

REPÚBLICA DE CUBA  
MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO DE MOA  
"Dr. Antonio Núñez Jiménez"

FACULTAD DE GEOLOGIA Y MINERIA  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

# *Trabajo de Diploma*

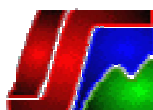
**En Opción al Título de**

**Ingeniero Geólogo**

**TEMA: Análisis estructural de las rocas  
serpentinizadas del territorio de Moa.**

**DIPLOMANTE: YUDITH GARCIA RAMIREZ**

**Moa 2010**



REPÚBLICA DE CUBA  
MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO DE MOA  
"Dr. Antonio Núñez Jiménez"

FACULTAD DE GEOLOGIA Y MINERIA  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

# *Trabajo de Diploma*

**En Opción al Título de**

**Ingeniero Geólogo**

**TEMA: Análisis estructural de las rocas  
serpentinizadas del territorio de Moa.**

**DIPLOMANTE: YUDITH GARCIA RAMIREZ**

**TUTOR: Dr.C. YURI ALMAGUER CARMENATES**

**Moa 2010**



## AGRADECIMIENTO

Hoy me lleno de orgullo y satisfacción al poder agradecer el resultado de tantos años a quienes sin duda alguna lo merecen, a los mayores protagonistas de esta obra: mis padres Yudith y José, mi gratitud sin límites a ustedes. Gracias por haberme dado la vida y prepararme para enfrentarla sin miedos.

Agradezco a Dios por darme la vida, agradezco por estos años vividos.

A nuestro querido e insuperable líder que me brindó la posibilidad de ser parte de esta obra de infinito amor.

A mi tutor Yuri Almaguer el cual con paciencia supo encauzar mis pasos, creyó en mí y en la potencialidad de esta investigación.

A mis compañeros de la universidad por su empeño en hacerme entender que sí se puede.

A todas las personas que de una forma u otra hicieron posible la realización de este trabajo, pero muy en especial a una que llegó a mi vida en un momento muy importante y supo colmarme de amor y dedicación.

A todos los profesores del departamento de Geología, por las excelentes clases impartidas.

A todos los que algún día me preguntaron ¿Cómo va la tesis?

*Muchas gracias.*



## **DEDICATORIA**

Dicen que el amor es la razón alrededor del cual gira la vida, lo cual implica que todo lo que hagamos por mínimo que sea requiere de este preciado sentimiento. Es por ello, que la realización de esta memoria la dedico a las personas que más quiero y aprecio en la vida.

A ti mami que nunca te faltó una sonrisa amable y luchó de conjunto conmigo para poder lograr el resultado final. Excelente madre y amiga.

A ti papi por haber confiado en mí para hacer realidad uno de tus sueños. Excelente padre y amigo.

A mis abuelos que premian mi vida con su existencia.

A mis hermanos y en especial a mi hermana por siempre estar, ser inigualable e insustituible.

A mi sobrino José Luis por su sonrisa y la alegría depositada en mi vida.

A mi familia: A todos los miembros de esta que han realizado esta tesis conmigo y que cada día pusieron su amor sincero, me entendieron y apoyaron en los sacrificios de esta carrera.

Al amor ese sentimiento lleno de magia que mueve al mundo con la fuerza de lo bello y en horas desesperadas sigue siendo lo más bello, el cual encontré cuando más perdida estaba. Gracias.





## **PENSAMIENTO**

Nuestra recompensa se encuentra en el esfuerzo y no en el resultado. Un esfuerzo total es una victoria completa.

Mahatma Gandhi (1869-1948) Político y pensador indio.



## INDICE

RESUMEN .....	1
ABSTRACT .....	2
Fundamento metodológico de la investigación. ....	4
Fundamentación teórica de la investigación. ....	5
Discontinuidades en dominios no cristalográficos. Discontinuidades penetrativas y no penetrativas.....	9
Identificación de deformaciones frágiles con desplazamientos.....	11
Relación de las fallas con los esfuerzos.....	14
Técnica de proyección estereográfica para el análisis estructural. ....	21
CAPITULO I Localización, rasgos fisiográficos y geológicos de la región de estudio. ..	27
1.1 Características físico geográficas. ....	27
1.2 Evolución geológica regional.....	30
1.3 Caracterización morfotectónica.....	39
1.4 Características Geológicas del Territorio. ....	47
CAPITULO II Metodología y volumen de los trabajos realizados. ....	51
Introducción.....	51
2.1 Metodología de análisis estructural aplicado en la investigación. ....	51
2.2 Análisis en el laboratorio de secciones pulidas.....	56
2.3 Procesamiento de datos estructurales. ....	58
CAPITULO III. Análisis estructural de las rocas serpentinizadas del territorio de Moa...63	
3.1 Análisis descriptivo de las estructuras.....	63
3.2 Análisis cinemático de las estructuras. ....	80
3.3 Interpretación del análisis estructural en las rocas serpentinizadas. ....	94
Conclusiones.....	100
Recomendaciones.....	101
Bibliografía. ....	102



## **RESUMEN**

La investigación tiene como objetivo caracterizar desde el punto de vista estructural las rocas serpentizadas del territorio de Moa con vista a la profundización del conocimiento geológico del territorio. La metodología aplicada parte del uso de la información de trabajos precedentes relacionados con investigaciones geológicas, morfotectónicas y geomorfológicas, la realización de documentación geológica de afloramientos con vista a la medición de yacencia de microestructuras y determinación de criterios cinemáticas en zonas de cizallas; el procesamiento de la información se realiza mediante la aplicación de las técnicas de proyección estereográfica. Como resultados se obtiene un análisis estructural descriptivo de deformaciones frágiles y un análisis cinemático a través de la interpretación de las microestructuras cartografiadas en los bloques morfotectónicos estudiados, mostrando la dirección y sentido de los movimientos de las superficies de cizallas, rotaciones de bloques, movimientos normales de sistemas de fallas en echelon, entre otros.



## **ABSTRACT**

The investigation has as objective to characterize from the structural point of view the rocks serpentized of the territory of Moa with view to the deep of the geologic knowledge of the territory. The methodology applied part of the use of the information of precedent works related with geologic investigations, morfotectonic and geomorphologic, the realization of geologic documentation of blooming with view to the mensuration of microestructure recumbent and determination of approaches kinematics in area of shears; the prosecution of the information is carried out by means of the application of the techniques of stereographic projection. As results it is obtained a structural descriptive analysis of fragile deformations and a cinematic analysis through the interpretation of the microstructure cartography in the blocks studied morfotectónicos, showing the address and sense of the movements of the surfaces of shears, rotations of blocks, normal movements of systems of flaws in echelon, among other.



## INTRODUCCION

Moa, como otros muchos lugares de nuestro país ocupa un lugar en la historia nacional no solo por la riqueza de su suelo, de su flora, de su fauna, por la belleza de sus ríos o por el impetuoso desarrollo industrial que aquí se observa. También su historia aporta a esas riquezas, por el esfuerzo de quienes la construyeron por sus luchas contra el imperio que desde tiempos muy lejanos robó los recursos naturales de esta zona como expresión de su política de saqueo.

Con el cursar de los años se ha convertido en una de los municipios más dinámicas de la provincia de Holguín. A pesar del gran número de trabajos desarrollados en el territorio sobre las rocas serpentinizadas, ha sido insuficiente hasta la fecha de hoy el estudio estructural detallado. Con el objetivo de suplir esta deficiencia y de enriquecer el conocimiento de la cinemática de los procesos tectónicos desarrollados en las rocas serpentinizadas del territorio de Moa, es que se realizó la presente investigación.

**Tema:** Análisis estructural de las rocas serpentinizadas del territorio de Moa.

**Problema:** Poco conocimiento de la cinemática de los procesos tectónicos desarrollados en las rocas serpentinizadas del territorio de Moa.

**Objeto:** Las deformaciones frágiles desarrolladas en las rocas serpentinizadas del territorio de Moa.

**Objetivo general:** Determinar las características estructurales de las rocas serpentinizadas para profundizar en el conocimiento geotectónico del territorio.

**Objetivos específicos:**

1. Realizar un análisis descriptivo de las deformaciones desarrolladas en las rocas serpentinizadas.
2. Realizar un estudio de las zonas de cizallas.
3. Determinar las características cinemáticas de las deformaciones.

**Hipótesis:**

Si se realiza un análisis descriptivo de las deformaciones, determinando los criterios cinemáticos y estudiando las zonas de cizalla y superficies de sobrecorrimiento es



posible profundizar en el conocimiento cinemático de los procesos geotectónicos que afectan las rocas serpentinizadas del territorio de Moa.

### **Novedad científica de la investigación.**

Profundización de características estructurales de las rocas serpentinizadas sobre la base de análisis descriptivo y cinemático de deformaciones.

### **Fundamento metodológico de la investigación.**

En el análisis estructural de las rocas serpentinizadas del territorio de Moa se aplica una metodología que parte del uso de la información de trabajos precedentes relacionados con investigaciones geológicas, morfotectónicas y geomorfológicas, la realización de documentación geológica de afloramientos con vista a la medición de yacencia de microestructuras y determinación de criterios cinemáticos en zonas de cizallas; el procesamiento de la información se realiza mediante la aplicación de las técnicas de proyección estereográfica.

Los primeros trabajos realizados para cumplir con el objetivo de la investigación, se relacionan con la descripción de las deformaciones frágiles desarrolladas en las rocas serpentinizadas, partiendo de un análisis descriptivo, cinemático y finalmente una interpretación del análisis estructural en las rocas serpentinizadas. Realizando en el análisis descriptivo una interpretación del agrietamiento y descripción geológica, se midieron los elementos de yacencia de las grietas, además de las características de las mismas tales como apertura, espaciamiento entre grietas, persistencia o continuidad, relleno, humedad, y las características de la superficie de las mismas

En el análisis cinemático se describieron las estructuras presentes fallas, diques, zonas de cizallas, sistemas echelon de acuerdo a su ubicación, elementos de yacencia, tipo de relleno en el caso de los diques. Finalmente en la interpretación del análisis estructural se dan los resultados obtenidos teniendo en cuenta los análisis antes mencionados. Para el procesamiento de los datos se utilizó el Sistema de Información Geográfico, el programa dips v5.



### Fundamentación teórica de la investigación.

La complejidad estructural de las rocas deformadas se debe a la naturaleza de las rocas iniciales (ígneas, sedimentarias o metamórficas), y al proceso de deformación; los principales factores son los siguientes:

- Orden estructural interno y propiedades físicas del cuerpo rocoso inicial.
- Fuerzas externas que actúan sobre el cuerpo durante la deformación.
- Esfuerzos internos de reacción resultantes del cuerpo por la acción de las fuerzas externas.
- Desplazamientos, deformaciones, rotaciones y movimientos diferenciales de dominios diferentes dentro del cuerpo, por los cuales los esfuerzos son eliminados o disminuidos por debajo del umbral de flujo.
- Orden estructural interno y propiedades físicas del cuerpo rocoso después de la deformación.

En las investigaciones de análisis estructural de rocas deformadas se utilizan varias definiciones de las cuales se citan algunas a continuación:

*Cuerpo geológica.* término empleado para denotar cualquier volumen de roca seleccionado para el estudio estructural sin restricciones de tamaño.

*Escalas del cuerpo geológica.* por conveniencias en las observaciones, a los cuerpos geológicos se les puede asignar varios rangos de tamaño absoluto llamados escalas. Cada escala requiere de una técnica de investigación diferente:

- Submicroscópica. Cuerpos tan pequeños o de granulometría tan fina que deben ser estudiados por métodos ópticos. Las observaciones y análisis se realizan por medio de rayos X.
- Microscópica. Los cuerpos se analizan por medio de secciones delgadas o pulidas a través del microscopio.
- Mesoscópica. Se usa para cuerpos que pueden ser estudiados en tres dimensiones por observación directa. Varía desde muestras de manos hasta afloramientos de cuerpos continuos.



- Macroscópica. Se aplica a cuerpos muy extensos y con poca exposición en superficie. Estos cuerpos son observados indirectamente por extrapolación de observaciones y síntesis de análisis mesoscópicos. Las áreas de mediciones varían desde grupos de afloramientos aislados hasta cuerpos cartografiables de mayor extensión.

Muchas investigaciones geológicas realizan observaciones solamente en las tres escalas mayores. Aunque las técnicas de investigación son diferentes, los objetivos son los mismos, o sea, determinar la estructura, composición, y si es posible, la historia del desarrollo del cuerpo.

El análisis estructural de un cuerpo de roca deformado comprende tres fases principales el geométrico, cinemático y dinámico (Turner et al, 1967; Volfson et al, 1982). Estos se describen a continuación, dando algunos conceptos en los cuales están basados.

*Análisis geométrico o descriptivo.* el análisis geométrico comprende observaciones y mediciones directas de las propiedades geométricas y físicas del cuerpo deformado. Solo las propiedades geométricas son necesarias si el análisis subsiguiente será puramente cinemático; pero para análisis dinámicos posteriores se necesitan las propiedades físicas tales como elasticidad, y ductibilidad.

*Análisis cinemático.* de los datos del análisis geométrico se realiza una aproximación para reconstruir los movimientos (deformación, rotación, traslación, etc.) que han tenido lugar dentro del cuerpo durante la deformación. El análisis cinemático puede hacerse de dos formas:

1. los rasgos geométricos de un cuerpo deformado puede ser interpretado directamente en términos de conceptos cinemáticos en la suposición empírica que la naturaleza del orden geométrico del cuerpo refleja el orden de los desplazamientos diferenciales, rotación y deformaciones que están presentes durante la deformación de un cuerpo policristalino real.
2. el estado final observado de un cuerpo deformado es comparado con algún





estado inicial asumido, y se propone un desarrollo cinemático. Pero siempre de una misma observación y una misma suposición se puede obtener más de una reconstrucción cinemática.

*Análisis dinámico (incluyendo cinemático).* el propósito del análisis dinámico es reconstruir los esfuerzos dentro de un cuerpo geológico y las fuerzas externas e internas y superficies de tracción o fuerzas del cuerpo en reacción. El análisis debe ser aplicado preferiblemente solo a cuerpos con límites bien definidos y con una estructura interna diferente de los cuerpos que le rodeen.

Los análisis estructurales antes citados se realizan sobre la base de la descripción de los dominios presentes en la fábrica de las rocas, dentro de los cuales existen dos grandes grupos: *dominios cristalográficos y los no cristalográficos.*

*Textura (microestructura):* se refiere a los aspectos geométricos de las partículas componentes de las rocas, incluyendo tamaño, forma y ordenamiento.

*Estructura.* se refiere a la presencia de estructuras mayores como estratificación (composicional), pliegues, foliación, alineaciones.

*Fábrica.* es la configuración espacial y geométrica de todos los componentes que forman la roca. Esto incluye conceptos tales como textura, estructura y orientación cristalográfica preferida (Hobbs et al, 1976).

*Dominios de fábrica.* El término es usado para especificar cualquier porción tridimensional finita de un cuerpo rocoso que es estadísticamente homogéneo en la escala del dominio. Los dominios son usualmente delineados por límites que son superficies naturales de discontinuidades principales de estructura o composición.

En las rocas estos dominios de fábricas están en dos grupos o clases: *dominios cristalográficos y no cristalográficos.*

*Dominios cristalográficos.* son los granos no deformados o débilmente deformados. Estrictamente hablando, tales dominios no tienen fábrica porque su orden interno es controlado por las leyes de la cristalografía. La estructura de todos los dominios de la misma composición es más o menos la misma en un cuerpo dado.

*Dominios no cristalográficos.* Son dominios homogéneos de una escala mayor que el tamaño de un cristal, y está compuesto por agregados de granos minerales. El orden interno de este dominio no está sujeto directamente a las leyes de la cristalografía y se expresa por una fábrica, la cuál puede variar de dominio a dominio en un cuerpo de composición uniforme.

A nivel microscópico se realiza el análisis microestructural, el cual comprende el estudio de las estructuras orientadas de las rocas, las cuales se caracterizan por el hecho de que determinados elementos de los minerales formadores de rocas, como el plano de crucero, el alargamiento, los ejes ópticos, poseen estadísticamente una posición regular, por ejemplo, descansan sobre uno o varios planos, estando sometidos a una o varias direcciones.

Las estructuras orientadas en las rocas pueden aparecer como resultado de varios factores dentro de los cuales podemos citar la sedimentación de los componentes de un medio móvil o inmóvil, deformación de las rocas bajo la acción de esfuerzos tectónicos, o debido a otros procesos (Volfson et al, 1982). Entre los procesos citados anteriormente el de interés para nosotros es la deformación tectónica, la cual provoca en otros efectos la orientación de los minerales. Este fenómeno cuando afecta las rocas provocan movimientos diferenciales de unos granos con respecto a otros, o la deformación de los propios granos según los planos de traslación o de bifurcación, es decir, según determinados planos de las redes cristalinas, siendo la deformación total de las rocas el resultado sumario de tales movimientos.

## Discontinuidades en dominios no cristalográficos. Discontinuidades penetrativas y no penetrativas.

Las discontinuidades estructurales de cualquier clase que aparecen en los cuerpos rocosos son llamadas *estructuras*. Las diferentes clases de discontinuidades planares y lineales más comunes se resumen a continuación:

### 1. Discontinuidades planares no penetrativas.

a)- *Fallas*. Las fallas pueden separar dominios de fábricas iguales sin interrumpir sensiblemente la continuidad de estructuras penetrativas o pueden separar dominios diferentes (Figura 1.1). Comúnmente las fallas normales, inversas o rumbo-deslizantes no están geoméricamente relacionadas con discontinuidades penetrativas que dividen los dominios de fábrica adyacentes.

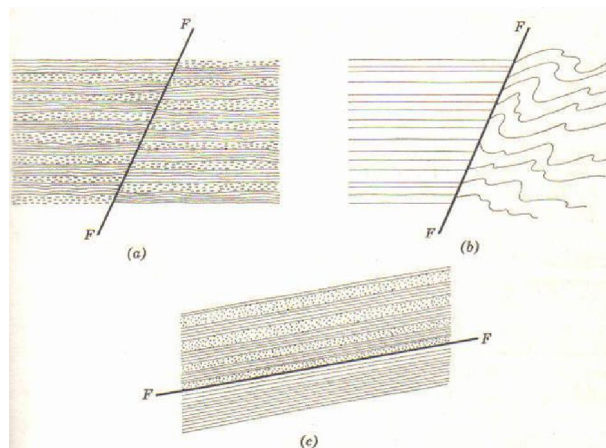


Figura 1.1. Fallas F como límites de dominios. (a) la falla es transgresiva con la fábrica de la roca. Esta fábrica es geoméricamente idéntica y no se interrumpe por la falla. (b) la falla es transgresiva con la roca. La falla separa dominios diferentes y es una superficie de discontinuidad. (c) la falla no es transgresiva con la roca. Esta fábrica es geoméricamente idéntica y no se interrumpe por la falla.

b)- *Contactos ígneos*. Excepto donde estos separan cuerpos ígneos de origen común, los contactos ígneos generalmente separan fábricas diferentes. Geométricamente ellos pueden no estar relacionados con las fábricas que separan. Pero algunos contactos intrusivos tienen una relación geométrica con las rocas (foliación o estratificación paralela al margen de un sill), o a la roca ígnea (estructuras de flujos paralelas al borde del plutón) o ambas (figura 1.2).

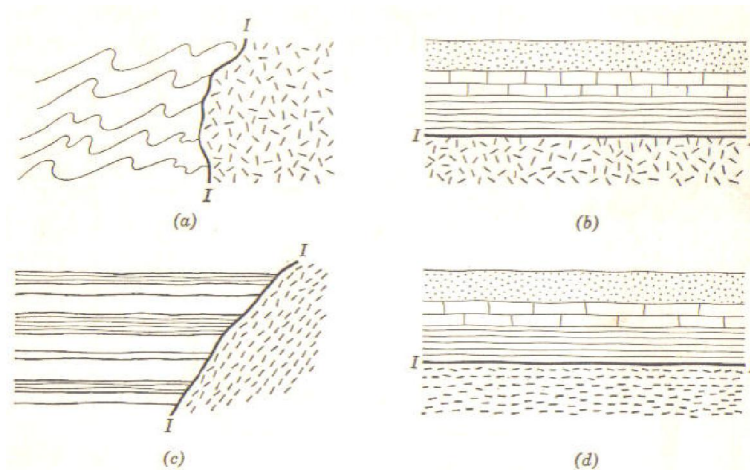


Figura 1.2. Contactos ígneos como límites de dominios. (a) la superficie de contacto es transgresiva con las fábricas diferentes. (b) la superficie de contacto es transgresiva solo con la fábrica de la roca ígnea. (c) el contacto es transgresivo solo con la fábrica del macizo rocoso. (d) el contacto no es transgresivo y geoméricamente no es una superficie de discontinuidad.

c)- *Superficies de erosión o discordancias*. Muchos de los cuerpos geológicos estudiados tienen una superficie límite que es erosional y separa el cuerpo de la atmósfera o de la hidrosfera. Las propiedades geométricas de tales superficies topográficas pueden no tener relación con aquellos cuerpos que limitan, o pueden tener un control geométrico de la superficie por la fábrica del cuerpo (figura 1.3).

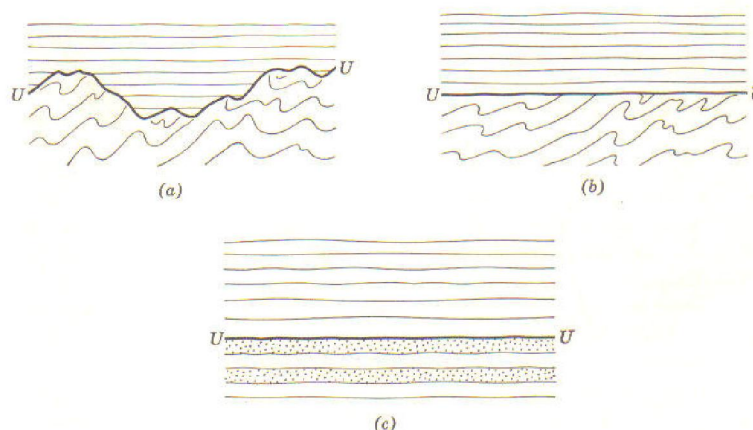


Figura 1.3. Inconformidad U como límite de dominio. (a) Inconformidad transgresiva con fábricas diferentes. (b) inconformidad transgresiva solo con la fábrica de las rocas de abajo. (c) disconformidad no transgresiva con la fábrica de las rocas superiores e inferiores y geoméricamente no es una discontinuidad.



d)- *Grietas*. Las grietas son estructuras no penetrativas a ciertas escalas de observación. Cuando se manifiestan como micro fracturas de pequeños espaciamiento son más semejantes a discontinuidades penetrativas. Se parecen también a discontinuidades penetrativas cuando separan fábricas semejantes, pero su relación geométrica con discontinuidades penetrativas dentro de esas fábricas comúnmente son tenues o inconsistentes.

## 2. Discontinuidades planares penetrativas.

a)- *Foliación*. Son definidas por discontinuidades penetrativas producidas metamórficamente en las rocas deformadas, incluyendo estructuras conocidas como esquistosidad, clivaje, etc. Estructuralmente se parecen a la estratificación y están definidas por el ordenamiento de límites de granos o por laminación litológica. Todas, parecidas a la estratificación, están presentes en muchas escalas de observación como familias paralelas estadísticamente penetrativas. Algunos cuerpos contienen más de una foliación.

Sander B. (1911) propuso el término “*superficies-s*” para denotar cualquier tipo de estructuras planares penetrativas presentes en las rocas. El término agrupa la estratificación, foliación y algunos grupos de grietas.

## Identificación de deformaciones frágiles con desplazamientos.

### *Zonas de cizalla.*

Las deformaciones en las rocas no se distribuyen de forma homogénea. Unos de los patrones mas comunes de la deformación heterogénea es la concentración de deformación en zonas planares entre bloques rocoso relativamente rígidos. La deformación en estas zonas de grandes deformaciones contiene componentes de rotación, reflejan desplazamientos laterales de un bloque de roca con respecto a otro; estos tipos de zonas de grandes deformaciones son conocidas como zonas de cizalla.

La deformación en las zonas de cizalla provocan el desarrollo de fábricas características y ensamblaje de minerales que reflejan condiciones de presión y



temperatura, tipos de flujos, sentido del movimiento e historia de la deformación en las zonas de cizalla. De esta forma, las zonas de cizalla constituyen una valiosa fuente de información geológica.

Las zonas de cizalla pueden subdividirse en zonas frágiles o fallas y en zonas dúctiles. Las zonas dúctiles están activas en condiciones de metamorfismo de más alto grado que las frágiles. Las zonas de cizalla que cortan la corteza o el manto superior contienen ambos tipos.

La profundidad retransición de frágil a dúctil depende de varios factores tales como rango de deformación, gradiente geotermal, tamaño de grano litotipo, presiones de fluidos, orientación del campo de esfuerzos y fábrica preexistente. Las zonas de cizalla dúctil pueden formarse en mármol en condiciones metamórficas donde las cuarcitas deben deformarse por fracturamiento frágil.

Se usa una terminología especial para las rocas deformadas en las zonas de cizalla, parcialmente independiente de su litología. Son referidas como rocas de fallas si son deformadas en zonas dúctiles. Los tipos más comunes son rocas de fallas frágiles, milonitas y gneis triturado.

#### *Fallas frágiles.*

Fallas en rocas no cohesivas. Estas pueden subdividirse en cohesivas y no cohesivas; las no cohesivas se encuentran usualmente en fallas en niveles someros de la corteza. Ocurren en zonas de falla de variada potencia y pueden ser divididos en brechas no cohesivas, cataclasitas no cohesivas y *gouge* de falla, estas últimas se definen una roca arcillosa pulverulenta, poco consolidada y rompible con los dedos (salvo cuando ha sido cementada por fluidos hidrotermales), que puede presentar colores desde el blanco grisáceo hasta llamativos colores (rojos, verdes, violáceos).

Las brechas no cohesivas consisten en más del 30% de fragmentos granulares de la roca o de venas fracturadas separada por una matriz finamente granulada. En las



cataclasitas, presentan menos del 30% de fragmentos de roca en la matriz. En los *gouge* de fallas aparecen varios fragmentos grandes de roca aislados en la matriz. La matriz puede estar foliada y los fragmentos tienen forma lensoide (lentes). La pared rocosa (superficie) y los fragmentos incluidos en cataclasitas cohesivas y *fault gouge* muestran comúnmente superficies pulidas (espejos de fricción) con estriaciones y fibras (slickenfibres) que pueden ser usados para determinar la dirección y sentido de la cizalla a lo largo de la zonas de falla.

