

Observaciones y Descripciones Petrológicas y Estructurales asociadas al tramo meridional de la Falla Palestina

RICARDO CORTES

Gómez Cajiao y Asociados Ltda., Carrera 14 No. 80-35, Bogotá, Colombia

CORTES, R. (1990): Observaciones y Descripciones Petrológicas y Estructurales asociadas al tramo meridional de la Falla Palestina.- Geol. Colombiana, 17, pp.211-218, 5 figs., Bogotá.

RESUMEN

Se ha identificado la prolongación meridional de la Falla Palestina, con rumbo N15°E en el Oriente del Departamento de Caldas, Colombia. El ancho de su zona de influencia y expresión morfológica disminuye hacia el Sur. Los efectos cataclásticos son diferentes en cada localidad y generan un tipo de diaclasamiento que permite clasificarla como una falla direccional a lo largo de un plano tangencial a un esfuerzo normal. De la graficación estereográfica de la orientación de las diaclasas, resulta una elipse con un sistema conjugado de diaclasas de compresión y dos de cizallamiento. La Falla Palestina coincide con el modelo planteado por Wilcox *et al* (1973), para la tectónica de fallas de rumbo ("wrench faults").

ABSTRACT

The southern extension of the Palestina fault, with a N15°E strike, has been identified in the eastern part of the Department of Caldas, Colombia. The width of its zone of influence and its geomorphological expression decrease to the south. The cataclastic effects are different in each locality. It generates the type of jointing that permits its classification as a directional fault along its shearing plane. From the stereographic plotting of the attitude of the joints, an ellipse with one system of compression joints and two systems of shearing joints can be inferred. The Palestina fault coincides with Wilcox's model for the tectonics of wrench faults.

1. INTRODUCCION

El área estudiada se encuentra en el flanco oriental de la Cordillera Central, al Oriente del Departamento

de Caldas, y está ubicada dentro del área de la hoya hidrográfica de los Ríos Guarín y La Miel, (ver Fig. 1). Está comprendida entre las coordenadas 1°08'6.000 N y 1°06'8.000 N y 88°6.000 y 89°3.000 E.

Está compuesta por rocas pertenecientes al complejo ígneo-metamórfico denominado "Serie" Cajamarca (ver Fig. 2), conformado por una alternancia de esquistos de variadas composiciones mineralógicas y en menor escala cuarcita y variaciones de ésta, y ha sido intruído por diques y silos de composición intermedia. El grado de metamorfismo se considera de bajo a medio, de facies esquistoso verde.

La disposición predominante de las estructuras que conforman las unidades metamórficas conserva un rumbo general N-S con buzamientos predominantes hacia el Occidente, conformando posiblemente una estructura de tipo regional. Desviaciones del rumbo regional corresponden a las zonas de fallas, y constituyen estructuras importantes. Se reconocieron plegamientos a escala local, por efecto de esfuerzos sobre rocas cercanas a la zona de influencia de las fallas principales.

La principal zona de falla es la Falla Palestina, un elemento regional de rumbo N15°E y buzamiento aproximado de 85° al Occidente, que genera una serie de fallas satélites, formando una estructura en "espina de pescado". Otro sistema de fallas transversales desplaza a la falla de Palestina, formando ángulos de 59° y 77°.

El diaclasamiento está representado por tres sistemas conjugados y uno de diaclasamiento horizontal. De los tres sistemas, uno se presenta con dirección perpendicular a la Falla Palestina con ángulos de inclinación de 70° a 90°; el segundo sistema es paralelo al alineamiento de la zona de Falla Palestina; y el tercer sistema forma un ángulo entre 50° y 70° con el principal plano de deformación.

Los sistemas de diaclasamiento o polos I-I' y III-III' corresponden a fracturas de tensión y el polo II-II' corresponde a fracturas de compresión. El polo IV se entiende como un sistema generado por el desplazamiento horizontal y por descompresión litostática.

El comportamiento de la Falla Palestina coincide con

el modelo de Wilcox *et. al.* (1973), para la tectónica de fallas de rumbo o "Wrench Faults".

2. GEOMORFOLOGIA

La zona objeto del estudio drena hacia el Valle del Magdalena. En la cordillera los ríos son jóvenes y han erodado valles estrechos y profundos, con dirección general perpendicular al Río Magdalena.

Los ríos principales forman con sus afluentes una red de drenaje dendrítica a subangular, de densidad media, controlada en algunos casos por la foliación regional y zonas de debilidad (diaclasamiento, fallamiento) y en otros por el levantamiento rápido de la cordillera (como en el caso de las corrientes sobreimpuestas con dirección transversal a la dirección de las estructuras geológicas).

Un rasgo morfológico anómalo es el valle del río Guarín, al Sur del área de interés. Dentro de una zona en la que la mayor parte de las corrientes se encuentran en estado juvenil, el río Guarín, que en la mayor parte de su extensión tiene características juveniles, una vez que ha atravesado la zona de influencia de la Falla Palestina, tiene un tramo de ocho kilómetros en que presenta indicios de temprana madurez (valle ancho, amplio, formación de depósitos aluviales y terrazas, corrientes trenzadas, etc.), después del cual, aguas abajo, cambia de dirección y recupera su estado juvenil (valle angosto y profundo). Este cambio se puede tal vez asociar a una mayor velocidad erosiva en la zona de influencia de la falla por correr paralelamente sobre esquistos que presentan baja resistencia a la erosión, lo que resulta en un aumento de la carga, y a efectos tectónicos durante levantamientos rápidos y recientes en la Cordillera Central.

