

# EFFECTIVIDAD DE LA UTILIZACIÓN DE MÉTODOS MICROTECTÓNICOS EN EL DESCIFRAMIENTO DE LA EVOLUCIÓN DE ESTRUCTURAS TECTÓNICAS (FALLA PINAR)

*Efectiveness of using microtectonics methods in deciphering  
the evolution of tectonics structures (Falla Pinar)*

**Carlos E. Cofiño Arada**  
**Dámaso Cáceres Govea**

**E-mail: cenriques@geo.upr.edu.cu**  
**Universidad de Pinar del Río**

## RESUMEN

Se analiza el comportamiento de la falla Pinar a partir de datos reales de varios afloramientos descritos a lo largo de dicha estructura. El uso de la microtectónica y el análisis estructural permitió detectar e interpretar algunos indicadores cinemáticos que denotan su funcionamiento transcurrente siniestro en su etapa inicial. Asimismo, estructuras superpuestas en diferentes planos de falla permitieron detectar desplazamientos subhorizontales que marcan una etapa intermedia de transición, para culminar su evolución como una clásica falla gravitacional.

**PALABRAS CLAVE:** Análisis estructural, falla Pinar, falla gravitacional, microtectónica.

## ABSTRACT

This investigation presents an analysis of the behavior of Pinar fault, which is based on facts obtained from a number of outcrops which are exposed along this structure. The use of microtectonic methods and structural analysis, has allowed for the detection and interpretation of several kinematic indicators that indicate its sinistral transcurrent functioning in an initial stage. Superimposed structures in different fault planes have permitted the possibility of detecting subhorizontal offsets, which show an intermediate stage

of transition up to the completion of its geological evolution as a classical gravitational fault.

**KEY WORDS:** structural analysis, Pinar fault, gravitational fault, microtectonic.

## INTRODUCCIÓN

La falla Pinar, una de las estructuras más importantes de su tipo dentro del territorio cubano, es una gran dislocación tectónica de larga duración que ha manifestado cambios en la naturaleza de sus desplazamientos. Esta gran falla divide la provincia de Pinar del Río en dos bloques muy bien diferenciados: la Cordillera de Guaniguanico y la Llanura Sur (Fig. 1).

En cuanto a esta falla, los investigadores han llegado a conclusiones muy disímiles, y plantean desde la no existencia de la misma (Díaz y otros, 1987) hasta su funcionamiento como una estructura profunda que origina desplazamientos de bloques del basamento. Otros la describen como un sistema de fallas normales, imbricadas de norte a sur (Martínez y otros, 1987, 1994), como una falla de desplazamiento diestro (Piotrowska, 1976) o como una falla de desplazamiento sinistral (Gordon *et al.*, 1997).

Hay que decir que la mayor parte de las investigaciones realizadas en la zona han estado sustentadas en el estudio de las macroestructuras. En este caso, es

interés resaltar la importancia de las observaciones microestructurales y el análisis estructural en el desciframiento e interpretación de los desplazamientos en determinadas áreas, con el fin de demostrar las relaciones existentes entre las micro y las macroestructuras. Así, el trabajo pretende demostrar y explicar el funcionamiento de la falla Pinar, a partir del mapeo de microestructuras y la interpretación de los elementos estructurales revelados, manifestados por cambios en la naturaleza de sus desplazamientos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se mapearon varias estructuras en las inmediaciones de la falla Pinar, desde las cercanías del poblado de San Cristóbal, en Pinar del Río, hasta cerca del caserío de Cayajabos en la provincia Habana, siguiendo el rumbo W- E de la falla. A continuación se describen los puntos mapeados:

Punto N° 1 (X-284 700, Y-325 350). Ubicado a 6 km de San Cristóbal, por la carretera a Bahía Honda en su margen derecho. Se observa un gran afloramiento de serpentinitas muy facturadas, donde aparecen bloques de calizas que forman cuerpos en forma de budinas (Fig. 2). Además, se describen abundantes escamas de calcita y estrías que indican la dirección de los desplazamientos (Fig. 3) en los distintos planos de fallas (PF)

PF<sub>1</sub> 65° → 130°, 08° → 125°

PF<sub>2</sub> 85° → 215°, 08° → 310°

PF<sub>3</sub> 90° → 030°, 08° → 305°

PF<sub>4</sub> 80° → 190°, 10° → 260°

A la izquierda de la carretera, en una cantera abandonada, se observa una secuencia plegada de las rocas de la Formación Artemisa. Las rocas poseen yacencia S<sub>0</sub> 050° / 45° y la vergencia de los pliegues es sudoeste.