Fallas en rocas cohesivas. Pueden ser divididas en brecha cohesiva, cataclasita cohesiva y pseudotaquilita. La naturaleza cohesiva es debido a precipitación y cristalización de los fluidos de minerales tales como cuarzo, calcita, epidota o clorita. La pseudotaquilita es una roca de falla finamente graneada o compuesta por vidrio cohesivo con una fábrica muy diferente. Es curioso que el nombre se deriva de su semejanza con la taquilita, un material de vidrio máfico volcánico, pero este material es obviamente de origen no volcánico.

Características: compuesta por matriz de material oscuro con pequeñas inclusiones de minerales o de fragmentos de roca, se generan superficies planares.

*Milonita.* Es una roca foliada y usualmente alineada que muestra evidencias de una fuerte deformación dúctil y contienen normalmente elementos de fábrica con simetría monoclinica. Milonita es un término puramente estructural, que se refiere solo a la fábrica de la roca y no da información a la composición mineral. Las milonitas ocurren en zonas de altas deformaciones conocidas como zonas de milonitas, interpretadas como zonas de cizalla dúctiles fósiles exhumadas. El contacto entre las milonitas y las rocas no afectadas tienden a ser una transición gradual de la fábrica. Ocurren en cualquier tipo de roca y pueden describirse a escala milimétrica hasta zonas de varios kilómetros.



### Indicadores del sentido de cizallas.

La dirección del movimiento en una zona de cizalla se asume usualmente subparalelo a las estrías, slickenfibras, alineaciones de minerales. Una vez que se establece la dirección, es necesario determinar el sentido del desplazamiento (siniestral o dextral, normal o inverso) o sentido de la cizalla. Tradicionalmente se usan marcadores en la superficie de la roca tales como desplazamientos de estratos y diques, o de flexión de estratos o de foliación en la zona de cizalla. También se utilizan las características geométricas de la zona para determinar el sentido del movimiento.

### Relación de las fallas con los esfuerzos.

*Falla inversa.* Este tipo de fallas se genera por compresión (Figura 1.4). El movimiento es preferentemente horizontal y el plano de falla tiene típicamente un ángulo de 30° grados respecto a la horizontal. El bloque de techo se encuentra sobre el bloque de piso. Cuando las fallas inversas presentan un manteo inferior a 45°, estas pasan a tomar el nombre de *cabalgamiento*.

### Características:

- Las fallas inversas ocurren en áreas donde las rocas se comprimen unas entra otras (fuerzas de compresión), de manera que la corteza rocosa de un área ocupe menos espacio.
- La roca de un lado de la falla es ascendida con respecto a la roca del otro lado.
- En una falla inversa, el área expuesta de la falla es frecuentemente un saliente. De manera que no se puede caminar sobre ella.

*Fallas de empuje* son un tipo especial de falla inversa. Ocurren cuando el ángulo de la falla es muy pequeño.

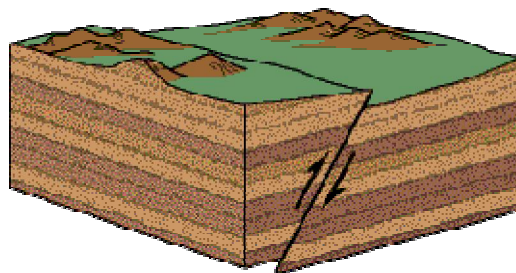


Figura 1.4. Representación de una falla inversa.



*Falla normal.* Este tipo de fallas se generan por tracción (Figura 1.5). El movimiento es predominantemente vertical respecto al plano de falla, el cual típicamente tiene un ángulo de 60 grados respecto a la horizontal. El bloque que se desliza hacia abajo se le denomina bloque colgante, mientras que el que se levanta se llama bloque yacente. Otra manera de identificar estas fallas es la siguiente. Si se considera fijo al bloque de piso (aquel que se encuentra por debajo del plano de falla) da la impresión de que el bloque de techo *cae* con respecto a este. Conjuntos de fallas normales pueden dar lugar a la formación de horst y grábenes.

#### Características:

- Las fallas normales se producen en áreas donde las rocas se están separando (fuerzas de tracción), de manera que la corteza rocosa de un área específica es capaz de ocupar más espacio.
- Las rocas de un lado de la falla normal se hunden con respecto a las rocas del otro lado de la falla.
- Las fallas normales no crean salientes rocosos.

En una falla normal es posible que se pueda caminar sobre un área expuesta de la falla.

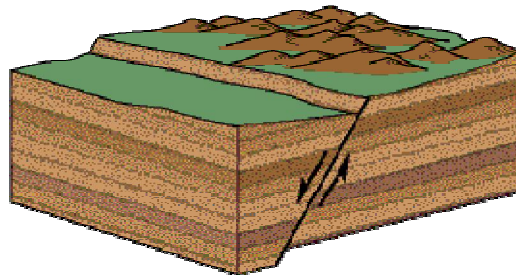


Figura 1.5. Representación de una falla normal.

*Falla rumbo deslizantes o de desgarre.* Estas fallas son verticales y el movimiento de los bloques es horizontal (Figura 1.6). Estas fallas son típicas de límites transformantes de placas tectónicas. Se distinguen dos tipos de fallas, derechas e izquierdas. Derechas, o diestras, son aquellas en donde el movimiento relativo de los bloques es hacia la derecha, mientras que en las izquierdas, o siniestras, es el opuesto. También se les conoce como fallas transversales.

### Características:

- El movimiento a lo largo de la grieta de la falla es horizontal
- El bloque de roca a un lado de la falla se mueve en una dirección mientras que el bloque de roca del lado opuesto de la falla se mueve en dirección opuesta.
- Las fallas rumbo deslizantes normalmente no dan origen a escarpes.

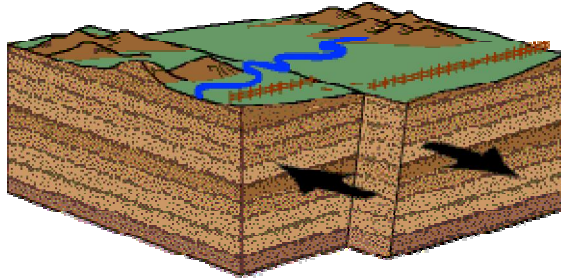


Figura 1.6. Representación de una falla rumbo deslizante dextral.

*Falla rotacional o de tijeras.* Es la que se origina por un movimiento de basculamiento de los bloques que giran alrededor de un punto fijo, como las dos partes de una tijera.

*Falla oblicua.* Es aquella que presenta movimiento en una componente vertical y una componente horizontal.

### Asociaciones de fallas

Las fallas se pueden presentar asociadas en una serie de estructuras:

- **Fallas escalonadas (echelon):** conjunto de fallas normales de planos paralelos.
- **Escamas tectónicas:** conjunto de fallas inversas de planos paralelos.
- **Pilar tectónico:** conjunto de fallas normales que forman una estructura convexa.
- **Cadena cabalgante:** conjunto de fallas inversas que forman una estructura convexa.
- **Fosa tectónica:** conjunto de fallas normales que forman una estructura cóncava.
- **Horst:** asociación de pilares tectónicos y fosas tectónicas, alternativamente.
- **Manto de corrimiento:** pliegue recumbente en el que se ha llegado a producir una falla entre el flanco superior y el inferior, de modo que aquel se desplaza sobre éste.



## Manto de Corrimiento

*Cabalgamientos:* son grandes planos de falles horizontales cuales muestran un movimiento horizontal. Generalmente no es tan fácil para detectar esos tipos de estructuras grandes. Común son cabalgamientos en las regiones donde se conocen altas fuerzas compresivas (por ejemplo durante el choque de dos continentes). Estos movimientos (desplazamientos) pueden alcanzar algunos varios kilómetros. Figura 1.7.

### Características de un cabalgamiento (manto tectónico):

- Rocas que se formaron en el lugar mismo se llama: Autóctono (por la palabra "auto" que significa "por sí mismo").
- Rocas que se formaron en otros sectores, y por fuerzas tectónicas se desplazaron se llama alóctono. El alóctono también se puede llamar manto tectónico (nunca solamente manto).
- Restos del manto se llaman escaman o klippe.
- Sectores donde falta el manto se llama ventana o fenster.

### Detección de un manto tectónico:

- Zona de milonita y metamorfismo cerca de una falla horizontal.
- Zona de falla horizontal con estructura imbricada.
- Alóctono como rocas más antiguos se ubica arriba de una roca más joven.
- Facies del alóctono completamente diferente como del autóctono.
- El alóctono muestra un mayor grado de metamorfismo y un diferente dominio tectónico.
- Sí hay saltos o irregularidades en las facies metamórficas.

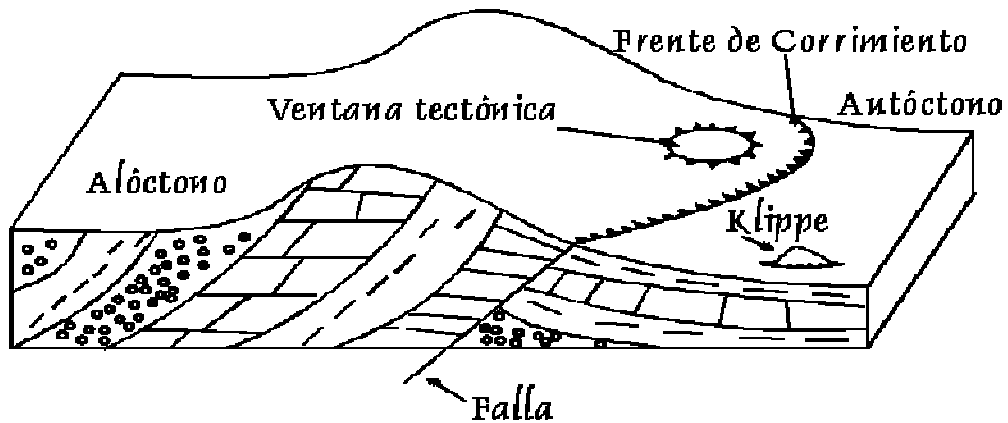


Figura 1.7. Representación esquemática de mantos de sobrecorrimientos.

### Criterios de fallas

Generalmente se puede diferenciar entre **indicadores directos** o **indirectos** de fallas. Los indicadores directos manifiestan una falla cien por cien, es decir sin dudas algunas. Estos tipos de indicadores se puede observar directamente en terreno analizando la foliación en cuestión. Los indicadores indirectos definen una falla con una cierta cantidad de incertidumbres y dudas.

- *Desplazamiento:* El desplazamiento de una unidad geológica o una otra estructura geológica indica la actividad tectónica. Desplazamientos tectónicos en el terreno marcan siempre una falla.

*Problemas:* Se confunde con la estratificación normal, si las capas tienen una inclinación o se equivoca con accidentes morfológicos

- *Estrías:* Líneas finas arriba de un plano de falla. Estas líneas indican además la orientación del desplazamiento y posiblemente el sentido. Se encuentra en casi todos los lugares y el reconocimiento es fácil (foto 1.1).

*Problemas:* Estrías solo marcan el último movimiento cual posiblemente no coincide con el movimiento general. Para sentir con el dedo el sentido del movimiento cuesta y se puede equivocarse.



Foto 1.1. Estrías desarrolladas en superficies de fallas.

- *Diaclasas plumosas de cizalla:* Durante un movimiento tectónico se puede abrirse pequeñas fracturas, cuales se rellenan con calcita, yeso o cuarzo. La forma es siempre como un "S" y en dimensiones entre milímetros hasta metros (foto 1.2).

*Problemas: No tan frecuente en la naturaleza.*



Foto 1.2. Diaclasas plumosas de cizalla.

- *Arrastres:* Cerca de una falla las rocas pueden deformarse plásticamente. Se puede observar un leve monoclinal hacia el plano de la falla. Las dimensiones: entre centímetros y metros. Normalmente fallas grandes muestran este fenómeno.

*Problemas: Equivocación con estructuras sedimentarias posible como derrumbes por ejemplo.*

- *Brechas tectónicas:* Por la energía del movimiento algunas veces las rocas en la zona de falla se rompen y se quiebran, para formar una brecha tectónica o brecha de falla. Brechas de fallas normalmente muestran una dureza menor como las rocas no afectadas. Por eso morfológicamente una brecha de falla se ve como depresión (foto 1.3).

*Problemas: Se puede confundir brechas de falla con otros tipos de brechas (brecha volcánica, brecha sedimentaria).*



Foto 1.3. Brecha tectónica.

- *Milonita:* La milonita es una roca metamórfica que se formó por las fuerzas tectónicas. Los minerales (cuarzo) se ven elongado hacia la dirección principal del movimiento. Milonitas son generalmente duras y bien resistentes contra la meteorización (foto 1.4).

*Problemas: Macroscópicamente es bastante difícil reconocer una milonita, solo con sección transparente se llega a resultados confiables.*





Foto 1.4. Milonita desarrollada por procesos de deformación.

### **Técnica de proyección estereográfica para el análisis estructural.**

La proyección estereográfica es una de las mejores técnicas para resolver problemas geométricos en Geología Estructural. Trabaja con líneas y planos sin tener en cuenta sus relaciones espaciales, por tanto, solo se pueden representar valores angulares.

En la geología, especialmente en la geología estructural y en la cristalografía, se necesitan un método para visualizar la orientación de los planos geológicos en diagramas. El problema principal es, que los planos cubren las tres dimensiones (orientación de un plano) y un papel tiene solamente dos dimensiones. Entonces se usan las proyecciones para reducir un objeto tridimensional a un gráfico (diagrama) de dos dimensiones.

### **Tipos de proyecciones:**

*Equiangular:* Ángulos correctos, distancias falsas = Red de WULFF; se usa en la cristalografía para definir los ángulos en un cristal.

*Equidistancial:* Distancias correctas, ángulos falsos= Red de SCHMIDT; se utiliza en geología estructural porque se puede trabajar estadísticamente.

Para proyectar un plano geológico de tres dimensiones a un papel (de dos dimensiones) se usan la línea normal del plano (figura 1.8). La línea normal de un plano

es la línea (imaginaria) perpendicular del plano. Cada plano entonces tiene su línea normal. Para cada línea normal solamente existe un plano correspondiente. La línea normal funciona como definición de un plano.

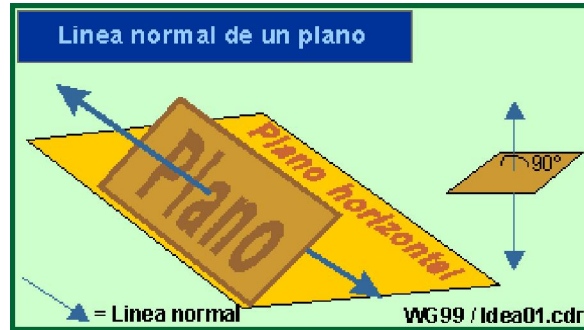


Figura 1.8. Ejemplo de cómo se presenta una línea normal en un plano

Se usa el hemisferio abajo o sur para ejecutar la proyección. La línea normal del plano de interés cruza el punto central para chocar con el hemisferio y se proyecta hacia arriba a la superficie abierta del hemisferio. Este punto se llama polo ( ).

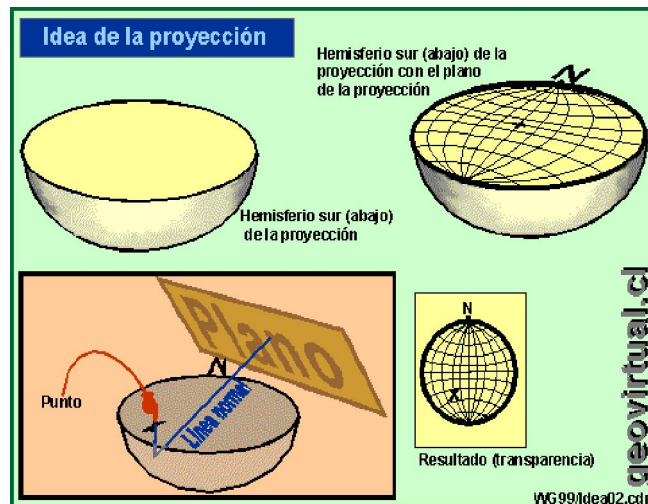


Figura 1.9 Idea de una proyección

Entonces toda la información de un plano geológico a respecto de su orientación está adentro de un punto en la red de SCHMIDT. Cada punto define exactamente la orientación de un plano, (Figura 1.9).



Para ingresar puntos a la red de Schmidt se necesita la pauta (Original de la red), un papel transparente y un chinche de metal con cabeza plana, (figura 1.10 y figura 1.11).

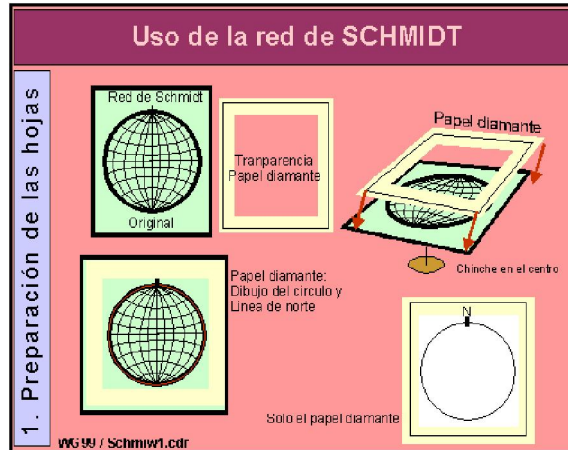


Figura 1.10. Preparación de la hoja.

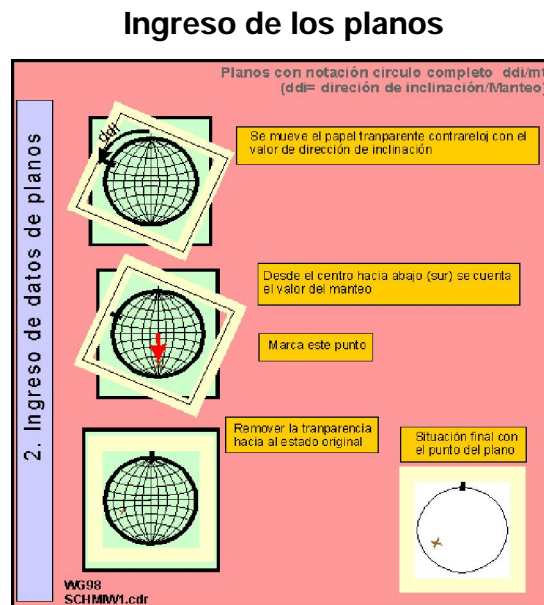


Figura 1.11 Ingresos de los planos.

### Red de Schmidt (Falsilla de Schmidt). Construcción del Círculo máximo.

El círculo máximo es la proyección del plano entero a la red de Schmidt. Significa como resultado sale una línea desde un borde hacia el otro, con una distancia de 180°.



El círculo máximo solamente es una otra manera de proyectar un plano geológico. La ventaja del círculo máximo al respecto del polo (punto) de una línea normal es: El círculo máximo es más fácil para interpretar y la base de algunas interpretaciones avanzadas. La desventaja del círculo máximo es que la transparencia solamente permite el dibujo de 5 a 10 círculos. Con una cantidad mayor no se ve nada.

Por eso normalmente se ingresan los datos como polo (punto) de la línea normal (Figura 1.8.), después se juntan los elementos en nubes de puntos con un promedio - un máximo - gráfico (Se aplica la red de conteo y isoclinas para definir el punto medio de la distribución, el punto o polo principal) y para estos puntos principales (promedios) se buscan el círculo máximo correspondiente. Es decir, se busca el "promedio gráfico" de una acumulación de puntos, y solamente este valor - el promedio se traduce a un círculo máximo.

*Búsqueda del círculo máximo:* Un plano geológico y la línea normal de este plano tienen una diferencia de  $90^\circ$ . Significa que el punto o polo que sale en la proyección (como resultado de la línea normal) tiene una distancia de  $90^\circ$  al círculo máximo del mismo plano. La tarea es la búsqueda de una línea en la proyección estereográfica que tiene siempre una distancia de  $90^\circ$  hacia el punto / polo (figura 1.12).

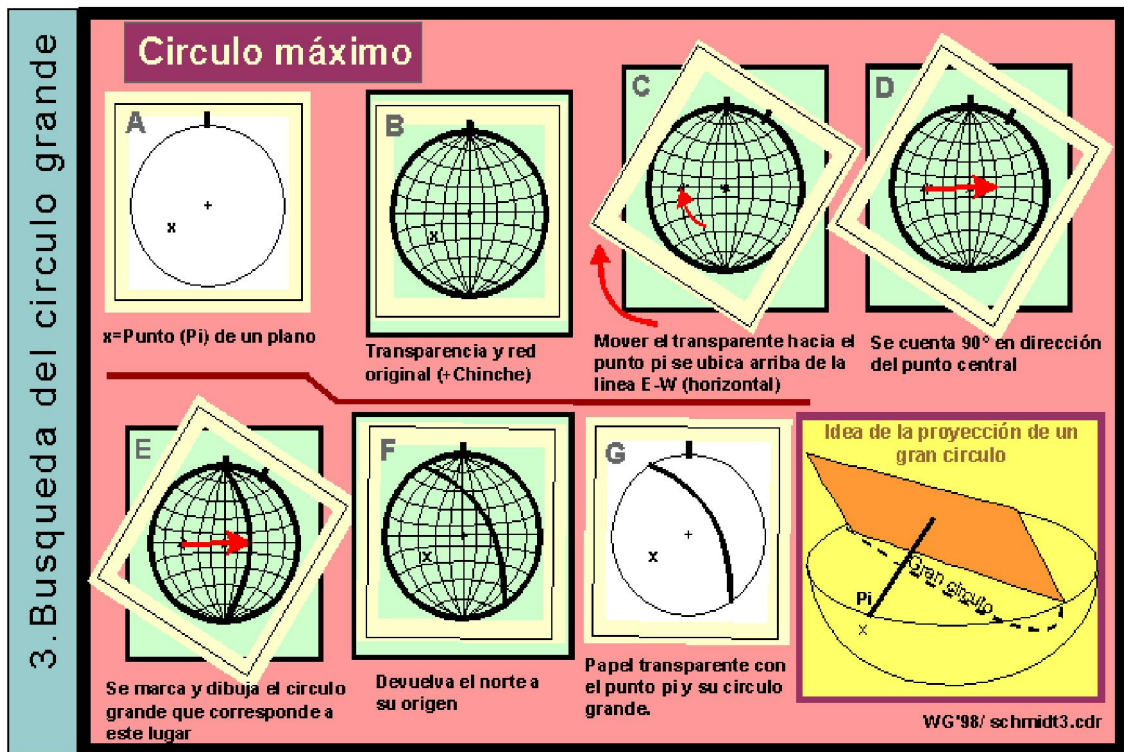


Figura 1.12. Búsqueda del círculo máximo

A - C) se gira la transparencia hasta que el polo se ubica encima del eje E -W, puede ser centro - E o centro - W.

D) se cuenta 90° de distancia a lo largo del eje E -W, traspasando el chinche.

E) Resulta un punto, que sirve como punto de inicio del círculo máximo - el círculo máximo entero se pautó de la hoja original de la proyección estereográfica.

F) se gira la transparencia a su orientación original (Norte arriba)

G) se saca la pauta original de la proyección.

**La ventaja del círculo máximo es su fácil interpretación:**

- un círculo máximo recto corresponde a un plano vertical, la orientación en la proyección corresponde a la orientación en la naturaleza.
- un círculo máximo curvado corresponde a un plano con una cierta inclinación. La curva siempre marca hacia la dirección de inclinación (en el ejemplo arriba entonces NE).



- la distancia entre el centro (chinche) y curva corresponde al manteo. Significa planos verticales o subverticales tienen una ubicación muy cercana del centro. Planos casi-horizontales tienen una curva muy amplia, ubicándose cerca del margen.
- planos horizontales coinciden con el margen.

**Además el círculo máximo es la base de muchas aplicaciones avanzadas – por ejemplo:**

- La intersección de dos círculos máximos corresponde con la línea de intersección en la realidad.
- Tres planos - entonces tres círculos máximos pueden formar una cuña. Socavones, piques, túneles corresponden a lineaciones - se puede graficar la simetría entre los labores y elementos tectónicos - para planificar el trayecto más conveniente de los futuros labores.
- perforaciones y anclajes corresponden también a lineaciones - se puede buscar la manera más segura y más eficiente de instalar un sistema de anclajes.
- reconocimiento de mega-estructuras tectónicas como pliegues: Un círculo máximo no solamente proyecta un plano, el círculo máximo también puede coincidir con un set de datos tomados en un pliegue. Para entender pliegues de gran escala - especialmente con eje inclinado ayuda bastante la proyección estereográfica.

## CAPITULO I Localización, rasgos fisiográficos y geológicos de la región de estudio.

### 1.1 Características físico geográficas.

El municipio de Moa se encuentra ubicado en el extremo oriental de la provincia de Holguín; limitado al norte por el Océano Atlántico, al sur con el municipio Yateras, al este con el municipio Baracoa y al oeste con los municipios Sagua de Tánamo y Frank País (figura 1.1.1).

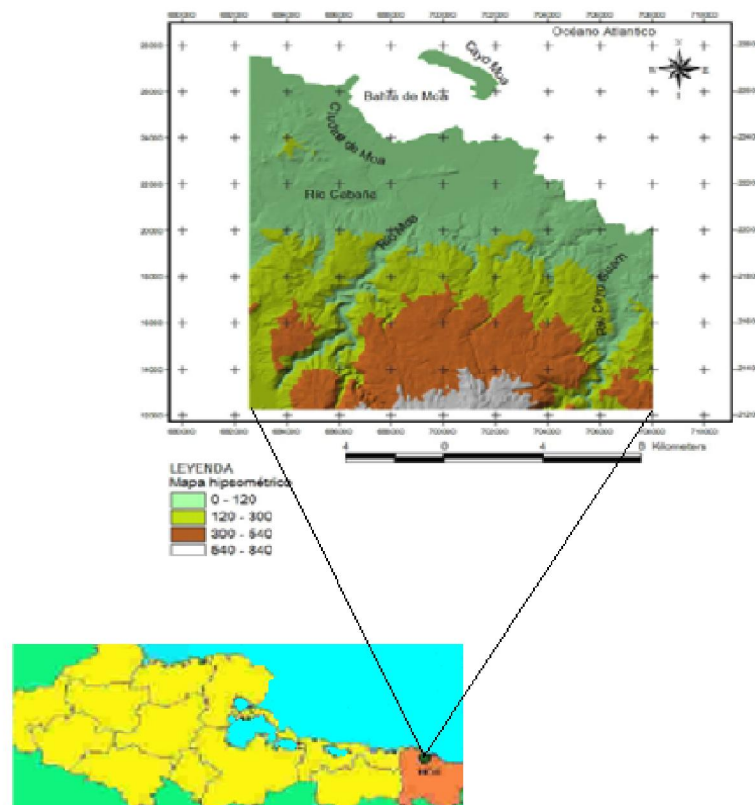


Figura 1.1.1 Ubicación geográfica del área de estudio. Escala 1:25 000.