La topografía es en general abrupta, con variaciones entre 1800 y 1200 m de altura sobre el nivel del mar. Como se mencionó anteriormente, su principal agente de modelaje es el rejuvenecimiento de las corrientes, ocasionado por el sollevamiento reciente de la Cordillera Central.

A nivel regional no se observó contraste morfológico entre las zonas de debilidad y las de mayor resistencia. Tal es el caso de las zonas de influencia de las fallas Palestina, Sainos, San Juan, etc., que fueron reconocidas por la fracturación de las rocas en superficie y por análisis petrográficos, y no por su expresión morfológica a nivel regional o local.

Un factor que ha suavizado la topografía del área es la depositación de restos piroclásticos que enmascaran la expresión morfológica de las rocas más antiguas.

3. LITOLOGIA

La zona de interés se encuentra ubicada geológicamente dentro del complejo metamórfico-ígneo de la Cordillera Central, correspondiente al Grupo Ayura-Montebel, o Grupo Valdivia, o "Serie" Cajamarca, compuestos esencialmente por rocas afectadas por meta-

morfismo regional, ocasionalmente con metamorfismo dinámico sobreimpuesto (Ver Fig.2).

A pesar que las diferentes unidades litológicas se comportan geométricamente como rocas sedimentarias, la correlación detallada entre este complejo y formaciones o grupos identificados en otras localidades, y aún la relación entre las diferentes unidades cartografiadas aquí, es difícil debido a la ausencia de niveles guía, a la presencia de fallas de intensidad y desplazamientos diversos, y a la complejidad de las estructuras asociadas a las rocas metamórficas.

A lo largo de la zona de influencia de la Falla Palestina y sus fallas satélites se reconoció una amplia gama de cataclastitas. En general, las cataclastitas (ZPIC) y (ZPICS) están afectados por grandes movimientos deformacionales que se presentan dentro de una franja de tamaño variable. El tamaño de la zona de influencia depende de la roca afectada por el fallamiento y de la profundidad y presión alcanzada en cada localidad.

La zona cartografiada como zona de influencia de fallas no corresponde a unidades litológicas, sino a la posible extensión lateral de rocas deformadas por efectos dinámicos que han producido aquí rocas con granos desde gruesos hasta muy finos, y una variada gama de efectos, tales como diaclasamiento denso, bloques angulares megascópicamente visibles, brechas con cohesión, harina de falla, cataclastitas, clastomilonitas, filonitas y milonitas.

En la investigación inicial, las rocas con metamorfismo regional observadas fueron clasificadas petrográficamente por su amplia gama de variedades minerales, que para propósitos del presente informe han sido agrupadas como anfíbolita, esquistos gris, esquistos verde y cuarcita.

Anfíbolita (a). Aflora en el extremo meridional del área. Esta unidad se encuentra en contacto con la Falla Palestina. Su espesor en el área es de uno 80 m, y más hacia el Sur aumenta a no menos de 250 m. Es una roca de tonos claros, con bandas o cintas de minerales oscuros (hornblenda y muscovita), equigranular de grano medio, compuesta por plagioclasa (saussuritizada), hornblenda y cuarzo principalmente.

Esquistos gris (esg). Es la unidad predominante en toda el área. Es una roca de color gris claro a negro, fisible, meteorizable rápidamente, de dureza baja a media, textura laminar, compuesta por cantidades variables de grafito, muscovita, feldespato y cuarzo como minerales principales, y clorita, calcita y pirita como minerales accesorios.

Esquistos verde (ev). Yace en forma de lentes y/o con variaciones laterales y verticales a esquistos gris, con espesores variables hasta de 800 m. Es una roca verde, de dureza alta, textura esquistosa y baja fisibilidad. Está compuesta principalmente por anfíbol (tremolita-actinolita), epidota, cuarzo y feldespatos. Como minerales accesorios se destacan biotita, titanita y óxidos de hierro.

Cuarcita (nq). Se identificaron horizontes, capas y cuerpos lenticulares de cuarcita con variaciones en su