Punto N° 2 (X-294 250, Y-329 200). Cantera abandonada en el margen derecho de la carretera a Soroa. En los afloramientos de serpentinita se observan muchos elementos estructurales que ayudan a determinar distintos desplazamientos provocados por la falla, indicadores de movimientos, tales como estriaciones y escamas de calcita, que han permitido distinguir tres momentos de desplazamiento en el tiempo. En el primero, las estriaciones tienden a ser horizontales o subhorizontales con desplazamiento siniestro (Fig. 4); el segundo se superpone al anterior y las estrías marcan una orientación de 45° en el plano (Fig. 5), y el tercero indica el movimiento vertical originado por una falla normal que provoca el levantamiento del bloque norte con respecto al bloque sur (Fig. 6).

El plano de la falla principal medido (Fig. 7) presenta una orientación 85° → 160°, además se observan otros sistemas de falla secundarios con orientaciones 25° → 065°, 70° → 220° (Fig. 8).

En el piso de la cantera aparecen otras pequeñas estructuras, de esquistosidad cizallamiento, que pertenecen a la misma familia de las descritas anteriormente (Figs. 9 y 10) y que muestran el sentido de los movimientos que afectaron esta zona e hicieron funcionar la falla Pinar como una estructura de Riedel principal, con desplazamiento siniestro (Cáceres, 1997).

Punto N° 3 (X-302 450, Y-333 325). Ubicado en el margen derecho del río San Juan. El afloramiento abarca un área de 100 x 25 m, donde se observan serpentinitas asociadas con la zona de falla Pinar. Se describen numerosas estructuras de esquistosidad cizallamiento que expresan desplazamientos siniestros relacionados con la zona de la falla Pinar, así como fragmentos de rocas rodeados por material serpentinitico que tienen una apariencia sigmoidal, y que indican el sentido del desplazamiento. La posición de bloques fracturados y tumbados en la dirección del desplazamiento recuerdan estructuras típicas de *bookshef sliding* descritas por Ramsay (1987). Otras estructuras medidas confirman el predominio de desplazamientos sinestrales en la zona de falla.

Punto N° 4 (X-304 650, Y-334 575). Alternancias de calizas y lutitas de la Formación Polier. Las calizas son algo arenosas, de color gris, con abundantes vetas de calcita. Las lutitas son de color carmelita, en forma de láminas muy finas con yacencia S<sub>0</sub> 150°/20°, S<sub>0</sub> 170°/15° y las estructuras disyuntivas cortan las rocas con ángulos bajos (PF<sub>1</sub> 35° → 150°, PF<sub>2</sub> 30° → 175°). Este tipo de estructura se repite en el corte, como evidencia de que las mismas se originaron durante los cabalgamientos.

Punto N° 5 (X-305 825, Y-335 325). Ubicado debajo del puente del río que atraviesa el campismo La Chorrera. Está constituido por calizas de color gris claro, que alternan con areniscas finamente estratificadas, ambas con abundantes vetillas de calcita (Formación Polier). La secuencia en su conjunto aparece plegada, lo cual permite, a partir del análisis de sus elementos, determinar el sentido de las fuerzas que provocaron el plegamiento. Aguas arriba, a 100 m, se observan algunas estructuras como fallas inversas y pliegues con planos axiales y ejes bastante verticalizados, cuya orientación corrobora los desplazamientos sinestrales de las fallas. En estas secuencias aparecen calizas de color gris oscuro, laminadas e

intercaladas con calizas de estratificación más gruesa. Además, se presenta un plegamiento en las calizas donde se evidencian elementos estructurales tales como pliegues con vergencia sudoeste, con ejes bastantes verticalizados y fallas inversas que aseguran los desplazamientos sinestrales que caracterizan la zona de falla Pinar.

