

PALEOMAGNETISMO EN ROCAS DEL JURÁSICO Y CRETÁCICO INFERIOR EN EL FLANCO OCCIDENTAL DE LA SERRANÍA DEL PERIJÁ; CONTRIBUCIONES A LA EVOLUCIÓN TECTÓNICA DEL NW DE SURAMERICA

Giovanny Nova R^{1*}; Paola Montañó¹; German Bayona¹; Augusto Rapalini²; Camilo Montes³

RESUMEN

La Serranía del Perijá (SP) es un sistema montañoso ubicado en la esquina noroccidental de Suramérica; sobre su flanco occidental afloran rocas de las formaciones La Quinta, Río Negro y Grupo Cogollo que fueron depositadas desde el Jurásico al Cretácico temprano. Análisis paleomagnéticos permiten documentar rotaciones sobre ejes verticales y cambios paleolatitudinales; fueron realizados con el fin de contribuir al conocimiento sobre la acreción y traslación de terrenos geológicos a lo largo de los Andes del Norte, especialmente los relacionados con la fragmentación de Pangea como los bloques Mexicanos (Yucatán, Chortis etc.) y la Sierra Nevada de Santa Marta.

Veintinueve sitios paleomagnéticos distribuidos en tres áreas del flanco occidental de la Serranía de Perijá fueron analizados para controlar si hay cambios en la magnitud de rotación en diferentes dominios estructurales. En total se colectaron 17 sitios en la Fm. La Quinta, 9 en la Fm. Río Negro y 3 en el Grupo Cogollo con el propósito de establecer cambios paleolatitudinales entre el Jurásico medio y el Cretácico temprano. Componentes característicos primarios fueron aislados en las formaciones La Quinta y Río Negro, pero no se aislaron en el Grupo Cogollo. Los resultados de nuestro estudio se integraron a los datos paleomagnéticos reportados del flanco oriental, y permiten documentar rotaciones horarias de $41\pm 13^\circ$ para las rocas del Jurásico y de $45\pm 13^\circ$ para las del Cretácico. Los valores de inclinación positivos permiten sugerir una posición paleolatitudinal estable de la SP, adyacente al cratón, entre el Jurásico ($+7.5^\circ$) y el Cretácico ($+9.2^\circ$). Esta estabilidad paleolatitudinal es opuesta a la traslación hacia el norte propuesta para la Sierra Nevada de Santa Marta en estudios anteriores, infiriendo que entre estos dos bloques en el subsuelo debiera existir una paleosutura del Jurásico tardío.

Palabras Clave: Paleomagnetismo, Serranía del Perijá, Jurásico, Cretácico, Suramerica, Pangea

PALEOMAGNETISM FROM JURASSIC AND EARLY CRETACEOUS ROCKS ON THE PERIJA RANGE WESTERN FLANK: INSIGHTS TO THE TECTONIC EVOLUTION FROM NW OF SOUTH AMERICA

ABSTRACT

The Perija Range is a mountain system located in the northwestern corner of Southamerica; upon western flank outcrop its rocks from La Quinta and Río Negro formations, and the Cogollo Group that were deposited from the Jurassic to Early Cretaceous. Paleomagnetic analysis allow to document rotations on vertical axis and traslation of geologic terranes along of North Andes, especially those related with the Pangea fragmentation as the Mexican Blocks (Yucatán, Chortis, etc) and the Santa Marta Massif.

Twenty nine paleomagnetic sites distributed in three areas from the western flank of the Perija Range were analyzed for testing if had changes in the rotation magnitude in several structural domains. In all, we collected 17 sites in the La Quinta Fm., 9 in the Río Negro Fm. and 3 in the Cogollo Group. The results of our study were integrated to the paleomagnetic data reported from eastern flank allow us document clockwise rotations of $41\pm 13^\circ$ for Jurassic rocks and $45\pm 13^\circ$ for Cretaceous rocks. The values of positive inclination allow us suggest a stable paleolatitudinal position for the PR, adjacent to the Craton, between the Jurassic ($+7.5^\circ$) and Cretaceous ($+9.2^\circ$). This paleolatitudinal stability is opposite to the northward traslation given for the Santa Marta Massif in previous studies, inferring that between these blocks in subsoil should be exist a paleosuture in late Jurassic.

Keywords: Paleomagnetism, Perija Range, Jurassic, Cretaceous, Southamerica, Pangea

¹ Corporación Geológica ARES, gnova@cgares.org, Telefono:57-1-3243416

² Laboratorio de Paleomagnetismo Daniel A. Valencio, Area de Geofísica, IGEB, Universidad de Buenos Aires-CONICET, Argentina

³ Universidad de los Andes

INTRODUCCIÓN

El noroccidente de Suramérica está integrado por un conjunto de terrenos de afinidad oceánica acrecionados desde el Cretácico al oeste de la paleosutura de Romeral (Cediel *et al.*, 2003) (FIGURA 1A); sin embargo, la composición y origen de los terrenos geológicos de corteza continental al este de Romeral son aún desconocidos. La evolución de estos terrenos con afinidad continental ha sido tratada en varias hipótesis; una de ellas descrita por Cediel *et al.* (2003, 2011) la cual considera un origen autóctono para las rocas formadas entre el Paleozoico y el Cretácico medio a través del desarrollo de un aulacógeno.