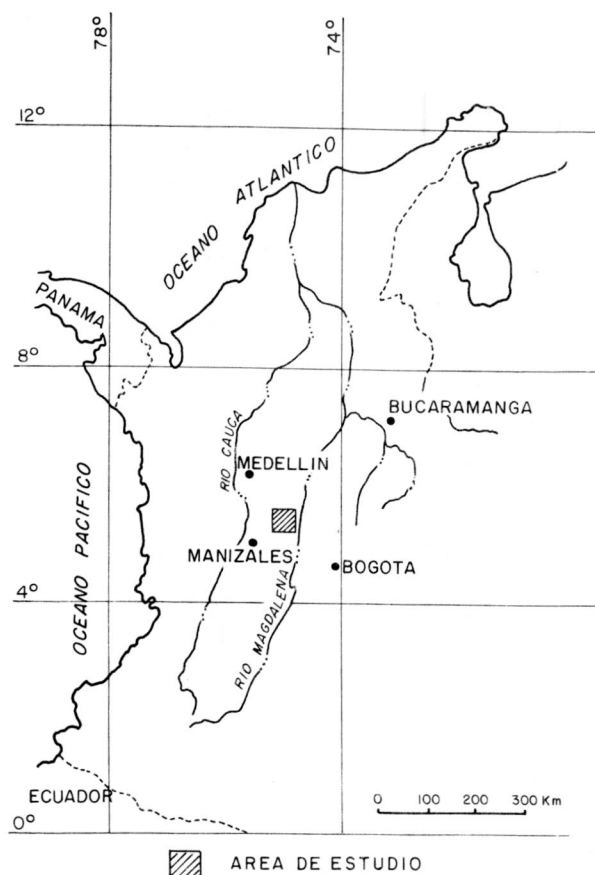


Figura 1. Localización geográfica del área de estudio.

composición y textura de cuarcita a esquisto cuarcítico y esquisto cuarzo-micáceo. Es una roca masiva, con textura sub-esquistosa a cristalina, y de color gris claro a amarillo claro.

Diques de composición ácida e intermedia (Tda y Tdmg; aplita y microgranito) intruyen el complejo ígneo-metamórfico. Por regla general son concordantes con la foliación (silos), y alcanzan espesores de 1.5 a 2.0 m. Aunque posiblemente estén asociados a la Falla Palestina, el emplazamiento debió producirse después que la falla había alcanzado sus máximos efectos deformadores, pues los diques no parecen haber sufrido efectos dinámico-deformacionales; posiblemente estas intrusiones aprovecharon las zonas de debilidad.

4. LOCALIZACION Y EXPRESION DE LA FALLA PALESTINA

La existencia de la Falla Palestina, de tipo regional, con características como las descritas por Feininger (1970), para su parte septentrional, y la indicación de Barrero & Vesga (1976) de su existencia, con trazo incierto en la zona de interés, implicó, debido a la ausencia de rasgos morfológicos evidentes, la decisión

de ejecutar numerosos levantamientos y estudios petrográficos con alto grado de detalle, para determinar su zona de influencia cataclástica.

La Falla Palestina en la zona estudiada (Fig. 2) se encuentra cortando unidades metamórficas de bajo a medio grado que se desarrollan con un rumbo general N-S con variaciones al E y al W, y buzamientos variables en dirección e inclinación, conformando posiblemente una estructura de tipo regional dentro del cinturón metamórfico.

Los resultados de la investigación adelantada muestran a la Falla Palestina como una amplia zona de fracturación intensa, asociada con metamorfismo dinámico sobrepuesto al metamorfismo regional, de anchura variable, con una dirección determinada principalmente por las siguientes localidades, de Norte a Sur:

- Río Pensilvania, veredas La Aurora y Sebastopol, aproximadamente 3 km al Norte del Río La Miel, donde se observó una zona de aproximadamente 600 m de ancho y numerosas fallas con zonas de brechamiento y milonitización, y donde la falla tiene todavía una expresión morfológica similar a la descrita por Feininger *et al.* (1970) y Feininger (1970).

- Una zona de aproximadamente 50 m a lo largo del cauce del Río La Miel, a la cota 1050 m.s.n.m., con intenso replegamiento y milonitización.

- En la cuchilla El Placer el esquisto cuarcítico ha sido cortado y afectado por fallamiento. Se observa aquí esta unidad con estructura de flujo, porcelanizada e intensamente replegada, lo que disminuye gradualmente hacia los lados, en una extensión de aproximadamente 100 metros.