Punto N° 6 (X-309 300, Y-337 650). Situado a un kilómetro del puente de Cayajabos por la Autopista Nacional en dirección a Pinar del Río. Se observan una serie de cuerpos lenticulares envueltos en una matriz serpentínica que dan lugar a estructuras en las cuales se puede determinar el sentido y dirección de los desplazamientos a través de su plano principal, con una orientación este-oeste. Se aprecia un gran escarpe de falla donde se describen estrías y escamas de calcita que indican desplazamientos. Las estriaciones presentan orientación  $30^\circ \rightarrow 110^\circ$ , mientras el plano de falla se inclina al sudoeste ( $70^\circ \rightarrow 200^\circ$ ). En el piso del escarpe aparecen fragmentos de rocas desplazados que confirman los desplazamientos sinistros (Figs. 11, 12 y 13).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La falla Pinar constituye la estructura tectónica de mayor extensión mapeada en superficie en el occidente de Cuba; se extiende según su rumbo por más de 160 km. Trabajos sísmicos y gravimétricos anteriores (Fernández de Lara, 1995) comprueban que el escalón gravimétrico general está compuesto por una serie de escalones de menor desplazamiento vertical (del orden de 300-600 m) que se acuñan unos contra otros. Asociados a estos escalones se detectan cuerpos serpentínicos emplazados en los planos de fallas, que se mapean por magnetometría y han sido comprobados por perforaciones y observados durante los trabajos de campo.

La estructura que hoy señala el escalón geomorfológico (falla Pinar) es el elemento más septentrional de un sistema de fallas que se desvía hacia el noreste del eje principal del sistema y que limita la zona estructuro-facial Guaniguanico de la zona estructuro-facial San Diego de los Baños. Hacia el este, el sistema va perdiendo magnitud en su desplazamiento vertical, debido al abandono de la dirección principal de los elementos más septentrionales, y llega a atenuarse totalmente su reflejo por el aumento de los espesores de cobertura, ocurridos en el escalón transversal que limita al este el bloque Martín Mesa.

El análisis de los datos obtenidos de las mediciones de distintos elementos estructurales mapeados por el rumbo de los afloramientos en la porción oriental

de la falla Pinar, permite explicar la evolución en el tiempo de esta estructura. En un principio, la falla Pinar funcionó como una fractura de Riedel principal, originada a partir de la rotación hacia el noreste del *stress* principal durante los cabalgamientos ocurridos en el Eoceno Inferior (Gordon *et al.*, 1997). La presencia de estructuras de esquistosidad cizallamiento, de *bookshelf sliding*, *tiling* o imbricación, de objetos descritos macroscópicamente en (Blumenfeld, 1983) y explicados en (Passchier y Trouw, 1998), confirman su funcionamiento como una gran zona de *shear* con desplazamiento siniestro. Otros indicadores detectados, medidos y mapeados (estrías y escamas de calcita) en varios puntos a lo largo de su rumbo (ver Figs. 3, 4, 5 y 6), aportan elementos para comprender que en la evolución de esta gran estructura han intervenido otros desplazamientos desde subhorizontales hasta gravitacionales al final de su desarrollo. De forma general, el sistema de la falla Pinar en la actualidad tiene un buzamiento subvertical hacia el sur ( $70^\circ - 80^\circ$ ) y se extiende en profundidad en el orden de los 10 km.

De lo anterior se deduce que la rotación horaria del máximo *stress* compresivo, crea el marco propicio para el desarrollo de una fractura de Riedel principal (falla Pinar), aproximadamente a  $30^\circ$  de éste. Durante su evolución, los desplazamientos horizontales son sustituidos por otros subhorizontales, hasta que en su etapa final, funciona como una estructura gravitacional que separa los bloques norte y sur, hoy representados por la Cordillera de Guaniguanico y la Llanura Sur de Pinar del Río, respectivamente.

## CONCLUSIONES

1. Los métodos microtectónicos y el análisis estructural, representan una herramienta indispensable para el desciframiento e interpretación de los desplazamientos en estructuras complejas.
2. La falla Pinar ha evolucionado en el tiempo, y funcionó en sus inicios como una falla transcurrente siniestra, seguida por desplazamientos subhorizontales, hasta que en su etapa final se manifiesta como una estructura gravitacional.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CÁCERES, D., 1997: "Estructura geológica y pronóstico preliminar para metales básicos + barita en la parte central de las Alturas Pizarrosas del Sur", Universidad de Pinar del Río. Cuba (Tesis doctoral) 182 pp.
- DÍAZ DUQUE, J.A., A.B. AZZE PAVÓN, O. DÍAZ, G. CASARREAL, 1987: "Utilización del gradiente total normal de la gravedad en el estudio de la estructura profunda de la provincia de Pinar del Río", *Minería y Geología* 5(3):45-50.

GORDON, M., P. MANN, D. CÁCERES, 1997: "Cenozoic tectonic history of the North American- Caribbean plate boundary zone in western Cuba", *Journal of Geophysical Research* 102:10055-10082.

