y se caracteriza por drenajes colgados que indican movimientos verticales, escarpes de falla presentes en la carretera La Guaira-Los Caracas, cercanos a la población de Tanaguarena, Carmen de Uria y Punta el Tigrillo; así como otras fallas paralelas y subparalelas de dirección este-oeste y algunas zonas de ensilladuras alineadas y paralelas a la misma dirección. Debido a estas geoformas presentes en la zona, SINGER (1977) propone una estructura de horst y graben para la cordillera. Por otro lado, los procesos exógenos-dinámicos que actúan en la zona estudiada son: la meteorización y erosión, que involucran una degradación físico-química de los macizos rocosos, observable por las estructuras de diaclasas y por los saprolitos; unido al arrastre de los fragmentos producidos por esta degradación, los cuales se constituyen de sedimentos y rocas de mayor tamaño, (que se denominan material en tránsito), a través de las vías de drenaje hacia la costa, (véase Fig. 2.1-B, 2.2, 2.3). Esto involucra geoformas de tipo cónico en las zonas de descargue de los drenajes (abanicos aluviales) donde predominan los sedimentos tamaño arena, y dos niveles de terrazas aluviales en donde se observan sedimentos de distintos tamaños (erosión fluvial), las cuales indican períodos de crecidas de por lo menos tres épocas distintas.

SINGER (1977) menciona la existencia de tres superficies de aplanamiento en la Cordillera de la Costa, las cuales denomina como  $S_1$ : Colonia Tovar mayor a los 2.000 m,  $S_2$ : San Antonio de los Altos ubicada entre 1.500 y 1.250 m; y  $S_3$ : Los Teques ubicada entre 1.200 y 900 m. Estas superficies de aplanamiento,  $S_1$ ,  $S_2$  y  $S_3$ , se han intentado relacionar con otras de la cordillera, sin embargo no han podido hacerse visibles en esta.

LOYO (1986) señala, unos remanentes de superficies de aplanamiento en las cotas de 1000, 800 y 600 m, ubicados al norte del sistema de fallas de La Victoria.

### 3 MÉTODOS

#### 3.1. Método de campo

##### 3.1.1. Equipos

Para la labor de campo, además de los implementos de uso básico personal apropiados al lugar de trabajo, se utilizan otros específicamente para la medición y extracción de muestras orientadas:

- Martillo o piqueta.
- Lupa con aumento de 10x y 15x.
- Solución de ácido clorhídrico (HCl) al 10%.
- Lápices y marcadores.
- Libreta de campo.
- Porta mapas.
- Brújula con clinómetro.
- Altimetro.
- Base cartográfica (mapa geológico-estructural y topográfico).
- Fotografías aéreas de la zona de estudio.
- Estereoscopio de bolsillo.
- Cámara fotográfica.
- Equipo de Sistema de Posicionamiento Global o GPS (Opcional).

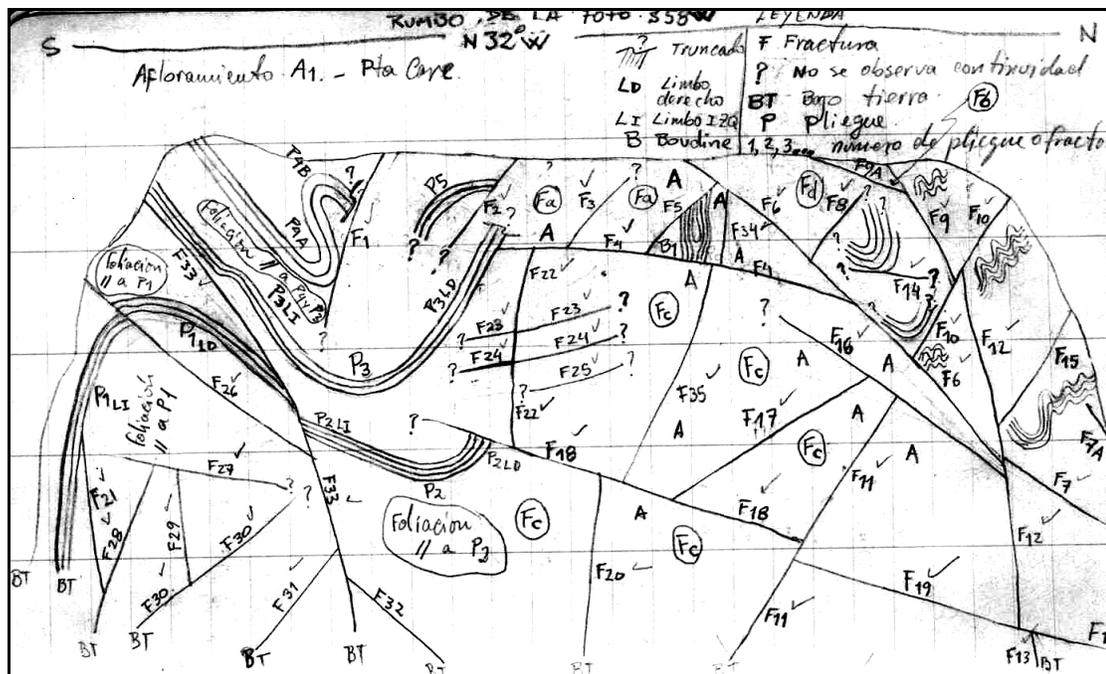
##### 3.1.2. Libreta de campo

En la libreta de campo se registran las observaciones, y todos los datos de importancia durante el levantamiento geológico-estructural. Es importante que esta sea legible, con una clara escritura y muy bien ilustrada (MCCLAY, 1987).

La libreta de campo debe ser llenada con los símbolos apropiados para ser comprendidos por cualquier persona conocedora del tema.

La forma de hacer buenas anotaciones de campo es ser ordenado, tener una observación muy cuidadosa y un registro sistemático. Se puede adoptar el siguiente procedimiento para las anotaciones de campo en cada localidad:

- Fecha, hora y lugar de la observación, con referencias a mapas o números de fotografía usadas, si es necesario.
- Número y nombre de la localidad observada, usando una codificación si es posible, para facilitar la toma de datos.
- Registro de las características litológicas.
- Registro de las descripciones y medidas de las características estructurales.
- Registro de las muestras orientadas y las fotografías tomadas.
- Interpretación del afloramiento según los parámetros regionales y construcción de esquemas de las relaciones estructurales asociadas (véase Fig. 3.1).



**Figura 3.1.** Bosquejo realizado en la libreta de campo sobre las estructuras estudiadas en la estación de Qda. Care (A1), mostrando los pliegues, foliaciones, fracturas, etc.

### 3.1.3. Mapas y fotografías aéreas

El tipo de mapa usado en una investigación de carácter geológico-estructural está controlado por la escala, el grado de complejidad estructural y el grado de exposición del afloramiento (MCCLAY, 1987). Esto sugiere que se debe trabajar en una escala apropiada a la base cartográfica utilizada en el trabajo de campo. Por ejemplo: los estudios en la Cordillera de la Costa indican que existe una intensa complejidad estructural, debido a que se sitúa en un margen activo de contacto entre dos placas tectónicas, una de las cuales es una placa anómala; el grado de exposición del afloramiento es el apropiado, más aún cuando los afloramientos han sido lavados y hasta excavados por las crecientes ocurridas en diciembre de 1999, un evento normal para los procesos geológicos terrestres lo cual representa una ventaja desde el punto de vista de la investigación.

En este trabajo se utilizaron principalmente las escalas 1:25.000 y 1:5.000, las cuales corresponden respectivamente a “mapa de contacto” (entre 1:50.000 y 1:15.000); y “mapa de exposición” (entre 1:15.000 y 1:1.000) según la clasificación de BARNES (1981) en MCCLAY (1987).

Los mapas de menor escala se utilizan para dilucidar la ubicación espacial de los rasgos geológicos de las estructuras observadas, mientras que los de mayor escala para identificar los rasgos estructurales más detallados en los afloramientos.

Los mapas topográficos usados como base del levantamiento geológico-estructural fueron las hojas 6847-IV-NO, 6847-IV-NE, 6847-IV-SO, 6847-IV-SE y 6847-I-SO a escala 1:25.000 del año 1975, las hojas II-9, II-10, II-11; III-10 a escala 1:5.000, proyecto Bitucotex (1957), y las hojas B-42 a la B-50, C-42 a la C-44, a escala 1:5000, proyecto área metropolitana de Caracas (1984).

Por otro lado, se usan fotografías aéreas de la zona de estudio ya que a partir de éstas se pueden obtener datos más detallados de las estructuras que se estudian.

Los datos estructurales, límites de afloramiento, ejes mayores de pliegues, trazas de fallas, y números locales, pueden ser anotados sobre la misma fotografía, para luego ser transcritos a los mapas base.

En este trabajo se utilizó el material fotográfico de la misión 030198 a escala 1:25.000 (fotografías 481 a la 493, 442 a la 454, 3.727 a la 3.735 y 5.280 a la 5.291) correspondiente al año 1975; además se utilizó la misión 030602 a escala 1:5.000, del año 1999-2000 (fotografías 1.147 a la 1.172, 1.256 a la 1.258, 1.974 a la 1.976); realizándose la interpretación fotogeológica necesaria.

#### **3.1.4. Simbología de mapas y anotaciones**

Esta comprende varios tipos:

- Símbolos generales.
- Estructuras lineales.
- Estructuras planares.
- Estructuras plegadas.

Es necesario graficar en los mapas, para cada localidad, todos los datos de los elementos estructurales, utilizando diferentes colores para representar rasgos geológicos, datos estratigráficos, estructurales, geomorfológicos, etc. Los siguientes puntos se deben enfatizar en el vaciado de los datos a un mapa (MCCLAY, 1987):

- Los símbolos deben ser anotados directamente sobre el afloramiento del cual se tomaron los datos, y no sobre otras áreas del mapa donde no se hicieron medidas.
- Los datos de rumbo y buzamiento deben ser también apuntados en el mapa para mejorar y maximizar la rapidez e interpretación de los datos.
- Los datos de lineaciones deben indicarse en el mapa usando un transportador, pues deben corresponder a los datos tomados en campo.
- Estas anotaciones deben ser transcritas en los mapas, si es posible en el campo, de no ser así, en la libreta de campo es indispensable anotar con exactitud la localidad de toma de datos y muestras.

#### **3.1.5. Escalas**

Es conveniente separar tres escalas de investigación: la macroscópica, la mesoscópica y la microscópica, las cuales se diferencian no solo por la zona

observada, sino también en el modo en que se realizan las observaciones (HOBBS *et al.* 1981).

La escala macroscópica incluye los cuerpos rocosos que no afloran por completo y debido a ello, toda referencia a la morfología de un pliegue macroscópico implica el paso interpretativo de reconstruir la estructura a partir de datos recogidos en diversos afloramientos.

En la escala mesoscópica entra toda muestra que sea continua y pueda observarse, incluye las muestras de mano o los afloramientos aislados, sea cual sea su tamaño, con tal de que las observaciones sean efectuadas a cuerpos continuos.

La escala microscópica afecta a toda estructura suficientemente pequeña o de un carácter tal que cuya observación requiere del uso de un microscopio óptico o electrónico. Incluye aspectos de la deformación de granos individuales, rasgos cristalográficos y detalles de la subestructura de dislocación.

En esta investigación se utilizó la escala mesoscópica como punto inicial de la observación de campo, con el fin de obtener los datos de afloramiento y las muestras orientadas asociadas, para luego pasar a la escala microscópica en el laboratorio y así realizar las interpretaciones y comparaciones con los modelos existentes. La escala macroscópica se utilizó sólo para la observación de estructuras de mayor tamaño, en la búsqueda de modelos estructurales apropiados.

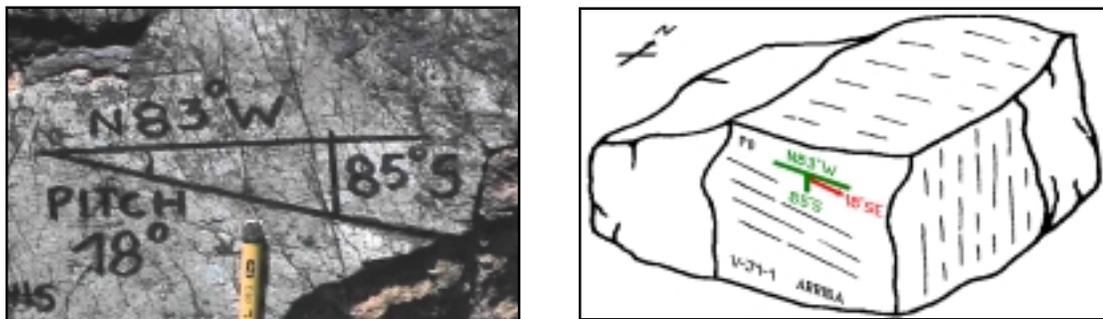
### **3.1.6. Recopilación de datos**

Para el estudio geológico estructural fue necesaria la aplicación de un procedimiento sistemático de recopilación de datos, el cual pudo hacerse según los siguientes lineamientos:

- Ubicación del afloramiento en la base cartográfica a escala 1:25.000 para el reconocimiento regional y 1:5.000 para detalles.
- Codificación resumida para nombrar los distintos sitios de trabajo, a fin de hacer más eficiente la toma de datos y su correspondiente anotación. Por ejemplo, en este trabajo se denotaron a las quebradas y ríos con letras mayúsculas (A, B, C,...) tomando como primera (A), la correspondiente a la quebrada ubicada más hacia el

este (Qda. Care). Los distintos afloramientos dentro de una quebrada o río se denotaron con números (1, 2, 3,...), iniciando la numeración desde el más costero. En fin, el código correspondiente al primer afloramiento de Qda. Care sería “A1”.

- Muestreo y descripción litológica de la estación de trabajo. Para ello se elige la muestra a extraer, se miden y registran los datos estructurales de la estación y de la muestra: foliación, diaclasas, limbos, plano y eje de pliegue, estilolitos, estructuras rotacionales, espejos de falla, estrías, fallas, color fresco y meteorizado, litología, textura, etc. Posteriormente, sobre un plano de la muestra elegida, así como se muestra en la figura 3.2, se marca la horizontal del mismo, se anotan los datos de rumbo y buzamiento además de la posición espacial del plano; es decir, si mira hacia arriba o hacia abajo. Según sea el caso, se indica la dirección de movimiento de la estría, lineación mineral o eje del pliegue, haciéndose estas anotaciones sobre la muestra antes de retirarla del afloramiento, de tal manera que el realizador de las secciones finas pueda restituir, en el laboratorio, la ubicación espacial de la muestra (véase tópico 3.2.3 “Elaboración de secciones finas orientadas”). Se retira la muestra procurando un tamaño aproximado a un puño, cincelándola por los planos de debilidad. Se rotula el código correspondiente a la muestra, como por ejemplo: V-J1-01 donde la “V” corresponde a “Estado Vargas”, “J1” a la codificación del afloramiento en la quebrada “El Cojo” y “01” al número de la muestra recolectada. Posteriormente, se anota en la libreta de campo previamente preparada, todos los datos marcados sobre la muestra, así como los datos de la zona de trabajo (Véase tópico 3.1.8 “Recolección de muestras orientadas”).



(A) Fotografía azimuth 007°

(B)

**Figura 3.2.** (A) Fotografía mostrando el rumbo, buzamiento y cabeceo de la estrías sobre un plano de falla. (B) Croquis del rotulado de la muestra de mano una vez extraída del afloramiento.

- Fotografiado general y en detalle del afloramiento. Esta fotografía debe incluir la escala y el rumbo para posterior análisis.
- Medición de estructuras geológicas con bosquejos. Aquí se toman y registran las medidas de todas las estructuras presentes en el afloramiento (diaclasas, fallas, pliegues, etc.), utilizando los procedimientos para ello; se realiza un bosquejo de las distintas estructuras principales en la estación de trabajo y se hacen fotografías en detalle de las estructuras que así lo ameriten.
- Anotación de los datos de estructuras principales sobre la base cartográfica.

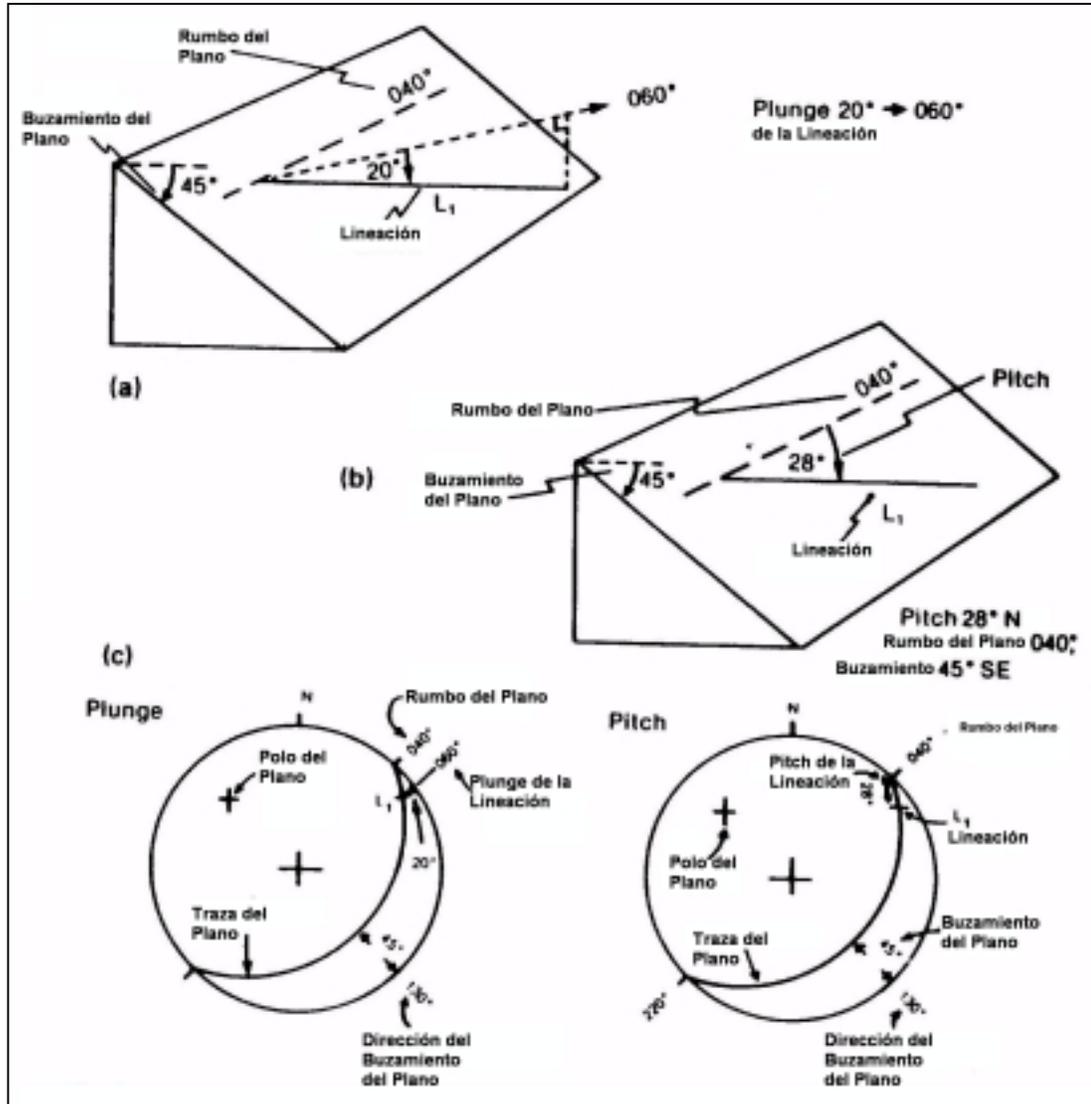
### **3.1.7. Técnicas de medición**

Una vez corregida la brújula según la declinación magnética de la zona de estudio, las mediciones se efectúan sobre planos de estructuras y sobre las alineaciones contenidas en estos, surgiendo diversos conceptos (véase Fig. 3.3).

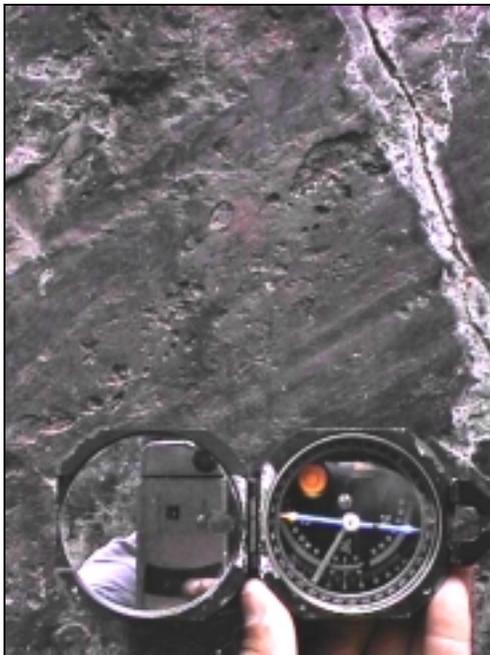
En este trabajo se presentan distintas técnicas de medición de las estructuras en campo:

#### **Medición de rumbo y buzamiento**

- Se ubica la línea horizontal de la estructura planar con el uso del clinómetro o el ojo de buey de la brújula.
- Se marca esta línea, sobre la muestra, con un lápiz o marcador.
- Se mide y registra el rumbo de la línea horizontal, lo que corresponde al rumbo de la estructura planar.
- Se mide y registra el ángulo de máxima inclinación (buzamiento) sobre la línea de máxima pendiente con ayuda del clinómetro de la brújula.
- Si la superficie no es lisa o aplanada, dificultando la colocación de la brújula, se puede utilizar la libreta de campo, o cualquier otra superficie lisa que permita la colocación correcta del instrumento y su debida comparación con el afloramiento.



**Figura 3.3.** Distintas mediciones y su representación en la red estereográfica: a) Medida del declive (plunge) de una lineación  $L_1$  20°-60° dentro de la capa del plano. El ángulo es medido en un plano vertical (con azimut 060°) que contiene la lineación  $L_1$ . b) El cabeceo u oblicuidad (pitch) de una lineación  $L_1$  es medido como 28° desde una línea imaginaria de rumbo 40° (utilizando el azimut como sistema de medida). c) Representación estereográfica del declive (plunge) y el cabeceo (pitch) medidos en los planos anteriores (tomado de MCCLAY, 1987).



(A): Fotografía azimut 120°



(B): Fotografía azimut 120°

**Figura 3.4.** Fotografías de un plano de falla en la margen derecha de la Qda. Cariaco, cota 195 m. (A) Se aprecia las estrías sobre el espejo de falla. (B) Se muestran los trazos de rumbo (N46°E), buzamiento (81°N) y dirección de estría (Cabeceo 28°NE).

### Medición de la dirección de inclinación

- Se ubica la dirección de la línea de máxima pendiente del plano usando el clinómetro de la brújula.
- Se marca esta dirección en la superficie de la muestra.
- Se mide y registra el ángulo de máxima inclinación.
- Se coloca el lomo de su libreta de campo sobre esta línea de máxima inclinación, de manera que ésta quede situada verticalmente y así colocar la brújula horizontalizada, tomando como guía la libreta, a fin de medir el azimut o el rumbo.

### Medición desde una posición alejada

Método usado cuando los afloramientos no poseen planos expuestos convenientes para realizar las mediciones. En éste es indispensable alinearse paralelamente al plano del afloramiento a ser medido, para disminuir el error de paralaje o apreciación.

- Se mide el azimut o rumbo del plano, colocándose el usuario en una posición tal, de manera que su visual quede alineada o paralela al rumbo (línea imaginaria) del plano a medir. Luego se alinea visualmente la pínula de la brújula con la línea horizontal imaginaria paralela al plano en cuestión, horizontalizando la brújula con el ojo de buey para así obtener la medida.
- Se mide y registra la inclinación del plano alineando visualmente la arista de la brújula con la superficie del plano, nivelando luego el clinómetro hasta que éste dé la medida.

### **Medición de estructuras lineales**

Las estructuras lineales, que incluyen, estrías, líneas de intersección, lineaciones minerales, ejes de pliegues o líneas de charnela, etc. son medidas de la misma manera, buscando el declive o el cabeceo en el plano que estén contenidas. Los datos, luego, se llevan a una proyección estereográfica para su posterior interpretación.

#### **Declive (plunge)**

- Se coloca el eje de la libreta de campo a lo largo de la estructura a ser medida, cuidando de que esté en posición vertical,
- Se mide y registra el azimut de la dirección del declive.
- Se mide y registra el declive de la estructura lineal con ayuda del clinómetro de la brújula, alineando el lomo del instrumento con la estructura en cuestión.

#### **Cabeceo (pitch)**

- Se ubica el rumbo del plano y se marca con un lápiz para así observar su intersección con la lineación a ser medida.
- Se mide y registra el rumbo y buzamiento del plano.
- Se mide y registra el ángulo entre la lineación y la línea de rumbo del plano, utilizando un transportador o también una brújula convencional, colocándola sobre la superficie planar y alineando la pínula con la estructura lineal, de modo que al nivelar el clinómetro se obtenga el ángulo requerido por construcción.

### 3.1.8. Recolección de muestras orientadas

La recolección de muestras orientadas es indispensable en el trabajo de geología estructural, sobre todo para análisis de orientaciones preferenciales, investigación de superposición de foliaciones, relaciones entre crecimientos de minerales metamórficos y fábrica tectónica, determinaciones de esfuerzo, etc. (véase “Muestreo y descripción litológica de la estación de trabajo” en tópico 3.1.6 “Recopilación de datos”).

El procedimiento utilizado para la toma de muestras orientadas es el siguiente:

- Se selecciona la muestra a ser recolectada, tomando en cuenta la facilidad de la extracción de la misma.
- Se mide y anota en la libreta, los elementos estructurales asociados con esta muestra y el afloramiento, realizando un bosquejo o croquis que resalte los detalles de la situación espacial de la muestra con respecto al afloramiento.
- Se selecciona un plano apropiado de la muestra para anotar con un marcador indeleble, los datos de rumbo y buzamiento, así como la disposición espacial de este plano; es decir, si la cara del plano apunta hacia arriba o hacia abajo.
- Se recolecta la muestra cincelándola por los planos de debilidad de ésta, bien sea fracturas, diaclasas u otros.

### 3.1.9. Fotografías

Las fotografías son un método para el registro de los datos del trabajo de campo. Aún así no sustituye a un croquis detallado de campo. Es difícil interpretar estructuras desde una fotografía sin el uso de un croquis apropiado. Para la toma de una fotografía con implicaciones de estudio geológico se puede utilizar el siguiente método:

- Utilizar una buena cámara de 35 mm con dos juegos de lentes: un lente gran angular para las fotos panorámicas y un lente “de acercamiento” para detalles.
- Dibujar un croquis con los detalles más relevantes del afloramiento, de modo que refuerce o complemente la fotografía, con el fin de interpretarlas o analizarlas posteriormente.

- Registrar la información de la fotografía en la libreta de campo, en particular la dirección en que fue tomada la misma.
- Incluir una escala apropiada siempre que sea posible.
- Prestarle la debida importancia a la distancia de la fotografía. Muchas veces se pierden los detalles.

## 3.2. Método de laboratorio

### 3.2.1. Equipos

En el laboratorio se necesitaron implementos específicos, útiles para el análisis de los datos tomados en campo, entre los que se pueden mencionar:

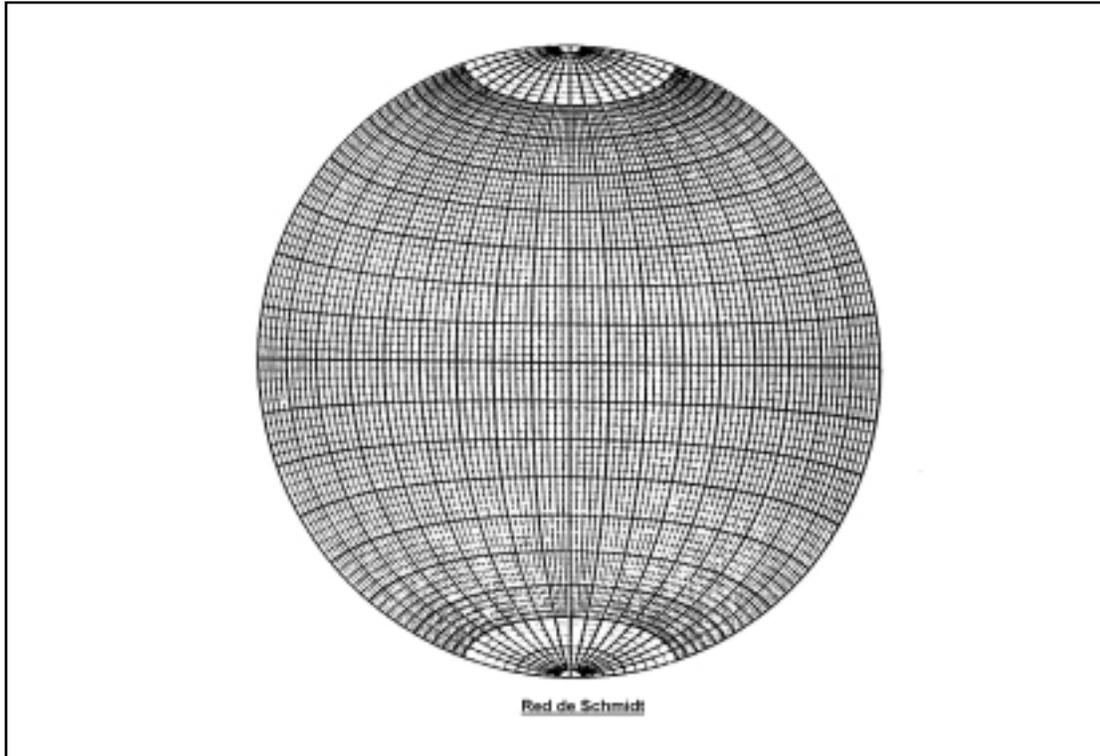
- Red estereográfica de Schmidt o equiareal.
- Papel calco.
- Papel milimetrado, para construcción de secciones.
- Equipo de geometría completo con un transportador de 360° y otro de 180°.
- Lápices de grafito, de colores y marcadores.
- Un libro de referencia para la construcción de proyecciones estereográficas, y otro de referencia para la comparación y denominación directa de las rocas y minerales encontrados.
- Microscopio petrográfico con cámara fotográfica.
- Computador personal.

### 3.2.2. Proyección estereográfica

Las proyecciones estereográficas son una herramienta fundamental en la geología estructural, y se usan para la representación de datos tomados de estructuras en tres dimensiones en el campo, a formas gráficas de dos dimensiones. Esto es para la resolución e interpretación de problemas que involucran relaciones angulares entre líneas y planos en el espacio.

Existen dos tipos de proyecciones de este tipo, la red de Wulff que es usada para resolver relaciones angulares, particularmente cuando las construcciones geométricas son hechas sobre la misma red y la red de Schmidt (véase Fig. 3.5), que tiene la propiedad de mantener la proyección de las áreas sin distorsión, lo que permite la graficación de los polos, los cuales pueden representar la orientación de las lineaciones, la de los polos de una esquistosidad, o la de los ejes “C” del cuarzo. Con esto se busca saber donde se encuentran las mayores concentraciones de los polos en

la proyección. Por lo tanto, en este trabajo se ha seleccionado la red de Schmidt o equiareal para la graficación de las estructuras tomadas en el período de campo y las obtenidas durante el estudio microtectónico de las secciones finas en el laboratorio.



**Figura 3.5.** Red de Schmidt, utilizada en la representación de los datos microtectónicos (tomado de MCCLAY, 1981).

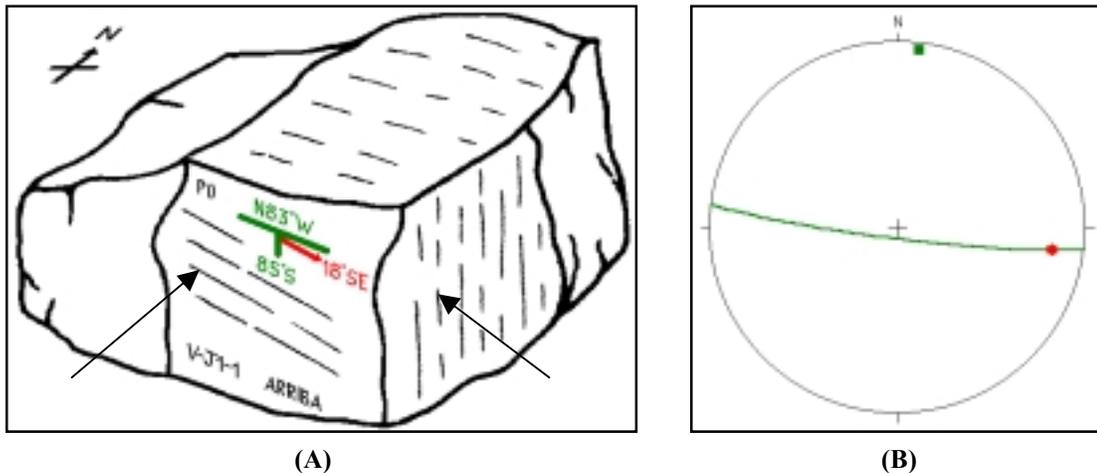
En las proyecciones estereográficas, las estructuras planares se grafican como grandes líneas circulares, pero pueden ser comúnmente representadas por polos (La Normal del plano); estos polos se grafican como puntos en la proyección y no deben ser confundidas con las estructuras lineales representadas también por puntos.

### 3.2.3. Elaboración de secciones finas

Para el análisis petrográfico y microtectónico, es necesaria la elaboración de secciones finas orientadas y para ello se aplica un procedimiento sistemático, que debe entenderse como continuación del procedimiento de muestreo descrito en los tópicos 3.1.6 y 3.1.8. A continuación se toma como ejemplo la muestra V-J1-01 de la

estación de trabajo en la margen derecha del río El Cojo, cota 125 m, plano de falla con estrías. Según los lineamientos que aquí se describen, se puede realizar el corte de las muestras y elaborar las secciones finas correspondientes para cada una de los siguientes tipos: espejo de falla con estrías, roca foliada o bandeada, pliegues y roca masiva donde sólo se puede identificar el plano de orientación.

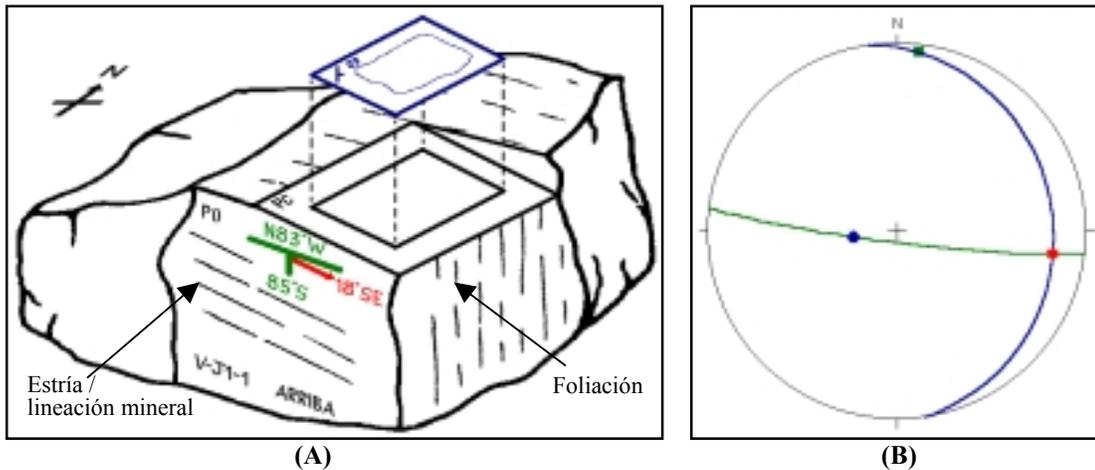
- Partiendo de un espejo de falla cuyo plano de orientación está rotulado con su rumbo y buzamiento, posición espacial del plano (aflora hacia arriba o hacia abajo), dirección de la estría y código de ubicación según el afloramiento (véase Fig. 3.6-A); se construye una estereografía del plano de corte con la estructura lineal sobre el mismo (véase Fig. 3.6-B).



**Figura 3.6.** (A) Croquis de la muestra de mano mostrando el plano de orientación (PO), su rumbo y buzamiento en verde (N83°W85°S), y la dirección de la estría / lineación mineral en rojo (cabecero 18°SE). (B) Estereografía del PO (verde) y la estría sobre PO (punto rojo).

- Se extrae la sección fina representada por un plano de corte que depende de los siguientes tipos de muestra:

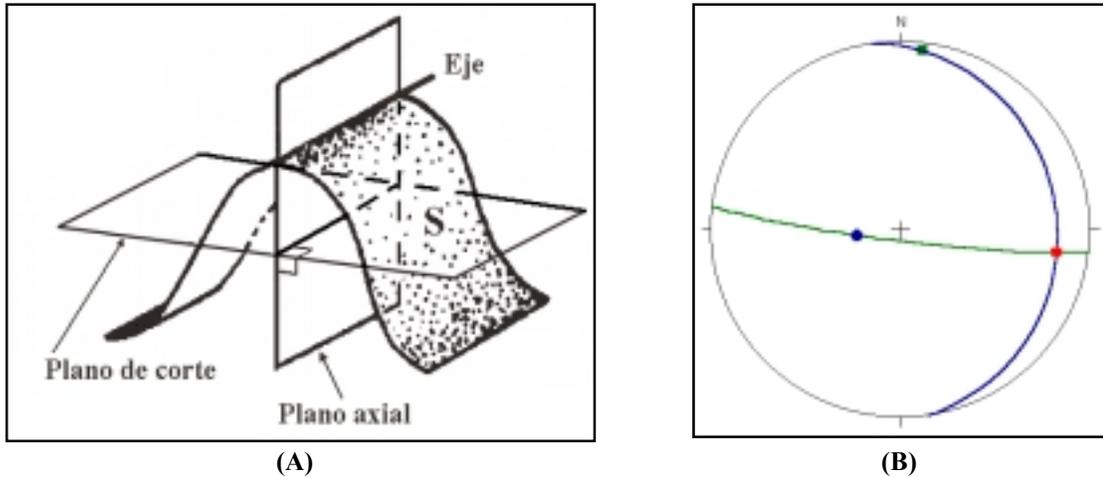
Caso 1. Espejo de falla con estrías, el plano de corte debe ser perpendicular al plano de falla y a su vez paralelo a la dirección de la estría de falla (véase Fig. 3.7-A); simultáneamente a ello se elabora la estereografía, de acuerdo al cual, la proyección estereográfica del plano de corte coincida con el polo del plano de falla y a su vez con la representación estereográfica (punto) de las estrías de falla (véase Fig. 3.7-B).



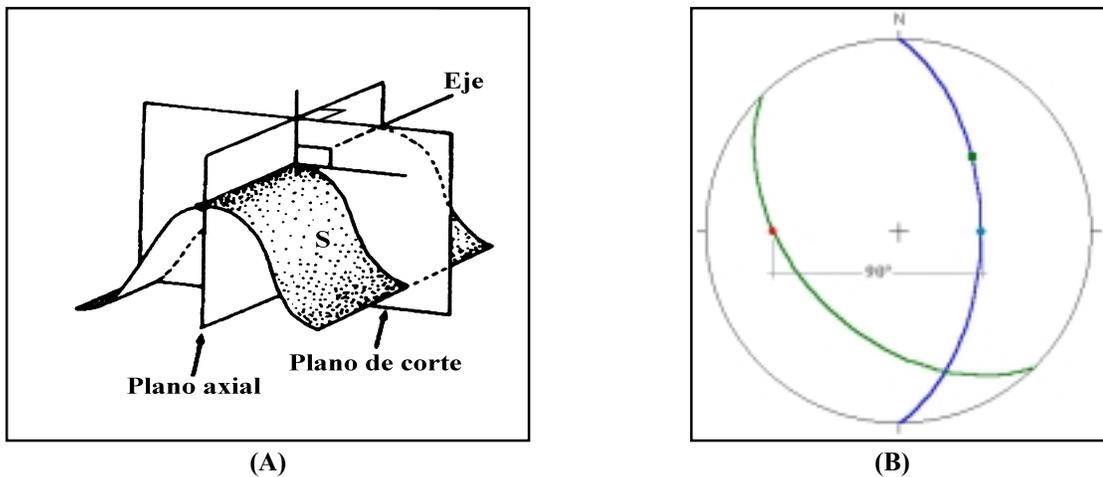
**Figura 3.19.** (A) Croquis de sección fina (azul), cortada sobre el plano de corte (PC), perpendicular al plano de orientación (PO) y paralela a la estría / lineación mineral. (B) Estereografía mostrando PC=N8,5°W18,5°NE (azul), cuya proyección estereográfica coincide con el polo de PO (punto verde) y a su vez con la estría (punto rojo).

Caso 2. Roca foliada o bandeada con lineaciones minerales visibles, el plano de corte debe ser perpendicular al plano de foliación y paralelo a la lineación mineral (véase Fig. 3.7-A); la proyección estereográfica del plano de corte debe coincidir con el polo del plano de foliación y a su vez con la representación estereográfica (punto) de la lineación mineral (véase Fig. 3.7-B).

Caso 3. Pliegues, este puede ser costado de dos maneras: 1<sup>ro</sup>, el plano de corte puede ser perpendicular al plano axial y paralelo al eje del pliegue (véase Fig. 3.8-A) donde la proyección estereográfica del plano de corte debe coincidir con el polo del plano axial y con la proyección (punto) del eje del pliegue (véase Fig. 3.8-B) y 2<sup>do</sup>, el plano de corte puede ser perpendicular tanto al plano axial como al eje del pliegue (véase Fig. 3.9-A) donde la proyección estereográfica del plano de corte debe coincidir con el polo del plano axial y a su vez con un punto correspondiente al plano perpendicular al eje, obtenido al trasladar la proyección del eje (punto) y medir 90° a partir de esta, sobre la este-oeste de la red (véase Fig. 3.9-B).

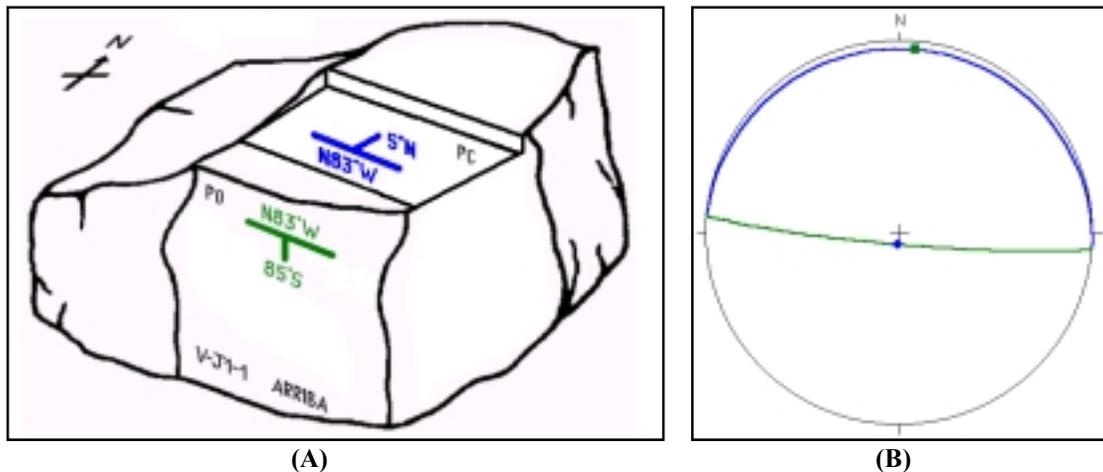


**Figura 3.8. (A)** Croquis de un pliegue (S), mostrando el eje, plano axial (PA) y el plano de corte (PC) perpendicular al PC y paralelo al eje del pliegue (modificada de MERCIER & VERGELY, 2001). **(B)** Estereografía del PC (Azul) cuya proyección coincide con el polo del PA (verde) y a su vez con el eje del pliegue (punto rojo)



**Figura 3.8. (A)** Croquis de un pliegue (S), mostrando el eje, plano axial (PA) y el plano de corte (PC) perpendicular tanto al PA como al eje del pliegue (modificada de MERCIER & VERGELY, 2001). **(B)** Estereografía del PC (Azul) cuya proyección coincide con el polo del PA (verde) y a su vez con un punto (azul) correspondiente al plano perpendicular al eje, obtenido al trasladar la proyección del eje (punto rojo) 90° sobre E-W de la red.

Caso 4. Roca masiva donde sólo se puede identificar el plano de orientación, se realiza el corte perpendicularmente a este plano eligiendo dentro de los infinitos cortes posibles, sólo uno de los dos planos perpendiculares con el mismo rumbo del primero (véase Fig. 3.10-A); esta elección que se hace posible con la estereografía, al hacer coincidir la proyección estereográfica del plano de corte con el polo del plano de orientación, manteniendo el mismo rumbo de éste (véase Fig. 3.10-B).



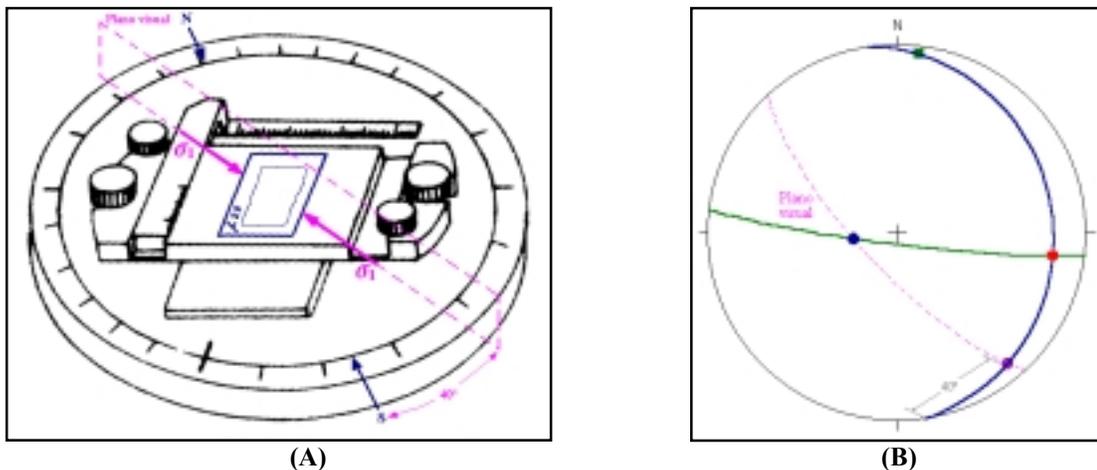
**Figura 3.9.** (A) Croquis de una muestra de mano mostrando el plano de orientación (PO) y el plano de corte (PC) con el mismo rumbo de PO y perpendicular al mismo. (B) Estereografía del PC (Azul) cuya proyección coincide con el polo de PO manteniendo el rumbo del mismo.

### 3.2.4. Análisis microtectónico

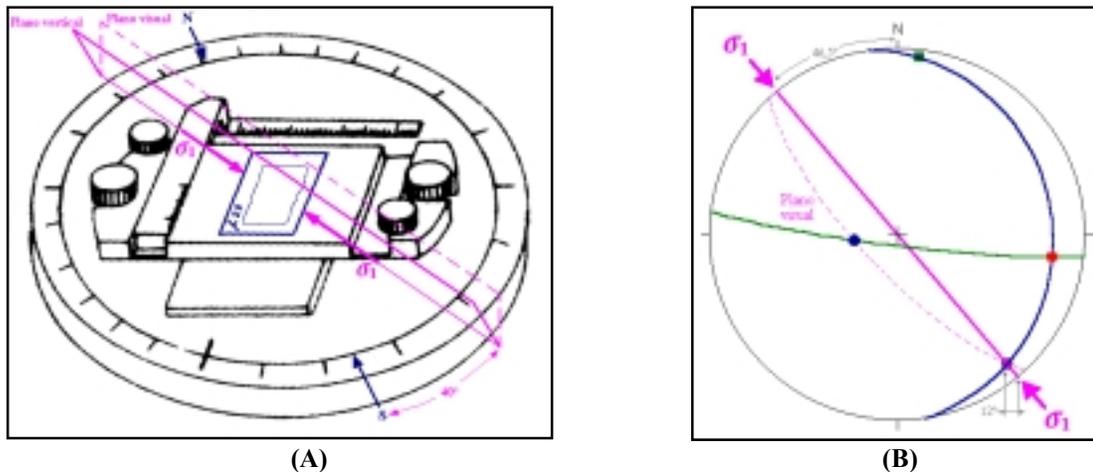
El análisis microtectónico radica en la búsqueda exhaustiva de microestructuras que den indicio de la dirección del vector de esfuerzo compresivo ( $\sigma_1$ ) y para tal fin se utilizan criterios microtectónicos tales como: deslizamientos de zonas internas de los granos (kink bands), estructuras granulares de diamante tipo “M” y geometría de las protuberancias en los límites de grano, etc. (véase criterios microtectónicos en el tópico 3.3.5 ). Para determinar la dirección preferencial del esfuerzo ( $\sigma_1$ ) y el declive del mismo, se procede de la siguiente manera:

- Sabiendo que cada sección fina posee un trazo que identifica el rumbo y buzamiento del plano en que fue cortada, se hace coincidir este trazo con un punto de referencia en la graduación angular que posee la platina del microscopio petrográfico. Esta referencia usualmente es la norte-sur.
- Se explora la sección fina de manera sistemática, comenzando por un extremo de la misma y terminando en la opuesta. Una vez identificada cada microestructura se procura establecer la dirección del esfuerzo compresivo  $\sigma_1$  para cada una de ellas (véase criterios microtectónicos en el tópico 3.3.5 ), el cual debe interpretarse como planos visuales en el que está contenido tales direcciones.

- En la platina, se mide la diferencia angular entre la dirección del esfuerzo compresivo  $\sigma_1$  (plano visual) y la referencia inicial (véase Fig. 3.10-A). En la estereografía, por estar  $\sigma_1$  contenido en el plano de la sección fina, se transfiere esta diferencia angular sobre la proyección estereográfica de la misma. Igualmente, por ser el plano visual perpendicular a la sección fina, su proyección estereográfica debe corresponder con el polo de esta última posibilitando el trazado del plano visual cuya proyección debe coincidir con  $\sigma_1$  (punto) y el polo del plano observado; a su vez es preciso cerciorarse de su correspondiente ubicación con relación a la referencia inicial (véase Fig. 3.10 - B).
- La verdadera ubicación espacial de  $\sigma_1$  viene dada por la intersección entre el plano visual y un plano vertical que contiene obviamente a  $\sigma_1$ . Es preciso mencionar que este plano visual es meramente referencial y por lo tanto no es necesario hallarlo pero si tenerlo presente; en tal sentido la dirección preferencial y el declive de  $\sigma_1$  se determina directamente, trazando un plano vertical que lo contenga (véase Fig. 3.11). En el ejemplo correspondiente a la figura mencionada la dirección de  $\sigma_1$  es N46,5°W y su declive es 12°SE.



**Figura 3.10.** (A) Croquis del análisis de la sección fina (azul) sugiriendo una dirección de  $\sigma_1$  ubicada en un plano visual (lila), perpendicular a la sección fina y ubicado a 40° al oeste del la referencia norte-sur (azul). (B) Estereografía mostrando el plano visual (trazo discontinuo lila) que coincide con  $\sigma_1$ , (punto lila), el polo del plano de corte (punto azul) y ubicado al oeste de la referencia norte-sur.



**Figura 3.11.** (A) Croquis del análisis de la sección fina (azul) mostrando una estructura que sugiere la dirección de  $\sigma_1$  ubicada en un plano vertical (lila), a  $40^\circ$  al oeste del la referencia norte. (B) Estereografía mostrando el plano vertical (trazo continuo lila) que coincide con  $\sigma_1$  (punto lila) e indica la ubicación espacial de  $\sigma_1 = N46,5^\circ W$ , declive  $12^\circ SE$ .

- Estos cuatro pasos se deben realizar para la mayor cantidad posible de microestructuras dentro de la sección fina, y obtener estadísticamente un valor de la dirección preferencial y del declive de  $\sigma_1$  en cada una de éstas, de manera tal que al agrupar todos los datos obtenidos de este análisis, por estación de trabajo, sea posible deducir la deformación y la dirección de  $\sigma_1$  a la que fue sometida localmente la roca; para que al agruparlos todos regionalmente, se obtenga estadísticamente el vector de esfuerzos al que ha estado sometido la zona de estudio.

### 3.2.5. Criterios microtectónicos

Durante la fase de campo, se efectuaron diferentes tipos de mediciones en función de la características litodémicas de la roca, íntimamente ligadas al dominio (frágil o dúctil) al cual pertenecían; es decir, para las rocas de dominio frágil se midió fracturamiento, fallamiento y diaclasado, mientras que para las de dominio dúctil, pliegamiento y esquistosidad.

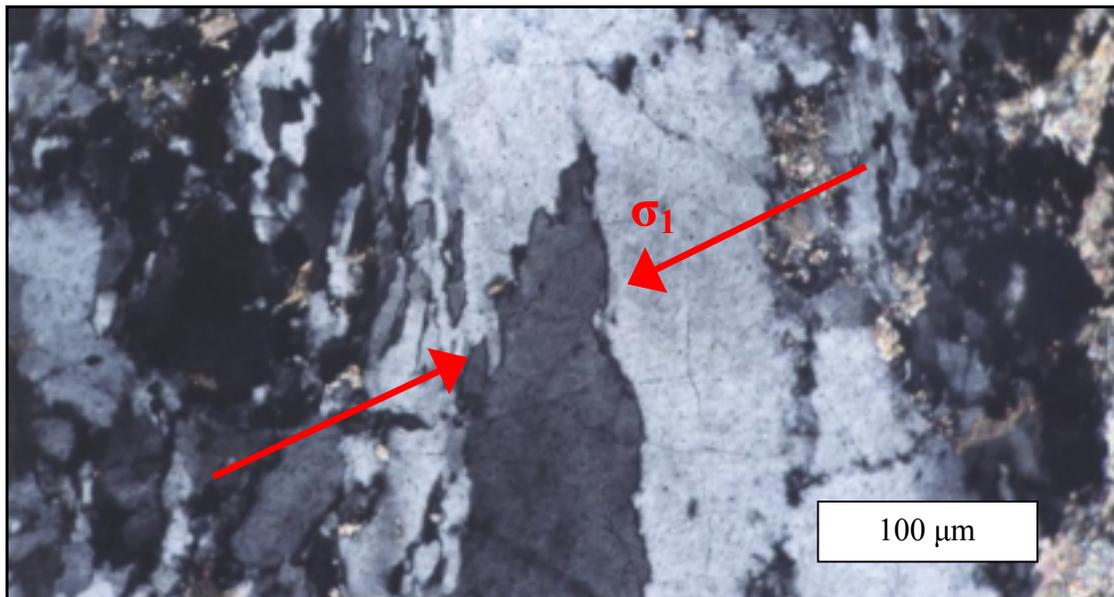
Una vez completada la recopilación de los datos de campo, se procedió al trabajo de laboratorio el cual consistió básicamente en la determinación, mediante criterios microtectónicos, del vector compresivo  $\sigma_1$  presente en cada estación de trabajo.

Diversos investigadores han publicado una buena cantidad de criterios microtectónicos estudiando diversos minerales. A continuación se presentan los criterios microtectónicos más sencillos, utilizados en esta investigación.

### **Criterios asociados con deslizamientos de límites de grano durante deformación dúctil.**

Se ha demostrado experimentalmente que la geometría de unas protuberancias observadas en los límites de granos depende de la orientación de éste con respecto al eje de esfuerzo (DRURY & HUMPHREYS, 1987). En ensayos uniaxiales de compresión, las protuberancias observadas a lo largo de límites paralelos o subparalelos al eje de esfuerzo poseen una geometría simétrica de tipo “zig-zag”. Las protuberancias a lo largo de límites inclinados al eje de esfuerzo son asimétricos con el sentido local de deslizamiento a lo largo del límite de grano.

El sentido de cizalla a lo largo de los límites de grano puede ser determinado a partir de que la geometría de la migración de partículas locales, la cual refleja la geometría del esfuerzo intergranular, depende de la geometría de la irregularidad inicial y del sentido de cizalla que cruza el límite de grano (véase Fig. 3.12).

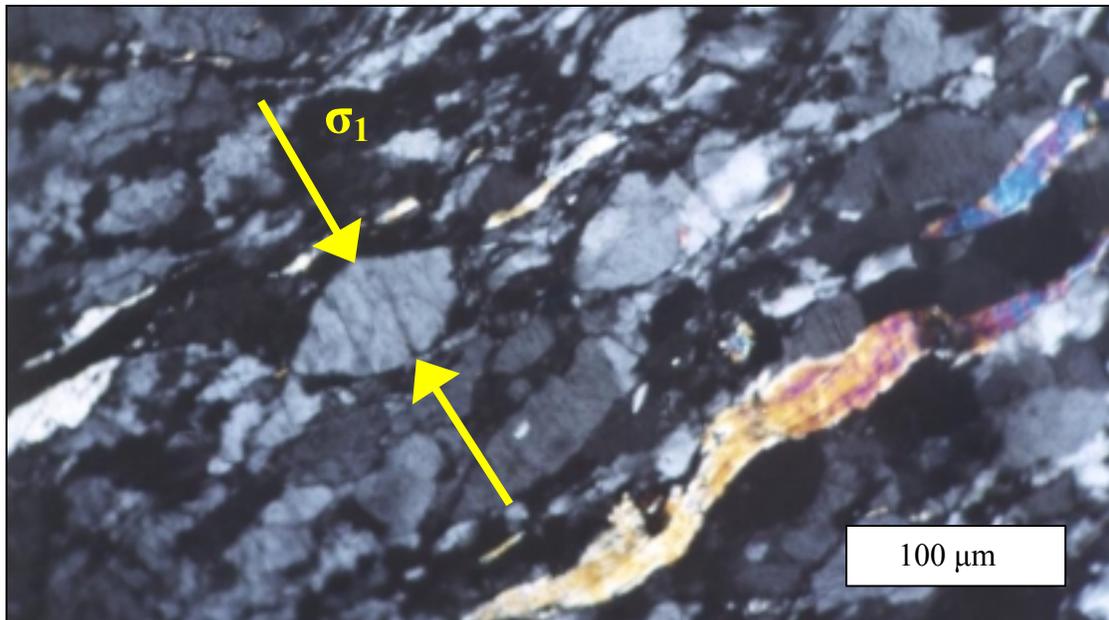


**Figura 3.12.** Fotomicrografía que presenta una veta de cuarzo donde puede apreciarse el límite en zig-zag entre dos granos; esta estructura es indicativa de la compresión. Está representado el vector  $\sigma_1$  (rojo). La muestra pertenece a la estación G3-1 de la cuenca de Quebrada Seca a una altitud de 255 m y corresponde a un gneis tomado de una falla inversa.

### Estructuras granulares de diamante tipo “M” y “N”, como criterio de cizalla (forma de granos)

Este tipo de estructuras son definidas por orientaciones preferentes de límites de grano o envolturas de límite de grano. Las estructuras de grano de tipo diamante son desarrolladas durante deformación coaxial en estados de deformación de tipo dúctil, y pueden ser divididas en dos tipos: el tipo “M”, en donde los límites de grano se alinean preferentemente a  $+45^\circ$  del eje de esfuerzo compresivo (SINGH *et al.*, 1977 y TUNGATT & HUMPHREYS, 1981), y el tipo “N” donde los límites se alinean en ángulos mayores.

La estructura de grano diamante tipo “M” ha sido reportada experimentalmente en clinopiroxenos (BOLAND & TULLIS, 1986) y en cuarzo deformado naturalmente (LISTER & DORNSIEPEN, 1981; LISTER & SNOKE, 1984 y VAN DEN ECKHOUT 1986); así como en otros materiales experimentales (véase Fig. 3.13).



**Figura 3.13.** Exhibe un grano con forma de diamante tipo “M” el cual sirve de criterio para la interpretación del vector compresivo  $\sigma_1$ . La muestra fue tomada en la estación II de Camurí Chico y corresponde a un gneis del Complejo San Julián en la zona de falla de Macuto.

El segundo tipo de estructura de grano diamante es el de tipo “N”. Este es caracterizado por orientaciones preferentes de envolturas de límite de grano que se sitúan entre  $60^\circ$  a  $70^\circ$  del eje de esfuerzo en experimentos uniaxiales de compresión.

Este tipo de estructura no llegó a ser utilizada puesto que no es común en los minerales observados en la zona de trabajo.

Las estructuras de grano de tipo diamante son indicativas de deformación coaxial, mientras que las estructuras de grano de tipo tabular indican deformación no coaxial y sentido de cizalla. Las estructuras de diamante tipo “M” son desarrolladas en condiciones de bajo esfuerzo, son estables en condiciones de alto esfuerzo, y proveen información del último incremento en el esfuerzo, mientras que el tipo “N”, requieren esfuerzos con larga duración para desarrollarse, y no son preservadas en regímenes de alto esfuerzo. Son utilizadas para criterios de cizalla solo en regímenes de bajo y moderado esfuerzo.

### **Precauciones**

- Al desarrollarse grupos de protuberancias simétricas y asimétricas en límites de grano, estas proveen información del régimen de cizalla durante el último esfuerzo. Estas estructuras pueden borrarse durante una deformación posterior.
- Este criterio debe ser utilizado con cuidado puesto que existen otros mecanismos para el desarrollo de protuberancias en los límites de grano (BAILEY & HIRSCH, 1962), los cuales no producen ninguna asimetría particular a lo largo del límite de grano.

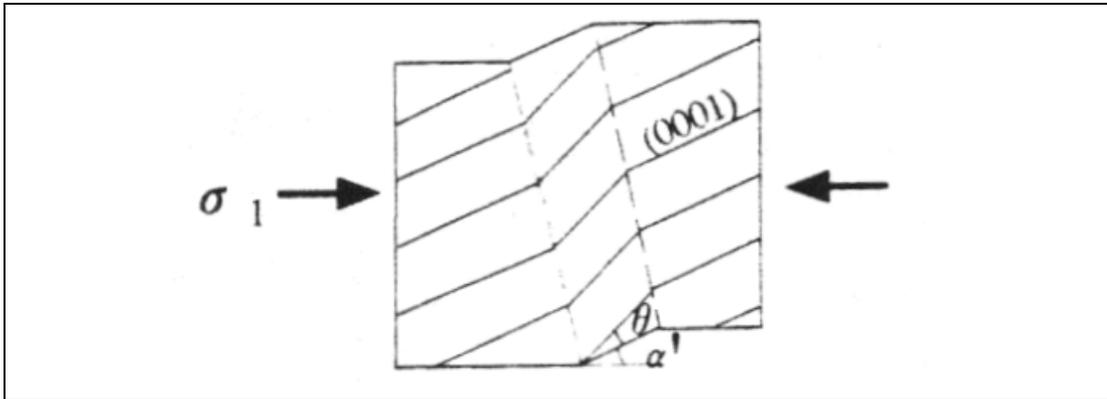
### **Deslizamientos de zonas internas de los granos (kink bands)**

Estas microestructuras se presentan en respuesta a regímenes de deformación progresiva del tipo de cizalla simple (WILLIAMS & PRICE, 1989), e incluyen no sólo kink band, también pliegues simétricos y bandas de cizalla del tipo de clivajes por crenulación.

La formación de kink band depende de la cizalla presente en la roca, pero constituye un mecanismo independiente que comienza con esta cizalla y luego genera su propio sistema de deslizamiento (PATERSON, 1969 en WILLIAMS & PRICE, 1989).

Una vez formada, la microestructura kink tiene la capacidad de aumentar debido al deslizamiento entre ambos limbos.

En su estudio del desarrollo microestructural en vetas de cuarzo bajo condiciones de metamorfismo de esquistos verdes, NISHIKAWA & TAKESHITA (1999) muestran que las microestructuras de kink se desarrollan al rotar internamente sus ejes “C” debido a un sistema compressivo en el ángulo óptimo con relación al sistema de deslizamiento. El esfuerzo de cizalla en la dirección del deslizamiento está expresado como una función del esfuerzo axial  $\sigma_1$  (véase Fig. 3.14 y 3.15).



**Figura 3.14.** Croquis de una microestructura de kink band donde se indica el vector compresivo  $\sigma_1$ . (tomado y modificado de NISHIKAWA & TAKESHITA, 1999).

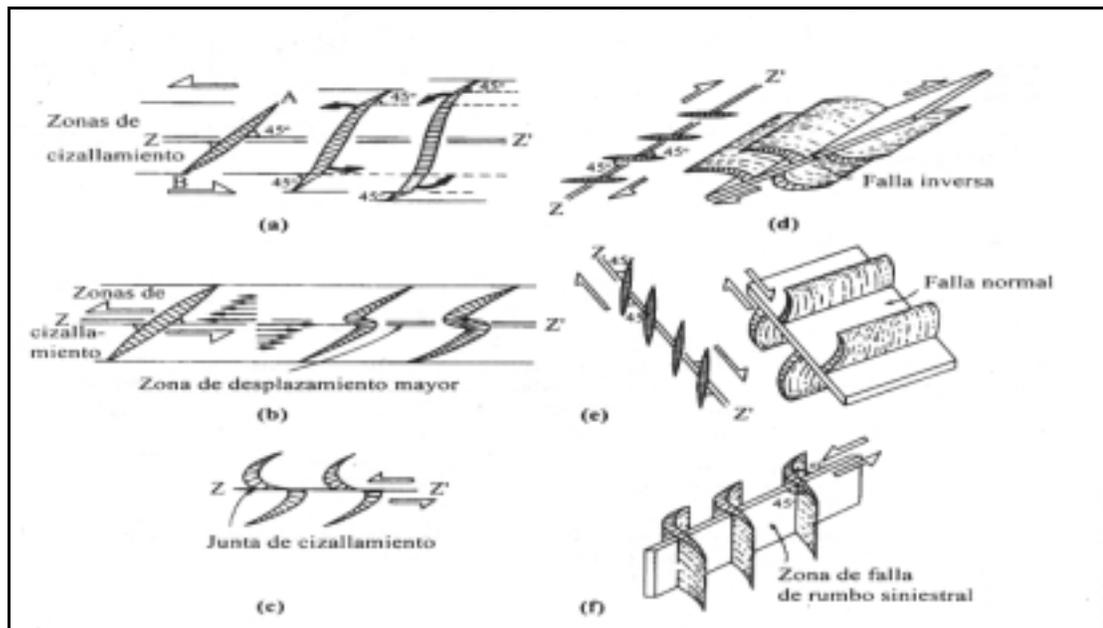


**Figura 3.15.** Fotomicrografía de un grano con kink band, reconocido gracias al maclado particular donde se aprecia el eje de la estructura kink ( $E_k$ ) en color verde, el eje de la cizalla (C) en rojo y el vector  $\sigma_1$  asociado (amarillo). Esta imagen corresponde a la sección fina de un pliegue con plano axial N30°W44°N y declive del eje 36°NW. La muestra fue tomada del Esquisto de Tacagua en la estación E1 de la Qda. Tanaguarena.

### Criterios asociados a vetas y análisis estructural.

Términos relacionados con la forma de los cristales en las vetas (véase Fig. 3.16).

- Fibrosos
- Alargados
- Disposición en paquetes
- Disposición en paquetes alargados
- Estructuras estiradas
- Estructuras fibrosas
- Vetas y análisis estructural



**Figura 3.16.** Grietas en echelon rellenas por mineralizaciones y su relación con la deformación. (a) Forma sigmoidal de las vetas debido a la rotación de la parte externa de las grietas ya formadas, en tanto que las extremidades continúan propagándose hacia la periferia, a  $45^\circ$  de la dirección de cizallamiento. (b) Determinación del sentido de cizallamiento a través de las grietas. (c) Forma sigmoidal producida por deformación cizallante dúctil y heterogénea del material, más intensa en el centro de cizallamiento R y/o P que cortan las grietas sigmoidales. (d) Asociadas a fallas inversas. (e) Asociadas a fallas normales. (f) Asociadas a fallas de rumbo (tomado de MERCIER & VERGELY, 2001).

## 4.1. Geología regional

## 4.1.1. Generalidades

En la tabla que se muestra a continuación, está condensada la información de los trabajos geológicos más relevantes realizados en el la Cordillera de la Costa y sus alrededores, con sus autores y fechas de su publicación, estimaciones litológicas, protolito, edades, metamorfismo y elementos estructurales, desde Humboldt hasta la actualidad.

**Tabla 4.1.** Resumen de trabajos geológicos realizados en la Cordillera de la Costa (modificado de BAENA, 1997).

Autor	Localidad	Litología	Protolito	Edades	Metamorfismo	Estructural	Observaciones
<b>HUMBOLDT (1991)</b>	Pico Oriental y la Silla de Caracas (1800)	Gneis de aspecto granítico				Señala el levantamiento de la Cordillera de la Costa	Anota las diferencias texturales y la poca orientación en las micas
<b>BOUSSINGAULT (1862)</b>	Pico Oriental y la Silla de Caracas (1800)						Reafirma los estudios de Humboldt (1991)
<b>AGUERREVERE &amp; ZULOAGA (1937)</b>	Cordillera de la Costa, específicamente: en la Silla de Caracas, carretera vieja de la Guaira y la carretera Maracay -Ocumare de la Costa	Augengneis con variación a gneis granítico	Inyecciones "lit-par-lit" de magma granítico en rocas sedimentarias	Correlacionan al Grupo Caracas con rocas cretácicas sedimentarias			Inicia los estudios modernos y establece el nombre de Peña de Mora.

Tabla 4.1. Continuación...

Autor	Localidad	Litología	Protolito	Edades	Metamorfismo	Estructural	Observaciones
<b>DENGO (1951)</b>	-Macizo del Ávila -Boquerón en la autopista Caracas-La Guaira	Gneis y augengneis feldespático-cuarzo-biotítico, gneis granatífero-muscovítico y mármol tremolítico-diopsídico	Sedimentario modificado por inyecciones aplíticas	El Grupo Caracas es Mesozoico	Esquistos Verdes, Anfibolita y Eclogita (Epidótica)	1. Fallas del Ávila y Qda. Chacaito: N60°W 2. Fallas al norte del macizo E-W 3. Fallas inversas: N45°E Buzando S	Amplía el nombre a Augengneis de Peña de Mora
<b>WEHRMANN (1972)</b>	Guatire-Colonia Tovar	Varios tipos de gneises, cuarcita, rocas ígneas ácidas, básicas ultrabásicas y calizas	El augengneis proviene de una masa granítica	Cretácico	Subfacies cuarzo albita epidoto biotita y cuarzo albita epidoto almandino	Peña de Mora sufrió emplazamiento por sist.de fallas. 1. Fallas oblicuas N50°-80°E 2. Zona de falla del Ávila E-W 3. Falla Qda Chacaíto) N60°W	Reseña que el Complejo Sebastopol es una unidad ígneo-metamórfica

Tabla 4.1. Continuación...

Autor	Localidad	Litología	Protolito	Edades	Metamorfismo	Estructural	Observaciones
<b>AZPIRITXAGA (1979)</b>	Flanco Norte del macizo Ávila	Propone como unidades a: Esquisto y gneis feldespático cuarzo micáceo, Esquisto actinolítico, epidótico, y calcáreo-cuarzo-grafitoso, Sepentinita, Anfibolita y Mármol			Facies de los esquistos verdes, zona de la clorita-biotita y el granate, evidencia de un primer metamorfismo de alta P/T	1. Fallas E-W 2. Fallas N-S 3. Falla Qda. Chacaíto N70°E	Reporta la presencia de Barroisita
<b>FANTI <i>et al.</i> (1980)</b>	Caracas y sus alrededores					Tres patrones de fallas: E-W, N-S y NW-SE	

Tabla 4.1. Continuación...

Autor	Localidad	Litología	Protolito	Edades	Metamorfismo	Estructural	Observaciones
OSTOS (1981)	Autopista Caracas - La Guaira (estribo Galindo)	Unidades informales: Gneis y esquistos feldespático- micáceo, mármol, esquistos calcáreos, actinolítico- epidótico, cuarzo- muscovítico, gneis cuarzo-feldespático, augengneis feldespático- micáceo, anfibolita y serpentinita.			Facies de los esquistos verdes de P/T intermedia y facies de los esquistos azules de alta P/T	Zona de fallas del Ávila E-W más antiguas, fallas oblicuas N40°-70°W y transversales como la falla Qda. Cacaïto N-S	

Tabla 4.1. Continuación...

Autor	Localidad	Litología	Protolito	Edades	Metamorfismo	Estructural	Observaciones
<b>SÁNCHEZ &amp; SILVA (1986)</b>	Oritapo, Cabo Codera y Capaya	Definen: Esquisto grafitosos, , esquisto y gneis cuarzo-plagioclásico-micáceo, anfibolitas granatífera, mármol, serpentinita, Complejo de Todasana, Complejo de Caruao y Complejo Cabo Codera			Facies de los esquisto verde, zona de la clorita, P/T intermedia Y Facie de los esquistos azules, alta P/T	Fallas: E-W a N80°W, N40°-70°W y N45°-60°E	Definen las unidades indicadas, basándose en las características texturales y mineralógicas
<b>RÍOS (1989)</b>	Cordillera de la Costa entre Macuto-Naiguatá y Los Ocumitos-Turgua,	Esquisto calcáreo-grafitosos, cuarzo-feldespático-muscovítico, paragneis, mármol, anfibolitas, y metagranito			Facies de los esquistos verdes, zona de la clorita y biotita, P/T intermedia	Zona de falla del Ávila E-W, Fallas N-S y Falla Qda. Cacaio N50°-60°W	Definen las unidades informales y las correlacionan con las Fm.: Tacagua, Peña de Mora, San Julián, Las Mercedes, Antímamo y Las Brisas

Tabla 4.1. Continuación...

Autor	Localidad	Litología	Protolito	Edades	Metamorfismo	Estructural	Observaciones
<b>URBANI &amp; OSTOS (1989)</b>	Cordillera de la Costa, específicamente al norte de los Valles de Valencia-Maracay, Caracas-Cabo Codera.	Redefinen: 1. Faja Septentrional: Complejo La Costa con fase Nirgua, Tacagua, Antimano y ultramáficas, 2. Faja Central: Complejo Ávila con Augengneis de Peña de Mora y Esquisto de San Julián y 3. Faja Meridional: Grupo Caracas con Las Brisas y Las Mercedes		Augengneis de Peña de Mora de edad Paleozoico-Precámbrico (1560 Ma), Esquisto de San Julián de edad Paleozoica, ambos pertenecen al Complejo Ávila	Zona de la biotita y el almandino, con relación de P/T intermedia a baja		La edad de Peña de Mora la determinaron por el método de Pb/Sr
<b>BELLIZZIA &amp; DENGO (1990)</b>	Cordillera de La Costa					Superposición tectónica de varias napas producidas por grandes fallas transcurrentes más jóvenes	

Tabla 4.1. Continuación...

Autor	Localidad	Litología	Protolito	Edades	Metamorfismo	Estructural	Observaciones
<b>OSTOS (1990)</b>	Margen sur – central del Caribe						Propone que durante el Cretácico existe una cuenca marginal en el norte de Venezuela
<b>GARCÍA (1994)</b>	Cuenca del río Tócome	Unidades informales: Esquisto plagioclásico, anfibólico, plagioclásico-cuarzo-epidótico, plagioclásico-epidótico, gneis plagioclásico-cuarzo-micáceo, metaígneas y metagranito	De origen ígneo y sedimentario		Facies de los esquistos verdes, zona de la biotita, con una P/T intermedia	Tres sistemas de fallas: 1. Zona de fallas del Ávila: E-W 2. N35°E y 3. N50°W	Acota que existen evidencias de deformación cataclásticas, observando rocas miloníticas y blastomiloníticas

Tabla 4.1. Continuación...