La región se encuentra enclavada en el grupo orográfico Sagua-Baracoa, lo cual hace que el relieve sea predominantemente montañoso, principalmente hacia el sur, donde es más accidentado en la Sierra de Moa con dirección submeridional. Hacia el norte el relieve se hace más suave con cotas que oscilan entre 40 y 50 m como máximo, disminuyendo gradualmente hacia la costa.

El clima es tropical con abundantes precipitaciones, estando estrechamente relacionadas con el relieve montañoso que se desarrolla en la región y la dirección de los vientos alisios provenientes del Océano Atlántico cargado de humedad (figura 1.1.2).

La vegetación se caracteriza por la existencia de bosques de *Pinus cubensis* en las cortezas lateríticas y donde hay menores potencias de las mismas, matorrales espinosos típicos de las rocas ultramáficas serpentinizadas (charrasco) (foto 1.1.1). Sobre los gabros y depósitos aluviales, pueden aparecer algunas palmeras, cocoteros y árboles frutales. Las zonas bajas litorales, están cubiertas por una vegetación costera típica entre la que se destaca los mangles, afectados en la actualidad por las construcción de presas de colas de las fábricas Cmdt. Ernesto Che Guevara y Las Camariocas en construcción.

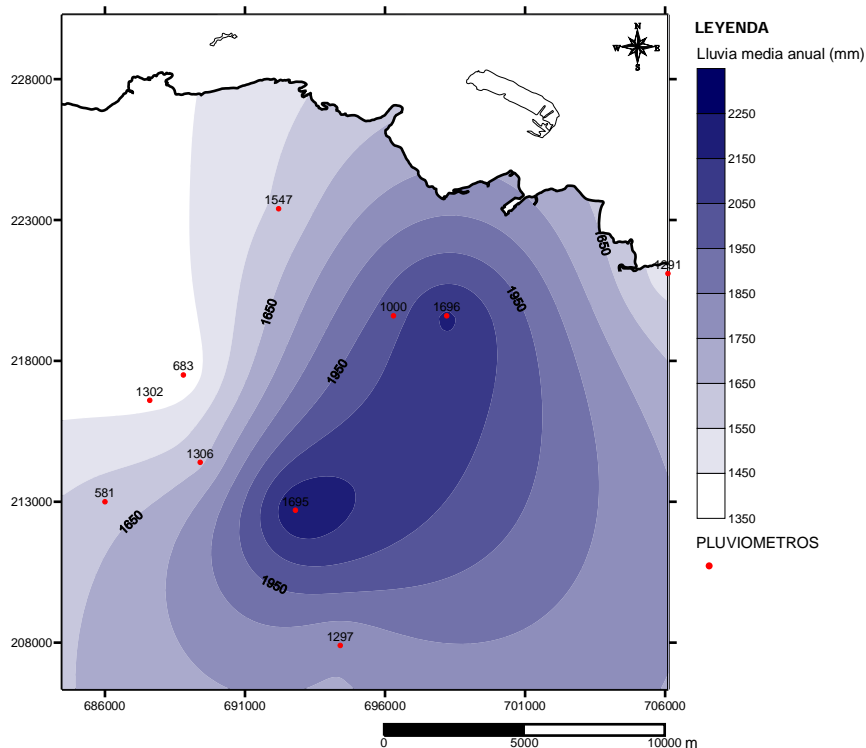


Figura 1.1.2 Lluvia media anual para el territorio de Moa (Instituto de Meteorología, 2005).



Económicamente la región está dentro de las más industrializadas del país, no solo por sus riquezas minerales, sino además, porque cuenta con dos plantas procesadoras de níquel en producción, la Cmdt. Ernesto Che Guevara y la Pedro Sotto Alba. Este constituye el segundo renglón exportable del país. Además de estas industrias metalúrgicas, existen otras instalaciones de apoyo a la metalurgia y minería, tales como la Empresa Mecánica del níquel, Centro de Proyectos del Níquel (CEPRONIQUEL), la Empresa Constructora y Reparadora del Níquel (ECRIN), entre otras. Además de los yacimientos lateríticos, existen los de cromo refractario, clasificado como el mejor de su tipo en el territorio cubano, los cuales se encuentran distribuidos en las cuencas de los ríos Cayo Guam y Yamanigüey, donde una parte del mineral extraído se procesa en la planta de beneficio de Cayo Guam. Los gabroides y ultramafitas presentes en la región, pueden ser empleados como áridos en la industria de materiales de la construcción.



Foto 1.1.1 Vegetación típica desarrollada en el área de estudio.

También existen otros organismos de los cuales depende la economía de la región tales como el establecimiento de la Empresa Geólogo Minera, la Presa Nuevo Mundo, el Tejar, el Combinado Lácteo y otros. La agricultura está poco desarrollada, aunque se hacen esfuerzos para seguir fomentándola. Existen otros sectores económicos como la ganadería que se desarrolla al sur de la región y la explotación de recursos forestales, que son abundantes en la zona, siendo un eslabón importante de la economía. La actividad pesquera está poco desarrollada.





## 1.2 Evolución geológica regional.

La evolución geológica de Cuba en el mesozoico estuvo asociado al desarrollo de sistemas de arco insulares y cuenca marginal, típicos de zonas de convergencia entre placas. A fines del Campaniano Superior-Maestrictiano se extinguió el arco volcánico cretácico cubano, iniciándose la compresión de sur a norte, originándose por procesos de acreción tectónica, el emplazamiento del complejo ofiolítico según un sistema de escamas de sobrecorrimiento altamente dislocadas (Rodríguez A., 1999).

Los movimientos de compresión hacia el norte culminaron con la probable colisión y obducción de las paleounidades tectónicas del Bloque Oriental Cubano sobre el borde pasivo de la Plataforma de Bahamas. Según Iturralde (1996) y Proenza (1998) consideran los movimientos hasta el Paleoceno Inferior. Este proceso de colisión no ocurre en el Bloque Oriental con iguales características que en el resto de Cuba debido al surgimiento a inicios del Paleógeno de la depresión tectónica Cauto-Nipe que demoró e hizo menos violenta la colisión.

A partir del Eoceno Medio y hasta el Mioceno Medio las fuerzas de compresión tangencial se reducen quedando sólo expresadas a través de fallas de deslizamiento por el rumbo, plegamientos y empujes locales, tomando importancia para la región los movimientos verticales que caracterizan y condicionan la morfotectónica regional, iniciándose a partir del Mioceno Medio el proceso de ascenso del actual territorio de la isla de Cuba.

Los movimientos tectónicos recientes se van a caracterizar por movimientos verticales responsables de la formación del sistema de Horst y Graben, pero hay que tener en cuenta la influencia que tienen sobre Cuba Oriental los desplazamientos horizontales que ocurren a través de la falla Oriente (Bartlett-Caimán) desde el Eoceno Medio-Superior, que limita la Placa Norteamericana con la Placa del Caribe, generándose un campo de esfuerzos de empuje con componentes fundamentales en las direcciones norte y noreste, que a su vez provocan desplazamientos horizontales de reajuste en todo el Bloque Oriental Cubano.





El sistema de fallas más antiguo se origina durante el cese de la subducción e inicio del proceso compresivo de sur a norte del arco volcánico cretácico y que culminó con la colisión entre el arco insular y la margen pasiva de la Plataforma de Bahamas. Bajo estas condiciones compresivas ocurre el emplazamiento del complejo ofiolítico a través de un proceso de acreción, por lo cual las fallas de este sistema se encuentran relacionado con los límites internos del complejo y de este con las secuencias más antiguas. Según Proenza J., considera que fue desarrollado entre el Campaniense Superior-Paleoceno Inferior. Las fallas de este sistema no constituyen límites principales de los bloques tectónicos activos en que se divide el territorio actual y aparecen frecuentemente cortadas y dislocadas y enmascaradas por las dislocaciones más jóvenes así como por las potentes cortezas de meteorización desarrolladas sobre el complejo ofiolítico (figura 1.1.3).

El segundo sistema cronológico está constituido por fallas de dos direcciones: noreste y norte-noroeste siendo las más abundantes y de mayor extensión, constituyendo los límites principales de los bloques morfotectónicos. Su origen se considera asociado a los procesos de colisión y obducción del arco volcánico cretácico sobre el margen de Bahamas, existiendo una transición de las condiciones compresivas iniciales, en expansivas durante el reajuste o relajamiento dinámico, por lo que el comportamiento final de estas estructuras es de carácter normal. Teniendo en cuenta el proceso que les dio origen, su edad es considerada en su fase final como Eoceno Medio con dudas (?).

Las principales estructuras representativas de este sistema serán caracterizadas a continuación tomadas de Rodríguez A. (1999).

*Falla Los Indios:* Se extiende desde la parte centro meridional del área al oeste de Cayo Chiquito, atravesando hacia el norte la Bahía de Cananova y reflejándose dentro de la zona nerítica marina a través del desplazamiento de la barrera arrecifal y los depósitos litorales. En varios puntos esta estructura aparece cortada y desplazada por fallas de dirección norte-noreste. Su trazado es en forma de una línea curva cóncava hacia el



oeste-sudoeste con un rumbo que oscila entre los  $10^{\circ}$  y  $30^{\circ}$  oeste en los diferentes tramos que la conforman.

Los criterios que permitieron identificar esta estructura son: Alineación de cursos fluviales y tramos rectos de ríos y líneas de costa, contactos bruscos entre dos litologías diferentes, como por ejemplo entre los gabros y la Formación Sabaneta y entre esta y las serpentinitas, desplazamiento de la línea de costa, barrera arrecifal y zonas pantanosas de hasta 0.7 km, cambio brusco de valores morfométricos a ambos lados de la alineación, desplazamiento de formas de relieve como ocurre en la zona de premontañas bajas ligeramente diseccionadas, que en el sector occidental de la falla tiene una extensión de hasta 2.5 km y de solo 1 km en el oriental, indicando un mayor levantamiento y por ende una mayor erosión.

*Falla Cayo Guam.* su dirección es  $N15^{\circ}W$  y se extiende desde la parte alta del río Cayo Guam hasta Punta Yagrumaje. Aparece cortada y desplazada en varios tramos por fallas de dirección noreste y sublatitudinales.

Los criterios que la identifican son: Alineación fluvial con ríos de cauces profundos y formación de barrancos, los que en ocasiones aparecen cortados y desplazados por otras estructuras, desplazamientos de líneas de costas y zonas geomorfológicas en el rango de 1.5 a 2.5 km, valores morfométricos bruscos y diferentes a ambos lados de la fractura, estando en el bloque occidental los máximos valores de isobasitas desplazados hacia el norte respecto al oriental, límite brusco y alineado de zonas pantanosas, intenso cizallamiento en la zona de fractura, variaciones bruscas del agrietamiento entre ambos bloques de falla, variaciones hipsométricas entre ambos bloques de fractura, límites alineados de depósitos Cuaternarios, anomalías gravimétricas negativas máximas en el gráfico lineal de Bouguer, la componente horizontal de los movimientos de falla en el periodo neotectónico es indicado por los criterios geomorfológicos en sentido norte-noroeste para el bloque occidental y sur-sudeste para el oriental.



*Falla Moa.* Es la estructura de mayor extensión y su trazo corresponde con una línea cóncava hacia el este con el arco mayor en la zona de Calentura, haciéndose más recta hacia el norte con una dirección de N48°E, mientras que en su parte meridional tiene un rumbo N25°W. En la parte norte esta estructura se bifurca en dos tramos, uno de rumbo N35°E denominado La Vigía y el otro de rumbo N74°E nombrado La Veguita, el que atraviesa la zona marina perilitoral, hasta cortar la barrera arrecifal a la cual limita y afecta, pues en el bloque oriental de la falla la barrera como tal desaparece, quedando reflejada sólo como un banco de arenas, lo que constituye un indicador del sentido de los desplazamientos.

En su conjunto forma la estructura más compleja, pero a su vez, de más fácil reconocimiento por su expresión nítida en la topografía. Los principales criterios que la identifican son: alineación de sistemas fluviales con cauces profundos en forma de barranco y laderas muy escarpadas de pendientes mayores a treinta grados, valores hipsométricos y morfométricos contrastantes entre cada uno de los bloques de falla. Desplazamiento de la línea costera a 1 km aproximadamente, desplazamiento de formas del relieve, orientación diferenciada del agrietamiento en los bloques formados por el sistema de fallas, intenso cizallamiento según los planos de fracturas con sectores mineralizados (ejemplo: La Vigía).

Según el análisis geomorfológico y topográfico el movimiento horizontal de los bloques de falla es muy complejo para esta estructura, indicando hacia la parte septentrional un desplazamiento noreste para ambos bloques de falla, mientras que en la parte meridional el bloque occidental se desplaza hacia el sudeste.

*Falla Miraflores.* Se extiende en forma de arco cóncavo hacia el este-noreste con un trazo casi paralelo a la falla Moa, con un rumbo N25°W desde el límite sur del área hasta Cayo Chiquito y desde aquí hasta Punta Majá con una orientación N35°E.

Los criterios que la identifican son: contacto brusco de litologías a ambos lados de la fractura como por ejemplo entre las serpentinitas y las rocas de la formación Quibiján y



los gabros y entre las formaciones Quibiján y Mícara, formación de escarpe de falla con pendientes por encima de los treinta grados y facetas triangulares, contacto brusco y alineado de formas del relieve, desplazamiento de la línea de costa y zonas pantanosas de más de 0,5 km, cambio brusco en la magnitud del desplazamiento vertical de los puntos geodésicos a ambos lados de la fractura, cambio de valores morfométricos entre los bloques de falla, hacia su porción septentrional aparece desplazada hacia el oeste por fallas de dirección noroeste, y en su parte central es cortada por la falla de deslizamiento por el rumbo Cananova,

*Falla Cabaña.* Se extiende desde el noroeste del poblado de Peña y Ramírez hasta el norte de la ciudad de Moa, cortando la barrera arrecifal y limitando el extremo oriental de Cayo Moa Grande. En su parte meridional presenta una orientación N70°E hasta la zona de Zambumbia donde es truncada por un sistema de fallas submeridionales, aflorando nuevamente con nitidez al nordeste del poblado de Conrado donde inicia su control estructural sobre el río Cabaña. En las cercanías de Centeno esta estructura es cortada y desplazada por la falla Cananova tomando una orientación N56°E la que mantiene hasta penetrar en el océano Atlántico.

La misma se identifica a través de los criterios siguientes: alineación fluvial, alineación y desplazamiento de hasta tres kilómetros de la línea de costa en Punta Yaguasey, formación de escarpe de falla hacia su porción meridional, cambio brusco de valores morfométricos a ambos lados de la falla, cizallamiento intenso a lo largo del plano de fractura con presencia de abundante mineralización, cambio en la magnitud del desplazamiento vertical entre puntos geodésicos situados a ambos lados del plano de fractura, límite recto de zona pantanosa.

Falla Quesigua: Se expresa a través de un arco con su parte cóncava hacia el este nordeste, manteniendo en su parte septentrional, donde su trazo es mas recto un rumbo N10°E y en la meridional, N40°W. Se extiende desde la barrera arrecifal hasta interceptar el río Jiguaní al sudeste del área de trabajo.



Los criterios para su identificación se relacionan a continuación: Alineación del río, con cauce profundo y laderas escarpadas en la margen occidental, alineación y desplazamiento de la línea de costa y zonas geomorfológicas de hasta dos kilómetros, valores hipsométricos y morfométricos diferentes a ambos lados del plano de falla, desplazamientos de zonas pantanosas parálidas, intenso cizallamiento en la zona de falla.

*Falla Maquey:* Limita y contornea las estribaciones septentrionales de la Sierra del Maquey. Aflora desde la zona de Hato Viejo hacia el sur de La Colorada, asumiendo un rumbo N65°E por más de siete kilómetros hasta Calentura abajo donde se cruza con las fallas Moa y Caimanes. En su parte más occidental mantiene una orientación N78°E siendo cortada y desplazada por estructuras de orientación noroeste.

El tercer sistema de estructuras está constituido por dos fallas de deslizamiento por el rumbo (*Strike-Slip*) la falla Cananova y El Medio. El origen de estas está asociado al momento en que se inician los movimientos hacia el este de la Placa del Caribe a través de la falla Oriente, desarrollándose un campo de esfuerzo de dirección norte-noreste, con la compresión del Bloque Oriental Cubano, en la zona de sutura de éste con la Plataforma de Bahamas, lo que provocó la ruptura y el acomodamiento de la corteza desde el Eoceno Medio-Superior.

*Falla Cananova.* presenta rumbo predominante N53°W. Es cortada en diferentes puntos por estructuras submeridionales, caracterizándose toda la zona de falla por el grado de cizallamiento de las rocas que corta.

Los criterios que permiten su identificación son: desplazamiento de formas del relieve, como ocurre con las montañas bajas diseccionadas y las llanuras fluviales abrasivas que son desplazadas hacia el oeste en la zona norte de Miraflores a Centeno, desplazamiento de la barrera arrecifal en la Bahía de Yaguaneque, presencia de espejos de fricción, desplazamiento de zonas pantanosas y línea de costa, desplazamiento de estructuras geológicas como grietas, diques y contactos litológicos,



cambio de orientación de algunos elementos morfológicos y morfométricos como son las divisorias de aguas principales, cierres de isobasitas y superficies escarpadas, contacto brusco y alineado entre los gabros y las serpentinitas, variaciones de la orientación del agrietamiento.

A través de la falla Cananova ocurre un desplazamiento horizontal máximo de 1500 m hacia el noroeste del bloque norte respecto al sur y un movimiento rotacional izquierdo (antihorario) alrededor de cuarenta grados de ese bloque norte.

*Falla El Medio:* Fue mapeada desde Punta Mangle hasta su intersección con el río Quesigua con un rumbo aproximado de N40°E. Al igual que la Falla Cananova, origina un alto cizallamiento de las rocas a través de todo su trazo.

Los criterios para su identificación fueron: presencia de espejos y estrías de fricción muy dislocados, haciéndose imposible medir sus elementos de yacencia, alineación de cursos fluviales, como por ejemplo el arroyo El Medio con afluentes del arroyo Semillero y del río Quesigua, angularidad de la red de drenaje, variaciones bruscas de los valores morfométricos entre ambos bloques de falla, por ejemplo los valores de isobasitas en el bloque septentrional son nulos y en el meridional alcanzan los 250 m y 100 m para el segundo y tercer orden respectivamente, desviación de la orientación de elementos morfológicos como son las divisorias de aguas principales y líneas del drenaje, siendo un ejemplo el arroyo El Medio que corre con una dirección noreste lo cual sólo se justifica por el control estructural que la falla realiza sobre su cauce, desplazamiento de formas del relieve como ocurre entre las zonas de montañas y premontañas bajas al sur de Palmarito.

El cuarto sistema de fracturas que aparece desarrollado en el territorio corresponde a estructuras sublongitudinales que aparecen en toda el área, pero tienen su máxima expresión en las zonas periféricas de los sectores de máximo levantamiento, como por ejemplo las fallas a través de las cuales corren algunos tributarios como el arroyo La



Veguita del río Moa, el arroyo La Vaca, arroyo Colorado y la de mayor envergadura que se encuentra al sur de Caimanes.

En las estructuras de este sistema no siempre se encuentran desplazamientos geológicos y geomorfológicos apreciables y su expresión está dada fundamentalmente por la formación de barrancos, alineaciones fluviales, líneas rectas y netas de tonalidades más oscuras y en algunos casos, se han determinado rasgos evolutivos en la comparación entre fotos de años diferentes.

Las características descritas anteriormente permiten suponer una génesis asociada a procesos de descompresión o expansión de bloques, al disminuir las tensiones horizontales que mantienen cohesionado los macizos rocosos debido a los movimientos verticales diferenciales. La edad de este sistema es considerada en su límite inferior posterior al Mioceno Medio, momento en que se inicia el proceso de ascenso definitivo del territorio actual de Cuba oriental como tendencia general y se extiende hasta el presente por prevalecer las condiciones geodinámicas que le dan origen.



Figura 1.1.3. Mapa tectónico del territorio de Moa (Rodríguez, 1999).



### 1.3 Caracterización morfotectónica.

Los sistemas de fallas descritos, en conjunto con los movimientos diferenciales de las estructuras geológicas, sus estilos tectónicos y la morfología desarrollada por la acción de los procesos exógenos durante el desarrollo geológico de la región, han determinado la formación de bloques morfotectónicos (figura 1.1.4), los cuales se diferencian entre sí por características típicas. La caracterización de los mismos fue tomada de la tesis doctoral de Rodríguez A. (1999) que a continuación se describen.

*Bloque Cananova.* Constituye el extremo noroccidental del área de los trabajos, quedando sólo su parte oriental dentro de la misma. Geomorfológicamente este bloque se caracteriza por presentar llanuras fluviales acumulativas, erosivo-acumulativas, y palustres, y al este del poblado de Cananova y al sur, en la zona de Cañamazo, Serrano, el relieve que se desarrolla es de submontañas ligeramente diseccionadas, con cotas máximas en el orden de los 150 m. Para este bloque los cierres máximos de isobasitas alcanzan valores de 50 m y 40 m para el segundo y tercer orden respectivamente mientras que los valores de disección vertical oscilan entre 10-70 m/km<sup>2</sup> en las zonas de premontañas.

Geológicamente este bloque está conformado en superficie por rocas pertenecientes a la cuenca marginal del paleoarco volcánico del Cretácico, formación Mícara; del neoarco volcánico de Paleógeno, formación Sabaneta; así como por la formación Júcaro perteneciente a la secuencia terrígena carbonatada de la etapa platafórmica. En la parte baja del río Cananova y alrededor de su desembocadura afloran los sedimentos fluviales y parálcos del Cuaternario. Para este bloque los cierres máximos de isobasitas alcanzan valores de 50 m y 40 m para el segundo y tercer orden respectivamente

Hacia la parte central y meridional del bloque aparece un sistema sublatitudinal que parece estar condicionado por las tensiones que originaron el surgimiento de la falla Cabaña que separa este bloque del ubicado al sur. El límite oriental del bloque que lo contacta con el bloque Miraflores lo conforma la falla Los Indios de orientación



predominante N28°W y que aparece cortada en varios puntos por estructuras de dirección noreste.

En la misma desembocadura del río Cananova la falla Los Indios se cruza con la falla Cananova así como con otros sistemas de dirección noroeste y nordeste conformando un nudo estructural que complica notablemente la morfología costera y de difícil interpretación sobre todo por la falta de información batimétrica detallada.

*Bloque Miraflores.* Se encuentra ubicado en la parte noroccidental del área teniendo como núcleo el Cerro de Miraflores y las laderas occidentales, norte y nororientales del mismo. Está conformado litológicamente en superficie por las rocas del basamento del arco insular cretácico y de la antigua corteza oceánica - secuencia ofiolítica - con pequeños sectores en su porción suroccidental de afloramiento de las rocas de las formaciones Mícara y Sabaneta y al norte por la formación Júcaro y los sedimentos parálicos y fluviales del Cuaternario.

Geomorfológicamente el bloque se caracteriza por presentar montañas bajas diseccionadas en su mayor territorio, hacia el oeste y el norte presenta llanuras fluviales acumulativas así como llanuras palustres en la parte correspondiente al litoral. Este sistema de montañas desarrollado sobre las rocas del complejo ofiolítico se va a caracterizar por líneas divisorias alargadas con orientación principal norte-noreste condicionada por los procesos tectónicos que provocaron el emplazamiento de las ofiolitas y diseccionadas a través de numerosas fallas que la cortan, siendo la más significativa la falla Cananova que marca el límite entre dos sectores del bloque: norte y sur, diferenciados entre si por el comportamiento morfométrico, microtectónico y la orientación de algunos elementos geólogo-geomorfológicos que se analizan a continuación. Las pendientes para este bloque son muy variables en dependencia de la litología y las estructuras tectónicas que lo afectan, encontrándose los mayores valores hacia el sureste, asociados a la zona de falla Miraflores que lo limita con el bloque Cabaña.



Morfométricamente se van a observar dos cierres para las isobasas y las isolíneas de disección vertical, correspondiendo al sector septentrional valores de 150 m y 90 m para el segundo y tercer orden, mientras que en el meridional alcanzan hasta los 300 m y 100 m respectivamente

*Bloque Cabaña.* Situado al este del bloque Miraflores, con orientación noreste desde la localidad de Zambumbia hasta Cayo Moa Grande, y en su porción meridional, en la zona Cayo Grande-Caimanes Abajo, mantiene una dirección noroeste. Geológicamente el basamento sobre la cual se sustenta la morfología de este bloque esta conformado por las tobas de la formación Santo Domingo, las rocas del complejo ofiolítico y sedimentos parálicos y fluviales en la zona aledaña al litoral.

El relieve es de llanuras erosivas y erosivo-acumulativas las que hacia el sur transicionan a submontañas ligeramente diseccionadas con divisorias de configuración arborescente. El drenaje es de densidad moderada a alta con predominio de redes detríticas exceptuando los cauces primarios del río Cabaña cerca de la zona de intersección con el río Moa, donde aparecen redes enrejadas. Para el bloque los valores máximos del nivel de base de erosión para el segundo y tercer orden se alcanzan hacia el sur con 200m y 150m respectivamente, formándose cierres de isobasas de carácter muy local al suroeste y noreste de Caimanes Arriba y hacia el norte, en la zona de Playa la Vaca.

Al igual que el bloque Miraflores, este bloque se encuentra cortado por la falla Cananova presentando valores morfométricos diferenciados entre el sub-bloque norte y sur, desplazándose el sub-bloque norte según el plano de fractura en dirección noroccidental.

El sub-bloque más meridional - Cayo Grande - es considerado perteneciente al bloque Cabaña, no está aún claramente definido, pues los valores morfométricos que presenta difiere notablemente del de los bloques situados al este, pero son intermedios entre los valores del bloque en el cual está incluido y el bloque El Lirial ubicado al oeste del



mismo, sin embargo, la decisión de incluirlo en el bloque Cabaña y dentro de este como el sector mas levantado se debe a la presencia de la frontera activa que constituye la falla Miraflores que lo limita occidentalmente y a su constitución geológica dada por las rocas del complejo ofiolítico, no negando la posibilidad de que el sub-bloque Cayo Grande con los sub-bloques Cabaña Norte y Sur y el bloque El Lirial constituyan una sola unidad morfotectónica.