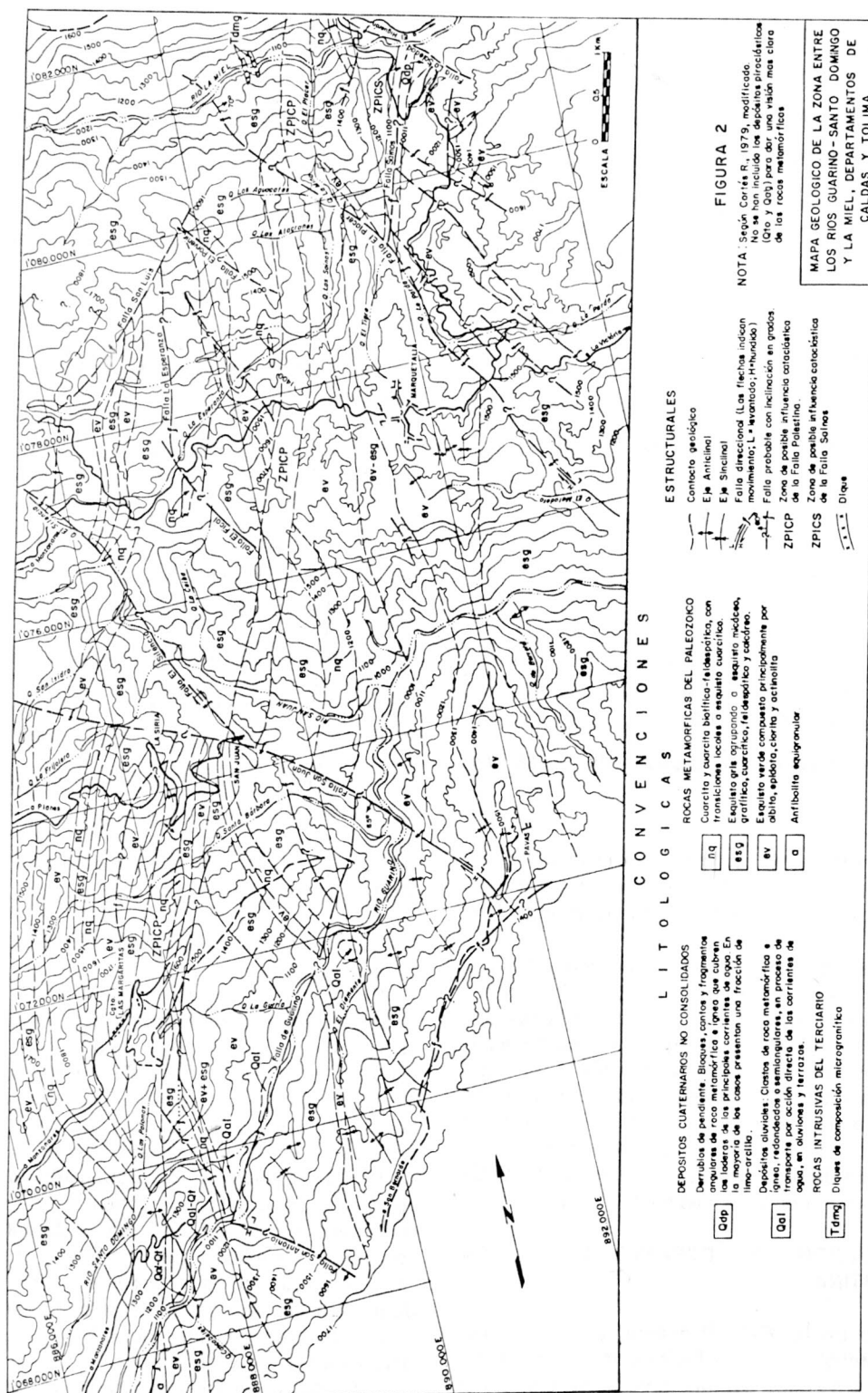
- En la Quebrada La Mina, en la ladera Sur de la cuchilla anterior, hay cataclasis similar a la anterior, que afecta el esquisto gráfítico con replegamiento intenso y meteorización profunda. Existe aquí una mina abandonada de plomo y estaño.

- A lo largo de las quebradas Los Alacranes y Los Aguacates hay zonas donde se observan replegamientos apretados.

- En la confluencia de las quebradas La Esperanza y Sainos, los esquistos gráfíticos tienen espejos de falla, fisibilidad combada, están altamente meteorizados, y tienen segregación de lentes y venas de cuarzo, en ocasiones concordantes y en otras transversales a la foliación. Las quebradas aquí forman angosturas de 2 a 3 metros y saltos de 10 a 15 metros.

- En la carretera La Quebra-Marquetalia se observó brecha cataclástica sin cohesión (harina de falla) en un espesor de 1.5 a 2.0 m., dentro de esquisto gráfítico con replegamientos, deformación y segregación de "augen" de cuarzo, en un espesor de 100 m. El río San Juan muestra replegamiento intenso asociado a varias zonas de brechamiento (de 0.5 a 1.0 m) y cambios bruscos en el rumbo de foliación.

- En la carretera San Juan-La Siria-Planes aflora cuarcita y esquisto cuarcítico con fracturación intensa, cambio de dirección del rumbo de la foliación en casi 90°, flexuras (monoclinales que desarrollan estructuras