MARTÍNEZ, D., P. RODRIGUEZ, A. SIMÓN, 1987: "Algunas consideraciones acerca de la tectónica en la provincia de Pinar del Río", *Bol. Geociencia*, 2 (1):28 – 45.

MARTÍNEZ, D., M. VÁZQUEZ, J.C. CHANG, R. DENIS, O. FERNÁNDEZ, R. FERNÁNDEZ DE LARA, E. BARRIOS, 1994: Ge-

neralización del mapa geológico a escala 1:100 000 del Occidente de Cuba. IGP, Ciudad de La Habana.

PASSCHIER, C. W., R.A.J. TROUW, 1998: *Microtectonic*, Berlin, Springer- Verlag. 263 pp.

PIOTROWSKA, K., 1976. "Outline of Tectonic of the Pinar del Rio Province (Cuba)", *Studia Geological Polonica* 24 :183- 191.

RAMSAY, J., M. HURBER, 1987: *The techniques of modern structural geology*, Second Edition, Vol. 1 y 2, London, Academic Press Inc.

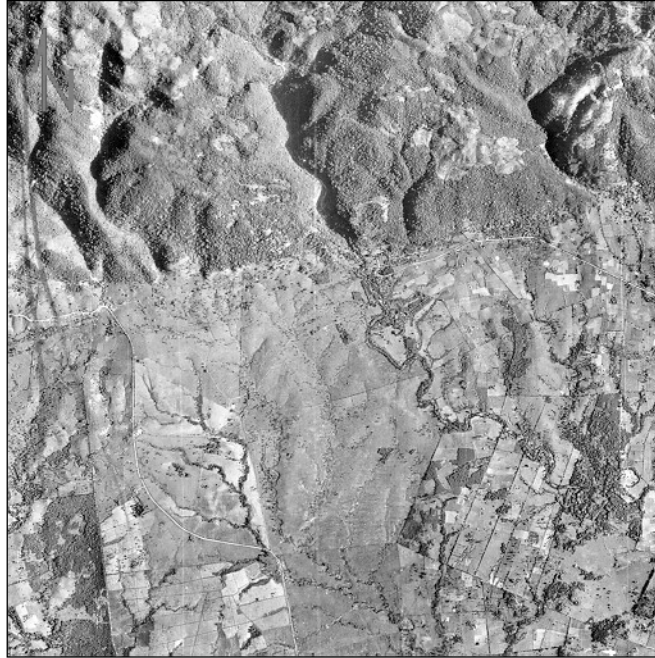


Figura 1. Vista aérea donde se puede observar la falla Pinar que divide en los bloques Norte y Sur a la parte oriental de la provincia de Pinar del Río.



Figura 2. Bloques de caliza en forma de budinas, englobados en una matriz serpentínica, muy fracturada.



Figura 3. Escamas de calcita y estrías que señalan la dirección de los desplazamientos (sinestrales) en un plano de falla localizado en calizas de la Formación Artemisa.

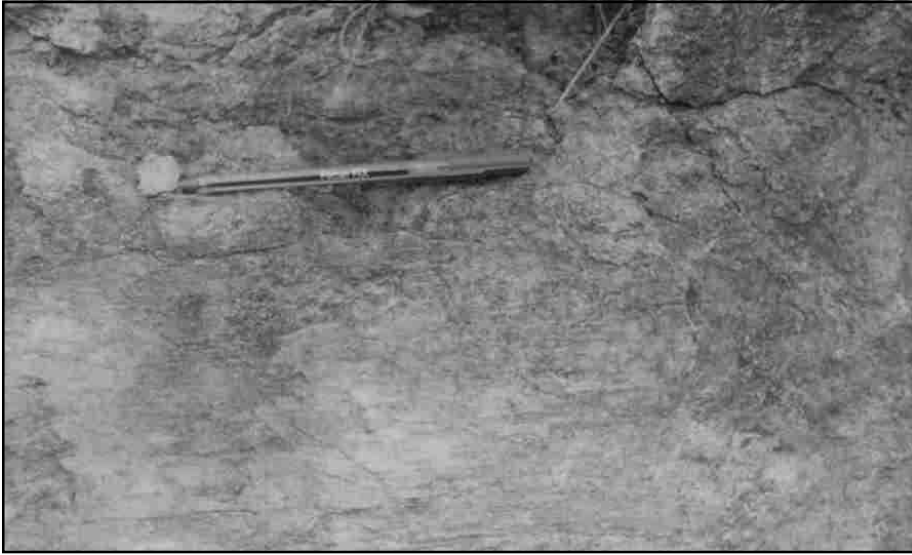


Figura 4. Calizas grises de la Fm. Artemisa con abundantes vetas de calcita y restos de hidrocarburos. En ellas se detectan numerosas escamas de calcitas y estrías en un plano de la zona de falla Pinar, que indican un desplazamiento sinistral.