*Bloque Maquey.* Ocupa la porción suroccidental del territorio teniendo como núcleo del mismo las estribaciones septentrionales de la Sierra del Maquey, limitado al norte por el bloque El Lirial a través de la falla Maquey y al este con el sub-bloque Calentura a través de la falla Miraflores.

Litológicamente está conformado en superficie por las serpentinitas sobre las cuales se desarrolla un relieve de montañas bajas diseccionadas de cimas alargadas dispuestas paralelamente entre si y a los cursos fluviales que la atraviesan como La Angostura, San Jiriguelo y Río Castro. Morfométricamente se caracteriza por valores de isobasitas de 400 y 350 m para el 2<sup>do</sup> y 3<sup>er</sup> orden

*Bloque El Lirial.* Espacialmente ocupa una posición intermedia entre el bloque Cananova con el cual limita al norte a través de la falla Cabaña y el bloque Maquey al sur. Tectónicamente, en cuanto a la magnitud del desplazamiento vertical ocupa también una posición intermedia entre ambos bloques, quedando como un escalón de transición entre un bloque de intenso levantamiento al sur y el sector de mínimos levantamientos relativos al norte.

En el área que ocupa el bloque las rocas que afloran son las pertenecientes al complejo ofiolítico y las formaciones Mícara, La Picota y Sabaneta, sobre las cuales se desarrolla un relieve de submontañas y premontañas ligeramente aplanadas. Morfométricamente se caracteriza por valores de isobasas de 200m y 150 m para el 2<sup>do</sup> y 3<sup>er</sup> orden respectivamente.



*Bloque Moa.* Se encuentra ubicado en la parte centrooccidental del área de trabajo, al este de bloque Cabaña con el cual contacta a través de la falla de igual nombre y al este con el bloque El Toldo según la falla Moa, extendiéndose de norte a sur en forma de una franja cóncava hacia el este.

En este bloque afloran las rocas del complejo ofiolítico en el mayor porcentaje de su superficie. Hacia el sur, en la zona de Calentura afloran las rocas cretáceas de la formación Santo Domingo, mientras que hacia el norte existe una extensa área de desarrollo de sedimentos fluviales y palustres del Cuaternario.

Geomorfológicamente para el bloque es predominante el relieve de montañas bajas de cimas aplanadas ligeramente diseccionadas lo que junto a las condiciones litológica permite, que en el sector exista un intenso desarrollo y conservación de las cortezas de meteorización lateríticas, que a su vez condicionan la densidad del drenaje que sólo aumenta en las laderas abruptas, coincidiendo con las alineaciones tectónicas. Los cursos de agua permanentes van a presentar cauces en forma de barrancos profundos y estrechos.

Morfométricamente el bloque va a presentar características intermedias y contrastantes con las elevaciones máximas del este y la llanura fluvial del río Cabaña lo que conjuntamente con los valores hipsométricos hace considerar al mismo un peldaño intermedio de transición en la estructura escalonada regional. Los valores de las isobasitas se encuentran entre los 350 m y 300 m para el 2<sup>do</sup> y 3<sup>er</sup> orden y sólo disminuyen de forma brusca en la llanura cercana al litoral.

*Bloque El Toldo:* Ocupa la posición central del área de estudio y es el de máxima extensión, correspondiéndole también los máximos valores del levantamiento relativo de la región. Litológicamente está conformado en superficie por las rocas del complejo máfico y ultramáfico de la secuencia ofiolítica, sobre las cuales se ha desarrollado un relieve de montañas bajas de cimas aplanadas ligeramente diseccionadas. Hacia la parte norte se desarrollan en un pequeño sector premontañas aplanadas.



El drenaje es de densidad media a baja, lo que está condicionado por las potentes cortezas de intemperismo que cubren al área y favorecen la permeabilidad del suelo y al intenso control estructural del drenaje que condiciona la formación de barrancos. En este bloque aparecen desarrolladas formas del relieve cársico en peridotitas ubicadas alrededor de las elevaciones máximas, siendo el punto de mayor cota El Toldo con 1174 m sobre el nivel del mar. Los parámetros morfométricos para este bloque son los más relevantes al tomar valores que indican la máxima intensidad de levantamiento con isobasitas que cierran en 900 m y 800 m para el 2<sup>do</sup> y 3<sup>er</sup> orden respectivamente.

Hacia la parte norte, en su prolongación dentro de la zona marina puede notarse la pérdida de la barrera arrecifal desde la intersección de la falla La Veguita hasta la falla Quesigua, donde sólo queda como testigo de su existencia un banco de arena de morfología similar, lo que se considera constituye un índice de los movimientos diferenciales entre los bloques. El límite nororiental de este bloque está dado por la falla Cayo Guam, mientras que al sur limita con el bloque Cupey a través de la falla Quesigua.

*Bloque Cayo Guam.* Es el bloque de más pequeña extensión en el área y se dispone como una cuña entre los bloques El Toldo y Cupey a través de las fallas Cayo Guam y Quesigua respectivamente y al igual que el bloque Moa, se comporta como un escalón intermedio en descenso respecto al bloque El Toldo.

Geológicamente la mayor extensión de la superficie lo ocupan las rocas del complejo ofiolítico, predominando hacia el sur las serpentinitas y hacia el norte los gabros. Geomorfológicamente se desarrollan las llanuras acumulativas bajas y planas de origen fluvial o palustre en la mayor área del bloque y una pequeña franja de acumulaciones costeras. Hacia la parte sur aparecen las premontañas y montañas bajas aplanadas ligeramente diseccionadas con elevaciones máximas de 460 m. Morfométricamente los valores máximos de la disección vertical son de 230 m/km<sup>2</sup> y las isobasitas en 300 m y 250 m para el segundo y tercer orden respectivamente.



*Bloque Cupey.* Se ubica en el extremo oriental desde la falla Quesigua hasta la coordenada 721 000 tomada como límite convencional del área de estudio. Geológicamente a este bloque le corresponde la mayor complejidad al aflorar en su superficie las rocas del complejo ofiolítico que ocupan la mayor extensión del bloque, las rocas de las formaciones Sabaneta, Capiro y Majimiana y los sedimentos cuaternarios de origen parálico y fluvial. Estas últimas litologías se disponen en forma de franjas paralelas al litoral.

Geomorfológicamente para el área predomina el relieve de montañas bajas y aplanadas hacia la parte occidental y bajas diseccionadas con divisorias alargadas hacia el sudeste. Las premontañas y submontañas serán aplanadas hacia el oeste y diseccionadas hacia el este. La variabilidad del relieve es el resultado de la acción de tres factores fundamentales: litológico, topográfico y tectónico, ya que no sólo existen variaciones en el tipo de roca sobre la cual se conforma el relieve sino que también, a partir de Punta Guarico ocurre una desviación costera de probable origen tectónico que condiciona la variación de la orientación fluvial, la que toma una dirección noreste, paralelo al sistema de grietas y fallas que controla el drenaje.

Morfométricamente este bloque se comporta también con una gran variabilidad. Los valores de isobasitas hacia el norte y este oscilan entre 100-150 m para el segundo orden y de 50-150 m para el tercero, mientras para el sector sur estos valores son de 450 m y 350 m respectivamente.

Este bloque aparece subdividido en cinco sub-bloques menores a través de las fallas El Medio, Cupey y Jiguaní con valores morfométricos diferenciados.

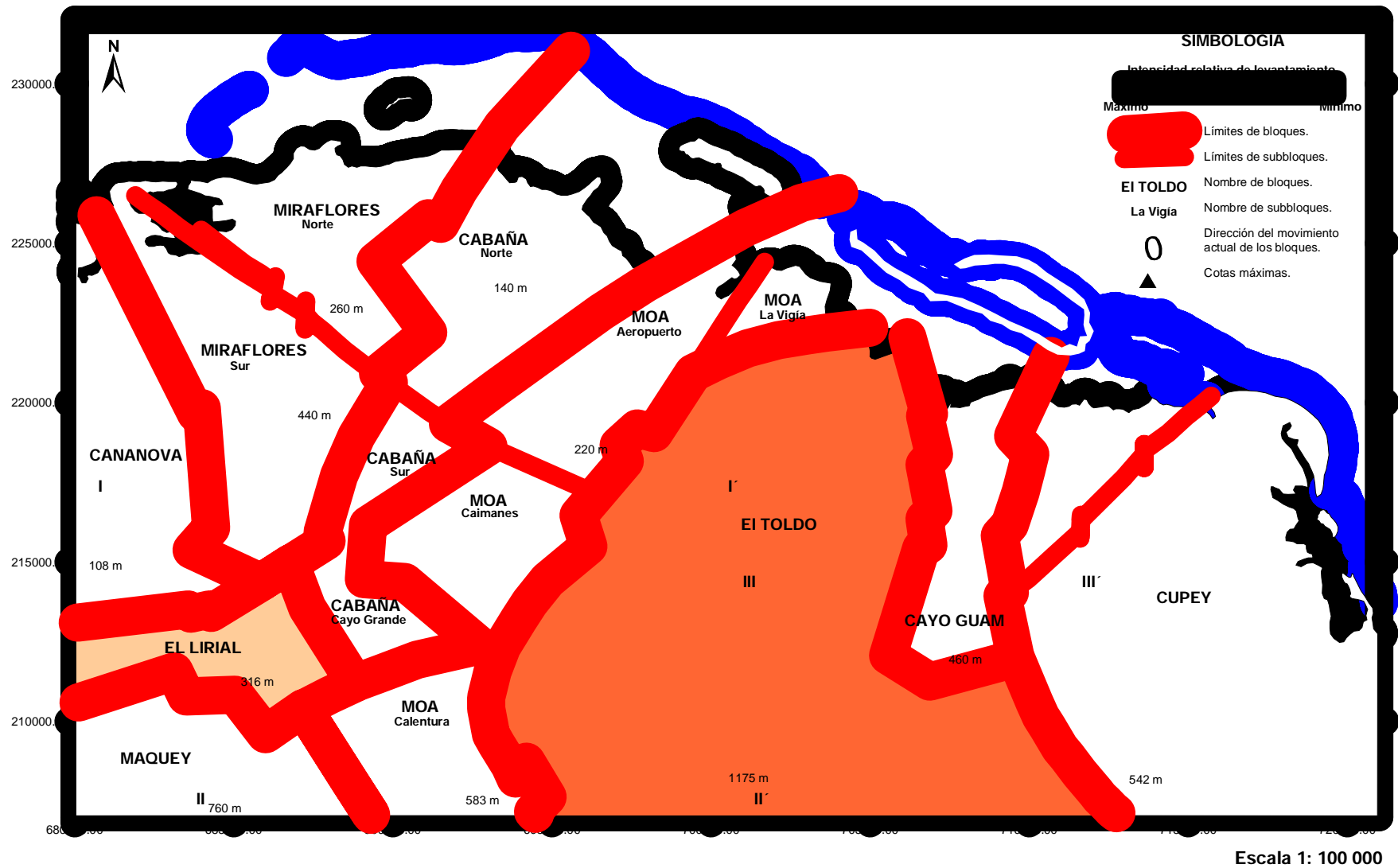


Figura 1.1.4. Mapa de bloques morfotectónicos del territorio (tomado de Rodríguez, 1999).



#### 1.4 Características Geológicas del Territorio.

La geología de la región se caracteriza por una gran complejidad condicionada por la variedad litológica presente y los distintos eventos tectónicos ocurridos en el decursar del tiempo geológico, lo que justifica los diferentes estudios y clasificaciones realizadas, basadas en criterios o parámetros específicos según el objeto de la investigación.

Quintas, (1989), realiza la clasificación geológica regional según ocho asociaciones estructuro-formacionales, de las cuales seis se encuentran representadas en el área de investigación. Se basa en la teoría que explica el origen y evolución de los arcos insulares, así como la formación de las plataformas, las etapas evolutivas y los conjuntos litológicos faciales típicos de cada estadio. Iturralde-Vinent (1996), reconoce en la constitución geológica del archipiélago cubano dos elementos estructurales principales: el cinturón plegado y el neoaútctono. El cinturón plegado según el autor, está constituido por terrenos oceánicos y continentales deformados y metamorfizado de edad pre-Eoceno Medio, que ocupan en la actualidad una posición muy diferente a la original, representando las unidades geológicas que lo integran grandes entidades paleogeográficas que marcaron la evolución del Caribe Noroccidental. El autor divide al cinturón plegado en unidades continentales y unidades oceánicas.

En Cuba Oriental las unidades continentales están representadas por el Terreno Asunción, compuesto por dos unidades litoestratigráficas bien diferenciadas, la Fm. Sierra Verde y la Fm. La Asunción, constituidas por materiales metaterrígenos y metacarbonatados respectivamente, del Jurásico Superior-Cretácico Inferior, las cuales no aparecen representadas en el área de estas investigaciones.

Las unidades oceánicas están constituidas por las ofiolitas septentrionales, las rocas del arco de islas volcánicas del Cretácico (Paleoarco), las secuencias de las cuencas de *piggy back* del Campaniense Tardío-Daniense, el arco de islas volcánico del Paleógeno y las rocas de las cuencas de *piggy back* del Eoceno Medio-Oligoceno. El neoaútctono está constituido por materiales terrígenos carbonatados poco deformados del Eoceno Superior Tardío al Cuaternario que cubren discordantemente las rocas del cinturón plegado.



Iturralde-Vinent divide a las ofiolitas cubanas en: ofiolitas del cinturón septentrional, ofiolitas anfibolitizadas y ofiolitas de los terrenos sudoccidentales; dividiendo al cinturón septentrional en tres fajas principales: Cajálbana, Mariel-Holguín y Mayarí-Baracoa. La faja Mayarí-Baracoa a su vez la divide en tres macizos: Mayarí-Cristal, Sierra del Convento y Moa-Baracoa, al cual pertenecen las ofiolitas objeto de estudio.

El Macizo Moa-Baracoa se localiza en el extremo oriental de la Faja Mayarí-Baracoa, ocupando un área aproximada de 1 500 km<sup>2</sup> que presenta un gran desarrollo de los complejos ultramáfico, de gabros y Vulcano-sedimentario mientras que el complejo de diques de diabasas está muy mal representado, apareciendo las diabasas descritas en la región en forma de bloques tectónicos incluidos en los niveles de gabros, sobre todo en la parte superior del complejo cumulativo. Se estima un espesor de aproximadamente 1000 metros para el complejo ultramáfico y 500 metros para el de gabros, mientras que para el complejo Vulcano-sedimentario se ha estimado un espesor de 1200 metros.

El complejo de rocas ultrabásicas aflora en toda la porción central y meridional del área y está constituido predominantemente por harzburgitas y subordinadamente dunitas, lherzolitas y piroxenitas. Estas rocas se caracterizan por presentar un grado de serpentización variable, lo cual ha sido objeto de contradicción y explicado de modo diferente por varios investigadores, llegando incluso a considerarse el proceso como una manifestación de auto metamorfismo de las intrusiones. Sin embargo, ha predominado el criterio de procesos dinamo-metamórficos durante la elevación y emplazamiento de las grandes masas peridotíticas a la superficie en presencia de agua, ya que la serpentización, como se ha señalado en diversas investigaciones se desarrolla más intensamente hacia los bordes de los macizos sobre todo, en los límites tectónicos de sobrecorrimiento de estos sobre las rocas autóctonas, en las zonas de fallas interiores de los macizos y en las zonas de contacto con las rocas básicas.

Las rocas de este complejo se caracterizan por presentar un color verde oscuro o gris verdoso y por un alto grado de agrietamiento (Rodríguez, 1999). Sobre estas rocas se forman relieves muy variados en dependencia del nivel hipsométrico que ocupan y por ende, del grado de desarrollo y conservación de la corteza de meteorización. Hacia la

parte norte del macizo se observa un relieve de premontañas con cimas redondeadas, mientras que en la parte intermedia aparecen montañas de cimas aplanadas que hacia el sur se vuelven puntiagudas. Los parteaguas secundarios son rectos y alargados, con pendientes abruptas, siendo esto un criterio importante en su identificación. El drenaje es de configuración dendrítica, volviéndose angular debido al alto control tectónico sobre todo en los límites de los bloques, siendo típicos los valles en forma de V con pendientes fuertes, los que se hacen más amplios y menos profundos cuanto mayor es su orden. En la parte central, donde las cimas son aplanadas el drenaje es menos denso, observándose cauces estrechos y profundos con divisorias aplanadas, generalmente asociados a fracturas.

El complejo máfico está representado por gabros olivínicos, gabro-noritas, anortositas y gabros normales de diferentes granulometrías. Los cuerpos de gabro tienen una estructura de grandes bloques y la mayoría de éstos se disponen en las zonas periféricas del complejo ultramáfico. En el sector Moa-Baracoa están representados dos tipos de gabros, los llamados gabros bandeados y los gabros masivos en las partes más altas del corte. En el área de estudio el más común es el gabro normal de color oscuro algo verdoso con textura masiva o fluidal. Estas rocas presentan alteraciones superficiales en forma de finísimas irregularidades semejantes a un micro relieve cársico, originadas por la meteorización diferencial de los minerales que las componen entre los cuales están los piroxenos monoclinicos, plagioclasas básicas y en menor grado olivino y piroxenos rómbicos.

En la región de estudio los gabros afloran siempre asociados a las serpentinitas, apareciendo en forma de bloques en las zonas de Quesigua-Cayo Guam-Mercedita, Centeno-Miraflores y Farallones-Caimanes.

El complejo de diques de diabasas está muy mal representado, apareciendo las diabasas descritas en la región en forma de bloques tectónicos incluidos en los niveles de gabros, sobre todo en la parte superior del complejo cumulativo.



El complejo vulcano-sedimentario contacta tectónicamente con los demás complejos del corte ofiolítico y está representado por la formación Quibiján, constituida por rocas vulcano-sedimentarias instruidas por gabro-pegmatitas, dioritas y diabasas. En la base se encuentran lavas y lavas-brechas, aglomerados y tobas gruesas de composición basáltica y basáltico-andesítica. En su conjunto son de color negro o verde oscuro. Las lavas son amigdaloidales, con amígdalas rellenas de cuarzo y clorita. La porción media superior de la formación se compone de lavas, lavas-brechas, tufo-lavas y en cantidades subordinadas tobas lapillíticas, las cuales se caracterizan por presentar una estratificación gruesa, a veces gradacional. La edad aún se desconoce, ya que no se han encontrado fósiles que puedan revelarla. Algunos autores le asignan una edad Cretácico Inferior - Superior.

## **CAPITULO II Metodología y volumen de los trabajos realizados.**

### **Introducción.**

El presente capítulo trata la metodología aplicada en el análisis estructural de las rocas serpentinizadas; se explican los métodos para el análisis descriptivo y determinación de criterios cinemáticos en deformaciones frágiles. También se explican los métodos de procesamientos e interpretación de los datos estructurales obtenidos en la etapa de reconocimiento de campo.

### **2.1 Metodología de análisis estructural aplicado en la investigación.**

La presente investigación se realiza teniendo en cuenta la siguiente metodología, Los trabajos a escala mesoscópica, se realizaron en los diferentes afloramientos del territorio de Moa.

Análisis estructural a escala mesoscópica (en afloramientos). Objetivos.

- Descripción física detallada de las estructuras mesoscópicas y sus relaciones mutuas.
- Medición y recolección de datos de orientación de estructuras en el campo.
- Colección de muestras de mano para estudios detallados en el laboratorio, y correlación de rasgos mesoscópicos con rasgos microscópicos.
- Determinación de la homogeneidad de los dominios.
- Determinación de la simetría de las estructuras y fábricas.

Equipamiento utilizado.

- Brújula.
- Escala.
- Libreta, lápiz y marcador.
- Net estereográfica y papel transparente.
- Piqueta.
- Lente de mano.
- Cinta métrica.



Toda esta información fue anotada y sintetizada en fichas realizadas al efecto (ver tablas 2.1.y 2.2. ).

Para la descripción de las características citadas encima fueron usadas una serie de clasificaciones propuestas por Barton N. (1978). En la tabla 2.3 tenemos para la apertura tres clases, cerradas, moderadamente abiertas y abiertas, que a su vez se dividen en seis subclases. En la tabla 2.4 se describe el espaciamiento, el cual tiene siete tipos que van desde grietas extremadamente cerradas a espaciamientos extremos y en la tabla 2.5 tenemos la descripción de la continuidad o persistencia de las trazas de las grietas. Además de estas mediciones se realizaron estudios de estructuras geológicas de interés encontradas en el área, zonas de cizallas, sistemas echelon, tipos de fallas y mineralización asociadas a sistemas de grietas preferenciales.

Tabla 2.1 Ficha utilizada en la colección de los datos de agrietamiento medidos en el macizo rocoso.

Punto	Lugar		Día	Mes	Año				Geólogo		Número de hoja
		Fecha									
ORIENTACION Y NATURALEZA DE LAS DISCONTINUIDADES											
							Relleno				
No.	Tipo	Buzamiento	Acimut	Apertura (mm)	Espac (cm)	Persist (m)	Naturaleza	Consistencia	Rugosidad	Agua	Observaciones
<b>Tipo</b>		<b>Naturaleza del relleno</b>				<b>Rugosidad</b>				<b>Agua</b>	
0. Falla o Zona de Falla		1. Limpio				1. Pulida				1. Drenado	
1. Junta		2. Superficie manchada				2. Espejo de fricción				2. Filtración	
2. Clivaje		3. No cohesivo				3. Suave				<b>Flujo</b>	
3. Esquistosidad		4. Arcilla inactiva o matriz de arcilla				4. Rugosa				3. Mas de 10 ml/s	
4. Cizalla		5. Cementado				5. Crestas definidas				4. 10-100 ml/s	
5. Fisura		6. Clorita, talco o yeso.				6. Pequeños escalones				5. 0.1-1 ml/s	
6. Grieta de tensión		7. Otros. Especificar.				7. Muy rugosa				6. 1-10 ml/s	
7. Foliación										7. 10-100 l/s	
8. Estratificación										8. Mas de 100 l/s	

Tabla 2.2. Ficha utilizada en la descripción del macizo rocoso

INFORMACION GENERAL			HOJA DE DATOS PARA DESCRIPCION DE LA MASA ROCOSA						
No. Punto	Lugar		Día	Mes	Año	Geólogo		Orientación	
		Fecha						X:	Y:
								Z:	
Tipo de localidad 1. Afloramiento natural 2. Excavación 3. Pozo 4. Trinchera 5. Túnel 6. Línea de reconocimiento			Dimensiones 1. > 10 m <sup>2</sup> 2. 5 - 10 m <sup>2</sup> 3. 1 - 5 m <sup>2</sup> 4. < 1 m <sup>2</sup>		Número de hojas suplementarias de datos de agrietamiento			Fotografía	Sketch
								0. Sí	1. No
INFORMACION DEL MATERIAL ROCOSO									
Color				Tamaño de grano					
1. Claro	1. Sonrosado	1. Rosado	1. Muy grueso (> 60 mm)	Resistencia a la compresión 1. Muy fuerte (> 100 N/m <sup>2</sup> ) 2. Fuerte (50 - 100 N/m <sup>2</sup> ) 3. Mod. Fuerte (12.5 - 50 N/m <sup>2</sup> ) 4. Mod. Débil (5 - 12.5 N/m <sup>2</sup> ) 5. Débil (1.5 - 5 N/m <sup>2</sup> ) 6. Débil / duro (600-1250 KN/m <sup>2</sup> ) 7. Muy duro (300 - 600 KN/m <sup>2</sup> ) 8. Duro (150 - 300 KN/m <sup>2</sup> ) 9. Firme (80 - 150 N/m <sup>2</sup> ) 0. Blando (40 - 80 N/m <sup>2</sup> )	Resistencia	1. Medida			
2. Oscuro	2. Rojizo	2. Rojo	2. Grueso (2 - 60 mm)		2. Estimada				
	3. Amarilloso	3. Amarillo	3. Medio (60 micrones - 2 mm)						
	4. Carmelitoso	4. Carmelita	4. Fino (2 - 60 micrones)		Tipo de roca				
	5. Aceitunado	5. Verde olivo	5. Muy fino (< de 2 micrones)		Descripción:				
	6. Verdoso	6. Verde							
	7. Azulado	7. Azul							
	8. Grisáceo	8. Blanco							
		9. Gris							
		0. Negro							
INFORMACION DEL MACIZO ROCOSO									
Estructura				Estado de meteorización	1. Fresca				
1. Bloques	Tamaño de bloque	1. Muy grande (> 8 m <sup>3</sup> )		2. Levemente	Número de familias de grietas principales				
2. Tabular		2. Grande (0.2 - 8 m <sup>3</sup> )		3. Moderadamente					
3. Columnar		3. Medio (0.008 - 0.2 m <sup>3</sup> )		4. Altamente					
		4. Pequeño (0.0002 - 0.008 m <sup>3</sup> )		5. Completamente					
		5. Muy pequeño (< 0.0002 m <sup>3</sup> )		6. Suelo residual					



Tabla 2.3 Clasificación y descripción de la apertura del agrietamiento (Barton N., 1978).

<b>Apertura</b>	<b>Descripción</b>	<b>Tipo</b>
< 0.1 mm	Muy cerrado	Cerradas
0.1 – 0.25 mm	Cerrado	
0.25 – 0.5 mm	Parcialmente abierto	
0.5 – 2.25 mm	Abierto	Moderadamente abiertas
2.5 – 10 mm	Moderadamente ancha	
> 10 mm	Ancha	
1 – 10 cm	Muy ancha	Abiertas
10 – 100 cm	Extremadamente ancha	
> 100 cm	Caverna	

Tabla 2.4 Clasificación del espaciamiento de las familias de grietas.

<b>Descripción</b>	<b>Espaciamiento (mm)</b>
Extremadamente cerrado	< 20
Muy cerrado	20 – 60
Cerrado	60 – 200
Moderadamente espaciado	200 – 600
Espaciado	600 – 2000
Muy espaciado	2000 – 6000
Extremadamente espaciado	> 6000

Tabla 2.5. Clasificación de la persistencia de las trazas de las grietas.