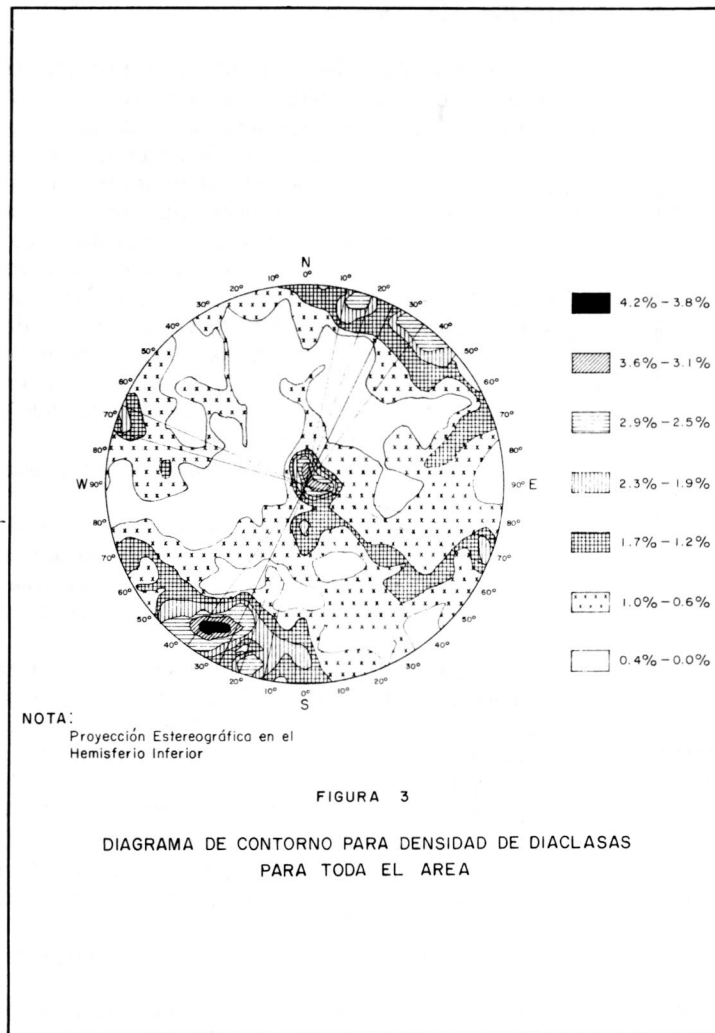


Figura 3. Diagrama de contorno para densidad de diaclasas para toda el área.

"en echelon" con rotación hacia el eje del fallamiento), milonitización y brechamiento intenso.

- En la desembocadura de la Quebrada Las Margaritas sobre la Quebrada Santa Bárbara, se observaron, en una zona de replegamiento intenso, clastos angulares con índice de metamorfismo dinámico en una zona de derrubios de pendiente. La Quebrada Santa Bárbara desarrolla angosturas y saltos hasta de 25 m y se observan allí brechas con espesores de 1.5 m, sin desplazamientos relativos aparentes.

- La carretera Hacienda Las Margaritas-Llanadas es la zona de mayor índice de metamorfismo dinámico, donde se reconoce más claramente su efecto sobre unidades cuarcíticas y micáceas.

- En la Quebrada La Gurría, 0.6 km al SW de la Hacienda Las Margaritas, hay una zona de fracturación con brecha cataclástica en cuarcita y esquistos verde, trituración de lentes de cuarzo, y milonitización asociada a replegamientos y diaclasamiento intenso. No se

observó movimiento relativo.

- En el río Santo Domingo se observa una brecha con espesores no mayores a 1.5 m, en zonas de altos esfuerzos sin movimiento relativo, y esquistos grafitosos con porfiroblastos de feldespatos.

Posiblemente por encontrarse cubierto por depósitos aluviales recientes, en el río Guarín no se observaron las características de las localidades anteriores. Sin embargo, dislocaciones a nivel microscópico observadas en los cristaloblastos del cuerpo de anfibolita en contacto con esquistos de menor grado metamórfico, indican la existencia de la zona de falla.

Existen además plegamientos locales, generalmente asociados a zonas de fallas, que rotan la dirección general de la foliación con respecto a la orientación regional desarrollada por las metamorfitas, y que corresponden a flexuras o sucesiones de pliegues sinformes y antiformes, dispuestas en forma de abanico, cuyos ejes axiales forman ángulo agudo con la zona de falla.

La decisión de interpretar el alineamiento de la Falla Palestina a lo largo de estas zonas, no excluye la posibilidad de otras alternativas; es posible inclusive que este alineamiento no corresponda a una sola falla sino a una serie de fallas. Sin embargo, se prefiere interpretar la tectónica regional como la expresión del extremo meridional de la Falla Palestina, donde su influencia sobre las rocas que afecta es menor que en su extremo septentrional según Feininger (1970).

La Falla Palestina en el área estudiada, tiene un trazo N15°E con buzamiento de 85° al W y vertical. Woodward-Clyde Consultants (1980), la observan, en el nororiente antioqueño, con dirección N15°E y buzamiento 65°E. En las

cercanías a la zona de influencia, algunas unidades muestran desviaciones o flexuras, lo que se interpreta como efectos de arrastre por fallamiento; sin embargo, es difícil de separar o conocer las causas exactas debido a que los esfuerzos causantes tanto del metamorfismo regional como del fallamiento, pudieron tener resultantes en dirección similar.

Otros efectos observados en la zona de influencia, como se anotó anteriormente, son variaciones en el alineamiento de la foliación con respecto a su dirección regional, replegamiento y fracturación tanto a nivel macroscópico como microscópico, espejos de falla, recristalización, mineralización, etc.

La Falla Palestina está desplazada por dos fallas (ver Figs. 2 y 4): la Falla El Placer, inmediatamente al Sur del río La Miel, con dirección N44°W y la Falla San Juan, al Sur del río San Juan, con dirección N62°W.