Autor	Localidad	Litología	Protolito	Edades	Metamorfismo	Estructural	Observaciones
<b>SABINO (1995)</b>	Flanco sur del pico Naiguatá	Esquisto grafitoso, mármol, esquisto – cuarzo-muscovítico, augenesquisto, gneis feldespático-cuarzoso, metaígneas máficas, metagranito	Arenas normales, arenas calcáreas, calizas, garbos, basaltos, sienogranito, trondhjemitita y granodiorita		Facies de los esquistos verdes, zona de la biotita y la clorita	Cuatro sistemas de fallas: 1. E-W 2. N-S 3. NW-SE (N60°-50°W) 4. NE-SW (N5°-7°E)	
<b>ARANGUREN (1996)</b>	Cuenca del la Qda. El Encantado	Define las unidades: gneis, esquisto cuarzo-feldespático, cuarzo-micáceo-grafitoso y calcáreo, metaígneas máficas, metatonalita y metagranito	Monzogranito, granitoide, toba volcánica, garbos, basaltos, sienogranito, tonalita, lutita, ortocuarcita y caliza		Facies de los esquistos verdes, zona de la biotita y la clorita	Sistema de fallas del Ávila: E-W buzando 60°S, N60°W y N-S	

Tabla 4.1. Continuación...

Autor	Localidad	Litología	Protolito	Edades	Metamorfismo	Estructural	Observaciones
<b>Uzcátegui (1997)</b>	Flanco sur de la Silla de Caracas	Defina las unidades: Gneis plagioclásico - cuarzo - micáceo, augengneis plagioclásico -cuarzo - micáceo y augengneis plagioclásico micáceo - epidótico	De origen sedimentario e ígneo		Facies de los esquistos verdes ubicada en la zona del granate	E-W N60°E NW-SE	
<b>URBANI <i>et al.</i> (1997)</b>	Flanco sur del Parque Nacional El Ávila, entre Maripérez y Caucagüita.	Grupo Caracas: Formaciones Las Brisas y Las Mercedes. Complejo Ávila: Esquisto de San Julián, Metaígneas de Tócome, Metagranito de Naguayá y Augengneis de Peña de Mora	El Protolito del Complejo Ávila de origen ígneo, granítico con intercalaciones de rocas sedimentarias y metavolcánicas. La metaígneas de Tócome son intrusiones de gabro o diabasa	Grupo Caracas es del Mesozoico, y el Complejo Ávila Pre-Mesozoico	Facies de los esquistos verdes, zona de la clorita y la biotita. Se reporto, en algunos casos, la presencia de almandino.		Compilan los trabajos de García (1994), Sabino (1995), Aranguren (1996) y Uzcátegui (1997)

Tabla 4.1. Continuación...

Autor	Localidad	Litología	Protolito	Edades	Metamorfismo	Estructural	Observaciones
BAENA (1998)	Cuenca del río Tacamahaca	Define: Esquisto calcáreo-cuarzoso y cuarzo-micáceo-grafitoso, gneis y esquisto cuarzo-feldespático-micáceo, metaígneas máficas y metagranodiorita.	Protolito de origen ígneo y sedimentario		Facies de los esquistos verdes, zona de la biotita y la clorita. Advierte la presencia de anfíbol verde-azul, lo que indica un rango de P mayor.	1. E-W 2. N50°W (dextral) 3. N45°W y 4. N75°W	
URBANI (2000)	Parte central de la Cordillera de la Costa	<p style="text-align: center;"><b>ASOCIACIÓN METAMÓRFICA LA COSTA. MESOZOICO. [COMPLEJO LA COSTA]</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mármol de Antímano (mármol y anfibolitas) [Fase Antímano]</li> <li>- Anfibolita de Nirgua (anfibolitas variadas) [Fase Nirgua]</li> <li>- Esquisto de Tacagua (esq. grafit. y epidocita) [Fase Tacagua]</li> <li>- Serpentinita [sin nombre formal]</li> </ul> <p style="text-align: center;"><b>ASOCIACIÓN METAMÓRFICA ÁVILA. PALEOZOICO-PRECÁMBRICO. [COMPLEJO ÁVILA]</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Anfibolita de Tócome (anfibolita, metagabro) [Metaígneas Tócome]</li> <li>- Metagranito de Naiguatá (metagranito y gneis) [igual]</li> <li>- Metadiorita de Todasana (metagabro, anfib.) [Complejo Todasana]</li> <li>- Metatonalita de Caruao (tonalita, anfib.) [Complejo Caruao]</li> <li>- Anfibolita de Cabo Codera (anfib., metagab.) [Complejo Cabo Codera]</li> <li>- Metagranito de Guaremal (metagranito) [Granito de Guaremal]</li> <li>- Gneis de Cabriales (gneis granítico) [igual]</li> <li>- Gneis granítico de Choróní (gneis granítico) [igual]</li> <li>- Gneis de Colonia Tovar (gneis granítico) [igual]</li> <li>- Complejo San Julián (esquisto, gneis, anfib.) [Esq. San Julián]</li> <li>- Augengneis de Peña de Mora (augengneis) [igual]</li> </ul>					Proponen actualización de nomenclatura de las unidades de rocas ígneo-metamórfica, según normas para unidades litodémicas.

Tabla 4.1. Continuación...

Autor	Localidad	Litología	Protolito	Edades	Metamorfismo	Estructural	Observaciones
<b>CANO &amp; MELO (2001)</b>	Estado Vargas entre Qda. Seca de Caraballeda y río Care	Definen 7 unidades: Rocas sedimentarias, Mármol de Antímamo, Esquistos de Tacagua, Serpentina, Metagranito de Naiguatá, Complejo de San Julián y Augengneis de Peña de Mora			Esquistos verdes, zona de la clorita y el granate	Tres patrones de fallas: 1. E-W 2. N40°-60°W y 3. N50°-70°E	Reportan reliquias de un posible evento metamórfico anterior en las facies de los esquistos azules
<b>BARBOZA &amp; RODRÍGUEZ (2001)</b>	Estado Vargas y flanco sur del Macizo Ávila al norte de Caracas.	Rocas Sedimentarias, Asoc. Metamorf. La Costa, Asoc. Metasedimentaria Caracas y Asoc. Metamorf. Ávila.			Esq. verdes, zona de la clorita, biotita y almandino y metamorfismo de alta relación P/T (Esq. azules)	Tres patrones de fallas: 1. E-W 2. N40°-70°W y 3. N30°-70°E	Compilan la cartografía geológica, generando 23 mapas a escala 1:25.000
<b>CASTILLO &amp; SUÁREZ (2001)</b>	Estado Vargas entre río Anare y Osma	Mármol de Antímamo, Esq. de Tacagua, Complejo San Julián, Augengneis Peña de Mora y Metaígneas plutónicas			Esquistos verdes subfacie de la clorita y granate. Y metamorf. previo de alta relación P/T (esquistos azules) por la Barroisita.	Patrones: - E-W. - N70°W. - N70°E. - N10°W	Realizan la cartografía geológica, a escala 1:25.000

## 4.2. Geología local

### 4.2.1. Generalidades

Las unidades litodémicas que se extienden a lo largo y ancho del área de trabajo están referidas en la tabla adjunta, sin embargo sólo se señalan aquellas que fueron objeto de estudio por suministrar datos microtectónicos relevantes al objetivo de este trabajo. El conjunto de rocas observadas en la zona, divididas en función a su ubicación geográfica, composición mineralógica, características metamórficas, texturales y geomorfológicas, son:

**Tabla 4.2.** Clasificación de las unidades litodémicas estudiadas en área de trabajo (compilado y modificado de URBANI, 2000 y CANO & MELO, 2001).

Tipo de roca	Asociación	Unidad litodémica	Tipo litológico	Subtipo litológico
Rocas Ígneo – Metamórficas.	Asociación Metamórfica Ávila (A). (Pre – Mesozoico).	Augengneis de Peña de Mora. (APM).	Augengneis feld. – cz.	Augengneis cz. – feld. – mic. – ep.
		Complejo de San Julián. (ASJ).	Esquisto cz. – plag. – mic.	Esquisto cz. – plag. – mic. – ep.
			Gneis cz. – plag.	Gneis cz. – plag. – mic. – ep.
			Anfibolita	Anfibolita ep. – mic. – cz. – gran.
	Asociación Metamórfica La Costa (C). (Mesozoico sin diferenciar).	Esquisto de Tacagua. (CT).	Esquisto cz. – mic. – plag.	Esquisto mic. – cz. – ep. – plag.
			Esquisto plag. – cz. – graf.	Esquisto cz. – graf. – carb.
			Esquisto act. – plag.	Esquisto mic. – ep. – cz. – plag. – act.
			Esquisto act. – ep.	
		Mármol de Antímamo (CA).	mármol y anfibolitas.	mármol cz. – plag. – mic.

**Nota:** act.=actinolita, carb.=carbonato, cz.=cuarzo, ep.=epidoto, feld.=feldespato, graf.=grafito, gran.=granate, mic.=mica y plag.=plagioclasa.

#### 4.2.2. Asociación Metamórfica la Costa (C)

Las rocas pertenecientes a esta asociación metamórfica se ubican, dentro del área de estudio, como una franja septentrional o costera con rocas pertenecientes al Esquisto de Tacagua (CT) y Mármol de Antímano (CA); ésta última unidad, aflora apenas en una faja de poca extensión superficial, dispuestos en cuñas alargadas con una proporción mineral que la clasifica como mármol cuarzo-feldespático-micáceo (Fig. 4.8). El Esquisto de Tacagua (CT), ocasionalmente es cortado por abanicos de aluvión (Qal) depositados por los drenajes del lugar. Se encuentra formando una banda alargada paralela a la costa que cruza a la zona de este a oeste y está constituida por esquistos de colores grises oscuros a negros y de color verde claro, los primeros con altos porcentajes de grafito y los segundos con actinolita y epidoto. La mineralogía puede variar entre: Esquisto micáceo-cuarzoso-epidótico-plagioclásico (Fig. 4.4), Esquisto epidótico-cuarzoso-plagioclásico-actinolítico (Fig. 4.5) y Esquisto cuarzo-grafitoso-carbonático (Fig. 4.6 y Tabla 4.2).

#### Esquisto de Tacagua (CT)

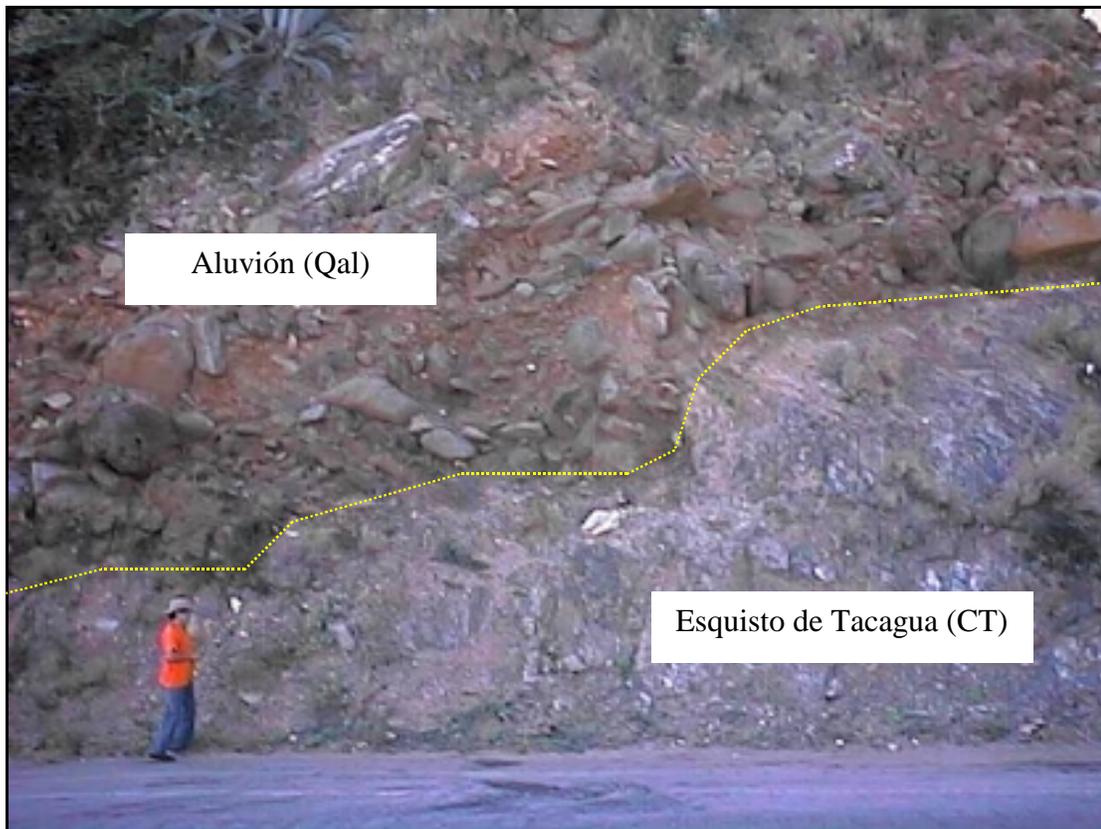
El nombre de esta unidad es designada por DENG (1951) como una secuencia alternante de esquisto calcáreo-grafitoso y esquisto epidótico, formando parte del Grupo Caracas y cartografiándola sólo donde hay claro predominio de rocas verdes epidóticas, mientras que WEHRMANN (1972) implícitamente la redefine al incluir en su mapa, una amplia zona donde aflora mayoritariamente esquisto grafitoso, con mayor o menor cantidad de intercalaciones de rocas verdes epidóticas. NAVARRO *et al.* (1988) la redefinen como Fase Tacagua de su Complejo La Costa. URBANI & OSTOS (1989) resumen la cartografía geológica de la Cordillera de la Costa mostrando la franja de afloramiento de esta unidad y BECCALUVA *et al.* (1996) presenta interpretaciones sobre el origen de las rocas volcánicas basadas en información geoquímica. URBANI (2000) incluye al Esquisto de Tacagua (CT) dentro de la Asociación Metamórfica La Costa.

### Ubicación

Es la segunda unidad más septentrional del área de trabajo, aflorando en una franja paralela a la costa. Esta franja se extiende entre las cotas de 0 m hasta 200 m, atravesando la zona, de este a oeste, entre la población de Maiquetía y Punta Care.

### Contactos litológicos

Limita al norte con la línea de costa y ocasionalmente aflora de manera discordante con el aluvión (Qal) depositado sobre éste. Conformamos el basamento del contacto con los sedimentos, el cual se evidencia en Punta el Tigrillo (Fig. 4.2).



**Figura 4.2.** Fotografía azimut 178°. Carretera de la costa, 30 m al oeste de la entrada a Punta el Tigrillo. Se aprecia el contacto discordante entre el Esquisto de Tacagua (CT) de la Asociación Metamórfica la Costa (C) y el Aluvión (Qal).

Al sur, la Falla de Macuto establece el contacto de falla entre esta unidad y litologías de la Asociación Metamórfica Ávila; generalmente con el Complejo San Julián (ASJ), observándose claramente en las cuencas de los ríos, Uria, San Julián,

Camurí Chiquito, El Cojo, Cariaco, Guanape, Osorio y Piedra Azul; ocasionalmente con el Augengneis de Peña de Mora (APM), apreciable en Quebrada Seca y Galipán; también, en contacto de falla con el Mármol de Antímano (CA), como es el caso de los ríos Care, Masare, Miguelena y Naiguatá.

### Características

Se caracteriza por ser poco competente, expresando una topografía poco elevada con formas redondeadas. Es de textura esquistosa con colores que varían entre grises claros y oscuros hasta verdes de tonalidades claras cuya composición mineral esta conformada, en mayor o menor porcentaje por: muscovita, cuarzo, minerales



**Figura 4.3.** Fotografía azimuth 225°. Margen derecha del del río Uria, 100 m al sur de Carmen de Uria. Se aprecian intercalaciones de: (1) esquisto epidótico, (2) cuarcita, (3) esquisto carbonático azul y (4) esquisto grafitoso gris oscuro.

del grupo del epidoto, plagioclasa, clorita, grafito y carbonatos. En el río Uria, ésta aflora presentando intercalaciones entre rocas epidóticas de tonos verdosos, vetas de

cuarzo blanquecino, bandas de esquistos carbonáticos color azul y esquistos grafitosos gris oscuro (Fig. 4.3).

### Tipos litológicos

La descripción de esta unidad se limita a las litologías con características de interés microtectónico, basándose en la petrografía de secciones finas elaboradas para este proyecto y su comparación con las descripciones recopiladas por URBANI (2000) y CANO & MELO (2001). En este respecto, los distintos subtipos litológicos del Esquisto de Tacagua, que se estudiaron, son mostrados en la Tabla 4.3.

**Tabla 4.3.** Clasificación del Esquisto de Tacagua referente a las litologías estudiadas (compilado y modificado de URBANI, 2000 y CANO & MELO, 2001).

Unidad litodémica	Tipo litológico	Subtipo litológico
Esquisto de Tacagua. (CT).	Esquisto cz. – mic. – plag.	Esquisto mic. – cz. – ep. – plag.
	Esquisto act. – plag.	Esquisto mic. – ep. – cz. – plag. – act.
	Esquisto act. – ep.	
	Esquisto plag. – cz. – graf.	Esquisto cz. – graf. – carb.

**Nota:** act.=actinolita, carb.=carbonato, cz.=cuarzo, ep.=epidoto, feld.=feldespato, graf.=grafito, mic.=mica y plag.=plagioclasa.

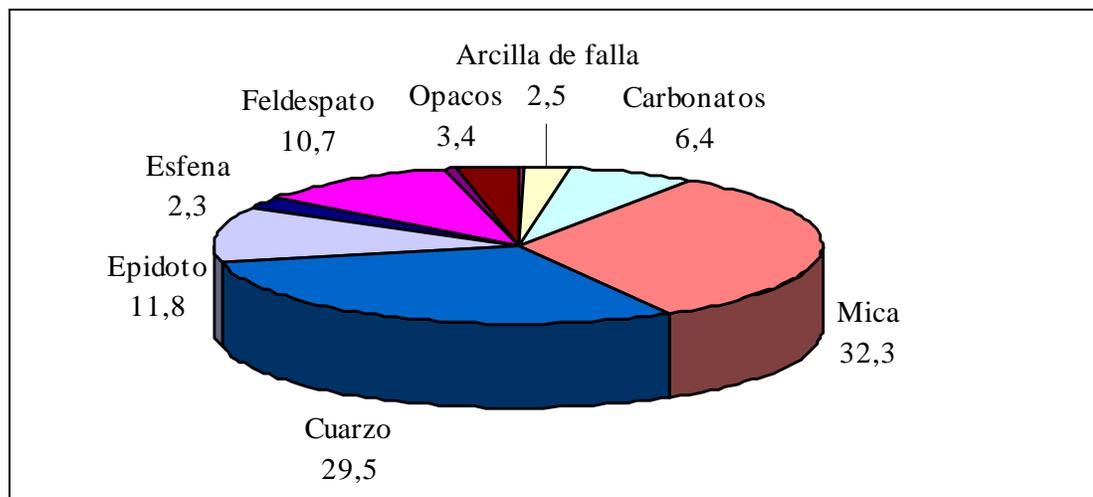
### Petrografía

Aquí se muestran los resultados arrojados por el estudio petrográfico de las muestras recolectadas en las estaciones de trabajo concernientes al Esquisto de Tacagua y su clasificación dentro de las descripciones realizadas previamente por otros autores. Se adjuntan una serie de tablas (Tablas 4.4, 4.5 y 4.6) que indican los porcentajes de minerales encontrados para cada muestra, la media y porcentaje máximo y mínimo de la litología en cuestión. De cada tabla se extrajo la gráfica porcentual correspondiente (Fig. 4.4, 4.5 y 4.6), que engloba algunos grupos minerales como feldespatos y micas, para obtener finalmente el subtipo litológico referido en el tópico anterior (Tabla 4.3).

**Tabla 4.4.** Composición mineralógica del Esquisto de Tacagua (esquisto micáceo–cuarzoso–epidótico–plagioclásico).

Muestra Código	Composición mineralógica (%)																	
	Act	Ap	Arc	Car	Cir	Clo	Cz	Ep	Esf	Gra	Graf	Óx	Mic	Mus	Op	Ort	Plag	Rut
V-A1-2						10	40	35	< 1						5			10
V-B1-3		< 1				40	20	25				3		5				7
V-C1-1				20		9	60	10	< 1						< 1			
V-C1-2				12		47	15	12	< 1						2			12
V-E1-1	< 1			15		40	17	7	3					8				10
V-E1-2	< 1					30	60	< 1				< 1			< 1			9
V-I2-2		5				20	35	10	< 1	2				20	3			5
V-I3-1		1		15		30	18	5	3					10	10			8
V-L'2-1						7	15	9	5			< 1	4	40	10			10
V-M3-2	< 1		35			1	15		7					25	12			5
V-M2-01				15		38	8	25	2					2	3			7
V-M2-02				12		30	25	18										15
V-D3-01	< 1				< 1	20	30	5	7			1					4	33
V-D3-01	< 1				1	20	55	4	5			2		1	2			10
<b>Media</b>	<b>0</b>	<b>0,4</b>	<b>2,5</b>	<b>6,4</b>	<b>0,1</b>	<b>24,4</b>	<b>29,5</b>	<b>11,8</b>	<b>2,3</b>	<b>0,1</b>	<b>0</b>	<b>0,4</b>	<b>0,3</b>	<b>7,9</b>	<b>3,4</b>	<b>0,3</b>	<b>10,1</b>	<b>0</b>
Máx.	< 1	5	35	20	1	47	60	35	7	2		3	4	40	12	4		33
Min.	< 1			12	< 1	1	8	< 1	< 1			< 1		1	< 1			5

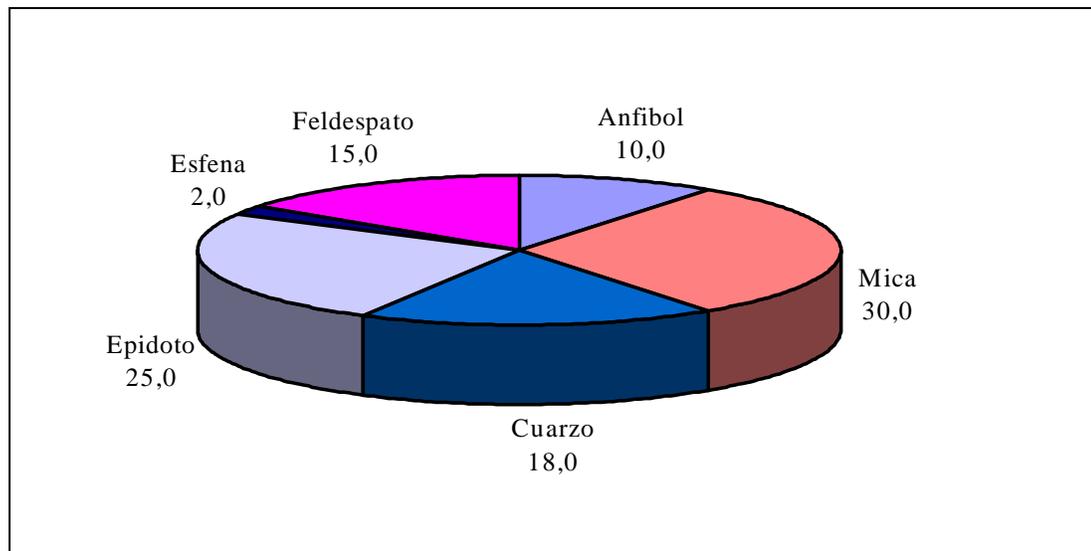
**Nota:** act.=actinolita, ap.=apatito, arc.=arcilla de falla, car.=carbonato, cir.=circón, clo.=clorita, cz.=cuarzo, ep.=epidoto, esf.=esfena, gran.=granate, graf.=grafito, óx.=óxido, mic.=microclino, musc.=muscovita, op.=opacos, ort.=ortosa, plag.=plagioclase tipo albita y rut.=rutilo.

**Figura 4.4.** Mineralogía porcentual del Esquisto de Tacagua, según Tabla 4.4 (esquisto micáceo–cuarzoso–epidótico–plagioclásico).

**Tabla 4.5.** Composición mineralógica del Esquisto de Tacagua (esquisto micáceo-epidótico-cuarzoso-plagioclásico-actinolítico).

Muestra Código	Composición mineralógica (%)																	
	Act	Ap	Arc	Car	Cir	Clo	Cz	Ep	Esf	Gra	Graf	Óx	Mic	Mus	Op	Ort	Plag	Rut
V-B1-2	10					30	18	25	2						< 1		15	
<b>Media</b>	<b>10</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>30</b>	<b>18</b>	<b>25</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>&lt; 1</b>	<b>0</b>	<b>15</b>	<b>0</b>
Máx.	10					30	18	25	2						< 1		15	
Min.	10					30	18	25	2						< 1		15	

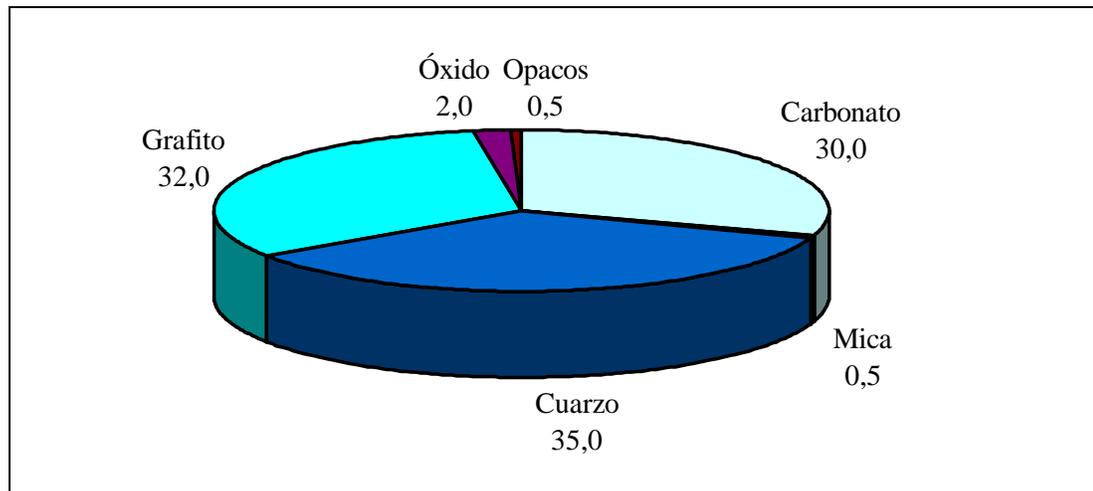
**Nota:** act.=actinolita, ap.=apatito, arc.=arcilla de falla, car.=carbonato, cir.=circón, clo.=clorita, cz.=cuarzo, ep.=epidoto, esf.=esfena, gran.=granate, graf.=grafito, óx.=óxido, mic.=microclino, musc.=muscovita, op.=opacos, ort.=ortosa, plag.=plagioclasa tipo albita y rut.=rutilo.

**Figura 4.5.** Mineralogía porcentual del Esquisto de Tacagua, según Tabla 4.5 (esquisto micáceo-epidótico-cuarzoso-plagioclásico-actinolítico).

**Tabla 4.6.** Composición mineralógica del Esquisto de Tacagua (esquisto cuarzo-grafitoso-carbonático).

Muestra Código	Composición mineralógica (%)																		
	Act	Ap	Arc	Car	Cir	Clo	Cz	Ep	Esf	Gra	f	Óx	Mic	Musc	Op	Ort	Plag	Rut	
V-L'1-1				30		< 1	35					32	2			< 1			
<b>Media</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>30</b>	<b>0</b>	<b>&lt; 1</b>	<b>35</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>32</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>&lt; 1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
Máx.				30		< 1	35					32	2		< 1				
Min.				30		< 1	35					32	2		< 1				

**Nota:** act.=actinolita, ap.=apatito, arc.=arcilla de falla, car.=carbonato, cir.=circón, clo.=clorita, cz.=cuarzo, ep.=epidoto, esf.=esfena, gran.=granate, graf.=grafito, óx.=óxido, mic.=microclino, musc.=muscovita, op.=opacos, ort.=ortosa, plag.=plagioclasa tipo albita y rut.=rutilo.

**Figura 4.6.** Mineralogía porcentual del Esquisto de Tacagua, según Tabla 4.6 (esquisto cuarzo-grafitoso-carbonático).

### **Mármol de Antímamo (CA)**

AGUERREVERE & ZULOAGA (1937) lo incluyen como pertenecientes a la Fase Zenda de la Formación Las Mercedes y posteriormente DENGO (1947) en la Formación Las Brisas. SCHURMANN (1950) presenta un mapa de los distintos tipos litológicos del sector de Antímamo y Mamera, pero es DENGO (1950) quien describe a estos mármoles, indicando que son rocas estructuralmente competentes en comparación con el esquisto que lo rodean e incompetente con las rocas anfibólicas, mostrando pliegues de flujo alrededor de ellas (Fig. 4.7 y 4.8). DENGO (1951) describe formalmente la unidad, como mármol masivo de grano medio, color gris claro, alternando con capas de esquisto cuarzo micáceo asociadas con cuerpos concordantes de rocas anfibólicas, algunas con estructuras de Boudinaje (Fig. 4.9). GONZÁLEZ DE JUANA *et al.* (1980) son los primeros en interpretar que esta unidad probablemente “representa una horizonte tectónico y no una unidad litoestratigráfica”. OSTOS *et al.* (1987) y NAVARRO *et al.* (1988) la redefinen como Fase Antímamo, dentro de la unidad de corrimiento que denominan Complejo La Costa, junto a las fases Tacagua y Nirgua. URBANI (2000) agrupa al Mármol de Antímamo (CA) dentro de la Asociación Metamórfica La Costa.

### **Ubicación**

En la zona de estudio, aflora como una franja paralela a la costa, de orientación este-oeste, alargada y delgada, acuñada entre la Asociación Ávila y los Esquistos de Tacagua, que atraviesa a una cota aproximada de 60 m a las cuencas de los ríos Naiquatá, Miguelena, Masare y Care.

### **Contactos litológicos**

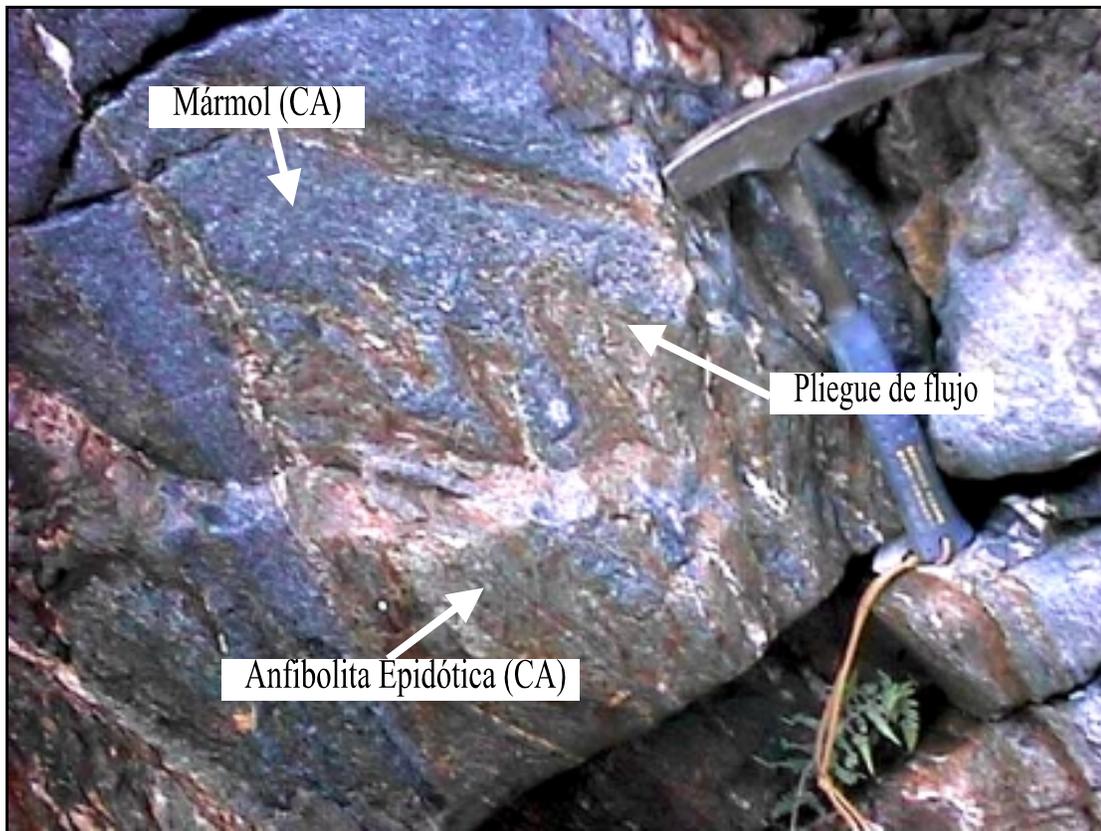
Al norte, el Mármol de Antímamo se observa intercalado con el Esquisto de Tacagua (CT) presentando un contacto de falla (Falla de Macuto) con éste; evidenciado por las ensilladuras que se observan en los ríos Miguelena y Naiquatá. Al sur, en el río Miguelena se aprecia en contacto de falla con el Complejo San Julián y en el río Naiquatá con el Augengneis de Peña de Mora.



**Figura 4.7.** Fotografía azimut 275°. Margen izquierda del río Miguelena, cota 80 m. Plegamiento del Mármol de Antímano (CA).

### **Características**

Se caracteriza por poseer poca extensión de afloramiento; entre los 8 Km de largo en sentido este-oeste y aproximadamente 150 m de ancho en la norte-sur. En comparación con los relieves adyacentes, éste se presenta como un alto topográfico fácilmente diferenciable del resto de la litología. Se aprecia de color fresco grisáceo a gris azulado fuerte y con eventual meteorización cárstica que adopta colores azul grisáceo pálido. Su composición mineral está conformada por carbonato sin diferenciar, cuarzo, muscovita, plagioclasa, esfena y opacos como pirita (Tabla 4.8); de allí su clasificación de mármol cuarzo–plagioclásico–micáceo (Fig. 4.10). Su identificación en campo está facilitada por su asociación con las cocuizas.



**Figura 4.8.** Fotografía azimut 273°. Margen izquierda del río Miguelena, cota 80 m. Detalle del pliegue de flujo entre mármol y anfibolita epidótica, de la unidad litodémica Mármol de Antímamo (CA).

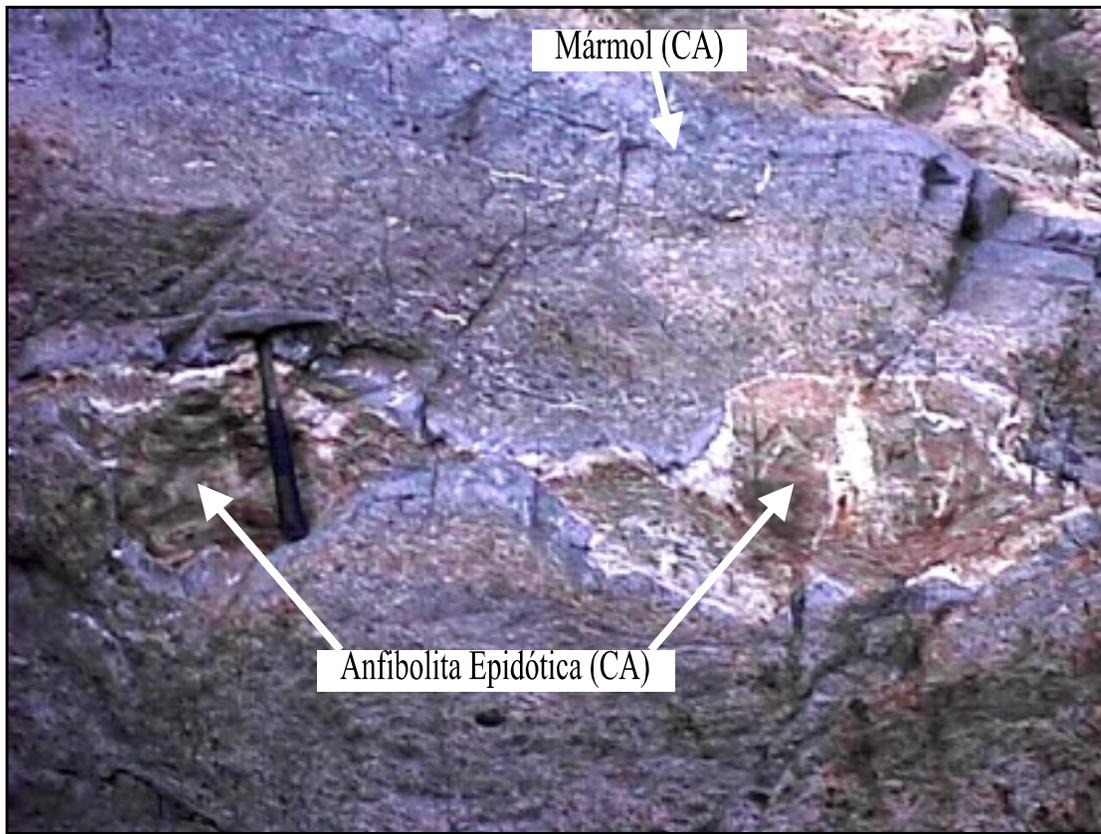
### Tipos litológicos

Esta unidad se describe en función de la petrografía de secciones finas elaboradas para tal fin y en comparación con las descripciones realizadas por URBANI (2000) y CANO & MELO (2001). Se limita a las litologías con características de interés microtectónico, en este sentido, el subtipo litológico del Mármol de Antímamo estudiado se muestra en la Tabla 4.7.

**Tabla 4.7.** Clasificación del Mármol de Antímamo en función a las litologías estudiadas (compilado y modificado de URBANI, 2000 y CANO & MELO, 2001).

Unidad litodémica	Tipo litológico	Subtipo litológico
Mármol de Antímamo. (CA).	Mármol.	Mármol cz. – plag. – mic.

**Nota:** cz.=cuarzo, plag.=plagioclasa y mic.=mica.



**Figura 4.9.** Fotografía azimut 342°. Margen izquierda del río Miguelena, cota 80 m. Boudinaje de anfibolita epidótica dentro de mármol, ambos de la unidad litodémica Mármol de Antímamo (CA).

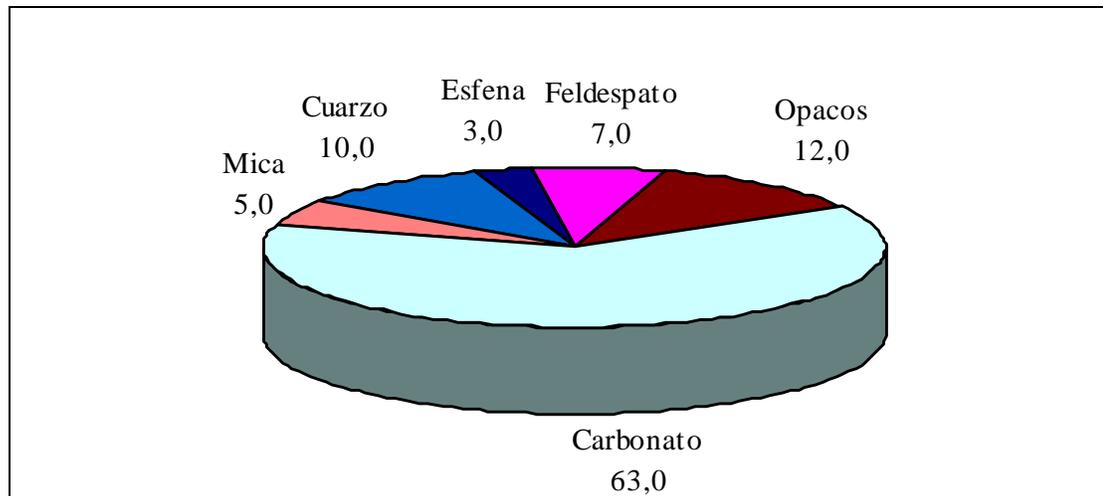
### **Petrografía**

Se presenta a continuación los resultados del estudio petrográfico de la muestra recolectada en la estación de trabajo del río Miguelena, referente al Mármol de Antímamo y su clasificación dentro de las descripciones realizadas por URBANI (2000) y CANO & MELO (2001). En la Tablas 4.8 se indican los porcentajes de minerales encontrados, la media y porcentaje máximo y mínimo de la litología en cuestión. A su vez se muestra la gráfica porcentual correspondiente (Fig. 4.10), donde se agrupan algunos grupos minerales, para finalmente obtener el subtipo litológico indicado en la tabla anterior (Tabla 4.7).

**Tabla 4.8.** Composición mineralógica del Mármol de Antímano (mármol cuarzo-plagioclásico–micáceo).

Muestra Código	Composición mineralógica (%)																	
	Act	Ap	Arc	Car	Cir	Clo	Cz	Ep	Esf	Gra	Graf	Óx	Mic	Mus	Op	Ort	Plag	Rut
V-B <sub>2</sub> -3				63			10		3					5	12		7	
<b>Media</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>63</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>10</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>12</b>	<b>0</b>	<b>7</b>	<b>0</b>
Máx.				63			10		3					5	12		7	
Min.				63			10		3					5	12		7	

**Nota:** act.=actinolita, ap.=apatito, arc.=arcilla de falla, car.=carbonato, cir.=cirsón, clo.=clorita, cz.=cuarzo, ep.=epidoto, esf.=esfena, gran.=granate, graf.=grafito, óx.=óxido, mic.=microclino, mus.=muscovita, op.=opacos, ort.=ortosa, plag.=plagioclase tipo albite y rut.=rutilo.



**Figura 4.10.** Mineralogía porcentual del Mármol de Antímano, según Tabla 4.8 (mármol cuarzo-plagioclásico–micáceo).

### 4.2.3. Asociación Metamórfica Ávila (A)

Las rocas pertenecientes a esta asociación metamórfica, conforman la franja central o núcleo, correspondiente a la parte más elevada del Macizo Ávila, y comprende gneises y esquistos de variada composición además de rocas metaígneas plutónicas; todas ellas clasificadas como Augengneis de Peña de Mora (APM), Complejo San Julián (ASJ), Metaígneas Plutónicas (AMP) y Metagranito de Naiquatá (AN), de las cuales las dos últimas no se estudiaron en este trabajo. Las litologías más resaltantes comprenden los gneises graníticos pertenecientes al Augengneis de Peña de Mora (APM) y los esquistos del Complejo San Julián (ASJ). Estas dos litologías típicas se distinguen sin mayor dificultad, pero en algunas ocasiones ambas se intercalan con espesores variables desde pocos centímetros hasta varios metros haciendo difícil la cartografía. La mineralogía puede variar entre: esquisto y gneis cuarzo–plagioclásico–micáceo–epidótico (Fig. 4.13 y Fig. 4.14 respectivamente), augengneis cuarzo–feldespático–micáceo–epidótico (Fig. 4.17) y anfibolita epidótica–micácea–cuarzosa–granatífera (Fig. 4.15).

URBANI (2000) destaca que durante la década de los años 70 y 80 se publican edades obtenidas por isócronas de roca total Rb/Sr las cuales apuntaron a edad Paleozoico–Precámbrico, a saber: Augengneis de Peña de Mora (APM) con  $1560 \pm 83$  Ma (OSTOS *et al.*, 1988), gneises y esquistos del Complejo San Julián (ASJ) con  $220 \pm 20$  y  $270$  Ma respectivamente (KOVACH *et al.*, 1979 y reinterpretado por URBANI, 1982).

### Complejo San Julián (ASJ)

URBANI (2000) comenta que en el trabajo realizado por OSTOS (1981) en el macizo de El Ávila, el autor pudo cartografiar al augengneis como una unidad separada de los demás tipos litológicos, que otros autores habían incluido dentro de Peña de Mora anteriormente. Posterior a ello, URBANI & OSTOS (1989) proponen volver al nombre original de Augengneis de Peña de Mora, propuesto por AGUERREVERE & ZULOAGA (1937) para referirse sólo a los cuerpos dispersos de augengneis y gneis de grano grueso, mientras que proponen el nombre de Esquisto de

San Julián para incluir las litologías esquistosas y gnéisicas que lo circundan, agrupando a ambas dentro del Complejo Ávila. URBANI & OSTOS (1989) realizan mapas geológicos donde se muestra la extensión de esta unidad. URBANI (2000) ubica al Complejo San Julián dentro de la Asociación Metamórfica Ávila.

### **Ubicación**

En nuestra zona de estudio, el Complejo San Julián (ASJ) es la unidad más extensa del área de estudio abarca desde Maiquetía hasta Punta Care y desde los 150 m hasta alturas superiores a los 900 m de cota. Está dispuesta en una franja alargada, paralela a la costa, con orientación preferencial este-oeste, y eventualmente presenta cuerpos dispersos en forma de parches, pertenecientes al Augengneis de Peña de Mora (APM).

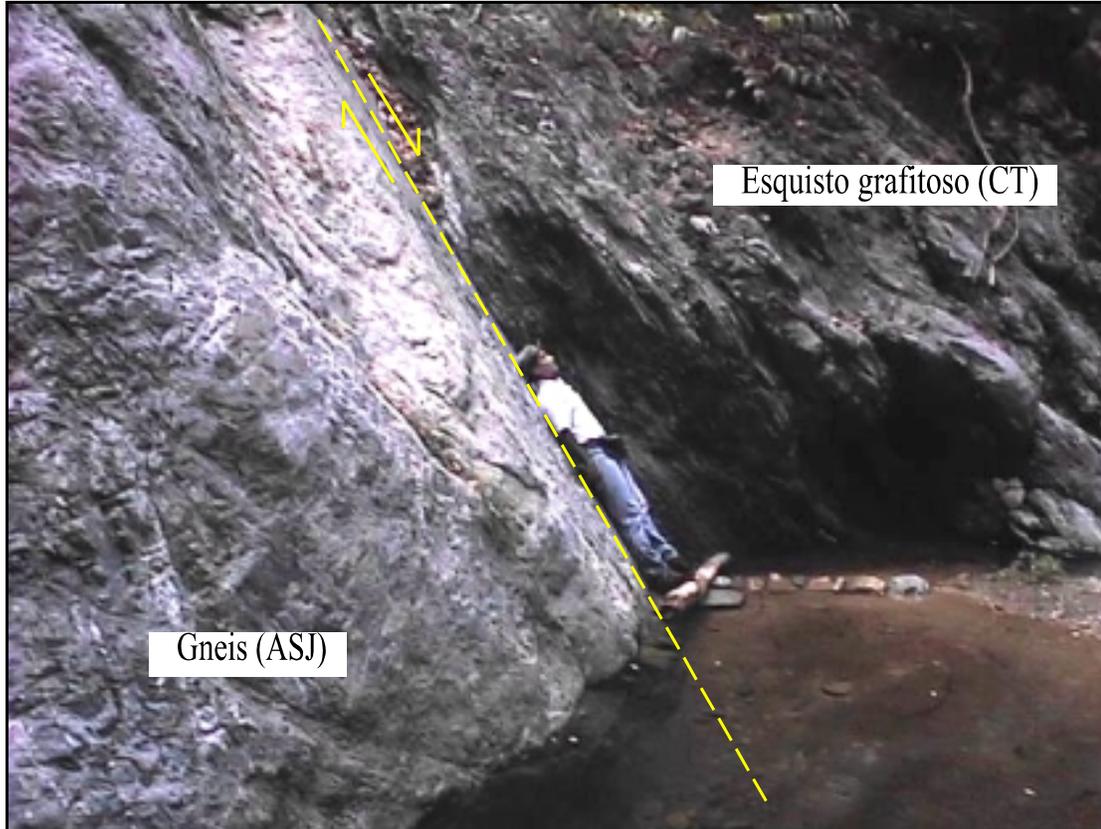
### **Contactos litológicos**

Al norte, el Complejo de San Julián está en contacto de falla con la Asociación Metamórfica la Costa (Fig. 4.11). Al sur, generalmente se presenta en contacto concordante (Fig. 4.12) con el Augengneis de Peña de Mora (APM) y en ocasiones se observa en contacto transicional, cambiando desde esquisto y gneis a Augengneis de Peña de Mora (APM). Es reconocible en la gran mayoría de las cuencas que abarca el área de estudio.

### **Características**

Se caracteriza por ser medianamente competente, expresando una topografía elevada y abrupta. Las litologías preponderantes son los esquistos y gneises cuarzo–plagioclásico–micáceo, mostrando gradación desde textura esquistosa con granulometría gruesa hasta rocas de carácter gnéisico (URBANI & OSTOS, 1989). Es de textura esquistosa, muy bien foliada con colores que varían entre grises a grises oscuros, tonalidades verdes y meteorización de tonos pardos. Se alterna entre esquisto y gneis de mineralogía variada y por ende de características diferentes en cuanto a color y foliación como son: esquisto – gneis, el primero con colores más oscuro que

el segundo, menos competente, más deleznable y más foliado que el segundo. Contiene minerales accesorios como: rutilo, circón y apatito (Tabla 4.10).



**Figura 4.11.** Fotografía azimut 290°. Margen izquierda del del río Osorio, cota 190 m. Contacto de falla de Macuto (N66°W56°N, declive 7°NW) entre gneis cuarzo–feldespático–micáceo (ASJ) y esquisto grafitoso (CT).

### Tipos litológicos

La descripción de los distintos subtipos litológicos del Complejo San Julián, referidos en la Tabla 4.9, conciernen sólo a las litologías con características de interés microtectónico, sustentados con el estudio petrográfico de las secciones finas elaboradas para este proyecto y su comparación con las descripciones de URBANI (2000) y CANO & MELO (2001). Los resultados de este estudio se resumen en la tabla mostrada a continuación (Tabla 4.9).



**Figura 4.12.** Fotografía azimut 226°. Quebrada Seca, cota 255 m. Contacto concordante entre Augengneis de Peña de Mora (APM) al norte y el Complejo San Julián (ASJ) al sur.

**Tabla 4.9.** Clasificación del Complejo San Julián concerniente a las litologías estudiadas (compilado y modificado de URBANI, 2000 y CANO & MELO, 2001).

Unidad litodémica	Tipo litológico	Subtipo litológico
Complejo de San Julián. (ASJ).	Esquisto cz. –plag. – mic.	Esquisto cz. – plag. – mic. – ep.
	Gneis cz. – plag.	Gneis cz. – plag. – mic. – ep.
	Anfibolita	Anfibolita ep. – mic. – cz. – gran.

**Nota:** cz.=cuarzo, ep.=epidoto, gran.=granate, mic.=mica y plag.=plagioclasa.

### Petrografía

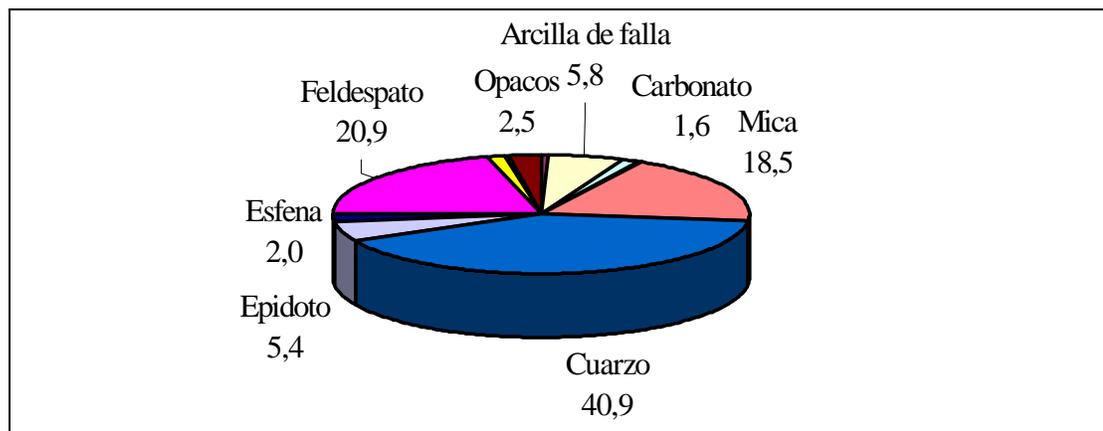
El estudio petrográfico de las muestras recolectadas en las estaciones de trabajo inherentes al Complejo San Julián resultan acordes con la clasificación dentro de las descripciones realizadas por otros autores previamente. Las tablas 4.10, 4.11 y 4.12 resumen los porcentajes de minerales encontrados en cada muestra, la media y porcentaje máximo y mínimo de la litología en cuestión. Por cada tabla se muestra

una gráficas porcentual correspondiente (Fig. 4.13, 4.14 y 4.15), que sintetizan los grupos minerales de cada conjunto de muestras estudiadas, arrojando finalmente el subtipo litológico referido en el ítem anterior (Tabla 4.9).

**Tabla 4.10.** Composición mineralógica del Complejo San Julián (esquisto cuarzo–plagioclásico–micáceo–epidótico).

Muestra Código	Composición mineralógica (%)																		
	Act	Ap	Arc	Car	Cir	Clo	Cz	Ep	Esf	Gra	Graf	Óx	Mic	Mus	Op	Ort	Plag	Rut	
V-B <sub>2</sub> 1-1	< 1				< 1		52	5	2				20		10			10	
V-B23-1				5		20	20	25	2					15	5			8	
V-C2-1	< 1					15	40	< 1	< 1	3		< 1		20	5			15	
V-C2-2						10	30	10					8	15	5			22	
V-C2-3	1				< 1	5	70	< 1	3						< 1			20	
V-C2-4						79			< 1				5		< 1			15	
V-D2-2	< 1		12		< 1	< 1	35					5		15	5			27	
V-F1-1	< 1				< 1	7	60	4						20				8	
V-H1-1			48			5	28	2	2	2				1	2			10	
V-H2-1	2		10			5	40	2	3				5	7	1			25	
V-H2-2	3					5	46	5	3				7	20	1			10	
V-J3-1	< 1				< 1	20	30	5	4	10				12	7			11	
V-L1-1			10			< 1	45	< 1	2			2	15	10	< 1			15	
V-M4-1			30			5	25	10	5				15					10	
V-M3-1				10	1	4	35	3					12	15				20	
V-N2-01	< 1					20	10	15	5				5	25	< 1			18	< 1
V-J3-02						8	50	5	2	5				10				20	
<b>Media</b>	<b>0</b>	<b>0,5</b>	<b>5,8</b>	<b>1,6</b>	<b>0,2</b>	<b>7,6</b>	<b>40,9</b>	<b>5,4</b>	<b>2</b>	<b>1,2</b>	<b>0</b>	<b>0,4</b>	<b>5,4</b>	<b>10,9</b>	<b>2,5</b>	<b>0</b>	<b>15,5</b>	<b>0</b>	
Máx.	3	48	12	1	20	79	25	5	10			5	20	25	10			27	< 1
Mín.	< 1	10	5	< 1	< 1	10	< 1	< 1	2			< 1	5	1	< 1			8	

**Nota:** act.=actinolita, ap.=apatito, arc.=arcilla de falla, car.=carbonato, cir.=circón, clo.=clorita, cz.=cuarzo, ep.=epidoto, esf.=esfena, gran.=granate, graf.=grafito, óx.=óxido, mic.=microclino, musc.=muscovita, op.=opacos, ort.=ortosa, plag.=plagioclasa tipo albita y rut.=rutilo.

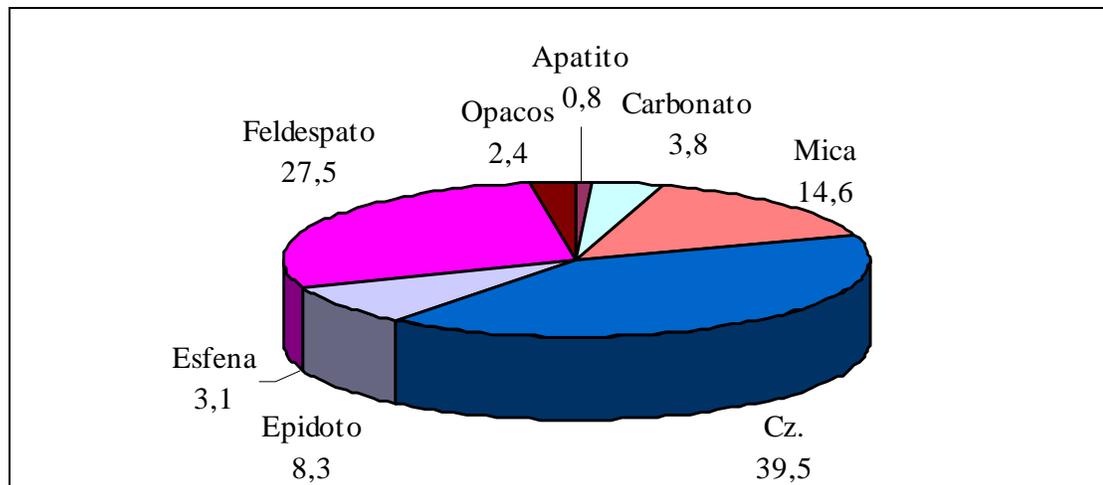


**Figura 4.13.** Composición mineralógica porcentual del Complejo San Julián, según Tabla 4.10 (esquisto cuarzo–plagioclásico–micáceo–epidótico).

**Tabla 4.11.** Composición mineralógica del Complejo San Julián (gneis cuarzo-plagioclásico-micáceo-epidótico).

Muestras Código	Composición mineralógica (%)																	
	Act	Ap	Arc	Car	Cir	Clo	Cz	Ep	Esf	Gra	Graf	Óx	Mic	Mus	Op	Ort	Plag	Rut
V-G1-1						3	39	7	4				20	10	2		15	
V-I1-1		3				<1	44	<1	3					24	5		20	
V-N1-01						7	40	25	<1					7	<1		20	
V-G3-1				15	<1		35	<1	5				20	7	2		15	
<b>Media</b>	<b>0</b>	<b>0,8</b>	<b>0</b>	<b>3,8</b>	<b>0,1</b>	<b>2,6</b>	<b>39,5</b>	<b>8,3</b>	<b>3,1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>10</b>	<b>12</b>	<b>2,4</b>	<b>0</b>	<b>17,5</b>	<b>0</b>
Máx.		3		15	<1	7	44	25	5				20	24	5		20	
Mín.						<1	35	<1	<1					7	<1		15	

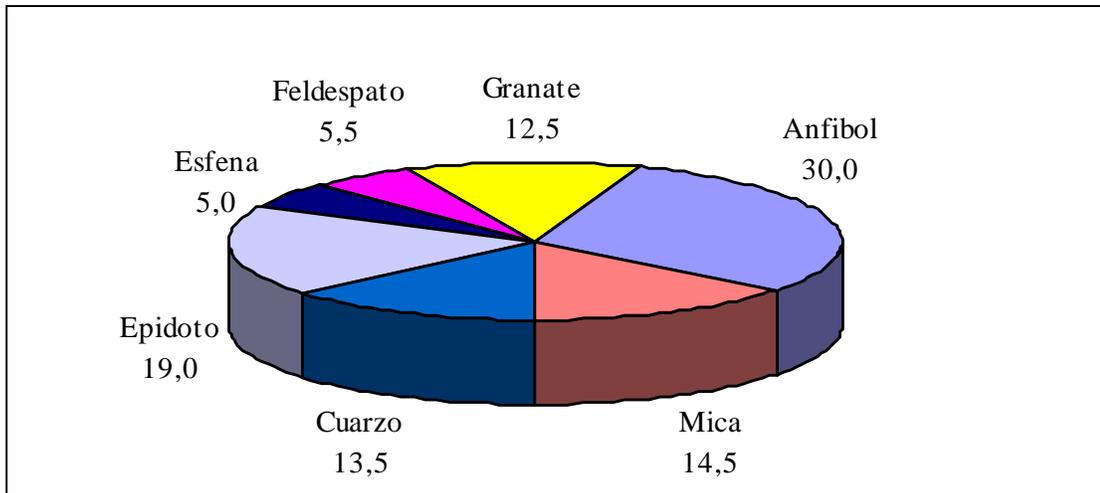
**Nota:** act.=actinolita, ap.=apatito, arc.=arcilla de falla, car.=carbonato, cir.=circón, clo.=clorita, cz.=cuarzo, ep.=epidoto, esf.=esfena, gran.=granate, graf.=grafito, óx.=óxido, mic.=microclino, musc.=muscovita, op.=opacos, ort.=ortosa, plag.=plagioclasa tipo albita y rut.=rutilo.

**Figura 4.14.** Composición mineralógica porcentual del Complejo San Julián, según Tabla 4.11 (gneis cuarzo-plagioclásico-micáceo-epidótico).

**Tabla 4.12.** Composición mineralógica del Complejo San Julián (anfíbolita epidótica–micácea–cuarzosa–granatífera).

Muestra Código	Composición mineralógica (%)																	
	Act	Ap	Arc	Car	Cir	Clo	Cz	Ep	Esf	Gra	Graf	Óx	Mic	Musc	Op	Ort	Plag	Rut
V-B <sub>2</sub> -1	25					10	12	13	5	25				7				3
V-B <sub>2</sub> -2	35					7	15	25	5					5				8
<b>Media</b>	<b>30</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>8,5</b>	<b>13,5</b>	<b>19</b>	<b>5</b>	<b>12,5</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>6</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>5,5</b>	<b>0</b>
Max.	35					10	15	25	5	25				7				8
Min.	25					7	12	13	5	0				5				3

**Nota:** act.=actinolita, ap.=apatito, arc.=arcilla de falla, car.=carbonato, cir.=circón, clo.=clorita, cz.=cuarzo, ep.=epidoto, esf.=esfena, gran.=granate, graf.=grafito, óx.=óxido, mic.=microclino, musc.=muscovita, op.=opacos, ort.=ortosa, plag.=plagioclasa tipo albita y rut.=rutilo.

**Figura 4.12.** Composición mineralógica porcentual del Complejo San Julián (%), según Tabla 4.12 (anfíbolita epidótica–micácea–cuarzosa–granatífera).

### **Augengneis de Peña de Mora**

AGUERREVERE & ZULOAGA (1937) introducen el nombre de “Augengneis de Peña de Mora”, identificándolo como inyecciones “lit – par – lit” de un magma granítico en una roca laminar. Posteriormente, DENGO (1951) lo eleva a unidad formacional, añadiendo a esta descripción niveles sin estructura augen, capas de cuarcita, diques de aplita y lentes de mármoles en la parte superior del augengneis. WEHRMANN (1972) y URBANI & QUESADA (1972) amplían su significado para incluir esquistos, cuarcita, mármol y anfibolita. OSTOS (1981) cartografía al augengneis como unidad separada de las demás litologías, que autores anteriores habían incluido dentro de Peña de Mora. URBANI & OSTOS (1989) proponen volver al nombre de Augengneis de Peña de Mora, restringiéndolo únicamente a cuerpos de augengneises y gneises graníticos (gneises de grano grueso). URBANI (2000) incluye al Augengneis de Peña de Mora dentro de la Asociación Metamórfica Ávila.

### **Ubicación**

El Augengneis de Peña de Mora (APM) aflora como cuerpos dispersos en forma de parches, dispuesto en franjas preferenciales de orientación este-oeste, envuelto por el Complejo San Julián y apareciendo desde Maiquetía hasta Punta Care y desde la Falla de Macuto a los 150 m, hasta alturas superiores a la cota de 900 m. Aflora excelentemente en la cuenca baja-intermedia de los ríos Miguelena, Uria, Cerro Grande, Quebrada Seca, Camurí Chico, El Cojo, Galipán, Cariaco, Guanape y Piedra Azul.

### **Contactos litológicos**

Al norte, en muchos casos los contactos con las rocas de la Asociación Metamórfica la Costa son de falla de ángulo alto, determinada por la Falla de Macuto de orientación este-oeste; esto se evidencia en la cuenca de Quebrada Seca (véase Fig. 4.12). Entre esta unidad y el Complejo San Julián se observa un contacto abrupto y en concordancia estructural, excelentemente visible en la cuenca del Río Miguelena; mientras que en el resto de las cuencas estudiadas, el contacto entre éstas

dos, es transicional e incluso gradacional; siendo posible observar en algunos de estos contactos intercalaciones entre ambos tipos litológicos.

### **Características**

Corresponde a una litología muy competente, con una expresión topográfica muy abrupta y de fuertes pendientes. Está conformado por gneis y augengneis fuertemente bandeado y fracturado (Fig. 4.16); este último con estructuras “augen” u “ojos” de feldespato paralelos al bandeamiento. Es una roca de colores generalmente claros con alto contenido de cuarzo, feldespato y micas. Presenta minerales accesorios como apatito, circón y rutilo (Tabla 4.14).



**Figura 4.16.** Fotografía azimuth 075°. Margen derecha de río Uria, cota 115 m. Se aprecia el bandeamiento del Augengneis de Peña de Mora (APM) y los patrones de fractura y diaclasas.

### **Tipos litológicos**

Esta clasificación, concierne a una sola litología con características de interés microtectónico, la cual es sustentada con el estudio petrográfico de las secciones finas

y comparación con las descripciones realizadas por URBANI (2000) y CANO & MELO (2001).

**Tabla 4.13.** Clasificación del Augengneis de Peña de Mora respecto a las litologías estudiadas (compilado y modificado de URBANI, 2000 y CANO & MELO, 2001).

Unidad litodémica	Tipo litológico	Subtipo litológico
Augengneis de Peña de Mora. (APM).	Augengneis feld. – cz.	Augengneis cz. – feld. – mic. – ep.

**Nota:** cz.=cuarzo, ep.=epidoto, feld.=feldespato y mic.=mica.

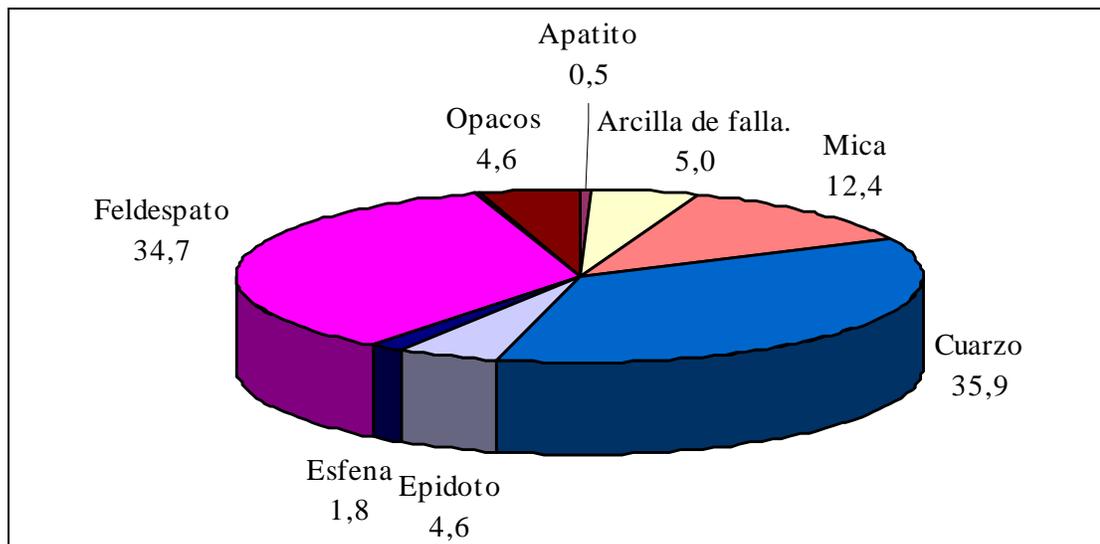
### Petrografía

El estudio petrográfico de las muestras recolectadas en las estaciones de trabajo, relativas al Augengneis de Peña de Mora y su comparación con la clasificación y descripción hecha por otros autores, se muestra en la Tablas 4.14, indicando los porcentajes de minerales encontrados en cada muestra, la media y porcentaje máximo y mínimo de la litología en cuestión. A esta tabla se adjunta una gráfica porcentual correspondiente (Fig. 4.17), que simplifica los grupos minerales del conjunto de muestras y a su vez muestra el subtipo litológico al que corresponde, así con está referido en la Tabla 4.13.

**Tabla 4.14.** Composición mineralógica del Augengneis de Peña de Mora (augengneis cuarzo–feldespático–micáceo–epidótico).

Muestra Código	Composición mineralógica (%)																	
	Act	Ap	Arc	Car	Cir	Clo	Cz	Ep	Esf	Gra	Graf	Óx	Mic	Mus	Op	Ort	Plag	Rut
V-H0-1						2	48	<1	2				20	8	10		10	
V-D1-1							40		2				5	10	5		38	
V-I2-1		<1				13	42	5					20	5	<1		14	
V-J1-1		<1	15		<1		30	5	5				6	5	5		28	<1
V-J2-1						3	25	8	3				25	15	4		15	
V-K1-1		<1	20			<1	44		<1			3	7	5	5		15	
V-N4-01					<1	<1	22	12	2				25	20	3		15	
<b>Media</b>	<b>0</b>	<b>0,5</b>	<b>5</b>	<b>0</b>	<b>0,1</b>	<b>2,7</b>	<b>35,9</b>	<b>4,6</b>	<b>1,8</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0,4</b>	<b>15,4</b>	<b>9,7</b>	<b>4,6</b>	<b>0</b>	<b>19,3</b>	<b>0</b>
Máx.		2	20		<1	13	48	12	5			3	25	20	10		38	<1
Mín.		<1	15			<1	22	<1	<1				5	5	<1		10	

**Nota:** act.=actinolita, ap.=apatito, arc.=arcilla de falla, car.=carbonato, cir.=circón, clo.=clorita, cz.=cuarzo, ep.=epidoto, esf.=esfena, gran.=granate, graf.=grafito, óx.=óxido, mic.=microclino, musc.=muscovita, op.=opacos, ort.=ortosa, plag.=plagioclasa tipo albita y rut.=rutilo.

**Figura 4.17.** Composición mineralógica porcentual del Augengneis de Peña de Mora, según Tabla 4.14 (augengneis cuarzo–feldespático–micáceo–epidótico).

### 4.3. Geología estructural regional

#### 4.3.1. Generalidades

En la tabla adjunta, está condensada la información de la geología estructural más resaltante realizada en el la Cordillera de la Costa y sus alrededores, con sus autores, localidad de trabajo, sistemas de fallas, plegamiento y foliación.

**Tabla 4.15.** Resumen de trabajos de geología estructural realizados en la Cordillera de la Costa (modificado de CANO & MELO, 2001).

AUTOR	Localidad	Sistemas de fallas	Plegamiento	Foliación
DENGO (1951)	Macizo Ávila, túnel Boquerón, autopista Caracas-La Guaira	-Fallas E-W -Fallas N60°W, buz. S y N Fallas inversas buz. Sur.	-Pliegues simétricos con ejes axiales de dirección N60°-70°E	-Foliación paralela a la estratificación.
WEHRMANN (1972)	Región Guatire-Colonia Tovar	-Fallas normales de rumbo E-W. -Fallas normales de rumbo N50°-80°E.  -Fallas transversales con rumbo aproximado N60°W.	-Hace mención del Anticlinorio del Ávila con rumbo E-W	- Sólo se conserva el paralelismo entre la foliación y la estratificación en las rocas calcáreas, cuarcitas y conglomerados.
AZPIRITXAGA (1979)	Flanco norte del Macizo Ávila, Maiquetía-Caraballeda	-Fallas longitudinales de rumbo E-W. -Fallas oblicuas de rumbo N70°W. -Fallas transversales de rumbo N-S		-Foliación general: E-W con buzamiento entre 40°-50° N.

Tabla 4.15. Continuación...

AUTOR	Localidad	Sistemas de fallas	Plegamiento	Foliación
FANTI <i>et al.</i> (1980)	Desde Puerto Cruz hasta los Caracas, y desde la costa Litoral hasta Ocumare del Tuy	-Fallas dextrales E-W -Fallas dextrales y sinestrales N-S -Fallas dextrales NW-SE		
OSTOS (1981)	Extremo oeste del macizo del Ávila, entre la autopista Caracas-La Guaira y el estribo Galindo	-Fallas longitudinales E-W. -Fallas transversales con orientación N40°-70°W, más jóvenes que las anteriores. -Fallas transversales N-S	-Dos períodos de plegamientos	-Foliación con rumbo EW
RÍOS (1989)	Segmento Macuto-Naiguatá y Los Ocumitos-Turgua.	-Fallas inversas E-W. -Fallas N-S -Fallas con rumbo entre N50°-60°W.		-Foliaciones predominantes: N40°-60°W, N-S, E-W, N70°-80°W, N30°-40°E Y N60°-70°E
GARCÍA (1994)	Cuenca de la quebrada Tócome	-Fallas E-W -Fallas N50°W -Fallas N35°		-Foliación predominante: N65°W y buzamiento 70°S
SABINO (1995)	Flanco sur del pico Naiguatá	-Fallas E-W, buzamiento 50°-60°S. -Fallas NW-SE. -Fallas NE-SW	-Foliación plegada por dos ejes: uno E-W formando un anticlinorio y otro local formando un domo.	-Foliación promedio: N72°W y buzamiento 49°S.

**Tabla 4.15.** Continuación...

AUTOR	Localidad	Sistemas de fallas	Plegamiento	Foliación
ARANGUREN (1996)	Cuenca de la Quebrada El Encantado	-Fallas E-W con buzamiento 60°S (sistema de fallas del Ávila) -Falla E-W	- Pliegues con planos axiales N60°E.	- Foliación E-W, con buzamientos sur
UZCÁTEGUI (1997)	Flanco sur de la Silla de Caracas	-Fallas con rumbo N60°E -Fallas NW-SE.		-Foliaciones: N65°E y N70°W, y buzamiento entre 40° y 60° al sur.
BAENA (1998)	Cuenca del río Tacamahaca	-Fallas E-W. -Fallas N50°W -Fallas N45°W		-Foliación promedio: N65°E y buzamiento entre 50°-60° al sur.

#### 4.4 Geología estructural local

En esta sección se analizan, para cada una de las estaciones de trabajo, los datos microtectónicos obtenidos en campo. Esto se logra graficando las proyecciones estereográficas de los planos axiales de pliegues y foliaciones para cada estación de trabajo, generando rosetas de buzamiento y estereografías con densidad de polos. De la roseta se extrae gráficamente el rumbo aproximado de esfuerzo compresivo y de la densidad de polos, el declive aproximado del esfuerzo en cuestión. Finalmente con estos dos parámetros se construye indirectamente el vector compresivo  $\sigma_1$  concerniente al trabajo de campo, para el grupo de datos estudiados en la estación respectiva.

En lo que respecta al trabajo de laboratorio, se agrupan las secciones finas correspondientes a cada estación de trabajo, se analizan una a una, de acuerdo a los criterios microtectónicos propuestos en el capítulo “metodos” (véase tópico 3.2.5); para cada una de las secciones se hallan varios valores de direcciones de  $\sigma_1$  de manera que al agruparlas estadísticamente, se obtenga el valor de  $\sigma_1$  de laboratorio. Finalmente, la dirección de  $\sigma_1$  correspondiente a la estación de trabajo es el resultado de la media aritmética entre  $\sigma_1$  de campo y  $\sigma_1$  de laboratorio (Véase Fig. 4.20).

Se muestran fotografías de las distintas estaciones una a una, con su ubicación en coordenadas, la unidad litodémica, la proyección y el nombre del mapa, y la cota. Esto se realiza con el fin de relacionar los datos y resultados con la ubicación de los sitios de trabajo.

Es importante destacar que los distintos datos microtectónicos recopilados, para cada una de las estaciones de trabajo, se muestran en el anexo 8.2 “Datos de campo” y anexo 8.3 “Datos de laboratorio”, puesto que son muy extensos para colocarlos en este capítulo.