Una segunda hipótesis sugiere que durante el Triásico, los continentes de Suramérica y Norteamérica se ubicaban en el área occidental del súper continente Pangea (Sarmiento-Rojas, 2002). Luego durante el Jurásico temprano cuando Pangea comienza a fragmentarse, se inicia un periodo de *rifting*, el cual se extiende hasta el Jurásico tardío. Como consecuencia, Norteamérica se desplaza hacia el norte y el bloque Maya (Yucatán) gira 35° en sentido antihorario respecto

a Norteamérica desde ca. 161 Ma y durante un lapso de ca. 10 Ma (Godínez *et al.*, 2011). Simultáneamente en Suramérica y México se generan grandes sistemas de rifts, formando cuencas tanto en la margen sur (Venezuela, Colombia) como norte del Caribe (Georgia, Florida, Yucatán) (Pindell and Kennan, 2009). Sin embargo, para James (2009) este periodo de *rifting* reactivó lineamientos de basamento con rumbo N35°E a lo largo del sur de Norteamérica, Golfo de México, norte de Suramérica y en el interior de la Placa Caribe, incluyendo los bloques Chortis y Yucatán. Para este autor esto sería evidencia de que estos últimos bloques no han sido rotados.

Una tercera hipótesis (Bayona *et al.*, 2010) muestra que si bien durante el Jurásico medio a tardío hasta el Cretácico temprano, terrenos como la Sierra Nevada de Santa Marta (SNSM) se movieron hacia el norte; la dinámica de subducción favoreció la deformación extensional y/o transtensional al interior de la esquina noroccidental de la placa Suramericana, generando cuencas con depósitos continentales en los Andes de Mérida (AM) (Venezuela) y la Serranía del Perijá (SP) (Colombia).

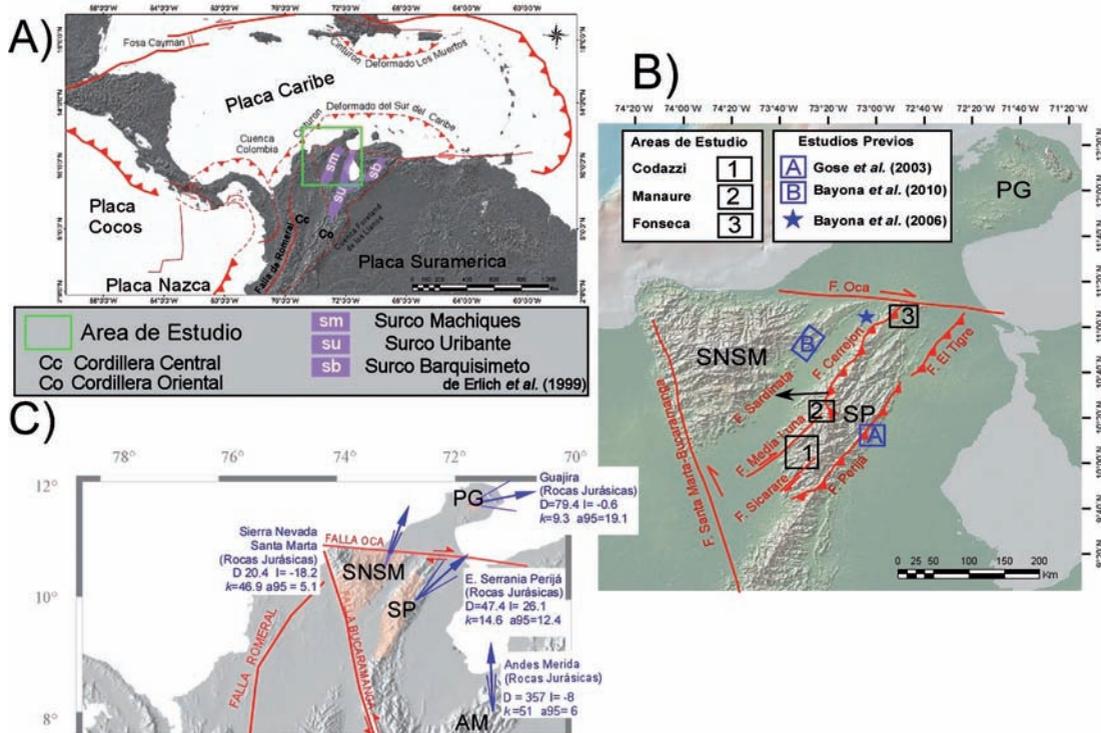


FIGURA 1. A) Marco Tectónico actual del norte de Suramérica y el Caribe, indicando las placas tectónicas presentes y los principales rasgos tectónicos formados por la interacción de estas placas, además de los Surcos extensionales definidos por Erlich *et al.* (1999) B) Localización de las áreas de trabajo con los principales rasgos estructurales, y geográficos, Sierra Nevada de Santa Marta (SNSM), Serranía de Perijá (SP) y Península de la Guajira (PG) C) Comparación de las declinaciones características jurásicas reportadas para la SNSM (Bayona *et al.*, 2010), Este de la SP (Gose *et al.*, 2003), Guajira (MacDonald and Opdyke 1972) y Andes de Mérida (AM) (Castillo *et al.*, 1991).

En el área que comprende Venezuela y el norte de Colombia estos *rifts* o cuencas corresponden a los denominados por Erlich *et al.* (1999) como Surco Machiques (posición actual SP), Surco Uribante (en el subsuelo del lago de Maracaibo), Surco Barquisimeto (posición actual en los AM) con una dirección preferencial (posición geográfica actual, ver FIGURA 1A) hacia el norte y nororiente. Estos *grabens* fueron llenados por sedimentos rojos y rocas volcánicas de la Formación La Quinta (Feo-Codecido *et al.*, 1984, Maze, 1984; Lugo and Mann, 1995).

La SP es una cadena montañosa donde afloran unidades sedimentarias y volcano-sedimentarias del Jurásico. A pesar de estar cerca a la SNSM (ca.50 km de separación presente), la asociación litológica de las rocas del Jurásico difiere entre estos dos sistemas montañosos. El Triásico Superior-Jurásico de la SNSM está compuesto en su mayoría por unidades plutónicas y volcánicas, y en menor proporción rocas volcanoclasticas y sedimentarias (INVEMAR *et al.*, 2007).