En la Falla El Placer se observaron zonas de fracturación, meteorización intensa, y espejos de falla en el

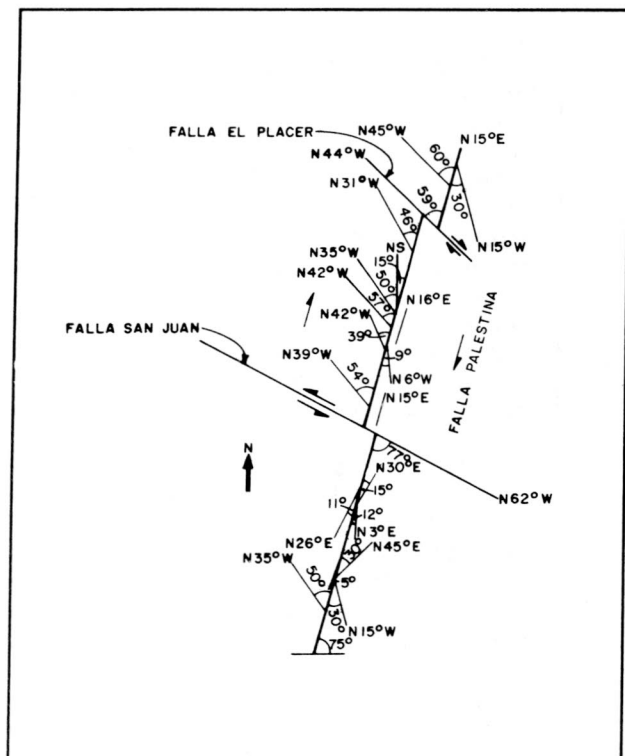


Figura 4. Relación de fallas menores con la Falla Palestina.

camino que conduce a la escuela El Placer. Las unidades litológicas están truncadas y hay un desplazamiento de alineación de la zona de cataclasis de la Falla Palestina hacia el oeste, como se comprobó en la parte media de las quebradas San Luis y Los Alacranes. No se puede concepcionar en detalle sobre su zona de influencia, dada la gruesa cubierta de depósitos cuaternarios que impidió observarla.

La Falla San Juan se localizó debido al desplazamiento de la zona de fracturación observada en la carretera San Juan-La Siria-Planes, con respecto al alineamiento de la Falla Palestina hacia el Norte. El desplazamiento ocasionado por la Falla San Juan ha sido inferido en 550 m aproximadamente. Su zona de influencia cataclástica parece ser bastante restringida.

Otras fallas menores que inciden de manera oblicua a la zona de influencia cataclástica de la Falla Palestina deben corresponder a fracturación generada como consecuencia del fallamiento regional. Sus zonas de cataclasis son de poco espesor y no presentan rasgos morfológicos que se pueden observar en longitudes mayores a los 220 m. Se reconocen en el terreno, por la presencia de brechas cataclásticas, zonas de replegamiento y discontinuidades en el rumbo regional y/o en las unidades litológicas observadas en carreteras y quebradas.

No se observaron aquí evidencias de actividad reciente.

5. ANALISIS TECTONICO

La Falla Palestina tiene un plano de deformación de corte con dirección N15°E, y buzamiento aproximado de 85° al W y desplazamiento dextralateral.

Como para complementar y entender en una forma más adecuada los efectos de la deformación causados por la Falla Palestina, es necesario conocer sus efectos secundarios, e. g. fracturas o fallas menores, diaclasamiento, deformación o flexuración de la masa rocosa en el área de influencia, etc.; se elaboró un diagrama de proyección estereográfica de contornos de igual densidad, basado en 479 diaclasas, medidas en toda la zona de interés (ver Fig.3), y un esquema en donde se aprecia distribución y orientación de las fallas menores o satélites de la Falla Palestina (ver Fig.4).

De los resultados de este procesamiento, se puede observar:

El diagrama de contornos para densidad de diaclasas (Fig.3), muestra el desarrollo de tres sistemas de diaclasas conjugadas y un sistema sin complemento; los cuatro relacionados con el fallamiento y distribuidos así :

Polos I-I': Conforman el mayor número de puntos y tienen rumbo entre N55°W-N65°W y S55°E-S65°E, con buzamiento entre 80° y 90° al NE y SW respectivamente, formando un ángulo entre 70° y 80° con el rumbo de la Falla Palestina.

Polos III-III': Entre N15°E - N23°E y S15°W - S23°W con buzamiento entre 80° y 90° en sentido NW y SE respectivamente, con dirección paralela a subparalela al principal plano de cizallamiento, en este caso la Falla Palestina.

Polo IV : Diaclasamiento horizontal a subhorizontal (hasta 10°).

El polo I-I' (ver Fig. 5) tiene un rumbo promedio de N60°W, y el polo II-II' de N75°W, lo que demuestra en general una disposición perpendicular al Polo III-III' y a la Falla Palestina. Esta disposición se puede interpretar o asociar a grietas o fisuras de corte generadas por los esfuerzos normales principales asociados al fallamiento principal.

El polo IV, horizontal y hasta de 10° de buzamiento, puede indicar muy posiblemente diaclasas de relajación litostática y/o esfuerzos posteriores al fallamiento principal, causados posiblemente por las Fallas San Juan y El Placer.

Las fallas menores o satélites (Fig.4) conforman una estructura en "espinas de pescado", con ángulos que varían desde 1° hasta 57° , sin producir desplazamiento de la falla, lo que implica que corresponden a una fracturación simultánea a la deformación o fallamiento regional.