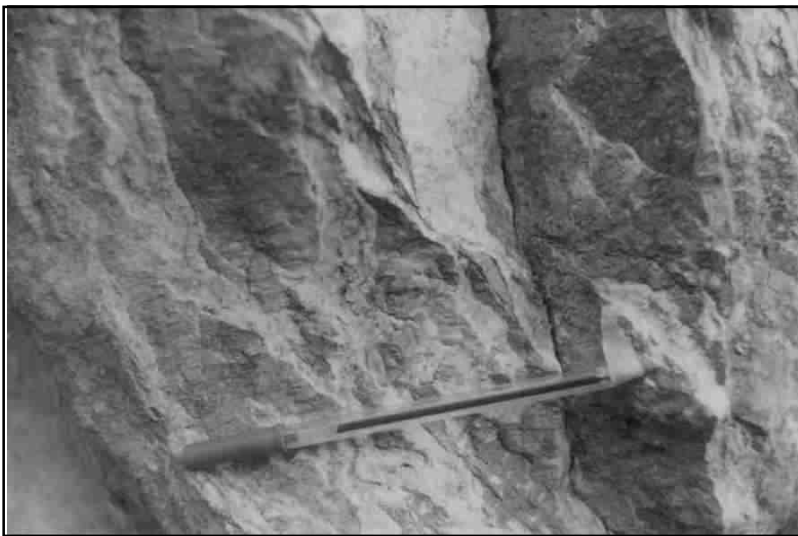


Figura 5. Las mismas calizas de la figura anterior, en las que se aprecian cambios en la orientación de las estrías y escamas de calcita en el plano de falla, desde horizontales a subhorizontales.

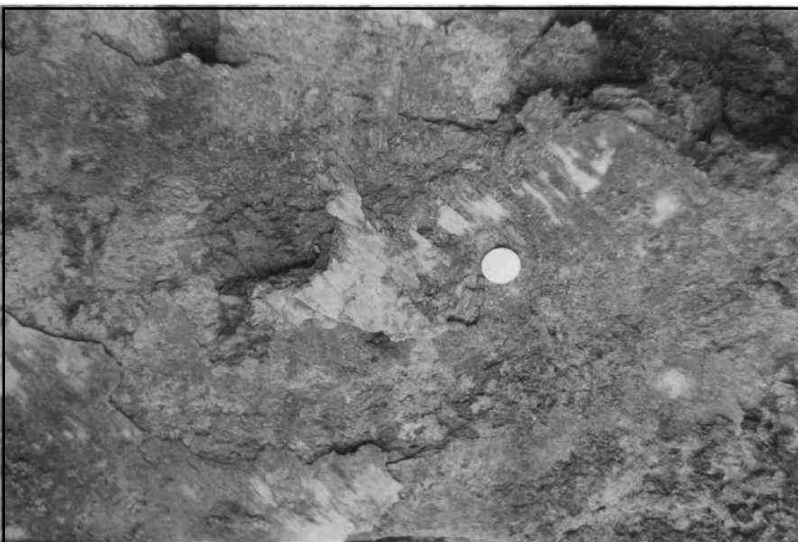


Figura 6. Escamas de calcita determinadas en el plano de falla, indican movimientos gravitacionales superpuestos a los sinistral (Formación Artemisa).



Figura 7. Numerosos elementos estructurales en el plano paralelo a la zona de falla Pinar, permiten distinguir diferentes desplazamientos a lo largo de su desarrollo.