Teniendo en cuenta estas diferencias litológicas, hay incertidumbre sobre la relación entre estos bloques (SP y SNSM), especialmente durante el Jurásico medio, cuando Pangea se fragmentó en varios bloques (Bloque Yucatán y otros bloques mexicanos). Producto de la subducción de la Placa Farallón por debajo de las placas Suramericana y Norteamericana, se ubicó sobre el margen occidental de éstas un arco magmático (Dickinson and Lawton, 2001; Pindell and Kennan, 2009; Bayona *et al.*, 2010).

Estudios paleomagnéticos previos en rocas del Jurásico, Cretácico y Eoceno por Gose *et al.* (2003) y Maze

and Hargraves (1984) en el flanco oriental de la SP, MacDonald and Opdyke (1972) en la Península de la Guajira y Bayona *et al.* (2010) en la SNSM han documentado diferentes magnitudes de rotación horaria para la esquina NW del bloque Maracaibo (ver FIGURA 1C, TABLA 1). Aunque los estudios más recientes tienen un consenso en el sentido horario de la rotación, el mecanismo de la rotación ha sido interpretado por estructuras locales como propone Gose *et al.* (2003), o como una rotación a escala regional del bloque Maracaibo, como propone Montes *et al.* (2010).

Este trabajo se desarrolló sobre el flanco occidental de la SP, en rocas de la Formación La Quinta del Jurásico y de las formaciones Rio Negro y Cogollo del Cretácico Inferior. Las áreas de trabajo corresponden, de sur a norte, a Codazzi, Manaure y Fonseca (FIGURA. 1B). Los resultados de los análisis paleomagnéticos permitirán establecer y cuantificar si la SP sufrió desplazamientos latitudinales relativos respecto a las áreas cratónicas de América del Sur desde el Jurásico, documentar rotaciones de bloques sobre ejes verticales, y determinar si esas rotaciones están asociadas a estructuras locales, como lo sugiere Gose *et al.* (2003), o son de carácter regional de toda la SP e inclusive de la SNSM, como lo sugiere Montes *et al.*, (2010). Adicionalmente, los resultados de la paleolatitud nos permitirán esclarecer la relación tectónica entre la SP, la SNSM y los bloques Mexicanos. Estos análisis debieran además contribuir al conocimiento sobre el origen de la placa Caribe en su margen sur y como ésta ha desempeñado un papel preponderante en la acreción y traslación de terrenos geológicos a lo largo de los Andes del Norte.

TABLA 1. Datos Paleomagnéticos y parámetros estadísticos publicados para la Serranía del Perijá, Sierra Nevada Santa Marta, Península de la Guajira y Andes de Mérida. **DB** (Dirección de Buzamiento), **N** (Número Total de sitios), **n** (Número de sitios donde se aislo componente), **Dac** (Declinación in situ), **Iac** (Inclinación in situ), **Ddc** (Declinación con corrección estructural), **Idc** (Inclinación con corrección estructural).

Gose <i>et al.</i> , 2003	N/n	Sitio	In Situ				Corrección Estructural			
			Dec	Inc	a95	K	Dec	Inc	a95	K
Fm. La Sierra (Eoceno)	14/13	La Sierra 1	15.1	18.9	6.2	41.9	45.9	17.5	6.2	41.9
Fm. La Sierra (Eoceno)	14/14	La Sierra 2	6.3	43.7	5.2	59	68.9	24.4	5.2	59
Fm. La Sierra (Eoceno)	15/15	La Sierra 3	0.9	31.1	5.8	44.1	54.9	29.3	5.8	44.1
Fm. La Luna (Cretácico)	14/12	La Luna1	13.3	23.6	9.8	17.3	24.3	36.8	9.9	17
Fm. La Luna (Cretácico)	11/9	La Luna3	239.4	9.3	12.9	13.5	233.8	14.6	12.9	13.5
Fm. La Luna (Cretácico)	9/6	La Luna4	36.1	17.2	12.3	18.4	46.4	20.7	12.2	18.7
Fm. La Luna (Cretácico)	12/8	La Luna5	234.3	-7.3	13.3	11.4	239.9	-11.3	13.4	11.4

*Paleomagnetismo en rocas del Jurásico y Cretácico Inferior en el Flanco Occidental de la Serranía del Perijá;
contribuciones a la evolución tectónica del NW de Suramerica*

