



## CARACTERISTICAS DEFORMACIONALES EN ROCAS HIPOABISALES DEL EVENTO COMBIA: NOROCCIDENTE DE LOS ANDES, ANTIOQUIA, COLOMBIA

V.A. Piedrahita<sup>1\*</sup>, G.M. Sierra<sup>1</sup>, R.S. Molina-Garza<sup>2</sup>, J.F Duque-Trujillo<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Ciencias de la Tierra, Universidad EAFIT, Medellín, Colombia.

<sup>2</sup> Centro de Geociencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Querétaro, México.

\* e-mail: vpiedra2@eafit.edu.co

### ABSTRACT

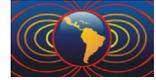
In order to identify deformational features in the Colombian territory, related to Mio-Pliocene tectonic activity of the Northern Andes, several paleomagnetic studies have been carried out in Mio-Pliocene hypabyssal rocks of a volcanic event known as the Combia event; which is recorded in the northern region of the Andean Valley between the Central and Western ranges of Colombia. Previous studies in paleomagnetism have identified rotations and tilting in hypabyssal rocks of the Combia event; the deformation is attributed to the obduction of the Chocó-Panamá Block terrain, in the Northwestern margin of the North Andean Block during the Late Neogene. However, these data averaged the secular variation sampling site level and does not apply structural adjustments to in situ magnetic directions. This paper identifies the deformational features in subvolcanic intrusives of the Combia Event; petrographic and magnetic mineralogy data is shown for this purpose, that support anisotropy of magnetic susceptibility and paleomagnetic data, from which, at least, one event of deformation previous to ~10 Ma can be identified. Likewise, the paleomagnetic directions obtained, discard rotations on vertical axis and restrict the deformation on hypabyssal rocks of the Combia Event to local tilting. Therefore, such deformation is not clear evidence of the alleged obduction of the Panamá Chocó Block terrain over the Northwestern margin of the North Andean Block during the Late Neogene.

