



Paleomagnetismo y Mineralogía Magnética en las unidades del Mesozoico de Bucaramanga y el Macizo de Floresta

ROSA CAROLINA AYALA-CALVO¹

GABRIEL EDUARDO VELOZA-FAJARDO¹

GERMÁN BAYONA¹

MAYELI GÓMEZ-CASALLAS²

AUGUSTO ERNESTO RAPALINI³

VINCENZO COSTANZO-ÁLVAREZ⁴

MILAGROSA ALDANA⁴

MARTIN CORTES¹

¹Corporación Geológica ARES. Bogotá, Colombia.

Email: caroayala_calvo@yahoo.es, gvelozaf@yahoo.es, gbayona@cgaes.org, mcortes@cgaes.org

²INGEOMINAS, Bogotá, Colombia.

Email: magomez@ingeminas.gov.co

³Universidad de Buenos Aires, Argentina.

Email: rapalini@gl.fcen.uba.ar

⁴Universidad Simón Bolívar. Caracas, Venezuela.

Email: vcosta@usb.ve, maldana@usb.ve

AYALA-CALVO, R.; VELOZA-FAJARDO, G.; BAYONA, G.; GÓMEZ-CASALLAS, M.; RAPALINI, A.; COSTANZO-ÁLVAREZ, V.; ALDAN, M. & CORTES, M. (2005): Paleomagnetismo y Mineralogía Magnética en las unidades del Mesozoico de Bucaramanga y el Macizo de Floresta.- GEOLOGIA COLOMBIANA, 30, pp. 49 - 66, 9 Figs., Bogotá.

RESUMEN

Análisis de paleomagnetismo y de mineralogía magnética en rocas del Jurásico y Cretácico Inferior del área de Bucaramanga (Fms. Bocas, Jordán, Girón y Los Santos), y del sur del Macizo de Floresta (Fms. Girón y Tibasosa) permitieron determinar componentes característicos y secundarios de magnetización, y establecer el mineral asociado a dicho componente magnético. Componentes secundarios con una dirección paralela a la dirección del campo magnético actual fueron aislados en todas las unidades y en rango de temperaturas bajas a intermedias (<620°C) y/o por campos alternos. Componentes característicos (de posible origen primario) fueron aislados en casi la totalidad de las unidades muestreadas con un rango de temperaturas de desbloqueo entre 550° a 700°C, con excepción de las calizas de la Fm. Tibasosa cuyo rango fue entre 300° y 500°C. La edad relativa de magnetización para estos componentes se obtuvo mediante las pruebas de pliegue, conglomerados, discordancia y contacto. El componente característico aislado en la Fm. Jordán (Jurásico Medio?) evidencia rotaciones antihorarias de 96±16° de bloques limitados por fallas en el área de la Mesa de Los Santos con respecto al sector de Rionegro. Adicionalmente, el cambio abrupto de espesor estratigráfico de la Fm. Girón (de 100m a > 4 km) entre estas dos áreas soporta la posibilidad de rotación y/o basculamiento de bloques tectónicos previos a los eventos de magnetización de la Fm. Girón. Los componentes magnéticos característicos (primarios) aislados en ambos sectores muestran una clara diferencia entre las paleolatitudes del Jurásico Temprano- Cretácico Temprano con las determinadas para unidades de edad similar en el cratón, sugiriendo así posibles movimientos translacionales de bloques con respecto a la margen occidental del Cratón Suramericano.

Palabras Clave: Bucaramanga, Cretácico Temprano, Jurásico, Macizo de Floresta, Paleomagnetismo.

ABSTRACT

Paleomagnetic and magnetic mineralogy analyses from Jurassic – Lower Cretaceous rocks (Bocas, Jordán, Girón, Los Santos Fms) in the Bucaramanga area and in the southern segment of the Floresta Massif (Girón and Tibasosa Fms.) allow to determine characteristic (primary) and secondary magnetic components and to identify the carrying minerals. Secondary components have directions parallel to the current magnetic field direction; they were isolated in all the units and in unblocking temperature below 620°C or by Alternating Field. Characteristic (primary) components were isolated at unblocking temperatures ranging between 550° and 700°C, with exception of limestones of the Tibasosa Formation that had unblocking temperatures between 300° and 500°C. The relative time of magnetization was constrained from fold, conglomerate, unconformity, and baked contact tests. The characteristic component isolated in the Middle(?) Jurassic Jordan Fm. constrains 96±16°

counterclockwise rotation of fault-bounded blocks at La Mesa de Los Santos area with respect to the Rionegro area. In addition, abrupt thickness change in the Girón Fm. from 100m to >4 km between those areas support the possibility of rotation and/or tilting of tectonic blocks, previous to the time of magnetization of the Girón Fm. The characteristic (primary) magnetic components isolated in both areas show a noticeable difference among the Early Jurassic-Early Cretaceous paleolatitudes and paleolatitudes calculated by other authors in rocks of the same age in the stable craton, suggesting possible translations of these blocks with respect to the western plate margin of South America.

Key words: Bucaramanga, Early Cretaceous, Floresta Massif, Jurassic, Paleomagnetism.

INTRODUCCION

Son pocos los trabajos de paleomagnetismo al este del sistema de fallas de Romeral en Colombia. Esta técnica permite posicionar en coordenadas de paleolatitud paleomagnética bloques tectónicos y cuantificar translaciones, rotación y basculamiento de bloques. Por consiguiente, los datos suministrados por estudios paleomagnéticos nos permiten tener una mayor precisión y conocimiento de la evolución y marco tectónico de un área, y es un soporte cuantitativo en el proceso de retrodeformación de sábanas de cabalgamiento curvas o elaboración de mapas palinostáticos.

Estudios anteriores de paleomagnetismo han aislado con relativo éxito componentes de magnetización en rocas del Mesozoico, pero la interpretación de esos datos es aún controversial. Estos estudios se han realizado en la Guajira (MacDonald & Opdike 1972), Bucaramanga (Creer 1970), Andes de Mérida (Castillo *et al.* 1991), Macizo de Santander (Hargraves *et al.* 1984), Serranía de Perijá (Maze & Hargraves 1984, Gose *et al.* 2004), y la Sierra Nevada de Santa Marta (MacDonald & Opdyke 1984) (Fig. 1A). Los datos adquiridos en la Serranía de Perijá, Macizo de Santander y la Guajira documentan rotaciones tectónicas mediante el análisis de componentes magnéticas características en rocas sedimentarias y volcánicas del Jurásico Superior y Cretácico. Los otros estudios sugieren que no hay rotaciones de bloques, y que el cratón Suramericano y terrenos al Oriente de la paleosutura de Romeral no han tenido movimientos paleolatitudinales significativos desde el Jurásico (?) (Castillo *et al.* 1991).

En el presente trabajo: (1) se documenta componentes de magnetización de las formaciones Jordán, Girón, Tibasosa y Los Santos; (2) se establece el tiempo relativo de magnetización a partir de pruebas de campo, tales como prueba de pliegue, prueba de conglomerados y prueba de contacto; (3) se determina la mineralogía magnética de estos componentes; (4) se define los movimientos de rotación, basculamiento y/o translación de bloques limitados por fallas; y (5) se plantean hipótesis acerca del origen de dichos movimientos.

LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO Y MARCO GEOLÓGICO

En este estudio se analizaron las unidades del Jurásico Inferior(?) al Cretácico Inferior, expuestas al occidente de la Falla de Bucaramanga (Formaciones Bocas, Jordán, Girón y Los Santos) y en el Macizo de Floresta (Formaciones Girón y Tibasosa), ambas localidades en la zona axial de la Cordillera

Oriental de Colombia (Fig. 1A). Las unidades sedimentarias Jordán y Girón fueron seleccionadas debido a su coloración roja, infiriendo un alto contenido de minerales magnéticos; las otras unidades se seleccionaron con el criterio de establecer componentes para la prueba de la discordancia. La litología en la cual se tomaron las muestras para análisis paleomagnéticos corresponde principalmente a lodolitas, areniscas muy finas y arcillolitas, además de calizas y algunos cuerpos ígneos (basaltos y granitos), ya que estas rocas son las más propicias para dichos análisis.

Área de Bucaramanga

En esta localidad se definieron estructuralmente dos sectores, denominados La Mesa de Los Santos y Rionegro, ambos ubicados al oeste de la Falla de Bucaramanga (Fig. 1B). Las unidades aflorantes en estos dos sectores correspondientes al Jurásico, están representadas por las Formaciones Bocas, Jordán y Girón, así mismo las rocas del Cretácico Inferior incluyen las areniscas de la Formación Los Santos. La Formación Bocas, asignada al Jurásico Inferior con restos de plantas (Remy *et al.* 1975) consiste de una secuencia de limolitas oscuras, lodolitas y arcillolitas con un espesor aproximado de 590m (Ward *et al.* 1973). La Formación Jordán suprayace la Formación Bocas y consiste de dos conjuntos, uno inferior compuesto de areniscas, lodolitas gris verdoso y algunas capas conglomeráticas con estratificación cruzada, y uno superior compuesto por limolitas de color uniforme marrón rojizo y areniscas de grano muy fino (Cediel 1968). Capas de rocas volcánicas silíceas se han reportado en esta unidad (Cediel 1968). En este artículo se reporta la presencia de un nivel de basaltos en el sector de Rionegro (Lámina 1, Foto 3). La Formación Girón suprayace discordantemente a la Formación Jordán, con una angularidad local entre 10-15° (Ward *et al.* 1973). Esta Formación incluye una potente sucesión de areniscas arcósicas y areniscas conglomeráticas con intercalaciones de capas de limolitas de color entre rojo grisáceo y marrón rojizo oscuro. Su espesor cambia entre bloques limitados por fallas y varía desde decenas de metros en la Mesa de los Santos a más de 4 km en su sección tipo en el Río Lebrija (Cediel 1968). A la Formación Girón se le asigna una edad Jurásico Superior con base en ostrácodos (Rabe 1977) y palinomorfos (Pons 1982). La Formación Los Santos (sensu Laverde 1985 y Etayo 1989) consiste de una secuencia de areniscas de grano fino amarillas-rojizas a marrón rojiza pálida con intercalaciones de lodolitas marrón rojizas arenosas. Esta unidad reposa sobre una superficie levemente discordante con la Formación Girón en el área de La Mesa de los Santos (Julivert *et al.* 1964); Etayo & Rodríguez (1985) le asignan una edad berriásiana.

Fig. 1. (A) Localización de las áreas de estudio en la zonal axial de la Cordillera Oriental; (B) Mapa geológico del área de Bucaramanga; (C) Mapa geológico del Macizo de Floresta. Los sectores de estudio y sitios paleomagnéticos están indicados en B y C, o en más detalle en las Figs. 2 y 3.