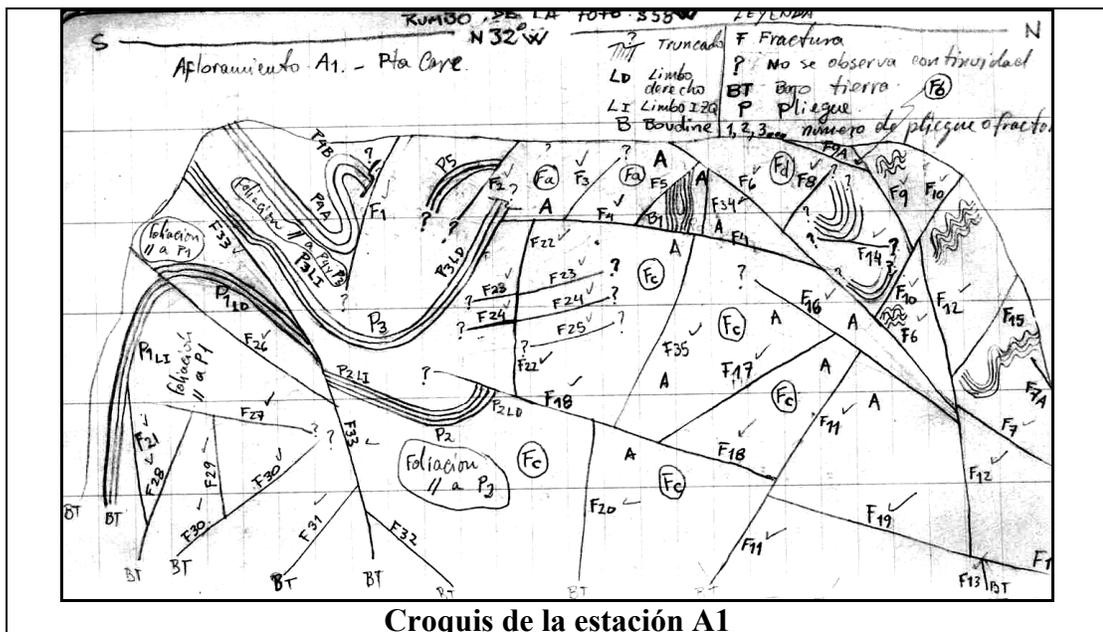
## 4.4.1. Cuenca de la Qda. Care

Cuenca	Estación	Unidad	Proyección	Coordenadas		Cota	Mapa
				N	E		
Care	A1	CT	UTM	1.175.390	752.660	15 m	B-50

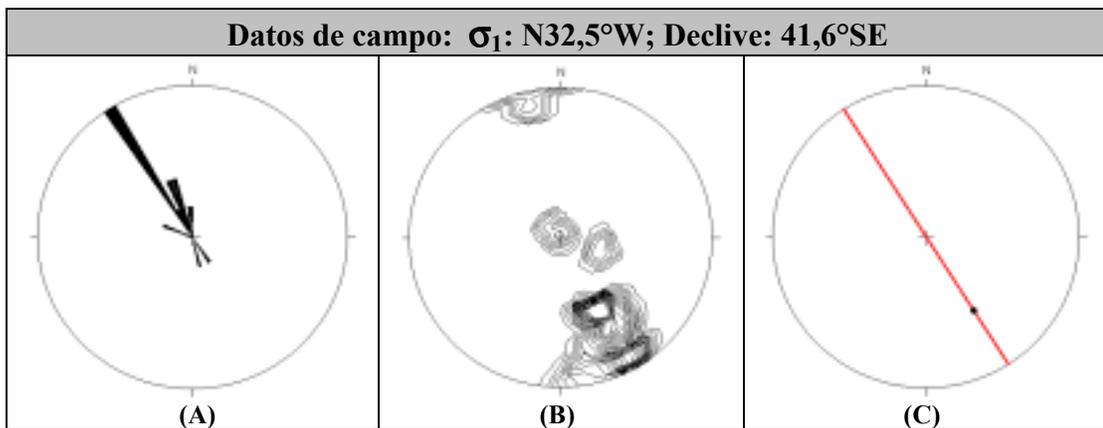


Fotografía azimut 280°

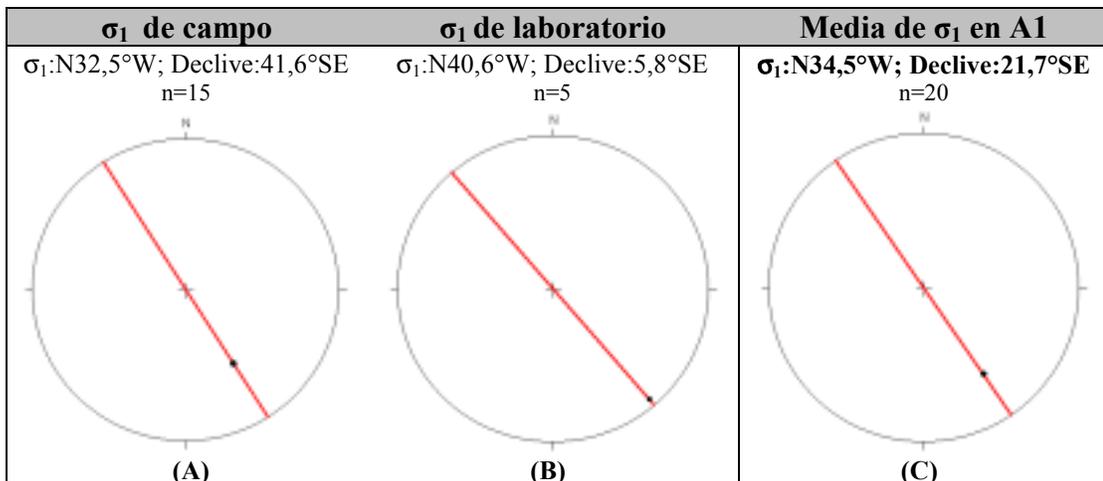
**Figura 4.18.** Se muestra la estación A1 de la cuenca de la quebrada Care. La figura posee información de ubicación y la proyección utilizada, así como el nombre del mapa a escala 1:5000 utilizado para su ubicación.



**Figura 4.19.** Croquis de la estación A1 mostrada en la figura anterior. Se puede distinguir el gran número de mediciones efectuadas.



**Figura 4.20.** Estereografía de foliaciones y planos axiales (n=15) en la estación A1, Esquisto de Tacagua en la Qda. Care. (A): *Roseta de buzamientos* indicando gráficamente el rumbo aproximado de  $\sigma_1$  (R:32,5°W). (B): *Densidad de polos* mostrando gráficamente el declive aproximado de  $\sigma_1$  (D:41,6°SE). (C): Media del esfuerzo compresivo de campo  $\sigma_1$ :N32,5°W; Declive:41,6°SE.



**Figura 4.21.** Estereografías de la estación de trabajo A1, cuenca de la Qda. Care. (A):  $\sigma_1$  de campo. (B):  $\sigma_1$  de laboratorio. (C): Media aritmética entre  $\sigma_1$  de campo y  $\sigma_1$  de laboratorio.

### Discusión

Los resultados obtenidos en la cuenca de Care indican un vector compresivo ( $\sigma_1$ ) en una dirección NNO-SSE, revelando una cizalla de tipo dextral cuya orientación está cercana a la E-O.

### **Diaclasas**

Los datos tomados en campo (véase datos de campo referente a Care en anexo 8.2), indican tres patrones o familias de fracturas, ordenados de forma similar a los patrones de grandes fallas de la zona, es decir, una familia en la dirección NNO-SSE (no paralela a la dirección de  $\sigma_1$ ), una familia NNE-SSO y otra orientada en la E-O. Los buzamientos de estas fracturas son variables, sin embargo, como tendencia general, a medida que la orientación de la estructura se acerca a la dirección E-O, éstos tienden a ser subverticales y cuando las direcciones son distintas, tienden a ser subhorizontales.

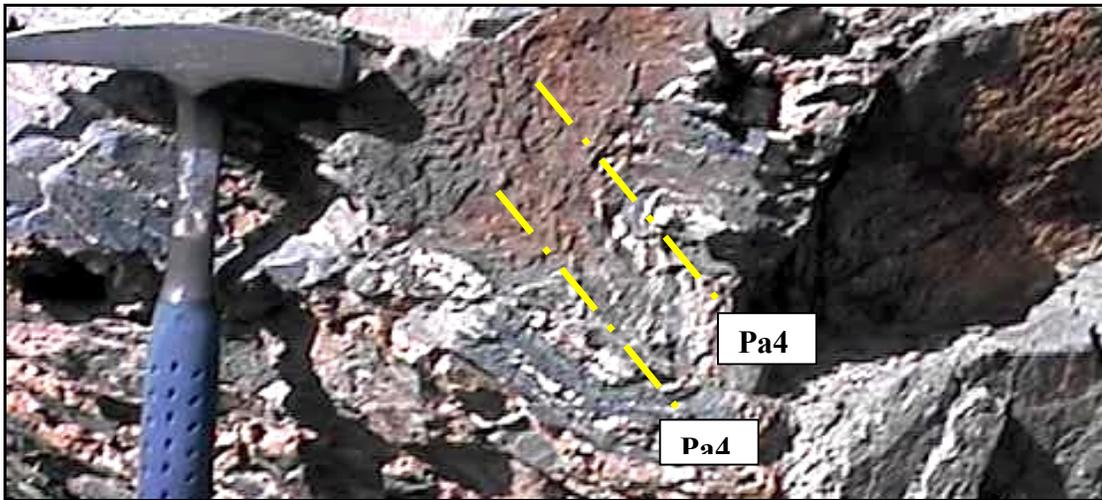
### **Pliegues**

Son indicados a través de dos patrones de orientación o familias según los planos axiales, la primera orientada hacia la dirección E-O, cuyos buzamientos son subverticales, la segunda familia de planos axiales está orientada NNE-SSO y posee buzamientos que varían entre los 30° y los 60°, generalmente hacia el norte. Los declives de los ejes de pliegues tienden a ser subhorizontales.

Los  $\sigma_1$  obtenidos a través de las estructuras de campo (véase anexo 8.2) corresponden a un patrón de deformación de carácter dextral, pudiéndose hablar de una partición de esfuerzos (strain partitioning) a pequeña escala, como señalan AUDEMARD & AUDEMARD (2001).

### **Laboratorio**

En los datos de laboratorio (véase anexo 8.3), obtenidos a través de estructuras de deformación de minerales en sección fina, se observa un  $\sigma_1$  en la misma dirección general NNO-SSE (N40°-41°W), con un declive o inmersión subhorizontal hacia el sureste (6° SE), esto concuerda con el patrón de deformación descrito para las estructuras de campo.



**Figura 4.22.** Fotografía azimuth 275°. Detalle de pliegues en la estación A1, margen izquierda de la Qda. Care, cota 15 m, Esquisto de Tacagua. Se pueden apreciar los planos axiales subparalelos de los pliegues 4.1 y 4.2.

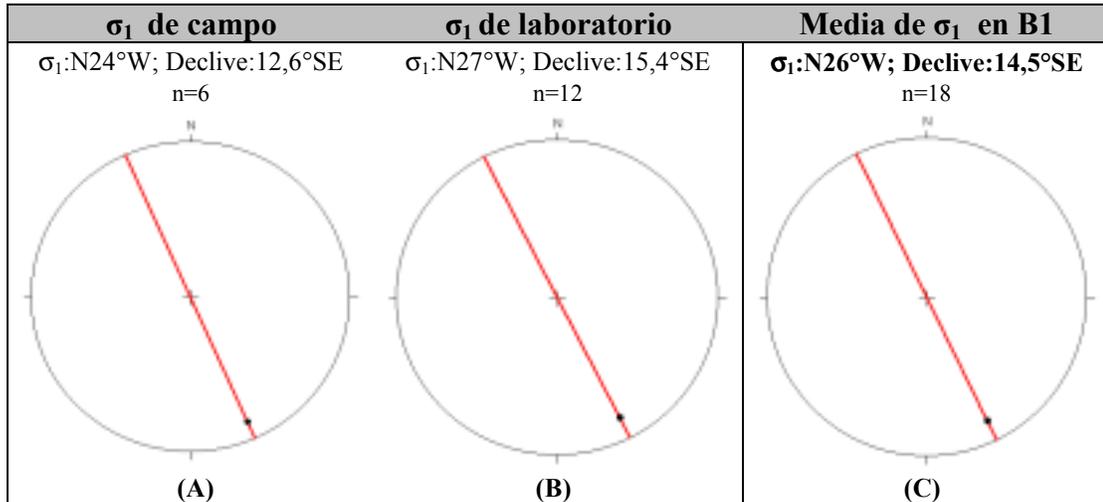
#### 4.4.2. Cuenca del río Masare

Cuenca	Estación	Unidad	Proyección	Coordenadas		Cota	Mapa
				N	E		
Masare	B1	CT	UTM	1.173.650	750.490	70 m	B-49



**Fotografía azimuth 242°**

**Figura 4.23.** Muestra la estación B1 de la cuenca del río Masare, con información de su ubicación y la proyección utilizada, así como el nombre del mapa de ubicación a escala 1:5000.



**Figura 4.24.** Estereografías de la estación de trabajo B1, cuenca del río Masare. (A):  $\sigma_1$  de campo. (B):  $\sigma_1$  de laboratorio. (C): Media aritmética entre  $\sigma_1$  de campo y  $\sigma_1$  de laboratorio.

### Discusión

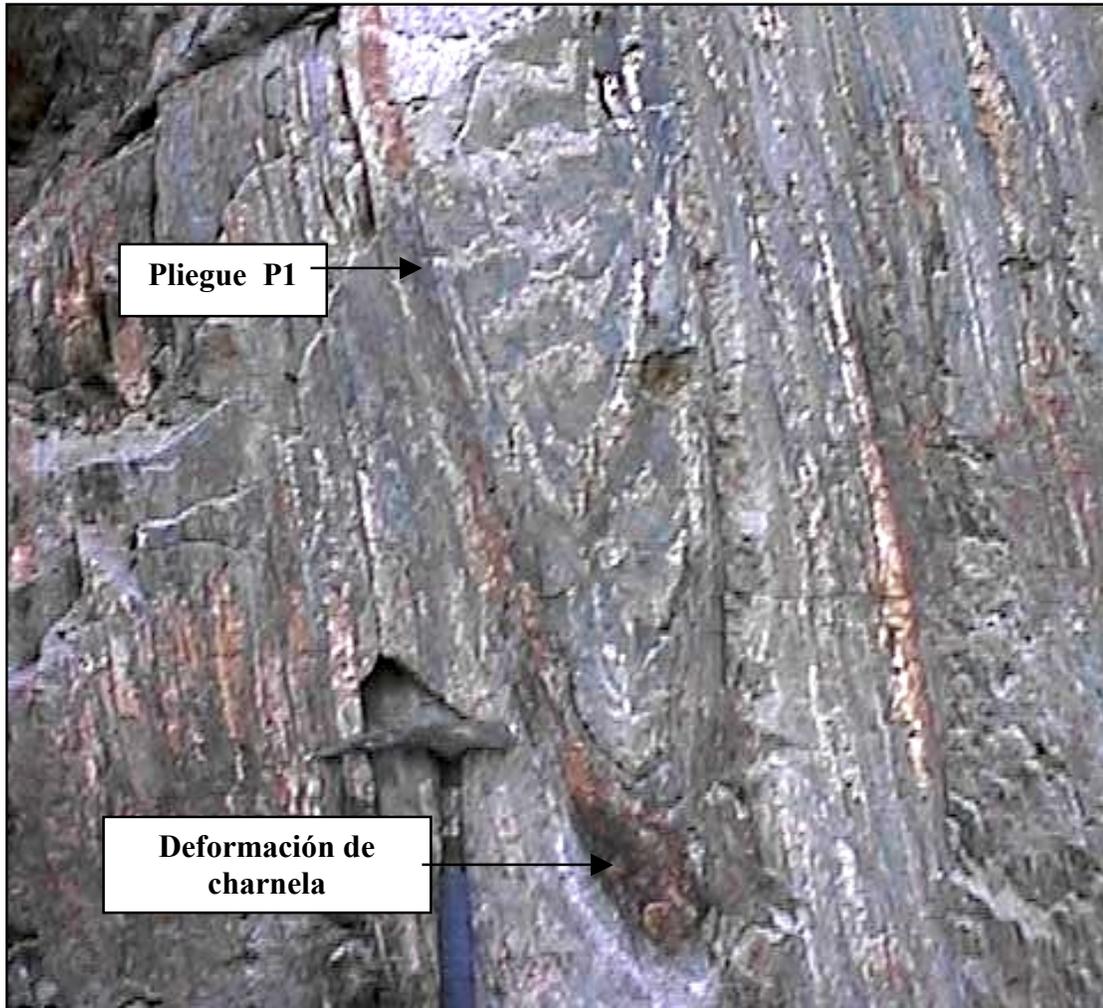
Los resultados de campo y laboratorio obtenidos en la cuenca del río Masare indican un vector compresivo ( $\sigma_1$ ) en una dirección NNO-SSE, revelando una cizalla de tipo dextral cuya orientación está cercana a la E-O.

### Fracturas y fallas

Los datos tomados en campo (véase anexo 8.2) indican, en principio tres familias de direcciones de fracturas; una familia ordenada en la dirección NNO-SSE (no paralela a  $\sigma_1$ ), una familia orientada en NNE-SSO, y una familia orientada en la E-O. Los buzamientos de estas fracturas son variables tanto al sur como al norte, pero, existe una tendencia general a ser subvertical.

### Pliegues

Se tomaron medidas de un pliegue de carácter isoclinal (Fig. 4.25) con el plano axial orientado en la dirección NNE-SSO y buzando al norte (subvertical), el eje posee un declive subhorizontal hacia el noreste. Este pliegue acumula la deformación en la zona de charnela, lo que indica una flexión pura y por lo tanto cizallamiento puro, de acuerdo a MERCIER & VERGELY (2001).



**Figura 4.25.** Fotografía azimut 226°. Estación B1, margen izquierda del río Masare, cota 70 m, Esquisto de Tacagua. Se aprecia un pliegue isoclinal con deformación de la charnela (charnela engrosada).

### **Diaclasas**

Se observaron tres familias de diaclasas ordenadas en las tres direcciones principales más comunes, como en las fracturas, siendo la dirección más cercana a la E-O la que tenía menor frecuencia, y la dirección NNE-SSO la de mayor frecuencia.

### **Laboratorio**

En los datos de laboratorio se observó un vector compresivo ( $\sigma_1$ ) en la misma dirección general NNO-SSE (N20°-30°W), con un declive o inmersión subhorizontal hacia el sureste (15°-16° SE), véase anexo 8.3.

## 4.4.3. Cuenca del río Miguelena

Cuenca	Estación	Unidad	Proyección	Coordenadas		Cota	Mapa
				N	E		
Miguelena	B21	ASJ	LAMBERT	+10.200	+23.920	150 m	II-13



**Fotografía azimuth 060°**

Figura 4.26. Muestra la estación B21 de la cuenca del río Miguelena.

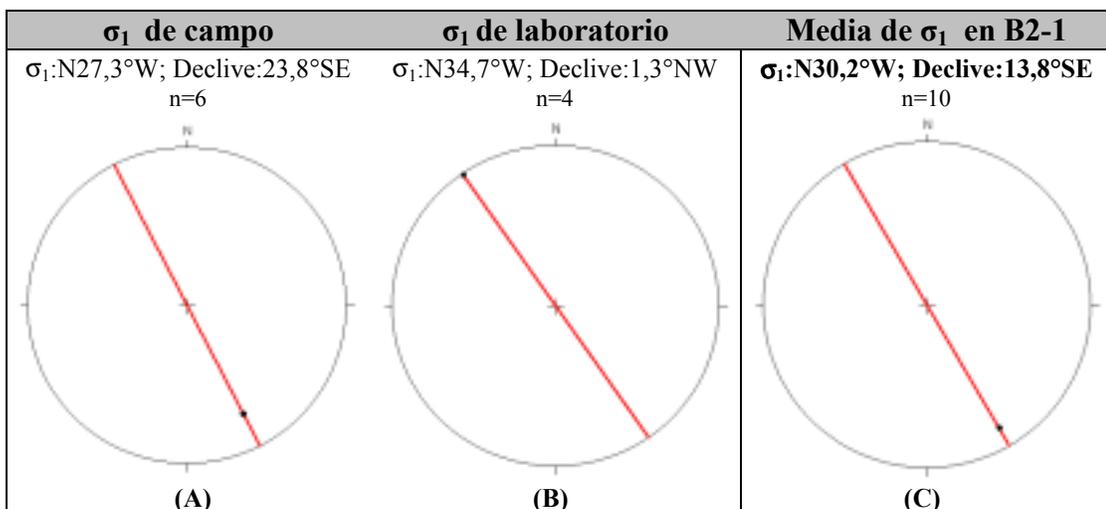


Figura 4.27. Estereografías de la estación de trabajo B2-1, cuenca del río Miguelena. (A):  $\sigma_1$  de campo. (B):  $\sigma_1$  de laboratorio. (C): Media aritmética entre  $\sigma_1$  de campo y  $\sigma_1$  de laboratorio.

Cuenca	Estación	Unidad	Proyección	Coordenadas		Cota	Mapa
				N	E		
Miguelena	B22	ASJ, CA	UTM	1.173.350	749.820	80 m	B-49



**Fotografía azimut 275°**

Figura 4.28. Muestra la estación B22 de la cuenca del río Miguelena.

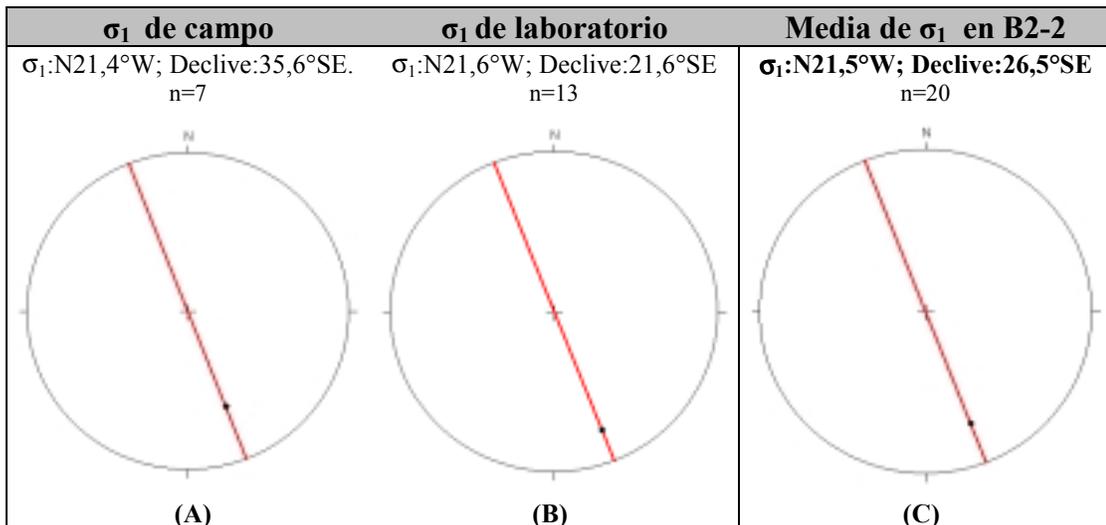


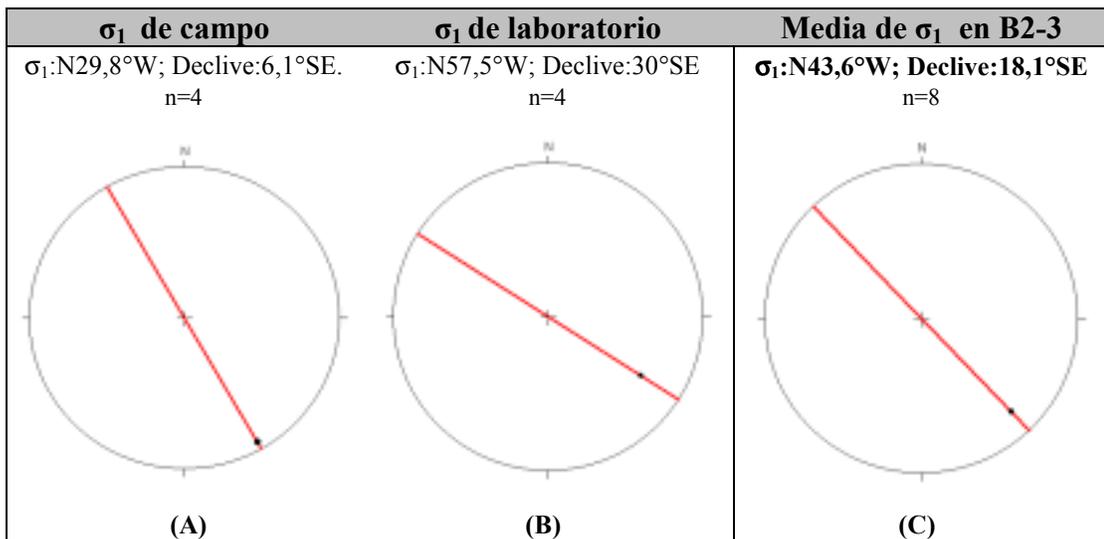
Figura 4.29. Estereografías de la estación de trabajo B2-2, cuenca del río Miguelena. (A):  $\sigma_1$  de campo. (B):  $\sigma_1$  de laboratorio. (C): Media aritmética entre  $\sigma_1$  de campo y  $\sigma_1$  de laboratorio.

Cuenca	Estación	Unidad	Proyección	Coordenadas		Cota	Mapa
				N	E		
<b>Miguelena</b>	B23	CT	UTM	1.173.960	749.760	55 m	B-49


**Fotografía azimut 135°**

**Figura 4.30.** Muestra la estación B23 de la cuenca del río Miguelena



**Figura 4.31.** Estereografías de la estación de trabajo B2-3, cuenca del río Miguelena. (A):  $\sigma_1$  de campo. (B):  $\sigma_1$  de laboratorio. (C): Media aritmética entre  $\sigma_1$  de campo y  $\sigma_1$  de laboratorio.

### **Discusión**

Los resultados de campo y laboratorio obtenidos en la cuenca del río Miguelena indican un vector compresivo ( $\sigma_1$ ) en una dirección NNO-SSE (el cual se hace variable entre N6°-60°W), revelando una cizalla de tipo dextral cuya orientación está cercana a una zona E-O.

### **Fracturas y fallas**

El trabajo de campo (véase anexo 8.2) revela en principio dos patrones o familias de direcciones de fracturas, una familia ordenada en la dirección NNO-SSE (no paralela a  $\sigma_1$ ) y una familia orientada en NNE-SSO. Los buzamientos de estas fracturas son variables, pero, existe una tendencia general a hacerse subverticales hacia el contacto de falla de Macuto. En la familia orientada hacia el NNE-SSO la tendencia general de los buzamientos es hacia los 35°-55° sur. También se reportan fallas transcurrentes con desplazamiento dextral, orientadas en estas últimas direcciones citadas.

### **Pliegues**

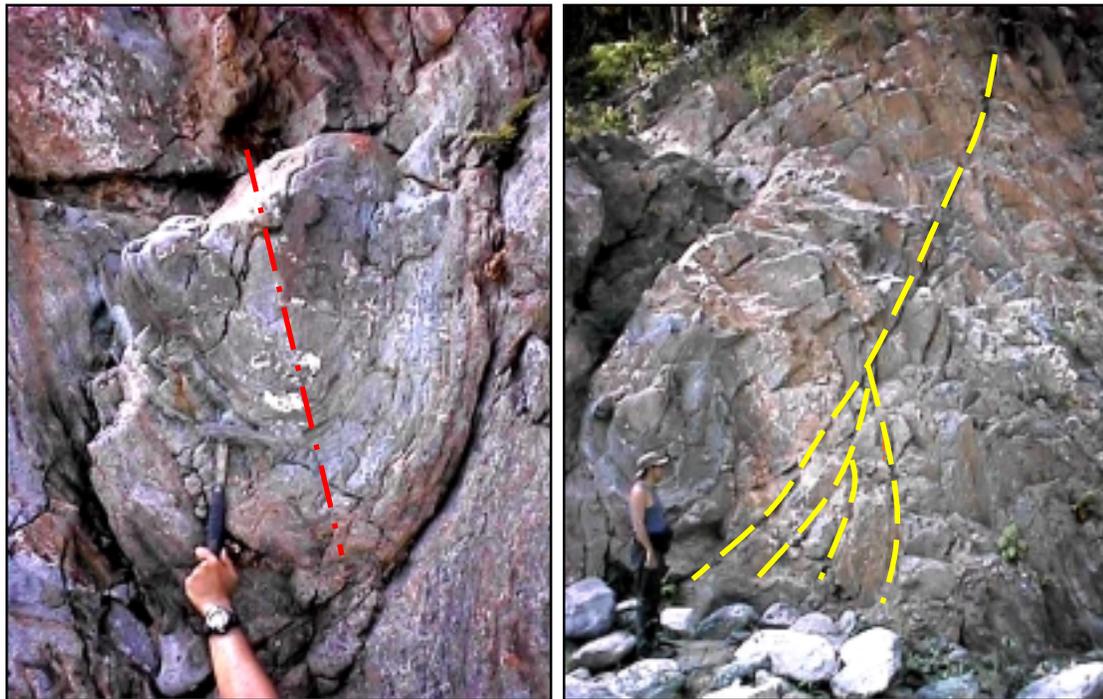
Los datos recolectados de pliegues indican una dirección general de planos axiales ONO-ESE, muy cercana a la E-O, donde el buzamiento es subvertical hacia el norte (véase Fig. 4.32).

### **Diaclasas**

En esta cuenca se reportan también tres familias de diaclasas ordenadas en las tres direcciones principales más comunes, encontradas en las fracturas, siendo la dirección más cercana a la E-O la que tenía menor frecuencia (1:1).

### **Laboratorio**

En los datos de laboratorio (véase anexo 8.3) se obtenidos a través de estructuras de deformación de minerales en sección fina se observó un vector compresivo ( $\sigma_1$ ) variable entre cada estación, pero en la misma dirección general NNO-SSE (N20°-60°W), con un declive o inmersión subhorizontal hacia el sureste (4°-60° SE), se presentó una dirección de  $\sigma_1$  muy cercana a la N-S en la estación B22-3.



(A) Fotografía azimut 082°

(B) Fotografía azimut 075°

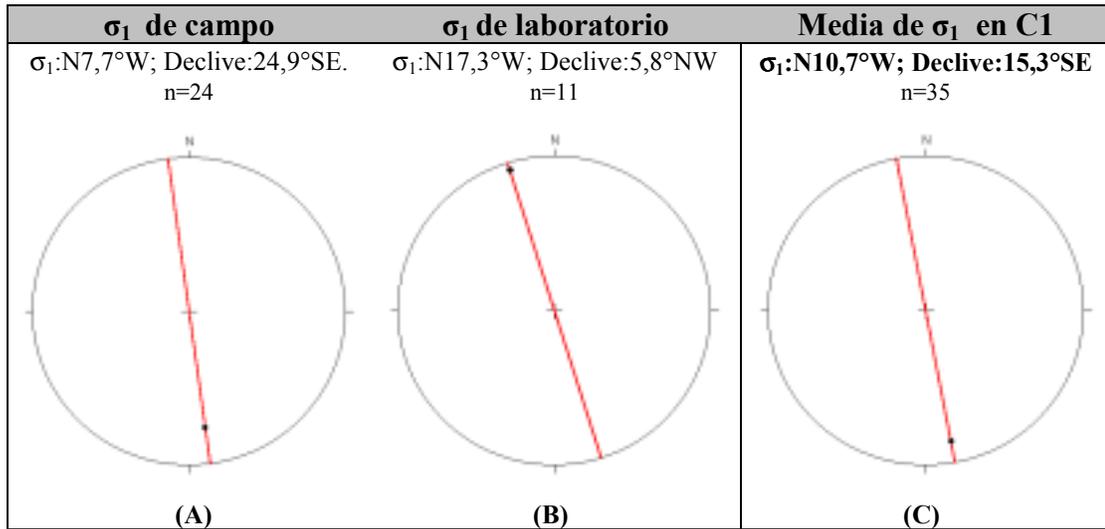
**Figura 4.32.** Estación B2-2, margen izquierda del río Miguelena, cota 80 m. Las imágenes muestran las distintas estructuras observadas y medidas. (A) Puede apreciarse un pliegue, con el plano axial indicado en rojo. (B) Puede observarse un patrón especial de fracturas las cuales se han marcado con líneas segmentadas en amarillo.

#### 4.4.4. Cuenca del río Naiquatá

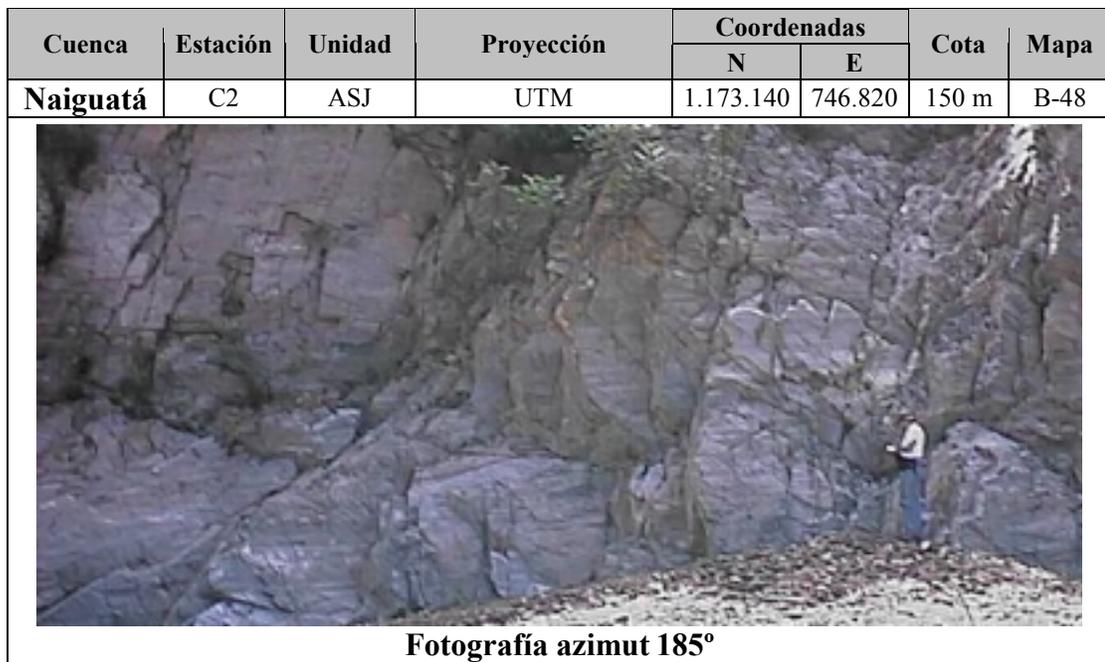
Cuenca	Estación	Unidad	Proyección	Coordenadas		Cota	Mapa
				N	E		
<b>Naiquatá</b>	C1	CT	UTM	1.173.620	747.010	65 m	B-48

**Fotografía azimut 260°**

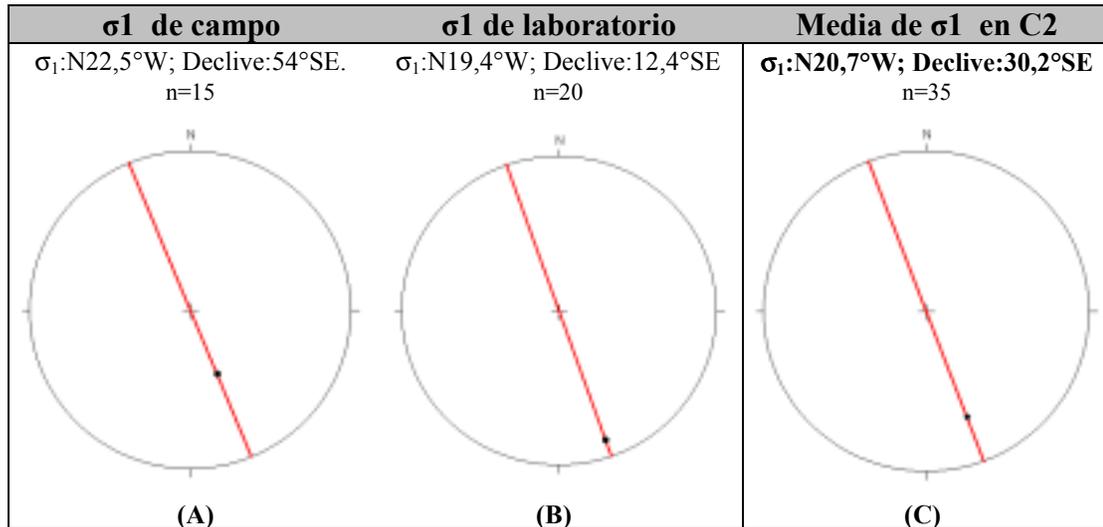
**Figura 4.33.** Muestra la estación C1 de la cuenca del río Naiquatá.



**Figura 4.34.** Estereografías de la estación de trabajo C1, cuenca del río Naiguata. (A):  $\sigma_1$  de campo. (B):  $\sigma_1$  de laboratorio. (C): Media aritmética entre  $\sigma_1$  de campo y  $\sigma_1$  de laboratorio.



**Figura 4.35.** Muestra la estación C2 de la cuenca del río Naiguatá.



**Figura 4.36.** Estereografías de la estación de trabajo C2, cuenca del río Nanguata. (A):  $\sigma_1$  de campo. (B):  $\sigma_1$  de laboratorio. (C): Media aritmética entre  $\sigma_1$  de campo y  $\sigma_1$  de laboratorio.

### Discusión

Los resultados de campo y laboratorio obtenidos en la cuenca del río Nanguatá indican un vector compresivo ( $\sigma_1$ ) en una dirección NNO-SSE (el cual se hace variable entre N3°-60°W), revelando una cizalla de tipo dextral cuya orientación está cercana a una zona E-O.

### Fracturas y fallas

Los datos recopilados en el trabajo de campo (véase anexo 8.2) revelan tres familias de direcciones de fracturas, una familia orientada en la dirección NNO-SSE (la cual no es paralela a la dirección del vector compresivo  $\sigma_1$ ), una familia orientada en NNE-SSO, y una familia E-O donde se han podido medir estrías dextrales que se inclinan entre valores subhorizontales (5°) y no tan horizontales (39°) revelando fallas transcurrentes de carácter dextral-normal. Los buzamientos de estas tres familias de fracturas y/o fallas son variables, pero, existe una tendencia general hacia el norte (con algunas excepciones), siendo subverticales hacia el contacto de falla de Macuto.



**Figura 4.37.** Fotografía azimuth 085°. Estación C1, margen izquierda del río Naiguatá, cota 65 m. Detalle del pliegue P3, tipo Z (Parásito) que indica cizalla simple dextral mostrando deformación de charnela. Pueden apreciarse también grietas de tensión rellenas de cuarzo con cizalla (C) dextral.

### Pliegues

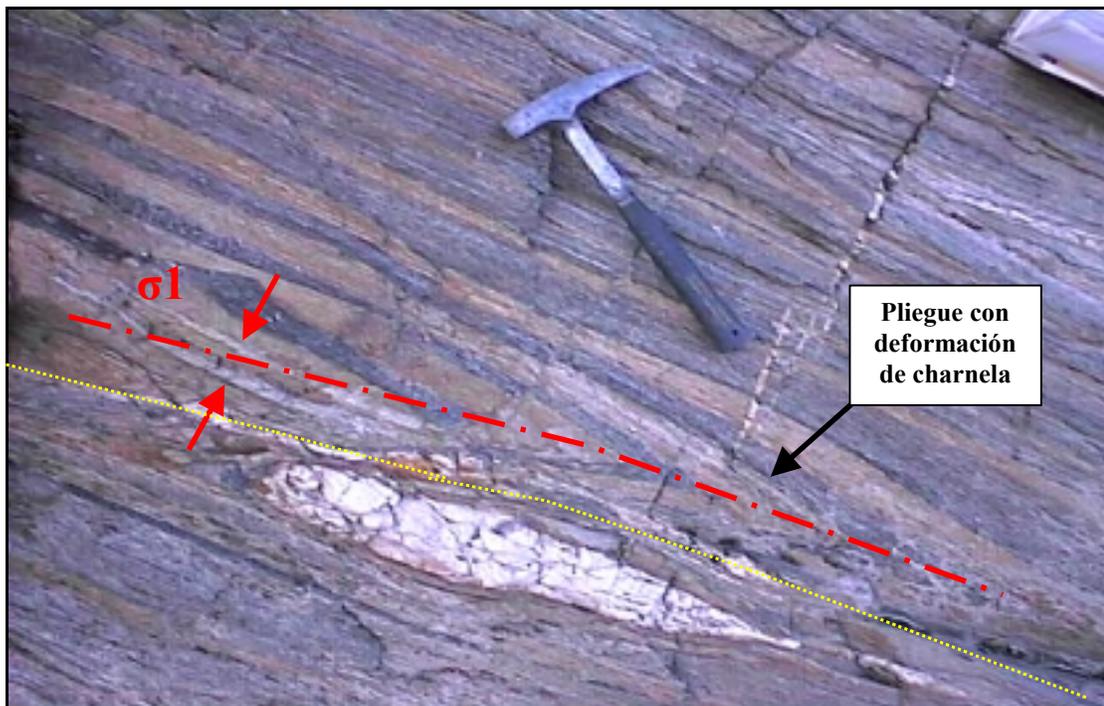
Se han encontrado tres familias de pliegues que indican una dirección general de planos axiales NNO-SSE (N10°-45°W), una NNE-SSO (N5°-14°E), y una zona E-O (N69°E a N84°W), donde el buzamiento es generalmente subvertical hacia el norte, con algunas excepciones (Fig. 4.37). Las inmersiones de los ejes resultan generalmente hacia el sur.

### Diaclasas

En esta cuenca se reportan cuatro familias de diaclasas, dos familias orientadas en el cuadrante noreste, y las otras dos orientadas en el cuadrante noroeste; la dirección más cercana a la E-O es la que posee menor frecuencia (1:1), con una frecuencia variable en las demás (promedio de 1:3).

### Laboratorio

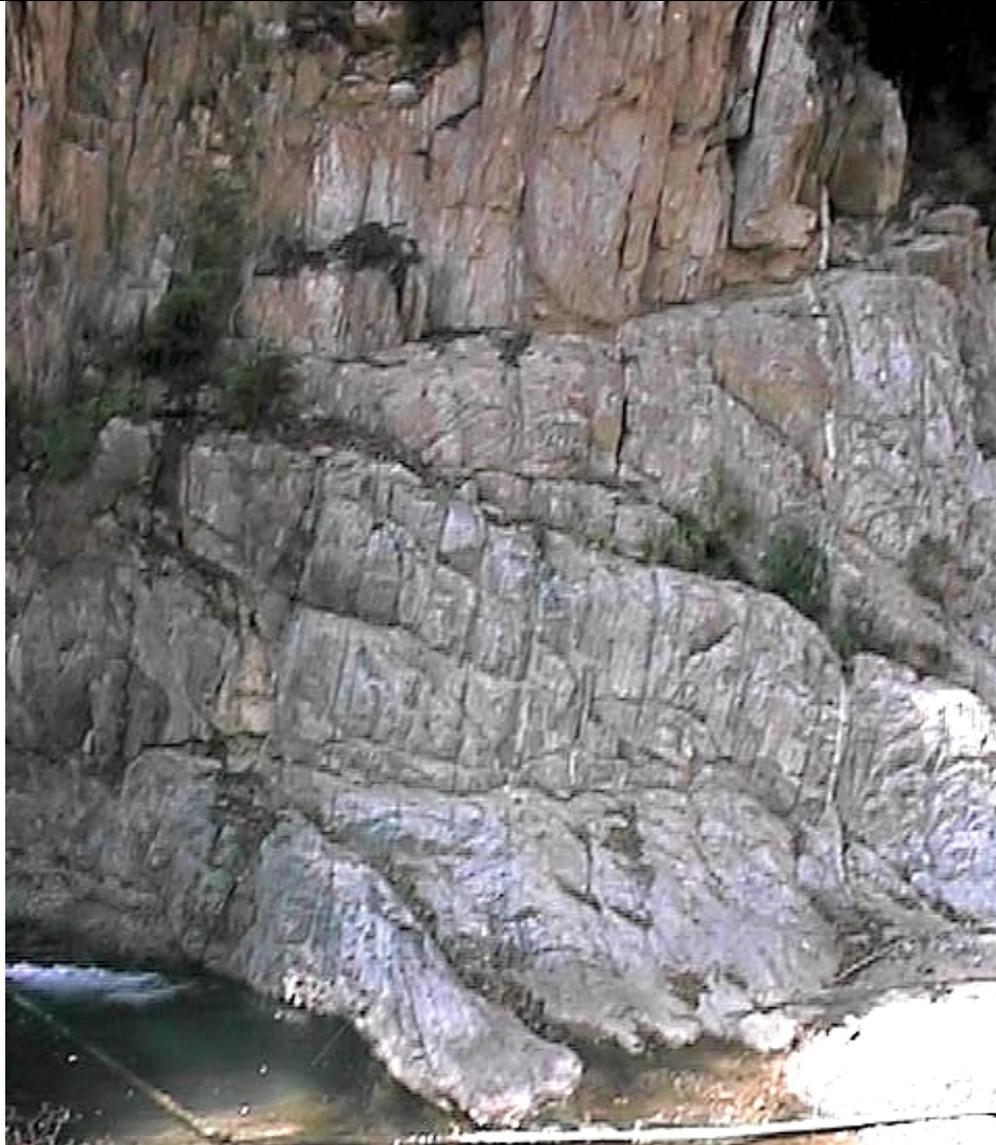
En los datos de laboratorio (véase anexo 8.3) se obtenidos a través de estructuras de deformación de minerales en sección fina se observó un vector compresivo ( $\sigma_1$ ) muy variable entre cada estación, pero en la misma dirección general NNO-SSE ( $N3^\circ-33^\circ W$ ), con un declive o inmersión subhorizontal también muy variable entre ( $01^\circ - 09^\circ NW$ ) en las muestras V-C1-01, V-C1-02 y V-C2-03, y ( $20^\circ - 30^\circ SE$ ) en las muestras V-C2-01, V-C2-02 y V-C2-04.



**Figura 4.38.** Fotografía azimuth  $033^\circ$ . Estación C1, margen izquierda del río Naiguatá, cota 65 m. Detalle del pliegue P2, con deformación de charnela formando bandas alternadas de esquistos epidótico y esquistos grafitoso. Se aprecia una grieta de tensión rellena de cuarzo dentro de una litología grafitosa de marcada foliación. Se distingue el contacto litológico (línea punteada amarilla).

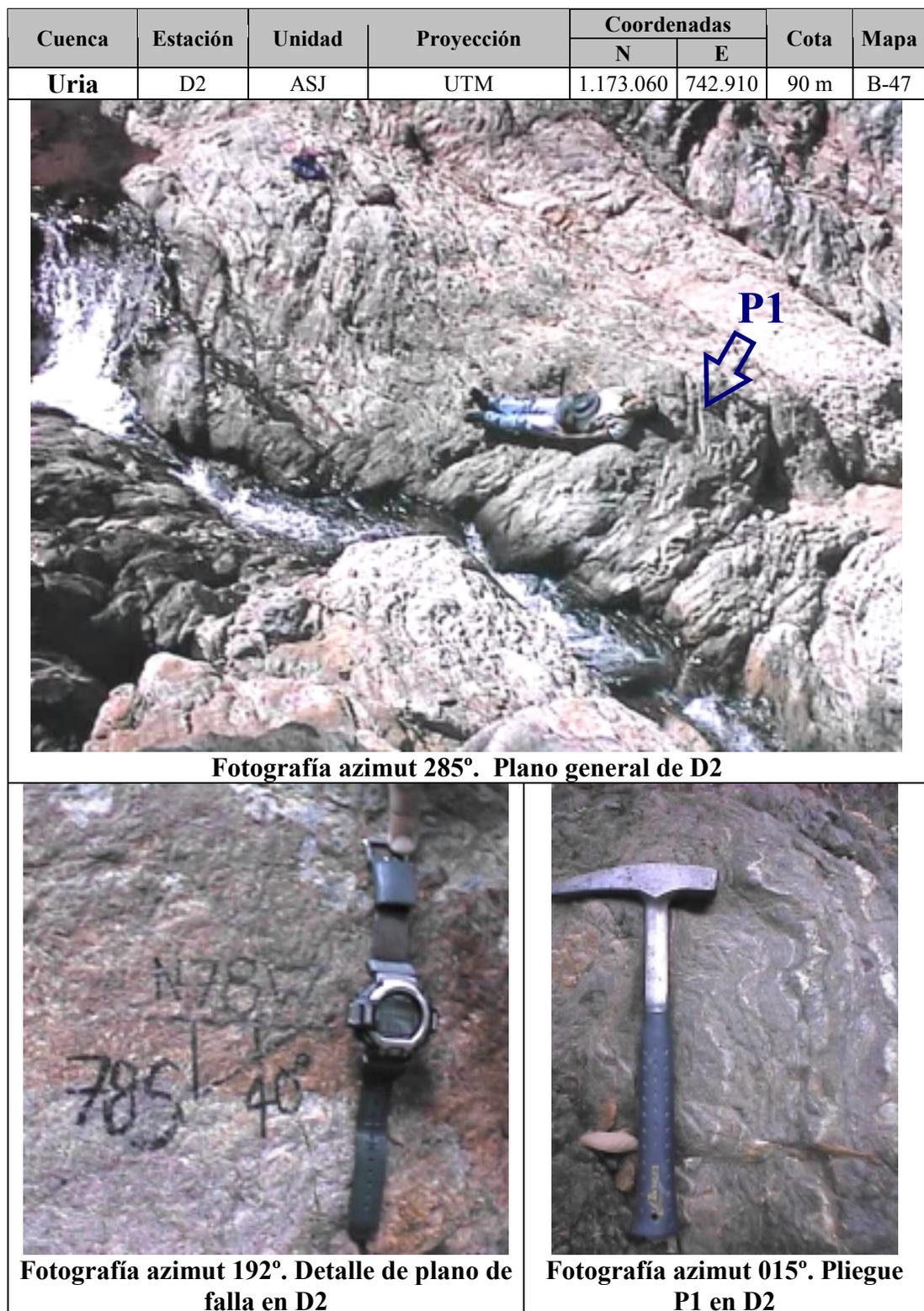
## 4.4.5. Cuenca de Uria

Cuenca	Estación	Unidad	Proyección	Coordenadas		Cota	Mapa
				N	E		
<b>Uria</b>	D1	APM	UTM	1.173.050	742.900	115 m	B-47

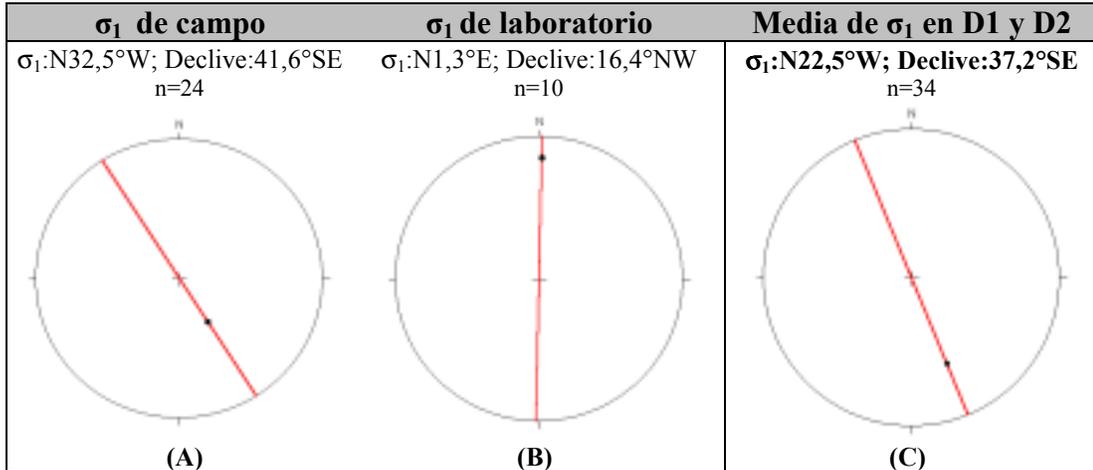


**Fotografía azimuth 260°**

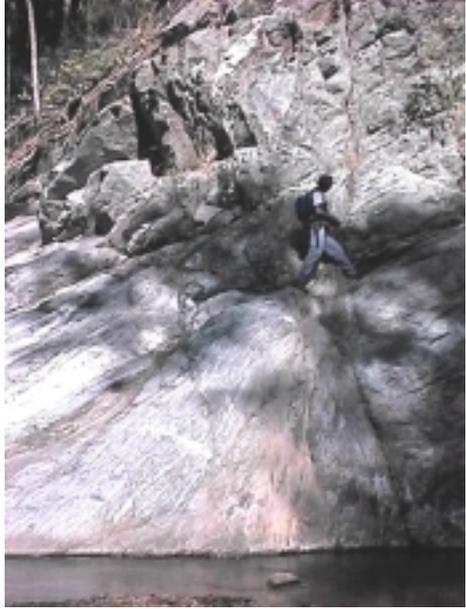
**Figura 4.39.** Muestra la estación D1 de la cuenca del río Uria. Puede observarse un patrón de fracturas subvertical y otro subhorizontal.



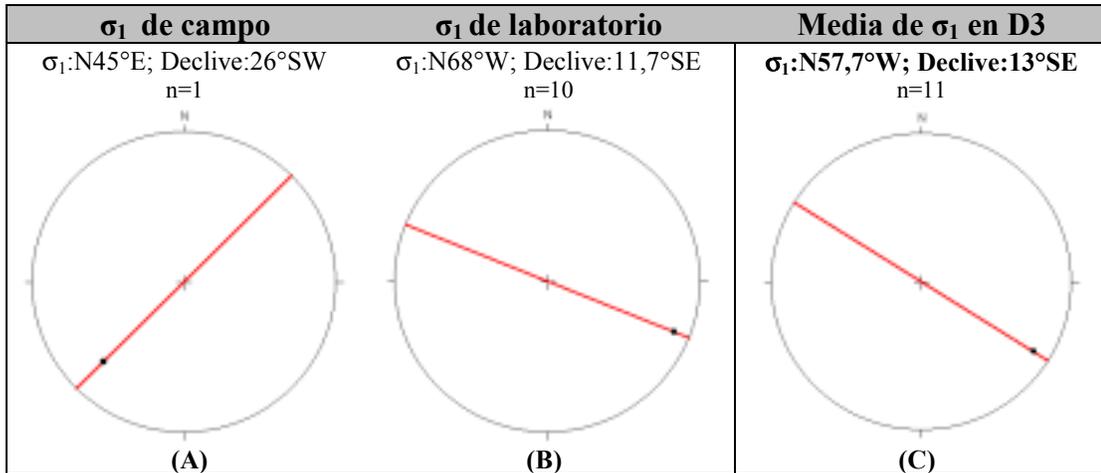
**Figura 4.40.** Muestra la estación D2 de la cuenca del río Uria, junto con detalles de medición de estrías en un espejo de falla y un pliegue.



**Figura 4.41.** Estereografías de las estaciones de trabajo D1 y D2, cuenca del río Uria. (A):  $\sigma_1$  de campo. (B):  $\sigma_1$  de laboratorio. (C): Media aritmética entre  $\sigma_1$  de campo y  $\sigma_1$  de laboratorio.

Cuenca	Estación	Unidad	Proyección	Coordenadas		Cota	Mapa
				N	E		
Uria	D3	CT	UTM	1.174.090	743.040	22 m	B-47
							
Fotografía azimuth 072°		Fotografía azimuth 060°					

**Figura 4.42.** Muestra en dos partes a la estación D3 de la cuenca del río Uria.



**Figura 4.43.** Estereografías de la estación de trabajo D3, cuenca del río Uria. (A):  $\sigma_1$  de campo. (B):  $\sigma_1$  de laboratorio. (C): Media aritmética entre  $\sigma_1$  de campo y  $\sigma_1$  de laboratorio.

### Discusión

Los resultados de campo y laboratorio obtenidos en la cuenca del río Uria indican un vector compresivo ( $\sigma_1$ ) en una dirección NNO-SSE (el cual se hace variable entre N13°-18°W), revelando una cizalla de tipo dextral.

### Fracturas y fallas

Los datos recopilados en campo (véase anexo 8.2) revelan sólo una familia de direcciones de fracturas, esta familia se orienta en una dirección cercana a E-O (N66°-89°E), con buzamientos subverticales generalmente inclinados hacia el norte. Se observaron microfallas con desplazamientos centimétricos con carácter dextral-normal (véase Fig. 4.44). También se pudieron observar estrías con inmersión hacia el SO (39°) en un plano dextral de falla orientado en N78°W.

### Pliegues

Se reportan tres familias de pliegues que indican una dirección general de planos axiales NNO-SSE (N45°W), y dos direcciones en el cuadrante NNE-SSO observables por (N10°-20°E), y (N54°-66°E). El buzamiento de los planos axiales es generalmente subvertical hacia el sur (70°-80° S), con algunas excepciones. Las inmersiones de los ejes se orientan generalmente hacia el cuadrante oeste, tanto al norte como al sur.

### Laboratorio

En los datos de laboratorio (véase anexo 8.3) se obtenidos a través de estructuras de deformación de minerales en sección fina se observó un vector compresivo ( $\sigma_1$ ) muy variable entre cada estación, donde se aprecia una orientación cercana a la dirección N-S. Es importante destacar que en la estación D2 el vector compresivo ( $\sigma_1$ ) posee una dirección NNE-SSO. Las inmersiones son generalmente subhorizontales pero varían de NO en las estaciones D1 y D2 a SE en la estación D3.



**Figura 4.44.** Fotografía azimuth 048°, con una inclinación de 32°N. Muestra el afloramiento D3, donde se presenta el desplazamiento de la falla f5 (aproximadamente 20 cm).

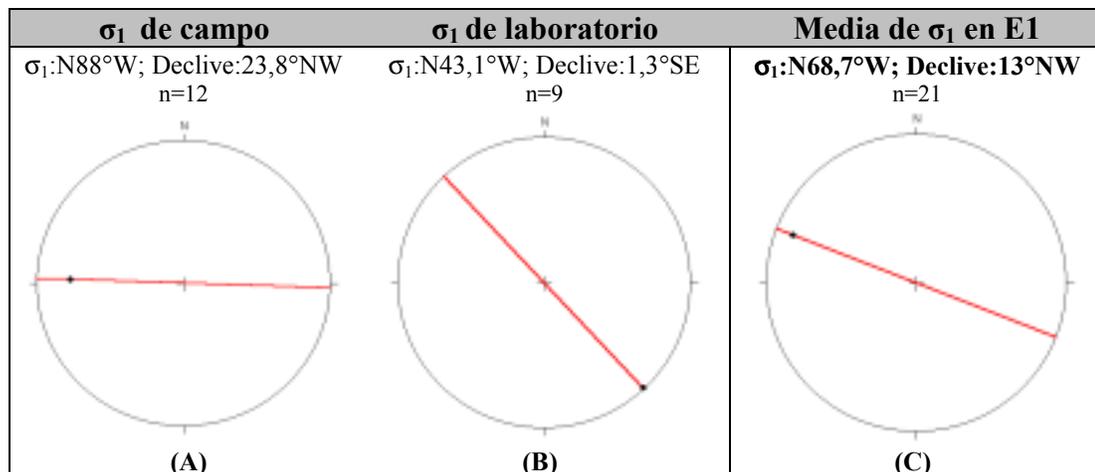
#### 4.4.6. Cuenca de Qda. Tanaguarena

Cuenca	Estación	Unidad	Proyección	Coordenadas		Cota	Mapa
				N	E		
Tanaguarena	E1	CT	UTM	1.173.580	740.730	85 m	B-47



**Fotografía azimut 176°**

**Figura 4.45.** Muestra la estación E1 de la cuenca de la quebrada Tanaguarena, pudiéndose observar la gran cantidad de estructuras de deformación continua.



**Figura 4.46.** Estereografías de la estación de trabajo E1, cuenca de la Qda. Tanaguarena. (A):  $\sigma_1$  de campo. (B):  $\sigma_1$  de laboratorio. (C): Media aritmética entre  $\sigma_1$  de campo y  $\sigma_1$  de laboratorio.

#### Discusión

Los resultados de campo (véase anexo 8.2) y laboratorio obtenidos en la cuenca de la Qda. Tanaguarena indican un vector compresivo ( $\sigma_1$ ) en una dirección NNO-SSE

(el cual se hace variable entre N38°-88°W), revelando una cizalla de tipo dextral cuya orientación está cercana a una zona E-O.

### Fracturas y fallas

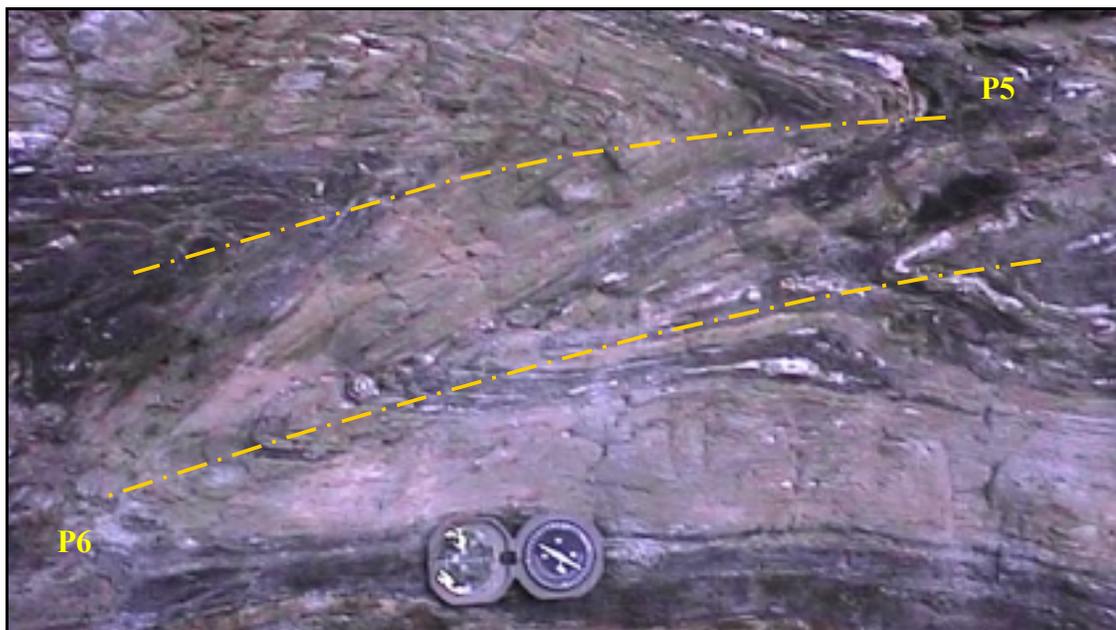
Se observó una familia de fallas, orientada en la dirección NNO-SSE la cual está relacionada con los pliegues encontrados. El buzamiento de esta familia de fallas tiende hacia el norte (45°-55° N).

### Pliegues

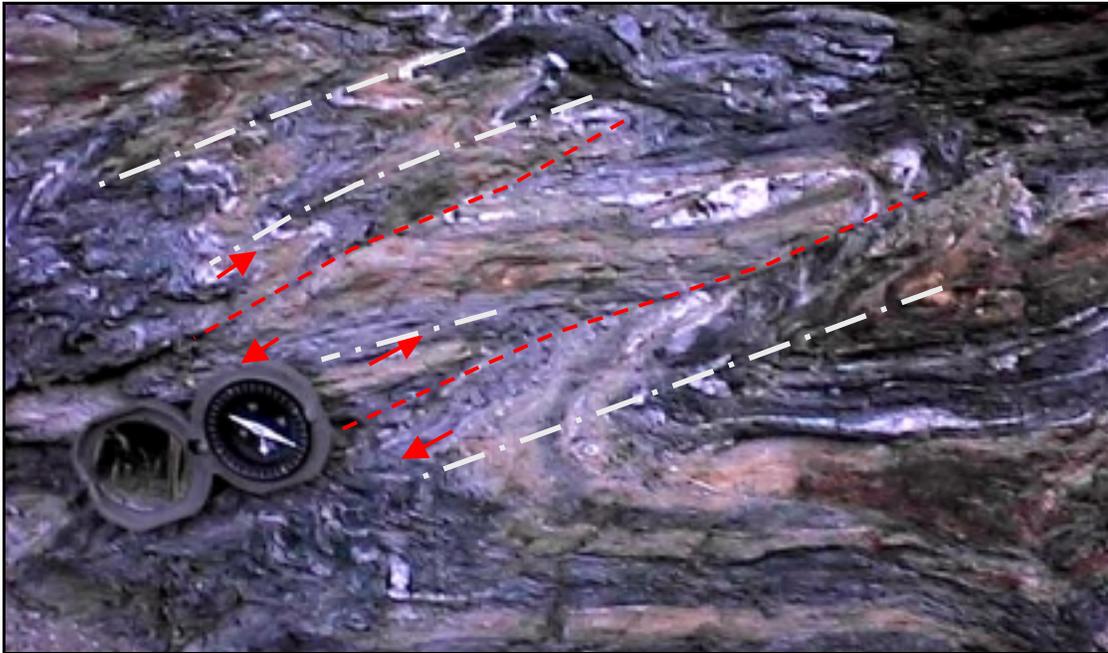
Se observaron dos familias de pliegues que indican una dirección general de planos axiales NNO-SSE (N10°-50°W), y NNE-SSO (N0°-12°E), en estas el buzamiento es subvertical hacia el sur para la familia orientada NNE-SSO y hacia el norte en la otra familia (véanse Fig 4.47 y 4.48). Los declives de los ejes resultan generalmente hacia el sur.

### Laboratorio

En los datos de laboratorio (véase anexo 8.3) se observó un vector compresivo ( $\sigma_1$ ) en la misma dirección general NNO-SSE (N38°-50°W), con un declive o inmersión subhorizontal también variable entre (23°-27° NW).



**Figura 4.47.** Fotografía azimut 106°. Estación de trabajo E1, donde se presenta un detalle de los pliegues P5 y P6. Se muestran los planos axiales en amarillo.



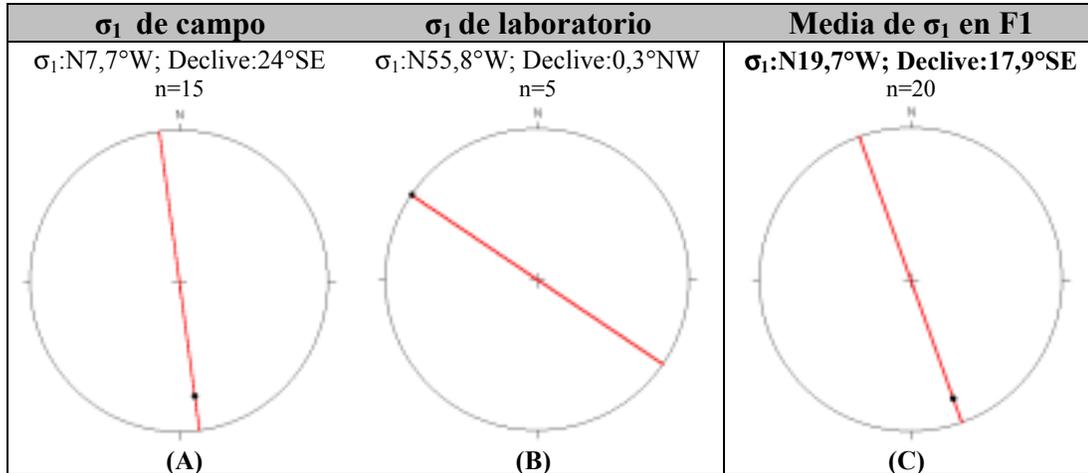
**Figura 4.48.** Fotografía azimut 103°. Estación de trabajo E1, donde se muestran los pliegues P7 y P8, ambos pliegues presentan corrimientos de falla mostrados en color rojo. El vector  $\sigma_1$  mostrado en amarillo. Esta figura también muestra el tipo de foliación en abanico por compresión de los pliegues.

#### 4.4.7. Cuenca del Río Cerro Grande

Cuenca	Estación	Unidad	Proyección	Coordenadas		Cota	Mapa
				N	E		
<b>Cerro grande</b>	F1	ASJ	LAMBERT	+10.340	+12.840	100 m	II-10

**Fotografía azimut 168°**

**Figura 4.49.** Muestra la estación F1 de la cuenca del río Cerro Grande.



**Figura 4.50.** Estereografías de la estación de trabajo F1, cuenca del río Cerro Grande. (A):  $\sigma_1$  de campo. (B):  $\sigma_1$  de laboratorio. (C): Media aritmética entre  $\sigma_1$  de campo y  $\sigma_1$  de laboratorio.

### Discusión

Los resultados de campo y laboratorio obtenidos en la cuenca del río Cerro Grande indican un vector compresivo ( $\sigma_1$ ) en una dirección NNO-SSE (el cual se hace variable entre N8°-60°W), revelando una cizalla de tipo dextral cuya orientación está cercana a una zona E-O.

### Fracturas y fallas

Se observó tres familias de fracturas y microfallas, las dos más importantes por cantidad de datos orientadas en ENE-OSO cercanas a E-O, y NNO-SSE; luego se presenta una tercera familia orientada en la dirección NNE-SSO pero cercana a la orientación N-S. El buzamiento de estas estructuras tiende generalmente hacia el norte (70°-85° N), a excepción de un dato que es subvertical hacia el sur (Fig. 4.51).



**Figura 4.51.** Fotografía azimut 168°. Detalle de un plano de falla de la estación F1, del río Cerro Grande, se muestran los datos tomados sobre el plano de falla, incluyendo el cabeceo (pitch) de la estría.

### **Laboratorio**

En los datos de laboratorio se observó un vector compresivo ( $\sigma_1$ ) en la misma dirección general NNO-SSE, pero inclinado fuertemente hacia el oeste (N60°W), con un declive o inmersión subhorizontal muy bajo.

## 4.4.8. Cuenca de Qda. Seca

Cuenca	Estación	Unidad	Proyección	Coordenadas		Cota	Mapa
				N	E		
Qda. Seca	G1	ASJ	LAMBERT	+10.240	+11.220	270 m	II-10



Fotografía azimut 226°

Figura 4.52. Muestra la estación G1 de la cuenca de Quebrada Seca. Puede observarse el patrón de fracturas subverticales y algunos planos de foliación oblicuos a la orientación de la fotografía.

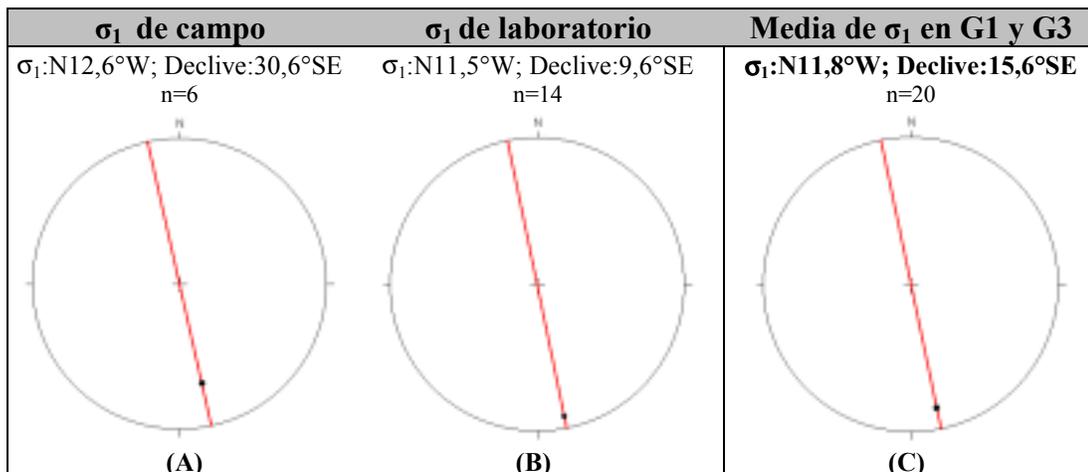


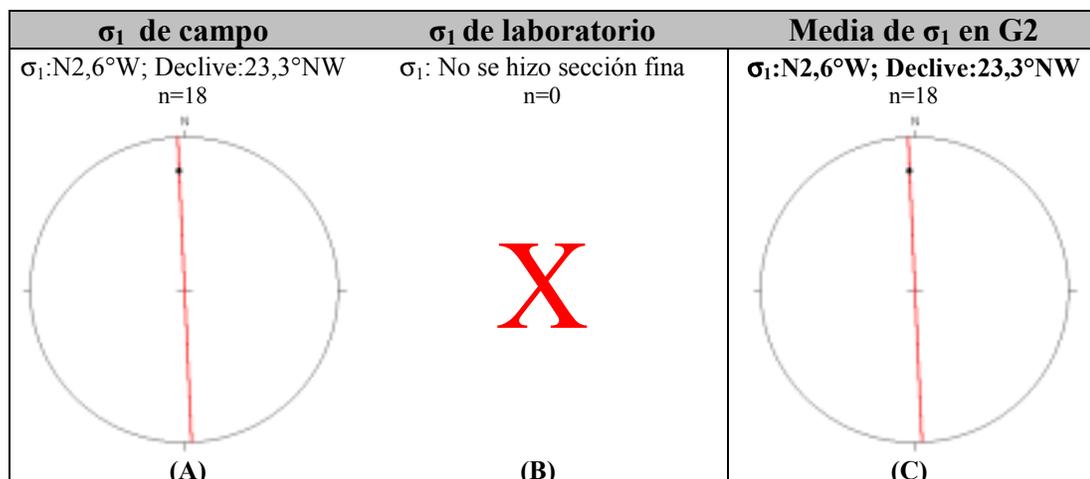
Figura 4.53. Estereografías de la estación de trabajo G1 y G3, cuenca de la Qda. Seca. (A):  $\sigma_1$  de campo. (B):  $\sigma_1$  de laboratorio. (C): Media aritmética entre  $\sigma_1$  de campo y  $\sigma_1$  de laboratorio.

Cuenca	Estación	Unidad	Proyección	Coordenadas		Cota	Mapa
				N	E		
Qda. Seca	G2	CT	LAMBERT	+10.770	+11.190	160 m	II-10


**Fotografía azimuth 259°**

**Figura 4.54.** Muestra la estación G2 de la cuenca de Quebrada Seca en la zona del Esquisto de Tacagua. Pueden observarse las estructuras producidas por deformación continua.



**Figura 4.55.** Estereografías de la estación de trabajo G2, cuenca de la Qda. Seca. **(A)**:  $\sigma_1$  de campo. **(B)**:  $\sigma_1$  de laboratorio. **(C)**: Media aritmética entre  $\sigma_1$  de campo y  $\sigma_1$  de laboratorio.

Cuenca	Estación	Unidad	Proyección	Coordenadas		Cota	Mapa
				N	E		
<b>Qda. Seca</b>	G3	ASJ, CT	LAMBERT	+10.300	+11.190	255 m	II-10


**Fotografía azimut 260°**

**Figura 4.56.** Presenta la estación G3 de la cuenca de Quebrada Seca. Puede observarse una falla dextral inversa ONO-ESE, intermedia entre NNO-SSE (dextral pura) y OSO-ENE (inversa pura). El movimiento relativo se muestra en color amarillo.