**Keywords:** Combia event, Tectonics, Paleomagnetism.

### RESUMEN

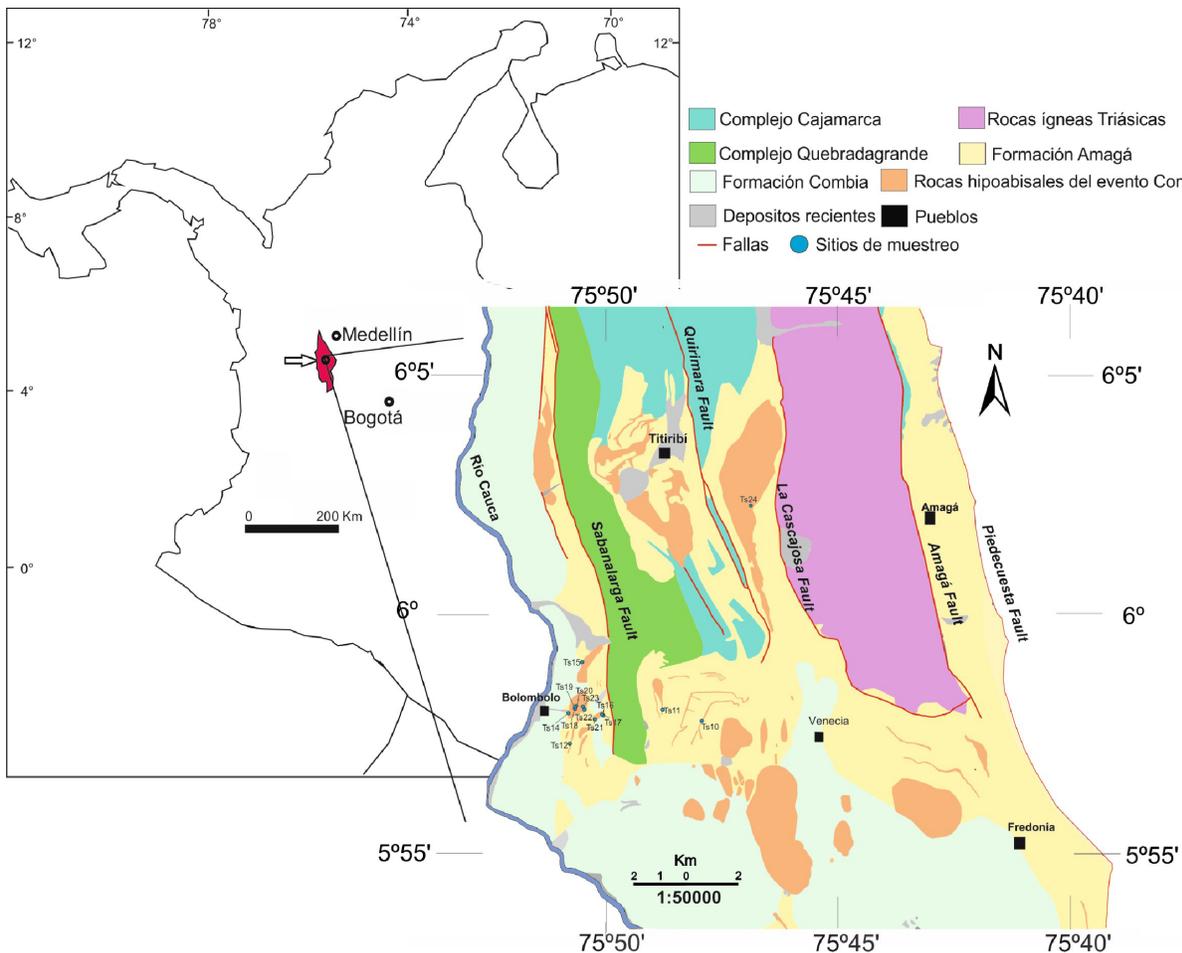
En búsqueda de identificar características deformacionales en el territorio colombiano, ligadas a la actividad tectónica Mio-Pliocena del Norte de los Andes, se han realizado estudios de paleomagnetismo en rocas hipoabisales Mio-Pliocenas de un evento volcánico denominado evento Combia; el cual se registra en la región septentrional del valle interandino entre las Cordilleras Central y Occidental de Colombia. Estudios previos en paleomagnetismo, identificaron rotaciones y basculamientos en rocas hipoabisales del evento Combia; deformación atribuida a la obducción de terrenos del Bloque Chocó-Panamá, al margen Noroccidental del Bloque Norandino durante el Neógeno tardío. Sin embargo, esos datos promedian la variación secular a nivel de sitio de muestreo y no aplican correcciones estructurales a las direcciones magnéticas in-situ. Este trabajo identifica los rasgos deformacionales en los intrusivos subvolcánicos del evento Combia; para ello se presentan datos de petrografía y mineralogía magnética, que apoyan datos de anisotropía de susceptibilidad magnética y paleomagnetismo, a partir de los cuales se observa al menos un evento de deformación anterior a ~10Ma. Así mismo, las direcciones paleomagnéticas obtenidas, descartan rotaciones según ejes verticales y restringen la deformación sobre las rocas hipabisales del evento Combia a basculamientos de nivel local, por lo cual esta deformación no es clara evidencia de la presunta obducción de terrenos del Bloque Panamá-Chocó, sobre el margen noroccidental del Bloque Norandino durante el Neógeno tardío.

**Palabras Clave:** Evento Combia, Tectónica, Paleomagnetismo.



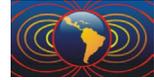
## Introducción

La región Noroccidental de los Andes se caracteriza por una intensa actividad tectónica Mio-Pliocena, en la que interaccionan terrenos pertenecientes al Bloque Norandino y al Bloque Panamá-Chocó (Cediel *et al.*, 2003). La actividad tectónica de esta área generó rasgos deformacionales al interior del territorio colombiano; parte de los cuales estarían grabados en las rocas situadas en el valle interandino entre las Cordilleras Central y Occidental de Colombia (Taboada *et al.*, 2000; Suter *et al.*, 2008). Al interior de este valle se encuentran una serie de cuencas sedimentarias de carácter extensional, que tienen su evolución ligada con la actividad tectónica Cenozoica del Noroeste de Suramérica y con el sistema de fallas Cauca-Romeral (Sierra y Marín-Cerón, 2011), un sistema compuesto por la confluencia de dos fallas de basamento, que atraviesan la región central del territorio colombiano, la falla Cauca y la falla Romeral (Kammer, 1993).