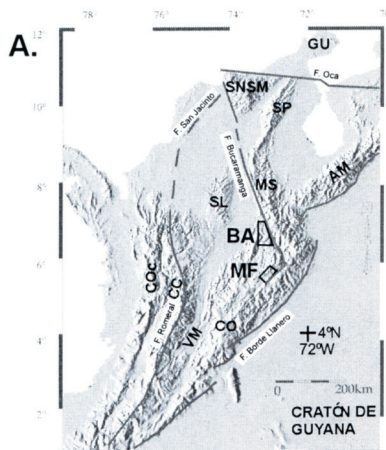
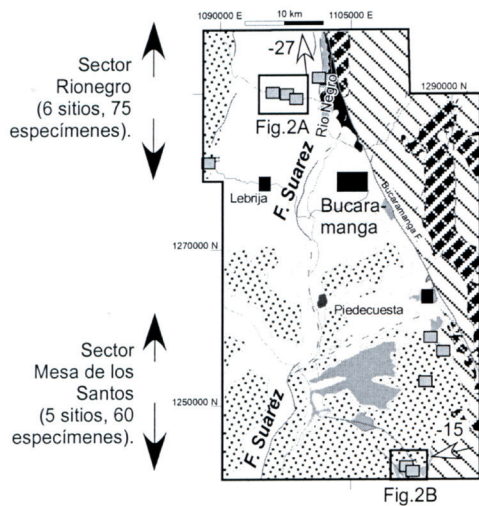


Figura 1. (A) Localización de las áreas de estudio en la zonal axial de la Cordillera Oriental; (B) Mapa geológico del área de Bucaramanga; (C) Mapa geológico del Macizo de Floresta. Los sectores de estudio y sitios paleomagnéticos están indicados en B y C, ó en más detalle en las Figs. 2 y 3.

AB - Área de Bucaramanga; **MF** - Macizo de Floresta;
AM- Andes de Mérida; **CC** - Cordillera Central; **CO** - Cordillera Oriental; **COc** - Cordillera Occidental; **GU**-Guajira; **MS** - Macizo de Santander; **SL** - Serranía de San Lucas; **SNSM**- Sierra Nevada de Santa Marta; **SP** - Serranía de Perijá ; **VM**- Valle del Magdalena.

B. BUCARAMANAGA (BA-11 sitios)
(modificado de Ayala et al, 2005)



CONVENCIONES

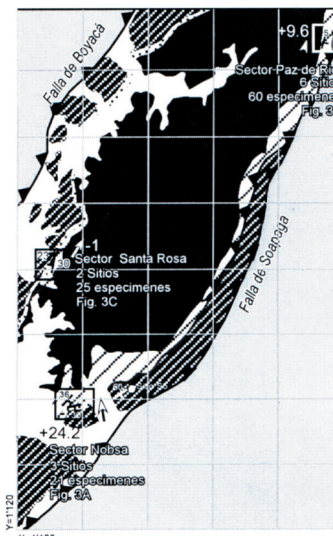
Bucaramanga

- Fallas
- - - Fallas inferidas
- Sitio
- Cuaternario
- ▨ Cretácico Inferior (Incluye la Fm. Los Santos)
- ▩ Intrusivos (Jurásico)
- Fm. Girón (Jurásico)
- ▨ Fm. Jordán (Jurásico)
- ▩ Fm. Bocas (Jurásico) y Paleozoico
- ▨ Macizo de Santander
- 27- Dirección característica de la Fm. Jordán

Macizo de Floresta

- Cuaternario
- Terciario
- ▨ Cretácico medio -superior
- ▩ Fm. Tibasosa
- ▨ Fm Girón
- ▩ Paleozoico
- +24- Dirección media del componente de magnetización característico de la Fm. Girón
- ▾ Falla Inversa

C. MACIZO DE FLORESTA (MF-11 sitios)
(modificado de Veloza et al, 2005)



Los sitios de muestreo se encuentran en dos dominios estructurales (Fig. 1B). El sector Rionegro está limitado al este por la Falla de Bucaramanga, y es en este sector donde se presenta una complejidad estructural relacionada a las fallas de Río Negro y la Plata, las cuales son subparalelas a la Falla de Bucaramanga (Fig. 1B). La Formación Girón expuesta en el sector de Rionegro supera los 4 km de espesor, presenta pliegues de amplitud de algunos km (Fig. 2A), está afectada por fallas con variada orientación (Ward *et al.* 1973), y se extiende en una faja con dirección N-NE paralela a los afloramientos del Cretácico y Terciario del flanco este del Sinclinal de Nuevo Mundo. El sector de la Mesa de los Santos está limitado al oeste por la Falla de Suárez y al este por la Falla de Bucaramanga (Fig. 1B). En esta área, las capas tienen buzamientos entre 0-25° al oeste

y no presenta fuerte estructuración ni fallamiento considerable (Lámina 1, Foto 1; Fig. 2B). Cuerpos intrusivos de composición granítica a granodiorítica y edad Jurásica (Ward *et al.* 1973) cortan unidades del Paleozoico al Jurásico.

Macizo de Floresta

En el Macizo de Floresta se estudiaron los sectores de Paz de Río, Santa Rosa y Nobsa, ubicados entre las Fallas de Boyacá y Soápage (Fig. 1C). Las unidades muestreadas en estos tres sectores corresponden a la Formación Girón, de posible edad Jurásico Superior, y la Formación Tibasosa, cuya parte inferior es de edad Valanginiano (Alzate & Bueno 1994). La Formación Girón es una sucesión que reposa en discordancia

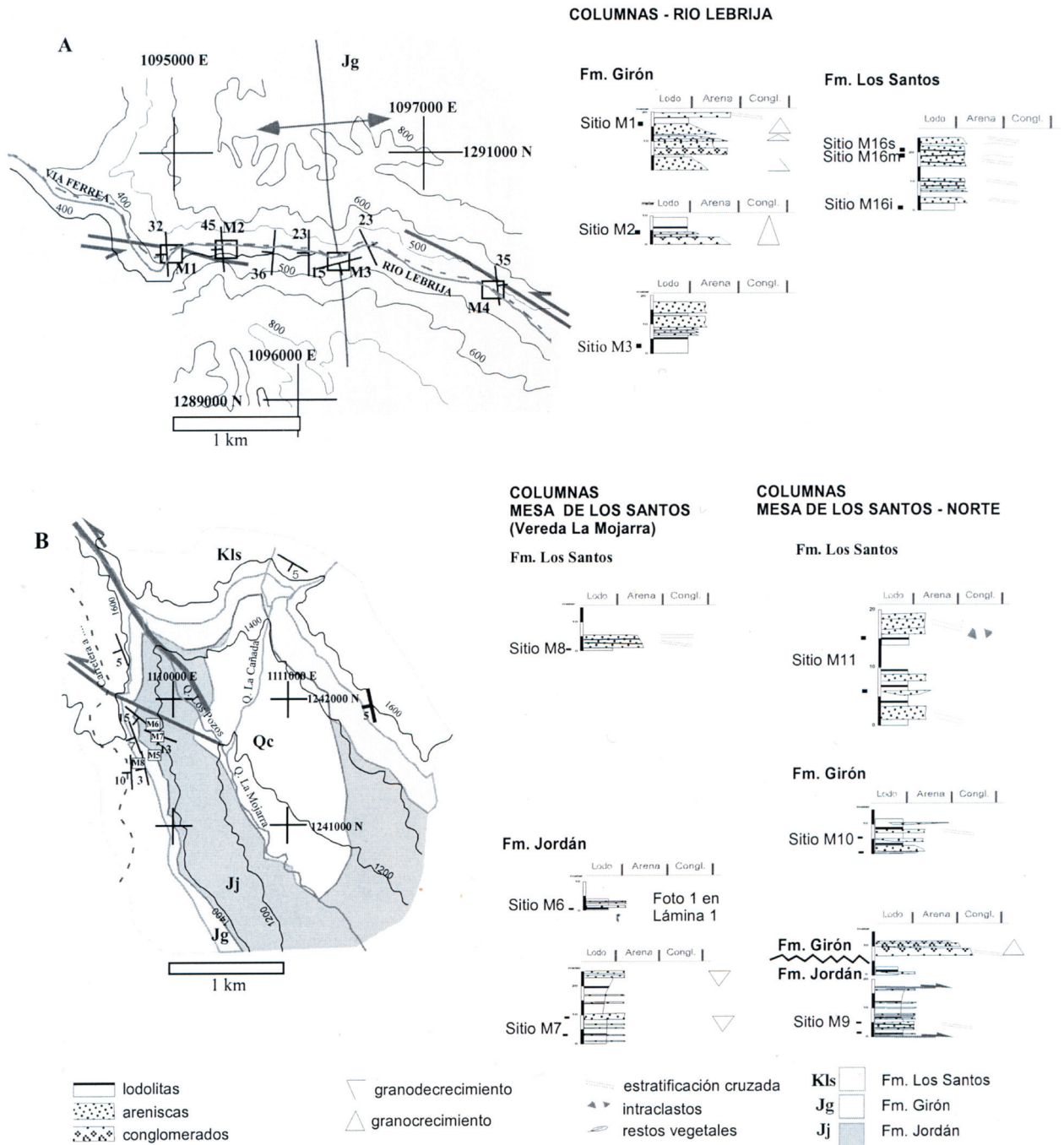


Fig. 2. A. Mapa geológico del sector Rionegro y columnas estratigráficas parciales de las formaciones Girón y Los Santos en los sitios de muestreo. B. Mapa Geológico del sector de la Mesa de los Santos y columnas estratigráficas parciales de las Formaciones Jordán, Girón y Los Santos, con sus respectivos sitios de muestreo.

angular sobre diferentes unidades del Paleozoico. Su espesor varía entre 0 a 500m, consiste de conglomerados, areniscas y limolitas de origen continental (Lámina 1, Foto 2) con detritos que proceden de rocas cuya composición es similar a las reportadas en el Macizo de Floresta (López & Mesa 1997). La Formación Tibasosa posee un espesor promedio de 550 m y está

compuesta por dos miembros: el miembro inferior consiste de intercalaciones de lodolitas, areniscas con estratificación cruzada planar y conglomerados; el miembro superior corresponde a intercalaciones de rocas calcáreas (biomicritas) y shales. El límite entre las formaciones Girón y Tibasosa diverge según el área de estudio. Cediel (1976) sugiere una relación discordante

entre estas; sin embargo, López & Mesa (1997) mencionan una relación concordante en la parte sur del macizo. En el presente trabajo no se observó un cambio significativo de rumbo y buzamiento entre estas dos unidades (Fig. 1C) que sugiriera una discordancia angular, pero el contraste de litofacies y petrofacies así como en estilos estructurales de deformación (ver comentarios abajo) sugieren un cambio abrupto en condiciones de acumulación y deformación.