Las fallas que desplazan a la Falla Palestina (El Placer y San Juan, Fig. 2 y 4) son obviamente posteriores a la deformación regional, o por lo menos corresponden a su etapa final. Se encuentran formando ángulos de 77° y 59° con la falla principal y sus desplazamientos son dextralateral y sinistrolateral, respectivamente.

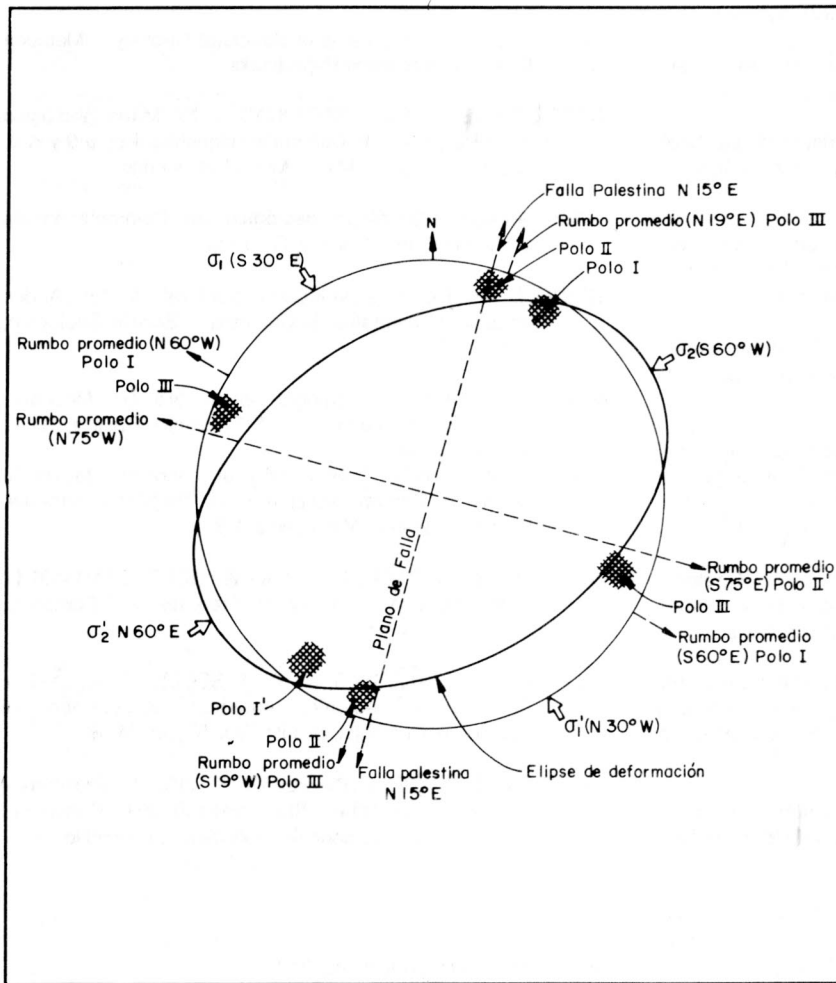


Figura 5. Diagrama de orientación promedio de la fracturación y de esfuerzos normales principales asociados a la Falla Palestina.

Los ejes principales de las rocas replegadas y/o flexuradas forman ángulos agudos con el eje principal de fallamiento (Fig. 2).

Las fallas menores o satélites tienen dirección subparalela a la Falla Palestina y al polo III-III', mientras que las fallas que desplazan a la falla principal tienen dirección subparalela a los polos I-I' y II-II'.

Todo lo anterior permite concluir que la Falla Palestina se generó por la acción de esfuerzos normales dispuestos así: Un esfuerzo normal principal (σ_1) con dirección N30°W-S30°E y a 45° del plano de falla, y con igual ángulo aproximadamente al rumbo de los polos I-I' y II-II'; un esfuerzo normal intermedio (σ_2), normal al anterior, y por lo tanto también a 45° de la falla y de la mayor cantidad de diaclasas (Polos I-I' y II-II'); y un esfuerzo normal menor (σ_3), dispuesto ortogonalmente a los anteriores, y muy variable según la cobertura o espesor de roca sobre cada uno de los sitios observados (ver Fig. 5).

Las diferencias en el ancho de la zona de influencia cataclástica de la Falla Palestina son explicables, porque litologías diferentes tienen comportamientos diferentes ante esfuerzos de iguales magnitudes y/o, como se mencionaba anteriormente, porque el comportamiento mecánico de las rocas es diferente según su grado de confinamiento (σ_1 vs σ_2 vs σ_3), en el momento que actuaron estos esfuerzos.

BIBLIOGRAFIA

BARRERO, D., ALVAREZ, J. & KASSEM, T. (1969): Actividad ígnea y tectónica en la Cordillera Central durante el Meso-Cenozoico.- Boletín Geológico Vol. XVII., Nos. 1-3, pp. 147-173.

BARRERO, D., VESGA, C. J. & PEREZ, H. (1969): Geología del valle del Río La Miel al suroeste de Norcasia, Caldas.- Inst. Nal. Inv. Geol. Min., Dir. Regional, Ibagué.