Gose <i>et al.</i> , 2003	N/n	In Situ					Corrección Estructural			
		Sitio	Dec	Inc	a95	K	Dec	Inc	a95	K
Gpo Cogollo (Cretácico)	23/20	La Ge	20.6	33.8	7.6	16.9	30.1	27.1	8	15.3
Gpo Cogollo (Cretácico)	16/16	Rio Apon1	5.6	23.9	5.1	53.1	38.3	55.1	5.1	53.1
Gpo Cogollo (Cretácico)	13/13	Rio Apon2	357.8	22.2	10	18	41.4	45.1	10.1	17.9
Fm. La Quinta (Jurásico)	20/16	La Quinta	15.9	26.3	11.1	9.6	48.1	26.8	7.3	20.8
Dirección Media (Jurásico a Eoceno)	18/18		29.4	13.7	8	13	47.3	26.1	14.61	12.4
Maze and Hargraves, 1984										
Volcanic rocks (Jurásico)	12/10		323	-2			319	9	35.9	
Red beds (Jurásico)	5/5		311	0		309	3	35.7		
Perija Dikes (Jurásico)	6/3		354	36		6	27	16		
Bayona <i>et al.</i>, 2006a										
Fm. Hato Nuevo-Manatí (Maastrichtiano-Paleoceno)	17/8		357.7	26.9	8.7	41.3	8.6	45.6	9.6	34.31
Fm. Cerrejón (Paleoceno)		No se aisló componentes confiables estadísticamente a nivel de sitio								
Bayona <i>et al.</i> 2010										
Comp. A	28/12		352	25.6	5.3	57.35	354.7	30.1	6.8	46.38
Aptiano (C1)	7/7		8.2	1.9	13.5	25.68	8.8	8.3	13.7	24.71
Jurásico (C2)	21/18		24.4	-5.3	6.1	33.02	20.4	-18.2	5.1	-18.2
Castillo <i>et al.</i>, 1991										
Fm. La Quinta (Jurásico)	18/17		172.8	-15.2	5.6	38.7	182.8	-17.4	5.8	36.2
Fm. La Quinta (Jurásico)	14/13		352.1	16.1	6.4	39.1	351.6	0.1	5.6	51
Fm. La Quinta (Jurásico)	24/23		356.2	-49.7	6.5	35.6	3.1	5.9	6	41.9
Fm. Río Negro (Cretácico inf.)	8/7		172.9	-7.9	6.5	74.4	170.4	-20.5	6.5	74.3
MacDonald and Opdyke, 1972										
Lavas Ipapure (Jurásico)	6/5	1	290	-3.1	39.6	4.7	273.6	-5.2	8.1	70.2
Lavas Ipapure (Jurásico)	4/4	2	87.8	-11.3	7	175.6	89.6	-7.8	7.1	169.1
Lavas Ipapure (Jurásico)	5/5	3	238.9	26.7	79.2	1.9	274.9	27.9	3.1	589.7
Lavas Ipapure (Jurásico)	6/6	54	243.3	29.4	18.3	14.3	232.4	10.1	187	15.9
Lavas Ipapure (Jurásico)	6/6	55	295.9	-5.8	7.5	81.6	291.5	-15.7	7.4	82.3
Lavas Ipapure (Jurásico)	5/5	56	247.9	-18.5	68.1	1.9	268.1	-2	2.8	765.4
Lavas Ipapure (Jurásico)	6/6	57	245.7	-24.8	10.3	43.4	249.4	-21.4	3.6	352.8
Lavas Ipapure (Jurásico)	6/6	59	248.3	-21.6	55.7	2.4	242.4	-2.8	19.4	16.5

MARCO GEOLÓGICO DE LA SERRANÍA DE PERIJÁ

La interacción cretácica-cenozoica entre la placa Caribe y los bloques continentales de la placa Suramericana han producido una compleja configuración estructural que incluye de oeste a este, SNSM, la cuenca de Cesar-Ranchería, la SP y el este de la cuenca de Maracaibo (Bayona *et al.*, 2011). Esta compleja conformación tectono-morfológica está limitada por los sistemas de fallas de Santa Marta- Bucaramanga, Oca, Perijá y Cerrejón que limitan los sistemas montañosos como la SNSM y la SP (FIGURA 1B) (Hernández, 2003).

La SP esta estructuralmente levantada entre las cuencas de Cesar-Ranchería y Maracaibo (Miller, 1962). Con un rumbo noreste, está limitada al este por el sistema de fallas de Perijá y Tigre, al oeste por la

Falla de Cerrejón en su parte septentrional y al norte por la Falla de Oca. La Falla de Perijá es interpretada como una falla inversa de alto ángulo con dirección N18°E al sur y N26°E al norte. La Falla del Cerrejón es una falla de cabalgamiento con rumbo sureste pero con trazo curvo, que monta estratos del Grupo Cogollo y de la Formación Quinta sobre rocas del Eoceno Inferior. Esta falla es de bajo ángulo (9-12°; Montes *et al.*, 2010) y tiene un desplazamiento mínimo de $1,7 \pm 0,6$ km en la vertical y $7,8 \pm 2,0$ km en la horizontal (Kellogg, 1981). Kellogg (1984) la considera de tipo inverso y de bajo ángulo, que buza hacia el SE, y la relaciona con la Falla del Tigre en Venezuela. Hacia el sur, el trazo de la Falla del Cerrejón se divide con la Falla de Sardinata en la región de Manaure, y con los trazos del sistema de fallas de Media Luna (Arias y Morales, 1999) (FIGURAS 2 y 3). La Falla de Oca es una falla transcurrente dextral, con un desplazamiento de 90 km durante el Terciario (Kellogg, 1984).