El Macizo de Floresta involucra rocas del basamento cristalino y rocas sedimentarias del Paleozoico (Precámbrico? – Cámbrico) en el núcleo de una estructura regional compleja (Fig. 1C). Rocas del Jurásico y Cretáceo bordean este macizo delineando un anticlinorio delimitado por las fallas de Boyacá y Soápage. La Falla de Boyacá presenta un rumbo NE-SW y vergencia hacia el SE (Díaz & Sotelo 1995); la Falla de Soápage, presenta vergencia al SE y dirección superficial N30E (Cardozo & Zúñiga 1994). Cambios en el espesor y sucesión basal cretácica han sido el soporte para proponer actividad de fallamiento normal a lo largo de estas fallas (Cooper *et al.*

1989; Patarroyo 1995). En este estudio se ubicaron los sitios de muestreo de las unidades seleccionadas en tres dominios estructurales (o sectores) de una antiforma cuyo núcleo es el Macizo de Floresta (Fig. 3). En los sitios de la Formación Girón, la deformación penetrativa (clivaje) afecta los estratos (Lámina 1, Foto 2). En el sector de Santa Rosa, fallas normales mesoscópicas afectan localmente la secuencia de la Formación Girón, añadiendo una complicación adicional al análisis de datos direccionales de paleomagnetismo debido a movimientos locales de bloques (e.g., basculamiento).

METODOLOGÍA

Para cada localidad se realizó una cartografía geológica a escala 1:25.000 para determinar dominios estructurales y ubicar los sitios de muestreo. Seleccionado el sitio, se elaboró una columna estratigráfica a escala 1:1.000 para determinar la posición estratigráfica de los especímenes (o núcleos extraídos; Lámina 1, Foto 1) por sitio. Para la distribución de sitios se tuvieron en cuenta los siguientes criterios: (1) los sitios de

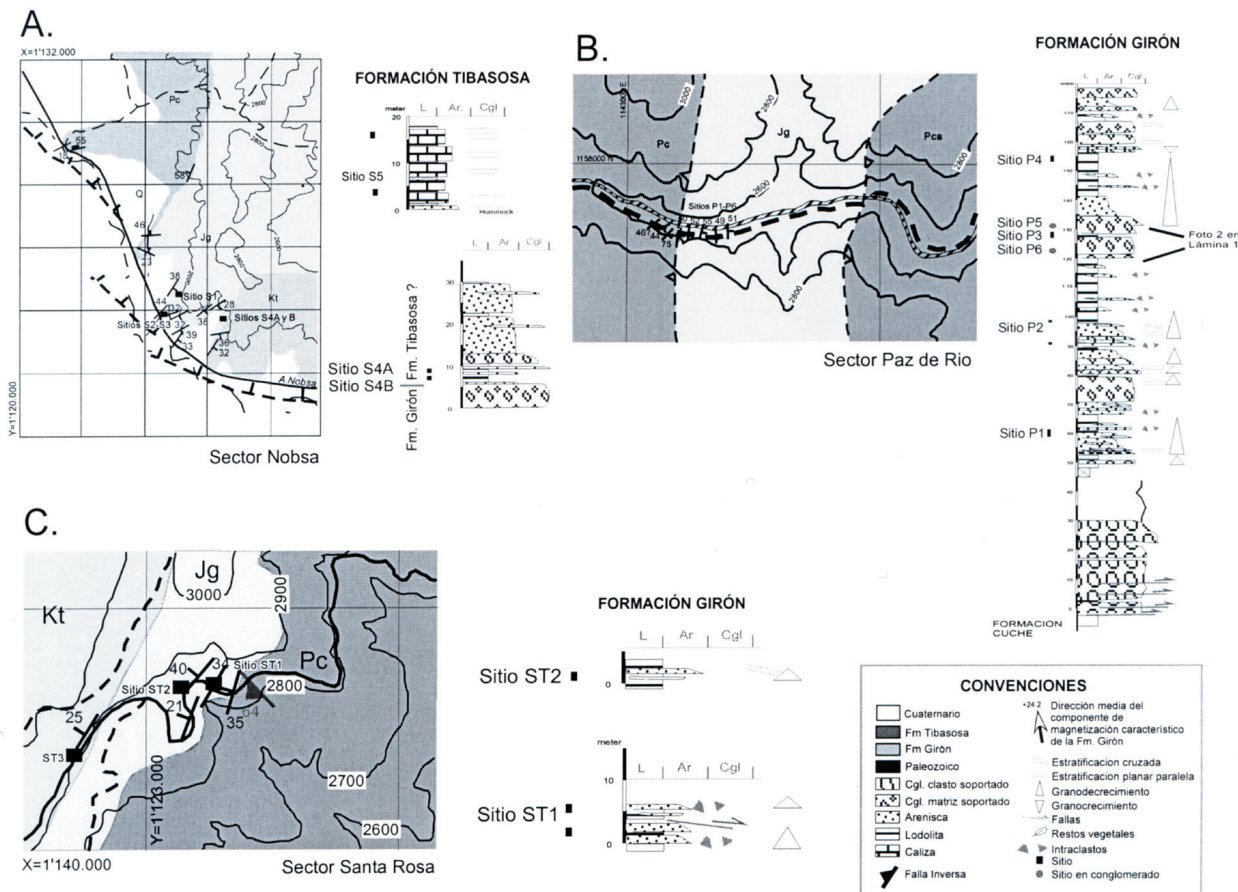


Fig. 3. A. Mapas geológicos y columnas estratigráficas parciales de las formaciones Girón y Tibasosa en los sitios de muestreo. (A) Sector de Nobsa (Sitio S5 en mapa regional, Fig. 1). (B) Sector de Paz de Rio (C) Sector de Santa Rosa.

la misma unidad fueron ubicados en diferentes dominios estructurales para realizar pruebas de pliegue; (2) en cada sitio se tomaron especímenes en diferentes niveles estratigráficos para descartar remagnetizaciones isotermales (efecto de rayos) y promediar variaciones seculares (Lámina 1, Foto 1); (3) en basaltos e intrusivos se tomaron muestras para comparar los componentes entre rocas ígneas y rocas sedimentarias encajantes; (4) en unidades separadas por contacto discordante para la prueba de la discordancia; y (5) en clastos de conglomerados en la Formación Girón en el área del Macizo de Floresta para la prueba de conglomerados. Los núcleos orientados se perforaron en las litologías más finas con un taladro portátil; muestras de mano orientadas se tomaron donde no se pudo perforar. Los núcleos extraídos fueron cortados a un tamaño estándar de 2.2 cm de alto y 2.4 cm de diámetro en el laboratorio.

Para determinar el método de desmagnetización más adecuado, se tomaron mínimo 2 especímenes por sitio y se desmagnetizaron progresivamente por campo alternos (CA) y por temperatura en el Laboratorio de Paleomagnetismo del Ingeominas (Colombia) usando un magnetómetro Minispin (Molspin) con una sensibilidad de 10-6 A/m. Las rocas sedimentarias fueron desmagnetizadas por el método térmico a 20, 100, 200, 300, 350, 400, 450, 500, 550, 600, 620, 640, 660, 680, 690 y 700°C en la Universidad de Buenos Aires utilizando un desmagnetizador por altas temperaturas ASC y un magnetómetro criogénico 2G Enterprises con una sensibilidad de 10-11 A/m; los restantes especímenes se desmagnetizaron en el laboratorio de Paleomagnetismo del Ingeominas. La susceptibilidad magnética (K) fue medida en un Susceptómetro Bartington MS2 para determinar si nuevos minerales han sido generados en cada paso de calentamiento. Las muestras provenientes de rocas ígneas se desmagnetizaron inicialmente por campos alternos (CA) y luego por el método térmico. Por el método CA se aplicaron los siguientes campos: 0, 2.5, 5.0, 7.5, 10.0, 15.0, 20.0, 25.0, 30.0, 35.0, 40.0, 50.0, 60.0, 70.0, 80.0 y 90.0 mT, midiendo el magnetismo natural remanente (MNR) en cada paso.

La determinación de la mineralogía magnética se realizó mediante curvas termomagnéticas (Tc) y la curva de adquisición de la Magnetización Remanente Isotermal (MRI o experimentos de Lowrie; Lowrie, 1990) en el laboratorio de Paleomagnetismo de la Universidad Simón Bolívar (Venezuela). Para determinar Tc se utilizó un susceptómetro Bartington MS2 y un horno Bartington MS2WF. Los especímenes previamente macerados se calentaron hasta una temperatura de 700°C, midiendo la SM a intervalos de 5°. Para realizar los experimentos de Lowrie se utilizó un Magnetizador de impulso IM-10-30 ASC, un magnetómetro Molspin y un horno Schonstedt. Mediante el magnetizador de impulso se generó un IRM a lo largo de tres ejes perpendiculares con coercividades de 0.12 (eje x), 0.4 (eje y) y 3T (eje z), y se calentaron las muestras a 80, 120, 150, 200, 250, 300, 330, 350, 400, 450, 500, 550, 580, 600, 650, y

700°C.

Para la determinación de las componentes magnéticas para cada espécimen se realizó un análisis visual de los diagramas de Zijderveld (1967), y se aplicó la técnica de análisis de componente principal (Kirschvink 1980) aceptando componentes magnéticas definidas con un MAD < 15°. El cálculo de las direcciones medias siguió el procedimiento estadístico de Fisher (1953). La edad relativa de magnetización se estimó a partir de (1) horizontalizar las capas para determinar si los componentes de magnetización fueron adquiridos antes o después de la deformación para el área de Bucaramanga, mientras que para el Macizo de Floresta se utilizó el método de incremento de la inclinación por corrección de buzamiento para la prueba del pliegue (McFadden & Reid 1982) con el criterio estadístico de McElhinny (1964); (2) comparar los resultados de las diferentes unidades discordantes (la prueba de discordancia; McElhinny & McFadden 2000); (3) comparar las direcciones magnéticas de las unidades sedimentarias con las de los cuerpos ígneos (McElhinny & McFadden 2000); y (4) comparar las direcciones magnéticas aisladas en los conglomerados y las direcciones obtenidas en las rocas de grano fino (prueba de conglomerado; McElhinny & McFadden 2000). La prueba de reverso de McFadden & McElhinny (1990) se realizó para determinar direcciones antiparalelas en la misma sucesión estratigráfica. Los paleopolos virtuales geomagnéticos calculados para cada uno de los componentes característicos fueron comparados con los paleopolos propuestos para el Cratón Suramericano entre el Triásico Tardío al Aptiano para determinar si el componente de magnetización característico fue adquirido en el tiempo de acumulación de la unidad.