### Discusión

Los resultados de campo (véase anexo 8.2) y laboratorio obtenidos en la cuenca de Quebrada Seca indican un vector compresivo ( $\sigma_1$ ) en una dirección NNO-SSE (el cual se hace variable entre  $N6^\circ-23^\circ W$ ), revelando una cizalla de tipo dextral cuya orientación está cercana a una zona N-S.

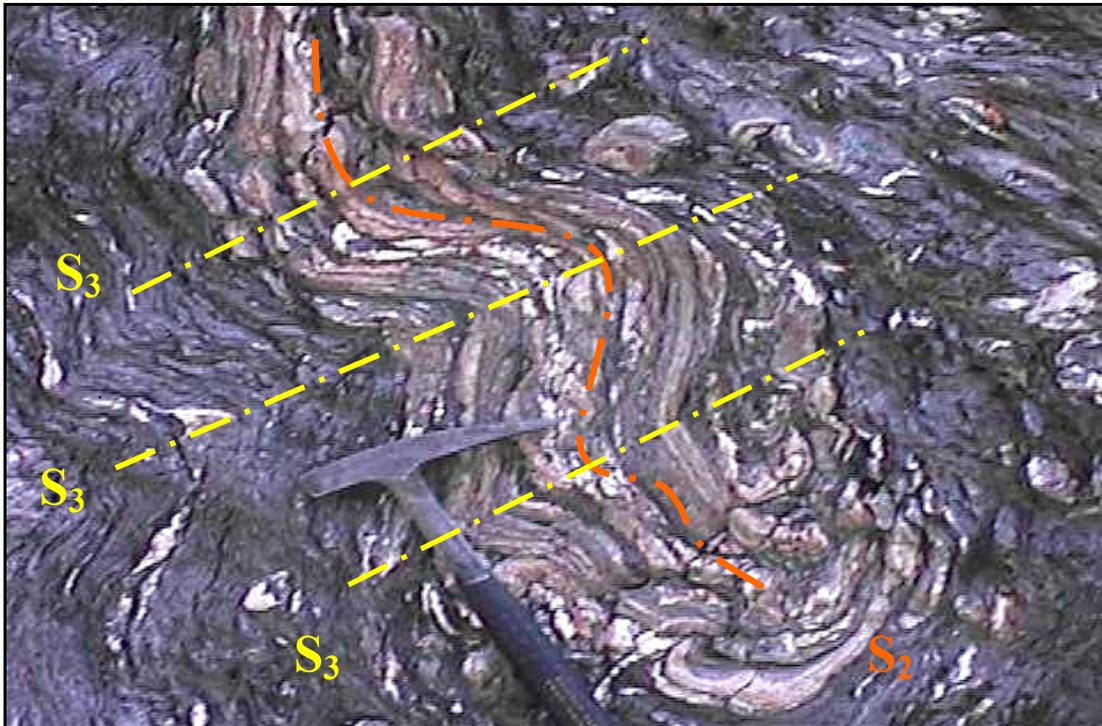
### Fracturas y fallas

En la estación G3 se encontró una falla con orientación ONO-ESE (falla dextral inversa), la cual se ajusta al sistema, al interpretarse como una intermedia entre las fallas NNO-SSE (dextral pura), muy frecuente en la zona de estudio, y las fallas

ENE-OSO (inversa pura) tal como la observada la estación G1 ubicada a 50 m al sur de la estación G3.

### Pliegues

Se observó una familia principal de pliegues que indica una dirección general de planos axiales en una banda ancha alrededor de la dirección E-O, donde el buzamiento es subvertical pero varía de norte a sur, es de destacar que pudo apreciarse dos generaciones de pliegues  $S_2$  y  $S_3$ , indicando dos etapas de deformación posteriores a la formación de la foliación  $S_1$ , véase Fig. 4.57.



**Figura 4.57.** Fotografía azimut 252°. Margen derecha Qda. Seca, estación de trabajo G2, cota 160 m. El Esquisto de Tacagua presenta dos generaciones de pliegues  $S_2$  y  $S_3$ , generadas por dos etapas de deformación distintas a la foliación ( $S_1$ ); la primera ( $S_2$ ), se evidencia por el eje de pliegue en rojo y la segunda ( $S_3$ ), por los ejes de pliegue en amarillo.

### Diaclasas

En lo referente a las diaclasas se observaron tres familias, dos de las cuales se orientan en la dirección NNE-SSO y la restante en la NNO-SSE; todas estas poseen

un buzamiento subvertical hacia el sur a excepción de la familia orientada con más cercanía hacia la dirección N-S (buzante al sur), que también posee la mayor frecuencia (1:7).

### Laboratorio

En los datos de laboratorio (véase anexo 8.3) se observó un vector compresivo ( $\sigma_1$ ) en la misma dirección general NNO-SSE (N7°-23°W), con un declive o inmersión subhorizontal también variable (2°-35°) hacia el sureste SE.

#### 4.4.9. Cuenca del río San Julián

Cuenca	Estación	Unidad	Proyección	Coordenadas		Cota	Mapa
				N	E		
San Julián	H1	ASJ	LAMBERT	+8.940	+9.850	340 m	III-10



**Fotografía azimut 213°**

**Figura 4.58.** Muestra la estación H1 de la cuenca del río San Julián. Puede observarse un patrón de fracturas inclinado.

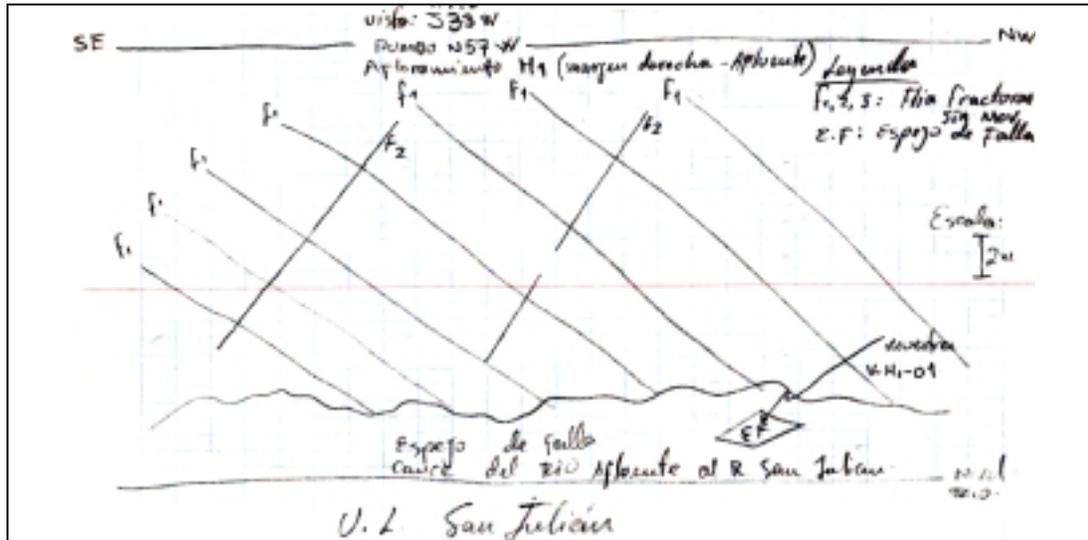


Figura 4.59. Presenta el croquis de la estación H1 de la cuenca del río San Julián.

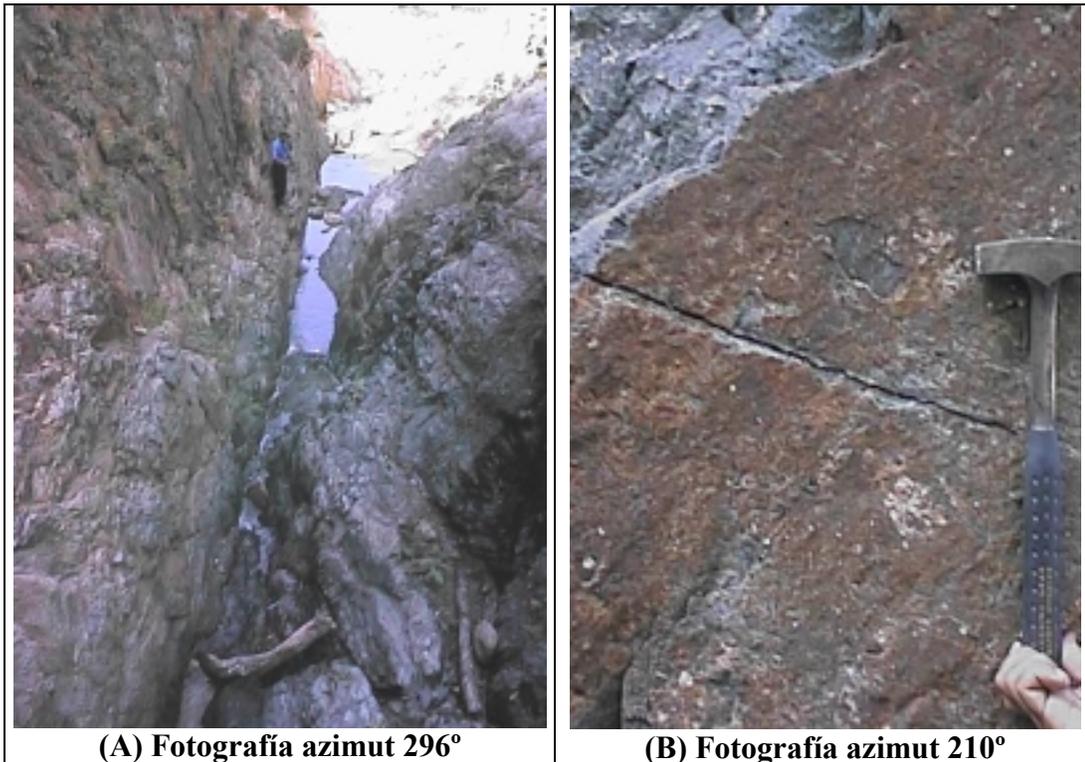
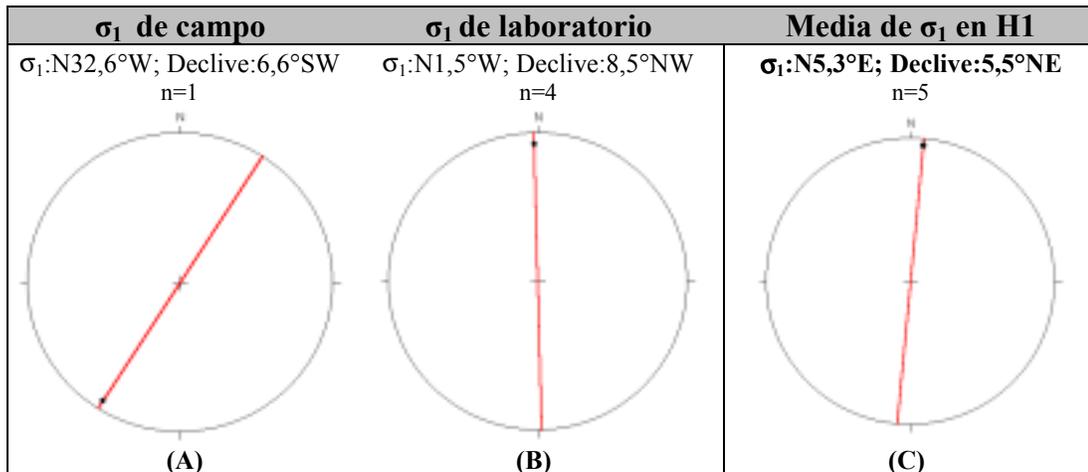
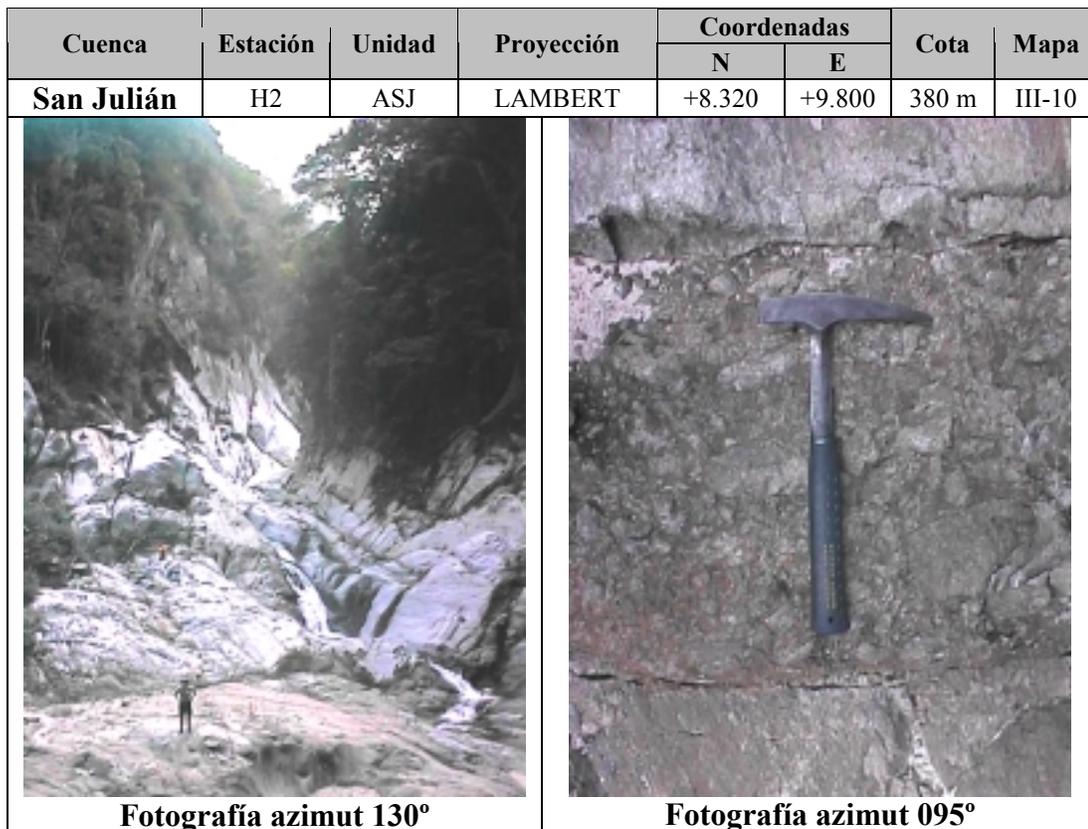


Figura 4.60. (A) Presenta una vista longitudinal del plano de falla encontrado en la estación H1 de la cuenca del río San Julián. (B) muestra un detalle del espejo de falla donde se midieron estrías.



**Figura 4.61.** Estereografías de la estación de trabajo H1, cuenca del río San Julián. (A):  $\sigma_1$  de campo. (B):  $\sigma_1$  de laboratorio. (C): Media aritmética entre  $\sigma_1$  de campo y  $\sigma_1$  de laboratorio.



**Figura 4.62.** Muestra la estación H2 de la cuenca del río San Julián. Puede observarse una brecha de falla de 50 cm de ancho aproximadamente.

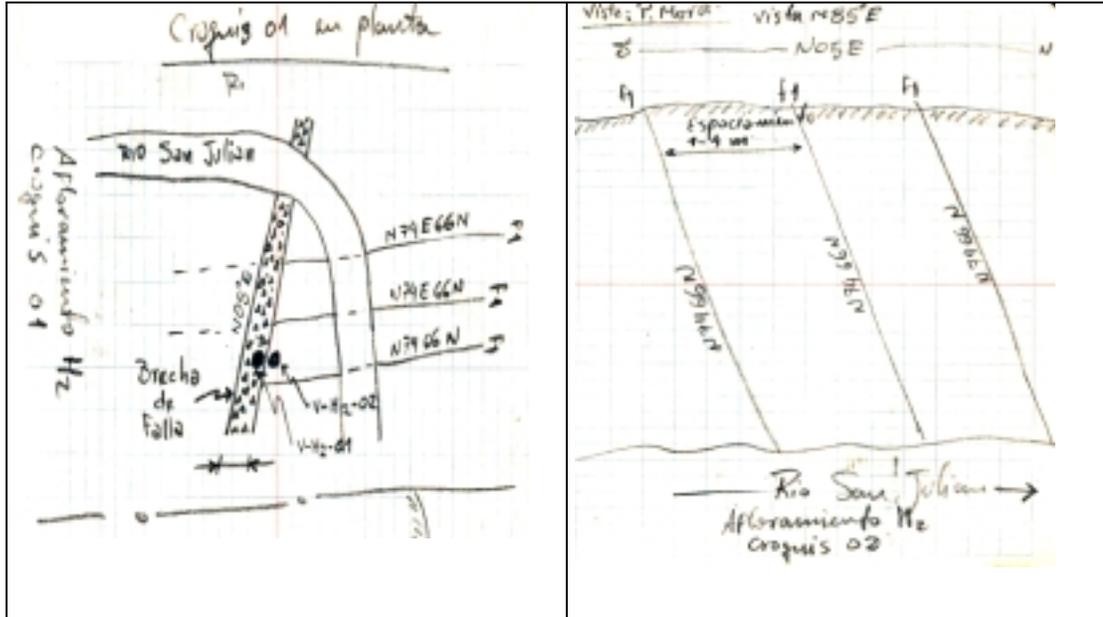


Figura 4.63. Presenta dos croquis de la estación H2 de la cuenca del río San Julián. En estos se muestra la brecha de falla en planta y un esquema de la estación.

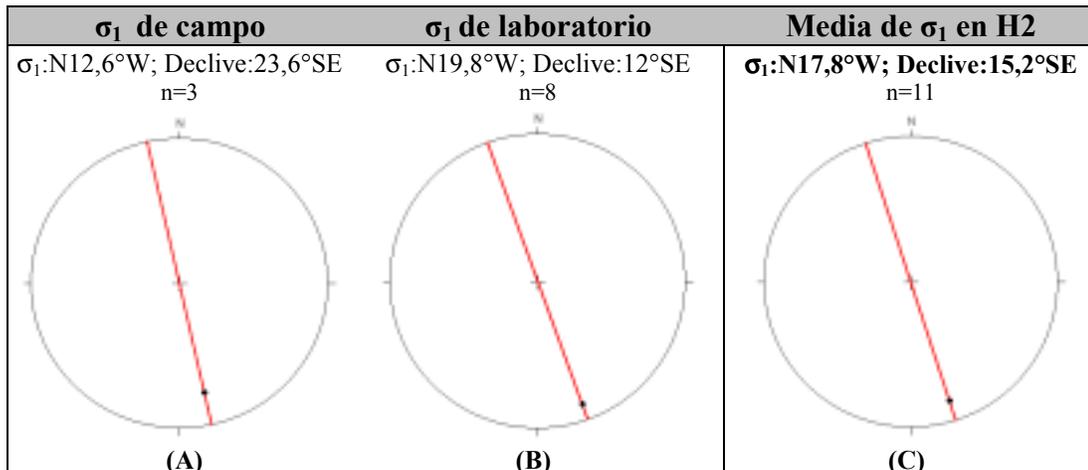


Figura 4.64. Estereografías de la estación de trabajo H2, cuenca del río San Julián. (A):  $\sigma_1$  de campo. (B):  $\sigma_1$  de laboratorio. (C): Media aritmética entre  $\sigma_1$  de campo y  $\sigma_1$  de laboratorio.

### Discusión

El vector compresivo ( $\sigma_1$ ) obtenido en la cuenca del río San Julián indica una dirección NNO-SSE (el cual se hace variable entre N12°-36°W), revelando una cizalla de tipo dextral.

### Fracturas y fallas

En los datos de campo (véase anexo 8.2) se levantaron dos fallas, una orientada en la dirección NNO-SSE, con buzamiento subvertical ( $82^\circ$  N), la cual presenta una estría subhorizontal con un cabeceo o pitch de  $26^\circ$  hacia el noroeste NW, véase Fig. 4.60. La otra falla se presenta por una brecha de falla orientada casi en la dirección N-S ( $N5^\circ E$ ) la cual es subvertical, véanse Figs. 4.62 y 4.65.

### Diaclasas

Se observaron tres familias de diaclasas, dos de las cuales se orientan en la dirección NNE-SSO, de las cuales una se acerca a la dirección N-S y la otra se acerca a la dirección E-O. La familia restante se orienta en la dirección NNO-SSE, todas estas poseen un buzamiento subvertical que es variable hacia el norte o hacia el sur. La mayor frecuencia encontrada es en las que se acercan a la dirección N-S, (1:5).

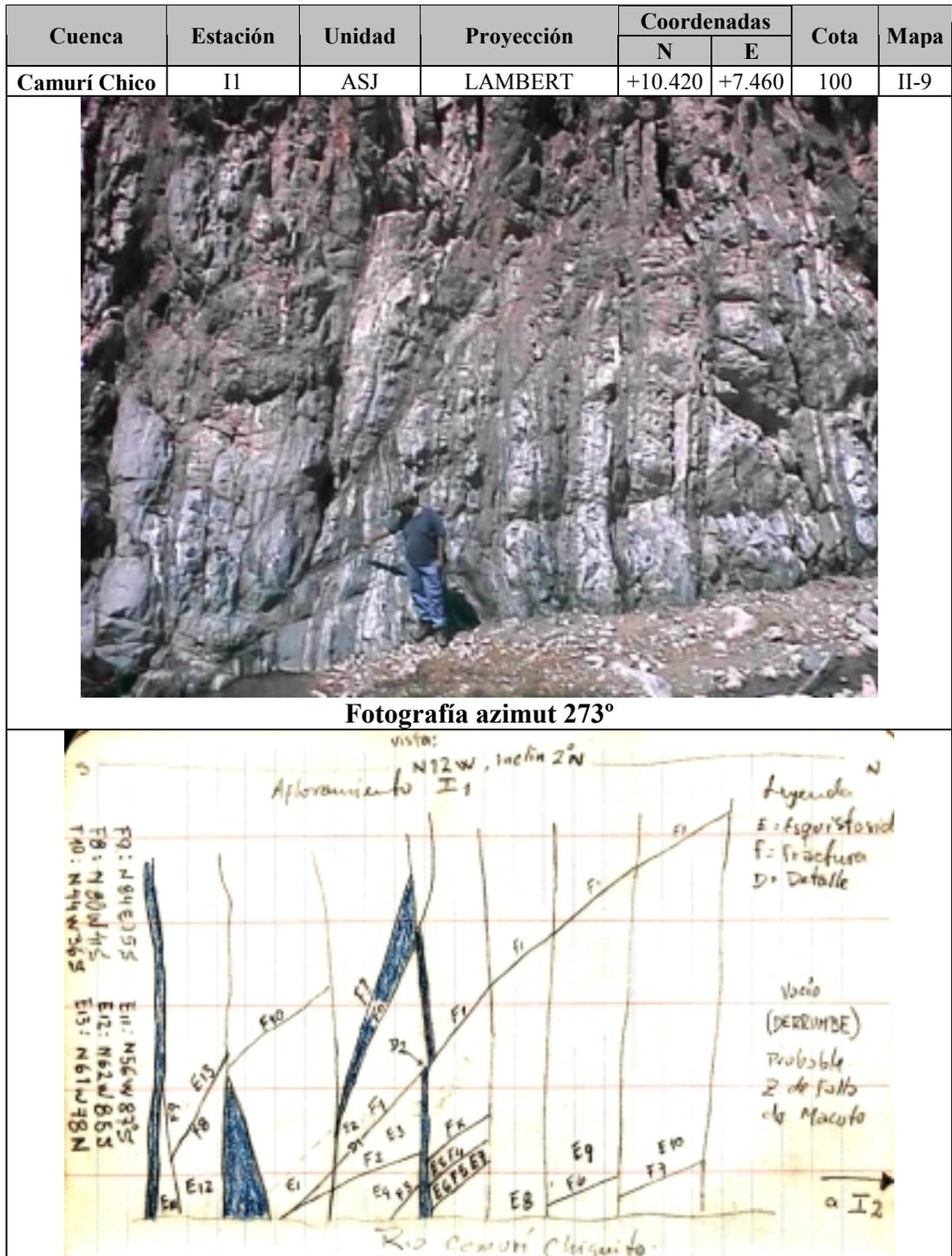
### Laboratorio

En los datos de laboratorio (véase anexo 8.3) se observó un vector compresivo ( $\sigma_1$ ) en la dirección general NNO-SSE ( $N13^\circ-36^\circ W$ ), con un declive subhorizontal variable entre ( $2^\circ-8^\circ$  NW), aunque existe una excepción que se inclina  $20^\circ$  hacia el SE.



**Figura 4.65.** Fotografía azimut  $005^\circ$ . Brecha de falla de 50cm de ancho en el río San Julián, estación de trabajo H2, cota de 380 m, Complejo San Julián.

## 4.4.10. Cuenca del río Camurí Chico



**Figura 4.66.** Fotografía y croquis de la estación de trabajo II, cuenca del río Camurí Chico. Pueden observarse los distintos patrones de fracturas y su muestreo en los distintos dibujos.

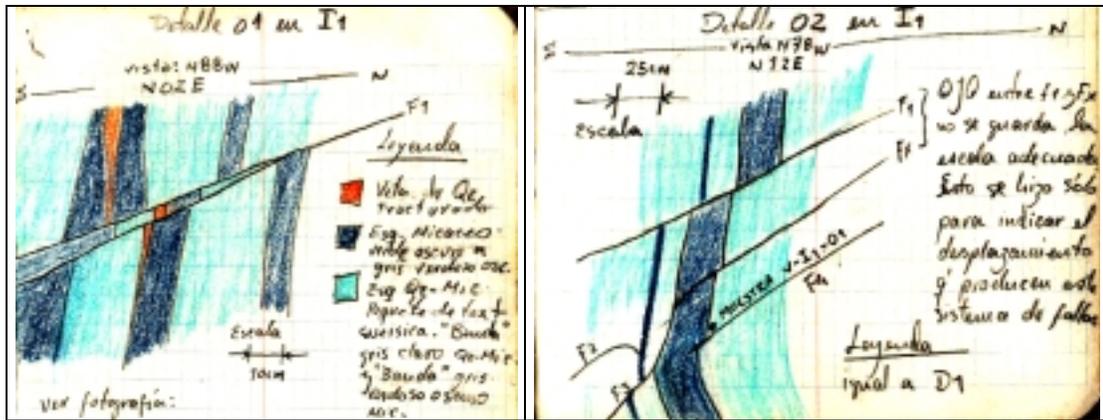


Figura 4.67. Croquis de detalles de la estación de trabajo II, cuenca del río Camurí Chico. Pueden observarse los distintos patrones de fracturas y su muestreo en los distintos dibujos.

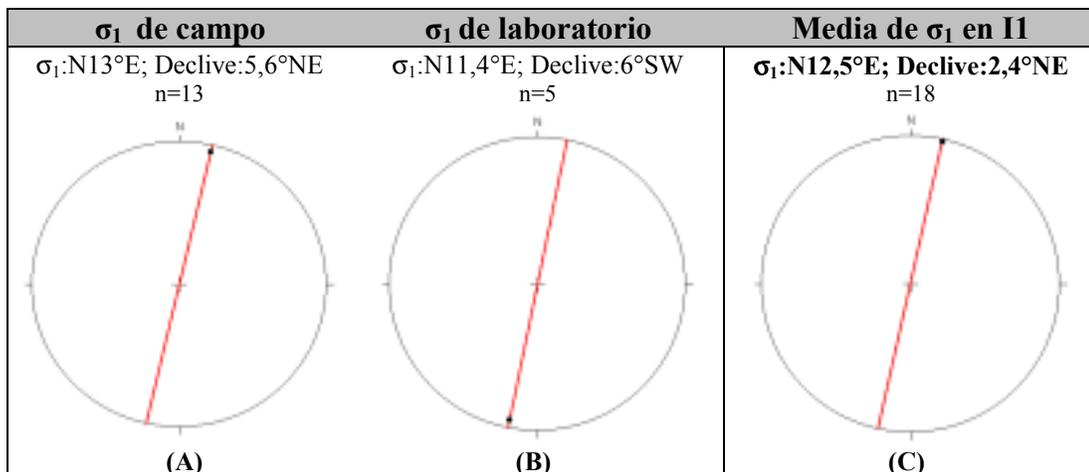
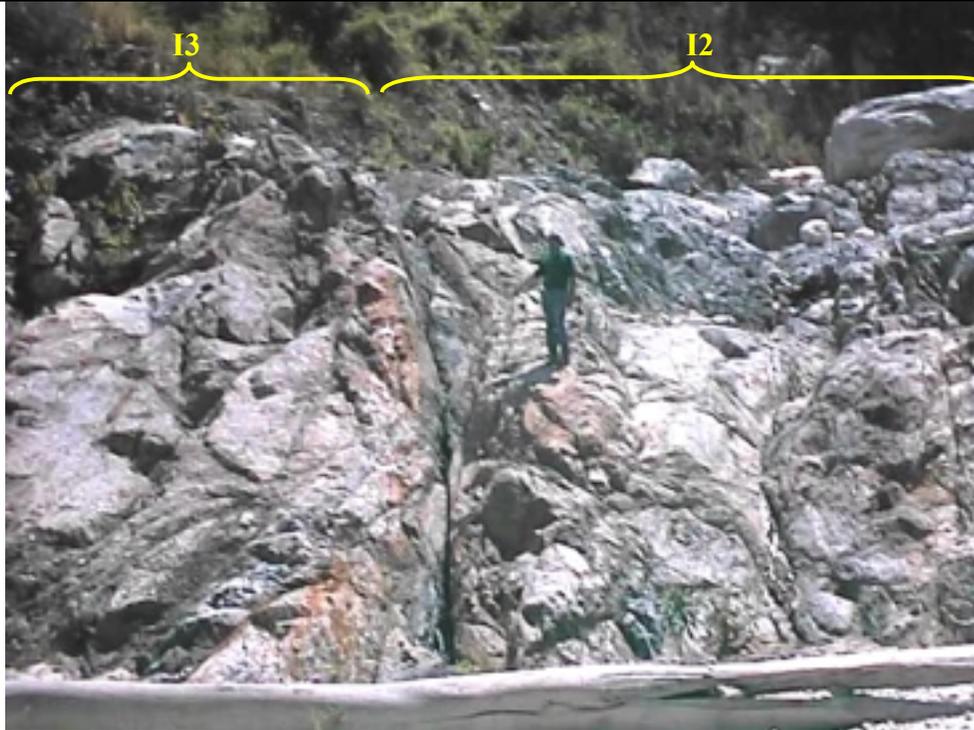
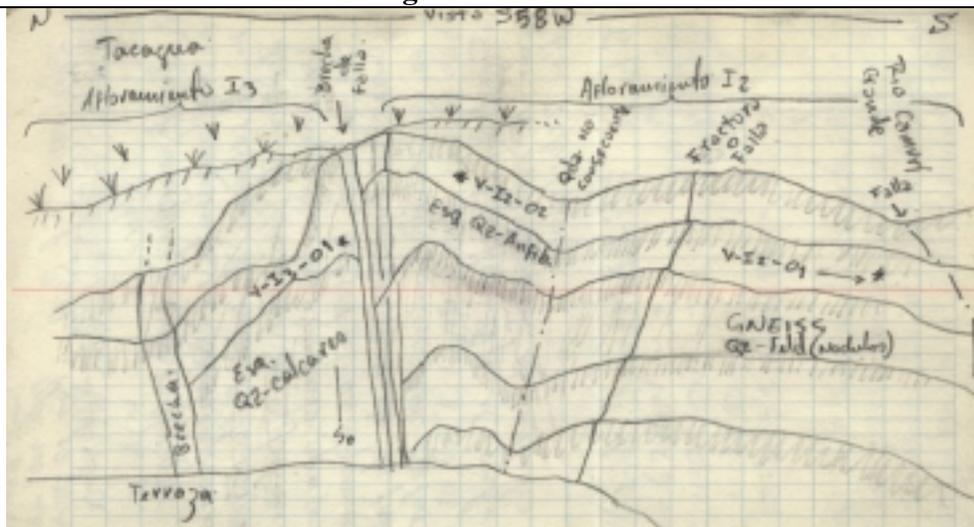


Figura 4.68. Estereografías de la estación de trabajo II, cuenca del río Camurí Chico. (A):  $\sigma_1$  de campo. (B):  $\sigma_1$  de laboratorio. (C): Media aritmética entre  $\sigma_1$  de campo y  $\sigma_1$  de laboratorio.

Cuenca	Estación	Unidad	Proyección	Coordenadas		Cota	Mapa
				N	E		
Camurí Chico	I2	APM, CT	LAMBERT	+10.410	+7.480	115 m	II-9
Camurí Chico	I3	CT	LAMBERT	+10.430	+7.480	115 m	II-9

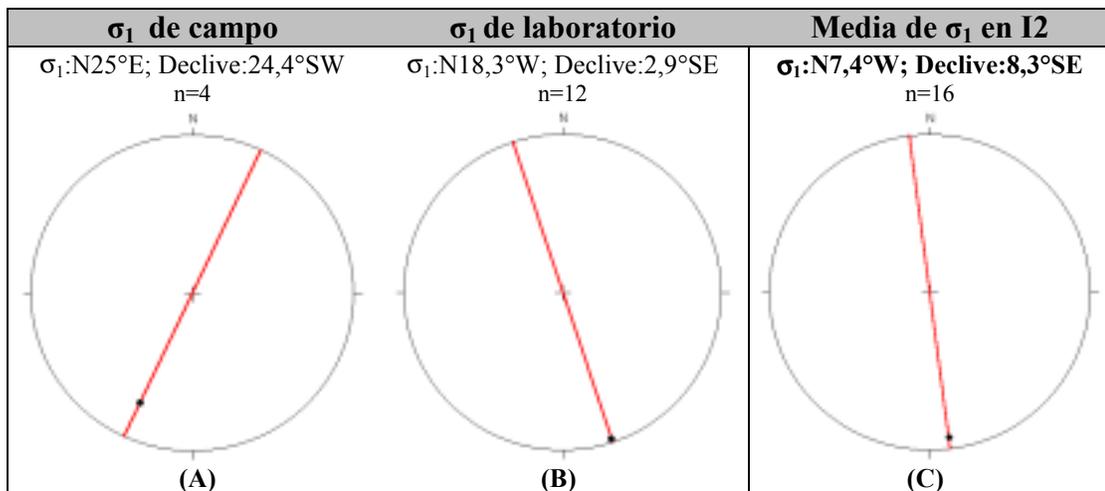


Fotografía azimut 085°

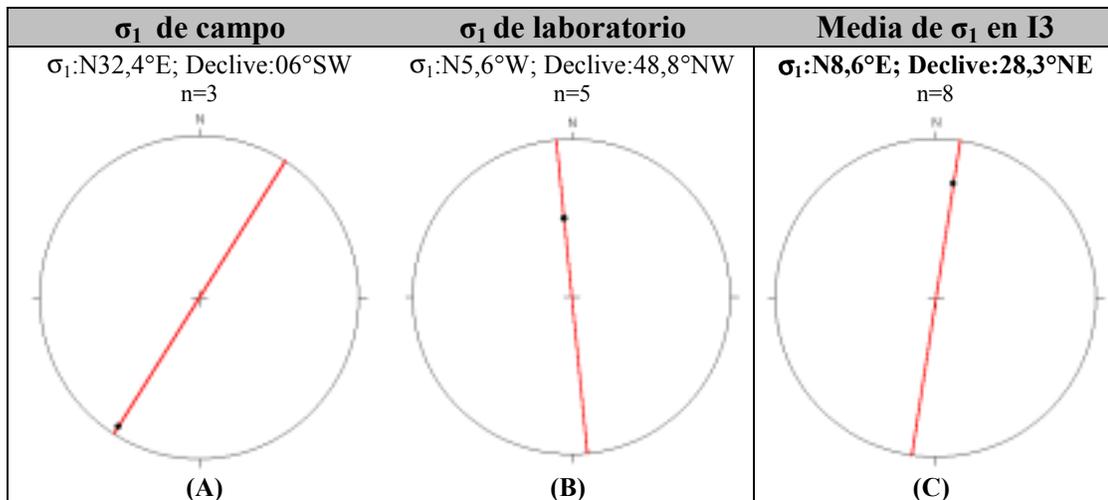


Croquis de las estaciones I2 e I3 de la cuenca de Camurí Chico

**Figura 4.69.** Fotografía y croquis de las estaciones de trabajo I2 e I3, cuenca del río Camurí Chico. Pueden observarse las distintas estructuras recopiladas.



**Figura 4.70.** Estereografías de la estación de trabajo I2, cuenca del río Camurí Chico. (A):  $\sigma_1$  de campo. (B):  $\sigma_1$  de laboratorio. (C): Media aritmética entre  $\sigma_1$  de campo y  $\sigma_1$  de laboratorio.



**Figura 4.71.** Estereografías de la estación de trabajo I3, cuenca del río Camurí Chico. (A):  $\sigma_1$  de campo. (B):  $\sigma_1$  de laboratorio. (C): Media aritmética entre  $\sigma_1$  de campo y  $\sigma_1$  de laboratorio.

### Discusión

Los resultados de campo y laboratorio obtenidos en la cuenca del río Camurí Chico indican dos orientaciones del vector compresivo según el origen de los resultados, teniendo un vector compresivo ( $\sigma_1$ ) del trabajo de campo, en una dirección NNE-SSO (variable entre N13°-32°E); y una orientación de NNO-SSE general del vector compresivo ( $\sigma_1$ ) para los resultados del laboratorio (véase anexo 8.3).

### Fracturas y fallas

Se observó una orientación preferencial de fracturas y fallas dextrales en la dirección NNO-SSE (véase anexo 8.2), donde el buzamiento tiende generalmente hacia el sur y varía entre (35°-75°), véase Fig. 4.72.

### Diaclasas

Se presentan tres familias de diaclasas, dos orientadas en NNE-SSO, y una orientada en la dirección NNO-SSE, donde se pudo medir una apertura de 10 cm; el buzamiento es subvertical hacia el norte para la familia orientada NNE-SSO y hacia el sur en la otra familia.



**Figura 4.72.** Fotografía azimut 273°. Estación I1, margen izquierda del río Camurí Chico, cota de 115 m. Se puede apreciar la alternancia de litologías y las fallas con desplazamiento inverso.

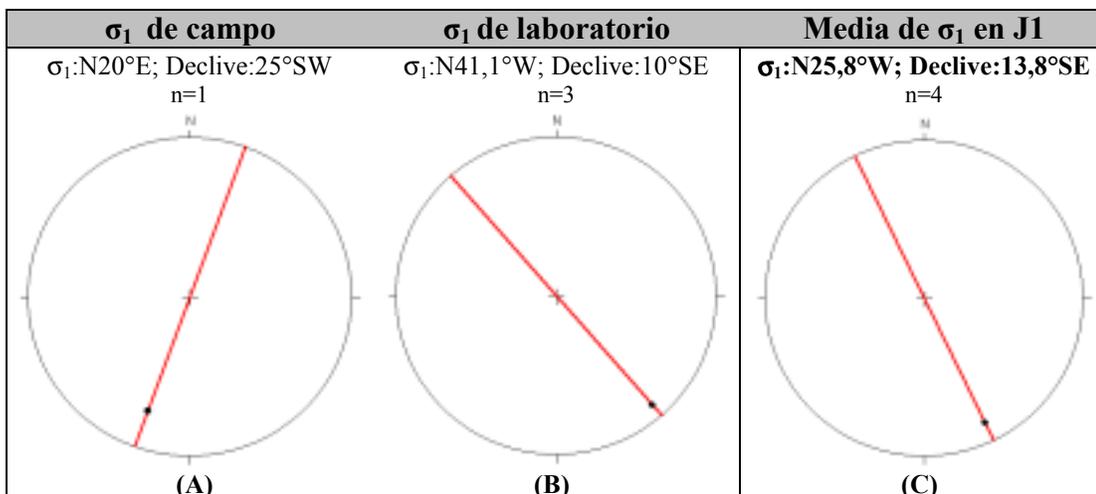
## 4.4.11. Cuenca de Qda. El Cojo

Cuenca	Estación	Unidad	Proyección	Coordenadas		Cota	Mapa
				N	E		
El Cojo	J1	APM	LAMBERT	+10.750	+5.850	125 m	II-9



**Fotografía azimut 010°**

**Figura 4.73.** Presenta una fotografía de la estación de trabajo J1 en la cuenca de la quebrada El Cojo. Puede observarse un plano de falla perpendicular al orientación de la fotografía.



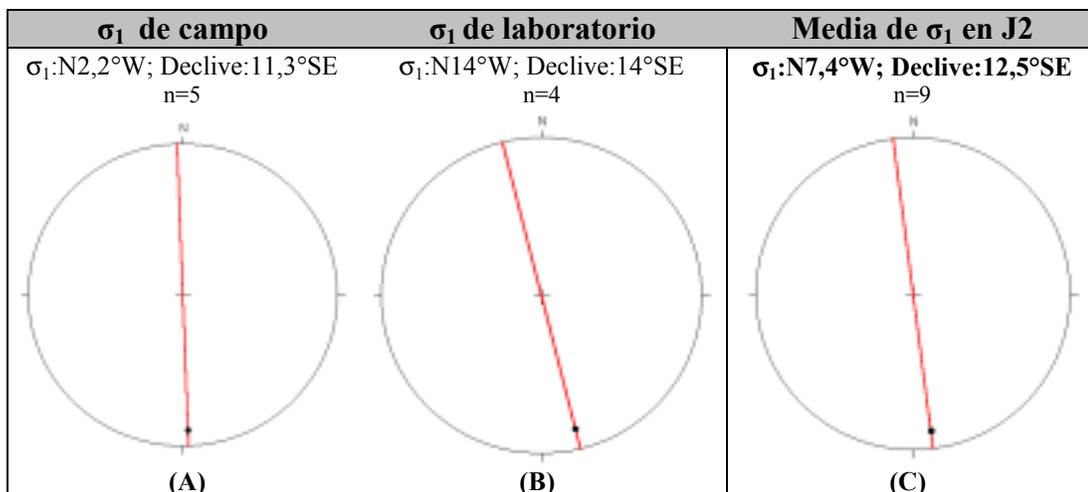
**Figura 4.74.** Estereografías de la estación de trabajo J1, cuenca de la Qda. El Cojo. (A):  $\sigma_1$  de campo. (B):  $\sigma_1$  de laboratorio. (C): Media aritmética entre  $\sigma_1$  de campo y  $\sigma_1$  de laboratorio.

Cuenca	Estación	Unidad	Proyección	Coordenadas		Cota	Mapa
				N	E		
El Cojo	J2	APM	LAMBERT	+9.860	+6.100	255 m	II-9


**Fotografía azimut 357°**

**Figura 4.75.** Presenta la estación de trabajo J2 en la cuenca de la quebrada El Cojo. Puede observarse un pliegue abierto, con el eje paralelo al rumbo de la fotografía.



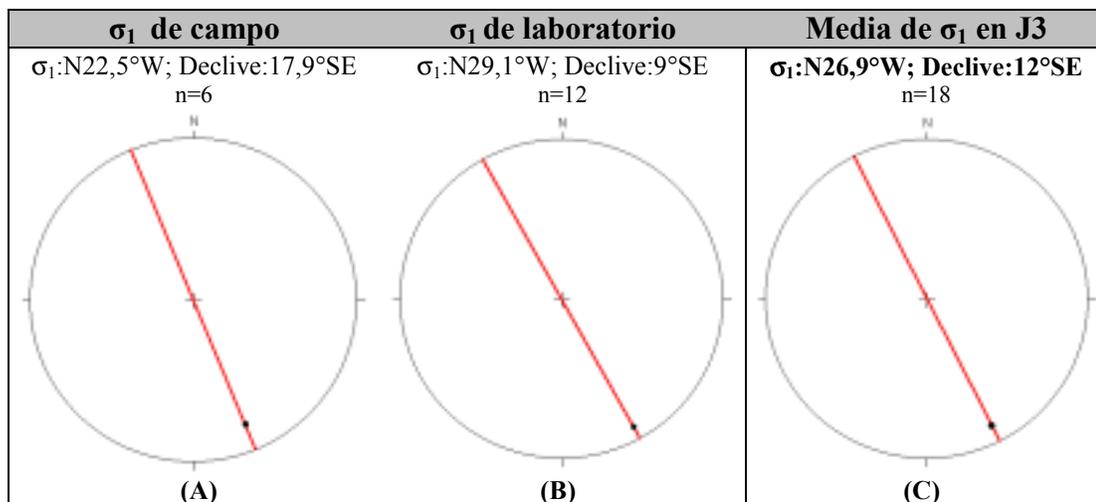
**Figura 4.76.** Estereografías de la estación de trabajo J2, cuenca de la Qda. El Cojo. (A):  $\sigma_1$  de campo. (B):  $\sigma_1$  de laboratorio. (C): Media aritmética entre  $\sigma_1$  de campo y  $\sigma_1$  de laboratorio.

Cuenca	Estación	Unidad	Proyección	Coordenadas		Cota	Mapa
				N	E		
El Cojo	J3	ASJ	LAMBERT	+10.080	+6.060	235 m	II-9



**Fotografía azimut 260°**

**Figura 4.77.** Presenta la estación de trabajo J3 en la cuenca de la quebrada El Cojo. Puede observarse un pliegue de forma de “S”, generado por una secuencia de pliegues “antiforme” y “sinforme”



**Figura 4.78.** Estereografías de la estación de trabajo J3, cuenca de la Qda. El Cojo. (A):  $\sigma_1$  de campo. (B):  $\sigma_1$  de laboratorio. (C): Media aritmética entre  $\sigma_1$  de campo y  $\sigma_1$  de laboratorio.

### Discusión

Los resultados de campo y laboratorio obtenidos en la cuenca del río El Cojo indican un vector compresivo ( $\sigma_1$ ) en una dirección NNO-SSE (el cual se hace variable entre N2°-54°W), revelando una cizalla de tipo dextral cuya orientación está cercana a una zona E-O en el levantamiento de las estructuras de campo.

### Fracturas y fallas

Se levantó una falla, orientada en la dirección NNO-SSE, que posee estrías con declive subhorizontal hacia el sureste (véase anexo 8.2). El buzamiento es subvertical hacia el sur (85°S), véase Fig. 4.79.

### Pliegues

Se observaron dos familias de pliegues y micropliegues asociados que indican una dirección general de planos axiales NNE-SSO (N50°-87°W), donde el buzamiento es subvertical hacia el norte, véase Fig. 4.77. Las inmersiones de los ejes resultan generalmente subhorizontales hacia el norte.

### Diaclasas

En los datos de laboratorio (véase anexo 8.3) se observó un vector compresivo ( $\sigma_1$ ) en la misma dirección general NNO-SSE (N11°-54°W), con un declive o inmersión subhorizontal variable entre (10°-31° SE), solo un dato se sale del intervalo, inclinándose 22° hacia el NO.

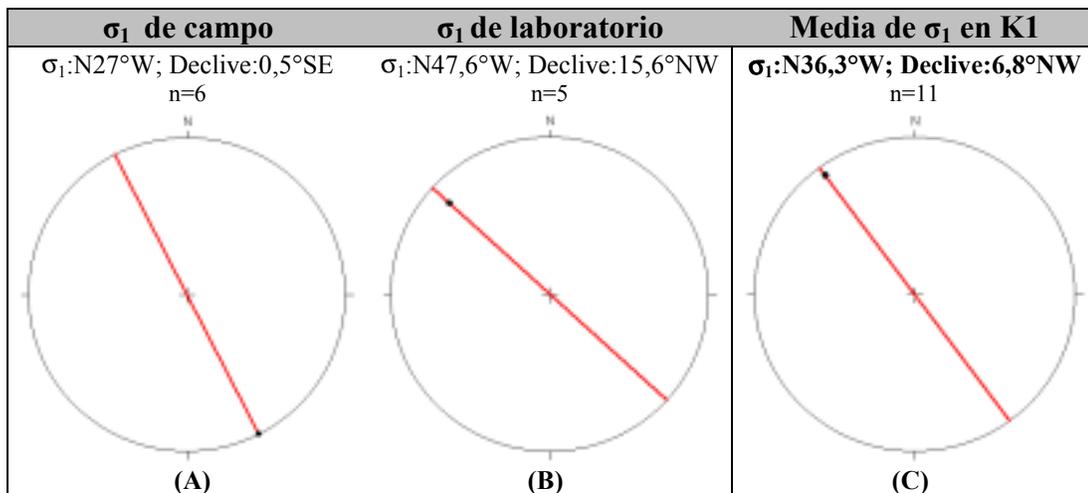


(A): Fotografía azimut 272°

(B): Fotografía azimut 007°

**Figura 4.79.** Afluyente derecho de la Qda. El Cojo, estación de trabajo J1, cota 125 m. (A) Vista del plano de falla. (B) Datos levantados de la estructura planar sobre el Augengneis de Peña de Mora.





**Figura 4.81.** Estereografías de la estación de trabajo K1, cuenca de la Qda. Galipán. (A):  $\sigma_1$  de campo. (B):  $\sigma_1$  de laboratorio. (C): Media aritmética entre  $\sigma_1$  de campo y  $\sigma_1$  de laboratorio.

### Discusión

Los resultados de campo y laboratorio obtenidos en la cuenca del río Galipán indican un vector compresivo ( $\sigma_1$ ) en una dirección NNO-SSE (el cual se hace variable entre N27°-48°W), revelando una cizalla de tipo dextral cuya orientación está cercana a una zona E-O, su inclinación o inmersión es casi nula, siendo prácticamente horizontal.

### Fracturas y fallas

Se observaron dos familias de fallas, una orientada en la dirección NNO-SSE (N55°-60°W), con buzamientos subverticales hacia el norte; la otra familia de fallas está cercana a la dirección E-O, en esta, se pudo levantar una falla inversa y sinistral, la cual posee una estría subhorizontal (10° N); y una brecha de falla. Ambas estructuras buzaban subverticalmente hacia el sur (véase anexo 8.2).

### Pliegues

Se observaron dos familias de pliegues que indican una dirección general de planos axiales NNE-SSO, una cercana a la dirección E-O (N80°-85°E), con buzamientos subverticales hacia el sur; la otra en la dirección (N45°E), donde el buzamiento es subvertical hacia el norte.

### Diaclasas

Se presentan dos familias de diaclasas, una de ellas orientada hacia la dirección NNO-SSE, la otra orientada hacia la dirección NNE-SSO, ambas buzando hacia el norte entre 45° y 50°.

### Laboratorio

En los datos de laboratorio (véase anexo 8.3) se observó un vector compresivo ( $\sigma_1$ ) en la dirección NNO-SSE, con un declive o inmersión casi horizontal hacia el noroeste.

#### 4.4.13. Cuenca de la Qda Cariaco

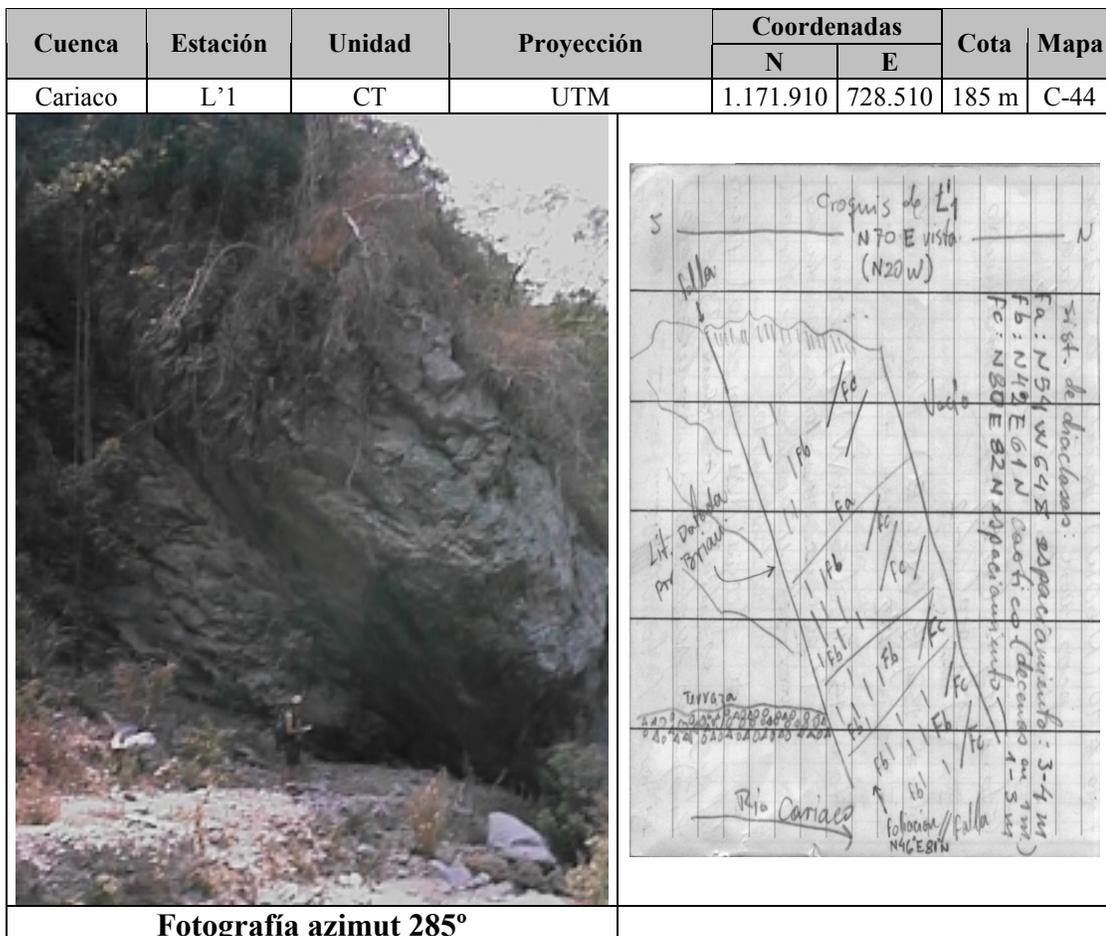
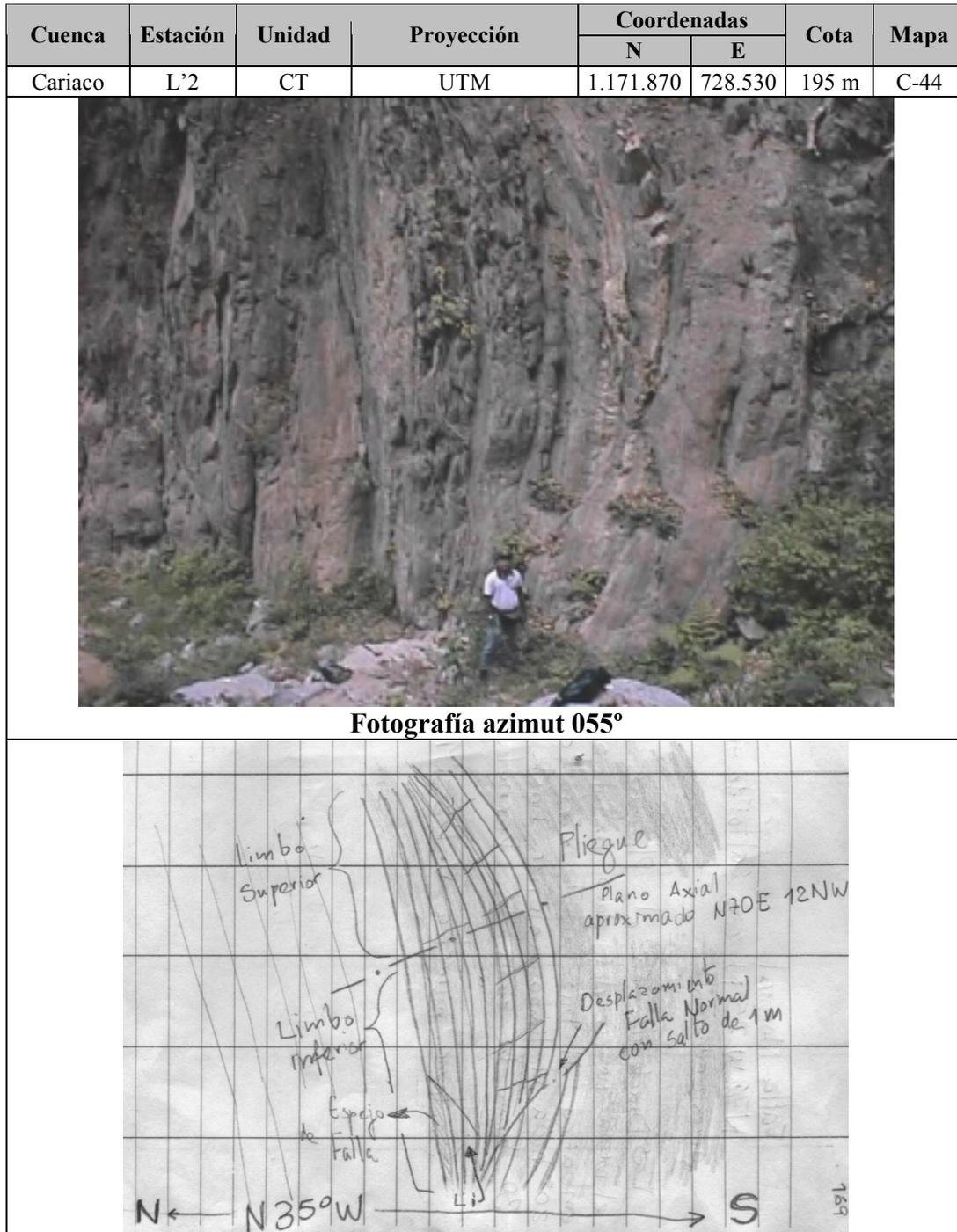
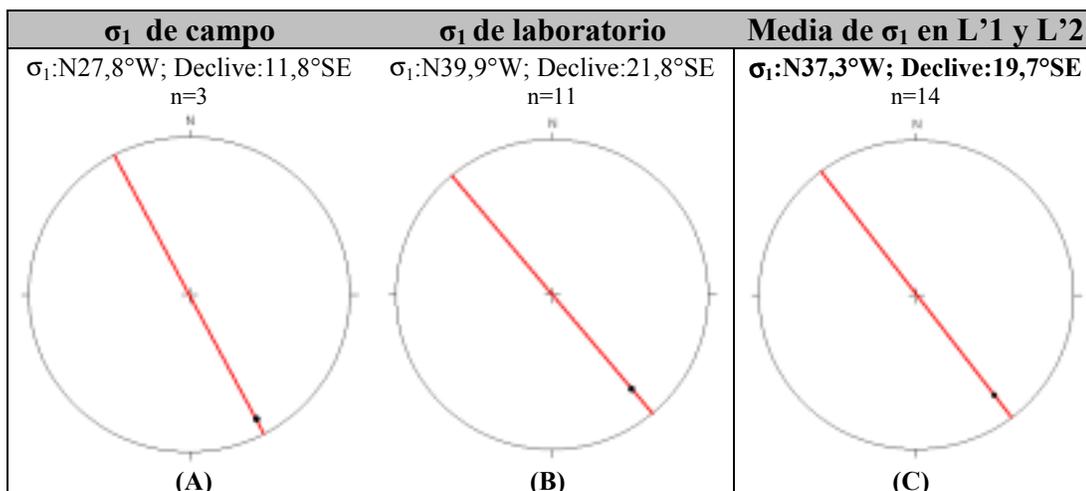


Figura 4.82. Presenta fotografía y croquis de la estación de trabajo L'1 en la quebrada Cariaco.



**Figura 4.83.** Fotografía y croquis de la estación de trabajo L'2 en la quebrada Cariaco. Puede observarse un pliegue abierto con el plano axial subhorizontal.



**Figura 4.84.** Estereografías de la estación de trabajo L'1 y L'2, cuenca de la Qda. Cariaco. (A):  $\sigma_1$  de campo. (B):  $\sigma_1$  de laboratorio. (C): Media aritmética entre  $\sigma_1$  de campo y  $\sigma_1$  de laboratorio.

### Discusión

Los resultados de campo y laboratorio obtenidos en la cuenca del río Cariaco indican un vector compresivo ( $\sigma_1$ ) en una dirección NNO-SSE (variable entre N23°-55°W), revelando una cizalla de tipo dextral cuya orientación está cercana a una zona E-O.

### Fracturas y fallas

Se levantaron tres fallas principales, dos de ellas orientadas en la dirección de NNE-SSO, las cuales buzaban hacia el norte, y poseen estrías subhorizontales con declives hacia el norte y hacia el sur, lo que indica que se tienen dos fallas transcurrentes dextrales, una inversa y otra normal. Por otro lado se evidencia una falla normal orientada en la dirección NNO-SSE y buzante norte.

### Pliegues

Se levantó un pliegue con una dirección general de plano axial hacia NNE-SSO, de buzamiento subhorizontal hacia el norte, y una inmersión del eje en 26° hacia el noreste.

### Diaclasas

Se observaron tres familias de diaclasas en las tres direcciones generales de los patrones de fracturas encontrados en la zona, NNO-SSE, NNE-SSO, y E-O; la

primera dirección citada posee un buzamiento hacia el sur y la mayor frecuencia (1:3), las demás se inclinan hacia el norte, todas son subverticales (véase anexo 8.2).

### Laboratorio

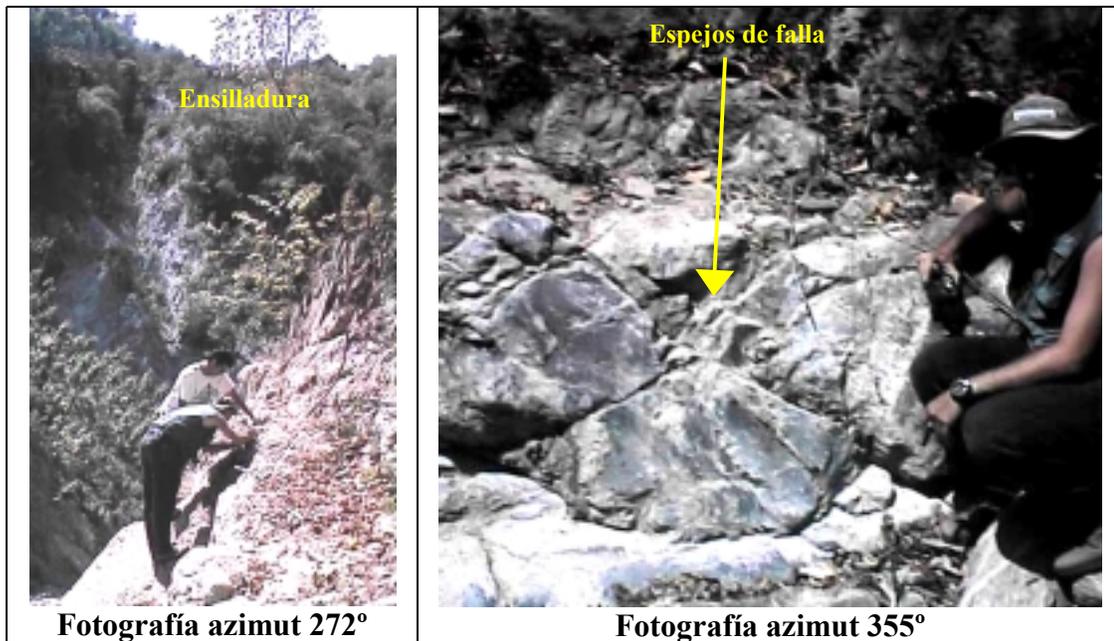
En los datos de laboratorio (véase anexo 8.3) se observó un vector compresivo ( $\sigma_1$ ) en la misma dirección general NNO-SSE ( $N23^{\circ}-55^{\circ}W$ ), con un declive o inmersión subhorizontal hacia el sureste.

#### 4.4.14. Cuenca de la Qda Guanape

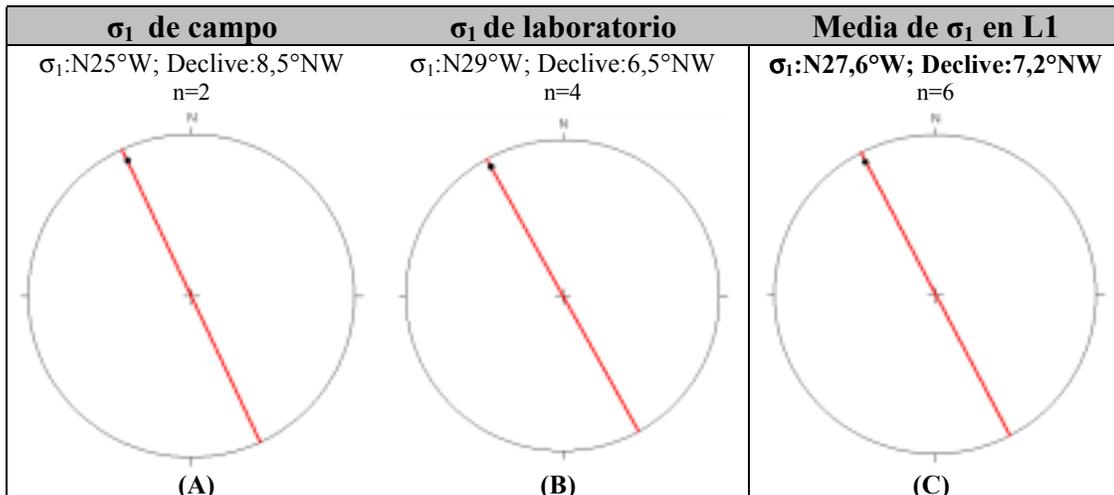
Cuenca	Estación	Unidad	Proyección	Coordenadas		Cota	Mapa
				N	E		
Guanape	L1	ASJ	UTM	1.171.910	727.740	225 m	C-43



**Figura 4.85.** Fotografía de la estación de trabajo L1 en la quebrada Guanape. Puede observarse un espejo de falla en una litología de augengneis.



**Figura 4.86.** Fotografía longitudinal y en detalle del espejo de falla en la estación de trabajo L1 de la quebrada Guanape.



**Figura 4.87.** Estereografías de la estación de trabajo L1, cuenca de la Qda. Guanape. (A):  $\sigma_1$  de campo. (B):  $\sigma_1$  de laboratorio. (C): Media aritmética entre  $\sigma_1$  de campo y  $\sigma_1$  de laboratorio.

### Discusión

Los resultados de campo y laboratorio obtenidos en la cuenca del río Guanape indican un vector compresivo ( $\sigma_1$ ) en una dirección NNO-SSE con muy poca variación, revelando una cizalla de tipo dextral cuya orientación está cercana a una zona E-O.

### Fracturas y fallas

Se observaron dos fallas de carácter dextral, orientadas en la dirección NNE-SSO (con buzamiento vertical), y en la E-O (buzando al sur); esta última presenta una estría subhorizontal que se inclina hacia el sureste, véase Fig. 4.86.

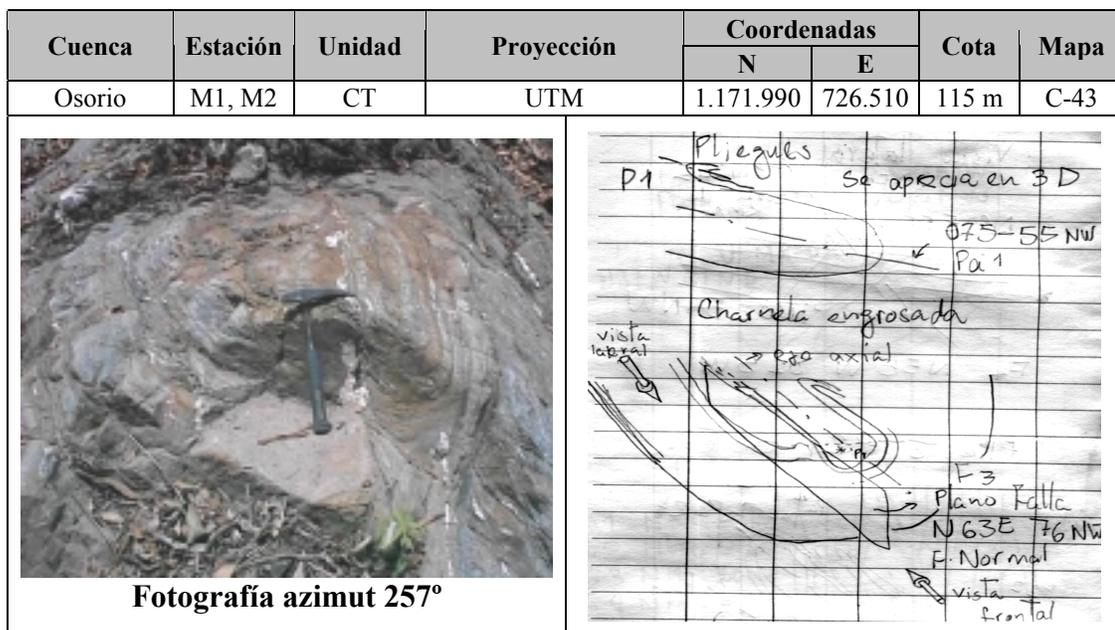
### Diaclasas

Se observaron dos familias de diaclasas en el esquisto de San Julián, orientadas en una dirección general NNO-SSE, las cuales presentan gran frecuencia (véase anexo 8.2).

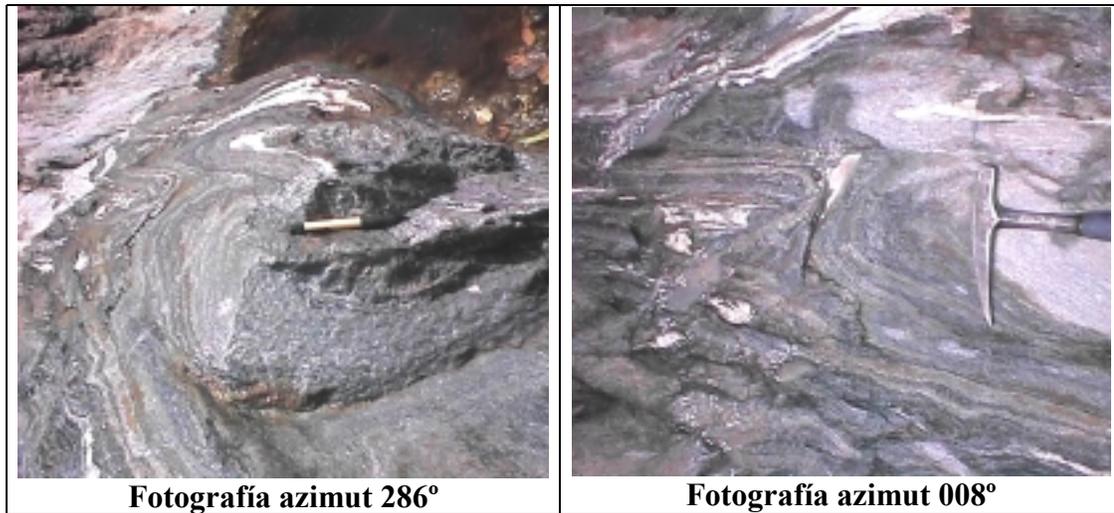
### Laboratorio

En los datos de laboratorio (véase anexo 8.3) se observó un vector compresivo ( $\sigma_1$ ) en la misma dirección general NNO-SSE, con un declive o inmersión subhorizontal ( $32^\circ$  SE).

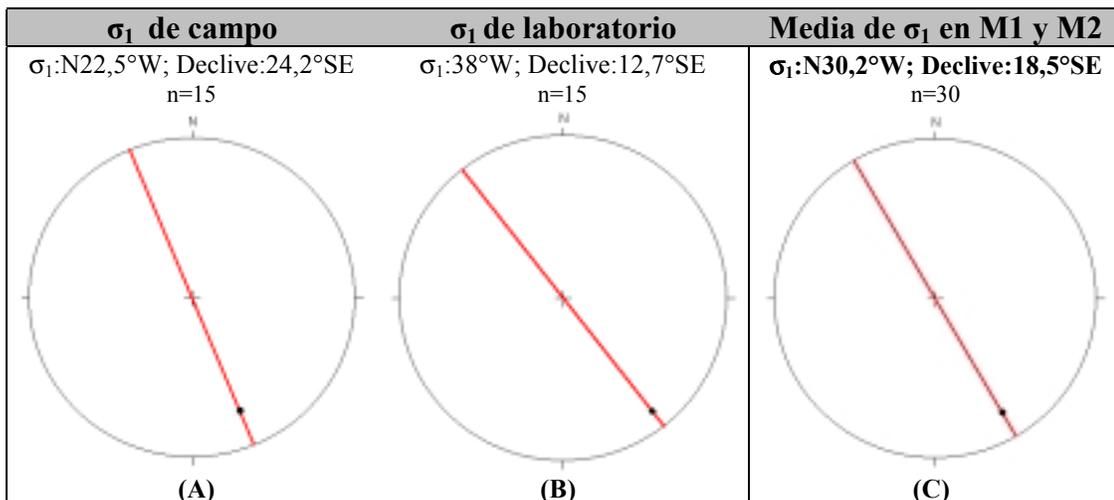
#### 4.4.15. Cuenca de la Qda Osorio



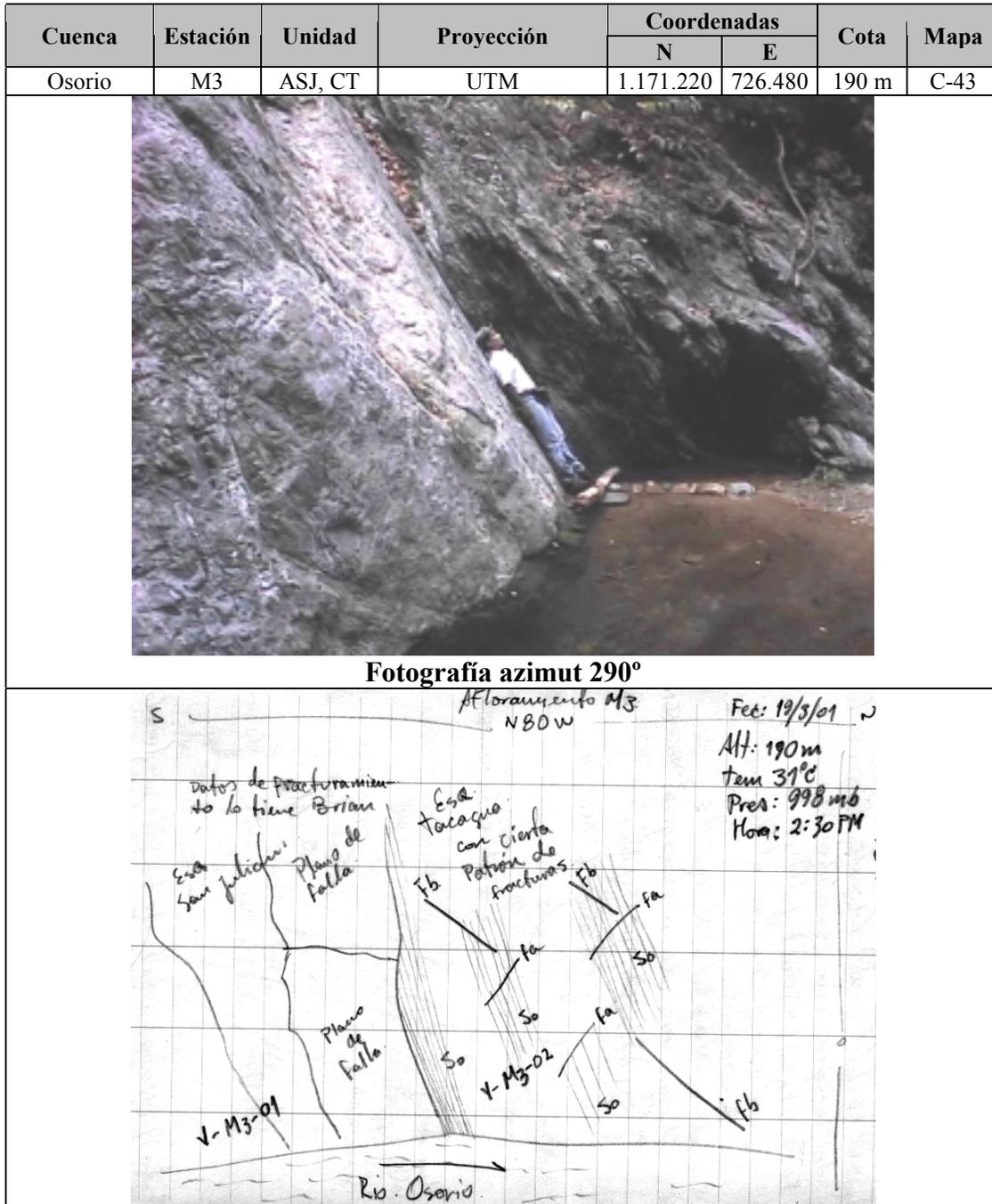
**Figura 4.88.** Fotografía y croquis de las estaciones M1 y M2 en la quebrada Osorio. Puede observarse un pliegue sinforme y una falla.