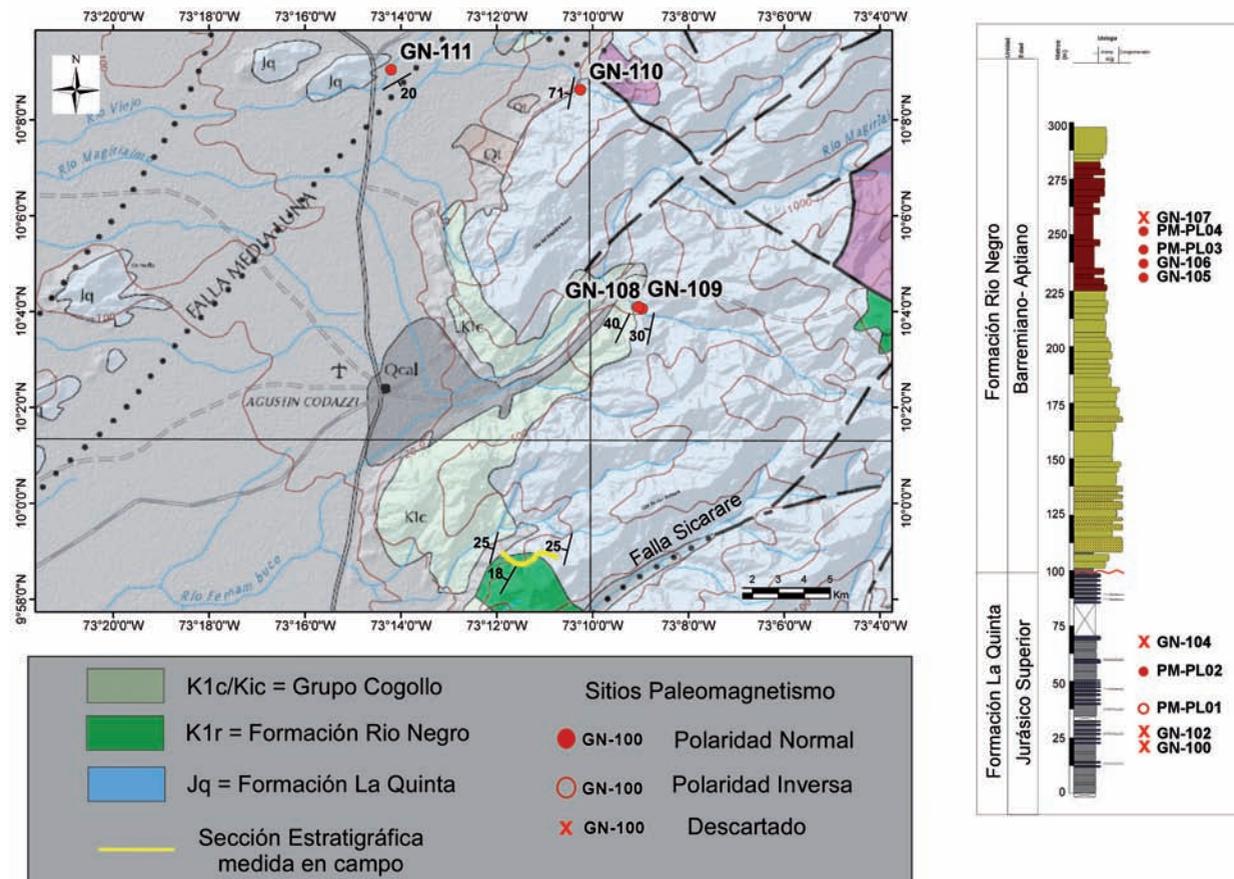


FIGURA 2. Mapa geológico del área de Codazzi, con la ubicación de los sitios paleomagnéticos y la columna estratigráfica descrita al norte de la Falla de Sicarare (modificado de Arias y Morales 1999). Véase mapa de ubicación en la FIGURA 1.

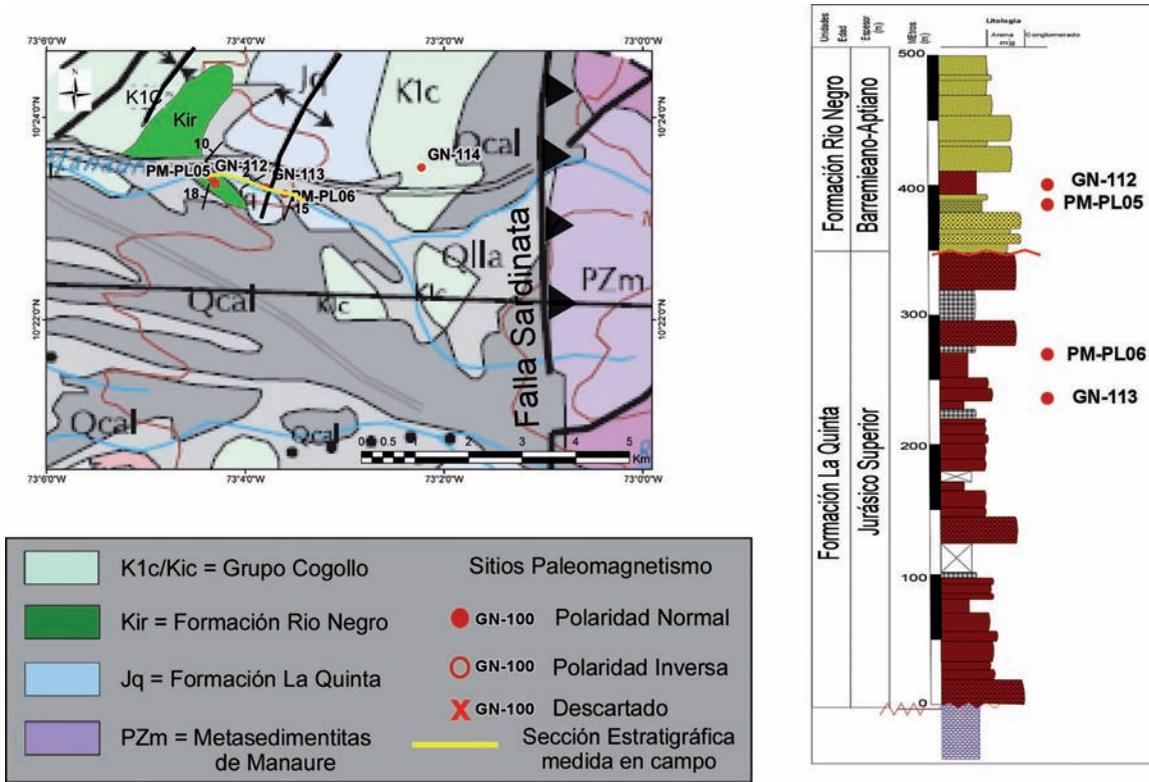


FIGURA 3. Mapa geológico y columna estratigráfica detallados del área de Manaure, con la ubicación de los sitios paleomagnéticos (Modificado de Arias y Morales 1999 y Cáceres *et al.*, 1980). Véase mapa de ubicación en la FIGURA 1.