COMPONENTES MAGNÉTICOS Y MINERALOGIA MAGNETICA

Los diagramas de desmagnetización de los especímenes analizados indican la presencia de al menos dos componentes de magnetización, los cuales se diferencian por su dirección y rangos de temperatura de desbloqueo (Fig. 4). Hemos denominado aquellos componentes con las mayores temperaturas de desbloqueo como componentes característicos, mientras los otros componentes de más bajo rango los denominamos secundarios. La dirección media por sitio y parámetros estadísticos de los componentes aislados se presentan en la Tabla 1, utilizando como mínimo los valores de cuatro especímenes y un $\square 95$ (ángulo medio del 95% de confianza de la dirección media) menor a 25°.

Componentes Secundarios

En todas las unidades analizadas se aisló un componente viscoso con temperaturas de desbloqueo inferiores a 300°C, o un primer componente con temperaturas de desbloqueo que alcanzan temperaturas hasta 600°C. En este grupo de

Tabla 1. Parámetros estadísticos de los componentes aislados por sitio en cada área de estudio.

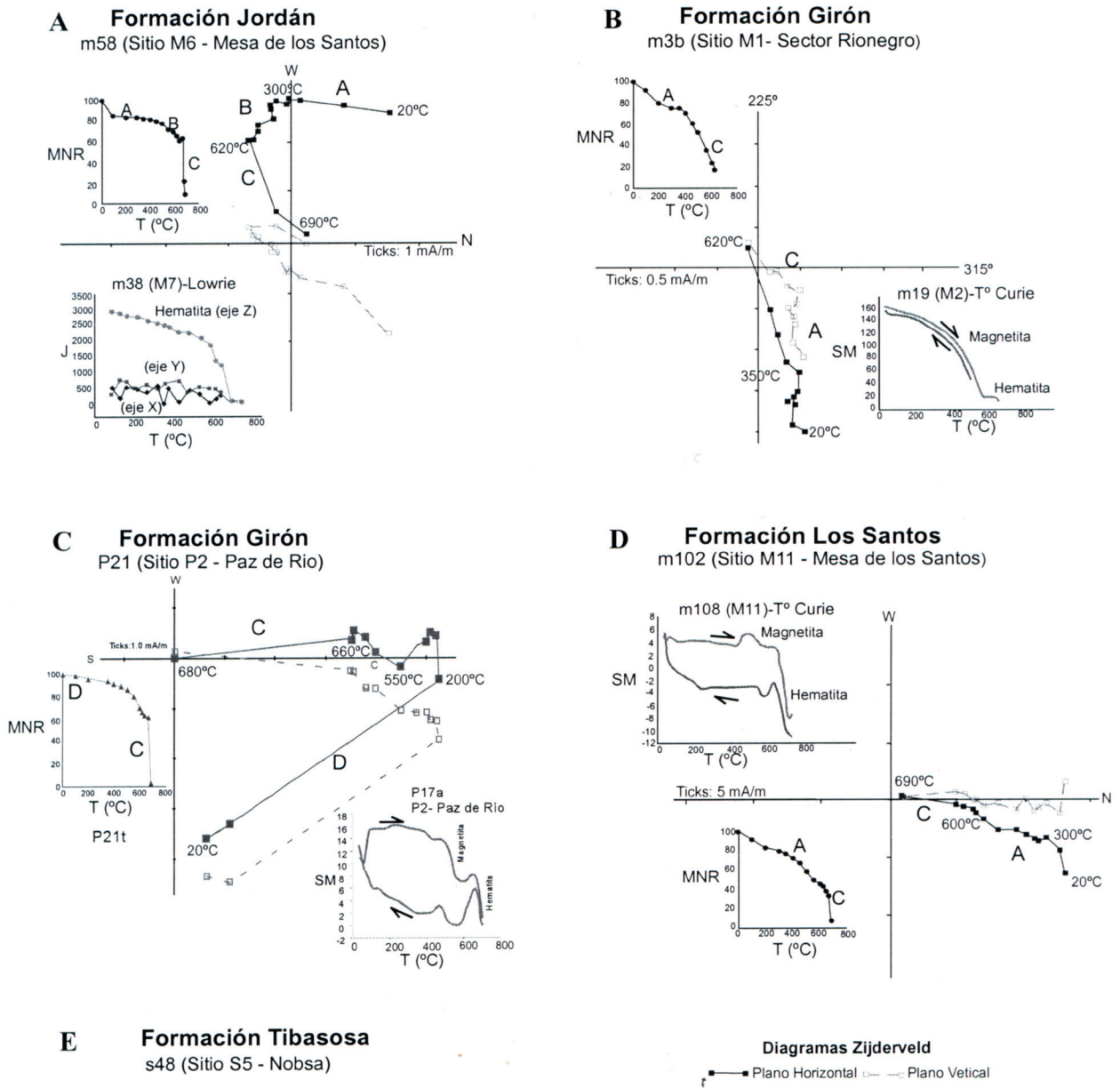


Figura 4. A a E: Diagramas Ortogor Zijderveld (1967) y gráficos de decaimi MNR representativos de las unidades es: El rango de Temperatura de los comp aislados en cada muestra se indica er en cada muestra se indica en ambos grá-ficos. Diagramas de T° Curie y Lowrie realizados en muestras del mismo sitio, o con características similares de sitios contiguos, se anexan para indicar la mineralogía magnética en cada una de estas unidades.

componentes secundarios se encuentran aquellas direcciones (sin corrección estructural) con declinaciones hacia el norte e inclinaciones someras positivas (o su reverso; componentes a en Tabla 1), las cuales son paralelas a la dirección del campo magnético actual (Fig. 5). Sin embargo, hay componentes cuyas direcciones son intermedias (i.e., se interponen las direcciones de baja temperatura y de muy alta temperatura; componentes b en Tabla 1) y otras direcciones a las cuales no se les tiene aún explicación (Tabla 1, componentes d). El mineral que registra estos componentes es generalmente magnetita (Fig. 4B) u otros minerales coercivos, como en el caso de las lavas en la Formación Jordán de Rionegro o de las lodolitas de la Fm. Los Santos (Fig. 4D). Sin embargo, los componentes característicos con temperaturas de desbloqueo superiores a los 580°C son registrados parcialmente por hematita.

En un cuerpo intrusivo que corta las unidades del Jurásico en el sector norte del área de la Mesa de los Santos, Ayala *et al.* (2005) documentan un componente entre 0-25mT con inclinación de 22° y declinación hacia el norte. Esta dirección es paralela a la dirección del campo actual y a los componentes secundarios (componentes a en Tabla 1) aislados en las rocas sedimentarias Jurásicas y Cretácicas aquí reportadas.

Componentes Característicos de la Formación Jordán (Jurásico Medio?)

Con excepción del sitio M9, las direcciones medias por sitio de la Formación Jordán con temperaturas de desbloqueo entre 600° a 700°C presentan inclinaciones negativas después de horizontalizar las capas en los dos sectores estudiados del área de Bucaramanga (Fig. 5A). Dichos componentes son registrados por la hematita, como lo indican las temperaturas de desbloqueo y minerales de coercividades >3T en los experimentos de Lowrie (Fig. 4A). Sin embargo, al comparar el valor de la declinación media de cada sector se nota una diferencia en la declinación de $96 \pm 16^\circ$ (Fig. 5A). La dirección al norte con inclinación positiva del sitio M9 (componente M9c, Fig. 5A), el cual se ubica a menos de 10 metros por debajo de la discordancia con la Formación Girón, tiene una dirección similar a la obtenida para la Formación Girón en Bucaramanga y Floresta, y se considera como un componente de remagnetización secundaria (Ayala *et al.* 2005).

Componentes Característicos de las formaciones Girón, Los Santos y Tibasosa (del Jurásico Superior-Cretácico Inferior)

La dirección media con corrección estructural de los sitios de la Formación Girón (Jurásico Superior) presenta declinaciones al norte e inclinaciones positivas a horizontales (o su dirección reversa) (Figs. 5B, 5E y 5F), con excepción del sitio ST1 en Santa Rosa (Fig. 5D). Estos componentes tienen una temperatura de desbloqueo entre 200° y 700°C en los diferentes sectores de estudio. Los estudios de mineralogía

magnética y las temperaturas de desbloqueo sugieren que este componente lo registra predominantemente magnetita en el área de Rionegro (Fig. 4B), mientras en la Mesa de los Santos y en el Macizo de Floresta lo registra predominantemente la hematita (Fig. 4C). Las diferencias de declinación e inclinación observadas en los sitios del área de Santa Rosa en Floresta, con respecto a los otros sectores en estudio, puede asociarse a la deformación por clivaje lo que produce somerización de las inclinaciones (Stamatatos & Kodama 1991). La presencia de fallas normales en el área de Santa Rosa puede aumentar esta diferencia local por basculamiento de bloques.

La dirección media por sitio de los componentes característicos de la Formación Los Santos presenta declinaciones hacia el norte con inclinaciones someras positivas o su dirección reversa después de horizontalizar las capas (Fig. 5C). La temperatura de desbloqueo y la caída de la susceptibilidad de este componente está entre 550° a 700°C, indicando que este componente lo registra principalmente la hematita y en menor proporción magnetita (Fig. 4D).

En las calizas de la Formación Tibasosa se aislaron componentes característicos con temperaturas de desbloqueo entre 300° a 500°C y cuya dirección al horizontalizar las capas es hacia el norte y horizontal (componente S5c, Fig. 5E). Sin embargo, Veloz *et al.* (2005) reportan para esta misma unidad direcciones muy dispersas entre sitios de muestreo en rocas siliciclásticas en el sector de Santa Rosa, las cuales se han interpretado como posibles cambios de polaridad magnética. La mineralogía magnética varía dependiendo de la litología, presentándose magnetita y sulfuros en las calizas (Fig. 4E) y hematita en las rocas siliciclásticas (Veloz *et al.* 2005).

Edades Relativas de Magnetización

Como se explicó anteriormente, la presencia de componentes secundarios asociados a temperaturas de desbloqueo menores a 620 °C se debe principalmente a remagnetizaciones viscosas y químicas post-plegamiento. Estos componentes viscosos son de fácil reconocimiento porque: (1) se presentan en todas las muestras independientemente del sitio que se esté analizando; (2) muestran una dirección muy similar al campo magnético actual; (3) son aislados en los primeros pasos de desmagnetización de las muestras; y (4) al horizontalizar las capas, la dispersión de los datos aumenta (k se reduce en la prueba de pliegue, Fig. 6A), indicando que la magnetización fue posterior al plegamiento.