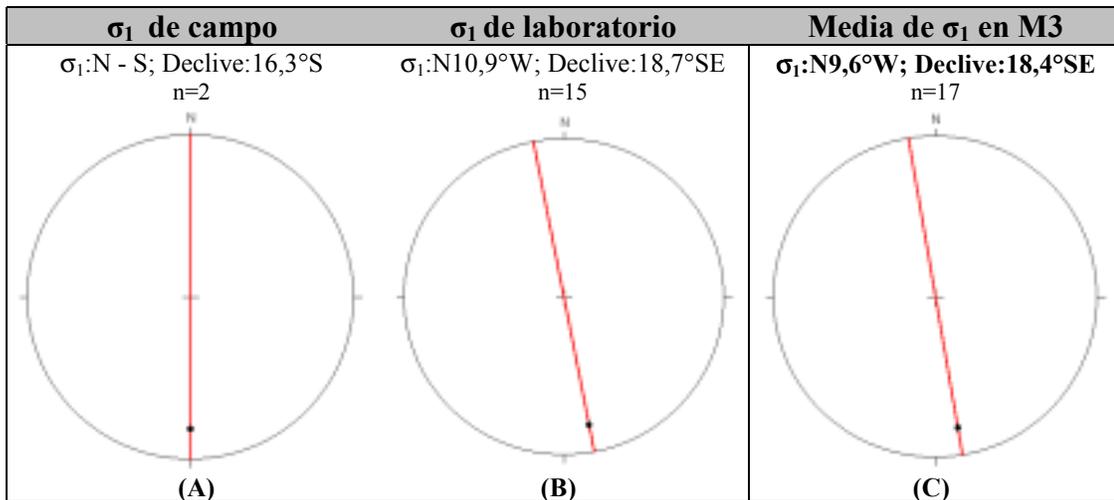
**Figura 4.89.** Fotografías que muestran detalles en las estaciones M1 y M2 de la quebrada Osorio. Ambas presentan pliegues de escala decimétrica, los cuales han sido afectados por una fase de deformación discontinua, encontrándose fallados dextralmente.



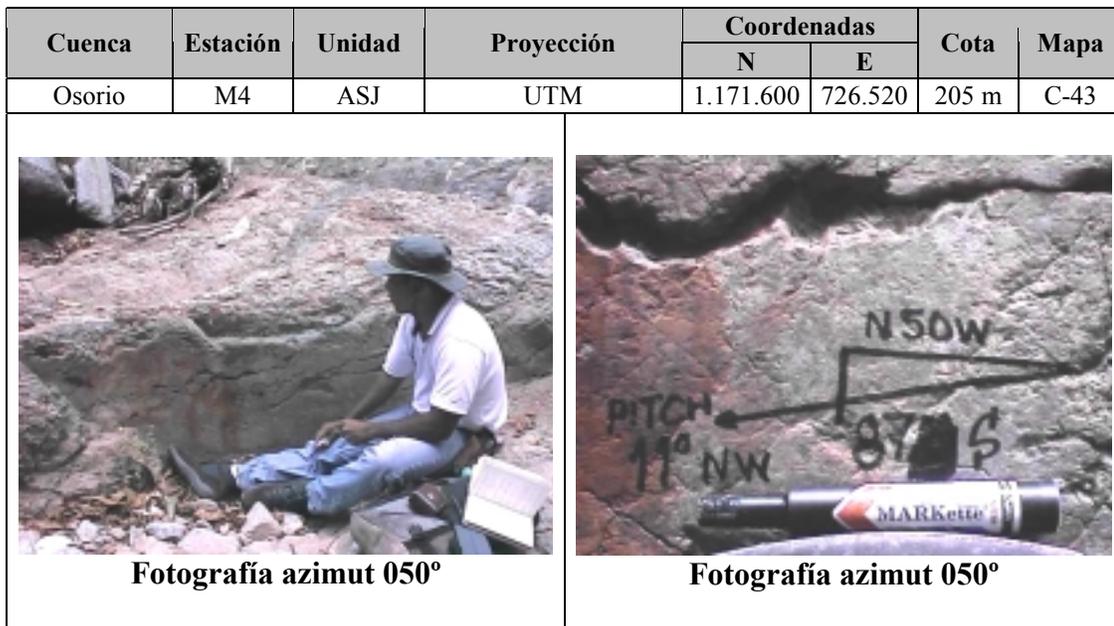
**Figura 4.90.** Estereografías de la estación de trabajo M1 y M2, cuenca de la Qda. Osorio. (A):  $\sigma_1$  de campo. (B):  $\sigma_1$  de laboratorio. (C): Media aritmética entre  $\sigma_1$  de campo y  $\sigma_1$  de laboratorio.



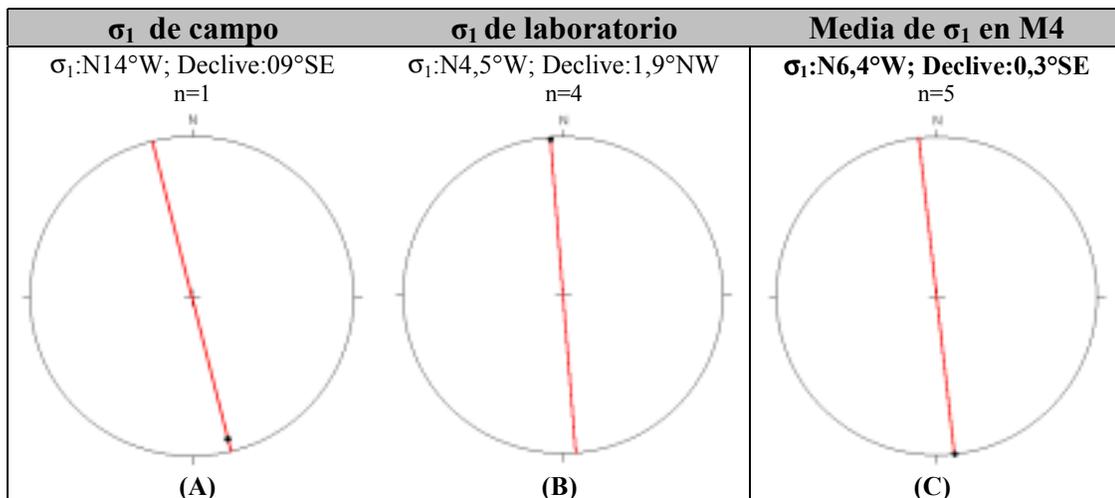
**Figura 4.91.** Fotografía y croquis de la estación M3 en la quebrada Osorio. Puede observarse un gran plano de falla paralelo al rumbo de la foto donde se encuentra un contacto litológico entre las asociaciones La Costa (a la derecha) y Ávila (a la izquierda).



**Figura 4.92.** Estereografías de la estación de trabajo M3, cuenca de la Qda. Osorio. (A):  $\sigma_1$  de campo. (B):  $\sigma_1$  de laboratorio. (C): Media aritmética entre  $\sigma_1$  de campo y  $\sigma_1$  de laboratorio.



**Figura 4.93.** Fotografías de la estación de trabajo M4 en la quebrada Osorio. Puede observarse un espejo de falla donde se interpreta una estría.



**Figura 4.94.** Estereografías de la estación de trabajo M4, cuenca de la Qda. Osorio. (A):  $\sigma_1$  de campo. (B):  $\sigma_1$  de laboratorio. (C): Media aritmética entre  $\sigma_1$  de campo y  $\sigma_1$  de laboratorio.

### Discusión

Los resultados de campo y laboratorio obtenidos en la cuenca del río Osorio indican un vector compresivo ( $\sigma_1$ ) en una dirección NNO-SSE (el cual se hace variable entre N2°-24°W).

### Fracturas y fallas

Se observó una familia de fallas, orientada en la dirección NNO-SSE, con buzamientos subverticales que varían de norte a sur y con estrías subhorizontales inclinadas hacia el noroeste, véase Fig. 4.93. Por otro lado se observó una serie de fracturas en una zona con dirección NNE-SSO con buzamientos subverticales variables.

### Pliegues

Se observó una familia de pliegues que indican una dirección general de planos axiales NNE-SSO (N55°-80°W), donde el buzamiento es generalmente subvertical hacia el norte. Las inmersiones de los ejes son casi horizontales, con un máximo de 2° hacia el suroeste en una de las estructuras medidas, véase Fig. 4.89.

### Diaclasas

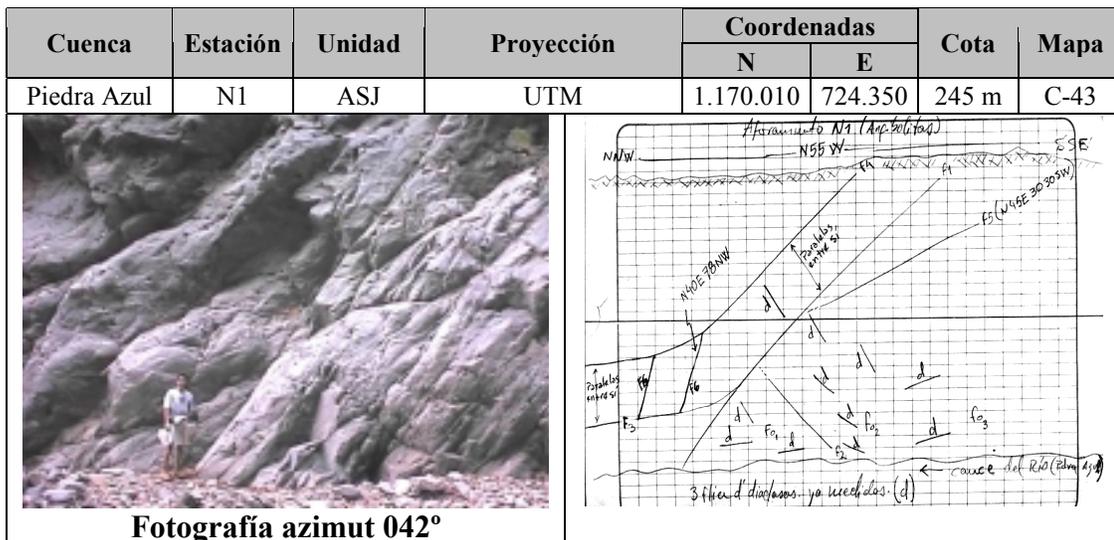
Se observaron tres familias de diaclasas en las tres direcciones generales de los patrones de fracturas encontrados en la zona, NNO-SSE, NNE-SSO, y E-O; los buzamientos varían entre las distintas estaciones, pero son generalmente subverticales

hacia el sur, la frecuencia varía con la litología, teniendo el mayor valor en los esquistos de San Julián (1:10) (véase anexo 8.2).

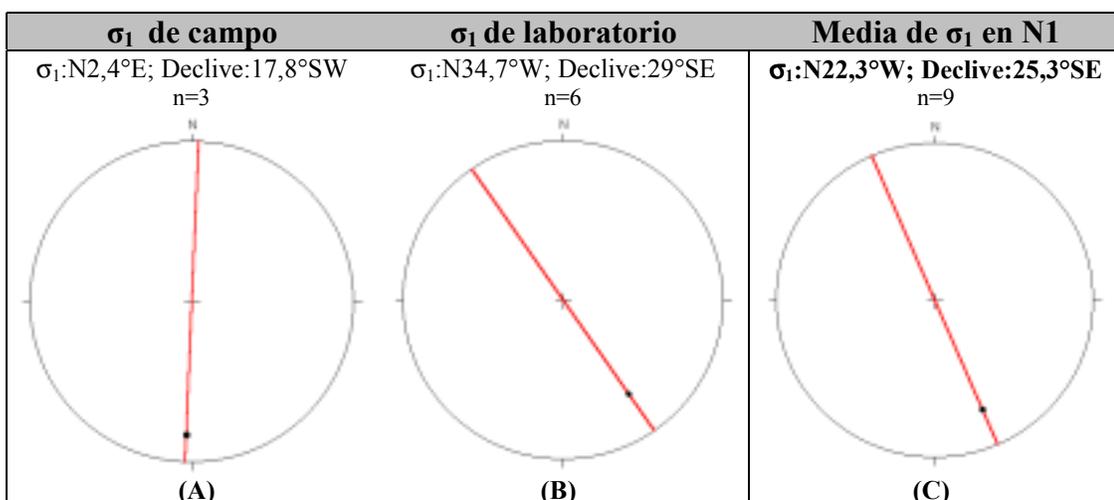
### Laboratorio

En el laboratorio (véase anexo 8.3) se observó un vector compresivo ( $\sigma_1$ ) en una dirección NNO-SSE, pero muy cercana a la dirección N-S a excepción de un dato, la inmersión de este vector se presentó generalmente subhorizontal.

#### 4.4.16. Cuenca de la Qda Piedra Azul



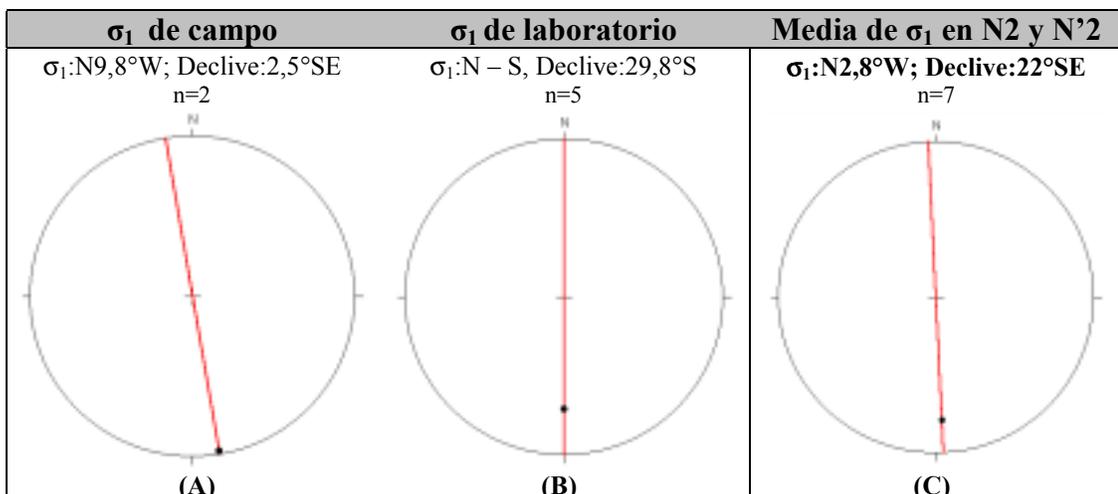
**Figura 4.95.** Fotografía y croquis de la estación de trabajo N1 en la quebrada Piedra Azul. Puede observarse los patrones subverticales de fracturas.



**Figura 4.96.** Estereografías de la estación de trabajo N1, cuenca de la Qda. Piedra Azul. (A):  $\sigma_1$  de campo. (B):  $\sigma_1$  de laboratorio. (C): Media aritmética entre  $\sigma_1$  de campo y  $\sigma_1$  de laboratorio.

Cuenca	Estación	Unidad	Proyección	Coordenadas		Cota	Mapa
				N	E		
Piedra Azul	N2	ASJ, CT	UTM	1.170.470	723.800	275 m	C-42
							
<b>Fotografía azimuth 333°</b>							

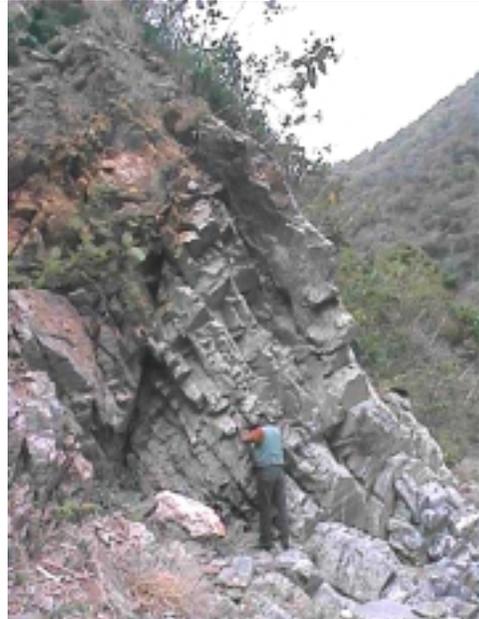
**Figura 4.97.** Fotografía de la estación N2 en la quebrada Piedra Azul. Puede observarse dos distintos patrones de fracturas subparalelas al rumbo de la fotografía.



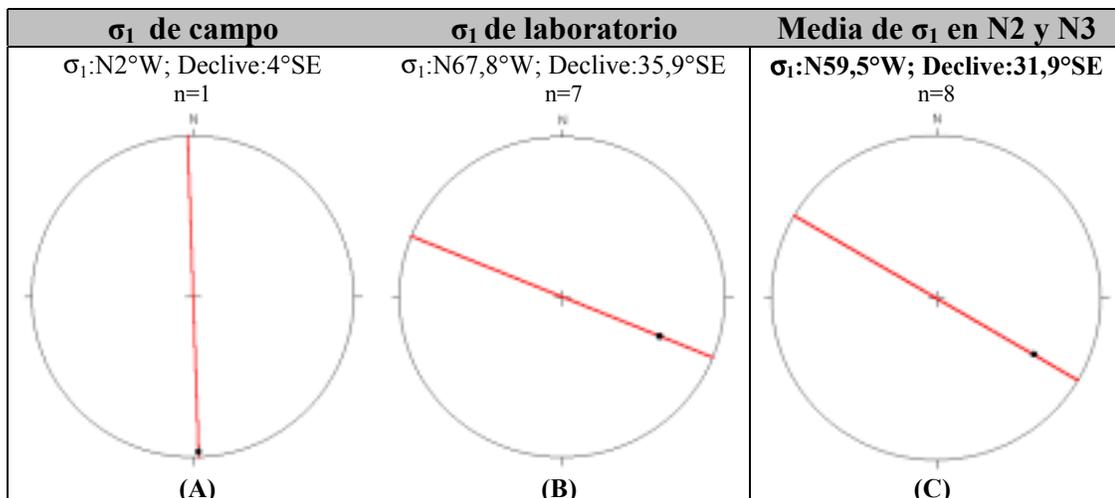
**Figura 4.98.** Estereografías de la estación de trabajo N2 y N'2, cuenca de la Qda. Piedra Azul. (A):  $\sigma_1$  de campo. (B):  $\sigma_1$  de laboratorio. (C): Media aritmética entre  $\sigma_1$  de campo y  $\sigma_1$  de laboratorio.

Cuenca	Estación	Unidad	Proyección	Coordenadas		Cota	Mapa
				N	E		
Piedra Azul	N3	APM	UTM	1.170.470	723.820	190 m	C-42
Piedra Azul	N4	APM	UTM	1.170.470	723.830	185 m	C-42

 <p><b>Fotografía azimuth 320°</b></p>	 <p><b>Fotografía azimuth 360°</b></p>
--	---

**Figura 4.99.** Fotografías de la estaciones N3 y N4 en la quebrada Piedra Azul respectivamente. Pueden observarse una gran falla subvertical y un contacto litológico.



**Figura 4.100.** Estereografías de la estación de trabajo N3 y N4, cuenca de la Qda. Piedra Azul. (A):  $\sigma_1$  de campo. (B):  $\sigma_1$  de laboratorio. (C): Media aritmética entre  $\sigma_1$  de campo y  $\sigma_1$  de laboratorio.

## **Discusión**

Los resultados de campo y laboratorio obtenidos en la cuenca del río Piedra Azul indican un vector compresivo ( $\sigma_1$ ) en una dirección NNO-SSE, sin embargo existen varios datos que generan una dirección del vector NNE-SSO muy cercana a la N-S.

### **Fracturas y fallas**

Se observaron dos familias de fracturas y una falla, las fracturas orientadas en las direcciones NNO-SSE y NNE-SSO, con buzamientos variables para cada estación de trabajo, pero haciéndose subverticales hacia la zona de falla de Macuto, véase Fig. 4.95.

### **Diaclasas**

Se pudo determinar tres familias de diaclasas en las direcciones NNO-SSE (cercana a N-S), NNE-SSO, y E-O; los buzamientos varían entre las distintas estaciones, pero son generalmente subverticales. Se encontró como la mayor frecuencia (1:3), la cual varía con la litología, teniendo el mayor valor en gneises y augengneises (véase anexo 8.2).

### **Laboratorio**

En los datos de laboratorio (véase anexo 8.3) se observó un vector compresivo ( $\sigma_1$ ) en la misma dirección general NNO-SSE, con una excepción NNE-SSO pero muy cercana a la N-S. El declive es subhorizontal variable entre (23°-25° SE).

## 5 DISCUSIONES GENERALES

### 5.1

#### 5.2 Discusión por litologías

En este capítulo se realiza un análisis de los resultados agrupados para cada unidad litodémica con el fin de establecer un patrón de las mismas. Por otra parte, se analizan también los resultados generales de todo el estudio, los cuales revelan una dirección de vector compresivo  $\sigma_1$  para toda la región.

##### 5.2.1. Asociación Metamórfica La Costa

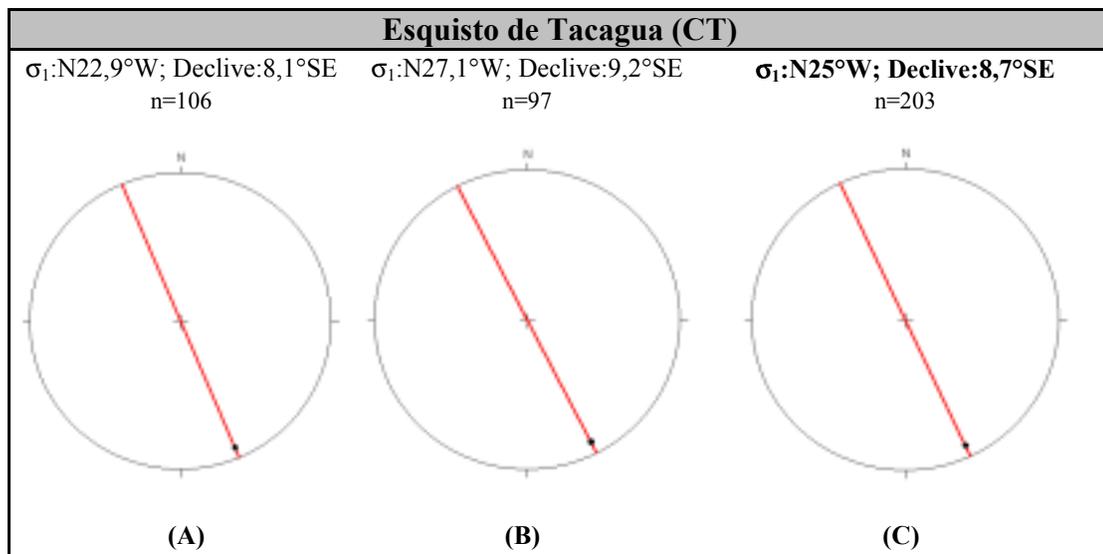
##### Esquisto de Tacagua

**Tabla 5.1.** Esfuerzos compresivos de campo, obtenidos de los datos  $\sigma_1$  parciales en las estaciones de trabajo concernientes al Esquisto de Tacagua.

Estación de trabajo		Esfuerzo compresivo $\sigma_1$	
Cuenca	Código	Rumbo	Declive
Care	A1	N32,5°W	41,6° SE
Masare	B1	N24,0°W	12,6° SE
Miguelena	B2-3	N29,8°W	6,1° SE
Naiguatá	C1	N7,7°W	24,9° SE
Tanaguarena	E1	N88,0°W	23,8° NW
Qda Seca	G2	N2,6°W	23,3° NW
Camurí Chico	I3	N32,4°E	6,0° SW
Galipán	K1	N27,0°W	0,5° SE
Cariaco	L'1	N27,8°W	11,8° SE
Osorio	M1 y M2	N22,5°W	24,2° SE
<b>Media</b>		<b>N22,9°W</b>	<b>8,1° SE</b>

**Tabla 5.2.** Esfuerzo compresivo de laboratorio, agrupando las medias de  $\sigma_1$  de cada sección fina correspondiente al Esquisto de Tacagua.

Sección fina		Esfuerzo compresivo $\sigma_1$	
Cuenca	Código	Rumbo	Declive
Care	V-A1-02	N40,6°W	5,8° SE
Masare	V-B1-02	N34,2°W	15° SE
	V-B1-03	N20,1°W	15,9° SE
Miguelena	V-B23-01	N57,5°W	30° SE
Naiguatá	V-C1-01	N3,6°W	9° NW
	V-C1-02	N33,4°W	1,5° NW
Uria	V-D3-01	N5,4°W	12,4° SE
Tanaguarena	V-E1-01	N37,3°W	24° SE
	V-E1-02	N50,5°W	27° NW
Camurí Chico	V-I2-02	N17,5°W	13,2° SE
	V-I3-01	N5,6°W	48,8° NW
Cariaco	V-L'1-01	N37,1°W	18,5° SE
	V-L'2-01	N55,6°W	13,9° SE
Osorio	V-M3-02	N10,5°W	23,9° SE
	V-M2-01	N8°W	10,1° SE
	V-M2-02	N51,6°W	16,5° SE
<b>Media</b>		<b>N27,1°W</b>	<b>9,2° SE</b>



**Figura 5.1.** Estereografías del Esquisto de Tacagua (CT). (A): Media de los esfuerzos compresivos de campo. (B): Media de los esfuerzos compresivos de laboratorio. (C): Media aritmética entre los esfuerzos compresivos de campo y laboratorio.

### Discusión

Esta unidad litodémica presenta en su mayoría estructuras de deformación dúctil, tal como se aprecia en las fotografías expuestas en el capítulo 4; también se encuentran estructuras correspondientes a deformación frágil, la mayoría de las cuales surgen como resultado de la última fase de deformación. Los datos presentados corresponden a un dominio de deformación frágil, correspondiente a la última fase de deformación, en estructuras de deformación cuyas fases han sido dúctiles en su entorno de formación.

Los vectores de compresión obtenidos tanto en el trabajo de campo como en el de laboratorio son muy similares, indicando que corresponden con la misma fase de deformación, evidenciada actualmente, cuyo origen (a gran escala) es el proceso de movimiento de la placa Caribe hacia el este con una componente transpresiva hacia la placa Suramericana.

Como se observó anteriormente, esta unidad litodémica presenta estructuras que han surgido como resultado de fases de deformación dúctil anteriores a la fase más reciente de deformación; pudiendo, a través del estudio de las distintas generaciones de pliegues, obtener por lo menos tres fases de deformación (véase Fig. 4.57), las cuales se identifican como: una primera fase para la formación de la foliación ( $S_1$ ), una segunda fase para la formación de una primera generación de pliegues ( $S_2$ ), y una tercera fase para la formación de una segunda generación de pliegues ( $S_3$ ).

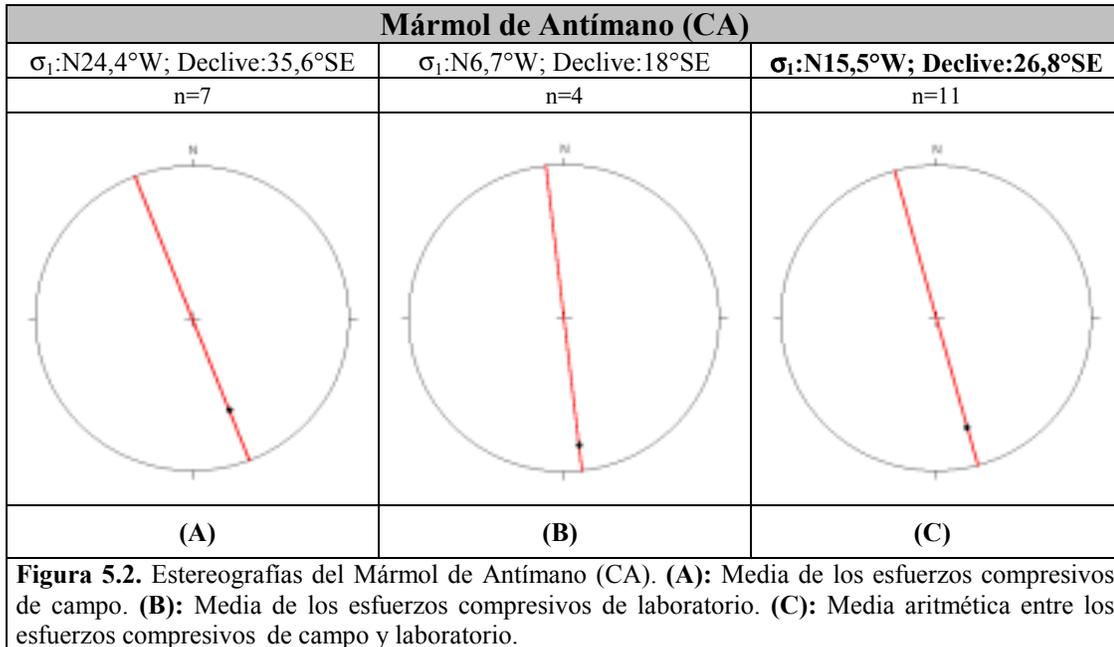
### Mármol de Antímamo

**Tabla 5.3.** Esfuerzo compresivo de campo, obtenido del dato  $\sigma_1$  parcial de la estación de trabajo concerniente al Mármol de Antímamo.

Estación de trabajo		Esfuerzo compresivo $\sigma_1$	
Cuenca	Código	Rumbo	Declive
Miguelena	B22	N24,4°W	35,6° SE
<b>Media</b>		<b>N24,4°W</b>	<b>35,6° SE</b>

**Tabla 5.4.** Esfuerzo compresivo de laboratorio, obtenido de la media de  $\sigma_1$  en la sección fina correspondiente al Mármol de Antímamo.

Sección Fina		Esfuerzo compresivo $\sigma_1$	
Cuenca	Código	Rumbo	Declive
Miguelena	V-B22-3	N6,7°W	18,0° SE
<b>Media</b>		<b>N6,7°W</b>	<b>18,0° SE</b>



### Discusión

No fueron desarrolladas suficientes mediciones microtectónicas de esta unidad litodémica debido a que se presenta poca cantidad de afloramientos expuestos en el área de trabajo, sin embargo se pudo tomar algunas de estas medidas en distintos pliegues y fracturas de un afloramiento de la cuenca del río Miguelena (ver figura 4.28 de la Geología estructural local), estos datos coinciden con los resultados generales del vector compresivo  $\sigma_1$ , los cuales se ubican en la dirección NNO-SSE, con un declive subhorizontal hacia el SE. Es importante destacar que las mediciones de laboratorio arrojaron un vector más cercano a la dirección N-S, con un declive también más cercano a la horizontal.

Los resultados obtenidos en el trabajo de campo presentan una característica particular (ver Anexo 8.2), tanto los patrones de fracturas obtenidos como los planos

axiales de las familias de pliegues están orientados en una zona de dirección ONO-ESE cercana a la E-O, lo que puede indicar un vector distinto del general en la zona correspondiente a una etapa de deformación distinta, o un reacomodo del esfuerzo en la zona debido a otros factores.

### 5.2.2. Asociación Metamórfica Ávila

#### Complejo San Julián

**Tabla 5.5.** Esfuerzo compresivo de campo, obtenido de los datos  $\sigma_1$  parciales de las estaciones de trabajo concernientes al Complejo San Julián.

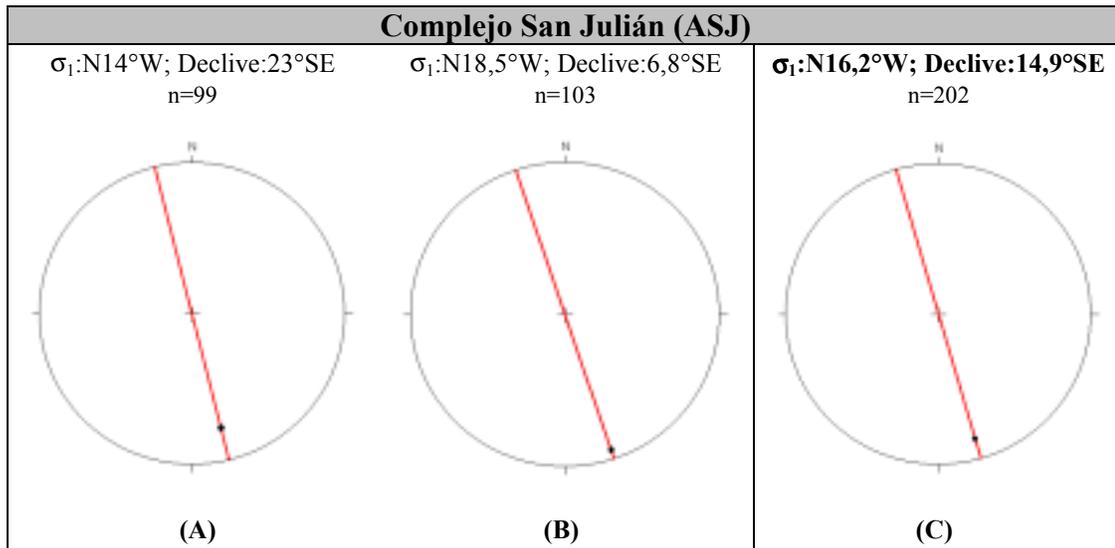
Estación de trabajo		Esfuerzo compresivo $\sigma_1$	
Cuenca	Código	Rumbo	Declive
Miguelena	B2-1	N27,3°W	23,8° SE
Naiguatá	C2	N22,5°W	54° SE
Uria	D1 y D2	N32,5°W	59,6° SE
Cero Grande	F1, F2 y F3	N7,7°W	24° SE
Qda. Seca	G1 y G3	N12,6°W	30,6° SE
San Julián	H1 y H2	N12,6°W	23,6° SE
Camurí Chico	I1	N13°E	5,6° NE
El Cojo	J3	N22,5°W	17,9° SE
Guanape	L1	N25°W	8,5° NW
Osorio	M3 y M4	N2,3°W	16,3° SE
Piedra Azul	N1, N'2 y N2	N2,4°W	17,8° SE
<b>Media</b>		<b>N14°W</b>	<b>23° SE</b>

**Tabla 5.6.** Esfuerzo compresivo de laboratorio, agrupando las medias de  $\sigma_1$  de cada sección fina correspondientes al Complejo San Julián.

Sección fina		Esfuerzo compresivo $\sigma_1$	
Cuenca	Código	Rumbo	Declive
Masare	V-B21-01	N34,7°W	1,3° NW
Miguelena	V-B22-01	N26°W	24,3° SE
	V-B22-02	N33,6°W	24,4° SE
Naiguatá	V-C2-01	N4°W	20,1° SE
	V-C2-02	N6,8°W	21,6° SE
	V-C2-03	N30,3°W	7,9° NW

**Tabla 5.6.** Continuación...

Sección fina		Esfuerzo compresivo $\sigma_1$	
	V-C2-04	N13,3°W	31,2° SE
Uria	V-D2-02	N15,6°E	28,2° NE
Cerro Grande	V-F1-01	N55,8°W	0,3° NW
Qda Seca	V-G1-01	N6,8°W	34,8° SE
	V-G3-01	N23,4°W	1,7° SE
San Julián	V-H1-01	N1,5°W	8,5° NW
	V-H2-01	N29°W	2,2° NW
	V-H2-02	N14,4°W	20,5° SE
Camurí Chico	V-I1-01	N11,4°E	6° NE
El Cojo	V-J3-01	N53,6°W	22,2° NW
Cariaco	V-L'1-01	N24,6°W	3,1° NW
Osorio	V-M4-01	N4,5°W	1,9° NW
	V-M3-01	N12,6°W	7,1° SE
Piedra Azul	V-N2-01	N-S	29,8° SE
	V-N1-01	N34,7°W	29° SE
<b>Media</b>		<b>N18,5°W</b>	<b>6,8° SE</b>



**Figura 4.20.** Estereografías del Complejo San Julián (ASJ). (A): Media de los esfuerzos compresivos de campo. (B): Media de los esfuerzos compresivos de laboratorio. (C): Media aritmética entre los esfuerzos compresivos de campo y laboratorio.

### Discusión

Los resultados obtenidos en esta unidad litodémica (véase tabla 5.5) indican que ha sido más influenciada por la última fase de deformación de tipo elástico-frágil (véase relación esfuerzo-deformación en Anexo 8.1), que las demás unidades, puesto que se observaron gran número de fallas y fracturas; sin embargo, también se observaron pliegues cerrados a isoclinales en las direcciones generales de los planos axiales que están presentes en la unidad litodémica Esquisto de Tacagua de la Asociación La Costa (NNE-SSO y E-O) con la diferencia que se encontró una nueva familia de pliegues poco común, con una dirección general de planos axiales en NNO-SSE, indicando un vector compresivo de distinta dirección.

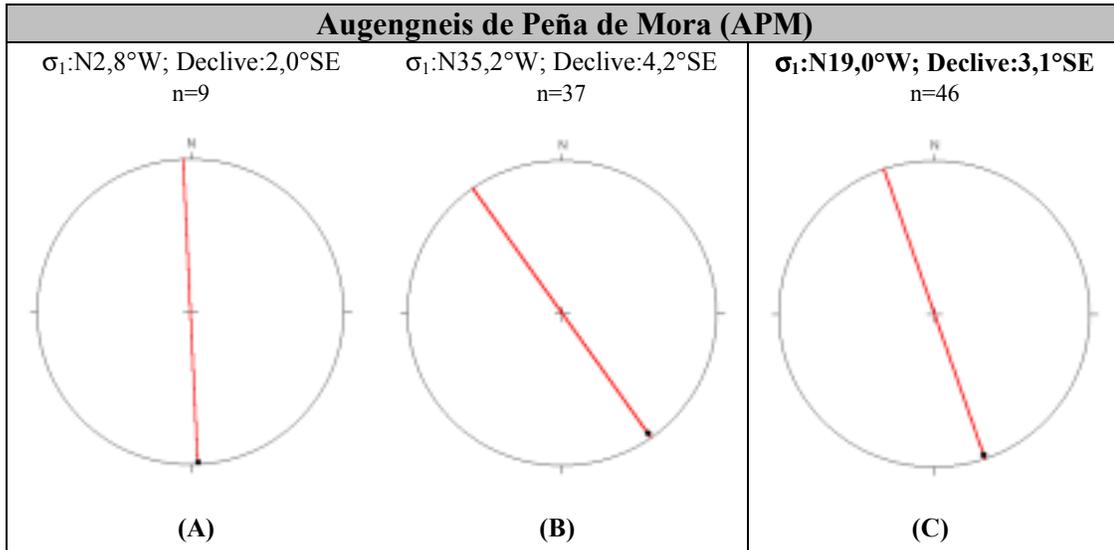
### Augengneis de Peña de Mora

**Tabla 5.7.** Esfuerzo compresivo de campo, obtenido de los datos  $\sigma_1$  parciales de las estaciones de trabajo concerniente al Augengneis de Peña de Mora.

Estación de trabajo		Esfuerzo compresivo $\sigma_1$	
Cuenca	Código	Rumbo	Declive
El Cojo Piedra Azul	J1 y J2	N2,2°W	11,3° SE
	N4 y N5	N3,4°W	7,4° NW
<b>Media</b>		<b>N2,8°W</b>	<b>2° SE</b>

**Tabla 5.8.** Esfuerzo compresivo de laboratorio, agrupando las medias de  $\sigma_1$  de cada sección fina correspondiente al Augengneis de Peña de Mora.

Sección fina		Esfuerzo compresivo $\sigma_1$	
Cuenca	Código	Rumbo	Declive
Uria	V-D1-01	N13°W	4,6° NW
San Julián	V-H0-1	N36°W	8,2° NW
Camurí Chico	V-I2-01	N23,1°W	3,8° SE
El Cojo	V-J1-01	N41,1°W	10,0° SE
	V-J2-01	N14°W	14,0° SE
Galipán	V-K1-01	N47,6°W	15,6° NW
Piedra Azul	V-N4-01	N67,8°W	35,9° SE
<b>Media</b>		<b>N35,2°W</b>	<b>4,2° SE</b>



**Figura 4.21.** Estereografías del Augengneis de Peña de Mora (APM). **(A):** Media de los esfuerzos compresivos de campo. **(B):** Media de los esfuerzos compresivos de laboratorio. **(C):** Media entre los esfuerzos compresivos de campo y laboratorio. Esfuerzo compresivo sobre el APM.

### Discusión

En esta unidad litodémica se observaron fallas y fracturas en las tres direcciones generales descritas para toda la zona de estudio; entre estas estructuras pudo observarse un plano de falla transcurrente siniestral-normal, con estrías subhorizontales de dirección N83°W en la cuenca de El Cojo.

Aunque se observaron pliegues, estos han sido muy escasos y difieren completamente de los anteriores, puesto que son de carácter moderado (180° a 120°), véase Fig. 4.75, y 8.25 para la clasificación del pliegue por su abertura.

Los resultados obtenidos del vector ( $\sigma_1$ ) de compresión en la etapa de campo difieren del vector  $\sigma_1$  obtenido en laboratorio, observándose que en el primero, la dirección está muy cercana a la N-S (N2,8°W), con un declive que se mantiene subhorizontal hacia el SE; por el contrario, los resultados de laboratorio corresponden con las medidas del vector en la zona de estudio (NNO-SSE).

### 5.3 Discusión general

Los resultados obtenidos de campo y de laboratorio han generado un vector compresivo general de  $\sigma_1$ : N21, 6° W; Declive: 16° SE, esto indica que la dirección del esfuerzo mayor, o esfuerzo compresivo es de NNO-SSE, con un declive hacia el sureste. Los datos en cuestión han sido recopilados de rocas pertenecientes a dominio frágil que presentan deformación tanto dúctil como frágil en condiciones tectónicas de origen diverso; evidenciándose estructuras de deformación correspondiente a la última fase de deformación.

Como indican AUDEMARD & AUDEMARD (2001), este esfuerzo puede subdividirse en campos de esfuerzo específicos por zonas: “partición de esfuerzos” (*strain partitioning*), los cuales, aún siendo similares, provienen de estructuras distintas y escalas distintas. Partiendo de dos escalas distintas de trabajo, se indica que el esfuerzo puede cumplir con esta regla de partición cuando está relacionado a estructuras y fuerzas dominantes en una escala mayor a la del trabajo. Se debe aclarar que no fueron calculadas las componentes de los vectores relacionados con  $\sigma_1$ . En este sentido se separaron y seleccionaron vectores de esfuerzo compresivo por estudios microscópicos (escala microscópica), por estaciones de trabajo (escala centimétrica a métrica, o escala de campo), por litología; y por último, un esfuerzo general de la zona (escala kilométrica). Con esto se intentó comparar el esfuerzo en las distintas escalas y en las distintas litologías, para dar una idea de la partición de los esfuerzos y la dirección regional de compresión, así como su relación con las estructuras de campo y las rocas afectadas; en este sentido, los resultados indican que se puede separar los esfuerzos por litología. Es importante aclarar que el esfuerzo está asociado a la última etapa de deformación presente en la zona de estudio, la cual se relaciona a su vez con una compresión transpresiva de la placa Caribe Vs. placa Suramericana, debido al movimiento relativo entre estas, como ha sido señalado en los modelos geodinámicos propuestos para el Caribe.

Se determinó además la ubicación espacial de las estructuras de campo y los vectores compresivos asociados a las mismas en un mapa adjuntado en el apéndice A.

#### 5.3.1. Discusión de fracturas y las fallas

El patrón general de las fracturas cumple con tres zonas en direcciones específicas, una NNO-SSE, una NNE-SSO, y una E-O, las fallas cumplen también con estas

direcciones, siendo la mayoría de estas de carácter dextral, con algunas fallas sinestrales orientadas generalmente en la dirección NNO-SSE (como la levantada en Quebrada Seca); en algunas de estas fallas se han podido medir estrías de falla, obteniéndose valores mayormente subhorizontales ( $5^{\circ}$ - $35^{\circ}$ S) por lo que se han denominado como fallas generalmente de tipo transcurrentes dextrales normales (véase Fig. 8.12 y 8.13 en el anexo 8.1), con algunas excepciones mayores a esta inclinación o con otra dirección, las cuales pueden indicar una fase de deformación distinta, que se denominarían como fallas transcurrentes normales dextrales, como por ejemplo las estrías determinadas en las cuencas de Miguelena y Cerro Grande (véase anexo 8.2). Es importante aclarar que el patrón de estrías subverticales obtenidas en el trabajo de campo pertenecen a una fase de deformación que precede a la última, en donde la inclinación del plano de falla donde fueron obtenidas estas estrías puede no coincidir con la inclinación del plano en donde se originaron.

En este sentido se puede decir que este patrón de estructuras cumple con el modelo de WILCOX *et al.* (1973), puesto que el esfuerzo en la zona es considerado homogéneo, las estructuras son contemporáneas (en tiempo geológico), están orientadas en las direcciones ideales del modelo y además poseen los movimientos adecuados según su orientación en campo.

Las diaclasas obtenidas de campo cumplen con las mismas direcciones encontradas en las fallas, variando su frecuencia predominantemente con las distintas litologías y luego por las condiciones del entorno geológico de cada estación de trabajo, teniendo mayor frecuencia en las rocas con mayor dureza como gneises y esquistos cuarzo-micáceos (llegando hasta 1:7), y menor en otras rocas como esquistos epidóticos (llegando hasta 2:1).

### **5.3.2. Discusión de pliegues**

Estas estructuras se han estudiado a través de la orientación de sus planos axiales y sus ejes de inmersión, además de los tipos según varias clasificaciones, véase anexo 8.1. Marco teórico.

Los planos axiales están mayormente orientados en dos zonas de direcciones principales; una ENE-OSO de valores cercanos a la dirección este-oeste; y otra en la

dirección E-O. La inclinación de estos planos axiales es muy variable, lo cual indica que las condiciones del entorno geológico prevalecen en la orientación de los mismos. La mayoría de los pliegues son comprimidos (flancos en 30°-0°) o isoclinales (flancos en 0°), véase Fig. 8.25 en el anexo 8.1. Según el diagrama de FLEUTY (1964), estos pliegues se ubican en *buzantes* puesto que los ejes poseen declives variados entre los 10° y los 40°, y son *inclinados a recumbentes* según la pendiente de sus planos axiales, la cual varía entre 80° y 20°, con algunas excepciones, véase Fig. 8.26 en el anexo 8.1.

Según la clasificación morfológica de RAMSAY (1993), los pliegues observados en el trabajo de campo corresponden con la clase, 1C, y más frecuentemente a la clase 3; esto quiere decir que son pliegues con *deformación de charnela*, anisópacos debidos a deformación homogénea producida en pliegues ya formados de clases 1B (formado por flexión), o de la clase 2 (pliegues anisópacos producidos por cizallamiento), véase anexo 8.1, Marco teórico; y las figuras 4.22, 4.25, 4.32 de los Aspectos geológicos.

La mayoría de los pliegues encontrados (y la totalidad de los pliegues del Esquistos de Tacagua) surgen como desarrollo de un esfuerzo de compresión, un indicador es la aparición de foliación que está dispuesta en abanico (véase figura 4.48), lo cual revela una compresión o vector de compresión aproximadamente perpendicular a los planos axiales MERCIER & VERGELY (2001).

### 5.3.3. Discusión de datos de laboratorio

Para obtener los resultados del vector compresivo  $\sigma_1$  en el laboratorio se siguieron cuatro criterios principales de determinaciones de forma y propiedades ópticas utilizando el microscopio petrográfico, véase marco teórico; la mayoría de los resultados se obtuvieron a través del criterio más común el cual es el criterio de forma “M”, por el cual un grano con forma de diamante revela el vector  $\sigma_1$  por su paralelismo al eje menor. Otros criterios importantes pero menos frecuentes son el “límite de grano”, “*kink band*” y “sombras de presión” (véase Figs. 3.12, 3.13, 3.14 y 3.15).

El resultado general encontrado es un vector orientado en la dirección NNO-SSE, con un declive subhorizontal hacia el SE, esto indica que la deformación a micro-escala esta relacionada con la deformación a meso-escala y a macro-escala.

Los resultados detallados por cuenca y por litología indican que se puede relacionar el concepto de partición de esfuerzos de macro-escala, obtenido de los trabajos de AUDEMARD & AUDEMARD (2001) a escalas menores, cuidando de obtener el esfuerzo específico para la edad o fase deformación de las distintas escalas de trabajo. En este sentido, se han separado los vectores  $\sigma_1$  por cuencas, por litología, y el general para toda la zona de estudio.

Las siguientes tablas y figuras representan los resultados finales del estudio microtectónico, están presentados por litología. Al final se puede apreciar unas figuras con el resumen de todos los resultados.

**Tabla 5.9.** Esfuerzo compresivo determinado por todos los datos  $\sigma_1$  de campo.

Estación de trabajo			Esfuerzo compresivo $\sigma_1$	
Litología	Cuenca	Código	Rumbo	Declive
CT	Care	A1	N32,5°W	41,6° SE
	Masare	B1	N24°W	12,6° SE
	Miguelena	B2-3	N29,8°W	6,1° SE
	Naiguata	C1	N7,7°W	24,9° SE
	Tanaguarena	E1	N88°W	23,8° NW
	Qda Seca	G2	N2,6°W	23,3° NW
	Camurí Chico	I3	N32,4°E	6° SW
	Galipán	K1	N27°W	0,5° SE
	Cariaco	L1	N27,8°W	11,8° SE
	Osorio	M1 y M2	N22,5°W	24,2° SE
CA	Miguelena	B2-2	N24,4°W	35,6° SE

**Tabla 5.9.** Continuación...

Estación de trabajo			Esfuerzo compresivo $\sigma_1$	
ASJ	Miguelena	B2-1	N27,3°W	23,8° SE
	Naiguatá	C2	N22,5°W	54° SE
	Uria	D1 Y D2	N32,5°W	59,6° SE
	Cero Grande	F1, F2 y F3	N7,7°W	24° SE
ASJ	Qda. Seca	G1 y G3	N12,6°W	30,6° SE
	San Julián	H1 y H2	N12,6°W	23,6° SE
	Camurí Chico	I1	N13°E	5,6° NE
	El Cojo	J3	N22,5°W	17,9° SE
	Guanape	L1	N25°W	8,5° NW
	Osorio	M3 y M4	N2,3°W	16,3° SE
	Piedra Azul	N1, N'2 y N2	N2,4°W	17,8° SE
APM	El Cojo	J1 y J2	N2,2°W	11,3° SE
	Piedra Azul	N4 y N5	N3,4°W	7,4° NW
<b>Media</b>			<b>N17,2°W</b>	<b>15,6° SE</b>

**Tabla 5.10.** Esfuerzo compresivo de laboratorio compilado de todas las secciones finas.

Sección fina			Esfuerzo compresivo $\sigma_1$	
Litología	Cuenca	Código	Rumbo	Declive
CT	Care	V-A1-2	N40,6°W	5,8° SE
	Masare	V-B1-2	N35,8°W	8,6° SE
		V-B1-3	N18,7°W	15,9° SE
ASJ	Miguelena	V-B21-1	N23,1°W	3,8° SE
		V-B22-1	N26°W	24,3° SE
V-B22-2		N33,6°W	24,4° SE	
CA		V-B22-3	N6,7°W	18° SE
CT		V-B23-1	N57,5°W	30° SE
CT	Naiguatá	V-C1-1	N3,6°W	9° NW
		V-C1-2	N33,4°W	1,5° NW
ASJ		V-C2-1	N4°W	20,1° SE
		V-C2-2	N6,8°W	21,6° SE
	V-C2-3	N30,3°W	7,9° NW	
	V-C2-4	N13,3°W	31,2° SE	
APM	Uria	V-D1-1	N13°W	4,6° NW
ASJ		V-D2-2	N15,6°W	28,2° NW

Tabla 5.10. Continuación...

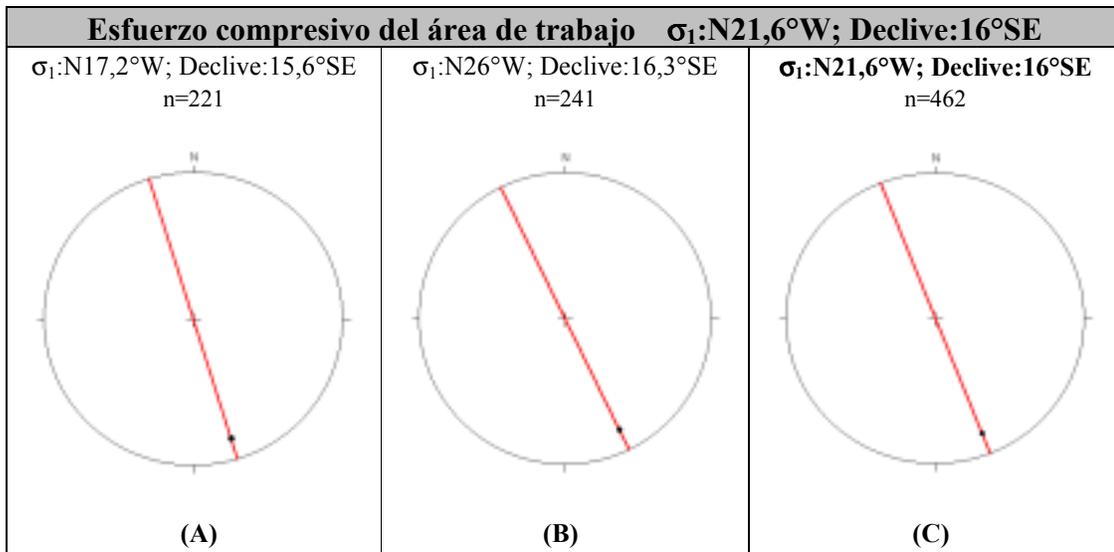
Sección fina			Esfuerzo compresivo $\sigma_1$	
CT	Tanaguarena	V-D3-1	N18°W	16,8° SE
		V-E1-1	N37,3°W	14° SE
		V-E2-2	N50,5°W	27° NW
ASJ	Cerro Grande	V-F1-1	N55,8°W	0,3° NW
ASJ	Qda. Seca	V-G1-1	N6,8°W	34,8° SE
		V-G3-1	N23,4°W	1,7° SE
APM	San Julián	V-H0-1	N36°W	8,2° NW
ASJ		V-H1-1	N13°W	8,5° NW
		V-H2-1	N29°W	2,2° NW
		V-H2-2	N14,4°W	20,5° SE
APM	Camurí Chico	V-I1-1	N11,4°W	6° SE
		V-I2-1	N23,1°W	3,8° SE
CT		V-I2-2	N30,8°W	13,2° SE
		V-I3-1	N15,3°W	48,8° NW
APM	El Cojo	V-J1-1	N41,1°W	10° SE
		V-J2-1	N14°W	14° SE
ASJ		V-J3-1	N53,6°W	22,2° NW
		V-J3-2	N11,4°W	31,3° SE
APM	Galipán	V-K1-1	N47,6°W	0,3° NW
ASJ	Guanape	V-L1-1	N23,4°W	32,1° SE
CT	Cariaco	V-L'1-1	N23,8°W	32,5° SE
		V-L'2-1	N55,4°W	14,8° SE
CT	Osorio	V-M2-1	N8°W	10° SE
		V-M2-2	N57,3°W	5,6° SE
ASJ		V-M3-1	N12,4°W	7,8° SE
CT		V-M3-2	N12,6°W	44,4° SE
ASJ		V-M4-1	N4,5°W	1,9° SE

**Tabla 5.10.** Continuación...

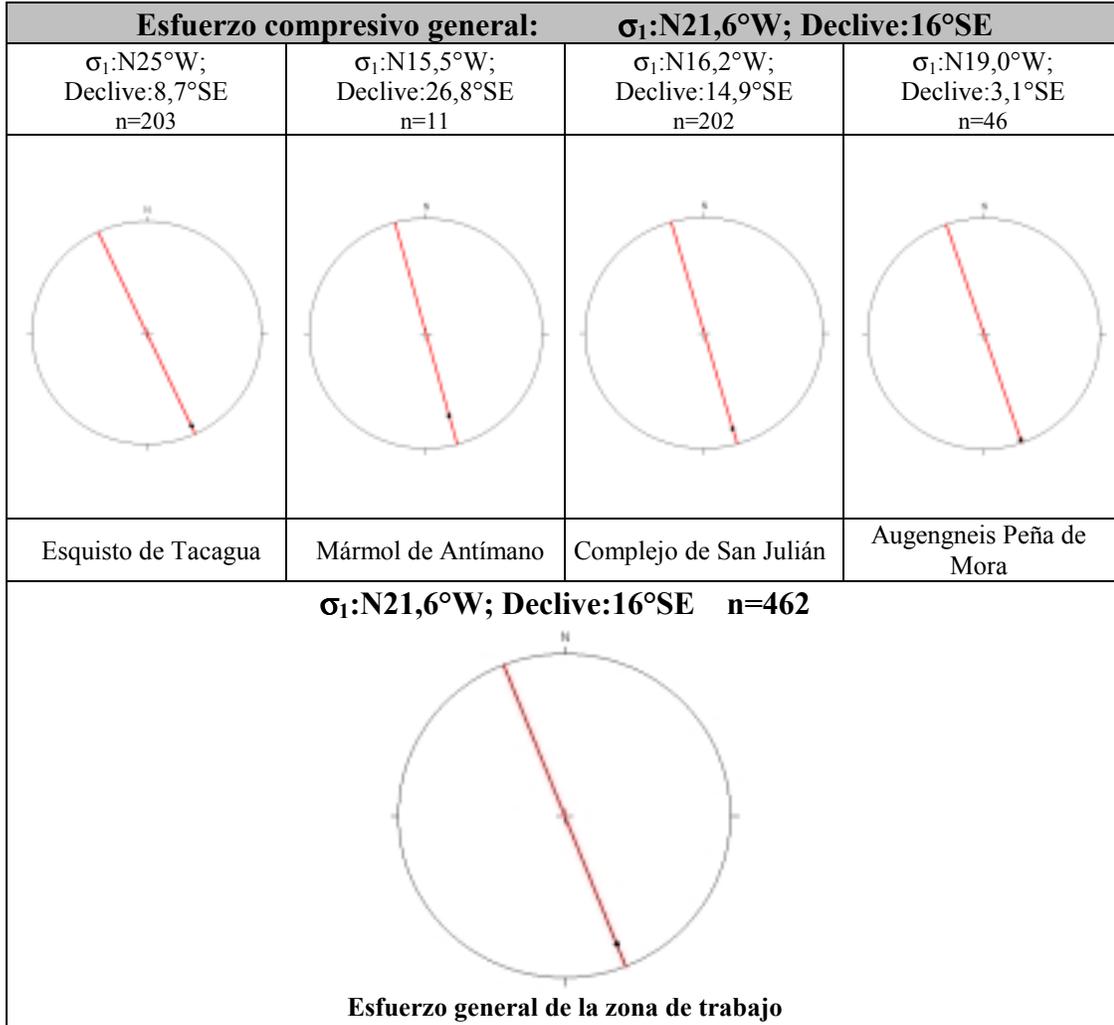
Sección fina			Esfuerzo compresivo $\sigma_1$	
ASJ	Piedra Azul	V-N1-01	N35,2°W	12° SE
		V-N2-01	N4°W	10,5° SE
APM		V-N4-01	N65,8°W	38,5° SE
<b>Promedio</b>			<b>N26°W</b>	<b>16,3° SE</b>

Se muestran a continuación las figuras de los resultados generales para el trabajo de campo, para el trabajo de laboratorio, y el resultado final que resulta de la media aritmética entre los anteriores.

Luego se muestran las figuras de los resultados generales por unidad litodémica y la figura del resultado final o “esfuerzo general de la zona de trabajo” en mayor tamaño.



**Figura 5.51.** Estereografías del esfuerzo compresivo del área de trabajo. (A): Media de los esfuerzos compresivos de campo. (B): Media de los esfuerzos compresivos de laboratorio. (C): Media aritmética entre los esfuerzos compresivos de campo y laboratorio.



**Figura 5.52.** Resultados finales del trabajo ordenados por unidades litodemicas, y resultado final de todo el trabajo.

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES

- La microtectónica contempla el estudio de las estructuras geológicas, producidas por deformación, a escala de afloramiento y de muestra; por otro lado vislumbra el estudio de las estructuras geológicas a escala de sección fina o microscópicas, bajo el microscopio electrónico de barrido.
- La orientación del patrón de inclusiones observadas en las muestras, en relación con la orientación de la foliación, indican una fase tectónica en la etapa sin-tectónica, véase anexo 8.1.
- Se tomó el vector compresivo ( $\sigma_1$ ), como punto de partida para el análisis de la deformación de estas estructuras encontradas en el área de trabajo, ya que a través del mismo es posible comprender un gran número de variables tectónicas. Los datos recopilados en el trabajo de campo correspondieron a rocas que presentan deformación tanto dúctil como frágil, pero en dominio frágil.
- El vector ( $\sigma_1$ ) obtenido se ha relacionado con un sistema de deformación y esfuerzo de carácter dextral aplicado en una tectónica frágil de rocas pre-deformadas con distintas fases y tipos de deformación tanto dúctil como frágil.
- Al estudiar los pliegues y las microfallas, se reveló que la mayoría de las orientaciones de los vectores de deformación obtenidos experimentalmente corresponden con una orientación NNO-SSE, (ver mapa anexo) siendo subparalelos.

- Al comparar los vectores obtenidos para cada una de las litologías expuestas en la zona de estudio se encontró que no existe una variación apreciable, lo cual indica un proceso compresivo homogéneo para la zona en general; sin embargo, a escala de afloramiento, se observaron variaciones apreciables del vector, lo que puede corresponder a las características geológicas del entorno en la escala; esto contribuye a teorizar sobre la posibilidad del concepto “partición de esfuerzos” a escalas mucho menores a la regional, sin embargo no se han calculado las componentes de los vectores.
- Las estructuras presentes en el área de estudio corresponden a diversos períodos de deformaciones, tanto dúctiles como frágiles.
- Según Audemard (1984), las estructuras de deformación pertenecientes al dominio frágil indican por lo menos dos fases de deformación. En este trabajo se han obtenido dos familias de estrías de falla que confirman esta aseveración, una de las familias es de carácter subhorizontal (tectónica actual o fase de deformación presente) y la otra de carácter subvertical (fase de deformación anterior, sin distinción de edad).
- Otros autores han señalado que existen “por lo menos tres” fases de deformación para la cordillera de la costa, lo cual se corrobora en este trabajo a través del estudio de las distintas generaciones de pliegues donde es posible obtenerse un S1, un S2, y un S3, véase la figura 4.57.
- Se puede apreciar un sistema de estructuras de carácter dextral, que surgen como acomodo de una estructura de mayor escala, también dextral, la cual puede ser el sistema de fallas de San Sebastián y Macuto.
- La dirección del vector compresivo obtenido sugiere un desplazamiento de la franja de la Cordillera de la Costa desde el NO, este movimiento no debe haber sido muy extenso.

### **RECOMENDACIONES**

- Todo estudio estructural y por lo tanto geológico, debe contener al menos, en las zonas de cizalla, un estudio microtectónico.
- Se recomienda introducir el estudio de esta herramienta de trabajo (microtectónica) dentro de los contenidos de la carrera de ingeniería geológica, por la importancia que posee en el estudio sistemático en las dos escalas de trabajo antes expuestas.
- Al realizar un estudio microtectónico es recomendable complementarlo con un análisis de muestras bajo el microscopio electrónico de barrido (siglas en inglés SEM) para apreciar las deformaciones de granos o minerales en tres dimensiones.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

### Abreviaturas:

UCV-TEG: Trabajo especial de grado, Departamento de Geología, Escuela de Geología, Minas y Geofísica, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela. Inédito.

UCV-TA: Trabajo de ascenso, Departamento de Geología, Escuela de Geología, Minas y Geofísica, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela. Inédito.

- AGUERREVERE S. E. & G. ZULOAGA 1937. Observaciones geológicas de la parte central de la Cordillera de la Costa, Venezuela. *Bol. Geol. y Min.*, Caracas, 1(2-4): 8-24.
- & ----- 1938. Nomenclatura de las formaciones de la parte central de la Cordillera de la Costa. *Bol. Geol. y Min.*, Caracas, 2(2-4): 281 – 284.
- ANDERSON E. 1951. *The dynamic of faulting*. Oliver & Boyd, Edimburgo, 206 p.
- ANDERSON T. H. & V. A. SCHMIDT 1983. The evolution of Middle America and the Gulf of Mexico-Caribbean Sea region during Mesozoic time. *Geol. Soc. of Amer.*, 94: 941-966.
- ANGELIER J. 1983. Analyses qualitative et quantitative des populations de jeux de failles. *Bull. Soc. Géol. France*, 25(5): 661-672.
- 1979. Determination of the mean principal directions of stresses for a given fault population. *Tectonophysics*, 56:T17-T26.
- ARANGUREN A. 1996. *Reconocimiento geológico de la Quebrada El Encantado, Parque Nacional El Ávila*. UCV-TEG, 103 p.
- ARTHAUD F. 1969. Méthode de détermination graphique des directions de raccourcissement, d'allongement et intermédiaire d'une population de failles. *Bull. Soc. Géol. France*, 11:729-737.
- AUDEMARD F. 1984. *Evaluación geológica de la cuenca del Tuy para fines de investigaciones neotectónicas*. UCV-TEG, 226 p.
- 1985. Neotectónica de la cuenca del Tuy. *Mem. VI Congr. Geol. Venez.*, Caracas, 3: 2339-2377.
- 1997. Tectónica activa de la región septentrional de la cuenca invertida de Falcón, Venezuela occidental. *Mem. XIII Congr. Geol. Venez.*, Porlamar, 1: 93 - 100.
- & C. GIRALDO 1997. Desplazamientos dextrales a lo largo de la frontera meridional de la placa del Caribe, Venezuela Septentrional. *Mem. XIII Congr. Geol. Venez.*, Porlamar, 1: 101 - 108.

- & F. AUDEMARD. 2001. Structure of the Mérida Andes, Venezuela: relations with South América-Caribbean geodynamic interaction. *Tectonophysics*, en prensa.
- AZPIRITXAGA I. 1979. *Estudio geológico de una zona ubicada en la parte central de la Cordillera de la Costa, flanco norte, Distrito Federal*. UCV-TEG, 189 p.
- BAENA J. 1998. *Reconocimiento geológico de la cuenca del río Tacamahaca, Parque Nacional El Ávila*. UCV-TEG, 95 p.
- BARBOZA L. & S. RODRÍGUEZ 2001. *Integración de la geología del Estado Vargas y del flanco sur del macizo del Ávila al norte de Caracas*. UCV-TEG, 316 p.
- BAILEY J. E. & P. B. HIRSCH 1962. The recrystallization process in some polycrystalline metals. *Proc. R. Soc. Lond.*, 267A: 11-30.
- BECCALUVA L., M. CONTORI, G. GIUNTA, M. ITUIRRALDE-VINENT, E. NAVARRO, F. SIENA & F. URBANI 1996. Ophiolite of the Caribbean Plate margins, programme and Field Trip Guide. *International Journal on Ophiolites and Related Topics*, Italia, 21(2):85-103
- BECK C. 1977. El substrato Cretáceo de la piemontina en la parte central de la Serranía del Interior en Venezuela septentrional. Relación con la tectogénesis del Cretáceo Superior. *VIII Conf. Geol. Caribe*, Curazao, resúmenes, p. 8-9.
- 1978. Polyphasic Tertiary tectonics o interior range in the central part of we Caribbean Chain, Guarico State, Nor Venezuela. *Geologie en Mijnbouw*, 57(2): 99-104.
- 1985. Caribbean colliding, andean drifting and the Mesozoico – Cenozoico geodynamic evolution of the Caribbean. *Mem. VI Congr. Geol. Venez.*, Caracas, 10: 6575 – 6614.
- BELL J. S. 1971. Tectonic evolution of the central part of the Venezuelan Coast Ranges. *Mem. Geol. Soc. of Amer.*, 130: 107-118.
- 1972. La importancia tectónica de la faja piemontina de la Cordillera de la Costa de Venezuela. *Mem. IV Congr. Geol. Venez.*, Caracas, 4: 2405.
- BELLIZZIA A. 1967. Rocas ultrabásicas en el Sistema Montañoso del Caribe y yacimientos minerales asociados. *Bol. Geol.*, Caracas, 8(16): 159 – 198.
- 1972a. Sistema Montañoso del Caribe, borde sur de la Placa Caribe, ¿Es una cordillera alóctona?. *Mem. VI Conf. Geol. Caribe*, Margarita, p. 247-258.
- 1972b. Interpretación tectónica de la parte norte de América del Sur, *Mem. IV Congr. Geol. Venez.*, Caracas, 5(4): 2477-2482.

- 1985. Sistema Montañoso del Caribe, una cordillera alóctona en la parte norte de América del Sur. *Mem. VI Congr. Geol. Venez.*, Caracas, 10: 6657-6836.
- BOUSSINGAULT J. 1974. *Memorias*. J. A. Catalá Editor, Caracas, 315 p.
- CANO V. & L. MELO. 2001. *Reconocimiento geológico entre la cuenca de Quebrada Seca y la cuenca del Río Care, Estado Vargas*. UCV-TEG, 155 p.
- CASTILLO A. & J. C. SUAREZ. 2001. *Reconocimiento geológico de la región Anare-Osma, vertiente norte del macizo Ávila*. UCV-TEG, 144 p.
- CIEN – COMITÉ INTERFILIAL DE ESTRATIGRAFÍA Y NOMENCLATURA. 2001. *Código Geológico de Venezuela*. <http://www.pdvsa.com/lexico/> Actualización: agosto 2001.
- COONEY P. & M. LORENTE 1997. Implicaciones tectónicas de un evento estructural en el Cretácico superior (Santoniense – Campaniense) de Venezuela Occidental. *Mem. VIII Congr. Geol. Venez.*, Porlamar, 1: 195-204.
- DANA & C. HURLBUT 1960. *Manual de mineralogía*, Edit. Reverté, Barcelona, España, 604 p.
- DENGO G. 1950. Eclogitic and glaucophane amphibolites in Venezuela. *Trans. American Geophys. Union*, 31(6):873-878.
- 1951a. Geología de la región de Caracas. *Bol. Geol.*, Caracas, 1(1): 39-115.
- 1951b. Indicaciones para el estudio de campo de las rocas metamórficas. *Bol. Geol.*, Caracas, 1(3): 295-312.
- 1972. Problemas de las regiones entre América Central y la región del Caribe. *Mem. IV Congr. Geol. Venez.*, Caracas, 5(4): 2419-2437.
- DONNELLY T. W. 1972. Geología del Caribe y su relación con la historia tectónica de Venezuela. *Mem. IV Congr. Geol. Venez.*, Caracas, 5(4): 2438-2440.
- DUNCAN R. & R. HARDGRAVES 1984. Plate tectonic evolution of the Caribbean region in the mantle reference frame. *Geol. Soc. of Amer.*, 162: 81-94.
- DRURY M. R. & F. J. HUMPHREYS 1988. Microstructural shear criteria associated with grain-boundary sliding during ductile deformation. *Jour. of Struct. Geol.*, 10(1): 83-89.
- ENCARTA 2000. *Enciclopedia Microsoft Encarta 2000*. Versión en disco compacto. Microsoft Corporation ©.
- ERNEST W. 1988. Tectonic history of subduction zones inferred from retrograde blueschist P-T paths. *Geology*, 16: 1081-1084.
- ERLICH R. N. & S. F. BARRETT 1990. Cenozoic plate tectonic history of the northern Venezuela – Trinidad area. 9(1): 161-184.

- ETCHECOPAR A., G. VASSEUR & M. DAIGNIERES 1981. An inverse problem in microtectonics for the determination of stress tensor from fault striation analysis. *Jour. of Struct. Geol.*, 3(1):51-65.
- & J. MALAVIELLI 1987. Computer model of pressure shadows: a method for strain measurements and shear-sense determination. *Jour. of Struct. Geol.*, 9(5/6): 667-677.
- & M. MATTAUER 1988. Méthodes dynamiques d'analyse des populations de falles. *Bull. Soc. Géol. France*, 4(2): 289-302.
- FANTI O., L. FRONTADO & A. VECCHIO 1980. *Tectónica y sismicidad de área de Caracas y sus alrededores*. UCV-TEG, 132 p.
- FEO CODECIDO G. 1962. Contribution to the geology of north - central Venezuela. *Bol. Inf. Asoc. Venez. Geol., Min. y Petrol.*, 5(5): 119-142.
- FLEUTY M. J. 1964. Tectonic Slides. *Geol. Mag.* 101: 452-456.
- GAMOND J. F. 1987. Bridge Structures as sense of displacement criteria in brittle fault zones. *Jour. of Struct. Geol.*, 9(5/6): 609-620.
- GAUTHIER B. & J. ANGELIER 1985. Fault tectonics and deformation: a method of quantification using field data. *Earth and Planetary Sci Lett.* 74:137-148.
- GARCÍA L. 1994. *Reconocimiento geológico de la cuenca del río Tócome*. UCV-TEG, 249 p.
- GHOSH N., S. HALL & J. CASEY 1984. Seafloor spreading magnetic anomalies in the Venezuelan Basin. *Geol. Soc. of Amer.*, 162: 65-80.
- GIRALDO C. & F. AUDEMARD 1997. La Cuenca de tracción de Cabudare, Venezuela centro-occidental. *Mem. VIII Congr. Venez.*, Porlamar, 1:351-357.
- GONZÁLEZ DE JUANA C., J. ITURRALDE & X. PICARD 1980. *Geología de Venezuela y de sus cuencas petrolíferas*. Edic. Foninvés, Caracas, 2 Vols., 1031 p.
- GONZÁLEZ G. R. 1988. *Geología de un segmento de la Cordillera de la Costa comprendida entre Cabo Blanco-Macuto y Carrizal-Los Ocumitos, Distrito Federal*. UCV-TEG, 155 p.
- GONZÁLEZ L. 1972. Geología de la Cordillera de la Costa. Zona centro-occidental. *Bol. Geol., Caracas, Public. Esp.*, 5(3): 1589-1616.
- HANCOCK P.L. 1985. Brittle microtectonics: Principles and practice. *Jour. of Struct. Geol.*, 7(3-4): 437-457.
- HESS H. H. 1972. Basamento gnésico, Cordillera de la Costa, Venezuela. Circular. *Soc. Venez. Geol.*, Caracas, 54: 18. Traducción: F. Urbani.
- HOBBS B., W. MEANS & P. WILLIAMS 1981. *Geología estructural*. Ediciones Omega, S.A., Barcelona, 518 p.