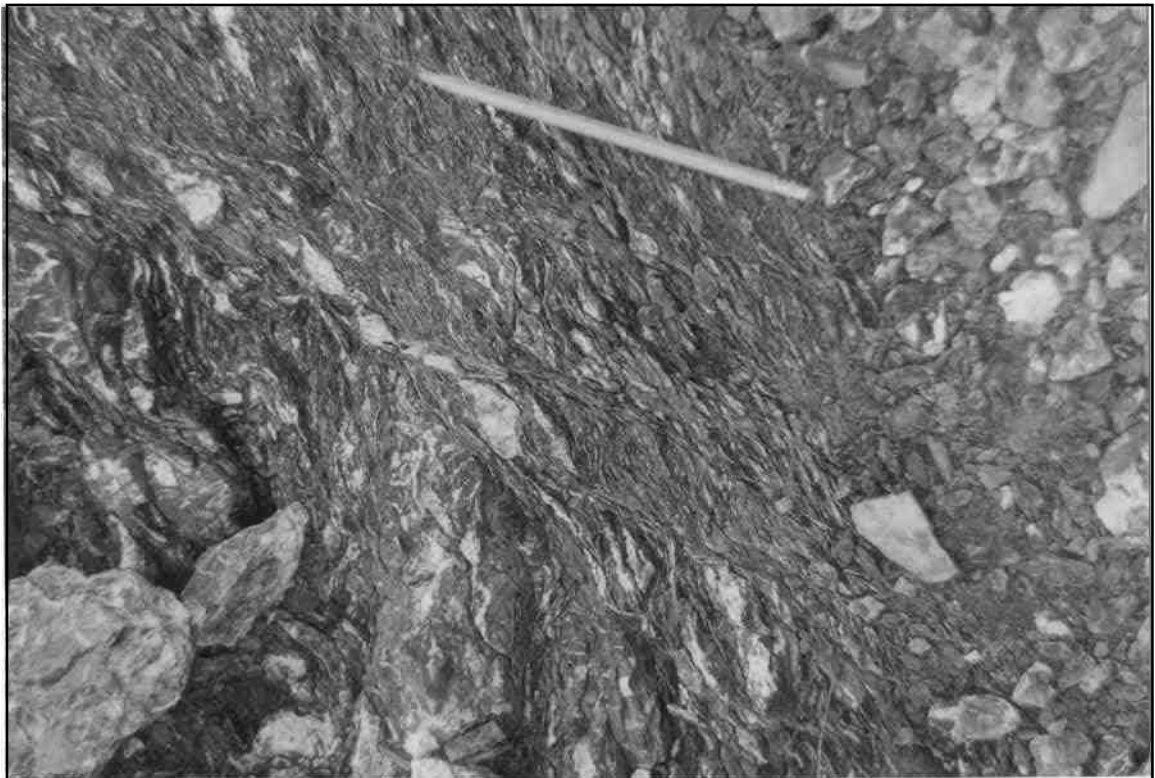


Figura 8. Estructuras mapeadas sobre serpentinas, en la zona de falla Pinar (vista superior), indican el desplazamiento sinistral de las estructuras.