El mejor agrupamiento de las direcciones después de horizontalizar las capas, como lo indica el incremento del parámetro k, es un argumento que sustenta una magnetización pre-plegamiento para estos componentes. La dirección media de los componentes característicos por sector y/o por formaciones con sus parámetros estadísticos se resumen en la Tabla 2. La prueba de pliegue realizada con los componentes

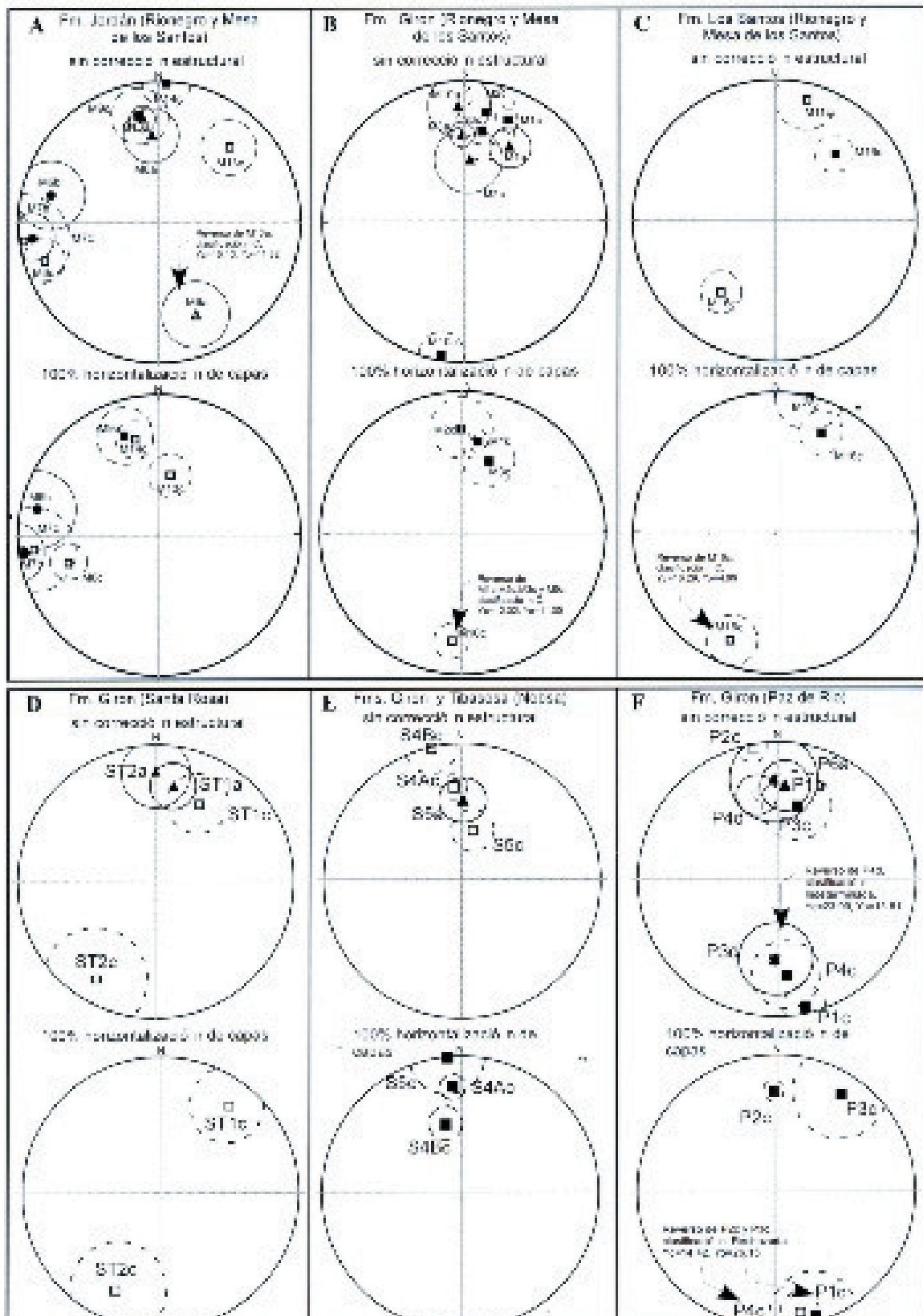


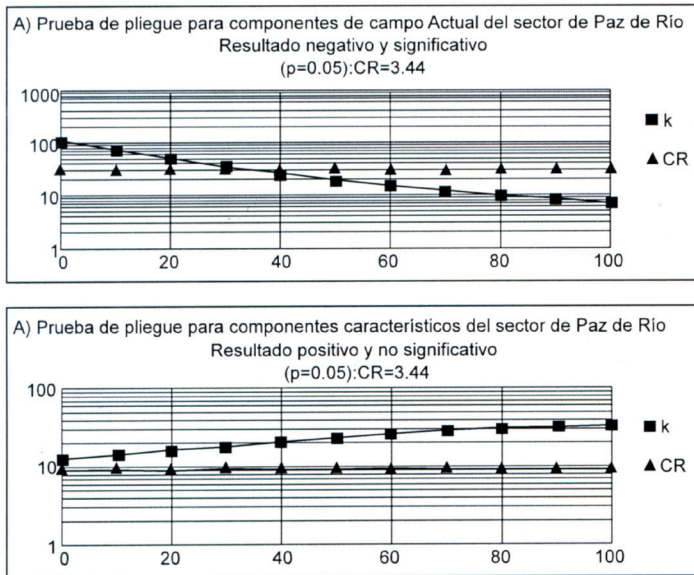
Fig. 5. Diagramas de igual área ilustrando la dirección media y el círculo de confianza de las direcciones medias por sitio aisladas en los sectores estudiados (ver Tabla 1). Datos estadísticos de la prueba de reverse (McFadden & McElhinny 1990) son incluidos.

Tabla 2. Parámetros estadísticos de los componentes característicos, polos geomagnéticos virtuales (PGV) y paleolatitudes (Pl). Ver detalles de las direcciones principales en la Tabla 1.

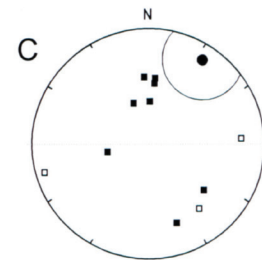
característicos aislados con $\alpha_{95} < 15$ en el Macizo de Floresta no es significativo estadísticamente; sin embargo, el grado de agrupamiento (valor de k) aumenta (Fig. 6B) indicando un mayor agrupamiento de las direcciones al horizontalizar las capas. Hay que tener en cuenta que los sitios de muestreo en el área del Macizo de Floresta presenta deformación penetrativa, lo cual afecta en menor grado la dirección de los componentes aislados (i.e. somerización de las inclinaciones; Stamatakos & Kodama 1991; ver discusión en Veloz *et al.* 2005). La prueba de pliegue no fue realizada en Bucaramanga ya que los sitios no se tomaron a lo largo de una sola estructura, lo cual sería ideal

para realizar este tipo de pruebas.

Hay que considerar que el lapso entre el tiempo de acumulación en el Jurásico-Cretácico Inferior hasta su deformación en el Terciario es muy amplio, y no se puede descartar otros procesos diagenéticos como posibles mecanismos de magnetización. Por lo anterior, la integración de los resultados de las pruebas de conglomerados, reversas, discordancia y comparación de las direcciones entre lavas y rocas sedimentarias permiten restringir aún más el tiempo de magnetización.



Prueba de conglomerados, Sitios P5b y P6b, sector de Paz de Río, Macizo de Floresta (100% horizontalización de capas)
N clastos=11 k=1.48



● Dirección media para el sitio P3c (100% horizontalización de las capas)
D=32.3 Inc=8.5
k=8.57 $\alpha_{95} = 21.9$

Fig. 6. Pruebas de pliegue para (A) componentes con direcciones paralelas al campo magnético actual y (B) componentes característicos. (C) Prueba de conglomerados para el sector de Paz de Río.

La prueba de conglomerados realizada en la Formación Girón en el sector de Paz de Río (ver Foto 2, Lámina 1) indica que las direcciones características aisladas en los clastos de los sitios P5 y P6 son muy dispersas (k entre 1.15 y 2.15; Fig. 6C). En contraste, las direcciones características medias en los sitios tomados en intervalos lodosos tiene un mejor grado de agrupamiento (k entre 8.57 y 85.4; Fig. 5F). Además, en la misma columna estratigráfica se reportan direcciones normales y reversas. Aunque la prueba de reverso indica un resultado negativo (Fig. 5F), es importante considerar que los efectos de deformación penetrativa no se consideraron en este estudio. La prueba de conglomerados y las direcciones antiparalelas permite sugerir que el tiempo de magnetización en los sitios ubicados en las intercalaciones lodosas fue anterior al plegamiento y adquirido probablemente muy cerca al tiempo de acumulación.

características para las formaciones Girón, Los Santos y Tibasosa indican declinación norte e inclinaciones positivas someras a intermedias, similares a las reportadas por Castillo *et al.* (1991) y Gose *et al.* (2003) en rocas de edad similar en los Andes de Mérida y Serranía de Perijá (Tabla 2, Fig. 7). Por el contrario, las direcciones de la Formación Jordán difieren a las anteriores. A pesar de las diferencia en sus declinaciones (ver discusión en rotaciones), la inclinación media por sitio de la Formación Jordán es similar para los intervalos lodosos (componentes M14c, M6c y M7c) mientras para el sitio de los basaltos la inclinación media es más alta (componente M13c; Tabla 1 y Fig. 5A). La intensa deformación en el sector de Rionegro asociado con las fallas de rumbo de La Plata, Río Negro y Bucaramanga permite explicar la diferencia en las direcciones características entre sitios de muestreo. La diferencia de las inclinaciones entre la Formación Jordán y las unidades del Jurásico Superior-Cretácico Inferior argumenta un resultado positivo de la prueba

Las direcciones medias (con corrección estructural)

de la discordancia, y restringe el evento de magnetización de la Formación Jordán a pre-Girón (pre-Jurásico Superior?). Por consiguiente, los eventos de magnetización entre las lodolitas y las lavas de la Formación Jordán son pre-magnetización de la Formación Girón.

Las direcciones obtenidas en la Formación Los Santos, al agruparse con la dirección media de la Formación Girón aislada en Bucaramanga presentan un buen agrupamiento visual (Fig. 7), especialmente luego de horizontalizar las capas, aunque el

componente aislado en la Formación Los Santos se encuentra un poco más hacia el este. Es posible que existan eventos de remagnetización pre-plegamiento que afectaron ambas formaciones, e inclusive afectaron localmente a la Formación Jordán. Un argumento a favor de esta hipótesis es la similitud en la dirección magnética de las rocas de la Formación Jordán justo por debajo de la discordancia con la Formación Girón en el área de la Mesa de los Santos. La presencia de direcciones reversas tanto en la Formación Girón como en la Formación Los Santos indicaría que el evento de remagnetización fue superior a un cron de polaridad.