- HONGN F. D. & J. F. HIPPERTT 2000. Quartz crystallographic and morphologic fabrics during folding/transposition in mylonites. *Jour. of Struct. Geol.* 23: 81-89.
- HUBER O. 1984. *Mapa de vegetación de Venezuela*. Oscar Todtmann editores, Caracas, s/p.
- HUMBOLDT A. 1991. *Viaje a las regiones equinociales del viejo continente*. Monte Ávila Editores, Caracas, Tomo II, 458 p.
- JAMES K. H. 1997. Distribution and tectonic significance of Cretaceous - Eocene flysch – wildflysch deposits of Venezuela and Trinidad. *Mem. VIII Congr. Venez.*, Porlamar, 1: 415-421.
- JARRAD R. D. 1986. Terrane motion by strike-slip faulting of forearc slivers. *Geology*, 14: 780-783.
- JASWANT S. R. 1985. Some magnetic fabric characteristics of sheared zones. *Jour. of Geodyn.*, 2: 291-301.
- JESSELL M. W. & BONS 2001. VIEPS - EARTH SCIENCE VICTORIAN INSTITUTE OF EARTH AND PLANETARY SCIENCES, *VIEPS/Mainz Microstructure Course*. In: *Stress, Strain and Structure*, A volume in honour of W D Means. Eds: M.W. Jessell and J.L.Urai. Volume 2, Journal of the Virtual Explorer. <http://www.earth.monash.edu.au/Teaching/mscourse/>
- KELLOGG J. N. 1984. Cenozoic tectonic history of the Sierra de Perijá, Venezuela-Colombia, and adjacent basins. *Geol. Soc. of Amer.*, 162: 239-262.
- & W. E. BONINI 1982. Subduction of the Caribbean plate and basement uplifts in the overriding South American plate. *Tectonics*, 1(3): 251-276.
- KLEIN G. D. 1997. Combined tectonic/geodynamic/maturation-based sedimentary basin classification. *Mem. VIII Congr. Geol. Venez.*, Porlamar, 1:431-435.
- KLEINSCHRODT R. & A. MCGREW 2000. Garnet plasticity in the lower continental crust: implications for deformation mechanisms based on microstructures and SEM-electron channeling pattern analysis. *Jour. of Struct. Geol.*, 22: 795-809.
- KOVACH A., P. M. HURLEY & H. W. FAIRBAIN 1979. Preliminary Rb/Sr whole rock dating of basement rocks from the Coast Range. *Bol. Asoc. Venez. Geol. Min. Petrol.*, 20(1-3): 86-89.
- LADD J. W. 1976. Relative motion between North and South America and Caribbean tectonics. *Mem. VII Conf. Geol. Caribe*, Guadalupe 1974: 63-68.
- LISTER G. S. & U. F. DORNSIEPEN 1981. Fabric transitions in the Saxony granulite terrain. *Jour. of Struct. Geol.*, 4: 81-92.
- & A. W. SNOOKS 1984. S-C Mylonites. *Jour. of Struct. Geol.*, 6: 283-297.

- LOUREIRO D. 1981. *Geoquímica de los elementos mayoritarios de las anfibolitas de la Cordillera de la Costa: fragmentos de la corteza oceánica Caribe*. UCV-TA, 86 p.
- LOYO B. 1986. *Estudio tecto-estratigráfico de la cuenca del Tuy, Estado Miranda, Venezuela*. UCV-TEG, 134 p.
- MAINPRICE S. & F. BOUDIER 1988. Sense of shear in high-temperature movement zones from the fabric asymmetry of plagioclase feldspar. *Jour. of Struct. Geol.*, 10(1): 73-82.
- MANN P. & K. BURKE 1984. Neotectonics of the Caribbean. *Rev. of Geoph. and Space Phys.*, 22(4): 309-362.
- MARESCH W. V. 1974. Plate tectonics origin of the Caribbean Mountains System of northern South America: discussion and proposal. *Geol. Soc. Amer. Bull.* 85(5): 669-682.
- MARN 2000. *Desastre natural de diciembre de 1999, zona norte-centro-costera de Venezuela, aspectos climatológicos*. Comisión para la evaluación de daños y riesgos. Caracas, s/p.
- MATTSON P. H. 1984. Caribbean structural breaks and plate movements. *Geol. Soc. of Amer.*, 162: 131-152.
- MATTAUER M. 1976. *Las deformaciones de los materiales de la corteza terrestre*. Edit. Omega, Barcelona, 524 p.
- MCCLAY K. R. 1987. *The mapping of geological structures*. John Wiley & Sons edit. New York. 161 p.
- MESCHEDE M. & W. FRISCH 1998. A plate – tectonic model for the Mezsozoic and Early Cenozoic history of the Caribbean plate. *Tectonophysics*, 296:269-291.
- MÉNDEZ J. & E. NAVARRO 1987. Caracterización geoquímica de las metalavas de la Formación Tacagua. *Mem. Iras. Jorn. de Invest. en Ingeniería*, UCV, Fac. de Ing., Caracas, p 44-47.
- MÉNDEZ Y. 1988. *Caracterización geoquímica de las rocas metavolcánicas de la Formación Tacagua*. UCV-TEG, 72 p.
- MENÉNDEZ A. 1966. Tectónica de la parte central de las montañas occidentales del Caribe, Venezuela. *Bol. de Geol.* 8(15):154-155.
- MERCIER J. & P. VERGELY 2001. *Tectónica*. 1ra. reimpresión en español, Edit. Limusa, México, 259 p.
- MIYASHIRO A. 1972. Metamorphism and related magmatism in plate tectonics. *Amer. Jour. of Sci.*, 272: 629-656.
- NAVARRO E. 1987. Anfíboles y micas blancas de la isla de Margarita, Venezuela: su uso como indicadores petrogenéticos. *Acta Cient. Venez.*, 38: 490-502.

- 1989. Antiguas y nuevas teorías sobre el origen y emplazamiento de la Faja de Villa de Cura. *Mem. VII Congr. Geol. Venez.*, Barquisimeto, 1: 99 - 112.
- , M. OSTOS, & F. YORIS 1988. Revisión y redefinición de unidades litoestratigráficas y síntesis de un modelo tectónico para la evolución de la parte norte-central de Venezuela durante el Jurásico medio-Paleógeno. *Acta Cient. Venez.*, 39: 427-436.
- NICOLAS A. 1987. *Principios de tectónica*. Editorial Masson S. A., Paris, 185 p.
- NISHIKAWA O. & T. TAKESHITA 2000. Progressive lattice misorientation and microstructural development in quartz veins deformed under subgreenschist conditions. *Jour. of Struct. Geol.*, 22: 259-276.
- OSTOS M. 1981. *Geología de una zona ubicada entre el estribo de Galindo y la autopista Caracas-La Guaira, Parque Nacional El Ávila*. UCV-TA, 279 p.
- 1987a. Texturas de cizalla en la Formación Peña de Mora, Cordillera de la Costa, Venezuela. *Mem. Iras. Jorn. de Invest. en Ingeniería*, UCV, Fac. de Ing., Caracas, p. 102-105.
- 1987b. Transporte tectónico de la Formación Peña de Mora, parte central de la Cordillera de la Costa. *Mem. Iras. Jorn. de Invest. en Ingeniería*, UCV, Fac. de Ing., Caracas, p. 106-109.
- & E. NAVARRO 1985. Faja de Villa de Cura ¿Realmente un complejo de arco de isla alóctono?. *Mem. VI Congr. Geol. Venez.*, Caracas, 10: 6615 – 6638.
- , E. NAVARRO & F. URBANI 1989. Edad Rh/Sr del Augengneis de Peña de Mora, Cordillera de la Costa, *Mem. VII Congr. Geol. Venez.*, Barquisimeto, 1: 125 -135.
- 1990. Evolución tectónica del margen sur-central del Caribe basado en datos geoquímicos. *Geos*, (30): 1-294.
- PASSCHIER C. W. 1986. Porphyroclast systems as kinematic indicators. *Jour. of Struct. Geol.*, 8: 831-843.
- PATERSON M. S. 1969. *The ductility of rock in: Physic and plasticity*. Edited by Argon, A. S., MIT press, Massachusetts, 377-392.
- PERCHUCK L. & Y. ARANOVICH 1980. The thermodynamic regime of metamorphism in the ancient subduction zone. *Contrib. Min. Petrol.*, 75: 407-414.
- PHILIPS F. C. 1975. *La aplicación de la proyección estereográfica en la geología estructural*. Edit. Blume, Barcelona, España, 134 p.
- PIMENTEL N., H. GAUDETTE & W. OLSEWSKY 1985. Nuevas dataciones en el “basamento” de la Cadena Caribe. *Mem. VI Congr. Geol. Venez.*, Caracas, 2: 1979-1994.

- PINDELL J., S. CANDE, W. PITMAN III, D. ROWLEY, J. DEWEY, J. LABRECQUE, & W. HAXBY 1988. A plate kinematic framework for models of Caribbean evolution. *Tectonophysics*, 155: 121-138.
- RAMSAY J. G. & M. I. HUBER 1993. *The Techniques of Modern Structural Geology*. Volume 1: Strain Analysis. Academic Press, New York, 308 p.
- RÍOS D. 1989. *Geología de un segmento de la Cordillera de la Costa entre Macuto–Naiguatá y los Ocumitos–Turgua, Distrito Federal y Estado Miranda*. UCV-TEG, 143 p.
- SABINO I. 1995. *Geología del flanco sur del pico Naiguatá, Parque Nacional El Ávila, Estado Miranda, Venezuela*. UCV-TEG, 209 p.
- SAGECAN 1997. *Atlas de Venezuela en línea*, Edición en disco compacto, versión 1.0. Dirección general sectorial del servicio autónomo de geografía y cartografía nacional (SAGECAN).
- SÁNCHEZ, R. & J. SILVA 1986. Geología de la zona de Oritapo – Cabo Codera – Capaya, Estado Miranda – Distrito Federal. UCV-TEG, 252 p.
- SANTAMARÍA F. & C. SCHUBERT 1974. Geochemistry and geochronology of the southern Caribbean-Northern Venezuela plate boundary. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 85(7): 1085-1098.
- SCHUBERT C. 1982. Origin of the Cariaco Basin, southern Caribbean Sea. *Marine Geology*, 47: 345-360.
- 1984. Basin formation along the Boconó-Moron-El Pilar fault system, Venezuela. *Jour. of Geoph. Res.*, 89: 5711-5718.
- SCHUMAN W. & R. GROSHONG 1991. Strain analysis using quartz deformation bands. *Tectonophysics*, 190: 269-282.
- SCHURMANN H. 1950. Glaukophangesteine aus Venezuela. *Neues Jahrb. Min. Monatshefte*, 7: 145-156.
- SHAOCHENG J., D. MAINPRICE & F. BOUDIER 1988. Sense of shear in high-temperature movement zones from the fabric asymmetry of plagioclase feldspars. *Jour. of Struct. Geol.* 10(1): 73-81.
- SINGH V., P. RAMA-RAO, G. J. COCKS & D. M. TAPLIN 1977. On the formation of the diamond grain configuration during high temperature creep and fatigue. *J. Mater. Sci.* 12. 373-383.
- SINGER A. 1977. Síntesis regional de la evolución geomorfológica de la Cordillera de la Costa en el área de Caracas, *Mem. V Congr. Geol. Venez.*, Guía de excursiones No 1, Caracas, 5: 55 - 62.
- SOULAS J. P. 1985. Neotectónica y tectónica activa en Venezuela y regiones vecinas. *Mem. VI Congr. Geol. Venez.*, Caracas, 10: 6639-6656.

- SUBIETA T. & J. DELAIR 1984. Introducción al análisis de la deformación de las rocas. *Cuader. Geol.* (Min. Ener. y Min. Caracas), 1(1): 1-56
- TALUKDAR S. & D. LOUREIRO 1982. Geología de una zona ubicada en el segmento norcentral de la Cordillera de la Costa, Venezuela: metamorfismo y deformación. Evolución del margen septentrional de Suramérica en el marco de la tectónica de placas. *Geos*, (27): 15-76.
- , -----, E. NAVARRO, F. URBANI, & M. OSTOS 1981. Modelo de tectónica de placas para la evolución del Sistema Montañoso del Caribe: una nueva hipótesis de trabajo. ASOVAC, Noviembre 1981, Resumen, 212 p.
- , -----, J. MENDOZA, A. LARA & I. SERRANO 1979. Historia metamórfica de la parte norcentral de la Cordillera de la Costa entre Carayaca y Puerto Cruz y su significado. *Geos*, (25): 67-68.
- TAKAGI H. 1986. Implications of mylonitic microstructures for the geotectonic evolution of the Median Tectonic Line, central Japan. *Jour. of Struct. Geol.* 8(1): 3-14.
- TUNGATT P. D. & F. J. HUMPHREYS 1981. An *in situ* optical investigation of the deformation behaviour of sodium nitrate-an analogue for calcite. *Tectonophysics*, 78: 661-675.
- URBANI F. 1982. Comentarios sobre algunas edades de las rocas de la parte central de la Cordillera de la Costa. *Geos*, (27): 77-85.
- 1988. Algunos complejos de rocas metaígneas en la Cordillera de la Costa. *Revista de la Fac. de Ing. - UCV*, Caracas, 3(2): 22-39.
- & E. A. QUESADA 1972. Migmatitas y rocas asociadas del área de la Sabana, Cordillera de la Costa. *Mem. IV Congr. Geol. Venez.*, Caracas, 5(4): 2375-2400.
- & M. OSTOS 1989. El Complejo Ávila, Cordillera de La Costa, Venezuela. *Geos*, (29): 205-217.
- , F. YORIS, E. SZCZERBAN, O. RENZ & P. JUNG 1989. Una localidad fosilífera en la Fase Tacagua, Cordillera de la Costa. *Geos*, (29): 274-275.
- , O. CONTRERAS, L. GARCÍA DE LOS SALMONES, I. SABINO, A. ARANGUREN & R. UZCÁTEGUI 1997. Reconocimiento geológico del flanco sur del macizo de El Ávila, Cordillera de la Costa, Distrito Federal y Estado Miranda, Venezuela. *Mem. VIII Congr. Geol. Venez.*, Porlamar, 2:463-468.
- , J. A. RODRÍGUEZ & V. VIVAS 2000. Geología del Estado Vargas: 1.- Nomenclatura actualizada de las unidades ígneo - metamórficas de la parte central de la Cordillera de la Costa. *Resúmenes, Jorn. de Invest. en Ingeniería*, UCV. Noviembre. En prensa.

- 2000. Revisión de las unidades de rocas ígneas y metamórficas de la cordillera de la costa, Venezuela. (Versión original: diciembre de 1997. Adiciones: agosto 2000). *Geos* (33): 1-170.
- 2002. Guía de excursión. Geología del área de la autopista y carretera vieja Caracas-La Guaira, Distrito Capital y Estado Vargas. *Geos* (35): 60 p. En prensa.
- UZCÁTEGUI R. 1997. *Geología del flanco sur de la Silla de Caracas, Parque Nacional El Ávila*. UCV-TEG, 104 p.
- VIERBUCHEN R. C. 1978. *The tectonics of northeastern Venezuela and southeastern Caribbean Sea*. Princeton University, Ph.D. thesis, 175 p.
- 1984. The Geology of the El Pilar fault zone and adjacent areas in northeastern Venezuela. *Geol. Soc. of Amer.*, 162: 189-212.
- VIGNALI M. 1978. Estratigrafía y estructura de las cordilleras metamórficas de Venezuela oriental. Península de Araya-Paria e isla de Margarita. *Geos*, (25): 19-66.
- WEHRMANN M. 1972. Geología de la región de Guatire-Colonia Tovar. *Mem. IV Congr. Geol. Venez.*, Caracas, 5(4): 2093-2121.
- 1977. Guía de la excursión geológica del Valle de Caracas, *Mem. V Congr. Geol. Venez.*, Caracas, 5: 63 - 69.
- WILCOX R., T. HARDING & D. SEELY 1973. Basic wrench tectonics. *Amer. Asoc. Petrol. Geol. Bull.* Vol. 57, N° 1 P. 74-96.
- WILLIAMS P., G. PRICE 1989. Origin of kinkbands and shear-band cleavage in shear zones: an experimental study. *Jour. of Struct. Geol.*, 12(2): 145-164.
- WINKLER H. 1978. *Petrogénesis de rocas metamórficas*. Edit. H. Blume, Madrid, 346 p.

## ANEXOS

### 8.1. Marco teórico

El siguiente texto comprende los conceptos básicos de microtectónica relacionados con la geología estructural y aquellos más usados en este trabajo.

#### 8.1.1 Geología estructural y microtectónica

La geología estructural, tal como lo dicen RAMSAY & HUBBER (1983), ha tenido un importante desarrollo en las dos últimas décadas debido a muchas razones, una de estas es el entendimiento de que las rocas deformadas naturalmente, presentes a escala de afloramiento (mesoescala), revelan una gran cantidad de estructuras a pequeña escala (microescala), que pueden ser relacionadas directamente con los sistemas de deformación de gran escala (macroescala).

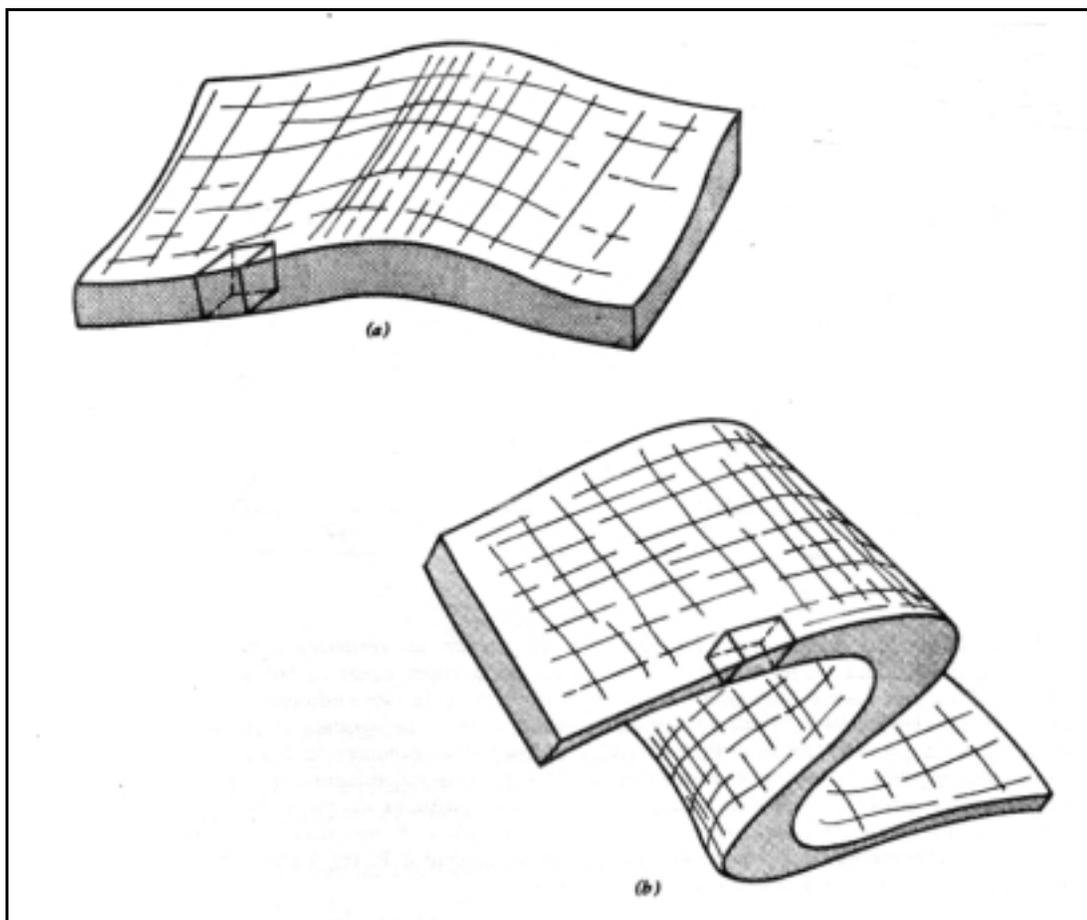
En este sentido, la microtectónica surge como un desarrollo de la geología estructural, representando al investigador una herramienta importante para la mejor comprensión espacial de las estructuras a macroescala, y de su posible historia de deformación. Aunque es importante destacar que el hecho de ser una herramienta con características específicas de trabajo restringe su uso como punto de partida para la elaboración de modelos a macroescala (modelos geodinámicos), sirve para la confirmación de los mismos, teniendo en cuenta las características geológicas del entorno de trabajo.

#### 8.1.2 Esfuerzo y deformación

##### Esfuerzo

Son las fuerzas que aplicadas al cuerpo o cuerpos, darán como resultado su deformación, ya sea ésta elástica, frágil o dúctil; lo cual depende de la cantidad de la fuerza (o magnitud), el tiempo, y las condiciones físicas del entorno en el cual son aplicadas estas fuerzas. Si éstas son iguales, el campo de esfuerzo en el cuerpo es *homogéneo*, de lo contrario, el campo de esfuerzos será *heterogéneo*.

Según HOBBS *et al.* (1981), las magnitudes de las fuerzas que actúan en las caras de un objeto para producir una deformación dada, dependen del área de estas caras; donde, cuando mayor es el objeto, mayor es la fuerza requerida para producir un cambio de la forma de este objeto. Estos autores toman como medida a la **fuerza por unidad de área o esfuerzo**, con lo que les resulta más fácil comparar los agentes responsables de la deformación de la misma región rocosa a medida que esta cambia progresivamente de tamaño, utilizando un cubo ideal de roca dentro de un gran volumen rocoso, véase figura 8.1.



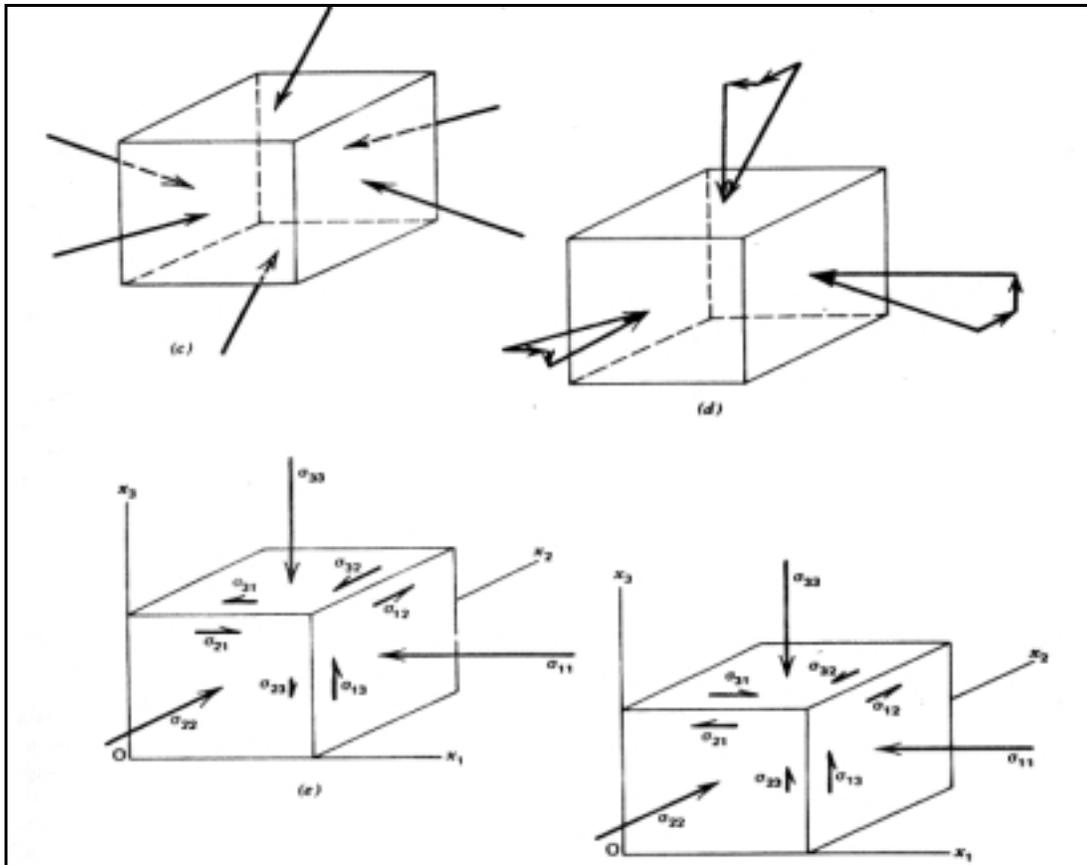
**Figura 8.1.** Cubos ideales en cuerpos deformados de roca. (a) cubo presente en capa de roca en proceso de plegamiento. (b) cubo presente en capa de roca ya plegada (tomado de HOBBS *et al.*, 1981).

Tomando el cubo ideal de roca, HOBBS *et al.* (1981) enuncian que la fuerza aplicada a cada una de las caras de este cubo, se puede desglosar o resolver en tres

componentes ortogonales, una perpendicular a la cara ( $\sigma_{ii}$ ) y dos paralelas a ésta ( $\sigma_{ij}$ ), como resultado de esto se obtiene la matriz siguiente:

$$\begin{bmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \sigma_{13} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} & \sigma_{23} \\ \sigma_{31} & \sigma_{32} & \sigma_{33} \end{bmatrix}$$

Esta matriz, representada espacialmente en la figura 8.2, donde los esfuerzos perpendiculares a las caras (en los cuales los subíndices son iguales,  $i = j$ ), son llamados *esfuerzos normales*; las componentes del esfuerzo que actúan paralelamente a las caras (subíndices son distintos entre sí,  $i \neq j$ ), son llamados *esfuerzos de cizalla*.

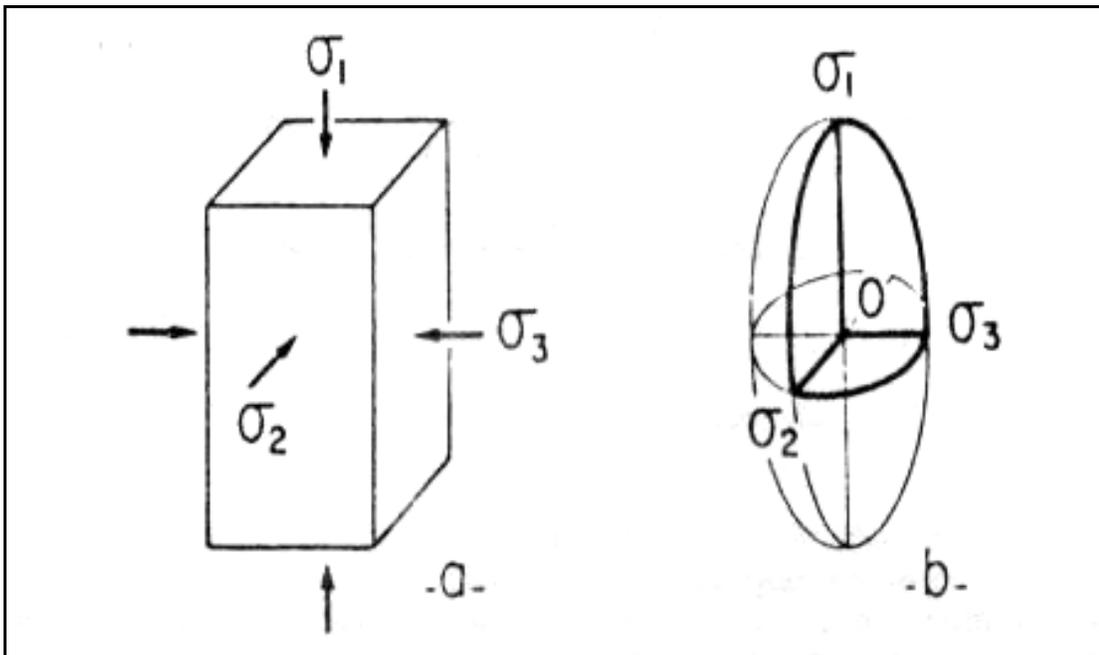


**Figura 8.2.** Se indican las componentes del esfuerzo. (c) Fuerzas que actúan sobre cada cara de un cubo en proceso de deformación. (d) Sistema de esfuerzos resultantes de las fuerzas perpendiculares y paralelas a las caras del cubo. (e) Sistema de esfuerzos referido a un sistema de coordenadas  $X_1$ ,  $X_2$  y  $X_3$ , y el mismo sistema referido a un cubo infinitesimal (tomado de HOBBS *et al.*, 1981).

Así, como señalan HOBBS *et al.* (1981), el campo de esfuerzos de un cuerpo cualquiera se describe representando las componentes de la matriz mencionada (véase

matriz) en todos los puntos, donde, si las componentes son iguales, el campo de esfuerzo es homogéneo en el cuerpo; de lo contrario, el campo de esfuerzos será inhomogéneo, o *heterogéneo*.

NICOLAS (1987) habla de estos campos o “estados de esfuerzos”, los cuales, aplicados experimentalmente en cualquier punto del espacio, se expresan matemáticamente por un tensor de seis componentes independientes, y geoméricamente por un elipsoide donde los ejes representan los *tres esfuerzos normales principales*:  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  y  $\sigma_3$ , véase figura 8.3.

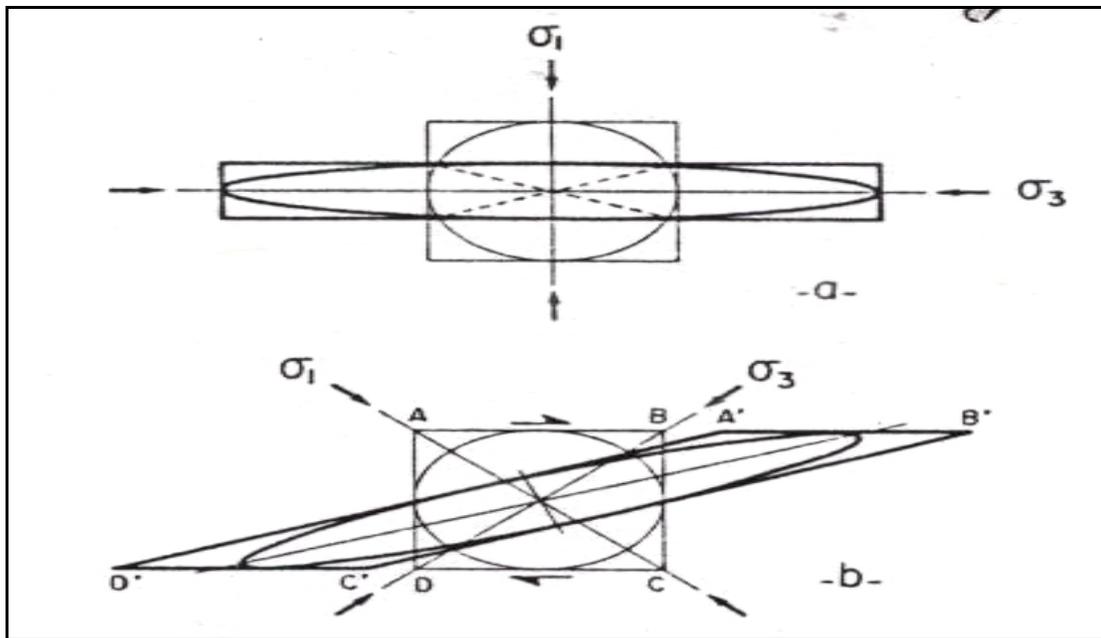


**Figura 8.3.** (a) Probeta experimental sometida a tres esfuerzos normales a sus caras con intensidades de:  $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$ . (b) Elipsoide de esfuerzos correspondiente a la probeta ensayada (tomado de NICOLAS, 1987).

El elipsoide de esfuerzos triaxial se denomina como poliaxial en el caso general cuando  $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ ; cuando  $\sigma_1 = \sigma_2 > \sigma_3$  o cuando  $\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3$ , el elipsoide se denomina “de revolución” o axial, en este caso, los vectores iguales forman una circunferencia. En el caso donde los tres esfuerzos son iguales,  $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$ , el elipsoide se convierte en una esfera y el estado de esfuerzos es de tipo hidrostático (MERCIER & VERGELY, 2001).

### Relación esfuerzo-deformación

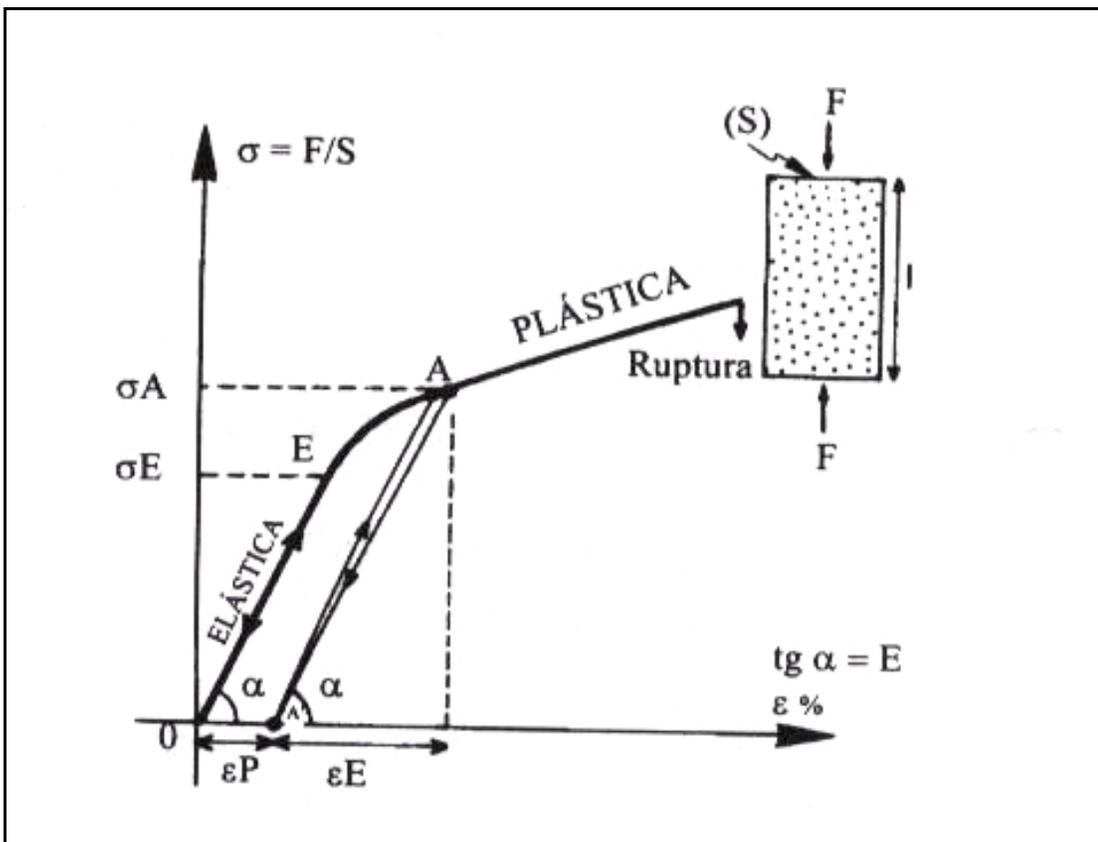
Tomando una esfera ideal, la cual puede representar el estado inicial del elipsoide, definido como elipsoide de deformación finita, NICOLAS (1987), estima experimentalmente una “deformación incremental” en incrementos sucesivos denominada *deformación progresiva*, para definir la *deformación coaxial* (deformación pura o cizalla pura), donde los ejes del elipsoide incremental permanecen paralelos durante la deformación, y coinciden en forma constante con las direcciones de los esfuerzos principales  $\sigma_3$ ,  $\sigma_2$  y  $\sigma_1$  respectivamente; por otra parte, el autor define la *deformación no coaxial*, cuando los ejes descritos anteriormente no son paralelos. Un ejemplo de régimen no coaxial es el cizallamiento simple, donde los ejes X y Z giran, durante la deformación progresiva, respecto de los esfuerzos  $\sigma_3$  y  $\sigma_1$  supuestos fijos, véase figura 8.4.



**Figura 8.4.** Relaciones de esfuerzo-deformación en deformación plana. (a) Deformación coaxial (cizalla pura). (b) Deformación no coaxial (tomado de NICOLAS, 1987).

La deformación progresiva en un material dado, ya sea una roca o una probeta de laboratorio, donde se puede controlar el mayor número de variables, define un límite para el material versus el esfuerzo aplicado que se denomina “límite de elasticidad o umbral de plasticidad” (MERCIER & VERGELY, 2001), el cual, según la gráfica de

esfuerzo-deformación de un cilindro experimental de roca bajo compresión uniaxial, evidencia una zona distinta para la deformación elástica de la deformación plástica. Es importante destacar que debajo de este límite, los cuerpos presentan deformación elástica más una pequeña deformación plástica, por lo tanto, si el esfuerzo aplicado cesa antes de llegar al límite elástico, el material presentará una gráfica para una nueva carga aplicada con un origen distinto y paralela a la anterior, además presentará un límite elástico a mayor carga, donde se habla de endurecimiento del material debido a la pequeña deformación plástica sumada, véase figura 8.5.

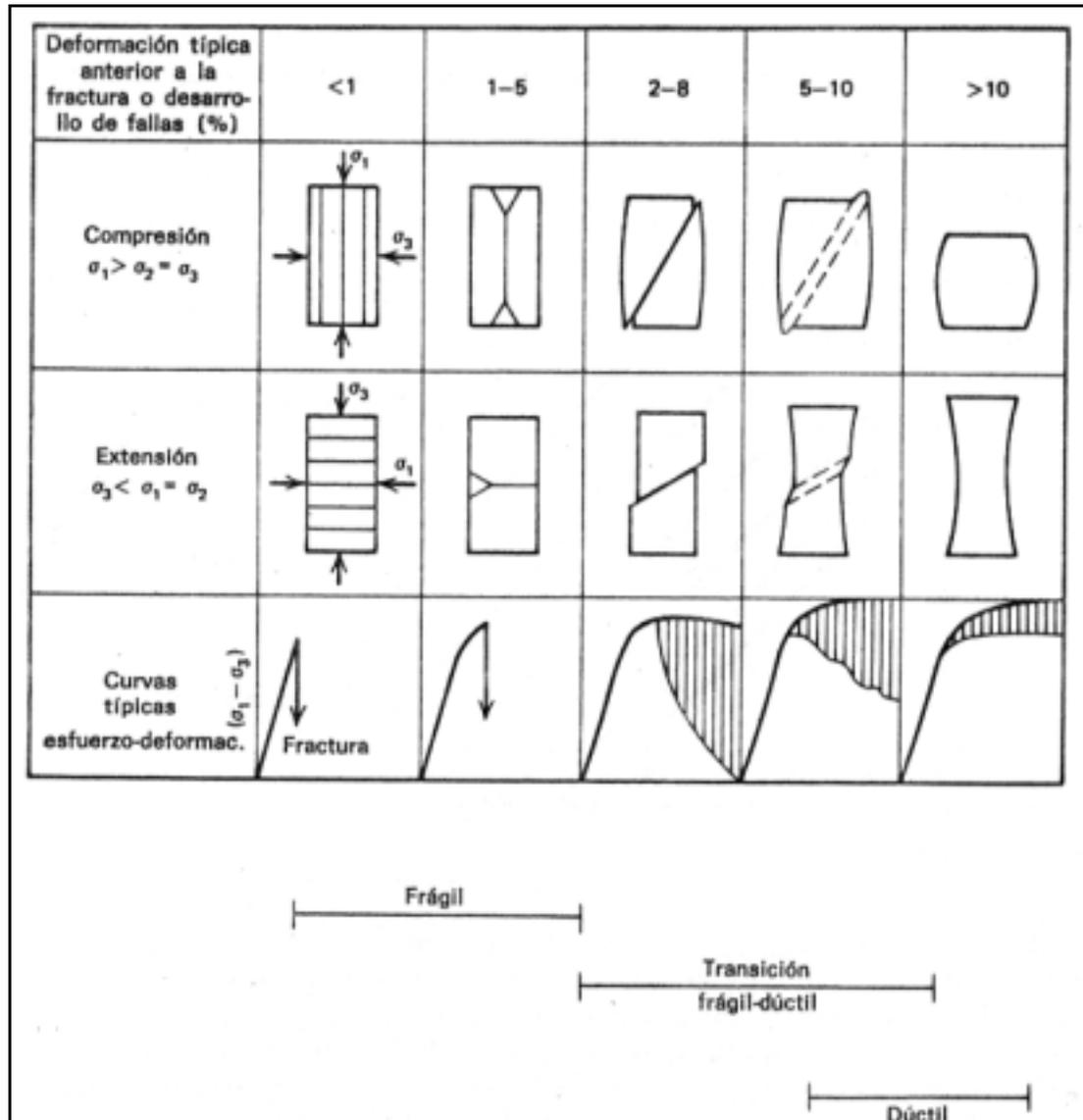


**Figura 8.5.** Gráfica de esfuerzo-deformación de una probeta experimental cilíndrica de roca en compresión uniaxial (tomado de MERCIER & VERGELY, 2001).

## Deformación

La deformación es todo proceso que genera un cambio en la forma de un material determinado, en la geología estos materiales son las rocas. Existen muchos mecanismos de deformación que han sido reconocidos en distintos materiales, véase

la tabla de la figura 8.6. Según MERCIER & VERGELY (2001), “se llama deformación de un cuerpo de forma, dimensiones y localización conocidas en el espacio, a toda operación que hace variar la forma, las dimensiones y la localización de dicho cuerpo del estado inicial al final”.



**Figura 8.6.** Tabla que muestra la gama de comportamientos experimentales de cuerpos de roca sometidos a ensayos de compresión y tracción junto a las curvas esfuerzo-deformación, según GRIGGS & HANDIN (1960). (tomado de HOBBS *et al.*, 1981).

Sin embargo, este cambio puede ser pequeño y reversible, es decir, luego de ser deformado, el material puede regresar a su forma original al remover el esfuerzo. Este

tipo de deformación es denominada “deformación elástica”, ya que el cuerpo dentro del campo de esfuerzos aplicados, se deforma dentro del rango elástico. En un estado específico de esta deformación elástica, los distintos investigadores han descubierto un límite máximo, luego del cual el cuerpo se rompe; este límite es denominado *límite elástico*, y el campo de deformación presente luego de este es la *deformación frágil*, también llamada *deformación discontinua*, en el caso de las rocas se ha definido el campo de *deformación elástico-frágil*, para diferenciar el criterio de una zona con estas condiciones de deformación de otra con condiciones de otro tipo de deformación denominado *deformación dúctil*, véase la figura 8.5.

Para especificar, según las características del entorno, las características del material, el esfuerzo aplicado y el tiempo de su aplicación, estas son:

- Deformación discontinua o frágil, cuando existe rotura del material en proceso de deformación al vencer el límite elástico.
- Deformación continua o dúctil, donde las rocas permanecen deformadas luego del esfuerzo aplicado sin presentar necesariamente una ruptura.

Dentro de estas dos categorías generales y desde el punto de vista del cuerpo deformado, se han definido dos tipos de deformación adicionales:

- Deformación homogénea, según NICOLAS (1987); transforma todas las rectas posibles de inscribir en el cuerpo a deformar en nuevas rectas.
- Deformación heterogénea, donde, luego de la deformación, al menos una parte de estas líneas son transformadas en curvas.

Por lo anterior se tienen los tipos de deformación siguientes:

1. Deformación discontinua.
2. Deformación continua homogénea.
3. Deformación continua heterogénea.

La deformación dúctil se presenta cuando las condiciones de presión y temperatura son tales que las rocas permanecen deformadas luego del esfuerzo aplicado, sin estar necesariamente fracturadas; en estas rocas se presenta lo que los geólogos denominan “flujos dúctiles” (RAMSAY & HUBER, 1983). Desde el punto de vista del cuerpo deformado, se han definido dos tipos de deformación; la *deformación homogénea*, la

cual, según NICOLAS (1987), transforma todas las rectas posibles de inscribir en el cuerpo a deformar en nuevas rectas, y la *deformación heterogénea*, donde, luego de la deformación, al menos una parte de estas líneas son transformadas en curvas.

Por otra parte, se han podido definir experimentalmente los tipos de deformación presentes en la naturaleza. Estas deformaciones se ilustran en el cuadro uno (1) de la figura 8.6, donde se representan el aspecto de las fracturas, la cantidad de deformación antes de la ruptura y las curvas  $e = f(\sigma)$  características.

También se pueden definir experimentalmente cuatro etapas sucesivas en el proceso de ruptura al medir la deformación lineal según las tres direcciones principales y colocando sobre un diagrama la deformación volumétrica en función de los esfuerzos aplicados; cada zona implica un comportamiento diferente, véase figura 8.7.

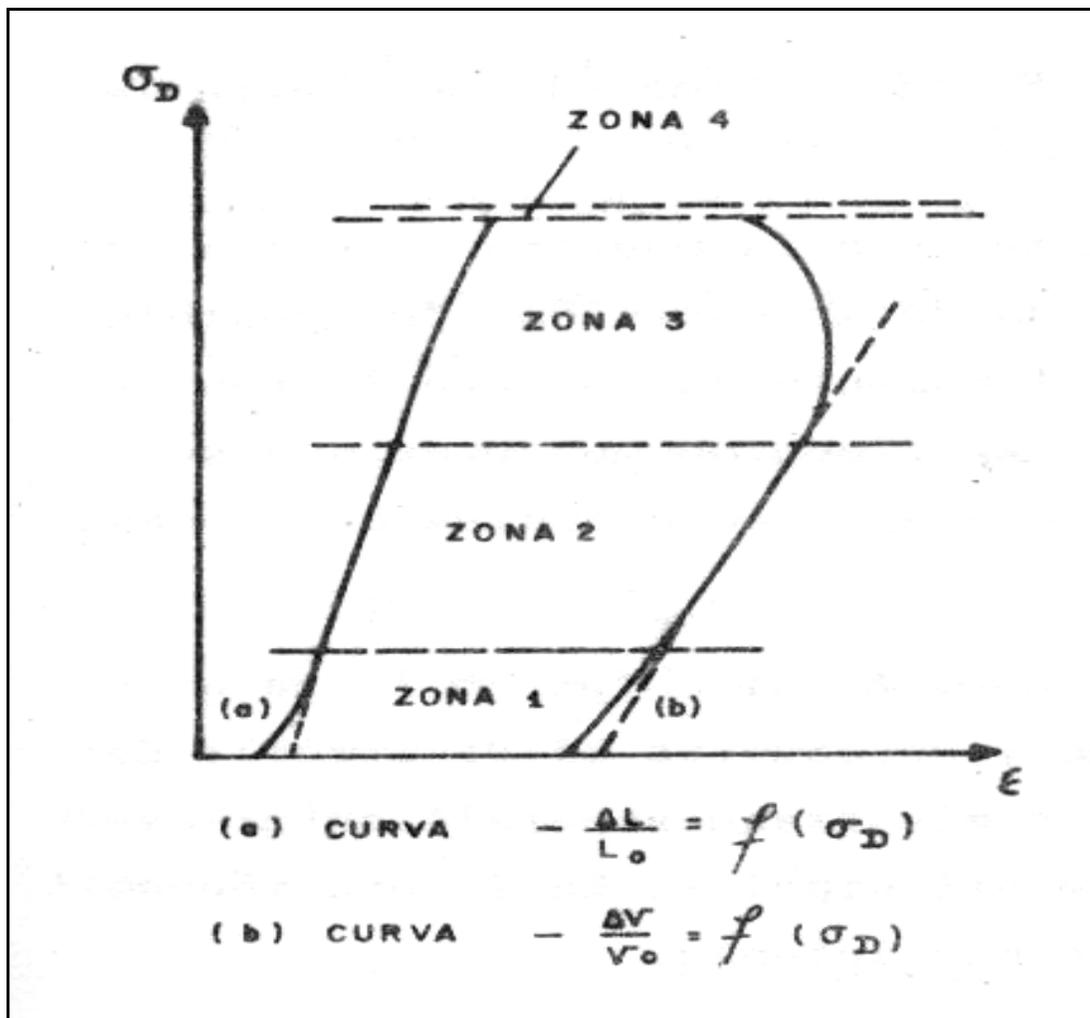
**Zona 1:** Cierre de poros y fisuras preexistentes en el material debido a la disminución en el volumen.

**Zona 2:** Comportamiento elástico, debido a la relación lineal entre la variación del volumen y el esfuerzo aplicado.

**Zona 3:** Apertura de fisuras cuando el esfuerzo llega al *umbral de fisuración*, debido al aumento en el volumen, o *dilatancia*.

**Zona 4:** Ruptura microscópica y pérdida de la cohesión de la muestra de ensayo debido al aumento brusco en el volumen.

Según estos y otros ensayos se ha demostrado que la ruptura macroscópica está precedida por el desarrollo de fisuras cada vez más numerosas, cuando el ensayo se aproxima cada vez más al umbral de resistencia, o donde se produce la deformación discontinua. Además, está demostrado que estas fisuras son paralelas a la dirección del esfuerzo principal.



**Figura 8.7.** Etapas sucesivas del proceso de ruptura en un diagrama de la deformación volumétrica en función de los esfuerzos aplicados (tomado de SUBIETA & DELAIR, 1984).

### 8.1.3 Deformación discontinua

Como se vio anteriormente, los cuerpos rocosos pueden sufrir deformación frágil (por ruptura) debido a esfuerzos tectónicos en condiciones específicas de presión y temperatura. Estas deformaciones discontinuas o por ruptura pueden ocurrirle a rocas anteriormente deformadas, por lo que pueden superponerse deformaciones tanto de tipo continuo (deformación plástica) como de tipo discontinuo. Según MERCIER & VERGELY (2001), las deformaciones por ruptura, ocurridas de forma natural pueden dividirse en dos grupos principales:

- Las fallas y las superficies de cizallamiento.
- Las grietas y las diaclasas.

Las fallas son macroestructuras de rocas de la corteza terrestre, donde los bloques en contacto están desplazados uno respecto al otro. La escala de estas estructuras va desde centenares de kilómetros (estructuras observables en fotografías aéreas) a la del afloramiento y muestra de mano (denominadas microfallas). Según MERCIER & VERGELY (2001), suelen llamarse “superficie de cizallamiento” a las microfallas donde el desplazamiento es muy pequeño.

Un sistema de falla está compuesto por dos bloques de roca y un plano de falla, que al estar pulido por la fricción entre los distintos bloques, se denomina *espejo de falla*; en este plano se pueden observar con frecuencia las *estrías de falla* (véase la Fig. 8.8), producidas por el mismo fenómeno de fricción. Las estrías indican la dirección y sentido del movimiento o deslizamiento entre los bloques. Cuando el plano de falla está inclinado, lo cual sucede en la mayoría de los casos, el bloque situado sobre este plano se denomina *techo* y el situado debajo se denomina *piso*. El *salto* es la distancia vertical entre dos puntos ubicados cada uno en un bloque distinto, los cuales antes del movimiento se encontraban al mismo nivel. La *pendiente* de la falla ( $\alpha$ ) es el ángulo presente entre el plano de falla y el plano horizontal. Cuando el plano es vertical ( $\alpha = 90^\circ$ ), la falla se denomina *falla de rumbo*, y el movimiento entre los bloques es horizontal.

### **Tipos de fallas**

Los tipos de fallas descritos a continuación se seleccionaron siguiendo los criterios del ángulo del plano de falla con respecto a un plano horizontal, y según la dirección de movimiento (deslizamiento) entre los bloques. Es una descripción general de los conceptos básicos. Las fallas descritas pueden estar asociadas o mezcladas entre sí, véase figura 8.9.

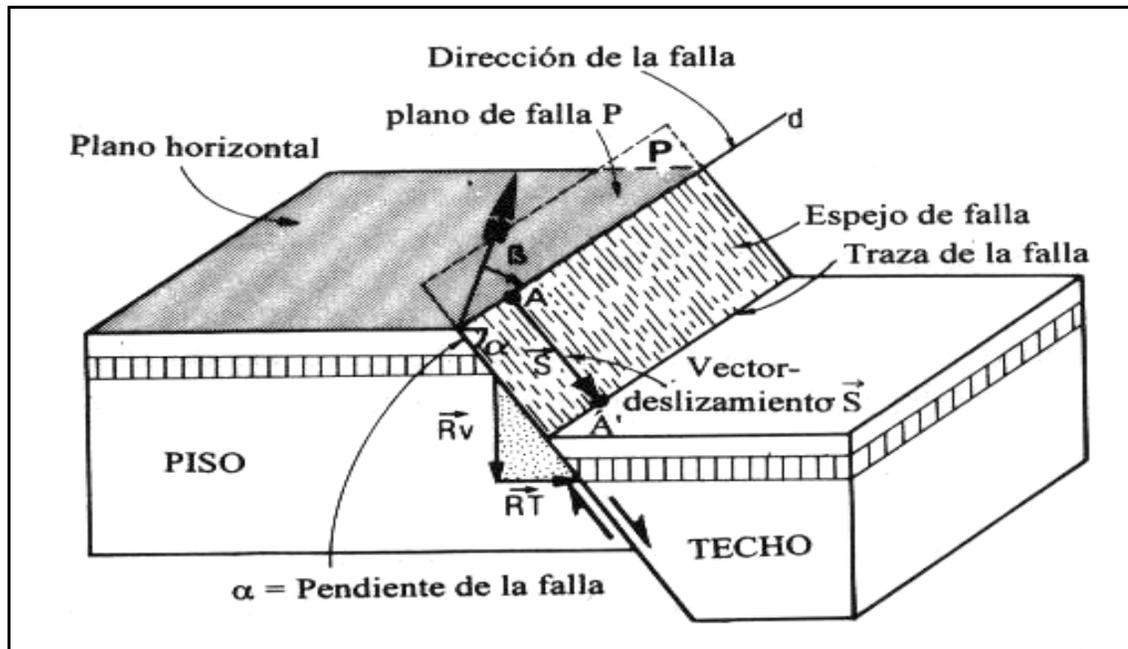


Figura 8.8. Nomenclatura de las fallas (tomado de MERCIER & VERGELY, 2001).

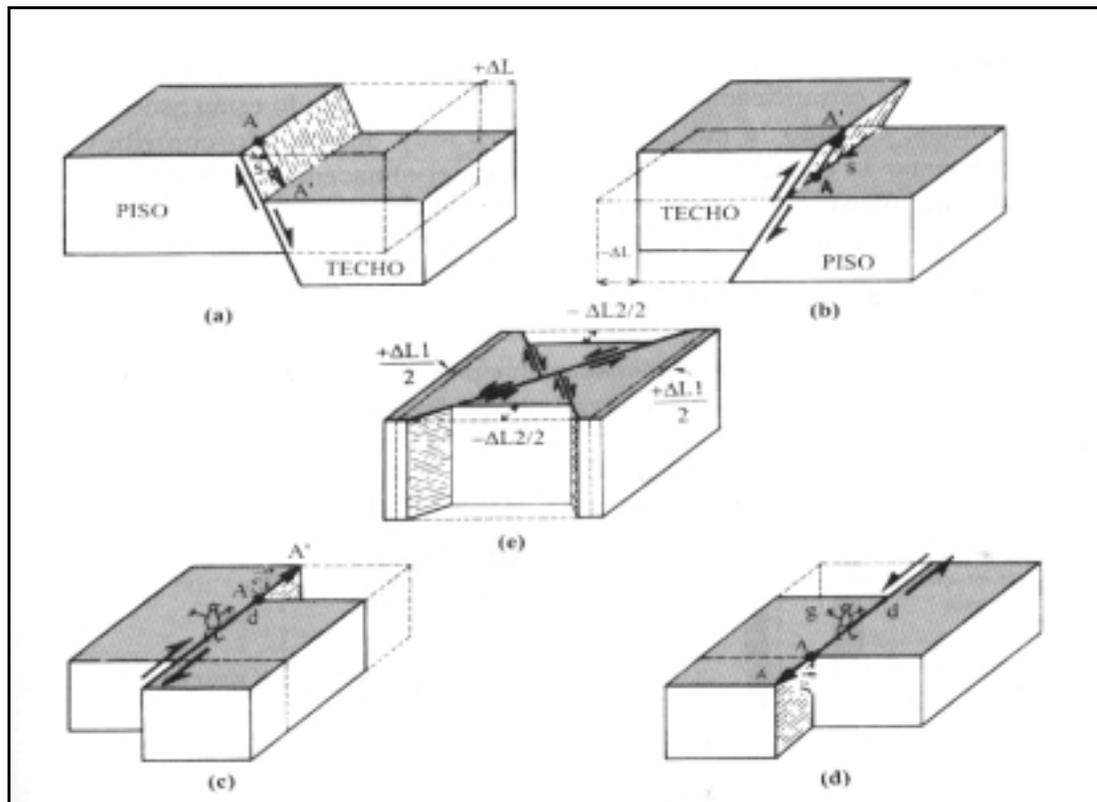


Figura 8.9. Tipos de fallas según la pendiente del plano de falla y según el deslizamiento entre los bloques en contacto (tomado de MERCIER & VERGELY, 2001).

Las *Fallas Normales* son las que presentan un plano de falla inclinado (subvertical) en donde el techo se desliza hacia abajo respecto al piso, produciéndose un alargamiento horizontal del material debido a la deformación. Cuando el techo se desliza hacia arriba respecto al piso, la falla es denominada *Falla Inversa* y a causa del movimiento se produce un acortamiento horizontal del material rocoso.

Las *fallas de rumbo* (donde el plano de falla es vertical) se denominan como *dextrales* cuando un observador, parado frente o sobre la dirección de la falla, determina que el bloque situado a su derecha se desliza hacia él; si por el contrario, el bloque situado a su izquierda se desliza hacia él, entonces la falla se denomina *falla de rumbo siniestral*.

### **Grietas de tensión**

Según MERCIER & VERGELY (2001), las grietas de tensión son fisuras o fracturas donde la sección de los bordes están separados en el centro y juntos en los extremos. No presentan desplazamiento entre los bordes, sino separación. Esta apertura generalmente está rellena de minerales fibrosos, cristalizados perpendicularmente a los lados. Su abertura varía generalmente del milímetro al decímetro y la longitud axial varía de los centímetros a algunas decenas de metros, véase figura 8.10.

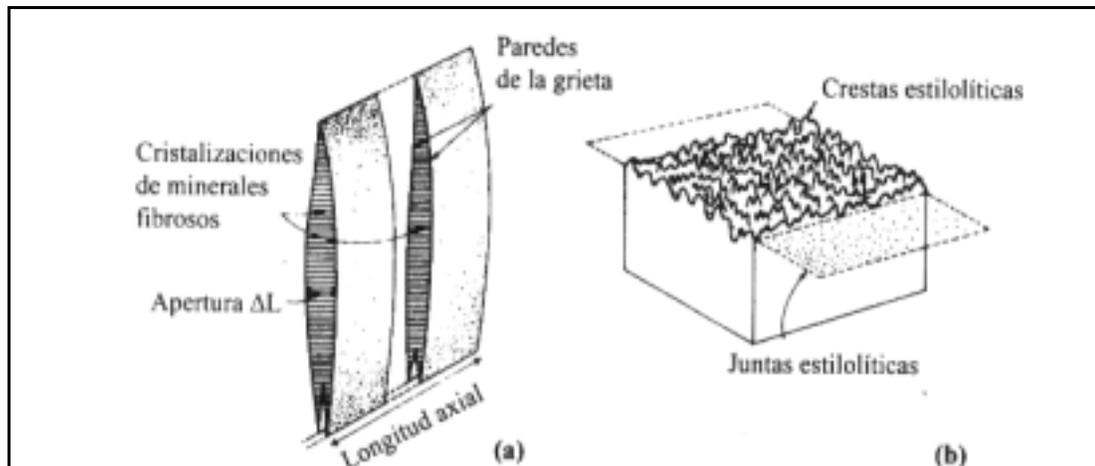
### **Diaclasas**

Al igual que las grietas de tensión, las diaclasas no presentan desplazamiento entre los bordes, sino apertura, sin embargo, se diferencian de las anteriores porque la separación entre los bordes es constante para el centro y los bordes. Frecuentemente suelen estar asociadas a las fallas, pudiendo o no estar rellenas de mineralizaciones y formando redes.

### **Juntas estilolíticas o estilolitos**

Según MERCIER & VERGELY (2001), estas estructuras son superficies irregulares que presentan picos y depresiones denominados “picos estilolíticos” o “estilolitas”, donde la magnitud varía desde los milímetros a pocos centímetros. Están formadas por disolución en el contacto entre los bloques debido a una compresión sufrida por

presión. Se presentan abundantemente en las calizas, pero también pueden encontrarse en rocas silíceas, véase figura 8.10.

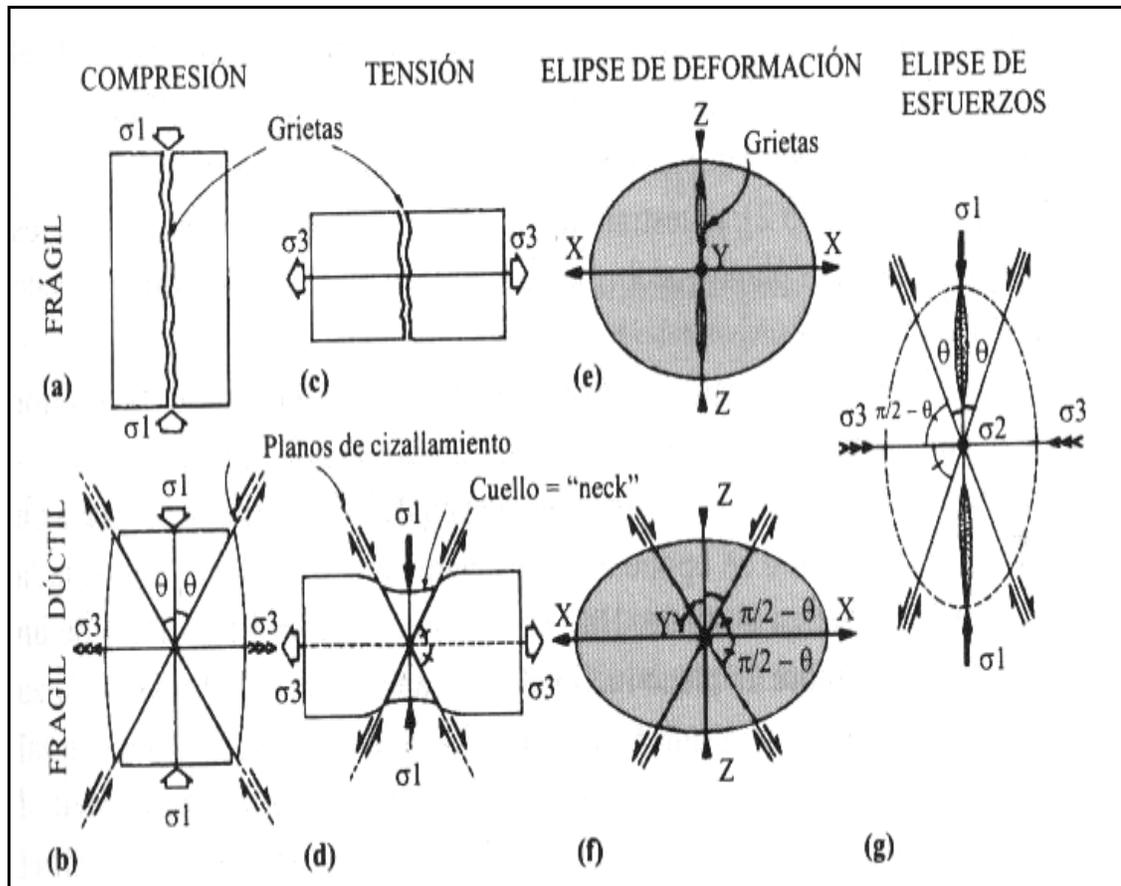


**Figura 8.10.** Grietas de tensión y juntas estilolíticas (tomado de MERCIER & VERGELY, 2001).

### Deformación discontinua en medios discontinuos

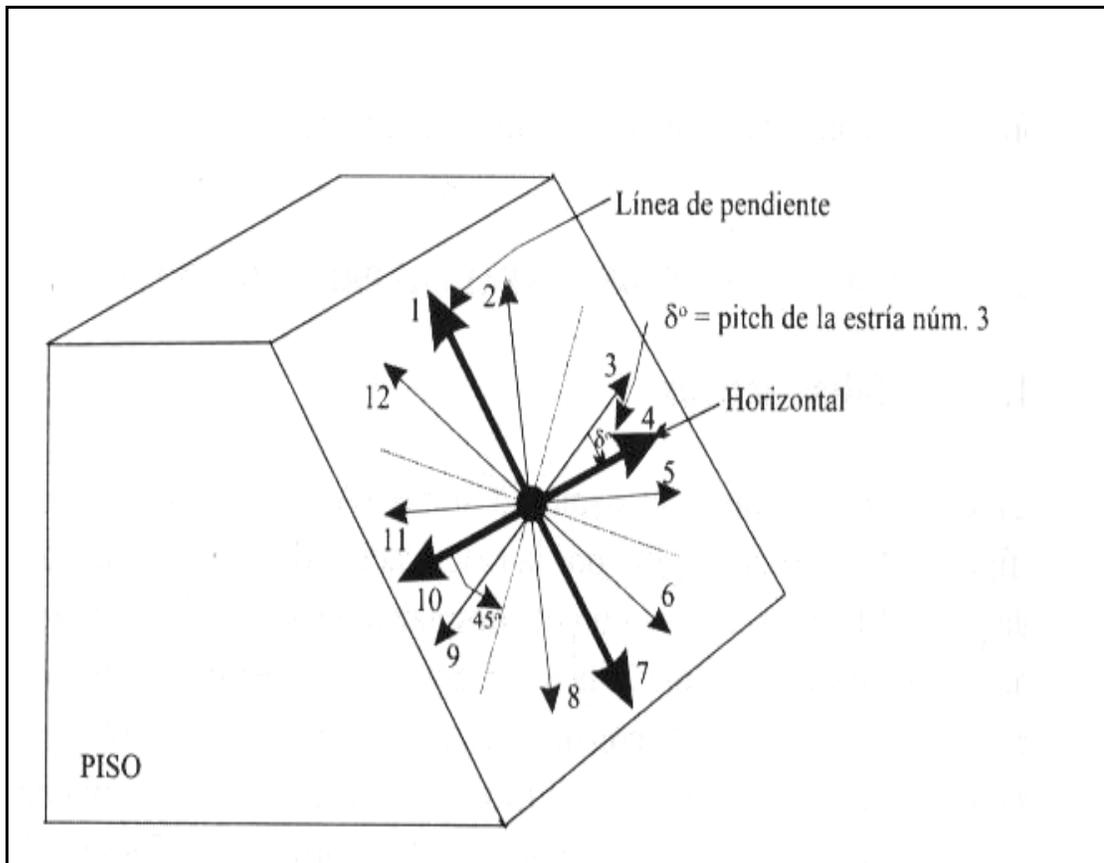
Como se mencionó anteriormente, la deformación puede superponerse a períodos anteriores de deformación, lo cual indica que un cuerpo rocoso ya deformado puede sufrir una nueva fase de deformación, que puede ser del mismo tipo o de otro. En este caso se estudiará la deformación discontinua sobre cuerpos rocosos con fases anteriores de deformación discontinua. Los cuerpos rocosos presentes en la zona superior de la corteza continental están expuestos a deformación discontinua o por ruptura, ya que se encuentran en condiciones de presión y temperatura para la zona elástico-frágil.

Como se mencionó en el marco teórico, para MERCIER & VERGELY (2001), un cuerpo rocoso fracturado, “al ser sometido a un campo de esfuerzos, se deforma principalmente por el deslizamiento de las fracturas preexistentes”, esto es debido a que estas fracturas son las zonas de mayor debilidad del cuerpo. Sin embargo en ensayos experimentales se ha comprobado que para un material dado en condiciones de presión y temperatura iguales, la resistencia a la ruptura de las rocas es generalmente mucho menor a la tensión que a la compresión; en estos experimentos se comprobó cualitativamente también la orientación de los planos de fractura con relación a los ejes Z y X de la deformación, véase figura 8.11.



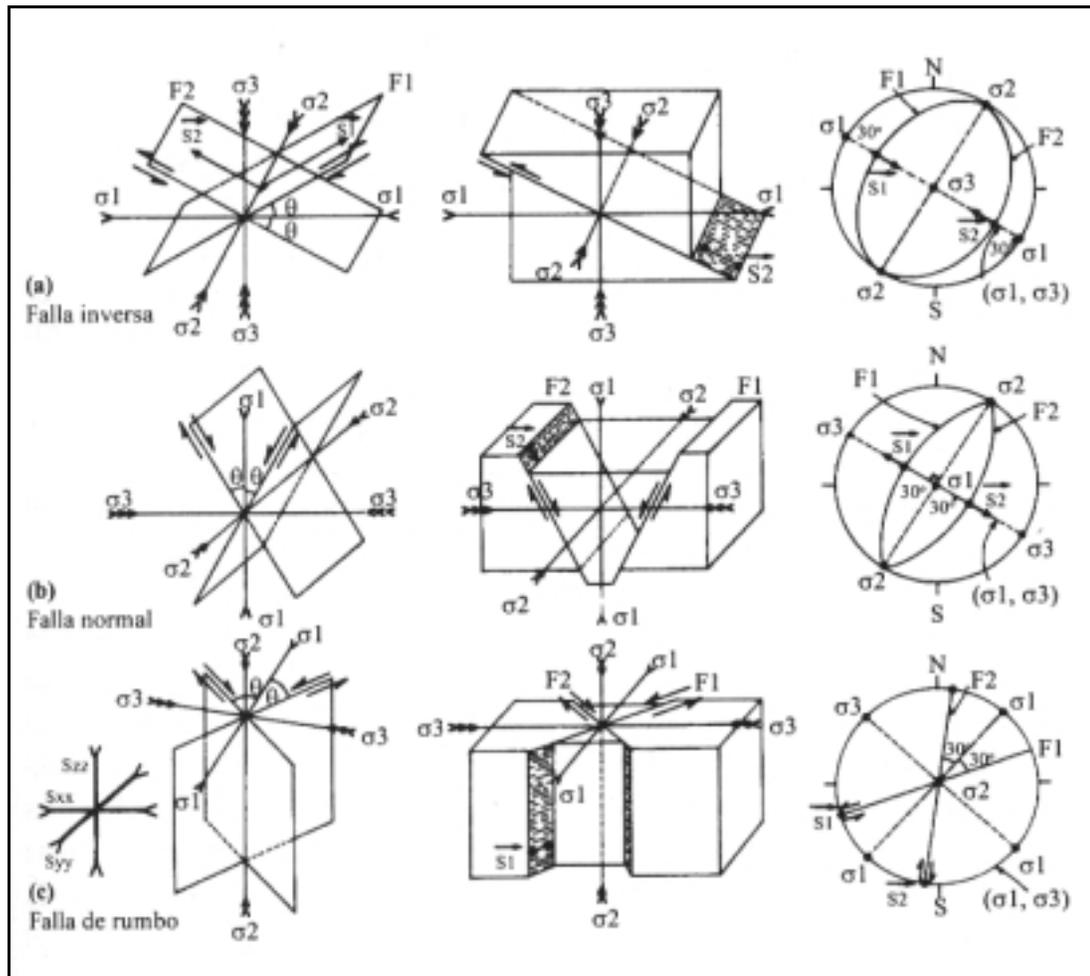
**Figura 8.11.** Planos de fractura originados por compresión y tensión experimental (tomado de MERCIER & VERGELY, 2001).

Según datos geofísicos se conoce que la mayoría de los sismos conocidos son el resultado de la reactivación de fallas preexistentes en la corteza. Estos sismos generalmente poseen movimientos horizontales y verticales, indicando que son producidos en fallas oblicuas. Estas fallas se determinan por la inclinación del cabeceo (pitch) de la estría, o el ángulo de la estría con respecto a una línea horizontal del plano. En este sentido, cuando el cabeceo (pitch) es superior a  $45^\circ$ , la falla se denomina normal o inversa, dependiendo del movimiento de la misma; cuando el cabeceo es inferior a  $45^\circ$ , la falla es de rumbo dextral o de rumbo siniestral, además, se le agrega un calificativo "normal" o "inversa" según el caso; de modo que una falla de este tipo puede denominarse "falla de rumbo dextral normal" o "falla de rumbo siniestral inversa", véase figura 8.12.



**Figura 8.12.** Mecanismos de deslizamiento de un plano de falla: (1) inversa pura, (2) inversa-siniestral, (3) siniestral-inversa, (4) de rumbo siniestral, (5) siniestral-normal, (6) normal-siniestral, (7) normal pura, (8) normal-dextral, (9) dextral-normal, (10) de rumbo dextral, (11) dextral-inversa, y (12) inversa-dextral (tomado de MERCIER & VERGELY, 2001).

MERCIER & VERGELY (2001) señalan que las fallas de rumbo sólo indican con seguridad un régimen tectónico de deslizamiento de rumbo (donde  $\sigma_2$  es vertical) si y sólo si resultan de la ruptura en un medio rocoso continuo, donde existe el modelo de ANDERSON (1951), véase figura 8.13. De otro modo, si el cuerpo rocoso está previamente fracturado, las nuevas fallas de rumbo pueden presentarse por un régimen tectónico de deslizamiento de rumbo ( $\sigma_2$  vertical), en un régimen tectónico compresivo ( $\sigma_3$  vertical) o en un régimen tectónico de extensión ( $\sigma_1$  vertical). Con esto los autores quieren decir, que la cinemática de una falla no permite definir un régimen tectónico, el cual solo puede ser determinado por el análisis de un grupo de fallas.



**Figura 8.13.** Modelo de ANDERSON (1951) para la interpretación dinámica de las fallas (tomado de MERCIER & VERGELY, 2001).

#### 8.1.4 Deformación continua

En condiciones naturales, los cuerpos rocosos pueden sufrir deformación continua o dúctil. La deformación continua puede ser homogénea o heterogénea. El mejor ejemplo de este tipo de deformación son los pliegues, los cuales serán tratados como un capítulo aparte. En este grupo se encuentra la foliación y la esquistosidad, que son estructuras típicas de este tipo de deformación.

### Estructuras de la deformación continua homogénea

Según MERCIER & VERGELY (2001), las rocas que presentan este tipo de deformación, la cual las comprime o alarga, se llaman “*tectonitas*”. Dentro de las tectonitas se distinguen tres (3) tipos principales: las tectonitas “S”, que poseen una estructura planar solamente (esquistosidad o foliación); las tectonitas “L”, que poseen una estructura solamente lineal (lineación) y las tectonitas “S-L”, que poseen una estructura a la vez planar y lineal; estas últimas son las estructuras más abundantes. Además de presentar estas estructuras, las rocas pueden poseer elementos internos capaces de deformarse, por lo que pueden servir de marcadores de la deformación, véase figura 8.14.

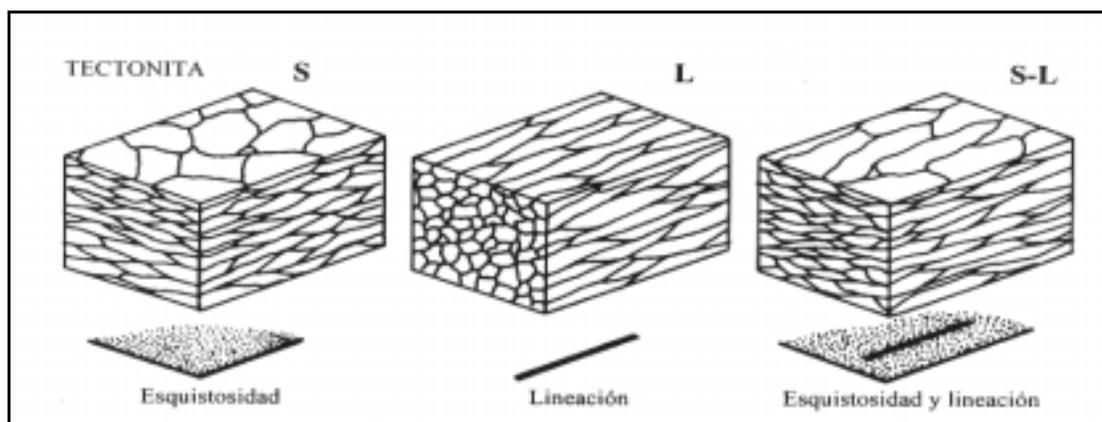


Figura 8.14. Principales tipos de tectonitas (tomado de MERCIER & VERGELY, 2001).