LAS FORMACIONES LA QUINTA, RIO NEGRO Y GRUPO COGOLLO EN LA SERRANÍA DEL PERIJÁ.

A continuación se hace una breve descripción de las litologías de estas unidades en el flanco oeste de la SP. La Formación La Quinta consiste de una sucesión de limolitas rojas silíceas, ocasionalmente arenosas, macizas con estratificación plano paralela (Hernández, 2003). Están intercaladas con estratos medianos a gruesos de areniscas blancas, pardas y rojizas de grano fino a grueso, y niveles conglomeráticos con estratificación inclinada, cruzada y capas acuñadas. En ocasiones, esta unidad es intercalada por ignimbritas oscuras con fragmentos volcánicos de 2 a 20 cm; hacia el techo se encuentran localmente intercalaciones de tobas líticas. En cercanías a Codazzi hacia el tope se han reportado lodolitas calcáreas grises pertenecientes a ambientes lacustres (Montaño, 2010 y Hernández, 2003) (FIGURA 2). La edad de la Formación La Quinta en el área de Venezuela es Jurásico; en tobas soldadas se hallaron edades U/Pb en circones de 163 ± 5 Ma (Dasch, 1982). Barrett *et al.* (2008) ubican esta unidad en el Jurásico inferior a medio, según evidencia fósil de *Ornithischian Lesothosaurus sp* y restos de reptiles.

Posterior al evento de *rifting* del Jurásico, sedimentos correspondientes a la Formación Río Negro son depositados sobre rocas jurásicas, paleozoicas y pre-Cámbricas. Cáceres *et al.* (1980) reportan un contacto discordante, siendo angular entre estas unidades en algunas localidades. Miller (1962) y Forero (1972) documentan este contacto como concordante. En el área de Codazzi, Montaño (2010) reporta este contacto como una paraconformidad. La Formación Río Negro, en el área de Codazzi (FIGURA 2), está compuesta en su parte basal por secuencias granodecrecientes de conglomerados de matriz y clasto soportados, seguidos por arenitas conglomeráticas y terminando con arenitas de grano grueso con estratificación cruzada planar. En la parte media y alta la unidad está compuesta por litoarenitas de grano medio con estratificación cruzada planar y continúa con litoarenitas bioturbadas, terminando con lodolitas y limolitas bioturbadas. Además, en esta parte se encuentran varias intercalaciones de limolitas rojas y areniscas arcóscas (Geoestudios, 2006 y Nova, 2009). Con base en los palinomorfos *Odontochitina operculata*, *Callialasporites dampieri*, *Subtilisphaera pirnaensis* y *Oligospheridium albertainse* encontrados en capas de lodolita negra hacia la base de la Formación Río Negro, Ramos *et al.* (1986) proponen una edad Barremiano-Aptiano.

El Grupo Cogollo suprayace en contacto transicional a la Formación Rio Negro (Hernández, 2003). Está dividido en la base por la Formación Lagunitas, compuesta por calizas fosilíferas intercaladas con shales calcareos negros; y supra yaciendo a está, se encuentra la Formación Aguas Blancas compuesta por calizas grises intercaladas con shales carbonaceos y areniscas calcareas finas (Cáceres *et al.*, 1980). Con base en amonitas *Acanthoplites cf. pulcher*, *Pulchellia cf. galetata ornata*, Cáceres *et al.* (1980) reportan una edad Aptiano para la Formación Lagunitas y una edad Albiano medio a superior para la Formación Aguas Blancas en base a la presencia de las amonitas *Knemiceras*, *Oxytropidoceras*, *Eugoneceras* y *Perguvingeria*.

RESULTADOS PREVIOS DE PALEOMAGNETISMO

Los datos paleomagnéticos en unidades del Jurásico y del Cretácico Inferior en los terrenos de la SNSM y del Valle Superior del Magdalena (VSM) permiten establecer un movimiento latitudinal hacia el norte de mayor magnitud que el movimiento del cratón (Bayona *et al.*, 2006b, 2010) (TABLA 1). Las medidas de paleomagnetismo también han permitido documentar procesos de rotación locales a regionales, con respecto al cratón. Sobre el flanco oriental de la SP, los datos de paleomagnetismo reportados muestran una rotación horaria de $50 \pm 12^\circ$ incluyendo rocas desde el Jurásico hasta el Eoceno (Gose *et al.*, 2003) (TABLA 1). Si se consideran únicamente los valores para rocas Jurásicas la magnitud de la rotación es de $44.7 \pm 14.2^\circ$. Los datos paleomagnéticos de Maze and Hargraves (1984) indican una rotación antihoraria (TABLA 1), pero éstos no son considerados confiables debido al muy alto valor del ángulo de 95% de confianza ($>30^\circ$) y a que en el estudio original no se aislaron los componentes de mayor temperatura/coercividad. En la cuenca de Ranchería, Bayona *et al.* (2006a), presentan un componente de magnetización aislado en rocas de la formaciones Hato Nuevo y Manantial cuya dirección es paralela al campo actual (Componente A en TABLA1), mientras que en rocas de la Formación Cerrejón no se aislaron componentes estadísticamente confiables a nivel de sitios.

SELECCIÓN DE ÁREAS DE TRABAJO

Las áreas escogidas que se tuvieron en cuenta para este estudio presentaban afloramientos tanto de la Formación La Quinta como de las unidades del Cretácico. En lo posible, los sitios se localizaron en

diferentes dominios estructurales y alejados de zonas de falla. Sitios específicos fueron colectados cerca de estas zonas para determinar el posible efecto local de esas estructuras.