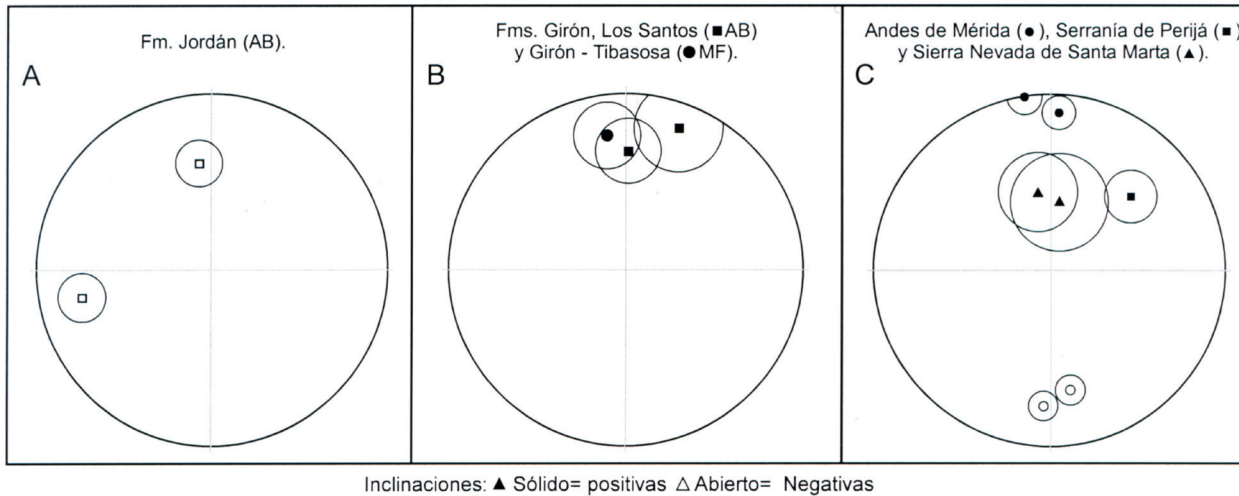


Fig. 7. Diagramas de igual área ilustrando la dirección media y el círculo de confianza de las direcciones medias por unidad y por área. Ver detalles de las direcciones en la Tabla 2 (100% corrección estructural).

DISCUSIÓN

Comparación con PGVs

Las unidades del Jurásico-Cretácico Inferior en Bucaramanga y el Macizo de Floresta han sido sometidas a diversos pulsos de deformación desde su momento de acumulación. Para inferir posibles complicaciones tectónicas aún por resolver de las direcciones características establecidas, es necesario calcular el paleopolo geomagnético virtual (PGV) para cada una de estas direcciones y comparar con los respectivos PGV del Cratón Suramericano y de los Andes del Norte calculados en rocas del Triásico Superior al Cretácico Inferior (datos y referencias en Bayona *et al.* 2005). Los resultados de este ejercicio nos permitirán proponer nuevas hipótesis sobre la aloctonía y translaciones de terrenos, movimientos rotacionales y basculamiento de bloques estructurales.

Tomando la posición del PGV del cratón para el Triásico Tardío y el Jurásico Temprano a Medio, se observa que el paleopolo calculado para la Formación Jordán en el sector de Rionegro se acerca al promedio para el cratón, mientras el paleopolo calculado para el área de la Mesa de los Santos

sugiere una complicación estructural (Fig. 8A, ver sección de Rotaciones). Es de resaltar que estos son los únicos datos paleomagnéticos de las unidades del Jurásico Inferior-Medio (?) expuestas en el norte de los Andes.

Los PGVs calculados para la Formación Girón en el Macizo de Floresta y Bucaramanga presentan un valor concordante con los VGP de otras formaciones coetáneas en los Andes de Norte y el VGP del cratón para el Jurásico Superior-Cretácico Inferior (Tabla 2; Fig. 8). La Formación Los Santos presenta un PGV con paleolatitudes intermedias, por lo tanto se considera que la dirección característica determinada para esta unidad no representa una magnetización primaria. Igual dispersión presenta los PGV obtenidos para la Sierra Nevada de Santa Marta (datos de MacDonald & Opdyke 1984, recalculados en Tabla 2) y de la Serranía de Perijá, pero esta última se debe a rotaciones de bloques (Gose *et al.* 2003).

Rotaciones y basculamiento

La diferencia en la declinación de los componentes magnéticos aislados en la Formación Jordán posiblemente se debe a una rotación de $96 \pm 16^\circ$ en sentido antihorario del sector

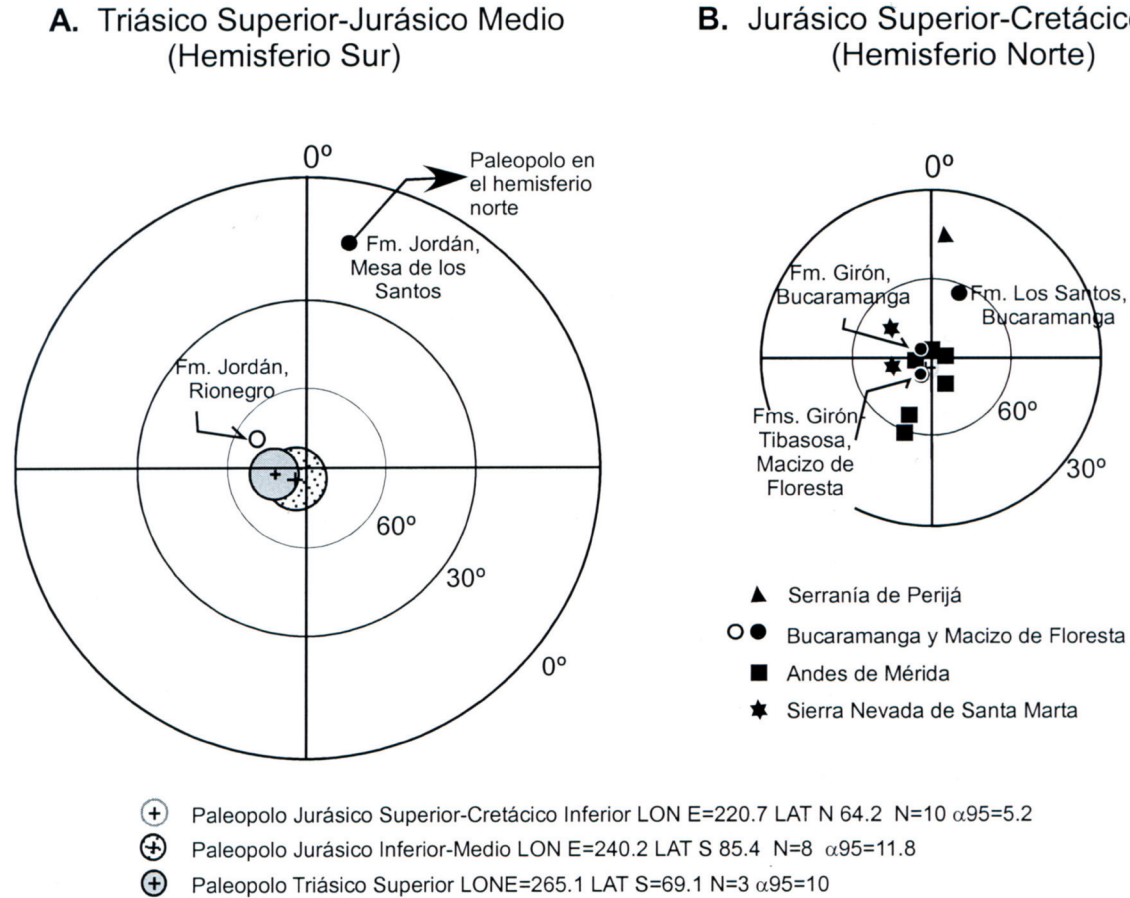


Fig. 8. Diagramas polares indicando los PGV calculados para rocas del Triásico Superior, Jurásico Inferior - Medio, y Jurásico Superior - Cretácico Inferior (modificado de Bayona *et al.* 2005). Por simplicidad, no se incluyen los círculos de confianza de los componentes característicos (ver Tabla 2 para detalles).

de la Mesa de los Santos con respecto al sector de Rionegro. Dicha rotación podría estar condicionando la sedimentación y el cambio de espesor de la Formación Girón entre bloques fallados. Mientras que en el área del Río Lebrija (sección tipo) esta unidad tiene más de 4 Km de espesor, en el bloque rotado (Mesa de los Santos) no supera los 100 m y al oeste de la Falla de Suárez su espesor es mayor de 600m (Ward *et al.* 1973). La cercanía de fallas normales a dicha rotación permite sugerir movimientos transtensionales durante la apertura de la cuenca en el Jurásico Tardío (Fig. 9).

Las ligeras diferencias direccionales entre M6b y M6c (Fig. 5A) guardan una posible relación con el hecho de que la primera reside en magnetitas de altas temperaturas de bloqueo mientras que la segunda lo hace en hematita. Suponiendo que la hematita fuese un producto diagenético que postdata a la magnetita, se podría pensar que, en estas dos magnetizaciones similares más no coincidentes, se estarían viendo dos momentos de la dinámica de rotación antihoraria y ligero basculamiento (diferencia en inclinaciones) propuestos entre el sector de Mesa

de los Santos y el sector de Rionegro.

En el Macizo de Floresta, las direcciones medias por sitio de los componentes característicos aislados sugieren variaciones considerables en la inclinación y en menor grado en la declinación. En Santa Rosa, la diferencia de inclinaciones es de $27\pm 30^\circ$ (Fig. 5D); en Nobsa, la diferencia entre los sitios S4A y S4B es de $21\pm 13^\circ$ (Fig. 5E); en Paz de Río, las inclinaciones de los sitios P1b y P4b son más someras que las inclinaciones de los sitios P2c y P3c y su máxima diferencia es de 20° (Fig. 5F). Las diferencias en las inclinaciones entre estos sitios pueden asociarse a la deformación por clivaje lo que produce somerización de las inclinaciones (Stamatatos & Kodama 1991). Fallas normales en estratos de Santa Rosa pueden aumentar esta diferencia por basculamiento de bloques. De igual forma, la declinación media de los sitios de la Formación Girón del flanco oeste del Macizo de Floresta sugiere que están rotados en sentido horario $31\pm 18^\circ$ con respecto a Paz de Río y $40\pm 18^\circ$ con respecto a Nobsa (Fig. 1C). Este fenómeno puede deberse a rotación de bloques a escala regional durante el levantamiento del Macizo de Floresta.