**Figura.1.** Localización de la Cuenca de Amagá y mapa geológico del área de estudio.

En la región norte del valle interandino, se encuentra la Cuenca de Amagá (Fig. 1), una cuenca Cenozoica rellena por rocas sedimentarias e ígneas y compuesta por un basamento de rocas cretácicas de afinidad oceánica (Complejo Quebradagrande), metamorfitas Paleozoicas de bajo grado (Complejo Cajamarca) y rocas ígneas triásicas. El relleno sedimentario de la Cuenca de Amagá, corresponde en parte a la Fm. Amagá; una unidad de edad Oligoceno-Mioceno, compuesta por sedimentitas de afinidad continental (Calle y González, 1980). En discordancia con la Formación Amagá, se encuentran una serie de rocas volcánoclasticas pertenecientes al Evento Combia, un evento volcánico que tiene su origen en la acreción Mio-Pliocena de terrenos del bloque Chocó-Panamá, al margen Continental del Norte de Suramérica (Duque-Caro, 1990; Cediel *et al.*, 2003). El evento Combia también se caracteriza por la presencia de rocas hipabisales, las



cuales intruyen la cubierta sedimentaria de la Cuenca de Amagá (Calle y González, 1980) y se encuentran emplazadas en paralelo con fallas N-S (Fig. 1), evidenciando la probable afectación de la actividad tectónica Mio-Pliocena sobre las rocas del valle interandino.

En búsqueda de identificar rasgos deformacionales en el valle interandino entre las Cordilleras Central y Occidental, se han realizado estudios de paleomagnetismo en las rocas hipabisales del evento Combia. Estudios previos (*e.g.* MacDonald, 1980; MacDonald *et al.*, 1996) han identificado rotaciones y basculamientos para estas rocas, en diferentes sectores de la Cuenca de Amagá, atribuyendo estas deformaciones a la presunta obducción de uno de los terrenos del bloque Panamá-Chocó, sobre el margen Noroccidental del bloque Norandino durante el Neógeno tardío (Cediél *et al.*, 2003). Sin embargo, los datos de paleomagnetismo a partir de los cuales se hace esta inferencia, promedian la variación secular a nivel de sitio de muestreo y no aplican correcciones estructurales a la magnetización in-situ obtenida en los diferentes cuerpos. Debido a lo anterior, este trabajo presenta datos de paleomagnetismo, fábrica magnética, petrografía y mineralogía magnética en las rocas hipabisales del evento Combia, en búsqueda de identificar características deformacionales ligadas a la actividad tectónica Mio-Pliocena del Noroeste de los Andes.

### **Objetivos**

Identificar la afectación de la actividad tectónica del Noroeste de los Andes, en el sector interior del territorio colombiano.

Caracterizar rasgos deformacionales en las rocas hipabisales del Evento Combia.

Identificar eventos deformacionales al interior de la Cuenca de Amagá.

### **Metodología**

**Petrografía:** Se realizaron estudios de petrografía en un microscopio Olympus BX43, buscando identificar texturas de deformación en las rocas hipabisales del evento Combia.