### Foliación

NICOLAS (1987) señala que existen estructuras penetrativas y estructuras no penetrativas que están marcadas por una estratificación o microestratificación. Este autor clasifica a la foliación como una estructura penetrativa y la separa de la esquistosidad pizarrosa porque el tamaño de los cristales de cuarzo, calcita y filosilicatos, que se distribuyen paralelamente a una superficie planar es mayor; estos granos son generalmente visibles, llegando a alcanzar varios milímetros. Además, la esquistosidad pizarrosa sólo se desarrolla en rocas ricas en filosilicatos, mientras que

la foliación abarca mayor cantidad de rocas, como gneises, mármoles, cuarcitas, micaesquistos, peridotitas, etc.

Según MERCIER & VERGELY (2001), las foliaciones son estructuras planares penetrativas en el cuerpo de roca, es decir, ocupan la totalidad del cuerpo rocoso; son de origen tectónico y a través de ellas la roca se fractura preferentemente (véase figuras 8.15 y 8.16). Estos autores separan varios tipos de foliación (véase Fig. 8.15):

De tipo *continuo* o *foliación de flujo*, cuando ninguno de los planos de foliación, también denominados *planos de fisilidad*, son observables a través del microscopio; un ejemplo conocido de este tipo lo representa la *foliación pizarrosa*, la cual presenta microscópicamente laminaciones que difícilmente pueden ser observadas al microscopio.

De tipo *espaciado*, cuando se pueden observar en la roca, las zonas de foliación o planos de fisilidad, los cuales separan a la roca en lo que los autores denominan *microlitones*.

De tipo *desunido* según la importancia de la deformación de los *microlitones*. Cuando la foliación desunida no es muy importante, los autores la separan de la foliación tipo *crenulación* conocida también foliación con micropliegues, típica de rocas con foliación original rica en filitas.

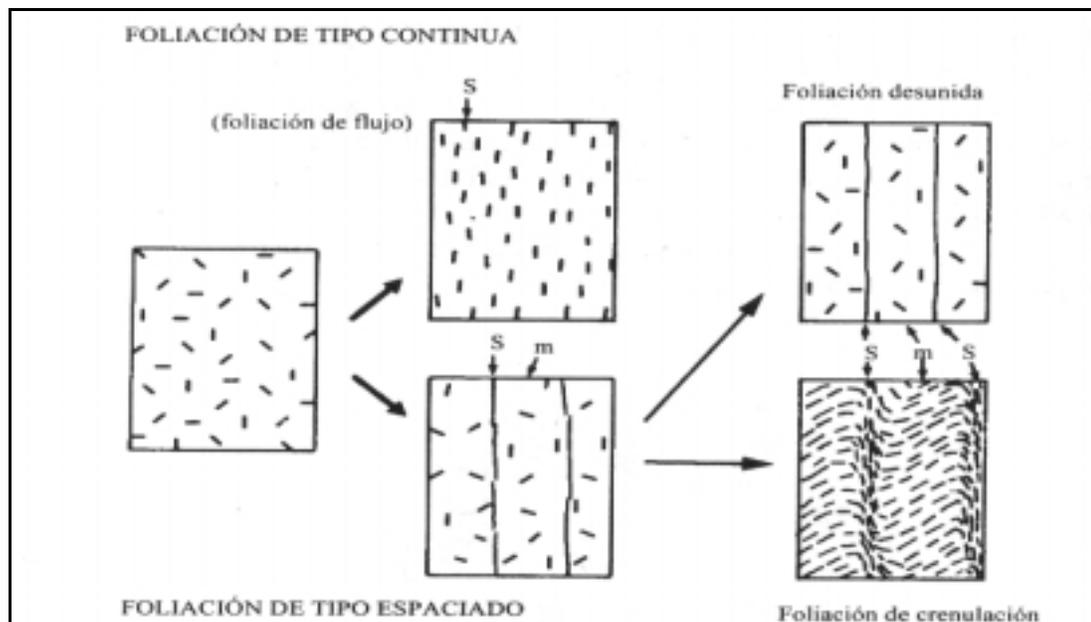
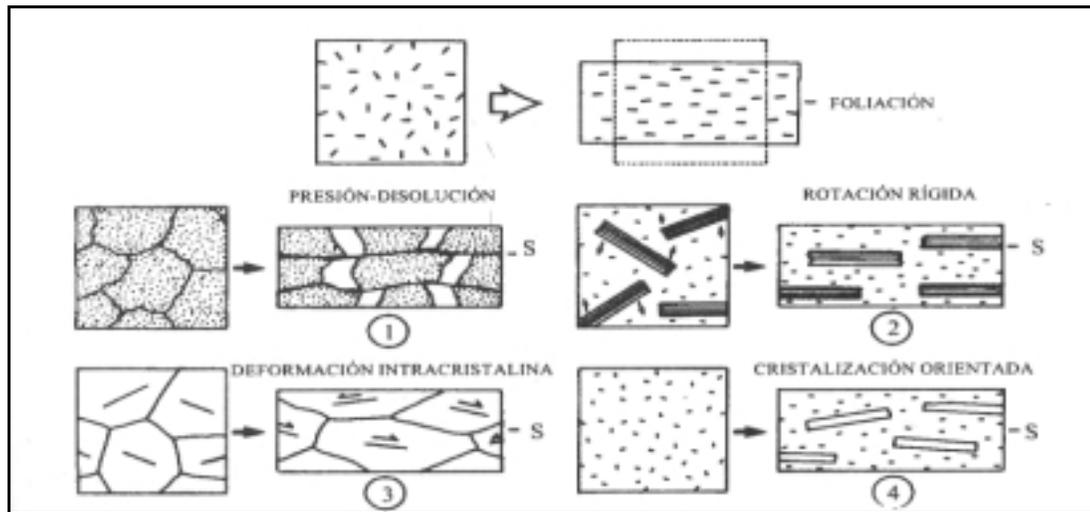


Figura 8.15. Tipos de foliación (tomado de MERCIER & VERGELY, 2001).



**Figura 8.16.** Mecanismos que intervienen en la formación de la foliación (tomado de MERCIER & VERGELY, 2001).

### Esquistosidad.

Según lo expuesto en los párrafos anteriores, el término foliación es similar al término de esquistosidad, diferenciándose porque la esquistosidad presenta un contraste mineralógico entre las distintas láminas, originada por las transformaciones metamórficas que ha sufrido el cuerpo rocoso en su historia deformacional.

Otros autores como HOBBS *et al.* (1981), diferencian los dos conceptos según el tamaño de grano y definen como esquistosidad a la foliación en las rocas que posea un tamaño de grano suficientemente grande para poderse llamar “esquistos”. El tamaño de grano es estimado en silicatos, básicamente en función de la capacidad de ser observables a simple vista. NICOLAS (1987), no menciona la diferencia entre estos dos conceptos, por lo cual tienden a confundirse.

### Lineaciones

Según MERCIER & VERGELY (2001), las lineaciones son estructuras penetrativas, paralelas entre si, visibles a escala de muestras de mano. Es de destacar que bajo este concepto se encierra una gran cantidad de lineaciones de distinto origen, ya sea

sedimentario, tectónico o magmático, en este trabajo se señalan solamente las de origen tectónico, véase figura 8.17.

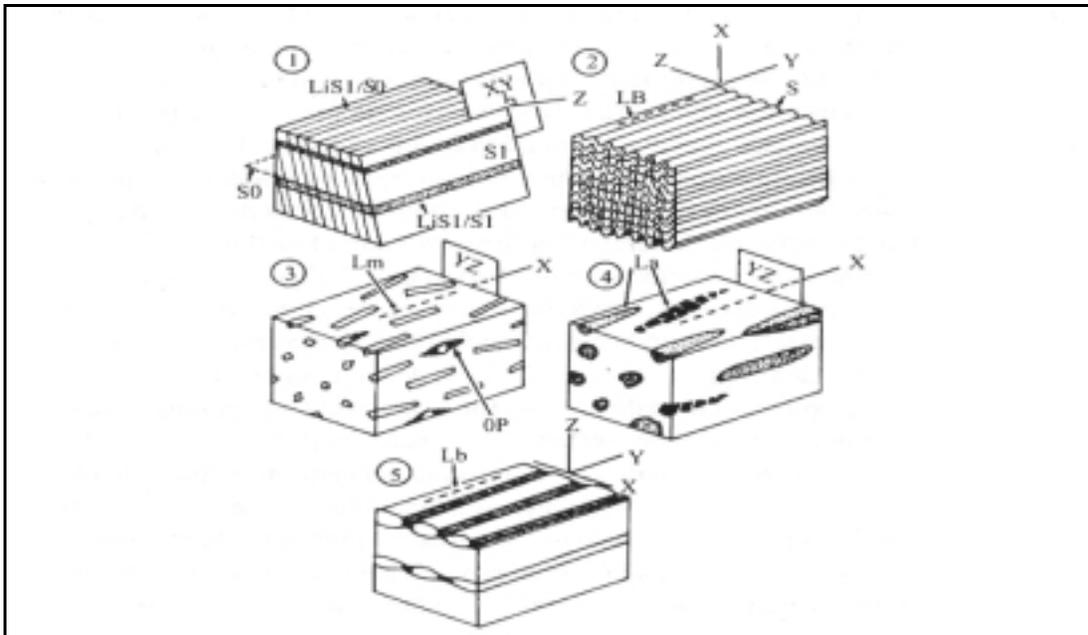
Las *lineaciones de intersección*, son el producto de la intersección de dos superficies, como dos foliaciones.

Las *lineaciones de crenulación*, corresponden a un plegamiento de una superficie, como una foliación para las rocas metamórficas (foliación de crenulación), estas lineaciones corresponden a los ejes de los micropliegues.

Las *lineaciones minerales*, son las que se producen por el alargamiento o reorientación de minerales a causa de una fase de deformación.

Las *lineaciones de alargamiento*, resultan del estiramiento de elementos internos del cuerpo de roca, tal como granos, minerales, fósiles, etc.

La *lineación del budinaje*, resultado de una contracción regular y repetida de zonas competentes dentro de una matriz dúctil; estos niveles competentes se rompen en trozos paralelos, según zonas de ruptura, los cuales generalmente se cierran por la cristalización de distintos minerales.



**Figura 8.17.** Tipos de lineaciones: (1) de intersección ( $L_I$ ); (2) de microplegamiento ( $L_B$ ); (3) mineralógica ( $L_m$ ), donde se observa alargamiento de minerales prismáticos o zonas de presión (OP); (4) de alargamiento ( $L_a$ ), dúctil (figura gris) o frágil (figura negra); (5) de budinaje ( $L_b$ ) (tomado de MERCIER & VERGELY, 2001).

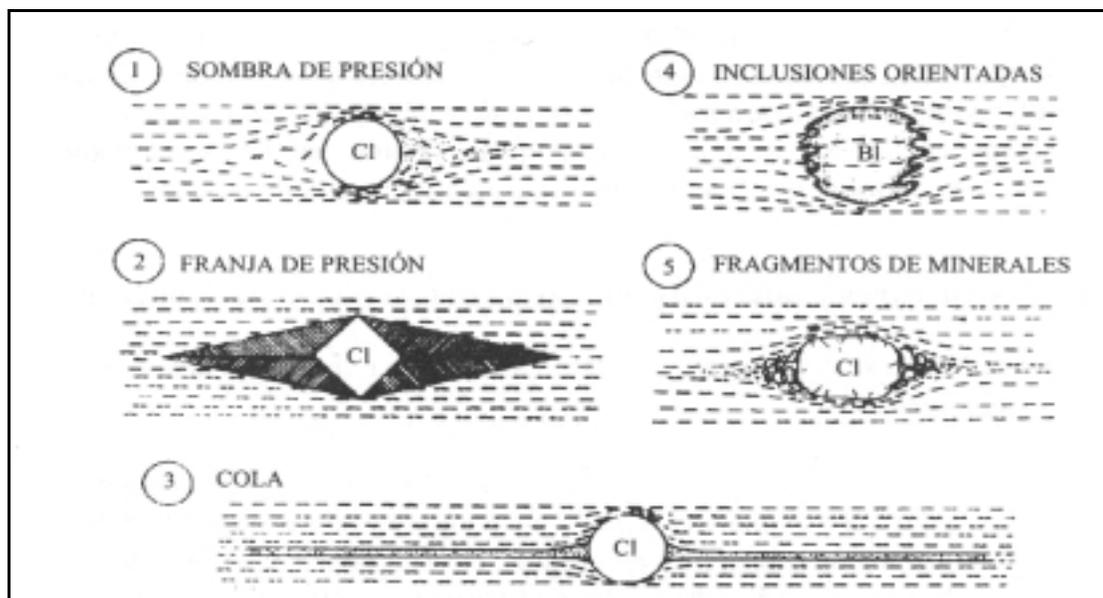
### Estructuras de la deformación continua heterogénea

Estas estructuras son muy importantes para el análisis estructural, puesto que según MERCIER & VERGELY (2001), pueden servir para determinar el sentido de cizallamiento principal. La geometría de estas estructuras depende de la heterogeneidad del material, ligada al contraste mecánico entre los elementos y la matriz. Este es uno de los puntos de partida del análisis microtectónico, puesto que estas estructuras son utilizadas para definir los criterios de trabajo.

Las estructuras descritas a continuación dependen de la escala de observación, teniendo, según NICOLAS (1987), estructuras a escala microscópica, tales como sombras de presión y estructuras a escala de afloramiento, tales como budinajes y zonas de cizallamiento.

### Estructuras de escala microscópica

Según NICOLAS (1987), las estructuras más comunes encontradas a esta escala son las colas de cristalización o *sombras de presión*, las *cristalizaciones con inclusiones espirales* y los *crecimientos fibrosos en microfracturas*, véase figura 8.18. Estas estructuras presentan una relación de simetría con el tipo de deformación, véase figura 8.19.



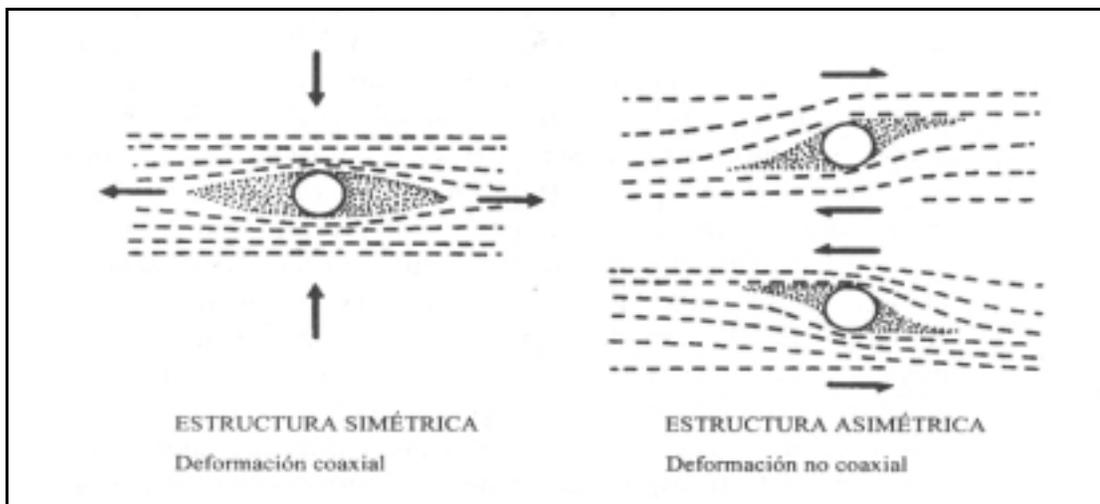
**Figura 8.18.** Microestructuras de la formación heterogénea (tomado de MERCIER & VERGELY, 2001).

Las sombras de presión son estelas dobles alargadas sobre la dirección de “X” y ocasionalmente sobre la dirección de “Y”, presentes en algunos cristales de gran dureza, como pirita, granate, feldespato, situados en matrices mayormente deformables.

Estas estructuras se denominan como *zonas resguardadas* cuando los minerales de la estela presentan una estructura fibrosa o lamelar independiente de la esquistosidad encajante, y *sombras de presión o colas de cristalización* para todos los demás casos.

Los minerales presentes en rocas con gran desarrollo metamórfico contienen generalmente *inclusiones* que poseen una alineación específica de micropliegues o espirales; los porfidoblastos que presentan estas inclusiones con mayor frecuencia son el granate, la albita, la andalucita y la estauroлита. Estas inclusiones pueden tener una composición variable entre cuarzo, anfíbol, micas, magnetitas, etc.

Cuando la cristalización es sintectónica, los porfidoblastos presentan inclusiones en doble espiral, por el contrario, si los porfidoblastos se desarrollan después de la deformación, pueden contener inclusiones sigmoides, si la trama en la que crecen está microplegada.



**Figura 8.19.** Relaciones entre la simetría de las estructuras y el tipo de deformación (tomado de MERCIER & VERGELY, 2001).

Cuando existe precipitación mineral del fluido presente en fracturas que han permanecido abiertas por distintos factores, se producen crecimientos minerales en

fibras o láminas paralelas, el cual puede crear orientaciones tanto de forma, como también de la red cristalina si la velocidad de crecimiento es anisótropa.

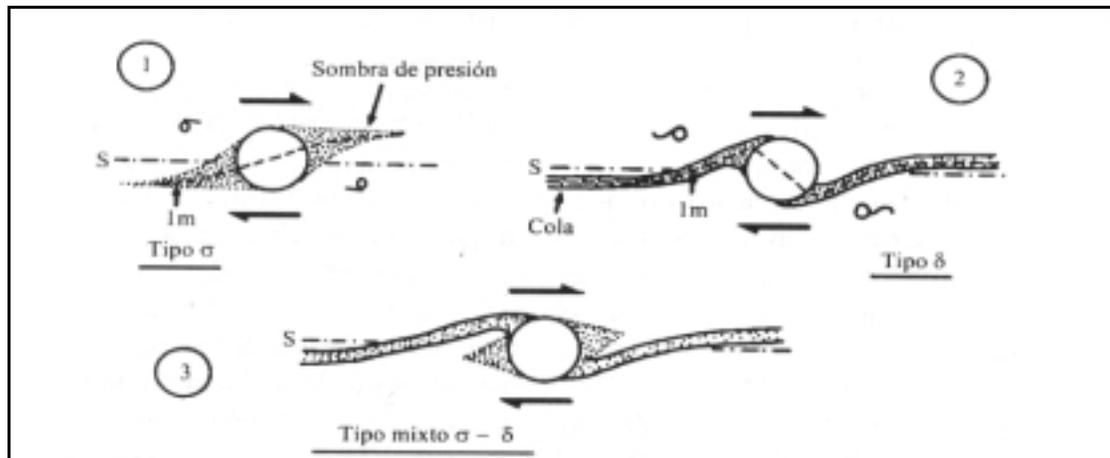
## **Estructuras a escala de afloramiento**

### **Asociadas al cizallamiento**

Según MERCIER & VERGELY (2001), existen principalmente dos tipos de estructuras, las cuales relacionan la presencia de matriz en torno a un elemento, y sirven como indicadores tectónicos del sentido del cizallamiento, véase figura 8.20. Las estructuras son denominadas por los autores, como tipo  $\sigma$  y tipo  $\delta$ , donde la forma de las letras griegas sirven de esquema para la forma de las estructuras. Además de estas dos estructuras, los autores citan un tercer tipo, que resulta de la mezcla entre las dos anteriores ( $\sigma$ - $\delta$ ), siendo este el menos abundante.

MERCIER & VERGELY (2001), indican que existe una teoría sobre la posibilidad que la forma especial de estas estructuras está controladas por dos factores principales, uno es el grado de acoplamiento entre el objeto y la matriz y el otro es el gradiente de deformación de esfuerzo cortante a través de los planos de cizallamiento de la matriz. Así, los autores, indican que es posible separar y distinguir los indicadores estructurales correspondientes a la rotación de elementos de los indicadores correspondientes a las superficies de cizallamiento. Estos indicadores representan uno de los puntos de partida para el estudio de los criterios microtectónicos para minerales específicos descritos más adelante. Para agrupar esquemáticamente las figuras típicas de estos indicadores en función de los dos parámetros se presenta una tabla indicada en la figura 8.20. En esta tabla se muestran los tres casos de variación del gradiente de deformación por esfuerzo y las estructuras relacionadas en función del acoplamiento del elemento a la matriz.

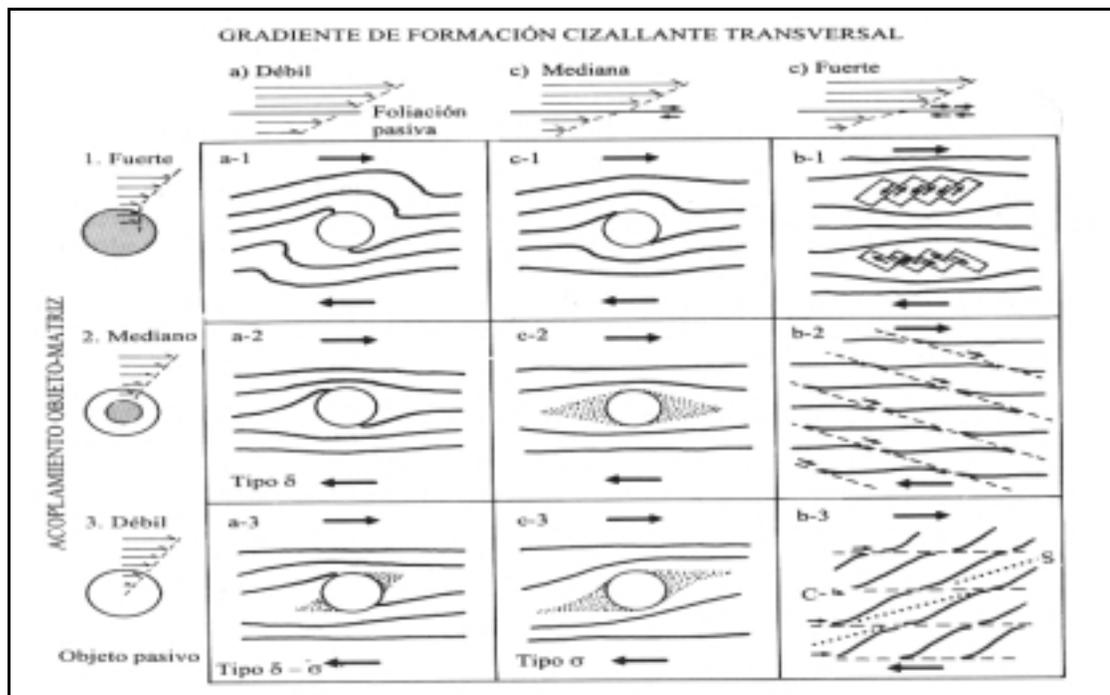
**Caso 1.** Si el gradiente de deformación por esfuerzo cortante a través de los planos de cizallamiento es nulo o pequeño; entonces el cizallamiento simple de la matriz es homogéneo.



**Figura 8.20.** Principales indicadores del sentido de cizallamiento, según PASSCHIER & SIMPSON (1986). (tomado de MERCIER & VERGELY, 2001).

**Caso 2.** Si el gradiente de deformación del esfuerzo cortante a través de los planos de cizallamiento es fuerte; entonces el cizallamiento simple de la matriz es heterogéneo.

**Caso 3.** El gradiente de deformación por esfuerzo cortante a través de los planos de cizallamiento es moderado.



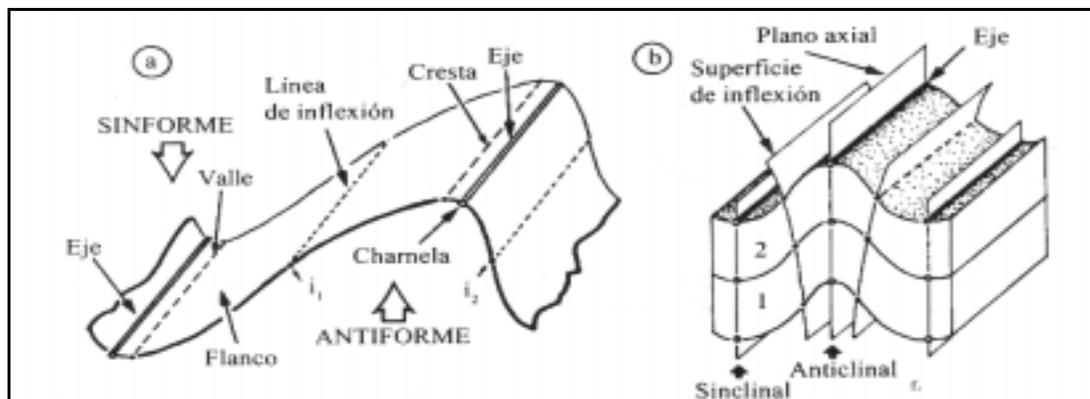
**Figura 8.21.** Tabla de la forma y orientación de los indicadores cinemáticos en las zonas con deformación de cizalla (rotacional) según BJORNERUD 1989. (tomado de MERCIER & VERGELY, 2001).

Cada uno de los tres casos presentados anteriormente se dividen en tres subclases en relación a al grado de unión del elemento con la matriz, el cual puede ser fuerte, moderado o débil, como puede observarse en la figura 8.21.

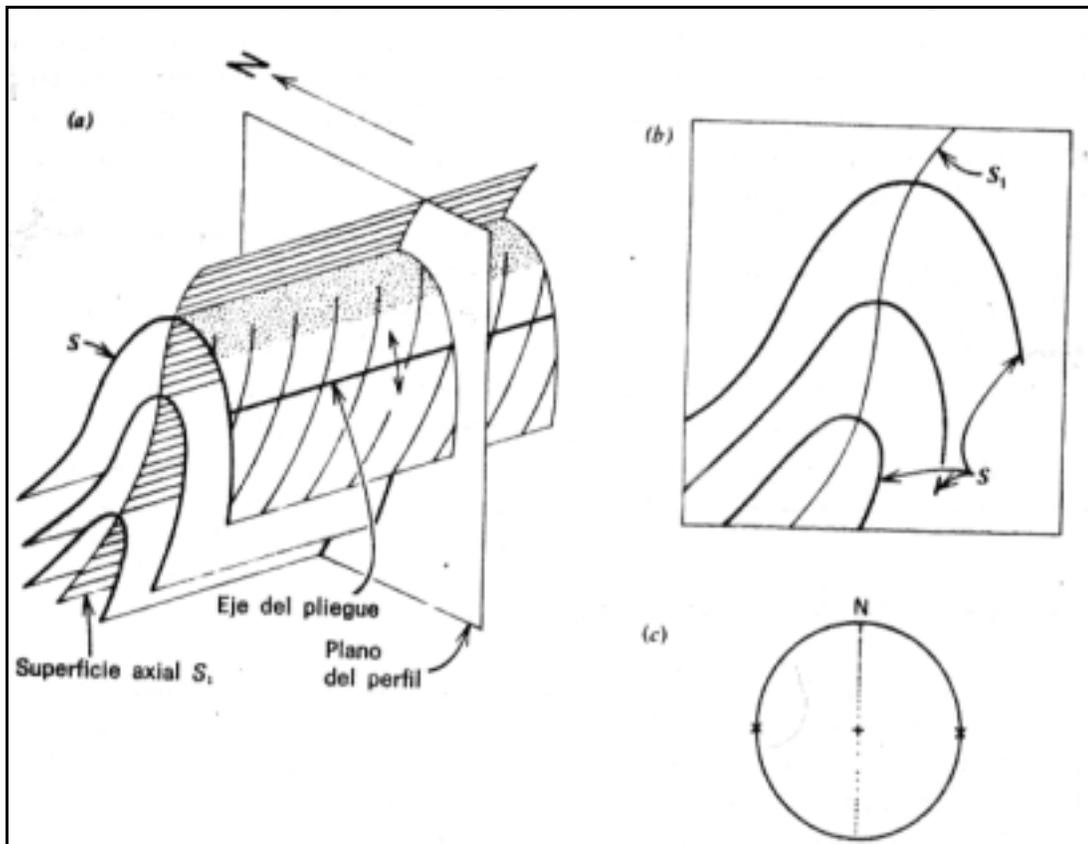
### 8.1.5 Pliegues

Según MERCIER & VERGELY (2001), estas estructuras pertenecen a la deformación continua heterogénea se manifiestan por una sucesión de curvas de una superficie de referencia, la cual puede ser un espejo de falla, una foliación, entre otras. Según HOBBS *et al.* (1981), los pliegues se forman en condiciones de esfuerzo muy variadas, a saber: presión hidrostática, fluidos intersticiales y temperatura.

Los pliegues se denominan *antiformes* cuando su vértice apunta hacia arriba y *sinformes* cuando su vértice apunta hacia abajo. Bajo la condición de que exista una sucesión de capas rocosas que permanezca en su posición original, estos conceptos cambian a *anticlinal* y *sinclinal*, véase figura 8.22.



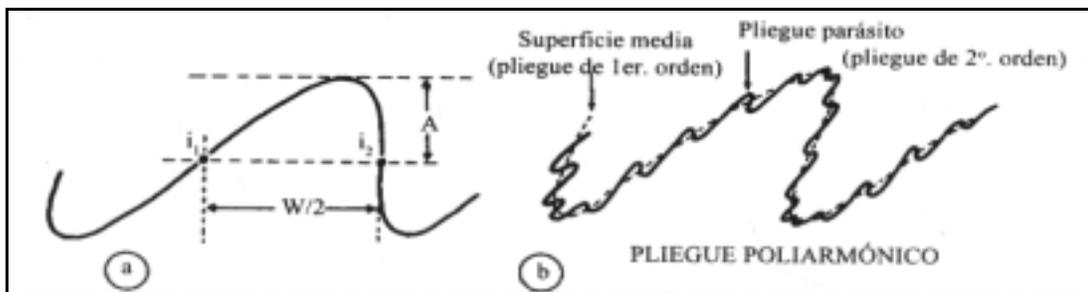
**Figura 8.22.** Los pliegues se componen de los siguientes elementos, un *eje del pliegue*, que es la línea imaginaria trazada en el lugar de curvatura máxima de la superficie plegada; la *charnela*, su sección ortogonal; los *flancos*, que son las zonas comprendidas entre cada eje, los cuales contienen las *líneas de inflexión*. Las líneas de *cresta* y *valle*, son respectivamente el lugar topográfico más elevado y el más bajo de la superficie plegada. El *plano axial* es el lugar geométrico que contiene los ejes de pliegues superpuestos, este plano puede ser una superficie curva, por lo que es más correcto utilizar la denominación de *superficie axial* para definir este elemento (tomado de MERCIER & VERGELY, 2001).



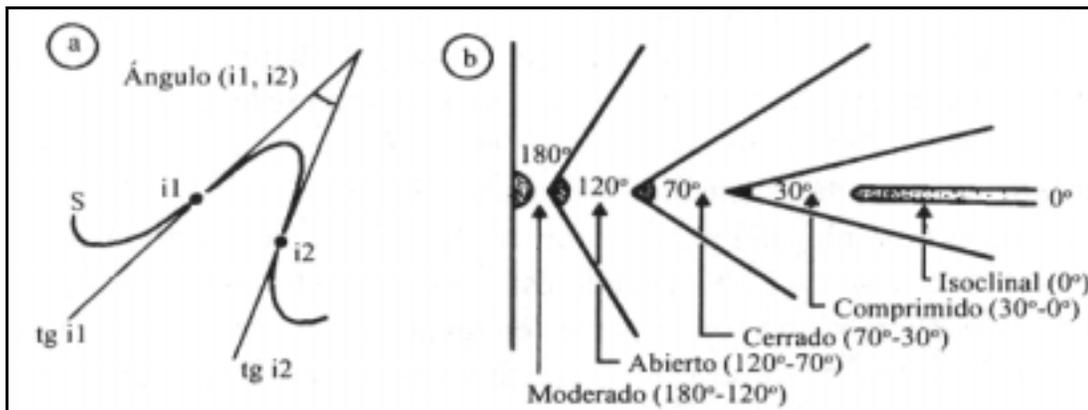
**Figura 8.23.** Representación diagramática de un pliegue horizontal cilíndrico orientado. (a) esquema del pliegue, donde: (S) son las superficies plegadas y (S1) la superficie axial. Zona de charnela punteada, y zona de flanco rayada. (b) Perfil del pliegue. (c) Proyección equiareal del pliegue (tomado de MERCIER & VERGELY, 2001).

La superficie plegada puede poseer ondulaciones de ordenes inferiores, o incluso puede ser un orden inferior a un pliegue mayor, el cual no sea observable a escala de afloramiento, en este caso se definen los *pliegues polimórficos*, donde los pliegues de pequeña longitud de onda son llamados *pliegues parásitos*. El *ángulo de abertura* de un pliegue está definido por el ángulo que forman dos líneas tangentes a la superficie plegada que pasen por los puntos de inflexión (véase figura 8.25).

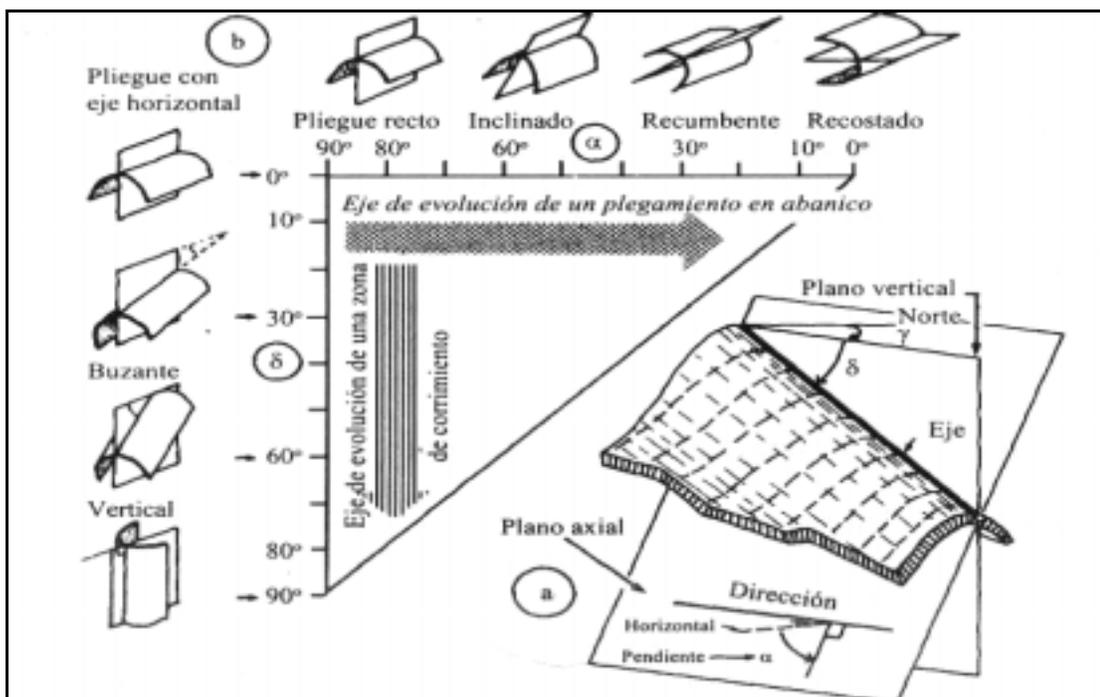
Los pliegues también están definidos por su longitud de onda (véase figura 8.24), su amplitud y por el buzamiento de su superficie axial, como lo indica el modelo propuso por FLEUTY (1964), (véase figura 8.26).



**Figura 8.24.** (a) Amplitud (A) y semilongitud de onda  $W/2$  de un pliegue. (b) superficie media y pliegues parásitos de un pliegue poliarmónico (tomado de MERCIER & VERGELY, 2001).



**Figura 8.25.** (a) Definición del ángulo de apertura de un pliegue. (b) Términos utilizados para la descripción de los pliegues por el ángulo de apertura (tomado de MERCIER & VERGELY, 2001).

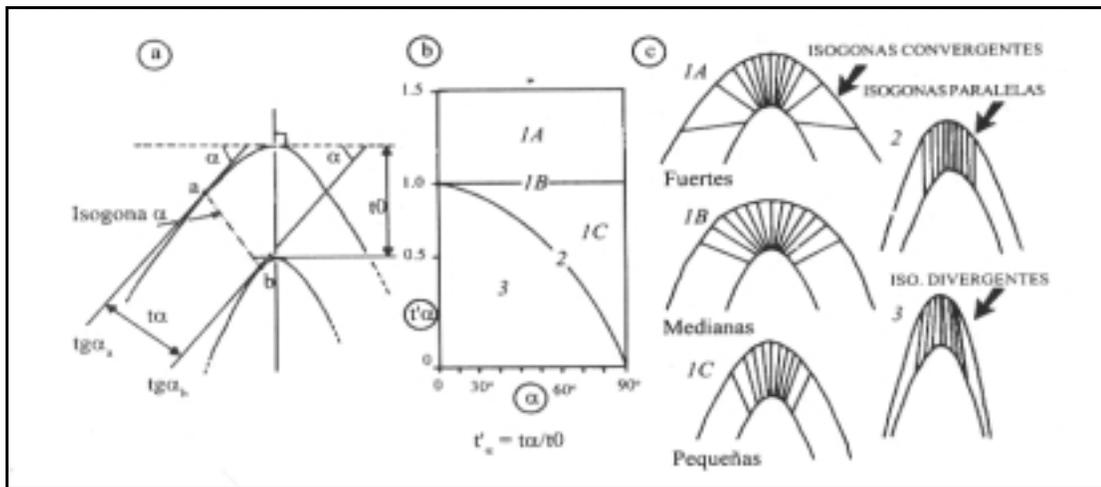


**Figura 8.26.** Diagrama de Fleuty (1964) (tomado de MERCIER & VERGELY, 2001).

### Clasificación de los pliegues

La clasificación más conocida es la que caracteriza la sección perpendicular al eje por el espesor de la capa plegada. Ésta fue establecida por RAMSAY (1967), véase figura 8.27; sin embargo, esta clasificación mayormente utilizada, toma como patrón a la orientación de las *isógonas*, que son líneas de igual pendiente de las superficies plegadas. Así mismo, en sección transversal, se ha observado que según se mantenga el espesor constante en la zona de charnela y los flancos del pliegue, este será de tipo *isopáquico* o *isópaco*, por el contrario, si el espesor no se mantiene, el pliegue será *anisopáquico* o *anisópaco*.

Se ha establecido una clasificación partiendo de las dos clasificaciones antes expuestas, esta es: pliegues isópacos, pliegues similares y pliegues anisópacos.



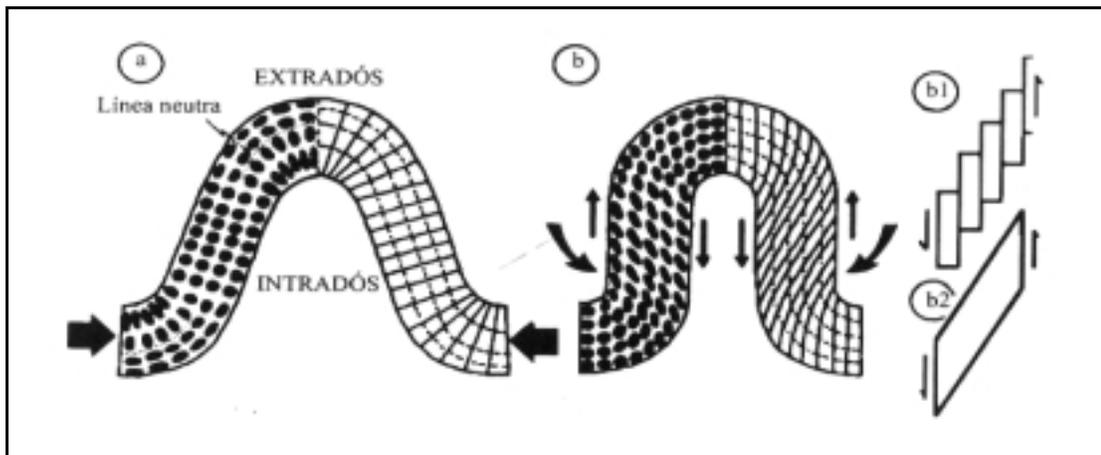
**Figura 8.27.** Clasificación morfológica de los pliegues según RAMSAY (1967). (a) Construcción de la isogona  $\alpha$  en una sección de pliegue. (b) Diagrama que define las clases de pliegues. (c) Geometría de las isógonas en los distintos pliegues (tomado de MERCIER & VERGELY, 2001).

### Pliegues isópacos

Dentro de este tipo de pliegues, que son los que mantienen el espesor constante se ha podido determinar experimentalmente que existen dos subclases según se deforma el cuerpo rocoso, estas son: los *pliegues con deformación de charnela* y los *pliegues con deformación de flancos*.

Estos dos tipos se han distinguido experimentalmente al tomar la sección transversal de un pliegue, agregarle marcadores circulares en secciones separadas por líneas y someterla a distintos tipos de esfuerzos.

En el caso de los *pliegues con deformación de charnela*, se observó que los marcadores circulares en esta zona se transformaban en elipses, permaneciendo imperturbados los marcadores ubicados en los flancos; en la zona de charnela, los marcadores más cercanos a la parte interna del pliegue o *intradós*, sufrían deformación por compresión, mientras que los marcadores situados en la zona externa del pliegue o *extradós*, sufrían deformación por extensión; entre estas dos zonas se presentó una zona muerta, en donde no hubo deformación. Esto indica la particular deformación heterogénea. Por otra parte, los indicadores lineales, los cuales habían sido trazados perpendicularmente a las superficies, se mantienen rectos, pero se reorientan de forma divergente hacia el centro de curvatura del pliegue, véase figura 8.28.



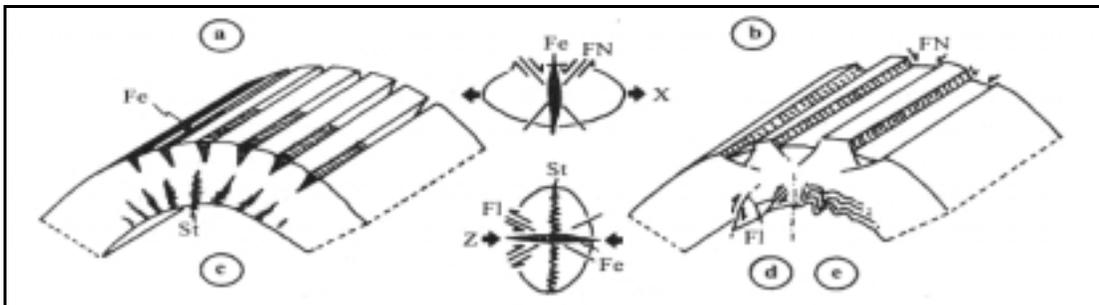
**Figura 8.28.** (a) Pliegue con deformación de charnela. (b) Pliegue con deformación de flancos, (b<sub>1</sub>) por cizallamiento discontinuo, (b<sub>2</sub>) por cizallamiento continuo (tomado de MERCIER & VERGELY, 2001).

En el caso de los *pliegues con deformación de flancos*, los marcadores circulares de la zona de charnela se mantienen imperturbados, pero a medida que se observa hacia los flancos se encuentra una deformación progresiva por esfuerzo cortante simple o cizalla paralela a estos flancos hasta los puntos de inflexión, donde el sentido de cizallamiento se invierte para cada uno de los flancos. Esta deformación de

tipo cizalla se puede llevar a cabo de dos formas distintas (véase figura 8.28), de manera continua o por deslizamiento de superficies discretas, *flexural flow fold* o *flexural slip fold*, respectivamente (RAMSAY, 1967). Los indicadores lineales, que inicialmente eran rectilíneos, adquieren forma sigmoide hacia los flancos del pliegue.

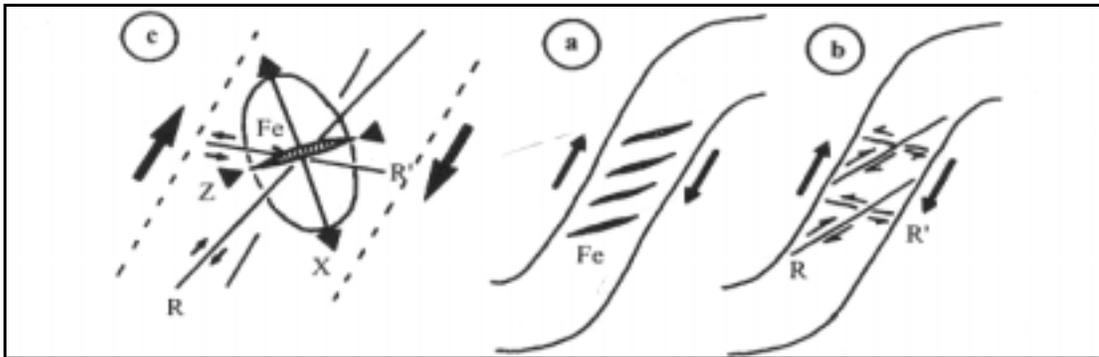
Cuando la deformación vence el límite plástico del cuerpo deformado, se presenta la ruptura de los pliegues, la cual es generalmente rellena por minerales como calcita o cuarzo. En estos casos, se presentan estructuras de ruptura dependiendo de los distintos estados de esfuerzos aplicados en cada zona específica de los pliegues.

En los *pliegues con deformación de charnela* se presentan, en la zona del extradós, grietas de tensión y fallas normales que forman horst y grabens, perpendiculares al eje del pliegue; en la zona del intradós, como está sometida a compresión, se presentan estilolitas con picos perpendiculares al eje del pliegue, las cuales están asociadas a grietas de tensión paralelas a la superficie plegada, así mismo, se pueden presentar otros tipos de estructuras compresivas como fallas inversas y microplegamiento asociados, véase figura 8.29.



**Figura 8.29.** Estructuras presentes en pliegues con deformación de charnela; (a) grietas de tensión, (b) fallas normales ( $F_N$ ), estilolitas (St), fallas inversas ( $F_I$ ), y (e) microplegamiento; se aprecia en el centro de la figura, los nodos de asociaciones de las diversas estructuras (tomado de MERCIER & VERGELY, 2001).

En los *pliegues con deformación en los flancos* se forman estructuras de ruptura asociadas a zonas de cizallamiento, como sistema de grietas en *echelon*, simples o conjugadas; sistemas conjugados de tipo R y R' o cizallamientos secundarios paralelos a la superficie plegada, véase figura 8.30.

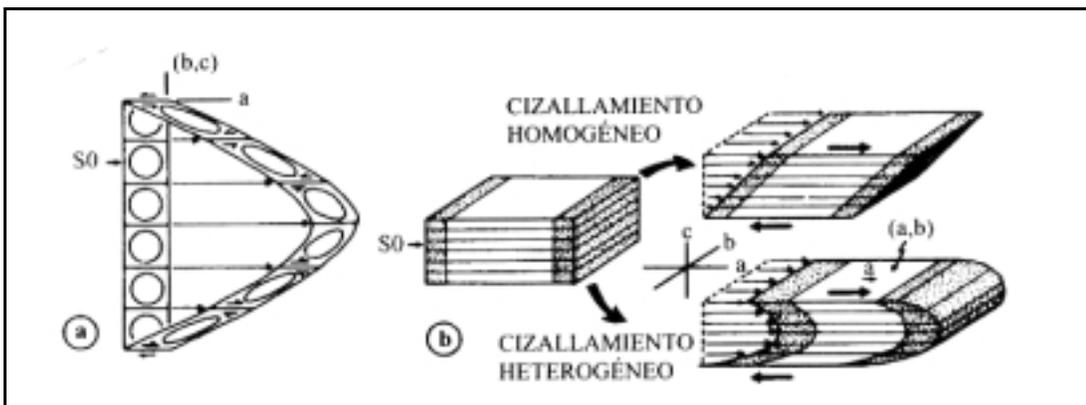


**Figura 8.30.** Estructuras presentes en pliegues con deformación de charnela: (a) grietas en echelón y (b) cizallamientos de Riedel; (c) asociación de estructuras (tomado de MERCIER & VERGELY, 2001).

### Pliegues similares

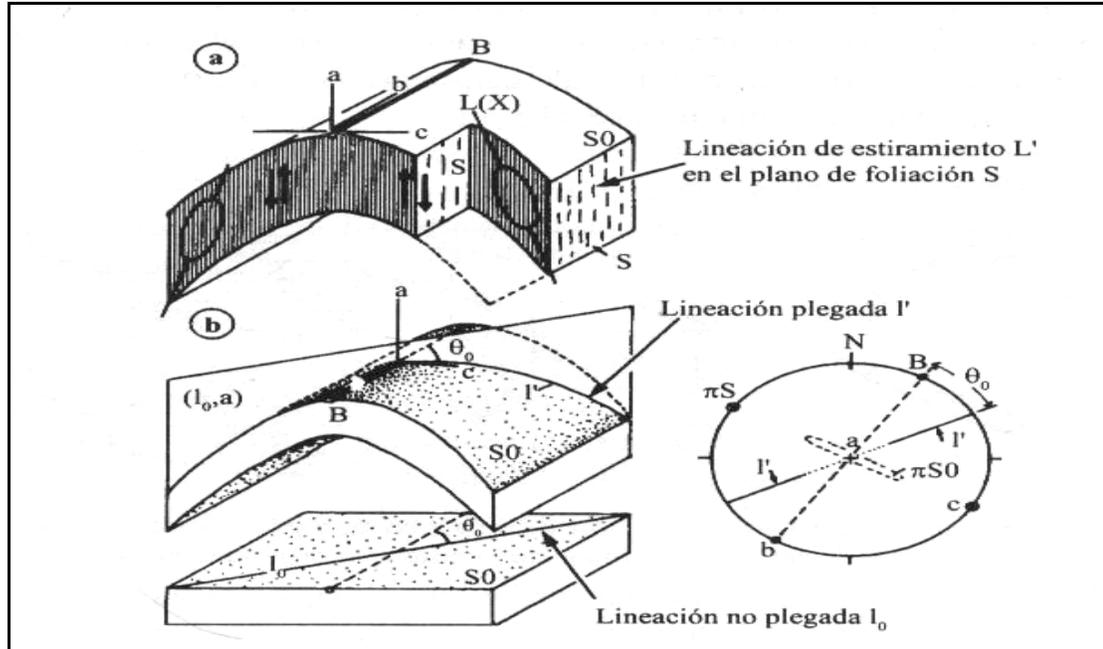
Según MERCIER & VERGELY (2001), este tipo de pliegues son una subclasificación del tipo isópaco o clase 2, los cuales se caracterizan por poseer el mismo espesor en la capa plegada, cuando este espesor se mide paralelamente al plano axial del pliegue. En cambio cuando el espesor es medido perpendicularmente al plano axial, éste es variable, siendo mayor en la zona de charnela y disminuyendo hacia los puntos de inflexión de los flancos, véase figura 8.31.

Se generan a través de una traslación pasiva, esto indica un *cizallamiento simple* según superficies planas paralelas entre sí, el cual es heterogéneo en un plano perpendicular al vector de desplazamiento pero homogéneo en el plano de deslizamiento, véase figura 8.31.



**Figura 8.31.** (a) plegamiento producido por cizallamiento simple heterogéneo (a, b y c son los ejes cinemáticos de la deformación), (b) modelo de deformación (como mazo de cartas) debido al cizallamiento simple homogéneo y heterogéneo (tomado de MERCIER & VERGELY, 2001).

También se pueden presentar los pliegues similares pero con ejes curvos por producirse cizallamiento heterogéneo en dos planos de deslizamiento (véase Fig. 8.32).



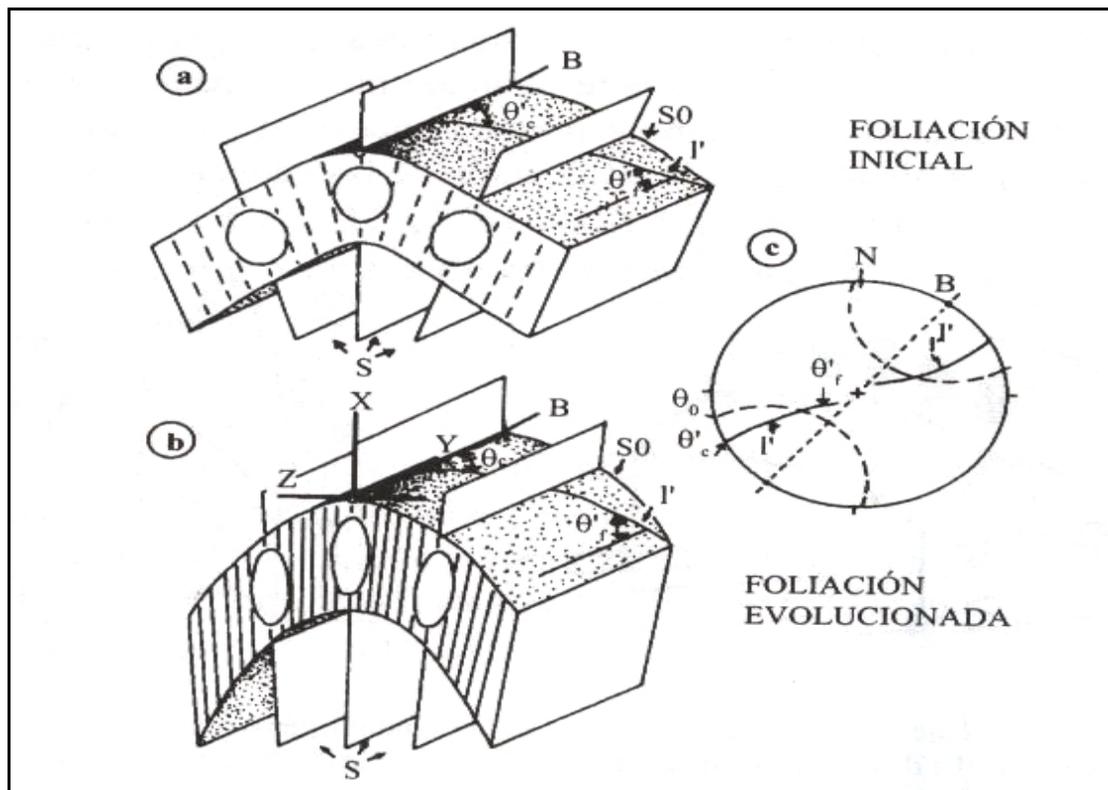
**Figura 8.32.** Plegamiento producido por cizallamiento simple heterogéneo. (a) ejes  $a$ ,  $b$  y  $c$  de la foliación ( $S$ ), lineación de estiramiento ( $L'$ ) y eje ( $B$ ) del plegamiento ( $S_0$ ), (b) deformación de la lineación y estereograma de Wulff donde,  $\pi S_0$  son los polos de la superficie  $S_0$  y  $\pi S$  es el polo de la foliación  $S$  (tomado de MERCIER & VERGELY, 2001).

### Pliegues anisópacos

Este tipo de pliegue está asociado a la deformación por compresión (MERCIER & VERGELY, 2001). Si es homogénea no formaría pliegues, por lo que debe ser heterogénea en el plano  $XZ$  para formarlos; sin embargo, se puede producir compresión homogénea en estructuras ya plegadas, originando pliegues de clases 1C y 3, según la clasificación de RAMSAY (1967), véase figura 8.27. Si continúa el esfuerzo que originó los pliegues nombrados anteriormente y su dirección es aproximadamente perpendicular al plano axial de los pliegues, entonces la geometría de estos pliegues tiende a acercarse a la de los pliegues similares (clase 2).

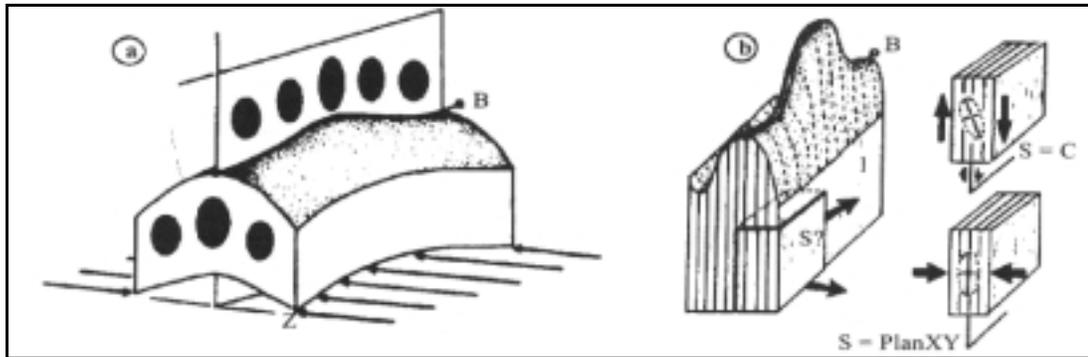
La compresión perpendicular al plano axial de los pliegues similares (clase 2) tiende a volverlos isoclinales, pero manteniendo la geometría original de pliegue similar o de clase 2.

Una compresión aproximadamente perpendicular al plano axial en pliegues originalmente isópacos, genera una foliación que al principio se presenta en abanico. Con la continuidad del esfuerzo compresivo aplicado, esta foliación tiende a orientarse paralela al plano axial del pliegue (véase Fig. 8.33).



**Figura 8.33.** Plegamiento producido por flexión y aplastamiento. (a) Estado inicial, (b) estado final y (c) representación en red de Wulff (tomado de MERCIER & VERGELY, 2001).

Según MERCIER & VERGELY (2001) en los pliegues generados por compresión heterogénea, *que son los mayormente presentes en la naturaleza*, la compresión no solamente se produce en el plano XZ, sino también en el plano XY; estos pliegues poseen generalmente ejes curvos, y su geometría se presenta irregular (Fig. 8.34).



**Figura 8.34.** Pliegue con eje curvo debido a un aplastamiento heterogéneo en los planos XY y XZ de la deformación; (b) distintas foliaciones (S) para un pliegue con eje curvo (tomado de MERCIER & VERGELY, 2001).

Todo lo expuesto en los capítulos anteriores representa un requisito indispensable para el estudio microtectónico, ya que toma como punto de partida la interpretación de la deformación-esfuerzo junto con sus procesos en la escala meso y microscópica; para luego ser correlacionada a los modelos macroscópicos. En este sentido, se calculan elementos microtectónicos de campo y de laboratorio para la correlación con modelos de la tectónica regional.

### 8.1.6 Microtectónica

La microtectónica es el estudio de la deformación en la escala microscópica y la escala de afloramiento, lo que agrupa a las estructuras meso y microscópicas. Otros autores la denominan como “microfábrica” o “microestructuras de deformación”.

HOBBS *et al.* (1981), definen el concepto de microfábrica en relación con el de fábrica, el cual “incluye la configuración espacial y geométrica de todos los componentes que constituyen la roca”. Sin embargo estos autores, señalan que las microestructuras se definen como un arreglo a pequeña escala de los elementos internos de una roca, hecho producido por un proceso de deformación.

Según MATTAUER (1976), la microtectónica propone estudiar la deformación a escala del afloramiento, de la muestra y de la lámina delgada, por lo tanto la escala de trabajo es del orden del milímetro hasta la del metro. Este autor plantea además, que en el estudio microtectónico se debe conocer o aplicar ciertos métodos en función del

cambio entre las distintas escalas de observación y estudio, estos son los objetivos de la microtectónica:

- Observaciones muy detalladas a fin de comprender la deformación y todos sus mecanismos.
- Estudio y comprensión de la geometría de las estructuras.
- Determinación de las relaciones que existen entre las microestructuras y las macroestructuras.

Las microestructuras se estudian para establecer las conexiones entre los procesos y el ambiente, puesto que estos representan una función de los procesos que se desarrollan en las rocas:

$$\text{Proceso} = \text{Fuerza} \times \text{cinemática} \quad (P = F \times C)$$

Al comprender esta relación se pueden interpretar las microestructuras en términos de la historia de la temperatura (T), presión ( $\sigma$ ), la presión de CO<sub>2</sub> y otras condiciones límite (de borde) que controlan la fuerza y la cinemática (Fig. 8.35).

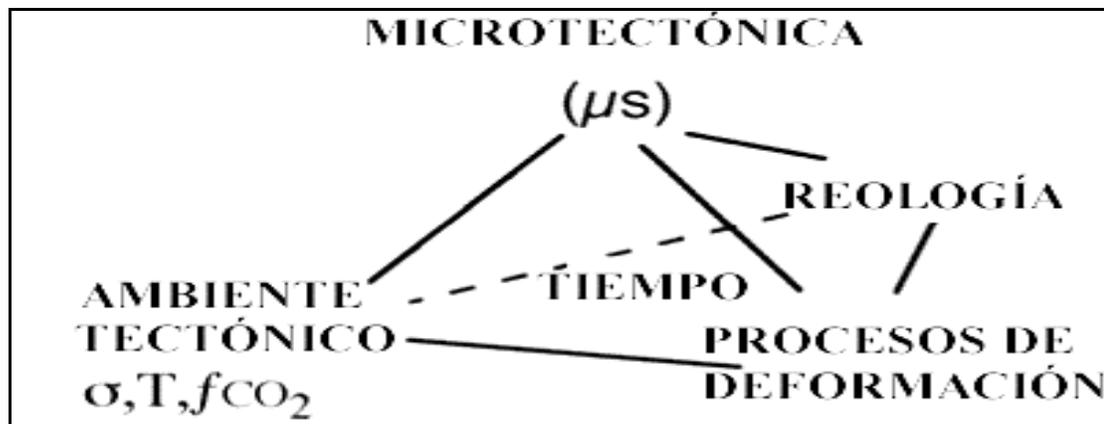


Figura 8.35. Tomado y traducido de <http://www.earth.monash.edu.au/Teaching/mscourse/>

Debido a la gran cantidad de observaciones a tomar sobre superficies muy reducidas, es imposible cartografiar las estructuras, por lo cual, en el análisis microtectónico, se usan datos y métodos estadísticos debido a la gran cantidad de medidas efectuadas en el trabajo de campo. Según MATTAUER (1976), “la microtectónica introduce un aspecto cuantitativo en la tectónica”. Asimismo, como el

estudio de las microestructuras debe estar relacionado a las macroestructuras, estas deben ser conocidas con anterioridad, es decir, para el trabajo microtectónico deben ser previamente conocidos todos los datos de la tectónica de la zona de trabajo.

Para la comprensión de la microtectónica es necesaria la definición de conceptos básicos de las deformaciones en las microestructuras, lo que unido a los conceptos generales de deformación conllevan a una comprensión general del tema.

Según HOBBS *et al.* (1981), existe una serie de rasgos característicos observables a través de microscopio petrográfico o de transmisión de electrones. Estos rasgos son: bordes de grano, bandas de deformación, láminas de deformación, formas de grano, inclusiones y direcciones cristalográficas preferentes. Estos autores, para estudiar la microfábrica, separan a las microestructuras de la orientación cristalográfica preferente, pues la primera trata de la forma de los granos, sus estructuras internas y la manera como se agrupan y la segunda trata específicamente de la orientación de las direcciones cristalográficas en fases específicas de la roca.

Para la comprensión de las estructuras formadas por los procesos de la deformación en las rocas se debe conocer como actúa esta en las redes cristalinas minerales, a continuación se describen los principales aspectos:

### **Defectos cristalinos**

Los cristales presentes en las rocas del planeta, presentan generalmente una historia térmica y deformacional sin importar el origen. Estos procesos naturales introducen, según HOBBS *et al.* (1981), una serie de defectos en las estructuras de los cristales. Estos defectos se pueden clasificar en tres grupos, los puntuales, los lineales y los planos. Los defectos puntuales son los que representan vacíos de átomos en la red cristalina. Los defectos lineales o dislocaciones son líneas que separan la región deslizada de un mineral en proceso de deformación, de la región del mineral que aún no presenta deslizamiento. Los defectos planos incluyen a los bordes de grano y subgrano, bordes de bandas de deformación, láminas de deformación, fallas de apilamiento y maclas. Los bordes de subgrano son límites relativamente planos, que están contenidos en los granos, donde la desviación respecto a la orientación de la red

cristalina es pequeña, esto se observa en el microscopio como dos regiones de extinción ligeramente diferentes. Los bordes de grano son límites que separan granos de orientación de red cristalina diferente o composición química distinta. Las bandas de deformación son regiones planas de los granos que han sufrido una deformación distinta a otras partes del cristal adyacentes a las mismas. Puede ser provocado por zonas con diferente deslizamiento, característica donde se incluyen los kink, donde dos regiones adyacentes de un cristal presentan un límite abrupto.

Las fallas de apilamiento son defectos planos de una estructura cristalina donde existe un desplazamiento relativo simple de esta red.

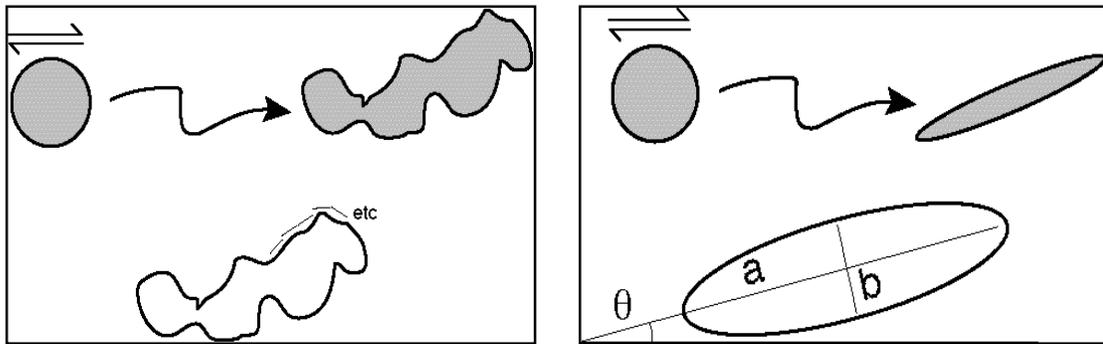
Los bordes de macla son bordes planos en los cuales se presenta una relación de simetría para la estructura cristalina, llamada relación de macla. Esta relación de simetría puede ser de reflexión o de rotación como en la albita, donde las estructuras situadas a cada lado del borde de macla están relacionadas entre sí por una rotación de  $180^\circ$  alrededor de la perpendicular a (010).

### **Orientaciones cristalográficas preferentes**

Son procesos por los cuales se produce una reorientación de las redes cristalinas de un mineral o un grupo de minerales debido a un proceso de deformación. Según HOBBS *et al.* (1981), existen dos mecanismos principales por los cuales se produce esta reorientación, estos son: por deslizamiento y rotación consiguiente, en condiciones de bajas temperaturas o velocidades de deformación altas y las desarrolladas por recristalización, en condiciones opuestas.

### **Forma de granos**

El reconocimiento de microestructuras de deformación a través de la forma de grano se fundamenta en los alineamientos preferentes de granos alargados, o una orientación preferente de límites de grano. Se miden a través del eje mayor de la elongación o por la medición sistemática de pequeños segmentos del límite de grano. Este tipo de microestructura característica permite medir también los vectores principales del esfuerzo (Fig. 8.36).



**Figura 8.36.** Forma de granos según el tipo de deformación. La primera figura muestra una deformación cualquiera la cual puede calcularse infinitesimalmente; la segunda figura muestra una deformación ideal. Tomado de <http://www.earth.monash.edu.au/Teaching/mscourse/>

### Inclusiones y su relación con la foliación

En la formación de un grano mineral metamórfico generalmente se presentan inclusiones, estas inclusiones facilitan la foliación en el proceso de deformación, lo que contribuye a una determinación del tiempo de crecimiento (fases tectónicas) en relación con esta deformación (Fig. 8.37).

En la fase *pre-tectónica* el patrón de inclusiones es aleatorio, lo que indica una foliación pobre o inexistente.

En la fase *inter-tectónica* se desarrolla un patrón lineal de inclusiones de acuerdo con el desarrollo de la foliación en el exterior del grano, sin embargo no existe relación lineal entre estas dos estructuras, son discontinuas.

En la fase *sin-tectónica* el patrón de inclusiones del grano y la foliación se hacen continuos, pero en algunos casos pueden existir diferencias angulares debidas a rotación del grano en su crecimiento.

En la fase *post-tectónica* las dos estructuras se hacen completamente continuas y no existe ninguna diferencia angular entre ellas.

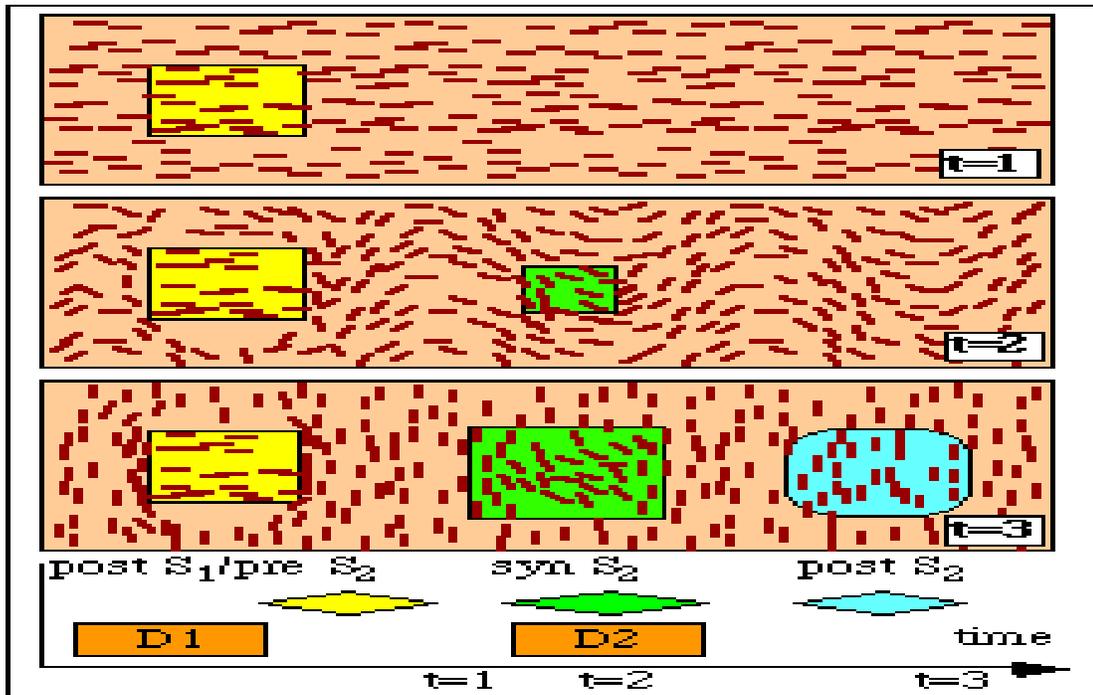


Figura 8.37. Fases tectónicas en relación con las inclusiones minerales (tomado de <http://www.earth.monash.edu.au/Teaching/mscourse/> )

### Tipos de microestructuras asociadas a la deformación

Para estudiar este tipo de microestructuras, se debe conocer cómo se presentan los defectos en los cristales a través de la deformación y cómo puede ser afectado este proceso por la historia térmica de la roca. Según HOBBS *et al.* (1981), estas estructuras son controladas por la deformación de los cristales versus la velocidad de recristalización, dependiendo de la temperatura a la cual se produce el proceso. También se presentan en relación con la historia térmica de la roca. En este sentido, cuando un grupo de rocas han sido deformadas a temperaturas relativamente bajas o velocidades de deformación altas, presentarán granos aplanados con bandas de deformación, láminas de deformación y extinción ondulatoria común, con una alta densidad de dislocaciones revelada por el microscopio electrónico. En cambio, si la deformación se produce a temperaturas más elevadas o a velocidades más bajas, donde la difusión en estado sólido se hace importante a la escala del grano, entonces se pueden producir gran cantidad de diversos procesos, como el movimiento de

dislocaciones debido al esfuerzo, movimiento de bordes de grano, crecimiento de zonas de recristalización y hasta un crecimiento normal de grano; indicando que no se puede dar una aseveración precisa sobre la microestructura a formarse.

### **Microestructuras asociadas a fases frágiles y dúctiles**

Como las zonas de cizalla son superficies planas donde se desarrolla la deformación en forma de deslizamiento, están involucrados vectores de compresión y extensión, pudiéndose producir en gran número de escenarios bajo condiciones presión y temperatura dadas, así, es posible encontrar microestructuras asociadas a varios tipos de rocas. En general, las rocas producidas por deformación frágil presentes en las zonas de cizalla son las siguientes:

- Brechas (cohesivas / incohesivas): >30% de fragmentos angulares (Fig. 4.62).
- Cataclasitas (cohesivas / incohesivas): <30% de fragmentos angulares.
- Gouge: muy pocos fragmentos aislados en una matriz de grano fino.

Las microestructuras asociadas a las zonas de cizalla son:

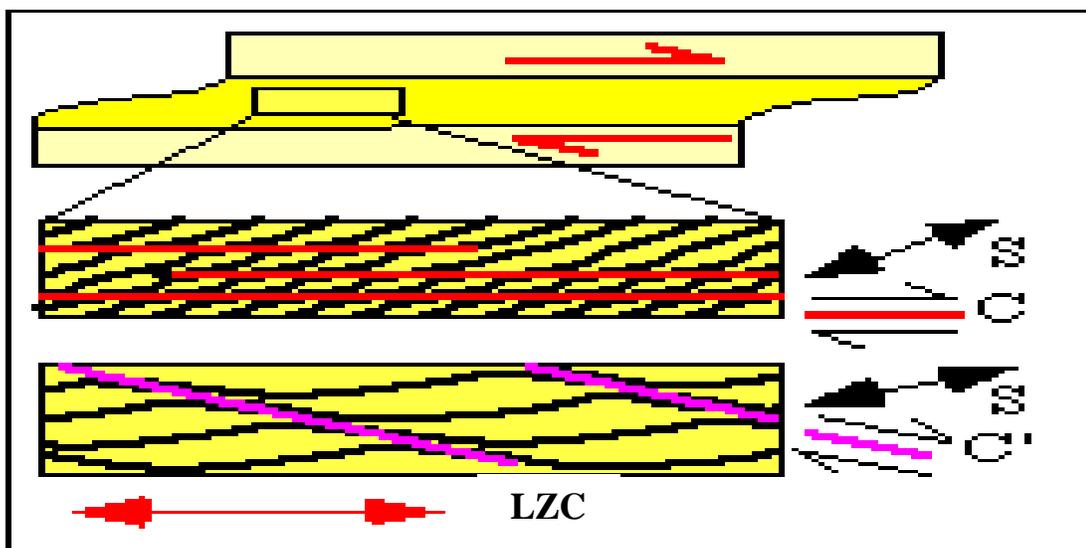
- Planos de falla, fracturas producidas por la cizalla en una variedad de escalas de observación.
- Foliaciones o alineaciones de micas, donde se ubican inclusiones.
- Superficies pulidas (espejos de falla), estrías de falla.
- Estilolitos, los cuales indican acercamiento entre los bloques en contacto de falla.
- Vetas minerales.
- Milonitas, rocas producidas por deformación dúctil, las cuales pueden encontrarse en las zonas de cizalla; son de grano fino, presentan buena foliación y contienen remanentes de protolitos. Ocurren predominantemente por relativamente altos a extremos regímenes de esfuerzos de cizalla simple. Las milonitas se clasifican como:
  - 10-50% de matriz: protomilonita.
  - 50-90% de matriz: mesomilonita.
  - >90% matriz: ultramilonita.