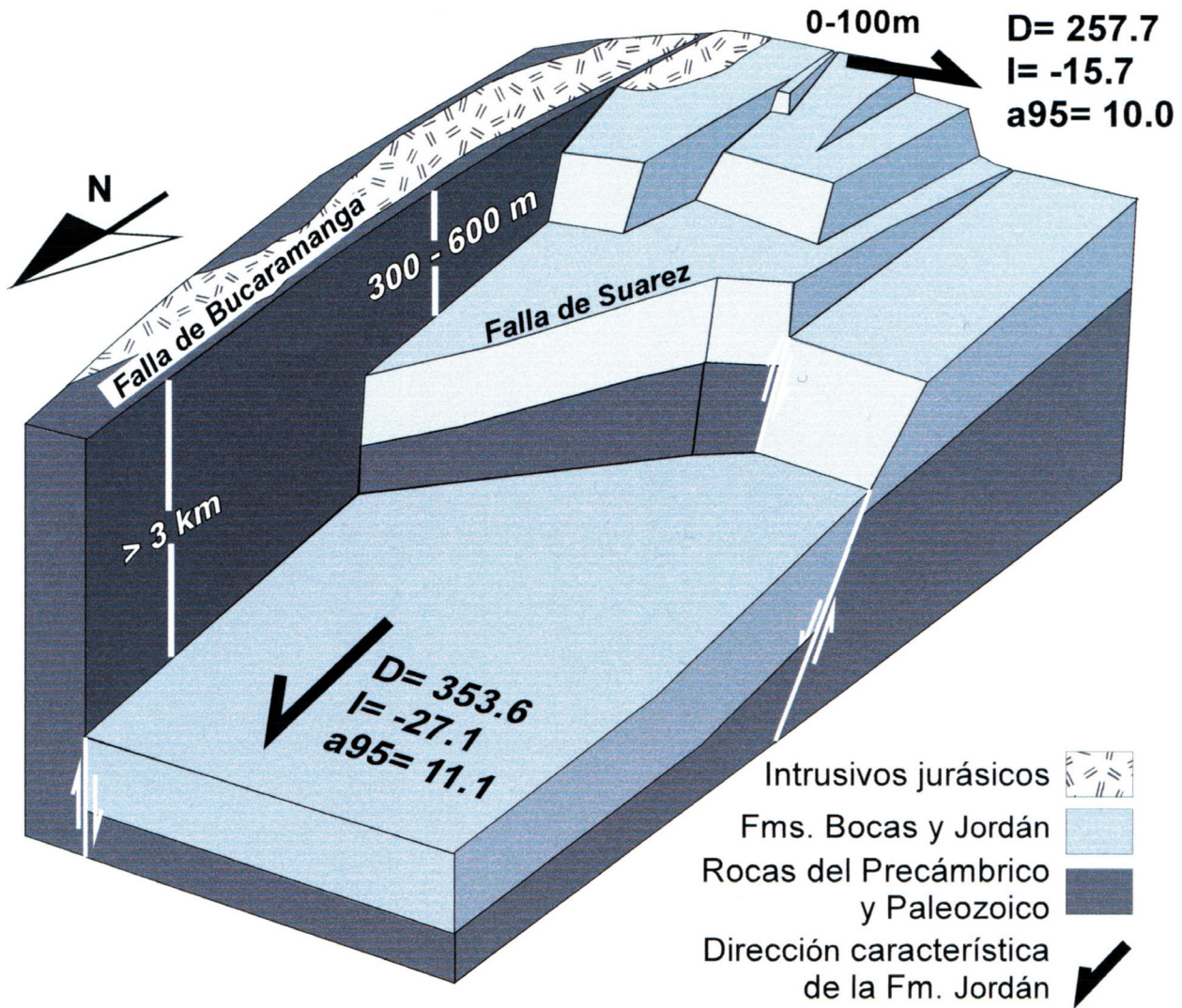


Fig. 9. Diagrama esquemático (sin escala) de la configuración del área de depósito previa a la acumulación de la Formación Los Santos en el área de Bucaramanga. Los depósitos de la Formación Girón no son ilustrados.

Translaciones

La diferencia en las direcciones magnéticas características entre las rocas de la Formación Jordán en Rionegro y las formaciones Girón-Los Santos-Tibasosa (Jurásico Superior-Cretácico inferior) sugiere cambios paleolatitudinales de terrenos al Oeste de la Falla de Bucaramanga. Al comparar la paleolatitud calculada para la dirección media de la Formación Jordán en el sector de Rionegro (-14°) y de la Formación Girón (+11°) se documenta un movimiento hacia el norte. Este movimiento paleolatitudinal de bloques tectónicos se debe considerar en futuros modelos tectónicos del Mesozoico, pues en el mismo intervalo de tiempo el movimiento de un punto de referencia en el Escudo de Guyana no supera los 6° hacia el norte (Tabla 2). Con los datos aquí presentados no se puede

cuantificar el movimiento paleolatitudinal debido a la intensa deformación reportada en el sector de Rionegro o las rotaciones de la Mesa de los Santos, pero sí se plantea como futura hipótesis de trabajo definir la aloctonía de los terrenos cuyos núcleos son los macizos de Santander y Floresta. Para ello, es necesario tomar más muestras en rocas de la Formación Jordán y unidades equivalentes en la Cordillera Oriental, y con menor grado de deformación.

CONCLUSIONES

Se pudo aislar componentes característicos y secundarios en rocas del Jurásico -Cretácico Inferior aflorantes en el área de Bucaramanga (occidente de la Falla de Bucaramanga) y Macizo de Floresta. Las direcciones características de las formaciones

Jordán, Girón y Tibasosa pasaron las diferentes pruebas de campo (horizontalización de capas, discordancia, contacto, reversos). Además, los paleopolos geomagnéticos virtuales de estas direcciones coinciden con los establecidos para el Cratón Suramericano. Lo anterior indica que las componentes magnéticas obtenidas son primarias o adquiridas durante el intervalo de tiempo que se le ha asignado a la unidad.

Las direcciones características promedio por área y unidad (corregidas por buzamiento), con sus respectivos parámetros estadísticos son:

Formación Jordán (Bucaramanga): $D=353.6$; $I=-27.1$; $k=15$;
 $\square 95 = 11.1$

Formación Girón (Bucaramanga): $D=1.7$; $I=21.8$; $k=29.1$; $\square 95 = 14.4$

Formaciones Girón - Tibasosa (Floresta): $D=352.6$ $I=14.8$ $k=33$
 $\square 95 = 13.5$

Otras direcciones características aisladas en la Formación Jordán en la Mesa de los Santos ($D=257.7$; $I=-15.7$; $k=14.6$; $\square 95 = 10$) y en la Formación Los Santos ($D=20.6$; $I=8.4$; $k=59.6$; $\square 95 = 16.1$) indican complicaciones estructurales y de cambios de polaridad del campo magnético. La dirección de la Formación Jordán aislada en la Mesa de los Santos sugiere rotaciones de bloques asociados a posibles eventos transtensionales que condicionaron la acumulación de la Formación Girón. La dirección característica de la Formación Los Santos puede corresponder a una dirección transicional de cambio de polaridad, pero se hace necesario realizar nuevos estudios que permitan aclarar estas hipótesis de trabajo.

Los experimentos de Lowrie y Temperaturas de Curie realizados permitieron conocer la mineralogía magnética presente en estas rocas, que corresponde principalmente a hematita en rocas de las formaciones Jordán y los Santos, hematita y magnetita en rocas de la Formación Girón, y magnetita con sulfuros en rocas de la Formación Tibasosa.

Los datos paleomagnéticos obtenidos en rocas de la Formación Jordán (Jurásico Medio?) sugieren movimientos translacionales y rotacionales de bloques tectónicos en el área de Bucaramanga. La rotación de bloques podría estar asociada a los cambios de espesor a través de fallas normales en la Formación Girón en el área de Bucaramanga. La translación de bloques es sugerida a partir de la diferencia de las paleolatitudes calculadas entre la magnetización de la Formación Jordán y la magnetización de la Formación Girón. Sin embargo, es importante aclarar que estas son nuevas hipótesis planteadas a partir de los resultados paleomagnéticos. Futuros estudios paleomagnéticos deben integrar análisis estratigráficos, estructurales y de procedencia para documentar con mayor precisión la influencia del movimiento de bloques en la sedimentación de estas unidades.

RECOMENDACIONES

Debido a que es un estudio pionero en rocas del Jurásico en la Cordillera Oriental, es necesario incorporar más datos de paleomagnetismo en las diferentes unidades del Mesozoico para establecer con más claridad las hipótesis planteadas en este estudio. De ser posible, realizar estudios paleomagnéticos en secciones más completas y a lo largo de una sola estructura, para realizar las diferentes pruebas de campo y evitar los efectos de fallas y cambios en la dirección por movimientos de bloques e integrar esta información con datos y análisis estructurales, radiométricos, estratigráficos y paleontológicos.

Las litologías que presentaron los resultados más confiables corresponden a lodolitas, limolitas, calizas y rocas volcánicas. Las areniscas, a pesar de contener algunos minerales magnéticos presentan datos dispersos.

Aunque los análisis mineralógicos realizados en este estudio permiten conocer la mineralogía magnética presente, es necesario complementar la información mineralógica con datos de petrografía y/o microscopía electrónica de barrido para determinar el origen de dichos minerales (primario o diagenético), que permitirían establecer con más claridad la edad de magnetización de las rocas.

Es necesario considerar los movimientos translacionales y rotacionales, además de basculamiento en los modelos de evolución tectónica del Mesozoico de la Cordillera Oriental, integrando más datos de paleomagnetismo.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue posible gracias al apoyo financiero del Instituto Colombiano para el desarrollo de la Ciencia y Tecnología "Francisco José de Caldas" – COLCIENCIAS (proyecto 7277-05-13616). F. Cómbita, S. Delgado, N. Gamba, F. Herrera, F. de La Parra, P. Rojas y C. Santos colaboraron durante la fase de campo. C. Silva y J. Alvarez colaboraron en la realización de los análisis mineralógicos. Agradecemos a J. Clavijo (Ingeominas) y L.F. Sarmiento (Ecopetrol) por la ubicación de afloramientos en la Mesa de los Santos, y a F. Etayo-Serna por indicarnos la correcta nomenclatura de las unidades del Cretácico. Finalmente, agradecemos a la Corporación Geológica Ares, por la continua promoción de jóvenes investigadores en Ciencias de la Tierra, que permite que trabajos como éste se lleven a cabo.