BARRERO, D. & VESGA, C. J. (1976): Mapa geológico del cuadrángulo K-9, Armero y parte Sur del J-9 La Dorada; escala 1:100.000.- Inst. Nal. Inv. Geol. Min.

BENZINGER, C. P. (1976a): Río La Miel project feasibility studies, report of geologic reconnaissance (June); Consorcio La Miel (tr. R. Quintero).- Estudios de factibilidad del Río La Miel, informe de reconocimiento geológico (Junio); Consorcio Río La Miel, inédito.

(1976b): Río La Miel feasibility studies, report of geologic reconnaissance (November); Consorcio Río La Miel (tr. R. Quintero).- Estudios de Factibilidad del Río La Miel, informe de reconocimiento geológico (Noviembre); Consorcio Río La Miel, inédito.

BOTERO, G. (1941): Formaciones geológicas de Antioquia.- Minería, Vol. XIX, Nos. 111 y 112, pp. 9080-9085.

BILLINGS, M. P. (1978): Structural geology : 2d. ed.- Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N. J.

CEDIEL, F., UJUETA, G. & CACERES, C. (1976): Mapa geológico de Colombia, escala 1:1'000.000.- Ed. Geotec.

CONSORCIO RIO LA MIEL (1976): Informe de geología No. 6 : Consorcio Río La Miel, inédito.

(1977): Desarrollo hidroeléctrico del Río La Miel y hoyas vecinas, contrato 3200, etapa A, Informe sobre Identificación y Evaluación de Posibles Aprovecha-

- mientos Hidroeléctricos: Inst. Col. En. Elect., inéditos.
- _____ (1978-1979) : Informes de geología Nos. 16, 17, 20, 22 y 27 : Consorcio Río La Miel, inéditos.
- _____ (1980): Desarrollo Hidroeléctrico del Río La Miel, Informe de Factibilidad Técnica, Proyecto Miel II, v. III, Inst. Col. En. Elect., inéditos.
- CORTES, R. (1979) : Cartografía geológica de superficie del alineamiento del túnel Río Guarínó - Río La Miel.- Trabajo Final, Univ. Nal. de Colombia, inédito.
- FEININGER, T. (1970): The Palestina fault, Colombia, Geological Society of America, Bulletin, Vol. 81, pp. 1201-1216.
- FEININGER, T., *et al* (1970) : Mapa geológico del Oriente del Departamento de Antioquia, Colombia (Cuadrángulo I-9 y partes de cuadrángulos H-9, H-10, I-10, J-9 y J-10), hoja No. 2, escala 1:100.000: Inst. Nal. Inv. Geol. Min.
- FEININGER, T., BARRERO, D., & CASTRO, N. (1972): Geología de parte de los departamentos de Antioquia y Caldas (sub - zona IIB), Boletín Geológico, Vol. XX, No. 2.
- GOODMAN, R. E. (1978): Report of trip to the Miel project, July 23 to 28, 1978; (tr. R. de la Espriella), Informe sobre el viaje al proyecto Miel, julio 23 a 28, 1978; Consorcio Río La Miel, inédito.
- HALL, R. B., *et al* (1970): Recursos minerales de parte de los departamentos de Antioquia y Caldas : Boletín Geológico, Vol. VXIII, No. 2, 90 p.
- HARDING, T. P. (1973): Newport-Inglewood Trend, California, an example of Wrenching style of deformation, American Association of Petroleum Geologists Bulletin, Vol. 57, No. 1, pp. 97-116.
- HILLS, E. S. (1969): Elements of Structural Geology : Methuen & Co. Ltd. & Science Paperbacks.
- INSTITUTO GEOLOGICO NACIONAL (s. f.): Mapa geológico de la República de Colombia, planchas J-8, J-9 y K-9, escala 1:100.000 : Minist. Min. y Pet., inédito.
- INGEOMINAS (1976): Mapa geológico de Colombia, escala 1:1'500.000: Inst. Nal. Inv. Geol. Min.
- IRVING, E. M. (1971): La evolución estructural de los Andes más septentrionales de Colombia : Boletín Geológico, Vol. XIX, No. 2.
- KERR, P. F. (1965) : Mineralogía óptica : 3rd. ed., McGraw-Hill Book Company, Inc. & Ediciones Castilla, S. A., Madrid, España.
- NELSON, W. (1962): Contribución al conocimiento de la Cordillera Central, sección entre Ibagué y Armenia, Boletín Geológico, Vol. X, Nos. 1-3.
- WILLIAMS, H., TURNER, F. J., & GILBERT, C. M. (1954): Petrography: 1st. ed., W. H. Freeman and Company, Inc., San Francisco.
- WILCOX, R. E., HARDING, T. P. & SEELY, D. R. (1973): Basic wrench tectonics, American Association of Petroleum Geologist, Bulletin, Vol. 57, pp. 74-96.
- WOODWARD-CLYDE CONSULTANTS (1980): Preliminary Seismic Hazard study, San Carlos Project, Colombia : Integral Ltda - Interconexión Eléctrica S. A., inédito.

Manuscrito recibido, Agosto de 1990