<b>Descripción</b>	<b>Persistencia (m)</b>
Muy baja	< 1
Baja	1 – 3
Media	3 – 10
Alta	10 – 20
Muy alta	> 20

## 2.2 Análisis en el laboratorio de secciones pulidas.

A nivel microscópico se realizó el análisis microestructural, el cual comprendió el estudio de las estructuras orientadas de las rocas; el análisis de las mismas se realizó con un microscopio de luz reflejada, usando fundamentalmente el aumento 20x40 (Foto 2.1). Para el estudio de las secciones pulidas con el microscopio se llevo a cabo el procedimiento descrito a continuación:



Foto 2.1. Análisis microestructural a nivel microscópico.

### Montaje y enfoque de una preparación microscópica

Antes de observar la preparación al microscopio, esta debe de ser montada sobre vidrio. Para ello existen dos piezas de vidrio denominadas *portaobjetos* (porta), que, como su nombre indica, es el soporte sobre el que va la muestra, y *cubreobjetos* (cubre) que siempre ha de colocarse sobre la muestra. Una vez colocada la muestra en el porta, se debe añadir una gota de agua, o de la solución acuosa pertinente, antes de colocar el cubre, para evitar interfases agua-aire, que provocan zonas ciegas.

Para enfocar la preparación se ha de seguir de forma minuciosa el protocolo descrito a continuación.

- En los microscopios que requieren transformador, el enchufe a la red y desenchufe debe hacerse sobre el transformador, y nunca debe desenchufarse el microscopio del transformador.
- Se debe mantener apagada la luz del microscopio siempre que no se esté utilizando, ya que la vida media de la bombilla es corta.



- Siempre se debe comenzar el enfoque con el objetivo de menor aumento.
- Anotar siempre el número de aumentos con el que se observa la preparación. Para calcularlo basta multiplicar el número de aumentos del objetivo por el de los oculares. Hacer esquemas y dibujos de lo observado con cada aumento.
- Salvo que se indique lo contrario no utilizar nunca el objetivo de inmersión, ya que se requiere un aceite especial sin el que, además de no enfocar bien, existe una gran probabilidad de dañar la lente al rozar con el cubreobjetos.
- Una vez enfocada, procurar recorrer, con los tornillos de la platina, toda la preparación.

Los pasos seguidos para la perfecta utilización del microscopio son los siguientes:

- Enchufar el microscopio al transformador y éste a la red. (nunca enchufar el microscopio directamente a la red, siempre que no se este mirando por el microscopio hay que apagar la luz).
- Colocar la preparación sobre la platina de forma que la estructura a observar quede en el orificio central de la platina.
- Poner el objetivo de menor aumento cuyo amplio campo visual facilita el hallazgo de estructuras importantes.
- Subir la platina accionando el tornillo macrométrico y mirando la preparación desde fuera hasta alcanzar el tope superior. En ningún caso tocar la preparación con los objetivos.
- Mirando por los oculares, bajar lentamente la platina con el tornillo macrométrico hasta conseguir ver el objeto lo más nítido posible.
- Ajustar el enfoque con el tornillo micrométrico hasta verlo claramente.
- Para observar la preparación a mayores aumentos cambiar de objetivo con un simple giro del revolver (sin mover en ningún caso el tornillo macro.) Las pequeñas variaciones que observéis en el enfoque se producen al cambiar de objetivo y se corrigen con el micro.
- Para observar otros campos, desplazar la preparación moviendo los tornillos de la platina.

Para cambiar la preparación:

- Bajar la platina.
- Colocar el objetivo de menor aumento
- Quitar la preparación y colocar la siguiente

Para desconectar el microscopio, además de los tres pasos anteriores:

- Apagar y desenchufar el transformador de la red
- Tapar el microscopio con su funda

### 2.3 Procesamiento de datos estructurales.

El Dips v5 es el sistema utilizado en la presente investigación para el procesamiento de los datos estructurales; el software está diseñado para el análisis interactivo basado en los datos geológicos. El programa es capaz de muchas aplicaciones y está diseñado para que el usuario realice la proyección estereográfica utilizando las herramientas más avanzadas en el análisis de datos geológicos (figura 2.1.).

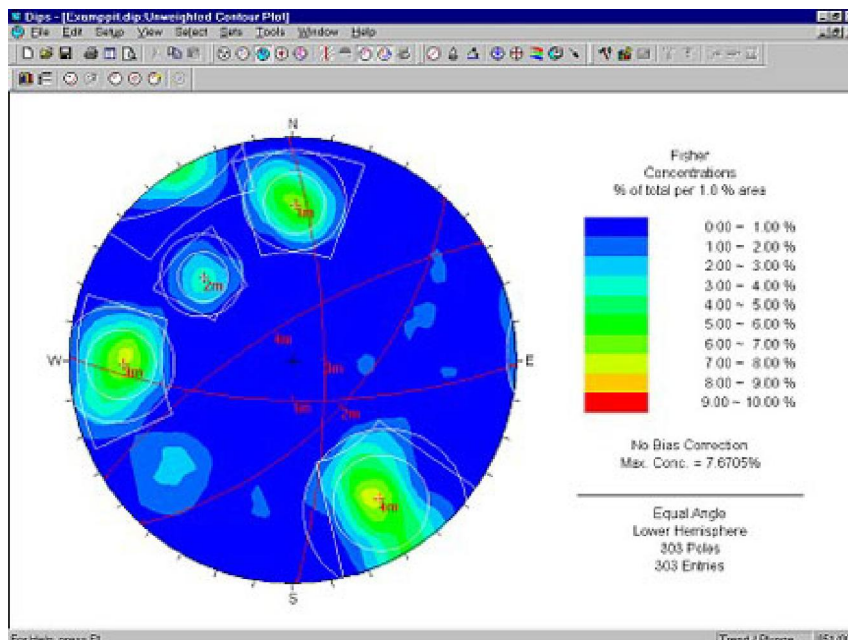


Figura 2.1. Representación gráfica del programa Dips v5.

*Dips* permite analizar y visualizar datos estructurales. Además, tiene muchas características computacionales, hay varias opciones en las que se puede trabajar de

acuerdo al objetivo del trabajo, se pueden obtener diagramas de contornos, polos, planos, roseta, también se puede realizar un análisis cualitativo y cuantitativo en función del atributo. *Dips* permite el análisis de cualquier base de datos de orientación de estructuras geológicas.

Diagramas y gráficos.

Se han utilizado los Charts o diagramas para las representaciones graficas de los datos y constituyen una forma de visualizar información de atributos, mediante la construcción de diagramas de barras. (Figura 2.2).

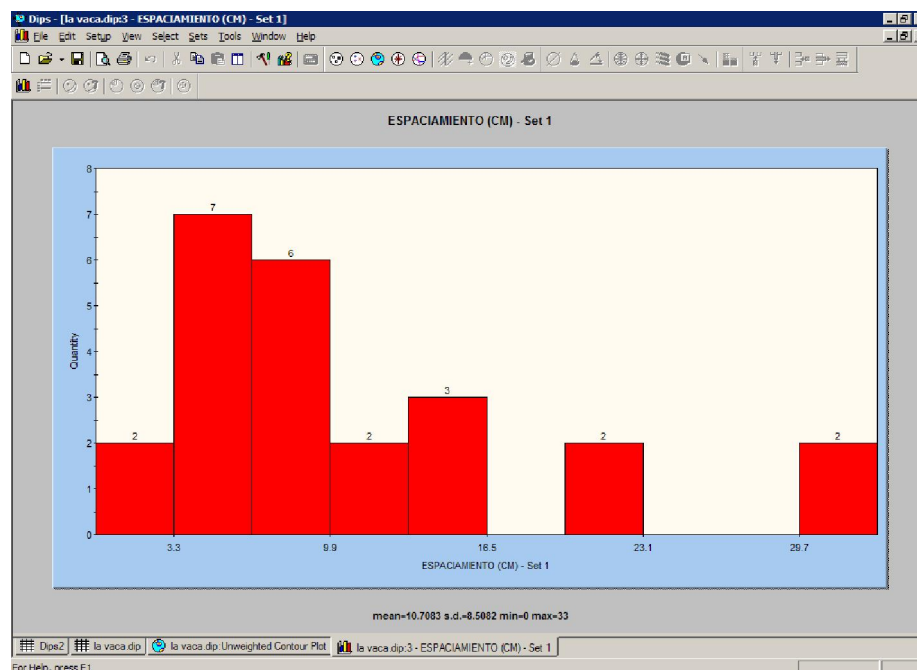


Figura 2.2. Representación grafica del procesamiento estadístico.

### Digitalización de la información geológica.

En el trabajo se utilizó además el software Didger, programa que proporciona las técnicas avanzadas de digitalización que se necesitan. Se puede usar para convertir mapas, gráficos, fotos aéreas o cualquier otro tipo de información en un formato digital versátil que puede ser utilizado con otro software de Sistemas de Información Geográfica.

Se puede digitalizar información en pantalla, desde una mesa digitalizadora o ingresar los datos directamente desde su unidad de GPS. Didger es compatible con más de 35 formatos para importar archivos y más de 25 para exportarlos. Se puede confeccionar mosaicos con imágenes georeferenciadas o sobreponer archivos vectoriales sobre imágenes georeferenciadas. Didger permite también utilizar múltiples capas e incluye muchas herramientas de edición que le ayudarán a personalizar sus proyectos, para que se vean de la mejor manera.

#### Características Principales

- Formatos espaciales GeoTIFF, TFW y RSF.
- Importa formato de vectores: EMF, GSI, GSB, BNA, DLG, LGO, LGS, DXF, PLT, BLN, CLP, WMF, SHP, MIF, DDF, E00.
- Formato de imágenes a Importar: TIF, BMP, TGA, PCX, GIF, WPG, DCX, EPS, JPG, PNG, PCT.
- Formato de datos a Importar: XLS, SLK, DAT, CSV, TXT, BNA, WKx, WRx, BLN.
- Formatos de Exportación: LAS, EMF, GSI, GSB, DAT, DXF, SHP, BLN, BNA, GIF, BMP, WMF, CGM, MIF, CLP, TIF, TGA, PCX, WPG, PNG, JPG, PCT, DCX.

Algunas aplicaciones de Didger permiten:

- digitalizar pozos petroleros, pozos de prueba, líneas de contorno, fotos aéreas, imágenes satelitales, líneas sísmicas, caminos, ríos, propiedades, edificios.
- fallas, formaciones rocosas, fronteras de vegetación, hábitat animal.
- determinar la vertiente o área de inundación de cuerpos de agua.
- determinar el largo de litorales, caminos, ríos, quebradas o rutas de migración
- reproducir secciones o planos dibujados a mano.

Se puede asignar o cambiar la proyección de sus archivos vectores y raster, a una de más de 20 proyecciones distintas, o convertir el datum de su proyección a uno de más de 200 datums disponibles. Alternativamente, usted puede crear su propio datum o convertir sus datos a un nuevo sistema de coordenadas utilizando uno de los 10 métodos de georeferenciación de Didger (figura 2.15).

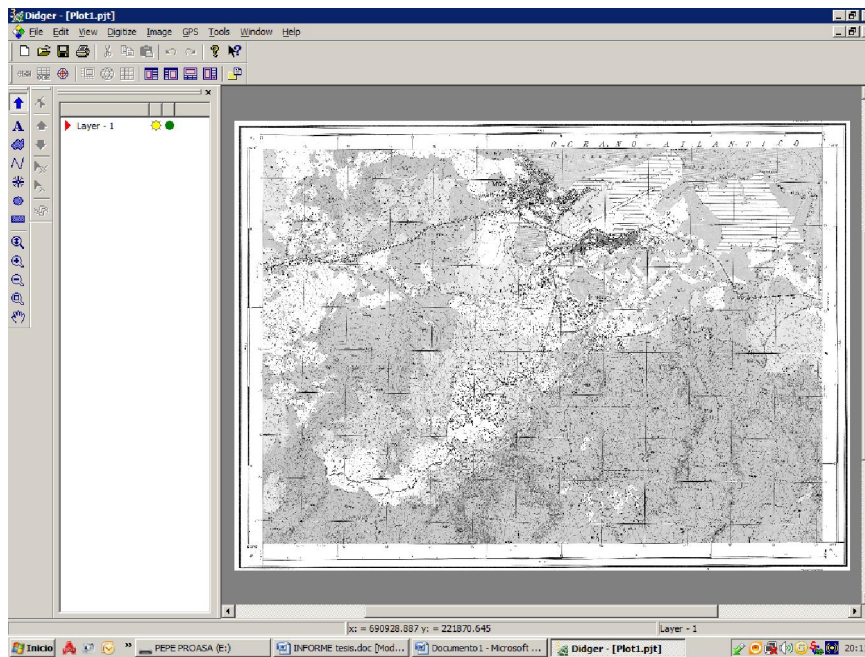


Figura 2.3 Representación gráfica del programa Didger.

### **Interpretación de datos estructurales.**

Como parte final de la metodología aplicada en la investigación, partiendo de la metodología del análisis estructural, donde se realiza primero análisis descriptivo, seguido de un análisis cinemático y finalmente concluyó con la interpretación del análisis estructural; para cumplir con este objetivo se parte del análisis de los diagramas de planos que muestran la disposición espacial de las estructuras geológicas identificadas en las áreas de documentación geológica así como de los diagramas de rosetas, luego se realiza el análisis cinemático a partir de los indicadores descritos sobre las superficies de grietas y fallas o superficies de cizallas documentadas con vista a esclarecer la dinámica que se manifiesta a través de las estructuras disyuntivas presentes en los bloques morfotectónicos estudiados.

En la figura 2.4. se recoge de manera simplificada la metodología utilizada en la investigación.



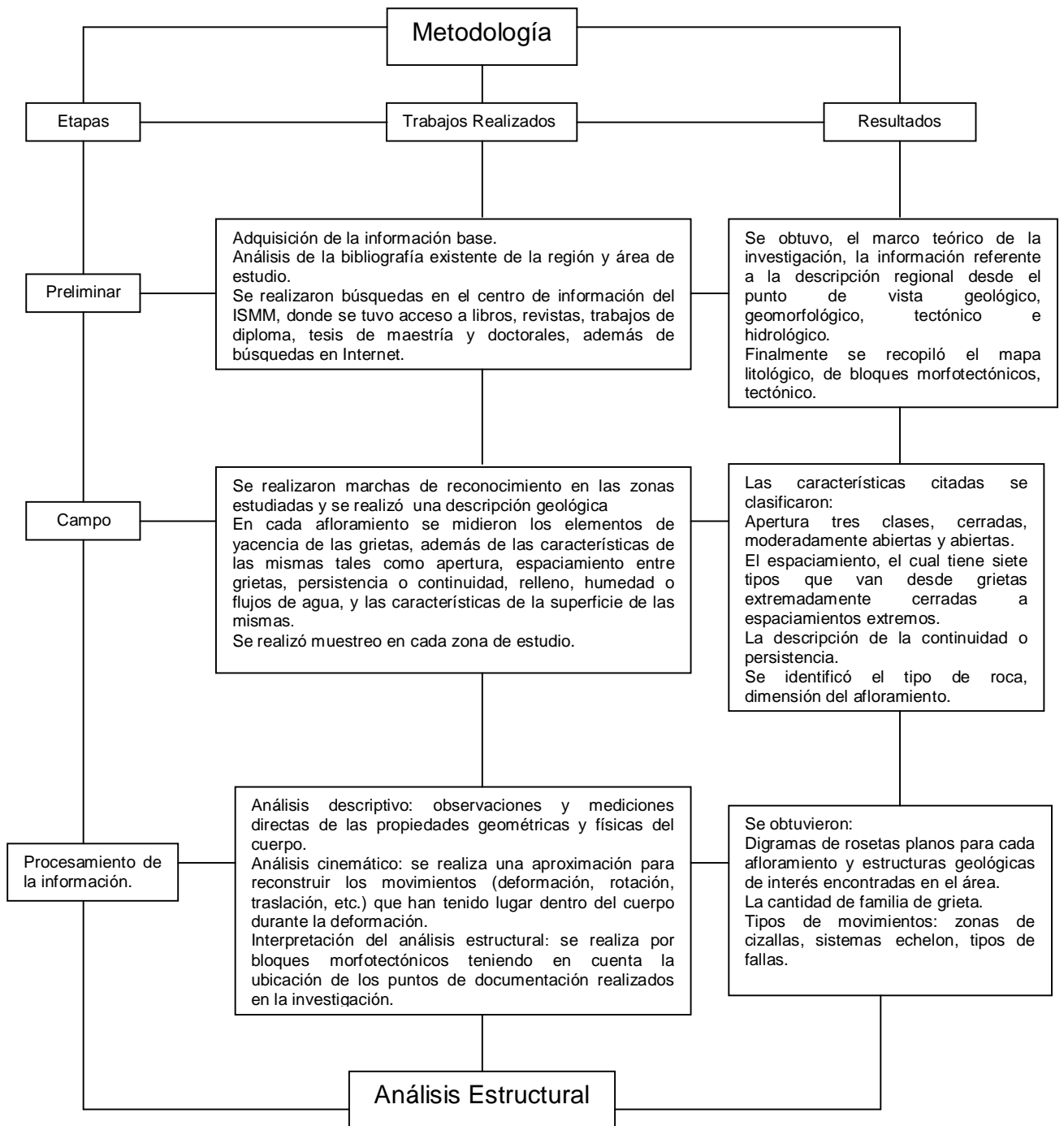


Figura 2.4. Esquema de la metodología desarrollada en la investigación.



## **CAPITULO III. Análisis estructural de las rocas serpentinizadas del territorio de Moa.**

### **Introducción.**

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos en análisis estructural de las rocas serpentinitas del macizo rocoso, la cual consistió primero en un análisis descriptivo, seguido de un análisis cinemático y finalmente una interpretación del análisis estructural en las rocas serpentinizadas, con la ayuda de las técnicas de proyección estereográfica. El análisis estructural se realizó en varios afloramientos documentados en el territorio de Moa con vista a determinar los rasgos estructurales principales relacionados a las deformaciones frágiles en las rocas serpentinizadas.

### **3.1 Análisis descriptivo de las estructuras.**

#### **Descripción de los puntos de documentación:**

##### **Punto 1.**

**Zonas de referencia:** Reparto Viviendas Checas.

##### **Ubicación:**

**X:** 695 726

**Y:** 225 358

**Breve descripción del afloramiento.** Litológicamente esta representado por serpentinitas poco agrietadas con una tonalidad de color rojiza, con presencia de estructuras sigmoidales y alguno budines. En este punto las mediciones revelan la existencia de tres familias de grietas con yacencia  $40^\circ / 313^\circ$ ,  $25^\circ / 248^\circ$ ,  $46^\circ / 102^\circ$  respectivamente. En la figura 3.2, se muestran las direcciones de las grietas por el rumbo con una dirección principal de  $N20^\circ -30^\circ W$  y  $N40^\circ -50^\circ E$ .

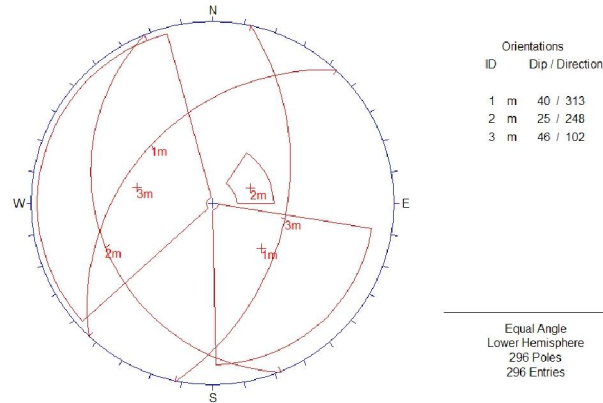


Figura 3.1 Diagramas de planos principales del agrietamiento en Vivienda Checa.

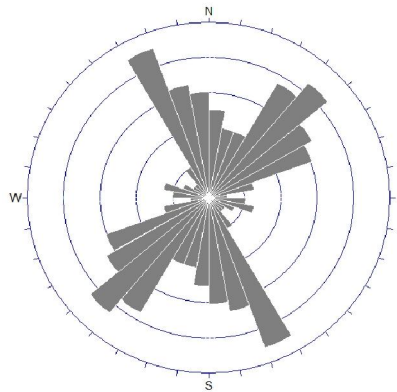


Figura 3.2. Diagrama de rosetas del agrietamiento en Vivienda Checa.

Tabla 3.1. Características de las familias de grietas. Vivienda Checa

Fam	Yacencia			Persistencia(m)	Naturaleza								Consist				Rugosidad		
	Buz	Ací	Apertura(mm)		Mg%	Mg,D%	Mg,L%	D%	G,A%	Lat%	Lim%	Mil%	Bla%	E%	O%	P%			
1	40	313	m:2,47sd:2,26	m:1,92 sd:2,03	23,08	1,92	1,92	13,46	2,85	17,31	34,62	3,85	100		50,7	49,3			
2	25	248	m:1,57sd:1,28	m:1,33 sd:3,33	50	25					25		100		73,33	26,67			
3	26	102	m:2,46sd:2,77	m:1,20 sd:1,32	34,4	0,8	11,2	8,8		2,4	42,4		100	4,29	95,71				
Total			m:2,42sd:2,59	m:1,43 sd:1,78	31,25	2,6	7,81	9,38	1,04	6,25	40,63	1,04	100	7,95	92,05				

**Leyenda:** Fam: familia; Buz: buzamiento; Ací: Acimut; m: media; sd: desviación estándar; Mg: Magnesio; Mg, D: Magnesio, detrito; Mg, L: Magnesio, laterita; D: Detrito; G, A: Grava, arcilla; Lat: laterita; Lim: limpio; Mil: milonita; Bla: Blanda; E: escalonada; O: ondulada; P: plana.

Se analizaron 296 mediciones de elementos de yacencia, en la tabla 3.1 se recogen los datos de las familias de grietas, por los valores de la apertura de las superficies de las grietas, se clasifican como moderadamente abiertas todas las familias, por la persistencia como grietas de baja persistencia. En la naturaleza se encuentran los

valores en porcentos. En cuanto a la consistencia solo se clasificaron en blandas, la rugosidad se describió escalonada, ondulada y plana siendo los valores más elevados en la ondulada.

**Punto 2.**

**Zonas de referencia:** Corte para préstamo, salida de Moa-Sagua-Amarillo.

**Ubicación:**

**X:** 695 111

**Y:** 223 430

**Breve descripción del afloramiento.** Litológicamente está representado por serpentinitas poco agrietadas a muy agrietadas. Se presenta de una forma masiva más o menos homogénea, el color oscila entre los diversos tonos de verde, en algunos casos amarillentos. En esta zona las mediciones revelan la existencia de cuatros familias de grietas con yacencia  $34^\circ / 163^\circ$ ,  $42^\circ / 027^\circ$ ,  $38^\circ / 233^\circ$  y  $36^\circ / 278^\circ$ . En la figura 3.4 en relación al diagrama de rosetas hay un predominio de rumbos  $N60^\circ - 70^\circ W$ ,  $N40^\circ - 50^\circ E$  y  $N70^\circ - 80^\circ E$ .

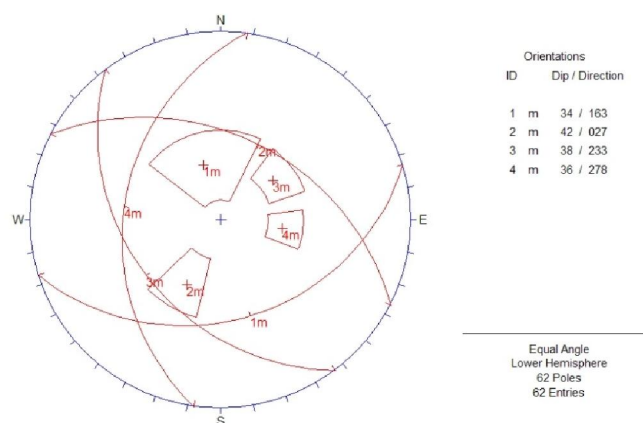


Figura 3.3 Diagramas de planos principales del agrietamiento para el Corte para préstamo, salida de Moa-Sagua-Amarillo.

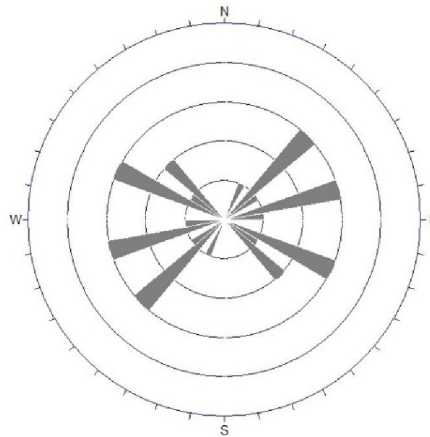


Figura 3.4. Diagrama de rosetas del agrietamiento para el Corte para préstamo, salida de Moa-Sagua-Amarillo.

Tabla 3.2. Características de las familias de grietas. Corte para préstamo, salida de Moa-Sagua-Amarillo.

Fam	Yacencia		Apertura(mm)	Espaciado(cm)	Persistencia(m)	Naturaleza			Consistencia		Rugosidad
	Buz	Aci				Mg%	Mg,D%	D%	Bla%	Dur%	Plana%
1	36	278	m:1 sd:0	m:60 sd:20	m:1,67 sd:0,58	100			100		100
2	38	233	m:1,4 sd:0,55	m:23 sd:13,03	m:0,8 sd:0,45	100			100		100
3	33	164	m:6,55 sd:3,65	m:23,39 sd:10,24	m:1,30 sd:0,81	72,73	6,06	21,2	96,97	3,03	60,61
4	41	27	m:7,33 sd:1,87	m:24,83 sd:3,49	m:1,17 sd:0,39	83,33	8,33	8,33	100		100
Total			m:5,37 sd:3,65	m:24,27 sd:14,65	m:1,29 sd:0,80	80,65	40,84	14,5	98,39	1,61	79,03

Leyenda: Dur: Dura

Se analizaron 62 mediciones de elementos de yacencia, en la tabla 3.2 se recoge los datos de las familias de grietas, por los valores de la apertura de las superficies de las grietas, se clasificarán en abiertas las familias 1 y 2 y en moderadamente anchas las familias 3 y 4, por el espaciado se clasifican como muy cerradas todas las familias menos la 1 que se clasifica como cerrada y por la persistencia como grietas de baja persistencia las familias 1, 3 y 4, la familia 2 se clasificó de muy baja persistencia. En la naturaleza se encuentran los valores en porcentos. En la consistencia se clasificaron en duras y blandas existiendo más blandas que duras. En la rugosidad solo se clasificaron en planas.