En el área de Codazzi (FIGURA 2) afloran rocas de las Formaciones La Quinta, Rio Negro y Grupo Cogollo. En esta área se trabajaron dos secciones, la primera ubicada al suroriente del Municipio de Codazzi, sobre el rio Fernambuco y la segunda sobre el Río La Duda al Oriente del mismo municipio. Adicionalmente se trabajaron afloramientos aislados al norte de Codazzi. Esta área esta limitada al norte por la Falla de Media Luna, la cual ha sido interpretada como de rumbo-dextral (Arias y Morales, 1999) y afecta rocas del Jurásico y Cretácico. El límite sur es la Falla de Sicarare, la cual es interpretada como de rumbo-sinistral por Geoestudios (2006), afectando también rocas Jurásicas y Cretácicas. Entre estos dos sistemas de falla se encuentra una serie de pliegues sinclinales y anticlinales con rumbo NNE-SSO, abiertos y sin cabeceo (Geoestudios, 2006). En las secciones trabajadas las capas están buzando hacia el noroeste con buzamientos entre 25° y 40° (FIGURA 2).

A lo largo del Río Manaure afloran las formaciones La Quinta, Rio Negro y Grupo Cogollo. Esta sección está limitada al oriente por el sistema de fallas de Sardinata que colocan en contacto rocas del Paleozoico con el Grupo Cogollo (FIGURA 3) (Arias y Morales, 1999). Al Occidente de esta área se presentan un sinclinal que afecta al Grupo Cogollo y un anticlinal que afecta a las formaciones La Quinta, Rio Negro y el Grupo Cogollo. Los sitios fueron colectados sobre ambos flancos de este anticlinal, donde las capas estan buzando entre 10° a 18° en sus flancos (FIGURA 3).

En el área de Fonseca (FIGURA 4), afloran las Formaciones La Quinta y el Grupo Cogollo. Se trabajaron dos secciones, la primera sobre el arroyo el Salado al suroeste y la segunda sobre el arroyo Remedios al nororiente. Esta área está limitada al oeste por la Falla de Cerrejón. En la sección del arroyo el Salado, las capas están buzando uniformemente hacia el noroeste con ángulos de 20° a 50° , sin embargo en la medida que se acerca a la Falla del Cerrejón, los ángulos aumentan hasta alcanzar los 85° . En la sección de Remedios las capas de la Formación La Quinta estan buzando entre 12° a 25° y hay una mayor variación en el rumbo de las mismas (FIGURA 4). En contraste, las rocas del Cretácico buzan uniformemente hacia el norte entre 12° y 30° .