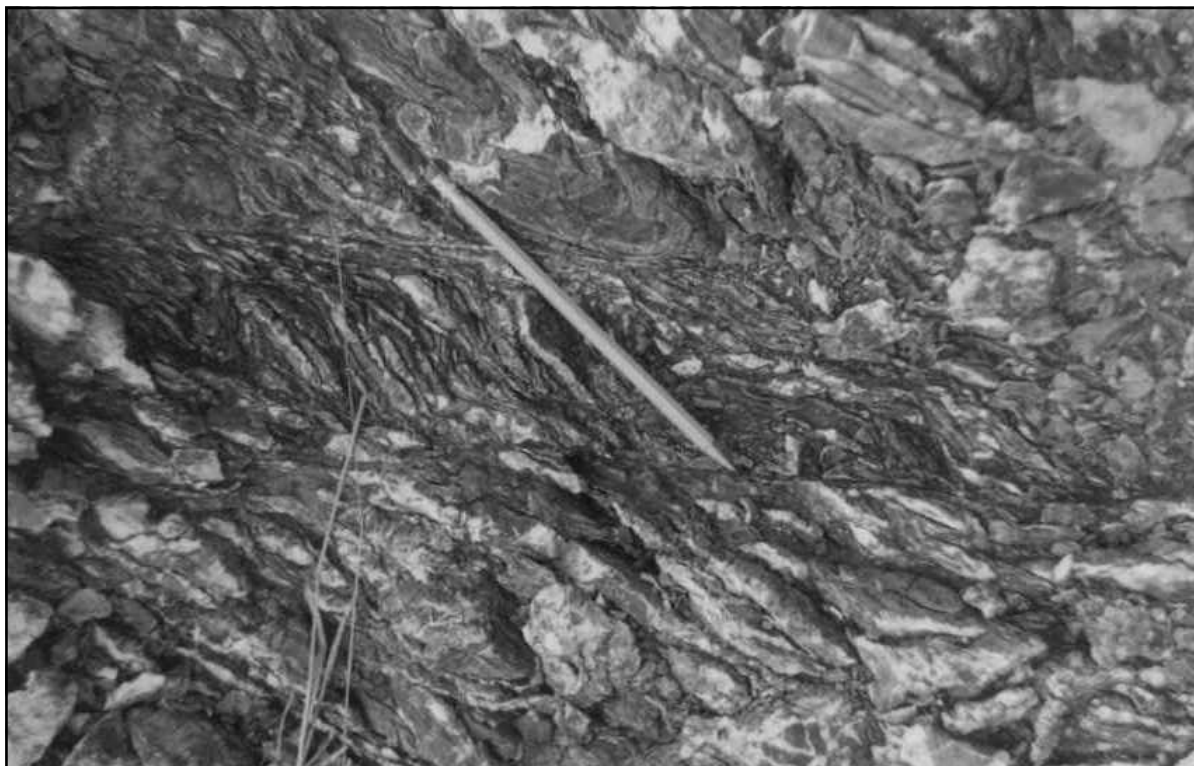


Figura 9. Otras estructuras mapeadas sobre serpentinas en el margen derecho de la carretera a Soroa, en la zona de falla Pinar (vista superior), indican el desplazamiento sinistral de las estructuras.

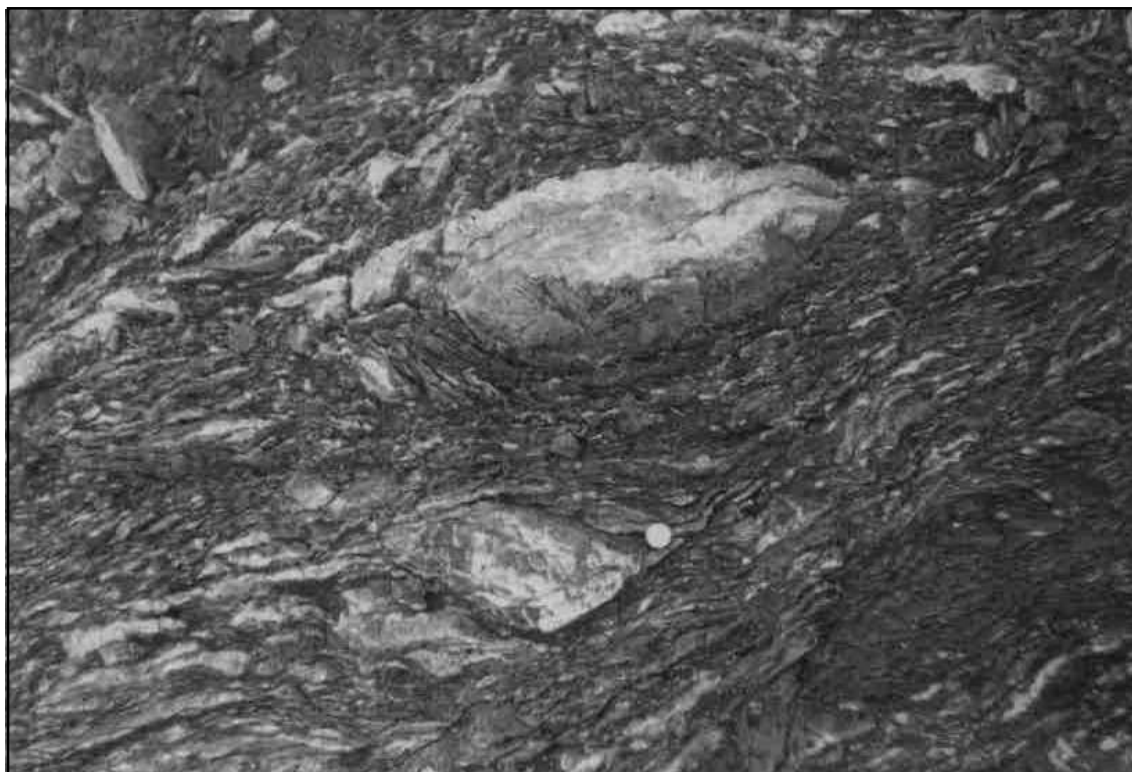


Figura 10. Estructuras sigmoidales en la zona de falla Pinar, conformadas por la disposición del material serpentínico esquistoso, orientado alrededor de bloques de calizas según el sentido del desplazamiento (sinistral).