**Punto 3.**

**Zonas de referencia:** Corte La Vigía.

**Ubicación:**

**X:** 700 462

**Y:** 222 750

**Breve descripción del afloramiento.** Presencia de serpentinitas meteorizadas, con cárcavas bien desarrolladas por la acción del escurrimiento superficial y la lixiviación parcial de de las rocas, dando lugar a la formación de estructuras relicticas con oquedades irregulares. Las grietas aparecen rellenas parcial o totalmente por sílice, formando drusas en ocasiones (Cobas & Aliaga, 2002). Estos elementos forman parte de los criterios de fallas relacionados con la bifurcación de la falla Moa que pasa por el este de la elevación. En esta zona las mediciones revelan la existencia de tres familias de grietas con yacencia  $55^\circ / 129^\circ$ ,  $42^\circ / 314^\circ$  y  $66^\circ / 066^\circ$  respectivamente. El diagrama de rosetas muestra direcciones preferenciales  $N20^\circ -30^\circ W$  (figura 3.5).

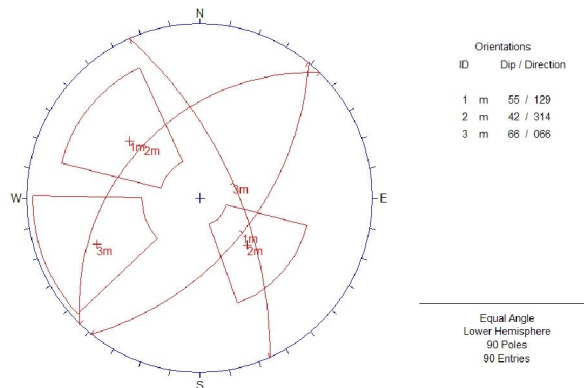


Figura 3.5 Diagramas de planos principales del agrietamiento en La Vigía.

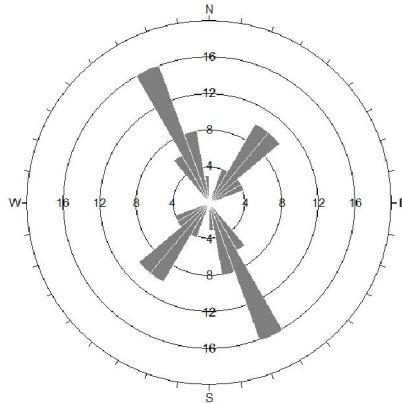


Figura 3.6 Diagrama de rosetas del agrietamiento en La Vigía.

Tabla 3.3. Características de las familias de grietas. La Vigía

Fam	Yacencia		Apertura(mm)	Espaciado(cm)	Persistencia(m)	Naturaleza				Consistencia		Rugosidad	
	Buz	Aci				SiO <sub>2</sub> %	Lim%	SiO <sub>2</sub> ,M%	Mg%	Dur%	Bla%	O%	P%
1	55	129	m:2,29 sd:2,29	m:13,89 sd:10,64	m:0,75 sd:0,84	57,14	25	17,86		100		32,14	67,86
2	42	314	m:4,30 sd:2,91	m:25,93 sd:11,21	m:1,19 sd:1,04	55,56	25,93	18,52		100		18,52	81,14
3	66	66	m:4,88 sd:3,49	m:22,94 sd:10,76	m:0,73 sd:0,80	78,79	12,12		9,1	89,66	10,34	27,27	72,73
Total			m:3,92 sd:3,18	m:20,74 sd:11,88	m:0,88 sd:0,91	65,56	20	11,11	3,3	95,83	4,17	27,78	72,22

Leyenda: SiO<sub>2</sub>: Sílice; SiO<sub>2</sub>, M: Sílice, magnesio.

Se analizaron 90 mediciones de elementos de yacencia, en la tabla 3.3 se recogen los datos de las familias de grietas, por los valores de la apertura de las superficies de las grietas, se clasificaron en moderadamente anchas las familias 2 y 3, la familia 1 se clasificó como abierta, por el espaciado se clasifican como muy cerrado las familias 2 y 3, la familia 1 se clasifica como extremadamente cerrada y por la persistencia como grietas de baja persistencia la familia 2, las familias 1 y 3 se clasificaron de muy baja persistencia. En la naturaleza se encuentran los valores en porcentos, la rugosidad solo se clasificó en ondulada y plana.

#### Punto 4.

**Zonas de referencia:** Ferroníquel.

**Ubicación:**

**X:** 695108

**Y:** 217709

**Breve descripción del afloramiento.** Litológicamente esta representado por rocas serpentizadas poco agrietadas en su mayor parte y en menor cuantía por serpentinitas muy agrietadas, en la región se manifiesta un fenómeno típico desarrollado en las rocas serpentizadas que es el pseudocarst. Se analizaron 720 mediciones de elementos de yacencia y revelan la existencia de varias familias de grietas (4).

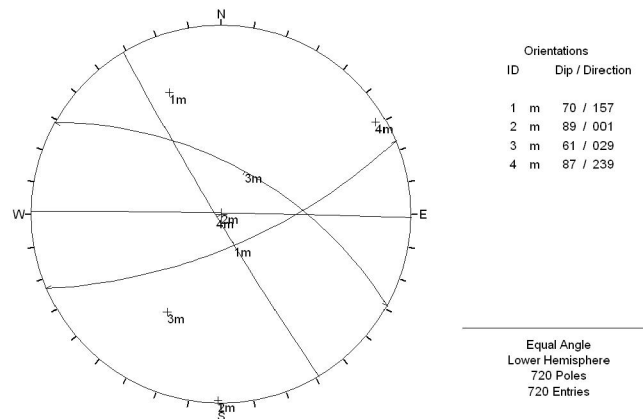


Figura 3.7 Diagramas de planos principales del agrietamiento en Ferróniquel.

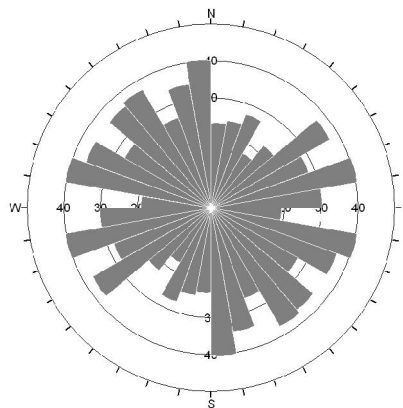


Figura 3.8 Diagrama de rosetas del agrietamiento en Ferróniquel.

En la figura 3.8 se muestran las direcciones de las grietas por el rumbo, indicando la acción de varios sistemas de esfuerzos sobre el macizo rocoso.

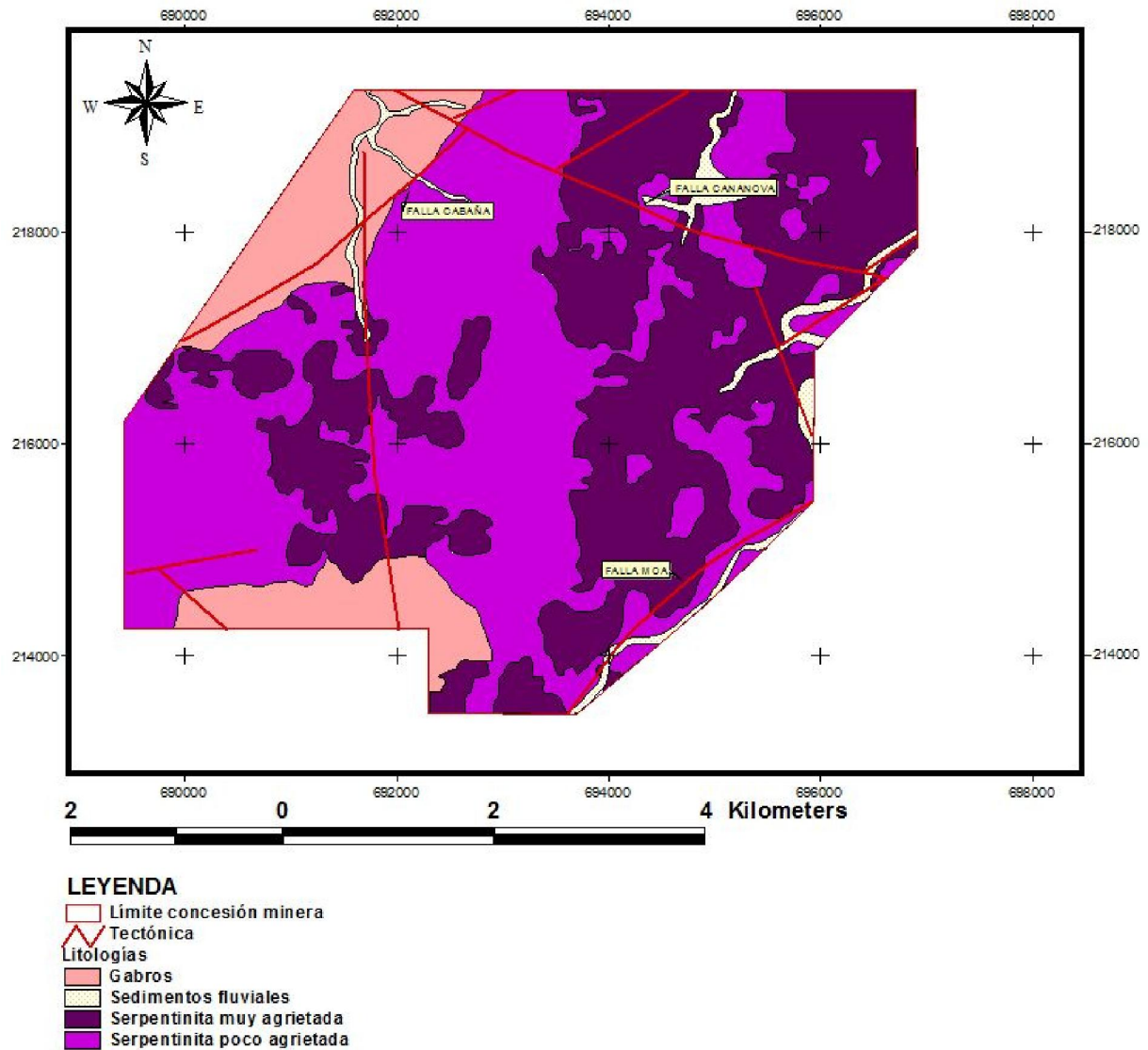


Figura 3.9. Mapa litológico del área de la planta Ferroníquel Minera SA (Almaguer, 2010).

En la figura 3.9 se evidencia el marco geotectónico de la zona, en el cual concurren varias estructuras disyuntivas de primer orden (nudo tectónico) como son las fallas Moa, Cabaña y Cananova corroborando lo planteado por Rodríguez (1999).



**Punto 5.**

**Zonas de referencia:** Presa Nuevo Mundo.

**Ubicación:**

**X:** 691000-696000

**Y:** 207000-213000

**Breve descripción del afloramiento.** Las rocas típicas de la secuencia ofiolítica están ampliamente representadas en el área de estudio. Petrológicamente estas se caracterizan por el predominio de harzburgitas y en menor grado dunitas.

Se analizaron 64 mediciones de elementos de yacencia y revelan la existencia de varias familias de grietas (5). El diagrama de rosetas en la figura 3.11 muestra direcciones preferenciales N20° -30°E y N50° -60°E

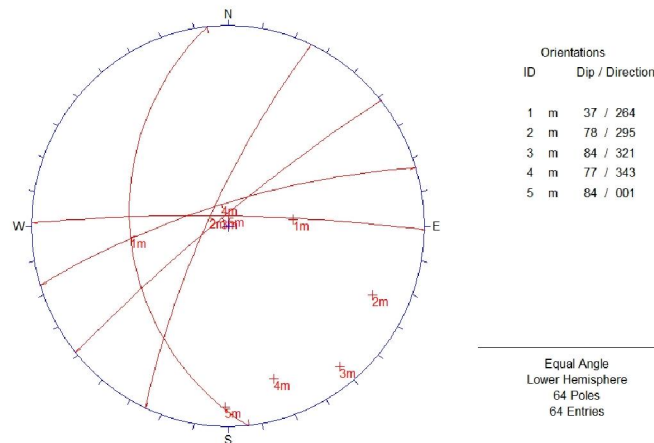


Figura 3.10. Diagramas de planos principales del agrietamiento en la Presa Nuevo Mundo.

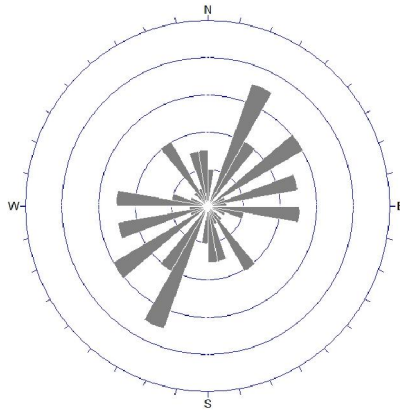


Figura 3.11. Diagrama de rosetas del agrietamiento en la Presa Nuevo Mundo.

Tabla 3.4. Características de las familias de grietas. Presa Nuevo Mundo.

Fam	Yacencia		Apertura(mm)	Espaciado(cm)	Persistencia (m)	Naturaleza		Rugosidad		
	Buz	Aci				Roc.Tri%	Arcilla%	R%	O%	P%
1	37	264	m:3,4 sd:4,98	m:50,06 sd:20,30	m:2,13 sd:1,80	50	50	26.67	6.67	66.67
2	78	295	m:3,63 sd:8,09	m:48,90 sd:21,80	m:1,18 sd:0,98	25	75	36.36	18.18	45.45
3	84	321	m:8,33 sd:20,41	m:49,5 sd:17,74	m:2 sd:1,67	50	50	33.33	16.67	50
4	77	343	m:1,67 sd:4,08	m:56,5 sd:21,95	m:1,33 sd:1,21		100	33.33	16.67	50
5	84	1	m:6,67 sd:11,55	m:39 sd:31,95	m:2 sd:1		100	33.33	33.33	33.33
Total			m:4,51 sd:9,21	m:46,75 sd:21,60	m:1,92 sd:1,51	24.24	75.76	29.69	20.31	50

Leyenda: Roc. Tri: roca triturada; R: rugosa

Se analizaron 64 mediciones de elementos de yacencia, en la tabla 3.4 se recogen los datos de las familias de grietas, por los valores de la apertura de las superficies de las grietas, se clasificaron en moderadamente anchas las familias 1, 2, 3 y 5, la familia 4 se clasificó como abierta, por el espaciado se clasificaron como muy cerrado todas las familias y por la persistencia como grietas de baja persistencia todas las familias. En la naturaleza se encuentran los valores en porcentajes.

### Punto 6.

**Zonas de referencia:** Yacimiento Punta Gorda.

**Ubicación:**

**X:** 704 629

**Y:** 220 529

**Breve descripción del afloramiento.** La litología que predomina es la peridotita serpentinizadas en mayor o menor grado, En el área se localizan fajas de serpentinita foliada, esquistosa y budinada, que coinciden con las zonas de contacto entre mantos tectónicos imbricados. Las fajas deformadas están completamente cortadas y desplazadas por varios sistemas de fallas más jóvenes. Las budinas, fundamentalmente son de peridotitas, que se presentan fracturadas y rodeadas por serpentinitas esquistosas. (Almaguer, 2010).

En el estudio del agrietamiento se midieron un total de 1255 elementos de yacencia de grietas, fallas, diques y foliación primaria y se hizo la caracterización de las grietas teniendo en cuenta la densidad, relleno, tipo de grieta y algunos elementos de las superficies. En el yacimiento existen algunas microestructuras de interés, tales como, pequeños sistemas de pliegues fallados por esfuerzos continuos, con aspecto de micro cabalgamientos con orientación N74°E (ver figura 3.12.) revelando alguna compresión hacia esta dirección.

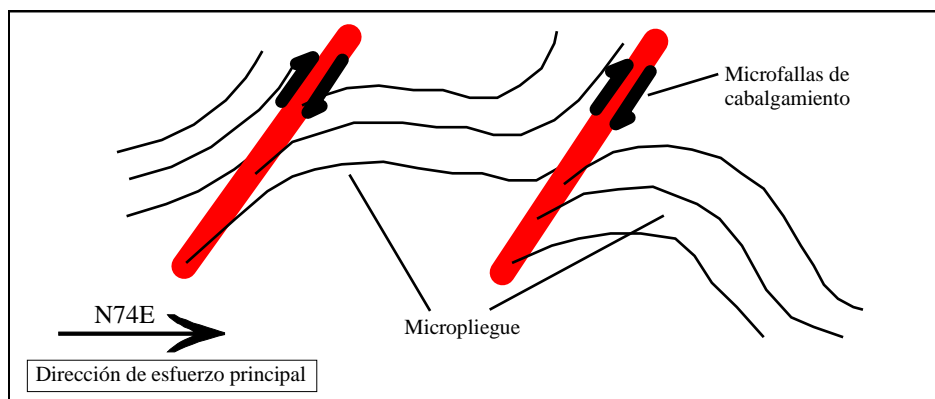


Figura 3.12. Estructura de cabalgamiento a nivel microscópico presentes en el bloque Cabaña

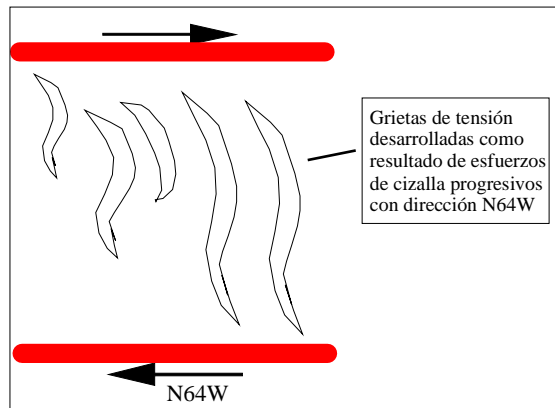


Figura 3.13. Estructuras típicas de zonas de cizalla. A nivel microscópico se observa como la ruptura de la roca no llega a ser total.

Además existen también estructuras típicas de zonas de cizallas, la cuales consisten en sistemas de grietas de tensión en forma de ese (S), con una orientación tal, que revelan movimientos generales hacia el este (ver figura 3.13.).

El diagrama de planos en la figura 3.14 releva la existencia de tres familias de grietas con yacencia  $88^\circ / 043^\circ$ ,  $37^\circ / 261^\circ$  y  $46^\circ / 086^\circ$  respectivamente.

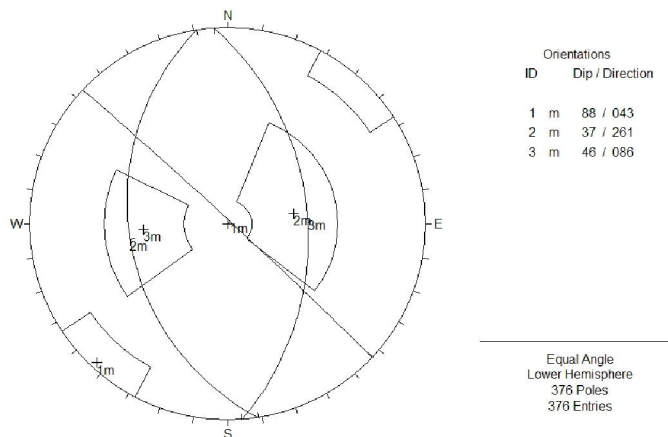


Figura 3.14. Diagramas de planos principales del agrietamiento para el Yacimiento Punta Gorda.

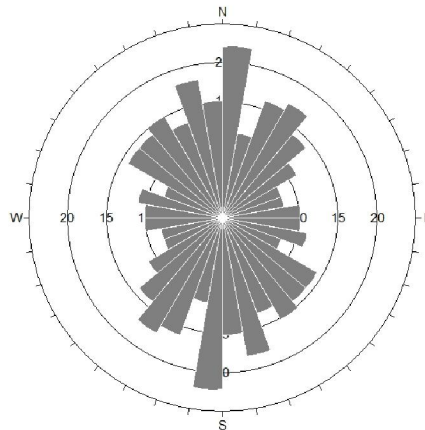


Figura 3.15. Diagrama de rosetas del agrietamiento para el Yacimiento Punta Gorda.

En la figura 3.15 se muestran las direcciones de las grietas por el rumbo, indicando la acción de varios sistemas de esfuerzos sobre el yacimiento. El área de yacimiento se encuentra limitado por dos grandes fallas regionales que pasan por los valles de los ríos Moa y Cayo Guam. Por otro lado, el área central del yacimiento se encuentra bajo la influencia de una falla de primer orden que se corresponde con el río Moa, a partir de ella se desarrollan en el yacimiento toda una serie de fracturas de segundo orden, entre los que se destacan las que se encuentran en los arroyos “Los Lirios” y “La Vaca”; a partir de las cuales, y en forma de plumajes, se desarrollan una serie de pequeñas fracturas a todo lo largo y ancho del área del yacimiento. (Almaguer, 2001).

*Diques de Gabro.* En el estudio de los diques de gabro se determinó una dirección predominante NE, además se presentan otras de menor frecuencia con rumbos NS, (figura 3.17).

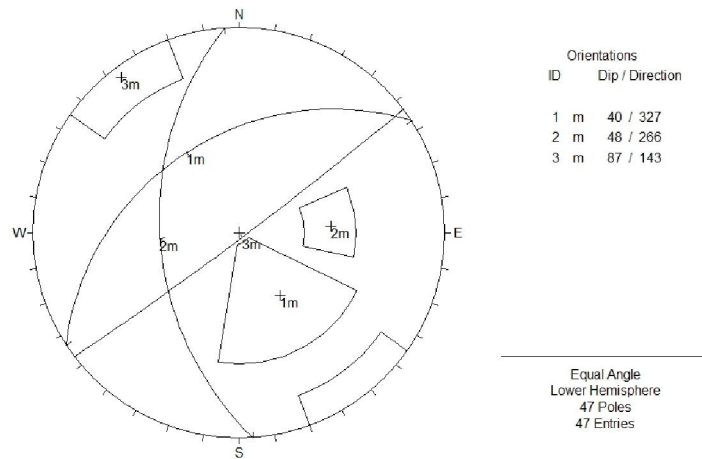


Figura 3.16. Diagramas de planos principales del agrietamiento de los diques de gabros el yacimiento Punta Gorda.

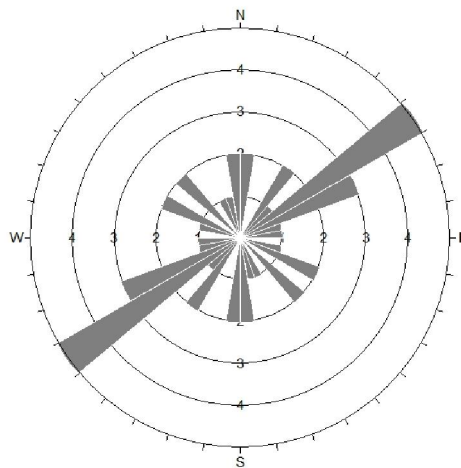


Figura 3.17. Diagrama de roseta de diques de gabro en el yacimiento Punta Gorda.

*Foliación primaria de granos minerales.* Para el área del yacimiento, se reporta una dirección preferencial de la foliación de granos de piroxenos de N50° -60°E. Figura 3.18.

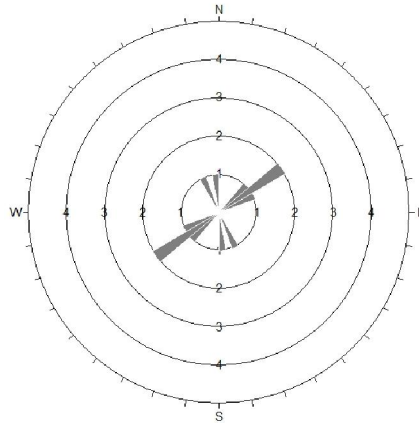


Figura 3.18. Diagrama de la foliación primaria en el Yacimiento Punta Gorda.

**Punto 7.**

**Zonas de referencia:** Arroyo La Vaca.

**Ubicación:**

**X: 704 409**

**Y: 220 771**

**Breve descripción de afloramiento.** La litología que predomina es la peridotita serpentinizadas en mayor o menor grado. En este punto las mediciones revelan la existencia de tres familias de grietas con yacencia  $60^\circ / 196^\circ$ ,  $42^\circ / 031^\circ$  y  $68^\circ / 355^\circ$ . Para el área de Arroyo la Vaca, se reporta una dirección preferencial de  $N70^\circ -80^\circ W$  (figura 3.20).

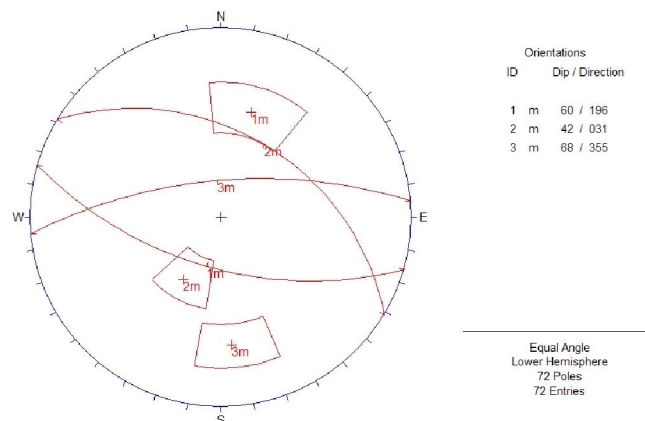


Figura 3.19. Diagramas de planos principales del agrietamiento en Arroyo La Vaca.

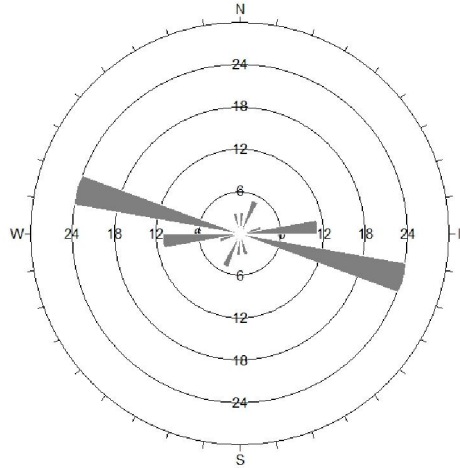


Figura 3.20. Diagrama de rosetas del agrietamiento en Arroyo La Vaca.