### Indicadores cinemáticos en zonas de cizalla

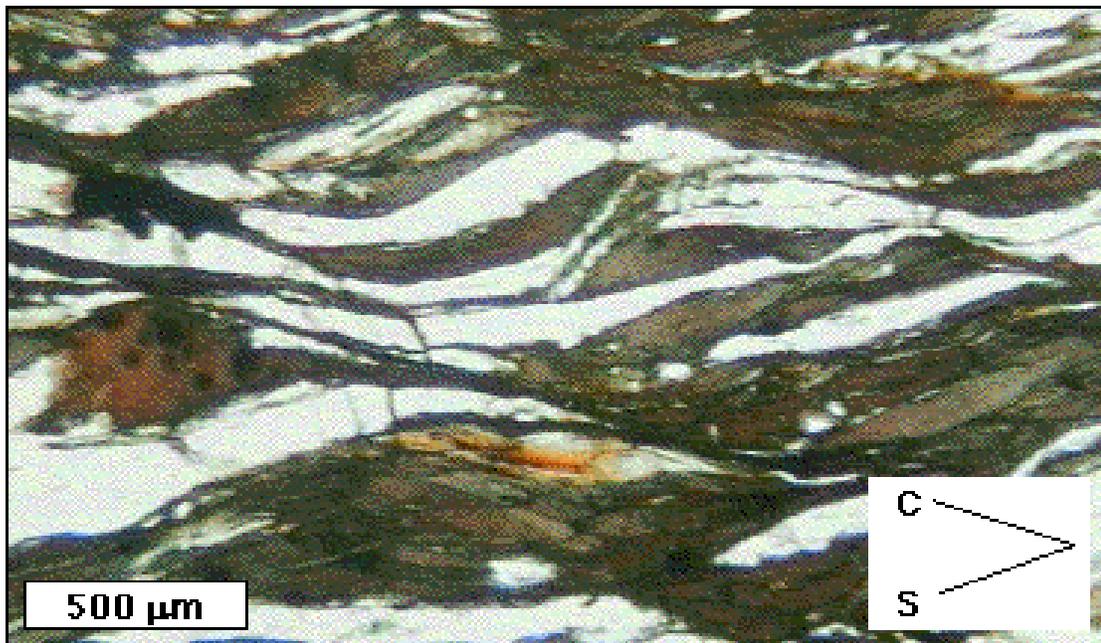
- Estructuras frágiles.
- Cizallas Riedel.
- Vetas, arreglos de vetas, fibras, presentes como estructuras asociadas.
- Relaciones de porfidoclastos con la matriz en cizalla rotacional.

### Bandas de cizalla y foliaciones oblicuas

Las bandas de cizalla son zonas pequeñas de cizalla encontradas en estructuras de cizalla mayores. Pueden lucir similares a las grandes, pero no son lo mismo. Un ejemplo de esto son los clivajes (foliaciones) por crenulación, los cuales se desarrollan normalmente por acortamiento. Así se tiene un clivaje por crenulación originado por extensión o bandas de cizalla; versus un clivaje por crenulación de origen compresivo (Fig. 8.38 y 8.39). Esto origina un tipo de estructura denominado S-C, donde: S (esquistosidad) es generalmente oblicua al límite de la zona de cizalla (LZC); C (cizallamiento), son las bandas de cizalla y C' son las bandas de cizalla oblicuas al LZC.



**Figura 8.38.** Bandas de cizalla explicadas en un esquema (tomado en internet del sitio: <http://www.earth.monash.edu.au/Teaching/mscourse/>).

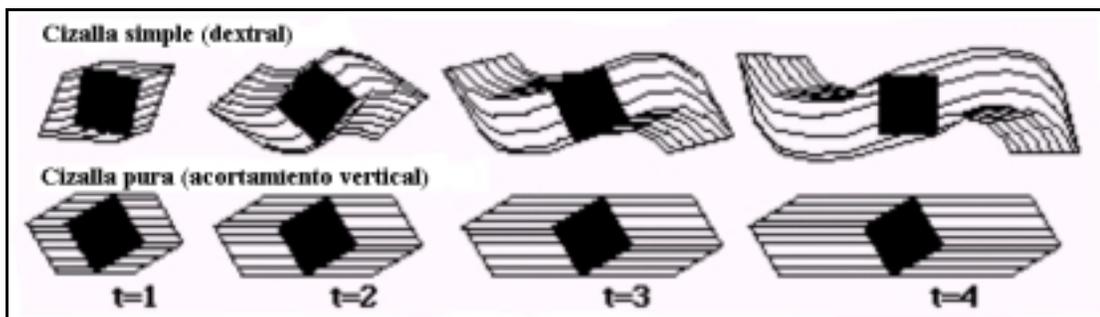


**Figura 8.39.** Fotomicrografía de bandas de cizalla (tomado en internet del sitio: <http://www.earth.monash.edu.au/Teaching/mscourse/>).

### Sombras y márgenes de presión

Sombras y márgenes de presión alrededor de objetos rígidos en relación al análisis estructural (Fig. 8.40).

- Asociados a cizalla simple.
- Asociados a cizalla pura.



**Figura 8.40.** Sombras minerales producidas por distintas deformaciones de tipo cizalla. La parte superior de la imagen presenta las estructuras debidas a cizalla simple (simple shear), la parte inferior presenta las estructuras debidas a cizalla pura (pure shear). (tomado de la Web en: <http://www.earth.monash.edu.au/Teaching/mscourse/>).

## 8.2. Datos de Campo

### 8.2.1 Minutas de campo

En este módulo se incluyen, para cada una de las estaciones de trabajo, las minutas de campo con la información de fallas, fracturas, planos axiales y ejes de pliegues, diaclasas, frecuencia de diaclasas, foliaciones y bandeamientos, etc.

### Quebrada Care

**Tabla 8.1.** Datos de campo. Estación de trabajo A1, cuenca de la Qda. Care.

Cuenca	Fracturas	Pliegues	Diaclasas	Foliación
	F1: N87°W79°S			
	F2: N76°W78°S	Pa1: N59°E80°N		
	F3: N82°W67°S	Li1: N70°E80°S		
	F4: N17°W23°S	Ld1: N60°E41°N		
	F5: N82°W63°S			
	F6: N38°E33°N	Pa1.1: N59°E05°S		
	F7-1: N30°E20°N			
Care	F7-2: N70°E70°N	Pa2: N20°E22°N	D1a: N20°W80°S 1:7	
	F8: N84°W65°S	Li2: N57°E63°N	D1b: N14°W83°S 1:7	So1: N68°E44°N
A1	F9-1: N71°E63°N		D1c: N15°W80°S 1:7	So2: N64°E45°N
	F9-2: N40°E20°N	Pa3: N80°E74°N		So3: N59°E80°N
15m	F10: N87°E83°S	Pa3: (V-A1-01)	D2: N85°E66°S 1:2	So4: N86°E86°N
	F11: N85°E66°S	Li3: N78°E44°N		So5: N72°E85°N
CT	F12: N84°E71°N	Ld3 N82°E66°S		So6: N57°E63°N
	F13: N76°E62°N		D3: N20°E22°N 1:2	
	F14: N16°E17°N	Pa4.1: N57°E59°N		
	F15: N83°W74°S	Li4.1: N64°E45°N		
	F16: N45°E40°N	Ld4.1: N60°E56°N		
	F17: N80°E64°S			
	F18: N20°E22°N	Pa4.2: N55°E50°N		
	F19: N20°E23°N	Li4.2: N60°E56°N		
	F20: N72°E80°N	Ld4.2: N50°E50°N		
	F21: N49°E80°N			
	F22: N80°E80°S			
	F23: N80°W44°S			
	F24: N75°W30°S			
	F25: N73°W33°S			
	F26: N46°E44°N			
	F27: N03°W35°S			

**Tabla 8.1.** Continuación...

Cuenca	Fracturas	Pliegues	Diaclasas	Foliación
Care	F28: N85°W82°S F29: N86°E86°N F30: N48°E56°S F31: N73°W59°S	Pa5: N76°E78°S Li5: N75°E75°S		
A1	F32: N15°E22°N F33: N50°E42°N	Pa6: N65°E44°N		
15m	F34: N80°E82°N F35: N80°E88°N	Pa7: N70°E60°N		
CT	F36: N24°W32°N F37: N33°E36°N F38: N02°E31°N F39: N05°E31°N F40: N10°W43°N F41: N39°E64°N F42: N20°E58°N F43: N14°W84°S F44: N42°W86°S F45: N18°W85°N F46: N30°W89°S			

**Nota:** Dx: Sistema de diaclasas X, Fx: Falla X, Pax: Plano axial del pliegue X, Ldx: Limbo derecho del pliegue X, Lix: Limbo izquierdo del pliegue X, Sox: Foliación X.

### Río Masare

**Tabla 8.2.** Datos de campo. Estación de trabajo B1, cuenca del río Masare.

Cuenca	Fracturas	Pliegues	Diaclasas	Foliación
Masare	F1: N85°E41°N F2: N49°W°80°S F3: N55°E79°N	LI1: N66°E74°N LI1: (V-B1-03)	D1: N27°W87°N 1:2	SoA: N65°E75°N
B1	F4: N82°E37°N	Pa1: N68°E78°N, eje: 21°NE	D2: N60°E77°N 1:5	SoB: N42°E87°S
70 m	F5: N53°E83°N	PA1: (V-B1-02)	D3: N74°E39°S 1:1	SoC: N61°E86°N
CT	F6: N64°E79°N F7: N53°E84°N F8: N70°W21°S	LD1: N68°E78°N		SoD: N60°E80°S SoE: N66°E74°N

**Nota:** Dx: Sistema de diaclasas X, Fx: Falla X, Pax: Plano axial del pliegue X, LDx: Limbo derecho del pliegue X, Lix: Limbo izquierdo del pliegue X, Sox: Foliación X.

### Río Miguelena

**Tabla 8.3.** Datos de campo. Estación de trabajo B2-1, B2-2 y B2-3, cuenca del río Miguelena.

Cuenca	Fracturas	Pliegues	Diaclasas	Foliación
Miguelena B2-1 150 m ASJ	F0: N84°W71°S F1: N74°E61°N F2: N76°E63°N F3: N73°E70°N F4: N78°W10°S F5: N70°E72°N F6: N73°E74°N F7: N70°E70°N F8: N72°E70°N F9: N84°W60°N E1: N05°E84°N, e:74°NW E2: N05°E84°N, e:69°NW E3: N20°W84°N, e:30°SE (D,N) E3: (V-B21-01)		D11: N84°E60°S 2:1 D12: N65°E36°S 2:1 D13: N80°E50°S 2:1 D14: N79°E47°S 2:1 D15: N70°E38°S 2:1 D16: N64°E40°S 2:1 D17: N85°W25°S 2:1 D21: N53°E25°N 2:1 D22: N73°E60°N 2:1 D3: N20°W85°N 1:1	So1: N62°E85°N So2: N68°E72°N So3: N62°E60°N So4: N68°E65°N So5: N62°E65°N So6: N70°E69°N
Miguelena B2-2 80 m CA	F1: N72°W52°S F2: N70°W50°S F3a: N69°W60°S F3c: N75°W65°S F3e: N75°W65°S F3f: N77°W75°S F3g: N79°E84°S F3h: N86°W67°S F3j: N83°W85°N F4: N67°W60°S	Pa1: N80°W75°N, eje: 15°SE Pa1: (V-B22-03) Pa2: N85°W65°N, eje: 16°SE Pa3: N75°W68°N, eje: 15°SE Pa3: (V-B22-01) (V-B22-02) Pa4: N75°W70°N, eje: 16°SE	D1: N07°W75°N 1:3 D2: N55°E24°S 1:3 D3: N20°W83°N 1:1	SoA: N66°E56°N SoB: N70°E55°N SoC: N67°E74°N
Miguelena B2-3 55 m CT (V-B23-01)	F1: N35°E44°S 0,8m F2: N35°E42°S 0,2m F3: N35°E44°S 0,1m F4: N35°E43°S F5: N81°E85°N F6: N30°W22°S 0,05m F7: N65°E39°N 0,3m F8: N50°E35°N	Dextral, Normal Dextral, Normal Dextral, Normal Sin desplazamiento Sin desplazamiento Sinistral, Inversa Dextral, Inversa Dextral, Inversa	D1: N70°W77°N 1:3 D2: N40°E89°N 1:4 D3: N50°W40°S 1:3	Soa: N58°E80°N Sob: N60°E84°N Soc: N62°E90°N Sod: N80°E85°N

**Nota:** Dx: Sistema de diaclasas X, Ex: Espejo de falla X, Fx: Falla X, Pax: Plano axial del pliegue X, Sox: Foliación X, (D,N): Dextral, Normal.

## Río Naiguatá

**Tabla 8.4.** Datos de campo. Estación de trabajo C1 y C2, cuenca del río Naiguatá.

Cuenca	Fracturas	Pliegues	Diaclasas	Foliación
Naiguatá C1, 65 m Esq. Tacagua Esq. grafitoso gris oscuro a negro con vetas delgadas de cuarzo.	F1A: N86°W85°S F1B: N88°E57°S F2: N58°W82°S F4: N66°E66°N F5: N70°E73°N F6: N82°E89°N F7: N70°W27°S	Pa2: N69°E89°N, ,eje: 12°SW Pa2: (V-C1-02)	D: N10°E69°S 3 (general)	Soa: N63°E73°N Sob: N55°E77°N Soc: N65°E60°N Sod: N85°E55°N Soe: N70°E66°N Sof: N77°E52°N Sog: N80°E63°N Soh: N55°E74°N
Esq. Tacagua Esq. epidótico verde claro fragil	F3: N69°E89°N	Pa1: N84°E79°S, ,eje: 15°SW Pa1: (V-C1-01)	D1: N61°E49°N 1:10 D2: N74°W67°N 1:3 D3: N20°W60°S 1:2 D4: N15°W65°N 1:1	So1// Pa1 So1: N84°E79°S
Esq. Tacagua Esq. Cz. – Mic. Verde claro	Aflora una banda de 25 cm	Pa3: N85°W68°N 2do Ord. Pa4: N65°E72°N 2do Ord.	D1: N20°E60°S 1:4 D2: N80°E74°N 1:12 D3: N19°W68°N 1:10	So2: N80°E74°N
Esq. Tacagua Esq. Cz.- Mic. - Graf. Gris Osc.	F1: N55°W80°N F2: N41°W81°N	P1a1: N80°E45°N P1a2: N68°E65°N P2a1: N75°E62°N		So3: N82°E67°N
con band. finas color crema a blanco (Boudines Cz.)	F3: N75°E80°N F4: N66°W80°N F5: N73°E80°N	P3a1: E - W39°N P3a2: N85°E28°N P4a1: N88°W37°N P4a2: N83°E37°N	D1: N10°E85°N 1:3	So4: N85°E59°N So5: N82°E73°N
Naiguatá C2, 150 m Esq. San Julián Esq. Cz. Mic. Gris a marrón claro con mineralización de cuarzo.	F1: N38°W25°N N86°E70°N, e: 5°NE N86°E70°N, LM: 5°NE (V-C2-01)		D1: N15°W89°N 1:2 D2: N60°W30°N 1:2 D3: N86°E70°N 1:1	So6: N86°E70°N So7: N80°W80°N
	F1: N70°E60°N F2: N80°W80°N, e: 39°SE F2: (V-C2-02) F3: N80°E62°N F3: (V-C2-04)	Pa1: N67°E75°N Pa2: N11°W61°N Pa3: N10°E68°S, eje: 7°SW Pa3: (VC2-03) Pa4: N14°E40°N Pa5: N14°E38°N Pa6: N42°W32°N Pa7: N05°E31°N Pa8: N69°E34°N	D1: N05°W60°N 1:2 D2: N75°W62°N 1:3 D3: N67°E47°N 1:1	SoA: N80°E60°N SoB: N65°E41°N SoC: N70°E62°N SoD: N65°E30°N SoE: N52°E41°N

**Nota:** Dx: Sistema de diaclasas X, LM: Lineación mineral, e: Estría de falla, Pax: Plano axial del pliegue X, Fx: Falla X, Sox: Foliación X.

## Río Uria

**Tabla 8.5.** Datos de campo. Estación de trabajo D1, D2 y D3, cuenca del río Uria.

Cuenca	Fracturas	Pliegues	Diaclasas	Foliación
Esq. Graf. Ductil gris oscur.	F1: Cubierto, evidente - divide Esq. Graf y Anfibolitas			SoaD:N50°E50°N SobD:N60°E70°N Al Sur de F1
Uria D1 y D2 115 - 90 m respectivamente	F2D: N86°E80°N			So0D:E-W40°N So1D:E-W50°N So2D:N60°E52°N Al Sur de F2
Anfibolita Gris clara a verdosa	F3D: N85°E87°N			So3D:N55°E28°N So4D:N55°E55°N So5D:N55°E80°N Al Sur de F3
	F4D: N80°E90			So6D:N80°E24°N So7D:N55°E35°N Al Sur de F4
	F5I: N75°E89°S Desplaz. Eje C, 50cm Dex F5D: N75°E87°S			So8D:N80°E43°N So81D:N50°E30°N Al Sur de F5
Esq. Anfibolit. gris oscuro	F6I: N84°E75°N F6: Falla Normal Dextral Desplaz. Eje C, 30cm Dex F6D: N80°E87°N			So9D:N85°E27°N Al Sur de F6
	F7I: N85°E86°S Desplaz. Eje C, 20cm Dex F7D: N80°E88°N			So10D:N80°E30°N Al Sur de F7
Esq. Qz - Mic. ocre, rojizo gris moteado	F8I: N74°E80°N F8D: N78°E78°N Brecha de 15 a 25cm Desplaz. Eje B, 70cm Dex	Pa5(1): N64°E77°S Pa5(2): N54°E77°S		So11:No tiene Amorfo - Brecha
Esq. Qz - Mic. Blanquesino	F9I: N76°E82°S Desplaz. Eje B, 70cm Dex	Pa2:N20°E75°S Pa3:N30°E77°S		So12I:N60°E85°S So12D:N80°W70°S

**Tabla 8.5.** Continuación...

Cuenca	Fracturas	Pliegues	Diaclasas	Foliación
a rosado claro	F9D N82°E86°N	Pa4:N60°E78°N, eje:15°SW Pa4: (V-D2-02) Pa6:N66°E75°S		Al Sur de F9
Esq. Qz - Mic.	F10I:N66°E80°N			So13I:N76°E77°S
Gris claro	F10I: (V-D1-01)			Al Sur de F10
Bandeam. Qz				So14I:N76°E70°S
Augengneis	F11D:N78°W78°S, e:39°NW F11D: Falla Normal Dex Desplaz. Eje A,			
Uria D3 22m Esc. Tacagua		Pa1:N45°W64°N,eje:9°N Pa1: (V-D3-01)(V-D3-02)		

**Nota:** FxD: Falla X medida en la margen derecha del río, FxI: Falla X medida en la margen izquierda del río, Pax: Plano axial del pliegue X, SoxD: Foliación X medida en la margen derecha del río, SoxI: Foliación X medida en la margen izquierda del río.

Orientación del Río debido a fallamiento (de aguas arriba – abajo): Eje A: N46°W, Eje B: N60°E y Eje C: N20°W

### Quebrada Tanaguarena

**Tabla 8.6.** Datos de campo. Estación de trabajo E1, cuenca de la Qda. Tanaguarena.

Cuenca	Fracturas	Pliegues	Diaclasas	Foliación
Tanaguarena E1 85m		Pa1:N10°E60°S, eje:28°SE Pa2:N12°E65°S, eje:27°SE Pa3:N10°W60°S, eje:20°SE Pa4:N-S67°E, eje:14°SE Pa5:N-S40°E, eje:10°SE Pa5: (V-E1-02)		
Esq. Tacagua.	F7-8:N20°W55°N	Pa6:N06°E23°S, eje:8°SE		So:N04°E30°S
Esq. graf. gris oscuro a negro. Ocasionalmente se observ. Esq. epidoticos verdosos.	F8-Sp1:N25°W45°N	Pa7:N15°W50°N, eje:18°SE Pa8:N20°W50°N, eje:20°SE Pa9:N30°W44°N, eje:24°SE Pa9: (V-E1-01) Sp1:N10°W40°N, eje:04°SE Sp2:N10°W46°N, eje:05°SE		

**Nota:** F7-8: Falla entre pliegue 7 y 8, F8-Sp1: Falla entre pliegue 8 y sistema de pliegue 1, PAx: Plano Axial X, Spx: Sistema de Pliegues X, Sox: Foliación.

### Río Cerro Grande

**Tabla 8.7.** Datos de campo. Estación de trabajo trabajo F1, F2 y F3, cuenca del río Cerro Grande.

Cuenca	Fracturas	Pliegues	Diaclasas	Foliación
Cerro Grande F1 100m Gneis de San Julián	Pf: N75°E90°N			So1:N65°E62°N So2:N80°E71°N So3:N85°E60°N So3: cerca de Pf So4:N80°E38°N So5:N75°E38°N So6:N75°E38°N
Esq. Qz- Mic. Gris claro Margen Izq.	CN:N87°E85°S Pf1:N50°W80°N, e:64°SE Pf1: (V-F1-01) Pf2:N82°E74°N, e:43°NE			So1:N60°E78°S So2:N62°E78°S Al S de CN
Esq. Qz- Mic. Gris claro margen Der.	CN: N67°E70°N			So3:N84°E70°N So4:N78°E70°N Al S de CN
Esq. color verde margen Der.	CS: N67°E70°N			So5:N67°E70°N Al N de CS
Esq. color verde margen Izq.	CS: N84°E82°N CN: N85°E80°N			So6:N84°E60°N So7:N84°E63°N Entre CN y CS
Frente de Cantera	Fr: N84°E75°N			So8:N84°E75°N // a Fr
Cerro Grande F2 120m	F2:N52°W77°N, e:43°SE			So9:N83°E75°N
Cerro Grande Afluente Izq. F3 170m	F3:N21°E71°N, e:26°SW F3: Sinistral			

**Nota:** CN: Contacto Norte, CS: Contacto Sur, e: Estría de falla, Fx: Falla o fractura, Fr: Lectura remota de la falla, Pfx: Plano de falla X, Sox: Foliación X.

Orientación del río debido a fallamiento (de aguas arriba – abajo): Eje A: N50°-55°W, Eje B: N25°E, Eje C: N45°W

## Quebrada Seca

**Tabla 8.8.** Datos de campo. Estación de trabajo G1, G2 y G3, cuenca de Qda. Seca.

Cuenca	Fracturas	Pliegues	Diaclasas	Foliación
Qda seca G1 270m ASJ	F1: N76°E55°N, LM:8°NE F1: (V-G1-01)		D1 <sub>1</sub> :N35°W82°S 1:3 D1 <sub>2</sub> :N25°W80°S 1:3 D2:N65°E60°S 1:1 D4:N15°E70°N 1:7	So1:N76°E55°N So2:N78°E60°N So3:N80°E59°N
Qda seca G2 160m Esq. Tacagua Esq Graf. Gris Oscuro a Negro, Ocasionalmente se observ. Esq.		Sp0:N84°E62°SW Sp1A1:N24°E60°N Sp1A2:N78°W89°N Sp1A3:N75°W50°S Sp2A1:N89°W76°N Sp2A2:N71°W58°N Sp2A3:N86°E66°S Sp2A4:N86°E66°S Sp2A5:N86°E66°S Sp3A1:N80°W60°N Sp3A2:N70°W54°N Sp3A3:N72°E85°N Sp4A1:E - W 79°S Sp4A2:N85°E75°S Sp5A1:N42°E57°N Sp5A2:N61°E58°N Sp5A3:N81°W89°N Sp5A4:N83°W85°N		So2:N80°E86°N
Qda seca, G3 255m, Contacto ASJ - CT	Cf:N54°W45°S, e:16°SE (V-G3-01) Dextral, Inversa			So1:N70°W87°S So2:N80°W67°S So3:N42°E50°N

**Nota:** Cf: Contacto de falla, LM: Lineación mineral, Dx: Familia de diaclasas X, Fx: Plano de falla X, SpxAx: Sistema de pliegue X en plano axial X, Spx: Sistema de pliegue X, Sox: Foliación X.

## Río San Julián

**Tabla 8.9.** Datos de campo. Estación de trabajo H1 y H2, cuenca del río San Julián.

Cuenca	Fracturas	Pliegues	Diaclasas	Foliación
San Julián H1 Afluente derecho 340 m ASJ	Fn:N57°W82°N, e:26°NW (Siniestral, Normal) Fn: (V-H1-01)		D1: N05°E60°N 2:1 D2: N38°E80°S 5:1 D3: N57°W82°N 1:1	So1: N57°W82°N
San Julián H2 380 m ASJ	Bf:N05°E (ancho 50 cm) Bf: (V-H2-01)(V-H2-02)		D1: N74°E66°N 1:1 D2: N05°E85°S 1:5 D3: N86°E70°N 1:4	So2 // D1: N74°E66°N So3: N78°W70°N So4: N77°W66°N

**Nota:** Bf: Brecha de falla, Dx: Sistema de diaclasas X, Fn: Falla normal, Sox: Foliación X,

**Río Camurí Chico****Tabla 8.10.** Datos de campo. Estación de trabajo I1, I2 e I3, cuenca del río Camurí Chico.

Cuenca	Fracturas	Pliegues	Diaclasas	Foliación
Camurí Chico I1 100 m Gneis de San Julián	Fx:N80°W48°S, DEX			So1:N60°W85°N
	F1:N45°W35°S, DEX			So2:N75°W85°N
	F2:N25°W34°S, DEX			So3:N65°W84°N
	F3:N82°W75°S, DEX			So4:N60°W55°N
	F4: N60°W45°S F4: (V-I1-01)			So5:E-W 87°N
	F5: N69°W40°S			So6:N80°W85°S
	F6: N46°W46°S			So7:N75°W85°S
	F7: N26°W52°S			So8:N80°W83°S
	F8: N80°W41°S			So9:N80°W84°S
	F9: N64°E75°S			So10:N80°W80°N
F10: N64°W36°S			So11:N76°W87°S	
Fo:N80°W36°S, DEX			So12:N82°W85°S	
				So13:N81°W78°N
Camurí Chico I2, 115 m APM	Bf: N55°W74°S Bf: (V-I2-01)(V-I2-02) Separa a I2 de I3		D1:N40°E76°N 1:1 D2:N65°E80°N 1:5 D3:N15°W68°S 1:4 Desplaza 10cm	So1:N55°W62°N So2:N50°W60°N So3:N65°W62°N So4:N70°W82°N
Camurí Chico I3, 115 m CT	Bf: N55°W74°S Bf: (V-I3-01) Separa a I3 de I2		D1:N40°E68°N 1:1 D1: erosionado	So1:N60°W80°N So2:N60°W85°N So3:N65°W84°N

**Nota:** Bf: Brecha de falla, Dx: Sistema de diaclasas X, DEX: Falla dextral, Fx: Falla X, Sox: Foliación X.

**Quebrada El Cojo****Tabla 8.11.** Datos de campo. Estación de trabajo J1, J2 y J3, cuenca de la Qda. El Cojo.

Cuenca	Fracturas	Pliegues	Diaclasas	Foliación
El Cojo J1, 125m APM	F1:N83°W85°S, e:18°SE  F1: Dextral, Normal  F1: (V-J1-01)		D1:N16°E40°N 2:1  D2:N02°E80°N 3:1	So:N70°W65°N  Gneis
El Cojo J2, 255m APM		Pa1:N87°E86°N  Pa1: (V-J2-02)		So1:N86°E69°N, Lde So2:N87°E74°N, Ldc So3:N86°E84°N, Lic So4:N87°E81°N, Lie
El Cojo J3 235m ASJ		P1Li:N65°E75°N, Ant. P1Ld:N75°W26°N, Ant.  Pp2Li:N72°E75°N Ppa2:N71°E70°N, eje:51°NW Ppa2: (V-J3-01) Pp2Ld:N70°E65°N  P2Li:N75°W26°N, Sinf.  Pa2:N67°E60°N  Pa2: (V-J3-02)  P2Ld:N85°E72°N, Sinf.  P3Li:N85°E72°N, Ant.  P3Ld:N50°E20°N, Ant.		So1:N65°E75°N  So2:N75°W26°N  So3:N85°E72°N  So4:N50°E20°N

**Nota:** Ant.: Antiforme, Sinf.: Sinforme, Pax: Plano axial de pliegue X, Dx: Sistema de diaclasas X, Ppax: Plano axial de pliegue parásito X, e: Estría de falla, Lde: Limbo derecho externo, PxLi: Pliegue X (limbo izquierdo), Ldc: Limbo derecho central, PxLd: Pliegue X (limbo derecho), Lic: Limbo izquierdo central, PpxLi: Pliegue parásito X (limbo izquierdo), Lie: Limbo izquierdo externo, PpxLd: Pliegue parásito X (limbo derecho), Sox: Foliación X.

### Quebrada San José de Galipán

**Tabla 8.12.** Datos de campo. Estación de trabajo K1, cuenca de la Qda. San José de Galipán.

Cuenca	Fracturas	Pliegues	Diaclasas	Foliación
Galipán K1 Afluente derecho 90m Augengneis	F4: 83°W75°S, e:10°N F4: (V-K1-01) Dextral, Inversa Brecha: N82°E75°S Brecha de 1,5m Contacto entre Anfib. y Augen.			
CT	F1: N60°W77°N F2: N55°W73N F3:N82°E75°S brecha	P1A1:N45°E73°N P2A1:N80°E70°S P2A2:N85°E62°S	D1:N69°E50°N 1:1 D2:N35°W46°N 1:2	So1:N52°E89°N So2:N65°E86°N So3:N70°E89°N

**Nota:** Dx: Sistema de diaclasas X, e: Estría de falla, Fx: Falla o fractura, PxAy: En pliegue X - plano axial Y, Sox: Foliación X.

### Quebrada Cariaco

**Tabla 8.13.** Datos de campo. Estación de trabajo L'1 y L'2, cuenca de la Qda. Cariaco.

Cuenca	Fracturas	Pliegues	Diaclasas	Foliación
Cariaco L'1 185m CT	F1:N70°E57°N, e:8°SW F1: (V- L'1-01) Dextral, Inversa		Da:N54°W64°S 3:1 Db:N42°E61°N 1:8 Dc:N80°E82°N 2:1	So1:N46°E81°N
Cariaco L'2 195m CT	F2:N46°E81°N, e:28°NE F2: (V- L'2-01) FN: N78°W75°N Dextral, Normal	PA:N70°E12°NW, eje:26°NE PLi:N60°E78°NW		So2:N60°E78°N

**Nota:** Dx: Sistema de diaclasas X, e: Estría de falla, FN: Falla normal con salto de 1 m, Fx: Falla X, PA: Pliegue (plano axial), PLi: Pliegue (limbo Izquierdo), SoX: Foliación X.

### Quebrada Guanape

**Tabla 8.14.** Datos de campo. Estación de trabajo L1, cuenca de la Qda. Guanape.

Cuenca	Fracturas	Pliegues	Diaclasas	Foliación
Guanape L1, 225m CT	FG: N78°E90° Contacto litolog.			
Guanape L1, 225m ASJ	E-W64°S, e:34°SE (V-11-01)		D1:N68°W04°N 1:12 D2:N15°W85°S 1:15	So1: N68°E85°S So2:N62°E78°S

**Nota:** Dx: Sistema de diaclasas X, e: Estría de falla, FG: Falla general, Sox: Foliación X.

### Quebrada Osorio

**Tabla 8.15.** Datos de campo. Estación de trabajo M1, M2, M3 y M4, cuenca de la Qda. Osorio.

Cuenca	Fracturas	Pliegues	Diaclasas	Foliación
Osorio M1 y M2 115m CT	F1:N84°E62°S F2:N70°E82°S F3:N63°E76°NW F4:N55°W81°SW F4: Kink Band	Pa1:N 75°E55°N, eje:00° Pa1: (V-M2-01) Pa2 <sub>1</sub> :N66°E60°N Pa2 <sub>2</sub> :N69°E68°N Pa2 <sub>2</sub> :N80°E70°N Pa2 <sub>4</sub> :N68°E70°N Pa2 <sub>21</sub> :N83°E60°N Pa2 <sub>22</sub> :N88°E62°N, eje:2°SW Pa2 <sub>22</sub> : (V-M2-02) Pa4 <sub>1</sub> :N70°E63°N Pa4 <sub>2</sub> :N68°E65°N Pa4 <sub>3</sub> :N74°E60°N Pa4 <sub>4</sub> :N72°E60°N	D1:N07°W76°N 1:3 D2:N70°E33°N 1:3	De SW a NE So1:N65°E34°N So2:N70°E33°N So3:N63°E34°N So4:N75°E43°N
M3, 190m Contacto entre Esq. Tacagua Esq. calcareo - grafitoso (norte)			D1:N60°W42°S 1:1 D2:N65°E68°N 1:1	So5:N86°W58°N
Esq. S. Julián Eqs. Cz.-anfib.- - micaceo (sur)	FG:N66°W57°N, e:5°NW FG: (V-M3-01)(V-M3-02) (divide las dos litologías) Dextral, Inversa		D1:N10°E76°N 1:7 D2:N65°E10°S 1:5	So6:N85°E82°N
M4, 205m Esq. S. Julián	FG:N50°W87°S, e:11°NW FG: (V-M4-01) Dextral, Normal		D1:N02°W80°N 1:10 D2:N50°W80°S 1:10	So7:N76°E81°N

**Nota:** Dx: Sistema de Diaclasas X, e: Estría de falla, FG: Falla general, Fx: Fracturas X, PxAx: En Pliegue X - Plano Axial X, Sox: Foliación X.

### Quebrada Piedra Azul

**Tabla 8.16.** Datos de campo. Estación de trabajo N1, N2, N'2, N3, N4 y N5, cuenca de la Qda. Piedra Azul.

Cuenca	Fracturas	Pliegues	Diaclasas	Foliación
Piedra Azul N1 245 m Gneis (V-N1-01)	F1: N31°E50°N F2: N12°E40°S F3: N50°E15°N F4: sub // a F1, se horizont. F5: N45°E30°S F6: N40°E78°N		D1: N-S87°W 1:2 D2: N85°W40°S 1:3 D3: N40°E05°N 1:3	So1: N86°W77°N So2: N89°E60°N So3: N86°W70°N
N'2, 275 m Afluente Izq Contacto entre Gneiss (NE) y Anfibolita (SW)	F5: N48°W73°S, e: 19°SE Dextral, Inversa, Extraplomada			So4: N84°W73°N So4: sobre la anfib.
N2, 190 m Afluente Izq. Anfibolita	F1: N37°W67°S, r/c 3 m F2: N40°E25°N, r/c 2 m F3: N33°W70°N, r/c 3 m F3:(V-N2-01) F3: r/c1,5 m consecutivos		D1: N70°E78°S 1:1 D2: N10°E60°N 1:1 D3: N26°W60°N 1:1	So5: N70°E78°S pseudo-foliación
N3, 185 m Afluente Izq. Contacto: Anfib. Y Augen. Peña de Mora	Cf: N31°W76°N			
N4, 183 m Afluente Izq. Augengneis	F1: N42°E79°N // Qda. F2: N72°W56°S F2: (V-N4-01) Se observan patrones de fallas y fracturas		D1: N14°W81°S 1:3 D2: N88°E86°N 1:3 D3: N56°E46°S 1:3	So6: N88°E86°N
N5, 145 m Contacto Gneis (N) y Augeng. (S)	F6: N82°W80°S, LM: 45°SE Min. sobre el Gneis Cf: N82°E80°S			So7: E-W82°S So7: sobre el Gneis So8: N82°E80°S

**Nota:** Cf: Contacto de falla, Dx: Sistema de diaclasas X, e: Estría de falla, SoX: Foliación X, FX: Falla X, LM: Lineación mineral, r/c: Se repite cada..., Sub //: Subparalelo a..., //: Paralelo a ....

### 8.2.2 Resumen del esfuerzo compresivo por estaciones

Durante el trabajo de campo, se puede intuir que la dirección del esfuerzo compresivo ( $\sigma_1$ ) causante de la deformación de un área específica es relativamente perpendicular a la foliación o también perpendicular a los plano axiales de los pliegues, según sea el caso. En tal sentido, a continuación se incluyen las proyecciones estereográficas de  $\sigma_1$ , para cada una de las estaciones de trabajo, obtenido de la información de pliegues y foliaciones indicadas en las minutas del tópico anterior (véase tópico 8.2.1).

**Tabla 8.17.** Resumen de los  $\sigma_1$  de campo para cada estación.

Unidad litodémica	Cuenca	Estación	n	Vector compresivo $\sigma_1$			
				Rumbo	Declive		
CT	Care	A1	15	N32,5°W	41,6° SE		
	Masare	B1	6	N24°W	12,6° SE		
ASJ	Miguelena	B2-1	6	N27,3°W	23,8° SE		
CA		B2-2	7	N21,4°W	35,6° SE		
CT		B2-3	4	N29,8°W	6,1° SE		
ASJ	Naiguatá	C1	24	N7,7°W	24,9° SE		
		C2	15	N22,5°W	54° SE		
APM	ASJ	Uria	D1	D2	24	N32,5°W	59,6° SE
CT							
	Tanaguarena	E1	12	N88°W	23,8° NW		
ASJ	Cerro Grande	F1 - F2 - F3	15	N7,7°W	24° SE		
	Qda. Seca	G1 - G3	6	N12,6°W	30,6° SE		
CT			G2	18	N2,6°W	23,3° NW	
ASJ	San Julián	H1	1	N32,6°E	6,6° SW		
		H2	3	N12,6°W	23,6° SE		
			I1	13	N13°E	5,6° NE	
APM	Camurí Chico	I2	4	N25°E	24,4° SW		
CT		I3	3	N32,4°E	06° SW		

Tabla 8.17. Continuación...

Unidad litodémica	Cuenca	Estación	n	Vector compresivo $\sigma_1$			
				Rumbo	Declive		
APM	El Cojo	J1	1	N20°E	25°SW		
		J2	5	N2,2°W	11,3°SE		
ASJ		J3	6	N22,5°W	17,9°SE		
APM	Galipán	K1	6	N27°W	0,5°SE		
CT	Cariaco	L'1 - L'2	3	N27,8°W	11,8°SE		
ASJ	Guanape	L1	2	N25°W	8,5°NW		
CT	Osorio	M1 - M2	15	N22,5°W	24,2°SE		
CT		ASJ	M3	M3	2	N - S	16,3°S
ASJ		Piedra Azul	M4	1	N14°W	09°SE	
			N1	3	N2,4°E	17,8°SW	
	N2 - N'2		2	N9,8°W	2,5°SE		
APM	N3 - N4		1	N02°W	04°SE		
N5	2		N3,4°W	7,4°NW			

### 8.3. Datos de laboratorio

#### 8.3.1 Minutas de laboratorio

En este apartado se incluye, detalladamente, la información de laboratorio concerniente a las direcciones de esfuerzo compresivo ( $\sigma_1$ ), analizadas en las secciones finas orientadas según criterios microtectónicos (véase el tópico 3.2.5).

Agrupando las secciones finas orientadas pertenecientes a cada estación de trabajo, surgen las tablas con el promedio de  $\sigma_1$  correspondiente a dichas estaciones.

#### Quebrada Care

**Tabla 8.18.** Datos de laboratorio. Estación de trabajo A1, cuenca de la Qda. Care, Esquisto de Tacagua.

Sección fina	Vector compresivo $\sigma_1$ .	
Código	Rumbo	Declive
V-A1-02	N54°W	01° SE
	N34°W	08° SE
	N57°W	0,5° NW
	N48°W	04° SE
	N10°W	16,5° SE
<b>Promedio</b>	<b>N40,6°W</b>	<b>5,8° SE</b>

#### Río Masare

**Tabla 8.19.** Datos de laboratorio. Estación de trabajo B1, cuenca de río Masare, Esquisto de Tacagua.

Sección fina	Vector compresivo $\sigma_1$ .	
Código	Rumbo	Declive
V-B1-02	N30°W	15° SE
	N36°W	15,5° SE
	N36°W	15,5° SE
	N43°W	18° SE
	N22°W	11° SE
	N30°W	14° SE

**Tabla 8.19.** Continuación...

<b>Sección fina</b>	<b>Vector compresivo <math>\sigma_1</math>.</b>	
<b>Código</b>	<b>Rumbo</b>	<b>Declive</b>
V-B1-03	N14°W	16° SE
	N25°W	16° SE
	N19°W	16° SE
	N11°W	15,5° SE
	N31,5°W	16° SE
	N22°W	16° SE
<b>Promedio</b>	<b>N26,9°W</b>	<b>15,4° SE</b>

**Río Miguelena****Tabla 8.20.** Datos de laboratorio. Estación de trabajo B2-1, cuenca de río Miguelena, Complejo San Julián.

<b>Sección fina</b>	<b>Vector compresivo <math>\sigma_1</math>.</b>	
<b>Código</b>	<b>Rumbo</b>	<b>Declive</b>
V-B21-01	N36°W	1,5° NW
	N45°W	02° NW
	N38°W	1,5° NW
	N20°W	0° SE
<b>Promedio</b>	<b>N34,7°W</b>	<b>1,3° NW</b>

**Tabla 8.21.** Datos de laboratorio. Estación de trabajo B2-2, cuenca de río Miguelena, Mármol de Antímano.

<b>Sección fina</b>	<b>Vector compresivo <math>\sigma_1</math>.</b>	
<b>Código</b>	<b>Rumbo</b>	<b>Declive</b>
V-B22-01	N29°W	26° SE
	N55°W	23° SE
	N35°W	26° SE
	N15°E	22° SW

**Tabla 8.21.** Continuación

<b>Sección fina</b>	<b>Vector compresivo <math>\sigma_1</math>.</b>	
<b>Código</b>	<b>Rumbo</b>	<b>Declive</b>
V-B22-02	N58°W	23° SE
	N38°W	26° SE
	N46°W	25° SE
	N14°E	22° SW
	N40°W	26° SE
V-B22-03	N22°W	20° SE
	N10°W	19° SE
	N5°W	18° SE
	N10°E	15° SW
<b>Promedio</b>	<b>N23°W</b>	<b>22,4° SE</b>

**Tabla 8.22.** Datos de laboratorio. Estación de trabajo B2-3, cuenca de río Miguelena, Esquisto de Tacagua.

<b>Sección fina</b>	<b>Vector compresivo <math>\sigma_1</math>.</b>	
<b>Código</b>	<b>Rumbo</b>	<b>Declive</b>
V-B23-01	N60°W	30° SE
	N59°W	30° SE
	N57°W	30° SE
	N54°W	30° SE
<b>Promedio</b>	<b>N57,5°W</b>	<b>30° SE</b>

**Río Naiguatá****Tabla 8.23.** Datos de laboratorio. Estación de trabajo C1, cuenca de río Naiguatá, Esquisto de Tacagua.

<b>Sección fina</b>	<b>Vector compresivo <math>\sigma_1</math>.</b>	
<b>Código</b>	<b>Rumbo</b>	<b>Declive</b>
V-C1-01	N20°W	14° NW
	N13°W	12° NW
	N35°E	03° SE
	N05°E	07° NE
	N25°W	15° NW
	N06°W	11° NW

**Tabla 8.23.** Continuación...

<b>Sección fina</b>	<b>Vector compresivo <math>\sigma_1</math>.</b>	
<b>Código</b>	<b>Rumbo</b>	<b>Declive</b>
V-C1-02	N37°W	02° NW
	N31°W	01° NW
	N27°W	0,5° NW
	N50°W	05° NW
	N21°W	01° SE
<b>Promedio</b>	<b>N17,3°W</b>	<b>5,8 NW</b>

**Tabla 8.24.** Datos de laboratorio. Estación de trabajo C2, cuenca de río Naiguatá, Esquisto de Tacagua.

<b>Sección fina</b>	<b>Vector compresivo <math>\sigma_1</math>.</b>	
<b>Código</b>	<b>Rumbo</b>	<b>Declive</b>
V-C2-01	N05°W	20° SE
	N11°W	21° SE
	N04°E	19,5° SW
	N04°W	20° SE
V-C2-02	N07°W	22,5° SE
	N19,5°W	29,5° SE
	N11°W	25° SE
V-C2-03	N10°E	9,5° SW
	N19°W	03° NW
	N13,5°W	01° NW
	N36°W	10° NW
	N44°W	13,5° NW
	N39°W	12° NW
	N48°W	14,5° NW
N80°W	21,5° NW	
V-C2-04	N12°W	31° SE
	N28°W	46° SE
	N3,5°W	18,5° SE
	N13°W	32° SE
	N10°W	28,5° SE
<b>Promedio</b>	<b>N19,4°W</b>	<b>12,4° SE</b>

## Río Uria

**Tabla 8.25.** Datos de laboratorio. Estación de trabajo D1 y D2, cuenca de río Uria, Complejo San Julián y Augengneis de Peña de Mora.

<b>Sección fina</b>	<b>Vector compresivo <math>\sigma_1</math>.</b>	
<b>Código</b>	<b>Rumbo</b>	<b>Declive</b>
V-D1-01	N06°W	09° NW
	N19°W	07° SE
	N26°W	15° SE
	N-S	16° NW
	N14°W	20° NW
V-D2-02	N16°W	19° NW
	N13°W	24° NW
	N71°E	55° NW
	N66°E	55° NW
	N30°W	12° SE
<b>Promedio</b>	<b>N1,3°E</b>	<b>16,4° NW</b>

**Tabla 8.26.** Datos de laboratorio. Estación de trabajo D3, cuenca de río Uria, Esquisto de Tacagua.

<b>Sección fina</b>	<b>Vector compresivo <math>\sigma_1</math>.</b>	
<b>Código</b>	<b>Rumbo</b>	<b>Declive</b>
V-D3-01	N11°W	17° SE
	N50°W	27° SE
	N09°W	16° SE
	N45°E	11° NE
	N02°W	13° SE
	N07°W	15° SE
	N27°E	02° NE
	N48°E	03° NE
	N65°W	29° SE
	N44°W	26° SE
<b>Promedio</b>	<b>N68°W</b>	<b>11,7° SE</b>

### Quebrada Tanaguarena

**Tabla 8.27.** Datos de laboratorio. Estación de trabajo E1, cuenca de la Qda. Tanaguarena, Esquisto de Tacagua.

Sección fina	Vector compresivo $\sigma_1$ .	
Código	Rumbo	Declive
V-E1-01	N72°W	6,0° SE
	N61°W	20,0° SE
	N46°W	36,0° SE
	N67°W	14,0° SE
	N60°E	44,0° SW
V-E1-02	N46°W	29° NW
	N28°W	09° NW
	N38°W	20° NW
	E-W	50° NW
<b>Promedio</b>	<b>N43,1°W</b>	<b>1,3° SE</b>

### Río Cerro Grande

**Tabla 8.28.** Datos de laboratorio. Estación de trabajo F1, F2 y F3, cuenca de la río Cerro Grande, Complejo San Julián.

Sección fina	Vector compresivo $\sigma_1$ .	
Código	Rumbo	Declive
V-F1-01	N57°W	01° NW
	N67°W	02° NW
	N64°W	01° NW
	N50°W	01° SE
	N41°W	02° SE
<b>Promedio</b>	<b>N55,8°W</b>	<b>0,3° NW</b>

**Quebrada Seca****Tabla 8.29.** Datos de laboratorio. Estación de trabajo G1 y G3, cuenca de Qda. Seca, Complejo San Julián.

<b>Sección fina</b>	<b>Vector compresivo <math>\sigma_1</math>.</b>	
<b>Código</b>	<b>Rumbo</b>	<b>Declive</b>
V-G1-01	N05°W	34,5° SE
	N13°W	35° SE
	N06°W	35° SE
	N07°W	35° SE
	N03°W	34,5° SE
	N04°W	35° SE
	N14°W	35° NW
V-G3-01	N26°W	05° SE
	N21°W	01° NW
	N29°W	08° SE
	N31°W	10° SE
	N10°W	13,5° NW
	N03°W	21,5° NW
	N10°E	32° NE
<b>Promedio</b>	<b>N11,5°W</b>	<b>9,2° SE</b>

**Río San Julián****Tabla 8.30.** Datos de laboratorio. Estación de trabajo H1, cuenca del río San Julián, Complejo San Julián.

<b>Sección fina</b>	<b>Vector compresivo <math>\sigma_1</math>.</b>	
<b>Código</b>	<b>Rumbo</b>	<b>Declive</b>
V-H1-01	N18°W	16,0° NW
	N06°W	11,0° NW
	N15°W	15,0° NW
	N33°E	8,0° SW
<b>Promedio</b>	<b>N1,5°W</b>	<b>8,5° NW</b>

**Tabla 8.31.** Datos de laboratorio. Estación de trabajo H2, cuenca del río San Julián, Complejo San Julián.

<b>Sección fina</b>	<b>Vector compresivo <math>\sigma_1</math>.</b>	
<b>Código</b>	<b>Rumbo</b>	<b>Declive</b>
V-H2-01	N40°W	03° NW
	N30°W	02° NW
	N17°W	1,5° NW
V-H2-02	N23°W	21° SE
	N04°W	20° SE
	N24°W	21° SE
	N06°W	20° SE
	N15°W	20,5° SE
<b>Promedio</b>	<b>N19,8°W</b>	<b>12° SE</b>

**Río Camurí Chico****Tabla 8.32.** Datos de laboratorio. Estación de trabajo I1, cuenca del río Camurí Chico, Complejo San Julián.

<b>Sección fina</b>	<b>Vector compresivo <math>\sigma_1</math>.</b>	
<b>Código</b>	<b>Rumbo</b>	<b>Declive</b>
V-I1-01	N16,5°E	06° NE
	N05°W	06° SE
	N17,5°E	06° NE
	N11°E	06° NE
	N17,3°E	06° NE
<b>Promedio</b>	<b>N11,4°E</b>	<b>06° NE</b>

**Tabla 8.33.** Datos de laboratorio. Estación de trabajo I2, cuenca del río Camurí Chico, Augengneis de Peña de Mora.

<b>Sección fina</b>	<b>Vector compresivo <math>\sigma_1</math>.</b>	
<b>Código</b>	<b>Rumbo</b>	<b>Declive</b>
V-I2-01	N26°W	21° SE
	N22°W	09° SE
	N22°W	09° SE
	N17°W	12° NW
	N28°W	08° NW
	N03°E	58° NW
	N20°W	08° SE

**Tabla 8.33.** Continuación...

Sección fina	Vector compresivo $\sigma_1$ .	
Código	Rumbo	Declive
V-I2-02	N22°W	13° SE
	N32°W	10° SE
	N34°W	09° SE
	N35,5°W	08° SE
	N36°E	26° SW
<b>Promedio</b>	<b>N18,3°W</b>	<b>2,9° SE</b>

**Tabla 8.34.** Datos de laboratorio. Estación de trabajo I3, cuenca del río Camurí Chico, Esquisto de Tacagua.

Sección fina	Vector compresivo $\sigma_1$ .	
Código	Rumbo	Declive
V-I3-01	N16,0°E	43° NE
	N2,0°E	48° NE
	N16,0°W	51° NW
	N10,0°W	50° NW
	N20,0°W	52° NW
<b>Promedio</b>	<b>N5,6°W</b>	<b>48,8° NW</b>

**Río El Cojo****Tabla 8.35.** Datos de laboratorio. Estación de trabajo J1, cuenca del Qda. El Cojo, Augengneis de Peña de Mora.

Sección fina	Vector compresivo $\sigma_1$ .	
Código	Rumbo	Declive
V-J1-01	N47,5°W	12° SE
	N40°W	08° SE
	N36°W	10° SE
<b>Promedio</b>	<b>N41,1°W</b>	<b>10° SE</b>

**Tabla 8.35.** Datos de laboratorio. Estación de trabajo J2, cuenca del Qda. El Cojo, Complejo San Julián.

<b>Sección fina</b>	<b>Vector compresivo <math>\sigma_1</math>.</b>	
<b>Código</b>	<b>Rumbo</b>	<b>Declive</b>
V-J2-01	N10,5°W	14 SE
	N12°W	14° SE
	N27,5°W	14° SE
	N10,5°W	14° SE
<b>Promedio</b>	<b>N14°W</b>	<b>14° SE</b>

**Tabla 8.36.** Datos de laboratorio. Estación de trabajo J3, cuenca del Qda. El Cojo, Augengneis de Peña de Mora.

<b>Sección fina</b>	<b>Vector compresivo <math>\sigma_1</math>.</b>	
<b>Código</b>	<b>Rumbo</b>	<b>Declive</b>
V-J3-01	N88°W	54° NW
	N78°W	50° NW
	N39°W	09° NW
	N44°W	18° NW
	N19°W	20° SE
V-J3-02	N06°W	32° SE
	N26°W	29° SE
	N14°W	31° SE
	N11°W	32° SE
	N-S	32° SE
	N23°W	30° SE
	N02°W	32° SE
<b>Promedio</b>	<b>N29,1°W</b>	<b>9,0° SE</b>

### Quebrada San José de Galipán

**Tabla 8.37.** Datos de laboratorio. Estación de trabajo K1, cuenca del Qda. San José de Galipán, Augengneis de Peña de Mora.

<b>Sección fina</b>	<b>Vector compresivo <math>\sigma_1</math>.</b>	
<b>Código</b>	<b>Rumbo</b>	<b>Declive</b>
V-K1-01	N44°W	18° NW
	N79°W	10° NW
	N14°W	18° NW
	N66°W	14° NW
	N35°W	18° NW
<b>Promedio</b>	<b>N47,6°W</b>	<b>15,6° NW</b>

### Quebrada Cariaco

**Tabla 8.38.** Datos de laboratorio. Estación de trabajo L'1 y L'2, cuenca del Qda Cariaco, Esquisto de Tacagua.

Sección fina	Vector compresivo $\sigma_1$ .	
Código	Rumbo	Declive
V-L'1-01	N29°W	31,5° SE
	N12°W	33,5° SE
	N32°W	31° SE
	N24°W	32° SE
	N20°W	32,5° SE
V-L'2-01	N38°W	06° SE
	N55°W	14° SE
	N64°W	17,5° SE
	N59°W	15,5° SE
	N62°W	16,5° SE
	N44°W	9,5° SE
<b>Promedio</b>	<b>N39,9°W</b>	<b>21,8° SE</b>

### Quebrada Guanape

**Tabla 8.39.** Datos de laboratorio. Estación de trabajo L1, cuenca del Qda. Guanape, Complejo San Julián.

Sección fina	Vector compresivo $\sigma_1$ .	
Código	Rumbo	Declive
V-L1-01	N44°W	13° SE
	N31°W	05° NW
	N36°W	01° SE
	N05°W	35° NW
<b>Promedio</b>	<b>N29,0°W</b>	<b>6,5° NW</b>

## Quebrada Osorio

**Tabla 8.40.** Datos de laboratorio. Estación de trabajo M1 y M2, cuenca de la Qda. Osorio, Esquisto de Tacagua.

<b>Sección fina</b>		<b>Vector compresivo <math>\sigma_1</math>.</b>	
<b>Código</b>	<b>Rumbo</b>	<b>Declive</b>	
V-M2-01	N12°W	11° SE	
	N16°W	12° SE	
	N6°W	9,5° SE	
	N2°W	9° SE	
	N4°W	09° SE	
	N15°W	12° SE	
V-M2-02	N33°W	23° SE	
	N57°W	15° SE	
	N46°W	19° SE	
	N62°W	12° SE	
	N60°W	13,5° SE	
	N72°W	7,5° SE	
	N52°W	17° SE	
	N64°W	11,5° SE	
N69°W	09° SE		
<b>Promedio</b>	<b>N38,0°W</b>	<b>12,7° SE</b>	

**Tabla 8.41.** Datos de laboratorio. Estación de trabajo M3, cuenca de la Qda. Osorio, Contacto entre Esquisto de Tacagua y Complejo San Julián.

<b>Sección fina</b>		<b>Vector compresivo <math>\sigma_1</math>.</b>	
<b>Código</b>	<b>Rumbo</b>	<b>Declive</b>	
V-M3-01	N14°W	07° SE	
	N12°W	07° SE	
	N09°W	7,5° SE	
	N12°W	07° SE	
	N16°W	07° SE	
V-M3-02	N04°W	27° SE	
	N23°W	19° SE	
	N – S	28° SE	
	N – S	28° SE	
	N25,5°W	17,5° SE	
	N10°W	25° SE	
N20°W	21° SE		

**Tabla 8.41.** Continuación...

<b>Sección fina</b>	<b>Vector compresivo <math>\sigma_1</math>.</b>	
<b>Código</b>	<b>Rumbo</b>	<b>Declive</b>
V-M3-02	N15°W	23° SE
	N6,5°W	26° SE
	N03°E	30° SE
<b>Promedio</b>	<b>N10,9°W</b>	<b>18,7° SE</b>

**Tabla 8.42.** Datos de laboratorio. Estación de trabajo M4, cuenca de la Qda. Osorio, Complejo San Julián.

<b>Sección fina</b>	<b>Vector compresivo <math>\sigma_1</math>.</b>	
<b>Código</b>	<b>Rumbo</b>	<b>Declive</b>
V-M4-01	N3,5°W	02° NW
	N6,5°W	02° NW
	N – S	02° NW
	N08°W	1,5° NW
<b>Promedio</b>	<b>N4,5°W</b>	<b>1,9° NW</b>

### Quebrada Piedra Azul

**Tabla 8.43.** Datos de laboratorio. Estación de trabajo N1, cuenca de la Qda. Piedra Azul, Complejo San Julián.

<b>Sección fina</b>	<b>Vector compresivo <math>\sigma_1</math>.</b>	
<b>Código</b>	<b>Rumbo</b>	<b>Declive</b>
V-N1-01	N37,5°W	29° SE
	N54°W	22° SE
	N30°W	31° SE
	N20°W	32,5° SE
	N32°W	30,5° SE
	N – S	35° SE
<b>Promedio</b>	<b>N34,7°W</b>	<b>29° SE</b>

**Tabla 8.44.** Datos de laboratorio. Estación de trabajo N2 y N'2, cuenca de la Qda. Piedra Azul, Complejo San Julián.

<b>Sección fina</b>	<b>Vector compresivo <math>\sigma_1</math>.</b>	
<b>Código</b>	<b>Rumbo</b>	<b>Declive</b>
V-N2-01	N15°E	29° SE
	N02°W	30° SE
	N06°W	30° SE
	N3,0°E	30° SE
	N10°W	30° SE
<b>Promedio</b>	<b>N – S</b>	<b>29,8° SE</b>

**Tabla 8.45.** Datos de laboratorio. Estación de trabajo N3 y N4, cuenca de la Qda. Piedra Azul, Augengneis de Peña de Mora.

<b>Sección fina</b>	<b>Vector compresivo <math>\sigma_1</math>.</b>	
<b>Código</b>	<b>Rumbo</b>	<b>Declive</b>
V-N4-01	N69°W	36,5° SE
	N63°W	34° SE
	N67°W	35,5° SE
	N71°W	37° SW
	N69°W	36,5° SE
	N58°W	33° SE
	N73°W	37,5° SW
<b>Promedio</b>	<b>N67,8°W</b>	<b>35,9° SE</b>

### 8.3.2 Resumen del esfuerzo compresivo por estación

El trabajo de laboratorio consta de un análisis exhaustivo y sistemático de las secciones finas orientadas con ayuda del microscopio petrográfico (véase tópico 3.3.4). De cada una de éstas se extrae una variedad de direcciones de esfuerzos compresivos ( $\sigma_1$ ) que al promediarlas da el  $\sigma_1$  para dicha sección fina (véase tópico 8.2.1).

A continuación se resume la información, agrupando las muestras pertenecientes a un misma estación de trabajo con la finalidad de obtener el  $\sigma_1$  de laboratorio para cada estación.

**Tabla 8.46.** Resumen de los promedios de  $\sigma_1$  de laboratorio para cada estación.

Unidad litodémica	Cuenca	Estación	Sección fina	n	$\sigma_1$ promedio	
					Rumbo	Declive
CT	Care	A1	V-A1-02	5	N40,6°W	5,8° SE
	Masare	B1	V-B1-02	12	N26,9°W	15,4° SE
V-B1-03						
ASJ	Miguelena	B2-1	V-B21-01	4	N34,7°W	1,3° NW
CA		B2-2	V-B22-01	13	N23°W	22,4° SE
			V-B22-02			
			V-B22-03			
CT		B2-3	V-B23-01	4	N57,5°W	30° SE
CT	Naiquatá	C1	V-C1-01	11	N17,3°W	5,8° NW
			V-C1-02			
ASJ		C2	V-C2-01	20	N19,4°W	12,4° SE
			V-C2-02			
		V-C2-03				
		V-C2-04				
APM	Uria	D1 - D2	V-D1-01	10	N1,3°E	16,4° NW
ASJ			V-D2-02			
		D3	V-D3-01	10	N68,0°W	11,7° SE
CT	Tanaguarena	E1	V-E1-01	9	N43,1°W	1,3° SE
			V-E1-02			

Tabla 8.46. Continuación...

Unidad litodémica	Cuenca	Estación	Sección fina	n	$\sigma_1$ promedio	
					Rumbo	Declive
ASJ	Cerro Grande	F1 - F2 - F3	V-F1-01	5	N55,8°W°	0,3°NW
	Qda. Seca	G1 - G3	V-G1-01	14	N11,5°W	9,2°SE
			V-G3-01			
	San Julián	H1	V-H1-01	4	N1,5°W	8,5°NW
		H2	V-H2-01	8	N19,8°W	12°SE
V-H2-02						
APM	Camurí Chico	I1	V-I1-01	5	N11,4°E	06°SW
		I2	V-I2-01	12	N18,3°W	2,9°SE
			V-I2-02			
CT	I3	V-I3-01	5	N5,6°W	48,8°NW	
APM	El Cojo	J1	V-J1-01	3	N41,1°W	10°SE
		J2	V-J2-01	4	N14°W	14°SE
ASJ	El Cojo	J3	V-J3-01	12	N29,1°W	9,0°SE
			V-J3-02			
APM	Galipán	K1	V-K1-01	5	N47,6°W	15,6°NW
CT	Cariaco	L'1 - L'2	V-L'1-01	11	N39,9°W	21,8°SE
			V-L'2-01			
ASJ	Guanape	L1	V-L1-01	4	N29,0°W	6,5°NW
CT	Osorio	M1 - M2	V-M2-01	15	N38,0°W	12,7°SE
			V-M2-02			
ASJ	Osorio	M3	V-M3-01	15	N10,9°W	18,7°SE
CT			V-M3-02			
ASJ	Piedra Azul	M4	V-M4-01	4	N4,5°W	1,9°NW
		N1	V-N1-01	6	N34,7°W	29°SE
		N2 - N'2	V-N2-01	5	N - S	29,8°S
APM	Piedra Azul	N3 - N4	V-N4-01	7	N67,8°W	35,9°SE

### 8.4. Control de muestras y secciones finas

**Tabla 8.47.** Control de datos de muestras de campo y secciones finas orientadas.

Sección Fina			Muestra de mano						
#	Plano de corte	Código	Cuenca	Cota (m)	Plano de orientación, estría o lineación mineral.	Foliación, bandeamiento o plano axial	Unidad litodémica	Litología aproximada de campo	Observaciones
1	N55°W22°S	V-A1-2	Care	15	N10°W70°N	Pa3:N80°E74°N, Eje:14°SW	ASJ	Esquisto cuarzo - epidótico	Ápice del pliegues P3 (2 <sup>do</sup> orden)
2	N80°E10°N	V-H0-1	San Julián	200	N80°E80°S	Band:N80°E80°S	APM	Augengneis	Plano de corte perpendicular al plano de observación
3	N02°E23°S	V-B1-2	Masare	70	N30°W60°S	Pa1:N68°E78°N, Eje:21°NE	CT	Esquisto clorítico - epidótico	Ápice del pliegue P1
4	N66°E16°S	V-B1-3			N66°E74°N	So:N66°E74°N		Esq. clorítico - epidótico – cuarzoso	Limbo derecho de pliegue
5	N20°W06°S	V-B21-1	Miguelena	150	N20°W84°N, e:30°SE	So:N70°E69°N	ASJ	Esquisto cuarzoso	Plano de falla, con estrías
6	N69°E26°S	V-B22-1			N65°E70°S	Pa3:N75°W68°N, Eje:16°SE		Anfibolita granatífera	Limbo izquierdo del pliegue P3
7	N67°E27°S	V-B22-2		80	N10°E75°S	Pa3:N75°W68°N, Eje:16°SE	CA	Anfibolita	Zona de charnela del pliegue P3
8	N56°E21°S	V-B22-3			N05°W75°S	Pa1:N80°W75°N, Eje:15°SE	Mármol	Limbo izquierdo del pliegue isoclinal P1	
9	N36°E30°S	V-B23-1		55	N54°W80°S	So:N36°E60°N	CT	Esquisto epidótico	Sin estructuras lineales
10	N27°E19°N	V-C1-1	Naiquatá	65	N19°W55°S	Pa1:N84°E79°S, Eje:15°SW	CT	Esquisto cuarzoso	Ápice del pliegue P1
11	N24°W12°S	V-C1-2			N60°E45°N	Pa2:N69°E89°N, Eje:12°SW		Esquisto clorítico - cuarzoso	Zona de charnela del pliegue P2
12	N69°E21°S	V-C2-1		150	N86°E70°N, LM:05°NE	So:N86°E70°N, LM:05°NE	ASJ	Esquisto cuarzo - micáceo	Foliación con lineación mineral
13	N22°E41°S	V-C2-2			N80°W80°N, e:39°SE	So:N80°W 80°N		Esquisto cuarzo - micáceo – epidótico	Espejo de falla, con estrías
14	N10°W22°S	V-C2-3			N30°W70°N	Pa3:N10°E68°S, Eje:07°SW		Esquisto cuarzoso	Zona de charnela del pliegue P3
15	N07°E61°S	V-C2-4			N80°E62°N, e:48°NE	So:N80°E62°N		Esquisto cuarzoso	Espejo de falla, con estrías
16	N14°W50°N	V-D1-1	Uria	115	N76°E70°S	Band:N76°E70°S	APM	Augengneis	Zona de Falla de Macuto
17	N30°W56°N	V-D2-2		90	N40°W56°N	Pa4:N60°E78°N, Eje:15°SW	ASJ	Esquisto cuarzo - micáceo	Ápice del pliegue P4

Tabla 8.47. Continuación...

Sección Fina			Muestra de mano						
#	Plano de corte	Código	Cuenca	Cota (m)	Plano de orientación, estría o lineación mineral.	Foliación, bandeamiento o plano axial	Unidad litodémica	Litología aproximada de campo	Observaciones
18	N84°E55°S	V-E1-1	Tanaguarena	85	N10°W53°S	Pa9:N30°W44°N, Eje:24°SE	CT	Esquisto clorítico - cuarzoso	Zona de charnela del pliegue P9
19	N21°W52°S	V-E1-2			N20°W24°S	Pa5:N-S40°E, Eje:10°SE		Esquisto cuarzo - clorítico	Zona de charnela del pliegue P5
20	N53°W09°S	V-F1-1	Cerro Grande	100	N53°W81°N	So:N50°E85°N	ASJ	Esquisto cuarzo - micáceo	Plano de falla, sin estrías
21	N76°E35°S	V-G1-1	Qda Seca	270	N76°E55°N, LM:08°NE	Band:N76°E55°N		Gneis cuarzo - feldespático	Muestreo: Plano de bandeamiento, PC ⊥ PO = Band.
22	N17°W27°N	V-H1-1	San Julián	340	N57°W82°N, e:26°NW	So:N57°W82°N		Esquisto cuarzo - micáceo	Brechado, PO = So
23	N05°WE05°N	V-H2-1		380	N05°E85°S	Band:N05°E85°S		Esq. cuarzo - feldespático - micáceo	Brecha de falla, sin estrías
24	N66,5°E20°S	V-H2-2		N86°E70°N, LM:07°NE	So:N86°E70°N, LM:07°NE	Esquisto cuarzo - micáceo		"So" con mineralización, esquisto // a la brecha de falla en # 23	
25	N73°W06°N	V-I1-1	Camurí Chico	100	N73°W42°S	Band:N73°W84°S		Gneis cuarzo - feldespático	Zona de Falla de Macuto, plano de falla, sin estrías
26	N20°E76°N	V-I2-1		115	N30°E76°N	Band:N70°W82°N		APM	Augengneis
27	N54°W27°S	V-I2-2		N54°W63°N	So:N54°W63°N	CT	Esq. cuarzo - micáceo - epidótico	Zona de Falla de Macuto, PC ⊥ PO = So	
28	N62°E52°N	V-I3-1		N62°E52°N	So:N78°W75°S	Esquisto clorítico - cuarzoso	Zona de Falla de Macuto, PC = PO		
29	N09°W20°N	V-J1-1	El Cojo	125	N83°W85°S, e:18°SE	Band:N83°W85°S	APM	Augengneis	Plano de falla con estrías (brechado)
30	N84°E14°S	V-J2-1		255	N84°E76°N	Band:N84°E76°N		Augengneis	Augengneis, fracturado en bloques de 20x15x10 cm
31	N32°W59°S	V-J3-1		235	N06°W58°N	Pa <sub>2P1</sub> :N71°E70°N, Eje:51°NW	ASJ	Esquisto cuarzo - micáceo	Ápice de pliegue P <sub>2P1</sub>
33	N62°E18°N	V-K1-1	Galipán	90	N83°W75°S, e:10°NW	Band:N83°W75°S	APM	Brechado	Espejo de falla con estrías, afluente der. al R. Galipán
34	N34°W55°N	V-L1-1	Guanape	225	N85°E55°S, e:36°SE	So:N85°E55°S	ASJ	Esquisto cuarzo - feldespático	Espejo de falla, con estrías, PC ⊥ PO = So, Brechado
35	N86°E34°S	V-L'1-1	Cariaco	185	N70°E57°N, e:08°SW	So:N70°E57°N	CT	Esquisto cuarzo - grafitoso	Espejo de falla, con estrías
36	N27°W29°N	V-L'2-1		195	N46°E81°N, e:28°NE	So:N46°E81°N		Esquisto micáceo - cuarzoso	Espejo de falla con estrías

**Tabla 8.47.** Continuación...

Sección Fina			Muestra de mano						
#	Plano de corte	Código	Cuenca	Cota (m)	Plano de orientación, estría o lineación mineral.	Foliación, bandeamiento o plano axial	Unidad litodémica	Litología aproximada de campo	Observaciones
37	N54°W34°S	V-M3-2	Osorio	190	N66°W57°N, e:05°NW	So:N86°W58°N	CT	Esquisto micáceo - cuarzoso	Contacto de falla con # 39 (N66°W57°N, e:05°NW)
38	N50°W03°N	V-M4-1		205	N50°W87°S, e:11°Nw	Brechado	ASJ	Esquisto cuarzo - feldespático	Espejo de falla, con estrías
39	N54°W34°S	V-M3-1		190	N66°W57°N, e:05°NW	So:N84°W80°N		Esquisto cuarzo - feldespático	Contacto de falla con # 37 (N66°W57°N, e:05°NW)
40	N24°E18°S	V-M2-1		115	N24°E72°N	Pa1:N75°E55°N, Eje:00°	CT	Esquisto clorítico - epidótico	Pliegue P1, con eje horizontal
41	N87°W29°S	V-M2-2			N87°W61°N	Pa22:N88°E62°N, Eje:15°NW		Esq. clorítico - cuarzoso - epidótico	Zona de charnela del pliegue Pa22
42	E-W35°S	V-N1-1	Piedra Azul	245	N-S87°W	Band:E-W 55°N	ASJ	Gneis	Plano de falla
43	N88°W30°S	V-N2-1		190	N45°W73°N	So:N88°W60°N		Esquisto clorítico	Zona de fallas
44	N07°W40°N	V-N4-1		183	N45°E55°S	Band:N07°W50°S	APM	Augengneis	Zona de fallas
45	N85°W32°S	V-J3-2	El Cojo	235	N-S60°E	Pa2p:N67°E60°N, Eje:13°SW	ASJ	Esquisto cuarzo - micáceo	Ápice de pliegue P2p
46	N22°W49°N	V-G3-1	Qda Seca	255	N20°E48°S	So:N80°W67°S		Gneis	Falla inversa N54°W45°S, e:16°SE
47	N23°E29°S	V-D3-1	Uria	22	N50°W87°S	PaD3:N45°W64°N, Eje:09°NE	CT	Esq. cuarzo - feldespático - micáceo	Pliegue isoclinal PD3
48	N45°W64°N	V-D3-01			N50°W87°S	PaD3:N45°W64°N, Eje:09°NE		Esq. cuarzo - feldespático - micáceo	Pliegue isoclinal PD3

**Nota:** Band: Bndeamiento, PC: Plano de corte de la sección fina, e: Declive de la estría, PO: Plano de orientación de la muestra, Eje: Declive del eje axial de pliegue, So: Foliación, Esq: Esquisto, ⊥: Perpendicular a..., LM: Declive de la lineación mineral, //: Paralelo a..., Pax: Plano axial del pliegue X, =: Similar a....

**Comentario:** Se omiten los datos de la secciones finas # 32, 49 y 50 al resultar imposible elaborarlas.

## 8.5 Ubicación de estaciones

Tabla 8.48. Ubicación de estaciones de trabajo microtectónico.

Cuenca	Estación	Unidad	Proyección	Coordenadas		Cota (m)	Mapa	
				N	E			
Care	A1	CT	UTM	1.175.390	752.660	15	B-50	
Masare	B1			1.173.650	750.490	70	B-49	
Miguelena	B21	ASJ	LAMBERT	+10.200	+23.920	150	II-13	
	B22	ASJ   CA	UTM	1.173.350	749.820	80	B-49	
	B23	CT		1.173.960	749.760	55		
Naiguatá	C1	ASJ		UTM	1.173.620	747.010	65	B-48
	C2		1.173.140		746.820	150		
Uria	D1	APM	LAMBERT	1.173.050	742.900	115	B-47	
	D2	ASJ		1.173.060	742.910	90		
	D3	CT		1.174.090	743.040	22		
Tanaguarena	E1	CT	LAMBERT	1.173.580	740.730	85		
Cerro grande	F1	ASJ	LAMBERT	+10.340	+12.840	100	II-10	
	F2			+10.180	+13.080	120		
	F3			+10.560	+12.270	170		
Qda. Seca	G1	CT	LAMBERT	+10.240	+11.220	270	II-9	
	G2			CT	+10.770	+11.190		160
	G3			ASJ   CT	+10.300	+11.190		255
San Julián	H1	ASJ	LAMBERT	+8.940	+9.850	340	III-10	
	H2			+8.320	+9.800	380		
Camurí Chico	I1	APM   CT	LAMBERT	+10.420	+7.460	100	II-9	
	I2			APM   CT	+10.410	+7.480		115
	I3			CT	+10.430	+7.480		115
El Cojo	J1	APM	LAMBERT	+10.750	+5.850	125	II-9	
	J2			+9.860	+6.100	255		
	J3			ASJ	+10.080	+6.060		235
Galipán	K1	APM	LAMBERT	1.172.850	730.490	90		
Cariaco	L'1	CT	UTM	1.171.910	728.510	185	C-44	
	L'2			1.171.870	728.530	195		
Guanape	L1	ASJ	LAMBERT	1.171.910	727.740	225		
Osorio	M1, M2	CT	UTM	1.171.990	726.510	115	C-43	
	M3	ASJ   CT		1.171.220	726.480	190		
	M4	ASJ		1.171.600	726.520	205		
Piedra Azul	N1	ASJ	UTM	1.170.010	724.350	245	C-42	
	N2			ASJ   CT	1.170.470	723.800		275
	N3	APM		1.170.470	723.820	190		
	N4			1.170.470	723.830	185		
	N5	ASJ   APM		1.170.500	723.750	145		

**Nota:** En la tabla se citan dos misiones de mapas escala 1:5.000, en dos proyecciones distintas:

- Proyecto Bitucotex (1957), referencia en Loma Quintana, proyección LAMBERT: II-9, II-10, II-13 y III-10
- Proyecto área metropolitana de Caracas (1984), referencia huso 19, proyección UTM: B-47 al B-50 y C-42 al C-44