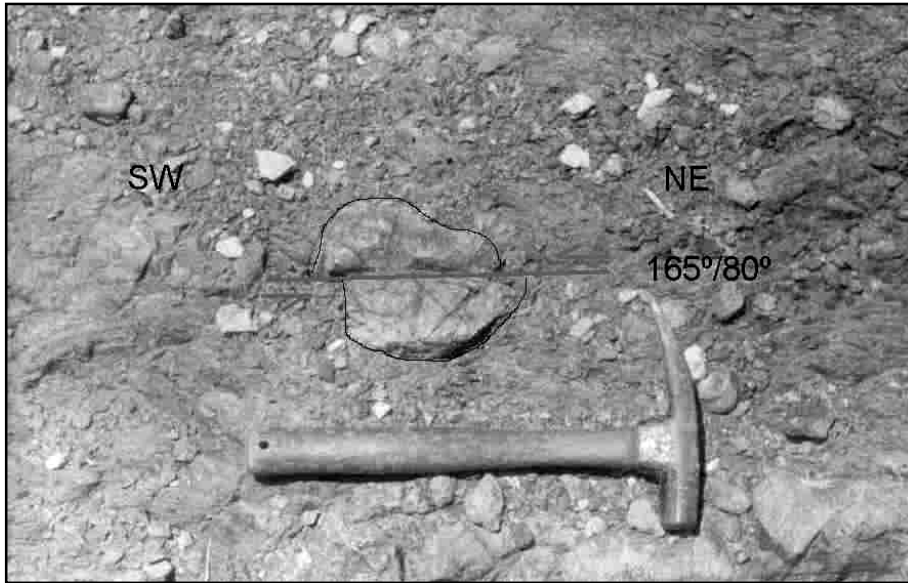


Figura 11. Fragmento desplazado por una pequeña falla transcurrente siniestra, testigo de los desplazamientos en la zona de falla Pinar. Las flechas señalan el sentido del desplazamiento.

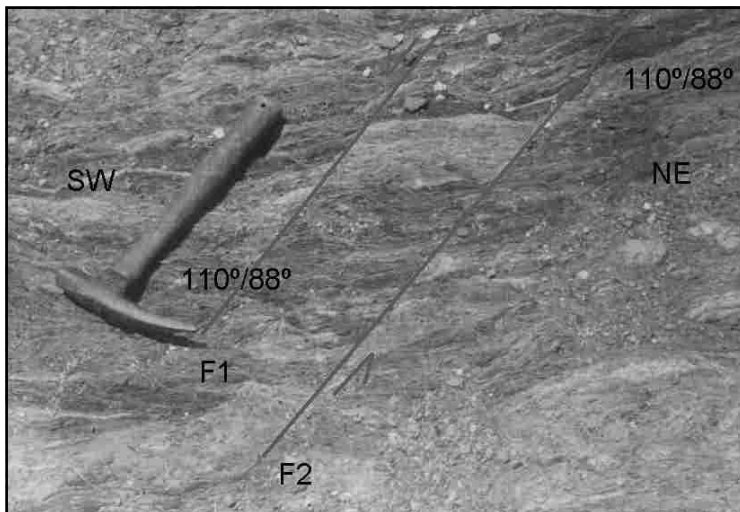


Figura 12. Estructura originada por movimientos sinestrales de orientación sudoeste, expresados mediante fragmentos desplazados en serpentinitas, vinculadas con la zona de falla Pinar. Las flechas señalan el sentido del desplazamiento.

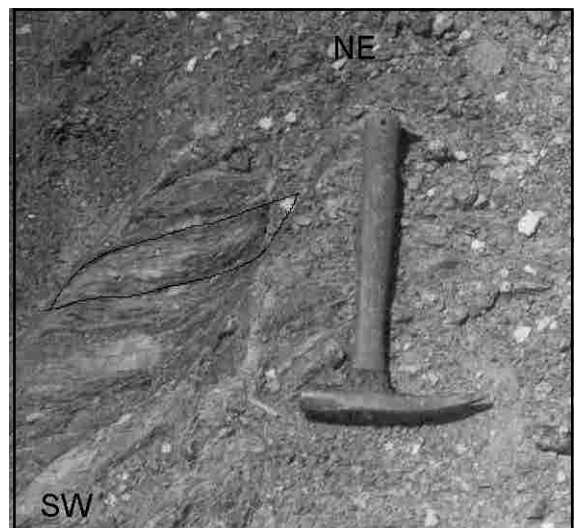


Figura 13. Estructura de esquistosidad cizallamiento, originada por desplazamientos sinestrales, detectados en serpentinitas asociadas a la zona de falla Pinar. Las flechas señalan el sentido del desplazamiento.