Tabla 3.5 Características de las familias de grietas. La Vaca

Fam	Yacencia		Apertura(mm)	Espaciado(cm)	Persistencia(m)	Naturaleza						Rugosidad	
	Buz	Aci				R.L.H%	R.Mg%	R.Mg.EF%	R.Mg.H%	R.S.F.H %	R.V.L .H %	O%	P%
1	60	196	m:0,38 sd:0,35	m:10,71 sd:8,51	m:0,46 sd:0,22	13.33	60		6.67		20	66.17	33.33
2	42	31	m:0,61 sd:0,63	m:12,75 sd:6,39	m:0,90 sd:0,31			16.67		83.33			100
3	68	355	m:0,81 sd:0,81	m:12,91 sd:8,71	m:0,35 sd:0,18	10			20	60	10	100	
Total			m:0,53 sd:0,70	m:12,71 sd:11,15	m:0,64 sd:0,67	8.89	28.89	2.22	8.89	40	11.11	65.28	34.72

Legenda: R.L.H: Roca.laterita.Húmeda; R.Mg: Roca. Magnesio; R.Mg.EF: Roca. Magnesio.Espejo Fricción; R.Mg.H: Roca.Magnesio.Húmeda; R.S.F.H: Roca.sedimentaria.fina.Húmeda; R.V.L .H: Roca.Vegetal.laterita.Húmeda.

Se analizaron 72 mediciones de elementos de yacencia, en la tabla 3.5 se recogen los datos de las familias de grietas. Por los valores de la apertura de las superficies de las grietas, se clasifican como parcialmente abierta la familia 1 y las familias 2 y 3 como abierta; por el espaciado se clasifican como extremadamente cerradas y por la persistencia como grietas de baja persistencia. En la naturaleza se encuentran los valores en porcentajes. En cuanto a la rugosidad solo se clasificó en ondulada y plana.

**Punto 8.**

**Zonas de referencia:** Arroyo Los Lirios.

**Ubicación:**

**X:** 704 356

**Y:** 220 361



**Breve descripción de afloramiento.** Estas rocas se presentan muy serpentizadas, y están representadas fundamentalmente por peridotita serpentizadas. En esta zona las mediciones revelan la existencia de tres familias de grietas con una yacencia de  $58^{\circ} / 150^{\circ}$ ,  $81^{\circ} / 094^{\circ}$  y  $64^{\circ} / 044^{\circ}$ . Se analizaron 72 mediciones de elementos de yacencia, las cuales se clasificaron según su apertura, espaciado y persistencia. En relación al rumbo de las mismas hay predominio de direcciones N10°E y con menor frecuencia NW (figura 3.22).

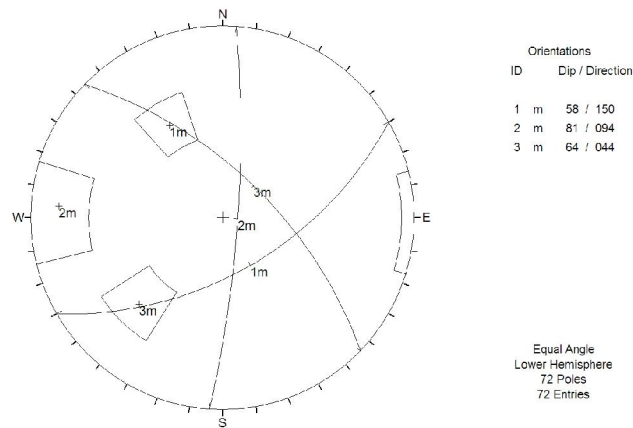


Figura 3.21. Diagramas de planos principales del agrietamiento en Arroyo Los Lirios.

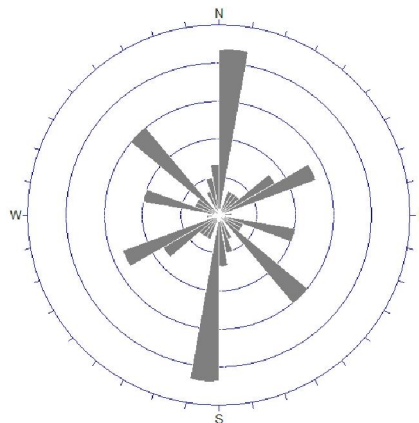


Figura 3.22. Diagrama de rosetas del agrietamiento en Arroyo Los Lirios.

### 3.2 Análisis cinemático de las estructuras.

#### Afloramiento 1.

Referencia: Reparto Viviendas Checas.



Foto 3.1 Afloramiento 1. Reparto Viviendas Checas.

Análisis estructural.

De acuerdo a las mediciones de yacencia de las estructuras relacionadas con deformaciones frágiles se observa la presencia de planos de cizalla con yacencia al noroeste en los cuales aparecen indicadores cinemáticos como estructuras sigmoidales indicando movimientos sinistres (figura 3.23. y foto 3.2.).

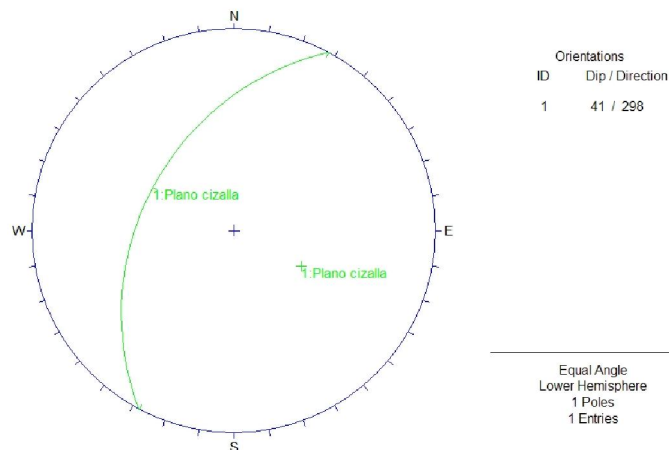


Figura 3.23. Plano principal de la zona de cizalla presente en el afloramiento 1.



Foto 3.2. Estructuras sigmoidales como indicadores cinemáticos en planos de cizallas.

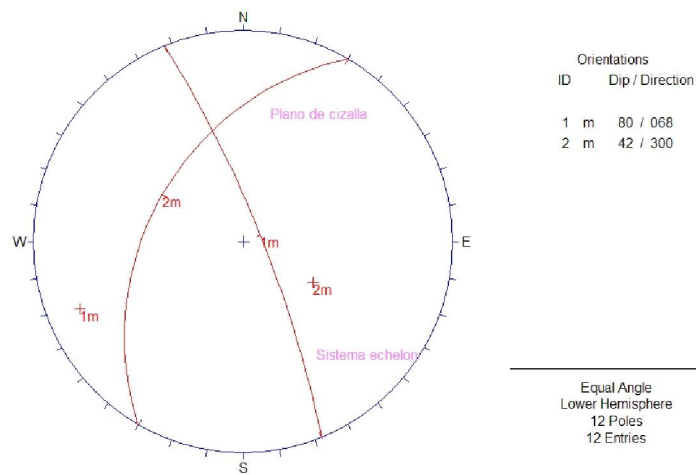


Figura 3.24. Sistema *echelon* asociados al plano de cizalla.

Como estructuras asociadas a el sistema de cizalla se midieron elementos de yacencia de grietas en estructura *echelon*. (Figura 3.24. y foto 3.3.).



Foto 3.3 Sistemas de grietas *echelon* asociadas al plano de cizalla.

Se realizaron mediciones en planos de fallas normales con yacencia  $29^\circ / 112^\circ$  en los cuales se manifiestan escalones como indicadores de movimiento en sentido del buzamiento, sin embargo estas estructuras se comportan en forma de abanico a medida que se desciende en el plano mostrando un sentido de rotación antihorario del bloque colgante. (Figura 3.25. y foto 3.4.).

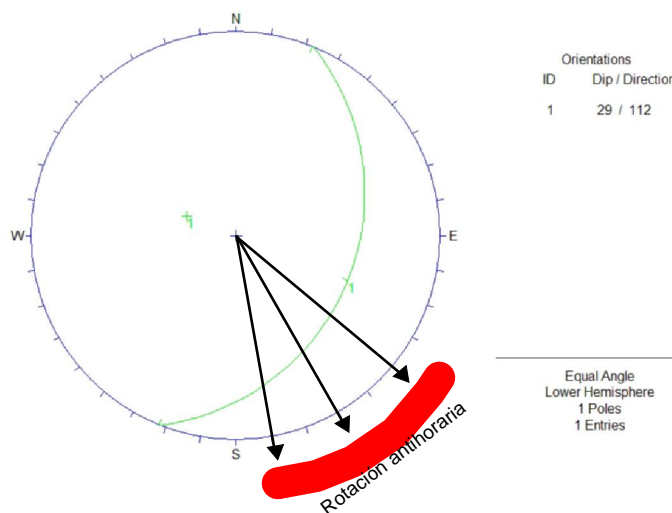


Figura 3.25. Plano de fractura con escalones como indicadores cinemáticos.





Foto 3.4. Escalones en superficie de fallas y grietas como indicador cinemático.

## Afloramiento 2.

Referencia: Corte para préstamo, salida de Moa-Sagua-Amarillo.

Dique silíceo en roca serpentinizadas.

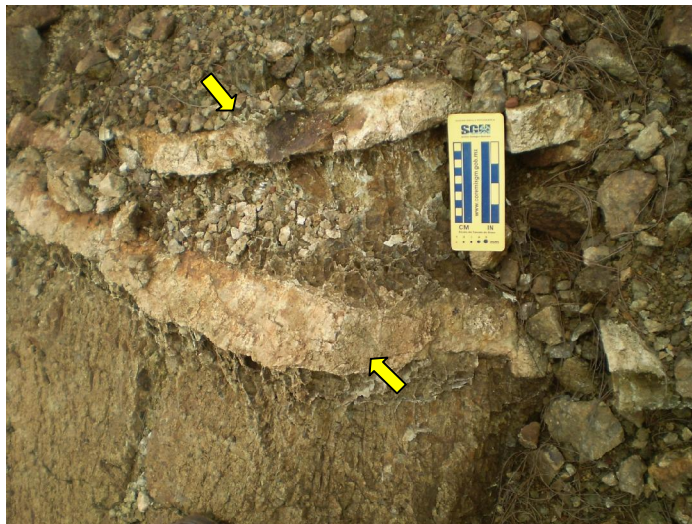


Foto 3.5. Yacencia de dique silíceo en rocas serpentinizadas en el corte para préstamo, salida de Moa-Sagua-Amarillo.

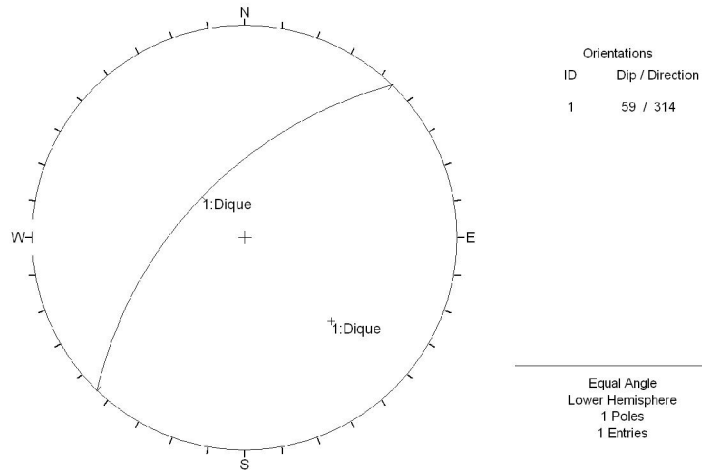


Figura 3.26. Plano principal de dique sílfico en roca serpentinizadas en el corte para préstamo, salida de Moa-Sagua-Amarillo.



Foto 3.6. Falla normal en serpentinitas desplazando dique sílfico en el corte para préstamo, salida de Moa-Sagua-Amarillo.

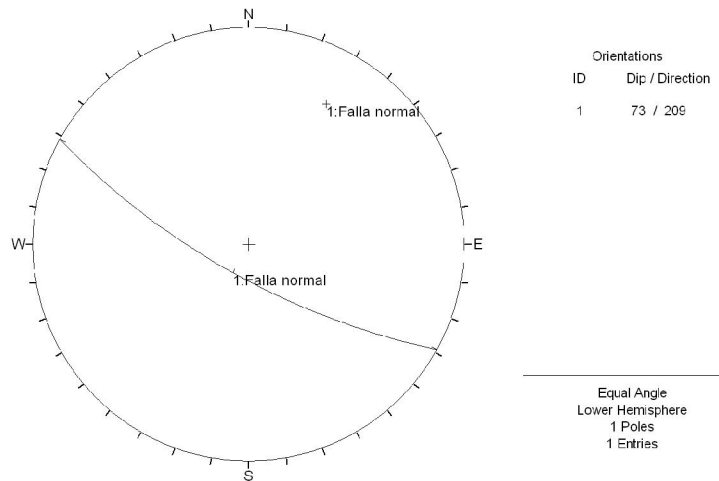


Figura 3.27. Plano principal de falla normal en rocas serpentinizadas en el corte para préstamo, salida de Moa-Sagua-Amarillo.

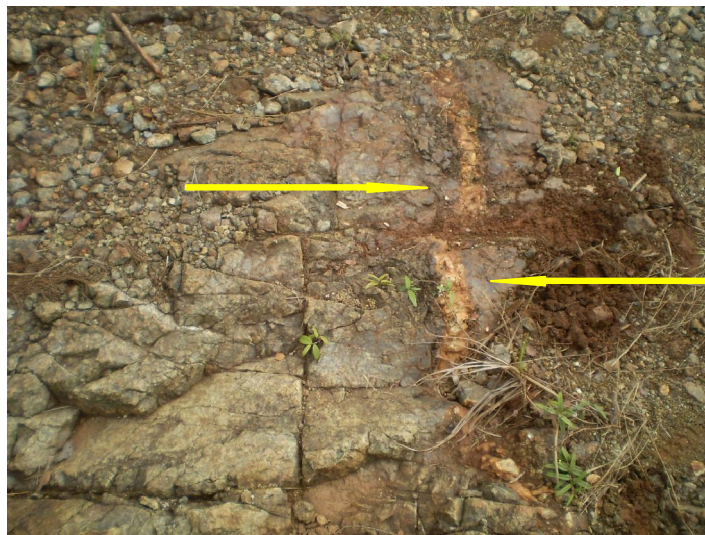


Foto 3.7. Movimiento strike-slip dextral desplazando diques y familias de grietas en rocas serpentinizadas.



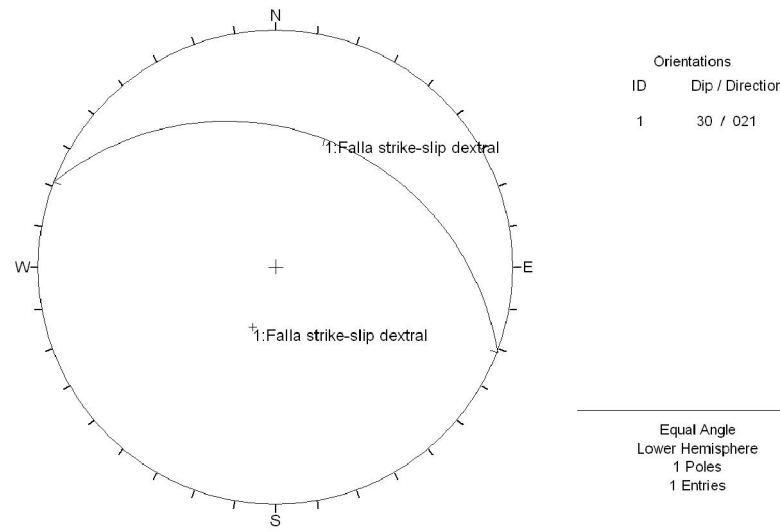


Figura 3.28. Falla rumbo deslizante con movimiento dextral.

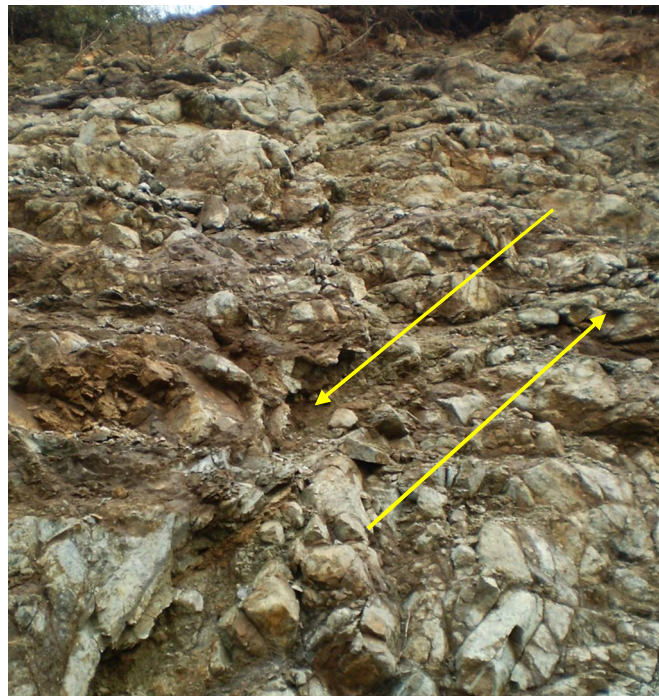


Foto 3.8. Falla normal cortando zona de cizalla asociada a mantos de sobrecorrimiento.



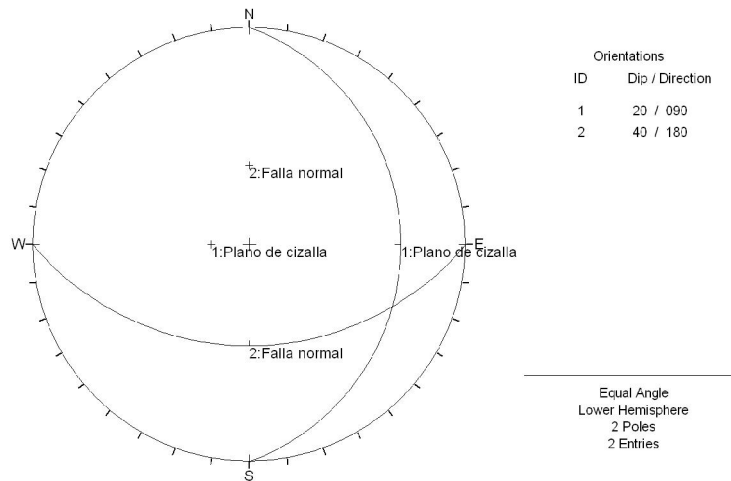


Figura 3.29. Falla normal desplazando plano de cizalla en rocas serpentinizadas.



Foto 3.9. Superficie de cizalla con sistema de grietas en echelon asociado.

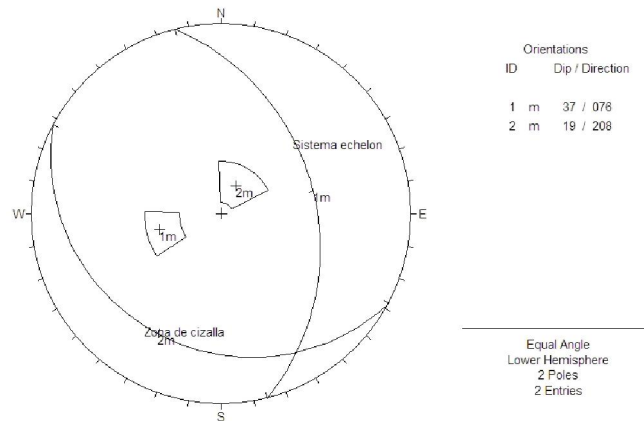


Figura 3.30. Zona de cizalla con sistema de grietas en echelon asociada.

### Afloramiento 3.

**Referencia:** Cauce del arroyo Revuelta de los Chinos (Bloque el Toldo).

**Ubicación.**

**X:** 698 000

**Y:** 214 521

El estudio de las discontinuidades se realizó en varios afloramientos documentados, fundamentalmente relacionados con los cauces fluviales del río Moa y el arroyo Revuelta de los Chinos con vista a determinar los rasgos estructurales principales relacionados con las deformaciones frágiles en las rocas serpentinizadas en el bloque morfotectónico El Toldo y Moa Caimanes.

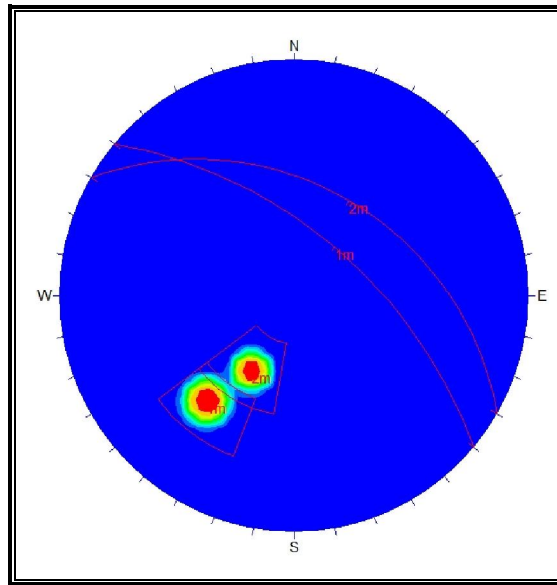


Figura 3.31. Diagrama de contorno y planos principales de los sistemas de fallas normales.



Foto 3.10 Sistemas de fallas normales cortando los cauces fluviales en el área del Yacimiento Camarioca Norte. Arroyo Revuelta de los Chinos.

Del bloque El Toldo, en las figuras 3.31, 3.32., 3.33 se muestran los diagramas relacionados con los planos principales de los sistemas de fallas normales, inversas y de sobrecorrimiento respectivamente. Los sistemas de fallas normales se manifiestan con yacencia  $60^{\circ}/040^{\circ}$  y  $40^{\circ}/030^{\circ}$ ; estos cortan los cauces fluviales de los ríos señalados anteriormente, con saltos de falla de hasta 25 m en sentido del buzamiento provocando zonas de cascadas en los cauces. La disposición de los planos indica

esfuerzos extensionales en la dirección NE-SW por procesos de levantamiento y relajación de la corteza. Figura 3.31, y foto 3.10.

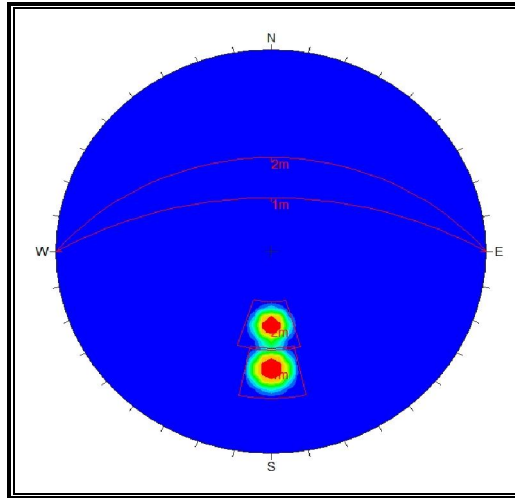


Figura 3.32. Diagrama de contorno y planos principales de los sistemas de fallas inversas.

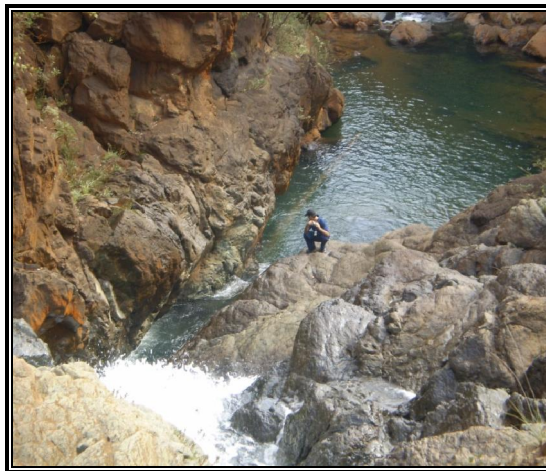


Foto 3.11 Sistema de falla inversa condicionando la dirección del cauce fluvial a través del rumbo. Arroyo Revuelta de los Chinos.

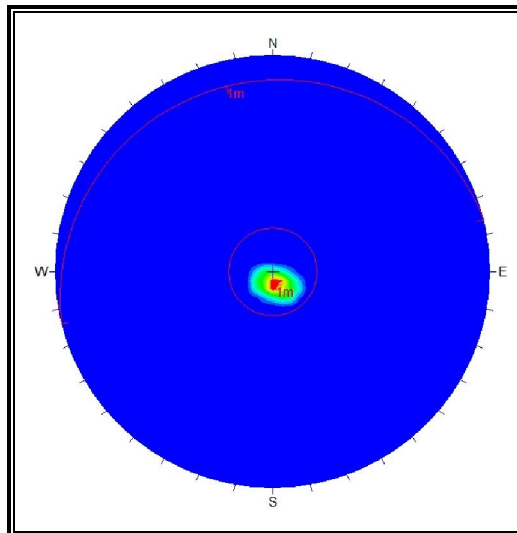


Figura 3.33. Diagrama de contorno y planos principales de los sistemas de fallas de sobrecorrimiento.



Foto 3.12. Zonas de cizallas asociadas a fallas de sobrecorrimiento.

Los sistemas de fallas inversas de alto ángulo presentan yacencia de  $60^{\circ}/360^{\circ}$  y  $40^{\circ}/360^{\circ}$ ; condicionan las direcciones de los cauces en los puntos medidos a través de la línea de rumbo de estas estructuras. Figura 3.32.

Los sistemas de fallas de sobrecorrimiento presentan yacencia  $07^{\circ}/346^{\circ}$ , indicando esfuerzos compresivos de dirección norte-noroeste sur-sureste, relacionado regionalmente con los grandes cabalgamientos de las rocas ultrabásicas. Figura 3.33.



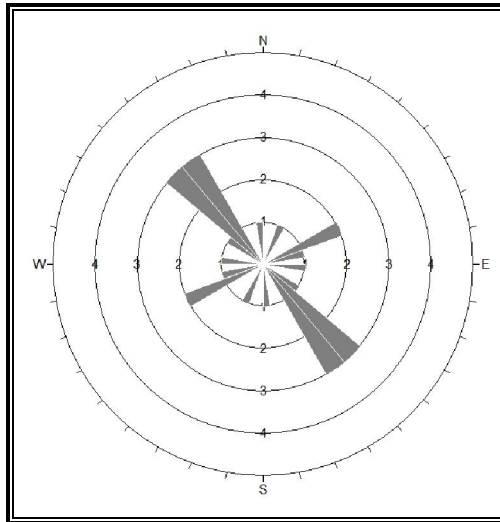


Figura 3.34. Diagrama de rosetas del agrietamiento de las rocas ultrabásicas serpentinizadas.

En relación al agrietamiento, manifiestan la misma yacencia de las estructuras principales, involucrada con los sistemas de esfuerzos que las generaron; en relación al rumbo de las mismas hay predominio de direcciones  $N35^{\circ}W$ ,  $N65^{\circ}E$ , y con menor frecuencia NS y EW (figura 3.34); las dos primeras se manifiestan en los afloramientos como sistemas ortogonales. Foto 3.13.