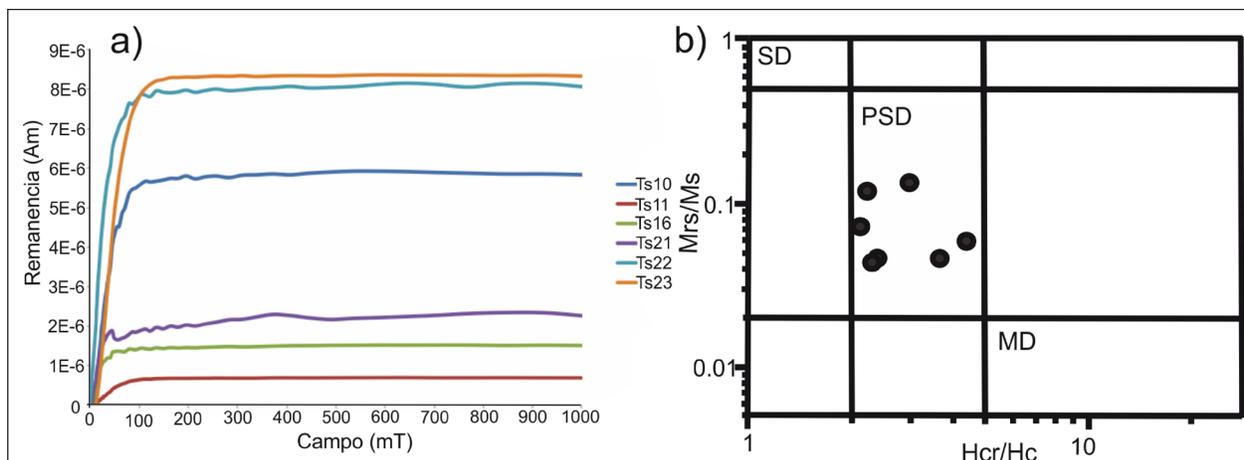
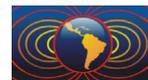
**Mineralogía magnética:** Se realizaron mediciones de histéresis magnética y se obtuvieron curvas de adquisición de magnetización remanente isothermal (IRM) con un Micromag AGM 2900 de Princeton Instruments, aplicando campos de saturación de 1T sobre fragmentos de roca con masa cercana a 0.5 mg.

**Anisotropía de susceptibilidad magnética (AMS):** En búsqueda de identificar la fábrica magnética de las rocas hipabisales del evento Combia, se realizaron medidas de susceptibilidad magnética en 15 direcciones preestablecidas (Jelinek, 1981) sobre núcleos de roca orientados, en un Kappabridge Agico KLY-3.

**Paleomagnetismo:** Los núcleos de roca orientados fueron sometidos a un proceso de demagnetización gradual, con un desmagnetizador de campos alternos AGICO LDA-3A; posteriormente cada muestra fue medida en un magnetómetro de giro Agico JR5. Se identificó la composición vectorial del magnetismo natural remanente (MRN) a través de diagramas ortogonales de demagnetización (Zijderveld, 1967), utilizando el método de componentes principales (Kirschvink, 1980). Finalmente, se realizó el cálculo estadístico de Fisher (1953) para conocer la declinación e inclinación media por cada sitio y estimar la dispersión y el cono de confianza.

### **Resultados**

Las características petrográficas de las rocas hipabisales del evento Combia, muestran variedad composicional y textural entre los diferentes cuerpos, sin embargo, en ninguno de ellos, se encuentran rasgos de deformación en estado dúctil o frágil. Aunque existan variaciones composicionales entre diferentes sitios, los minerales portadores de la magnetización y susceptibilidad magnética, son caracterizados como materiales blandos, llegando a la saturación magnética antes de los 500mT (Fig. 2 a) (Ribeiro *et al.*, 2015). El comportamiento paleomagnético de las muestras es estable, caracterizándose por partículas de dominio pseudo-sencillo (Fig. 2b) (Dunlop, 2002).



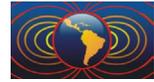
**Figura.2.** (a) Curvas de adquisición de magnetización remanente isothermal (IRM). (b) Gráfica de valores obtenidos para la relación de saturación magnética remanente y magnetización de saturación ( $M_{rs}/M_r$ ) vs. campo coercitivo de remanencia y campo coercitivo ( $H_{cr}/H_c$ ) (Dunlop, 2002).

**Tabla.1.** Datos de anisotropía de susceptibilidad magnética. Abreviaturas: N= Número de muestras, Pj= Grado de anisotropía, T= Simetría de forma, Rumbo/Buzamiento= Estratificación de las capas de la roca caja de la F. Amagá,  $K_1$ = Eje máximo de susceptibilidad,  $K_2$ = Eje intermedio de susceptibilidad,  $K_3$ = Eje mínimo de susceptibilidad.