REFERENCIAS

- ALZATE J., BUENO M. (1994): Análisis estratigráfico secuencial de las rocas Cretácicas de la parte oriental del Departamento de Boyacá, Municipios de Sogamoso, Belencito y Aquitania. Trabajo de grado 349. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- AYALA-CALVO, R. C., GÓMEZ CASALLAS, M., BAYONA, G., RAPALINI, A. E., COSTANZO-ÁLVAREZ, V., ALDANA, M., &

- CORTÉS, M. (2005): Paleomagnetismo y Mineralogía Magnética en rocas del Jurásico-Cretácico Basal en el área de Bucaramanga (Cordillera Oriental, Colombia) y sus aplicaciones en el estudio del Jurásico en Colombia. X Congreso Colombiano de Geología. Memorias en CD. Bogotá.
- BAYONA, G., RAPALINI, A. E., COSTANZO-ÁLVAREZ, V., ALDANA, M., CORTÉS, M., MONTES, C., VELOZA, G., AYALA CALVO, R. C., GÓMEZ CASALLAS, M., & SILVA, C. (2005): Rotaciones y Translaciones de Bloques definidos por Paleomagnetismo en Rocas del Mesozoico en Colombia. Resúmenes ampliados del Sexto Simposio Internacional de Geodinámica de los Andes (ISAG), Barcelona, p. 98-102.
- CARDOZO J. & ZUÑIGA A. (1994): Análisis Estructural de la Zonas del Bloque Colgante y Bloque Yacente de la Falla de Soapaga entre Corrales y Paz de Río. Trabajo de Grado. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- CREER, K. M. (1970): A paleomagnetic Survey of South American rock formations. *Phil Trans. Roy.Soc.London. Ser. A*, v. 267, 457-558.
- CASTILLO, J., GOSE, W. A. & PERARNAU, A. (1991): Paleomagnetic results from Mesozoic strata in the Mérida Andes, Venezuela: *Journal of Geophysical Research*, v. 96, p. 6011-6022.
- CEDIEL F. (1968): El Grupo Girón: una molasa mesozoica de la Cordillera Oriental. Servicio Geológico Nacional (Colombia). *Bol. Geológico*. v. XVI. p. 5-96.
- CEDIEL, F. (1976): Geología del Macizo de Floresta, nota explicativa del mapa geológico. *Ingeominas*, Colombia.
- COOPER, M. A., ADDISON, F. T., ALVAREZ, R., CORAL, M., GRAHAM, R. H., HAYWARD, A. B., HOWE, S., MARTINEZ, J., NAAR, J., PEÑAS, R., PULHAM, A. J. & TABORDA, A. (1995): Basin development and tectonic history of the Llanos basin, Eastern Cordillera, and Middle Magdalena Valley, Colombia: *American Association of Petroleum Geologists. Bulletin*, v. 79, p. 1421-1443.
- DÍAZ, J. & SOTELO, C. (1995): Análisis estructural de la Falla de Boyacá en un área al occidente de los municipios de Paipa – Duitama. Trabajo de Grado. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- ETAYO-SERNA F., (1989): Análisis facial del inicio del avance marino del Cretácico en la región del SW del Macizo de Santander. Excursión pre-congreso No 2. V Congreso Colombiano de Geología. Marzo 13-14 de 1989. 7p.
- ETAYO-SERNA, F. & RODRÍGUEZ, G.I. (1985): Edad de la Formación Los Santos. En: Etayo-Serna, F., y Laverde Montaña, F., eds, Proyecto Cretácico. *Publicación Geológica Especial No 16. Ingeominas*. XXIV, p. 1-13. Bogotá.
- FISHER, R. A. (1953): Dispersion on a sphere: *Proceedings of the Royal Society of London*, v. Series A217, p. 295-305.
- GOSE, W. A., PERARNAU, A. & CASTILLO, J., (2003): Paleomagnetic results from the Perijá Mountains, Venezuela: an example of vertical axis rotation. In: Bartolini, C., Buke, K., Blickwede, J., and Burkart, B., eds, *The Gulf of Mexico and Caribbean region: Hydrocarbon habitats, basin formation and plate tectonics. AAPG memoir* 79.
- HARGRAVES, R. B., SHAGAM, R., VARGAS, R. & RODRIGUEZ, G.I., (1984): Paleomagnetic results from rhyolites (early Cretaceous?) and andesite dikes at two localities in the Ocaña area, northern Santander massif, Colombia. *GSA Memoir* 162, p. 299-302.
- JULIVERT, M., BARRERO, D. & NAVAS, J. (1964): Geología de la Mesa de Los Santos. *Boletín Geológico*, Universidad Industrial de Santander, v. 18, p. 5-11
- KIRSCHVINK, J. L., (1980): The least-squares line and plane and the analysis of paleomagnetic data. *Geophys. J.R. astron. Soc.*, 62, 699-718.
- LAVERDE, F. (1985): La Formación Los Santos: un depósito continental anterior al ingreso marino del Cretácico. En: Etayo-Serna, F., y Laverde, F., eds, *Proyecto Cretácico. Publicación Geológica Especial No 16. Ingeominas*. XX, p. 1-24. Bogotá.
- LOPEZ, A. M. & MESA, J. E. (1997): Estratigrafía y ambientes de depósito de la Formación Girón en el Macizo de Floresta: Trabajo de Grado. Universidad Nacional de Colombia, 109 p.
- LOWRIE, W. (1990): Identification of ferromagnetic minerals in a rock by coercivity and unblocking temperature properties: *Geophysical Research Letters*, v. 17, p. 159-162.
- MACDONALD, W. D. & OPDYKE, N. D. (1984): Preliminary paleomagnetic results from the Jurassic rocks of the Santa Marta Massif, Colombia. En SHAGAM, R., ed., *The Caribbean-South American plate boundary regional tectonics*, Geological Society of America Memoir 162, p. 295-298.
- MAZE, W. & HARGRAVES, R.B., (1984): Paleomagnetic results from the jurassic La Quinta formation in the Perijá range, Venezuela and their tectonic significance. *GSA Memoir* 162, p. 287-293.
- MCELHINNY, M. W. (1964): Statistical significance of the fold test in paleomagnetism: *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, v. 8, p. 338-340.
- MCELHINNY, M. W. & MCFADDEN, P. L. (2000): *Paleomagnetism: Continents y Oceans*, International Geophysics Series: London, Academic Press, 386 p.
- MCFADDEN, P. L. & MCELHINNY, M. W. (1990): Classification of the Reversal Test in Paleomagnetism. *Geophysics Journal International*, v. 103, p. 725-729.
- MCFADDEN, P. L. & REID, A. B. (1982): Analysis of Paleomagnetic inclination data: *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, v. 69, p. 307-319.
- PATARROYO, P. (1995): A propósito de la importancia paleogeográfica de la Falla de Boyacá. *Notas Geológicas, Geología Colombiana No. 19*, pp. Bogotá.
- PONS, D. (1982): Etudes paléobotanique et palynologique de la Formación Girón (Jurassique Moyen – Crétacé inférieur) dans la région de Lebrija. *Département de Santander, Colombie*.: 107 *Cong. Nat. Soc. Savants*, v. sciences fasc. 1, p. 53-78.
- RABE, E. (1977): Zur stratigraphie des ostandinen Raumes von Kolumbien. *Giessener Geologische Schriften* v. 11, Lenz-Verlaggiessen, 210 p.
- REMY W., REMY, R., PFEFFERKORN, H.W., VOLKHEIMER, W. & RABE, E (1975): Neueinstufung der Bocas-Folge (Bucaramanga-Kolumbie) in den Unteren Jura anhand einer Phleboteris-branneri- und Classopolliss-Flora. *Argumenta Palaeobotanica* 4, p. 55- 77.

STAMATAKOS J. & KODAMA K. (1991): The Effects of Grain - Scale Deformation on the Bloomsburg Formation Pole. *Journal of Geophysical Research*; Vol. 96 No B11.

VELOZA, G., BAYONA, G., RAPALINI, A. E., COSTANZO-ÁLVAREZ, V., ALDANA, M., & CORTÉS, M. (2005). Paleomagnetismo y Mineralogía Magnética de las Formaciones Girón y Tibasosa en el área del Macizo de Floresta. X Congreso Colombiano de Geología. Memorias en CD. Bogotá.

WARD *et al.* (1973): Geología de los cuadrángulos H-12 Bucaramanga y H-13 Pamplona. Departamento de Santander. *Boletín geológico*. V. XXI, No 1-3. Ingeominas-Bogotá.

ZIJDERVELD, J. D., (1967): A.C. Demagnetization of rocks. In Collison, D.W., Creer, K.M., and Uncorn, S.K., eds., *Methods of Paleomagnetism*, Elsevier, New York, p. 256-286.

Manuscrito recibido Agosto 2005 ; aceptado, Octubre 2005.



Foto 1. Intercalaciones de lodolitas y areniscas finas lodosas correspondientes a la Fm. Jordán en el sitio M6 (Mesa de los Santos, Bucaramanga). Martillo 40 cm de longitud para escala. Nótese el bajo ángulo en éste sector (ver Fig. 2B para localización). Círculos indican la localización de siete de los doce núcleos extraídos para este sitio.



Foto 2. Sitios P3, P5 y P6 para la prueba de conglomerados en rocas de la Fm. Girón en el área de Paz del Río, Macizo de Floresta (metro 118.5 a 129 en la columna de la Fig. 3B). Capas buzando 50° al este. Nótese la intensa estructuración representada por deformación penetrativa (clivaje).

— Estratificación

--- Clivaje

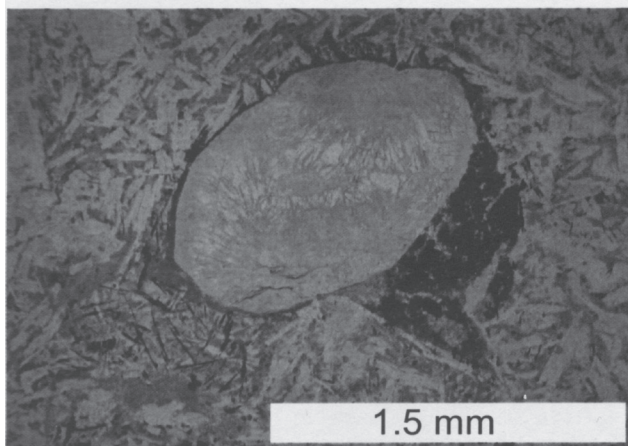


Foto 3. Microfotografía de sección delgada (nicoles paralelos) de un basalto de la Fm. Jordán (sector de Ríonegro, sitio M16). En la foto se observa una vesícula rellena de zeolitas y clorita en una matriz compuesta por cristales de plagioclasa, de 0.2 mm en promedio, alterados a sericita y clorita. Presenta algunos fenocristales de plagioclasa y relictos de piroxenos. El mineral accesorio más abundante es la hematita y trazas de magnetita y epidotas. Relleno de calcita por alteración.