Foto 3.13 Disposición ortogonal de familias de grietas en las rocas serpentinizadas del Yacimiento Camarioca Norte.

En el bloque Moa Caimanes las mediciones revelan la existencia de varias familias de grietas (5) lo cual es una evidencia del marco geotectónico del mismo, en el cual concurren varias estructuras disyuntivas de primer orden (nudo tectónico) como son las fallas Moa, Maquey y Caimanes corroborando lo planteado por Rodríguez (1999) tabla 3.6 y figura 3.35.

Tabla 3.6. Caracterización del agrietamiento en el bloque morfotectónico Moa Caimanes.

Familia	Buzamiento (grados)	Acimut de buzamiento (grados)	Apertura (mm)	Espaciamiento (cm)	Persistencia (m)
1	37	264	3,4	50,06	2,13
2	78	295	3,6	48,90	1,18
3	84	321	8,3	49,50	2,00
4	77	343	1,6	56,50	1,30
5	84	001	6,6	39,00	2,00

Por los valores de la apertura de las superficies las grietas, se clasifican como muy anchas todas las familias menos la 4 que se clasifica como abierta; por el espaciado se clasifican como moderadamente juntas y por la persistencia como grietas de baja persistencia. La clasificación de estos parámetros de las grietas condiciona una estructura del macizo rocoso intensamente agrietado con bloques de pequeños tamaños y con posibilidad de flujos de agua considerables a través de las familias de grietas por la abertura de las mismas.

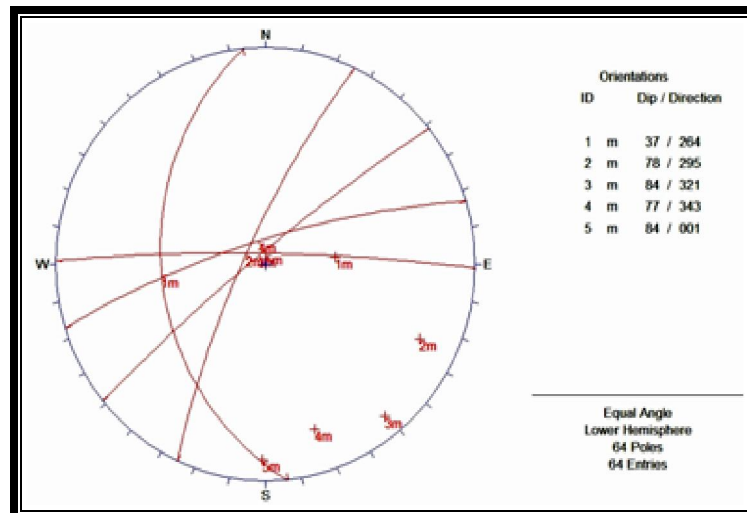


Figura 3.35. Diagrama planos principales del agrietamiento en el bloque morfotectónico Moa Caimanes.

En la figura 3.35 se muestran las direcciones de las grietas por el rumbo, indicando la acción de varios sistemas de esfuerzos sobre el macizo rocoso.

### 3.3 Interpretación del análisis estructural en las rocas serpentinizadas.

#### Interpretación estructural por bloques morfotectónicos.

La interpretación estructural se realiza por bloques morfotectónicos propuestos por Rodríguez (1999) teniendo en cuenta la ubicación de los puntos de documentación realizados en la investigación (figura 3.38). A continuación se realiza la interpretación para cada bloque analizado:

#### Bloque Cabaña Norte.

En este bloque se determina la existencia de direcciones del agrietamiento noreste y noroeste; las direcciones noroeste manifiestan buzamientos inferiores a 20 grados, en ocasiones menores de 10 grados relacionándose a superficies de cizallamiento a través de planos de sobrecorrimiento, lo cual indica movimientos de empujes sureste-noreste. Las grietas con rumbos noreste manifiestan buzamientos superiores a 45 grados, lo que puede indicar su relación con estructuras formadas por esfuerzos de tracción y estiramiento de la corteza, de manera que conforman en ocasiones superficies de fallas



normales. Esto mismo sucede con sistemas noroeste, lo cual indican esfuerzos de extensión noreste-suroeste.

En relación a la cinemática de las estructuras hay movimientos normales hacia el sureste en los cuales se manifiestan rotaciones de pequeños bloques en sentido antihorario, que a nivel regional puede verse como un gran estructura de basculamiento de bloques que provoca hundimiento hacia el este del bloque y levantamiento a oeste; este fenómeno puede ser uno de las condicionantes de la alteración morfológica del Cayo Moa en los sectores este y oeste.

En este bloque se reportan además movimientos rumbodeslizantes dextrales a través de fallas con rumbo  $N80^{\circ}W$ , aunque por la yacencia de los planos medidos se resume que primero conformaron fallas inversas relacionadas con empujes hacia el noreste y luego cambiaron su cinemática con movimientos a través del rumbo por reacomodo geodinámico de la corteza en este sector por empujes desde el sur-sureste.

En los estudio microtectónicos se reportan direcciones preferenciales de microgrietas con direcciones noreste, noroeste y este-oeste como se observa en la figura 3.36.



Figura 3.36. Secciones pulidas y diagrama de rosetas del microagrietamiento en el bloque Cabaña Norte.

Bloque Moa Aeropuerto.

En este bloque hay predominio de direcciones de grietas norte-noroeste y noreste, relacionadas genéticamente con la falla Moa, bifurcación La Vigía. En los estudios realizados se revelan criterios de fallas a través del relleno de material síliceo en las familias de grietas medidas, además la intensidad del agrietamiento aumenta en esta zona con relación a otros sitios estudiados. En relación a las superficies de las grietas hay predominio de estructuras planas y presencia de espejos de fricción que en ocasiones están enmascarados por la alta meteorización de las rocas.

Cinemáticamente hay una dirección que se manifiesta como última generación de grietas con dirección noreste, la que se caracterizan por una mayor continuidad en los afloramientos cortando las restantes direcciones lo que indica que fue formada posterior

a estas y condicionada la estructura en bloques del macizo rocoso serpentizado; este fenómeno está relacionado genéticamente con la falla Moa.

En el estudio microtectónico del agrietamiento se reportan direcciones preferenciales noroeste aunque existen con menor frecuencia direcciones noreste (figura 3.37).

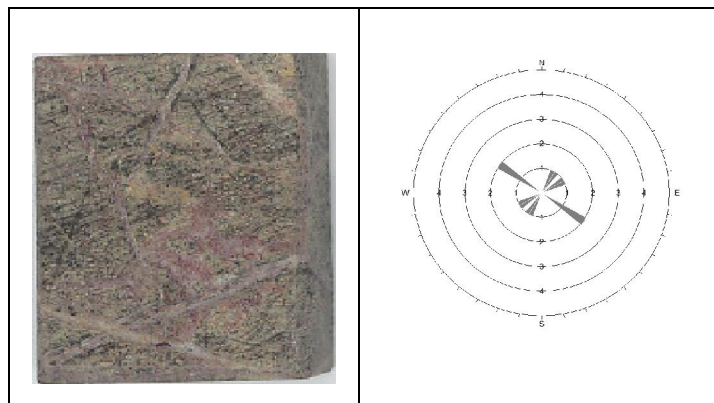


Figura 3.37. Sección pulida y diagrama de rosetas del microagrietamiento en el bloque Moa Aeropuerto.

#### Bloque Moa Caimanes.

En este bloque se reporta un comportamiento anómalo del agrietamiento como se observa en el diagrama de rosetas (figura 3.8); por la disposición de los rumbos de las estructuras manifiesta un enrejado con predominio en todas las direcciones lo que indica una intensa actividad tectónica en esta zona límite norte del bloque. El mapa litológico (figura 3.9) en este sector muestra la presencia de tres sistemas de fallas de primer orden que conforman los límites del bloque como son las fallas Cabaña, Cananova y Moa con direcciones preferenciales noreste, noroeste y noreste respectivamente.

#### Bloque Moa Calentura.

En este bloque hay predominio de direcciones de agrietamiento noreste, por vinculación genética con la falla Moa que limita el bloque por el este; aunque hay direcciones noroeste debido a la influencia de la misma estructura porque como se observa en el

mapa tectónico la estructura tiene una forma cóncava hacia el oeste lo cual le hace cambiar de dirección noroeste en la parte sur a noreste hacia la parte norte.

Bloque El Toldo.

En el bloque hay estructuras de interés indicadoras de cabalgamientos como los sistemas de micropliegues fallados por la acción continua y ruptura frágil de las rocas serpentizadas con dirección de esfuerzos hacia el noreste, coincidiendo con esfuerzos regionales de emplazamiento de las rocas ofiolíticas en la región.

En relación a las direcciones de grietas hay predominio de orientaciones norte-sur y noroeste, estas últimas a nivel microscópico se determinaron microestructuras indicadoras de movimientos rumbodeslizantes dextrales como mismo se manifiesta en el bloque Cabaña Norte, de manera que se puede suponer que este proceso afectó la región de estudio como un fenómeno regional provocado por esfuerzos ejercidos desde el sur, pudiendo estar relacionado con vectores de empuje asociados a la falla Bartlett Caimán ubicada al sur del territorio oriental cubano.

En la parte sur del bloque se reportan sistemas complejos de fallas normales e inversas de bajo ángulo condicionando la dirección de los cursos fluviales como el del río Moa y Arroyo Revuelta de Los Chinos. La disposición de los planos de grietas y fallas indica, desde el punto de vista cinemático, que se manifestaron movimientos de compresión en la dirección N-S. Así mismo lo indican los planos de sobrecorrimiento representados con yacencia  $07^{\circ}/346^{\circ}$ , indicando esfuerzos compresivos de dirección N-NE, S-SE, relacionada regionalmente con los grandes cabalgamientos de las rocas ultrabásicas.

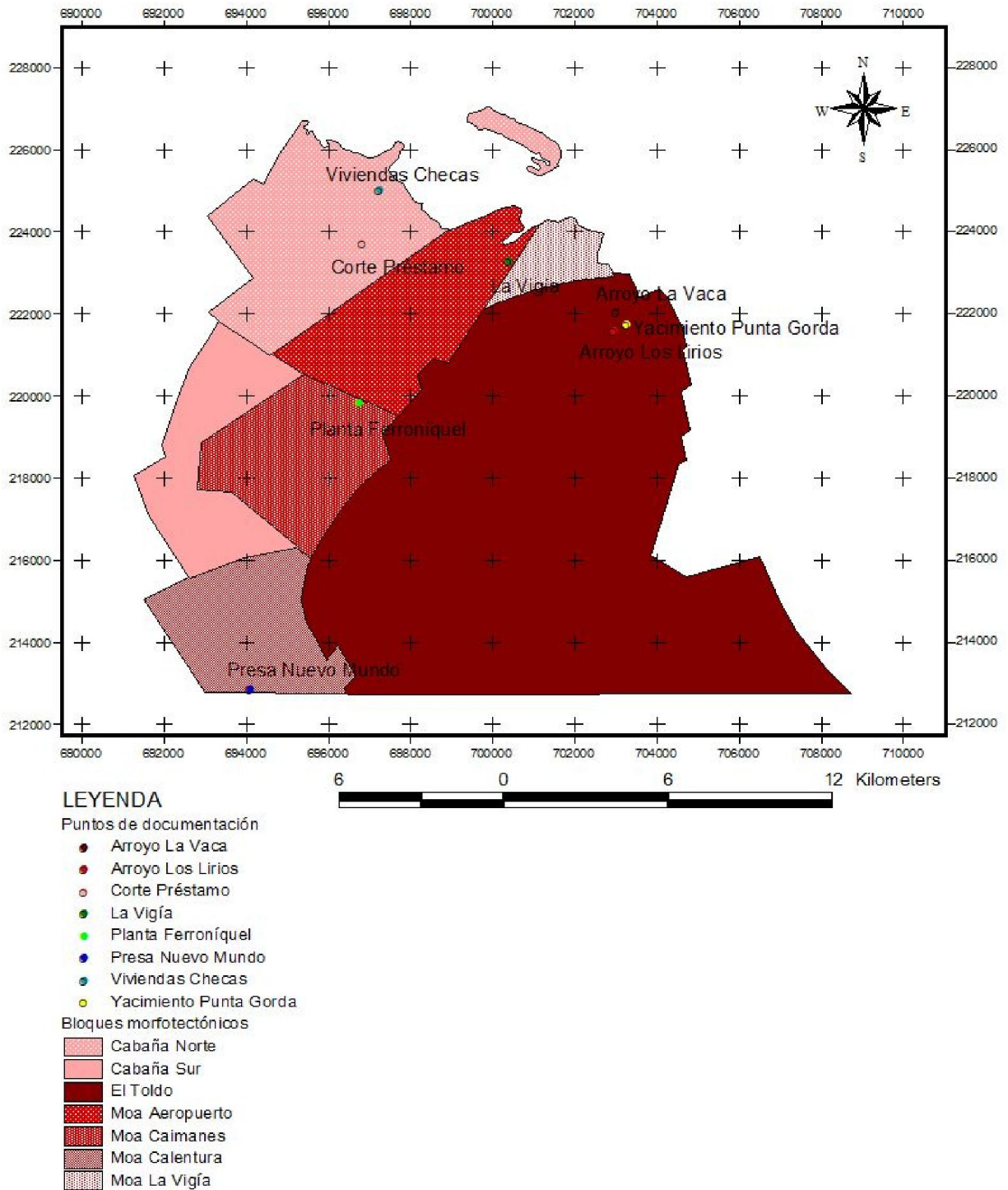


Figura 3.38. Mapa de puntos de documentación estructural en los bloques morfotectónicos del territorio (tomado de Rodríguez, 1999).

## Conclusiones.

A partir del análisis estructural de las rocas serpentinizadas del territorio de Moa se llegan a las siguientes conclusiones:

Desde el punto de vista descriptivo se determina la existencia de familias de grietas con direcciones noreste, noroeste, norte-sur y este-oeste. El espaciado entre las superficies de las grietas es pequeño, inferiores a los 30 cm, lo que indica un alta intensidad del agrietamiento dado por la intensa actividad tectónica manifiesta en la región así como su relación genética con los sistemas de fallas regionales como son la falla Moa, Cabaña y Caimanes.

El estudio de las zonas de cizallas indica un predominio de direcciones noroeste con sentido dextral, desplazando bloques de acuerdo a este comportamiento cinemático; este fenómeno se manifiesta en todo el territorio y está relacionado con esfuerzos de empuje sur-norte.

En relación a la cinemática de las estructuras hay manifestación de movimientos inversos a través de superficies con buzamientos hacia el noreste y suroeste indicando movimientos de empujes en dirección suroeste-noreste asociados al emplazamiento de los mantos de sobrecorrimiento de las rocas ofiolíticas en el territorio. Además, se reportan cambios cinemáticos de fallas normales en una primera generación, formados por procesos distensivos en la corteza a sistemas rumbodeslizantes dextrales.

### **Recomendaciones.**

Continuar el análisis cinemático de las rocas serpentizadas mediante la documentación en el resto de los bloques morfotectónicos del territorio con vista a la profundización del conocimiento geológico y tectónico de los procesos que afectaron el emplazamiento de las rocas de origen oceánico presentes en la región.

## Bibliografía.

1. Almaguer Y, “Análisis ingeniero-geológico e hidrogeológico del yacimiento Punta Gorda”. Trabajo de diploma. Departamento de geología, ISMM. 105 p. 1998.
2. \_\_\_\_\_ Análisis de Estabilidad de Taludes a partir de la Evaluación Geomecánica del Macizo Serpentinítico de Moa. [Tesis de Maestría], Dpto. Geología, 2001, ISMM, Moa.
3. \_\_\_\_\_ Evaluación Ingeniero Geológica e Hidrogeológica del Yacimiento Punta Gorda. [Trabajo de Diploma]. Dpto. Geología, 1998, ISMM, Moa.
4. \_\_\_\_\_, “Calculo de estabilidad de taludes en cortezas lateríticas”. Memorias del I Taller Internacional Ingeotaludes. Moa. 2003.
5. \_\_\_\_\_, “Estabilidad de taludes en el macizo rocoso serpentizado del territorio de Moa”. Curso Iberoamericano de Aplicaciones Geomecánicas y Geoambientales al Desarrollo Sostenible de la Minería. Ediciones Panorama Minero. 69-84 p. 2002.
6. \_\_\_\_\_, “Metodología de cartografía de susceptibilidad a la rotura en cortezas lateríticas en el territorio de Moa, Cuba”. Memorias del Taller Internacional de Riesgos Geodinámicos y Cierre de Minas (CYTED). Santa Cruz de la Sierra. 2005.
7. \_\_\_\_\_, “Métodos de cartografía de susceptibilidad y peligrosidad por el desarrollo de deslizamientos”. Memorias del II Taller internacional Ingeotaludes. Moa. 2005b.
8. \_\_\_\_\_, Valoración de la susceptibilidad del terreno en yacimientos lateríticos de Moa, Cuba. Memorias del Taller Internacional de Peligrosidad y Riesgos por Movimientos de Masas (Red A4D, CYTED). Guayaquil, Ecuador. 2005a.
9. Almaguer Y., Guardado R. “Análisis de estabilidad de taludes a partir de la evaluación geomecánica del macizo rocoso serpentizado de la región de Moa”. CD Congreso Geología y Minería. ISBN 959-7117-11-8. 2003.





10. \_\_\_\_\_, "Caracterización geotécnica del perfil de meteorización de rocas ultrabásicas serpentinizadas en el territorio de Moa", Cuba. Geología y Minería, XX (1 y 2). 2005a.
11. \_\_\_\_\_, "Mecanismos de movimientos de masas desarrollados en el territorio de Moa, Cuba". Primera Convención de Ciencias de la Tierra. Habana. ISBN 959-7117-03-7. 2005.
12. \_\_\_\_\_, "Tipologías de movimientos de masas desarrollados en el territorio de Moa, Cuba". Geología y Minería, XX (1 y 2). 2005b.
13. Andó J., Miklos K., Ríos Y. Caracterización general de la asociación ofiolítica de la zona Holguín - Moa y el papel de las ofiolitas en el desarrollo estructural de Cuba. Revista Minería y Geología, Vol. 7, No.1, 1989.
14. Badgley, P. C. (1959): Structural methods for the exploration geologist. Harper and Brothers, New York, p. 280.
15. \_\_\_\_\_ Structural methods for the exploration geologist. Harper and brothers, publishers, New York, 1959, p. 280.
16. Bard, J.P. (1985). *Microtexturas de rocas magmáticas y metamórficas*. Masson. 181 pg.
17. Barton, N.: A model study of rock joint deformation. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* (Great Britain) 9 (5): 579-602, 1972.
18. \_\_\_\_\_: Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* (Great Britain) 15 (6): 320, December, 1978.
19. \_\_\_\_\_: The shear strength of rock and rock joint. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* (Great Britain) 13 (9)
20. Belousov, V. Geología estructural. Editorial Mir, Moscú, edi.2, 1979, p. 303.: 255-279, 1976.
21. Billing, M. (1972): Structural geology. Prentice-Hall, New Jersey, p. 520.
22. Campos M., "Rasgos principales de la tectónica de la porción oriental de las provincias de Holguín y Guantánamo". Minería y Geología, ISMM, Cuba. 1991.
23. Cobas García Y. Y Aliaga R. E. 2002. Metodología y evaluación del patrimonio geológico minero de la provincia de Holguín y Guantánamo. [Instituto Superior



- Minero Metalúrgico de Moa. Antonio Núñez Jiménez]. Moa (Trabajo de Diploma). 70 p.
24. CODIGO GEOLOGICO DE VENEZUELA (1997) [en línea]. PDVSA-INTEVEP. [<http://www.pdvsa.com/lexico>], [Consulta: 26 abril, 2001].
  25. Fairbairn, H. W. and Chayes, F. Structural petrology of deformed rocks. Addison-Wesley publishing company Inc. Ed. 2. p. 344.
  26. García G., Muñoz N., Domínguez E., Rodríguez A. Métodos geológico-geomorfológicos en la búsqueda y exploración de yacimientos de cortezas de intemperismo ferroniquelíferas en Cuba. Revista Minería y Geología, No.1, 1983.
  27. Griggs, D. and Handin, J. Rock deformation. Waverly Press, Inc. Baltimore, USA. 1960, p. 382.
  28. Guardado R. y Almaguer Y., "Evaluación de riesgos por deslizamiento en el yacimiento Punta Gorda, Moa, Holguín". Revista Minería y Geología. XVIII (1): 1-12 p. 2001.
  29. Guardado R., Almaguer, Y., Hernández, Y., Tamayo, J. R. y Pea Guy., "Estabilidad de taludes en suelos lateríticos del yacimiento Punta Gorda aplicando criterios de rotura". GEOBRASIL (ISSN 1519-5708). 12-24 p. 2001.
  30. <http://translate.google.com/cu/translate?hl=es&sl=en&u=>
  31. [http://www.google.com/cu/#hl=es&q=+Didger&aq=0&aqi=g10&aql=&oq=&gs\\_rfai=&fp=e1ea057250731571](http://www.google.com/cu/#hl=es&q=+Didger&aq=0&aqi=g10&aql=&oq=&gs_rfai=&fp=e1ea057250731571)
  32. <http://www.rocscience.com/products/Dips>.
  33. Iturralde-Vinent M. Sinopsis de la constitución y evolución geológica de Cuba. Inédito, 1997.
  34. \_\_\_\_\_, "Las ofiolitas en la constitución geológica de Cuba". Ciencias de la tierra y el espacio, Cuba. 17, 1990.
  35. \_\_\_\_\_ 1996. Geología de las ofiolitas de Cuba. En: Iturralde-Vinent, M. (ed.). Ofiolitas y arcos volcánicos de Cuba. IGCP project 364. Special contribution n.1, p. 83-120.
  36. \_\_\_\_\_ 1996. Introduction to Cuban Geology and Tectonics. En: Iturralde-Vinent, M. (ed.). Ofiolitas y arcos volcánicos de Cuba. IGCP project 364. Special contribution n.1, 3-35 p.

37. Miyashiro, A. (1978). *Metamorphism and metamorphic belts*. George Allen & Unwin. 492 pg.
38. Oliva G. nuevo Atlas Nacional de Cuba. Instituto de Geografía, ACC, 1989.
39. Passchier, C. W., and Trouw R. A. J. (1996): *Micro-tectonic*. Springer, Germany. P. 290.
40. Proenza J. Asociación ofiolítica en el noreste de Cuba oriental. Inédito. Departamento de Geología, I.S.M.M., 1995.
41. \_\_\_\_\_ 1997. Mineralización de cromita en la faja ofiolítica Mayarí-Baracoa (Cuba). Ejemplo del yacimiento merceditas. Instituto Superior Minero Metalúrgico. Moa (Tesis doctoral) 227p.
42. Proenza, J.; F. Gervilla; J.C. Melgarejo y J.L. Bodinier. 1999. Al- and Cr-rich chromitites from the Mayarí-Baracoa ophiolitic belt (Eastern Cuba): Consequence of interaction between volatile-rich melts and peridotites in suprasubduction mantle. *Economic Geology*, 94: 547-566.
43. Pupo A., García M. Estudio de la falla Miraflores. Trabajo de diploma, Departamento de Geología, I.S.M.M., 1995.
44. Quintas F. Análisis estratigráfico y paleogeografía del Cretácico Superior y del Paleógeno de la provincia Guantánamo y áreas cercanas. Tesis doctoral, Departamento de Geología, I.S.M.M., 1989.
45. \_\_\_\_\_. Nuevos datos faciales y estructurales de la provincia Guantánamo. *Revista Minería y Geología*, No.3, 1987.
46. Quintas F., Cobiella J., Campos M. Estratigrafía y tectónica de Cuba oriental y Camagüey. Departamento de Geología, I.S.M.M., 1985.
47. Ragan, D. M. Geología estructural. Introducción a las técnicas geométricas. p. 207.
48. Rodríguez A. Estilo tectónico y geodinámica de la región de Moa. *Revista Minería y Geología*, No.1, 1998.
49. \_\_\_\_\_. Estudio de la falla strike - slip Cananova. *Revista Minería y Geología*, No.1, 1998.
50. \_\_\_\_\_. Relieve y Neotectónica de la región de Moa. *Revista Tecnológica*, Serie Níquel, No.1, 1998.



51. \_\_\_\_\_ “Estudio morfotectónico de Moa y áreas adyacentes para la evaluación de riesgos de génesis tectónica”. Tesis doctoral. Departamento de geología, ISMM, Cuba. 1998.
52. \_\_\_\_\_ Estudio morfotectónico de Moa y áreas adyacentes para la evaluación de riesgos de génesis tectónica. [Tesis Doctoral], 1999, ISMM, Moa.
53. Rodríguez A. y J. A. Batista. 2007. Falla Moa: caracterización geodinámica y riesgos tectónicos asociados. *Minería y Geología* [en línea] Vol. 23, No. 2. <http://ismm.edu.cu/revistamg/v23-n2-2007/art3-2-2007.pdf> [consulta: 24 feb. 2009] ISSN 0258 5979.
54. Rodríguez A., Carralero N. Condiciones geomorfológicas y neotectónicas de las zonas de desarrollo de yacimientos lateríticos de Moa. *Revista Minería y Geología*, No.1, 1984.
55. Rodríguez, A. 1998a. Estilo tectónico y geodinámico de la región de Moa. *Minería y Geología*, 15(2): 37-41.
56. Spry, A. (1969). *Metamorphic textures*. Pergamon Press. 249 pg.
57. Suppe, J. Principles of structural geology. Prentice-Hall Inc. New Jersey, 1985, p. 537.
58. Teyssier, C. and Tikoff, B. Strike-slip partitioned transpression of the San Andres fault system: a lithospheric-scale approach. In: Holdsworth, R. E., Strachan, R. A. and Dewey, J. F. (eds) *Continental Transpressional and Transtensional Tectonics*. Geological Society, London, Special Publication. 135, 143-158, 1998.
59. Torres N. Estudio morfotectónico del área Moa-Cabañas. Trabajo de diploma, Departamento de Geología, I.S.M.M., 1996
60. Turner, F. J., and Weiss, L. E. (1963): Structural analysis of metamorphic tectonites. McGraw-Hill Book Company, Inc. USA. P. 545.
61. Twiss, R. J. and Moores, E. M. (1992): Structural Geology. W. H. Freeman and Company, New York, USA. P. 532.
62. Yardley, B.W.D. (1995). *An introduction to metamorphic petrology*. Longman Scientific and technical. 248 pg.