Sitio	N	Pj	T	Rumbo/ Buzamiento	$k_1$ Dec/Inc (°)	$k_2$ Dec/Inc (°)	$k_3$ Dec/Inc (°)
Ts10	8	1.027	0.378	60/15	77.4/3.9	168.1/9.3	324.9/79.9
Ts11	12	1.073	-0.309	35/30	102.0/31.2	210.3/27.3	332.8/46.2
Ts12	11	1.012	-0.458	355/60	106.9/25.7	13.8/6.4	270.9/63.4
Ts14	11	1.025	-0.186	355/60	287.9/27.7	189.3/15.9	72.9/57.3
Ts15	8	1.009	0.356	9/50	38.1/37.4	197.4/50.8	300.2/10.2
Ts16	13	1.044	-0.305	355/60	157.6/43.0	248.4/0.8	339.3/47.0
Ts17	13	1.035	0.453	355/60	261.3/40.7	151.5/21.6	40.9/41.6
Ts18	14	1.015	0.165	355/60	257.3/12.9	164.3/12.7	31.2/71.7
Ts19	12	1.014	-0.155	355/60	28.9/2.7	119.3/8.6	281.3/81
Ts20	9	1.020	-0.125	355/60	15.8/11.9	108.4/11.8	241.9/73.1
Ts21	17	1.037	0.050	70/40	202.0/10.9	296.4/21.7	87.0/65.4
Ts22	19	1.011	-0.120	355/60	343.3/11.1	112.9/72.9	250.7/12.9
Ts23	14	1.007	-0.322	355/60	127.8/29.4	266.0/52.9	25.6/20.5
Ts24	11	1.090	-0.038	355/45	63.3/9.5	156.1/16.7	304.7/70.6

Los resultados de anisotropía de susceptibilidad magnética, muestran fábricas magnéticas de origen primario, caracterizadas por valores de grado de anisotropía (Pj) cercano a 1 (Tarling y Hrouda, 1993), sin embargo, la disposición de la foliación magnética, respecto a la dirección de estratificación de la roca caja de la F. Amagá caracteriza que algunas de las rocas hipabisales del evento Combia intruyeron capas deformadas, identificando rasgos de deformación previos a la edad Mio-Pliocena del evento Combia (Tabla 1).

Los resultados de paleomagnetismo obtenidos fueron promediados e interpretados realizando diferentes correcciones estructurales, una de ellas con la estratificación de la F. Amagá (roca caja de los intrusivos) y la otra con el plano de foliación magnética obtenido en las rocas hipabisales del evento Combia (Tabla 2).



**Tabla.2.** Datos paleomagnéticos. Abreviaturas: N= Número de especímenes, Dec(°)= Declinación magnética, Inc(°)= Inclinación magnética, alpha95= 95% de intervalo de confiabilidad, K(°)= Parámetro de precisión de Fischer.

Total	N	Dec (°)	Inc (°)	$\alpha_{95}$ (°)	K
In-Situ	6	6.2	-4.6	17.9	14.99
Corrección-Planos de estratificación	6	358.4	-6.1	20.7	11.41
Corrección-Planos de foliación magnética	6	4.3	14.5	19.0	13.44
Seleccionados	6	4.2	10.4	17.7	15.26

A partir de la obtención de direcciones magnéticas con diferentes sistemas geográficos, y su comparación con las direcciones esperadas de  $D = 357^\circ$  e  $I = 6.3^\circ$  ( $A_{95} = 2^\circ$ ,  $K = 93.6$ ) para las coordenadas del área de estudio (Besse y Courtillot, 2003), se observa que la deformación en las rocas hipabisales del evento Combia se restringe a basculamientos de nivel local y no existen fundamentos para argumentar rotaciones según un eje vertical, tal como se sugiere en trabajos previos.

### Conclusiones

La deformación sobre las rocas hipabisales del evento Combia se restringe a basculamientos de nivel local, por lo cual, este evento no es evidencia de la presunta obducción de algunos terrenos del bloque Panamá-Chocó, sobre el margen occidental del Bloque Norandino durante el Neogeno Tardío.

Se registra al menos un evento de deformación previo a las intrusiones subvolcánicas Mio-Pliocenas del evento Combia.

Se registra actividad del sistema de fallas Cauca-Romeral posterior al Mio-Plioceno, asociada con el basculamiento de las rocas intrusivas del evento Combia.

### Bibliografía

- Besse, J., Courtillot, V., 2003. Correction to “Apparent and true polar wander and the geometry of the geomagnetic field over the last 200 Myr”, *Journal of Geophysical Research*, 108, No B10, 2469, doi:10.1029/2003JB002684.
- Calle, B., González, H. 1980. Geología y geoquímica de la plancha 166, Jericó Escala 1:100000. Memoria explicativa. Ingeominas.
- Cediel, F., Shaw, R. P., And Cáceres, C., 2003. Tectonic Assembly of the Northern Andean Block in: Bartolini, C., Buffler, R. and Blickwede, J., eds., *The Circum-Gulf of México and Caribbean: Hydrocarbon habitats, basin formation and plate tectonics*, American Association of Petroleum Geologists' Memoir 79, Digital Edition, 815-848.
- Dunlop, D. J., 2002, Theory and application of the Day plot (Mrs/Ms versus Hcr/Hc). 1. Theoretical curves and tests using titanomagnetite data: *Journal of Geophysical Research* 107, NO. B3, 2056, doi:10.1029/2001JB000486.
- Duque-Caro, H., 1990. The choco block in the northwestern corner of South America: Structural, tectonostratigraphic, and paleogeographic implications. *Journal of South American Earth Sciences*, 3, 71-84.
- Fisher, R. A., 1953. Dispersion on a sphere. *Proceedings of the Royal Society of London Series A* 217, 295-305.
- Jelinek, V., 1981. Characterization of the magnetic fabric of rocks: *Tectonophysics*, 79, 63.
- Kammer, A., 1993, Las fallas de Romeral y su relación con la tectónica cordillera central: *Geología Colombiana*, 18, 27-46.



- Kirschvink, J. L., 1980. The least-squares line and plane and the analysis of paleomagnetic data: examples from Siberia and Morocco. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society* 62, 699–718.
- MacDonald, W. D., 1980, Anomalous Paleomagnetic Directions in the Late Tertiary Andesitic Intrusions of the Cauca Depression, Colombian Andes: *Tectonophysics*, 68, 339-348.
- MacDonald, W. D., Estrada, J., Sierra, G., González, H., 1996. Late Cenozoic tectonics and paleomagnetism of North Cauca Basin intrusions, Colombian Andes: Dual rotation modes: *Tectonophysics*, 261, 277-289.
- Ribeiro, J., Sant’Ovaia, H., Gomes, C., Ward, C., Flores, D., 2015. Mineralogy and Magnetic Parameters of Materials Resulting from the Mining and Consumption of Coal from the Douro Coalfield, Northwest Portugal, Coal and Peat Fires: A Global Perspective Edited by Glenn B. Stracher, Anupma Prakash and Ellina V. Sokol Copyright © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-444-59509-6.00018-1>.
- Sierra, G. M., Marín-Cerón, M. I., 2011. Amagá. Cauca and Patía Basins. Petroleum geology of Colombia. Edit Fabio Cediél., v. 2. Fondo editorial Universidad EAFIT. Medellín, Colombia.
- Suter, F., Sartori, M., Neuwerth, R., Gorin, G., 2008. Structural imprints at the front of the Chocó-Panamá indenter: Field data from the North Cauca Valley Basin, Central Colombia, *Tectonophysics* doi:10.1016/j.tecto.2008.07.015.
- Taboada, A., Rivera, L. A., Fuenzalida, A. Cisternas, A., Philip, H. Bijwaard, H., Olaya, J., Rivera, C., 2000. Geodynamics of the Northern Andes: Subductions and Intracontinental deformation (Colombia), *Tectonics*, 19, 787–813.
- Tarling, D. H., Hrouda, F., 1993. The magnetic anisotropy of rocks. Chapman & Hall, Great Britain.
- Zijderveld, J.D.A., 1967. A. C. demagnetization of rocks: analysis of results. In: Collinson, D.W., Creer, K.M., Runcorn, S.K. (Eds.), *Methods in Rock Magnetism and Paleomagnetism*. Elsevier, Amsterdam, 254–286.