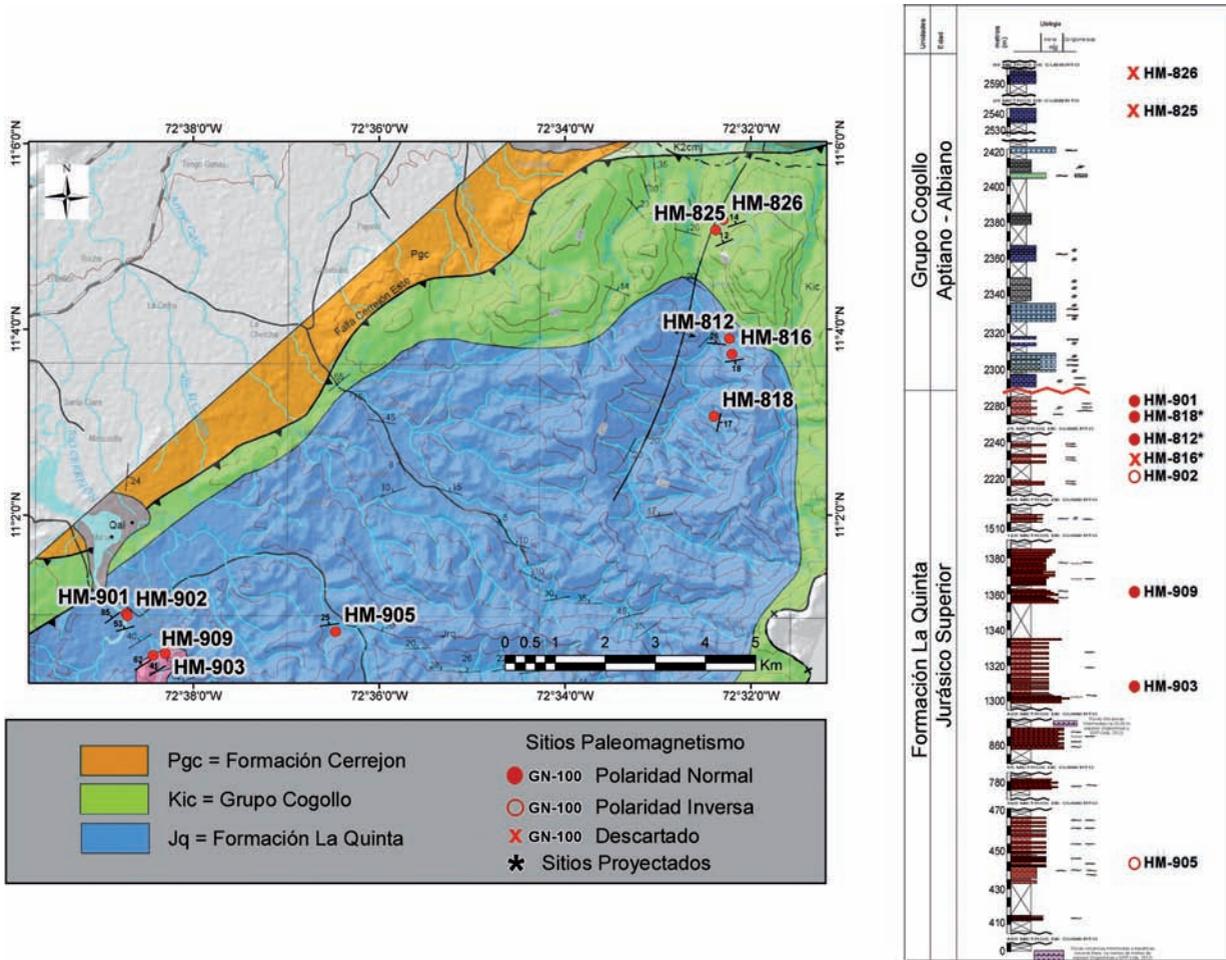


FIGURA 4. Mapa geológico y columna estratigráfica detallados del área de Fonseca, con la ubicación de los sitios paleomagnéticos (Modificado de INGEOMINAS y GRP, 2010.)

METODOLOGÍA

Se tomaron veintinueve sitios en la Serranía del Perijá, dieciseis de ellos son muestras de mano orientadas y trece fueron extraídos en campo con un taladro portátil. En total se colectaron 17 sitios en la Formación La Quinta, 9 en la Formación Río Negro y 3 en el Grupo Cogollo. El muestreo se realizó a diferentes niveles estratigráficos y en diferentes bloques estructurales para poder determinar el registro de cambios en la polaridad, promediar la variación secular del campo magnético terrestre y realizar la prueba de pliegue. Las muestras se tomaron principalmente en lodolitas rojas y ocasionalmente en lodolitas grises a marrón, lejos de zonas de fallas, y que no presentaran venas. En el Grupo Cogollo se tomaron muestras en rocas calcáreas de litologías finas. Para cada sitio se extrajeron al

menos 8 núcleos, que posteriormente fueron cortados al tamaño estándar de 2.2 cm de alto por 2.54 cm de diámetro.

La desmagnetización se realizó por campos magnéticos alternos (CA) y altas temperaturas en etapas progresivas. Estos procedimientos fueron realizados en el laboratorio de paleomagnetismo de la Universidad de Florida (6 sitios) y la Universidad de Buenos Aires (23 sitios). En ambos laboratorios se utilizó un desmagnetizador por altas temperaturas ASC y un magnetómetro criogénico 2G Enterprises con una sensibilidad de 10^{-11} A/m. Para determinar el método de desmagnetización más adecuado, se tomaron como mínimo 2 a 4 especímenes por sitio y se desmagnetizaron por los métodos CA y térmico. Por el método CA se aplicaron los siguientes campos: 0,

3, 6, 9, 12, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 50, 60, 75 y 90 mT, midiendo la dirección e intensidad de la remanencia en cada paso. Por el método térmico se calentó la muestra a 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 540, 580, 615, 640 y 680 °C, midiendo la remanencia y controlando la susceptibilidad magnética (k) en cada paso para monitorear potenciales alteraciones mineralógicas a altas temperaturas. El método más efectivo se aplicó para desmagnetizar las muestras restantes de cada sitio.

Los comportamientos magnéticos a los procesos de desmagnetización fueron interpretados a partir de los diagramas de desmagnetización ortogonales de Zijderveld (1967). La determinación de las componentes magnéticas fue realizada mediante el análisis de los componentes principales (Kirschvink, 1980), aceptando componentes magnéticas definidas con desviación angular máxima $<15^\circ$. El cálculo de las direcciones medias por sitio siguió el procedimiento estadístico de Fisher (1953). Aquellos sitios que mostraron valores de $a95 > 18^\circ$ y/o $k < 10$ se descartaron. Estos procedimientos se realizaron con el software IAPD2000 del Servicio Geológico de Noruega (Torsvik *et al.*, 2000).

La edad relativa de la magnetización se estimó a partir de los resultados de las pruebas de pliegue (McFadden and Reid, 1982), y la comparación de las direcciones características obtenidas en rocas de diferentes edades y en diferentes áreas. La prueba de horizontalización progresiva (tilt test) permite determinar si la magnetización ocurrió antes de la deformación, en un estado intermedio, ó en un estado posterior a la misma. El significado estadístico de esta prueba sigue los criterios de McElhinny (1964). Para las rotaciones según ejes verticales, los límites de confianza para las declinaciones y la diferencia relativa entre la declinación característica con el valor de la declinación calculada en un punto cualquiera en el cratón estable (4°N y 72°W) se siguió el criterio dado por Demarest (1983).

RESULTADOS

Las muestras analizadas presentan en general un patrón multivectorial y rara vez univectorial en sus diagramas de desmagnetización (FIGURA 5). Las magnetizaciones aisladas se agrupan en 3 componentes, cuyos rangos de desbloqueo se indican en la TABLA 2. El componente A es de bajas temperaturas y/o coercividades (0-15mT/0-500°C), con algunas

excepciones en las que se aisló hasta 90mT o 680°C. En general, las declinaciones son hacia el norte e inclinaciones positivas someras a intermedias. El componente C fue identificado a altas temperaturas y/o coercividades (20-90mT/450-680°C), pero en las unidades calcáreas de la Formación La Quinta en Codazzi se aisló a menos de 50mT/500°C y presenta direcciones hacia el noreste y este e inclinaciones positivas, ó sus direcciones antípodas. Los componentes A y C fueron identificados en la mayoría de las muestras sin diferenciar dominio estructural, área de trabajo o posición estratigráfica. Componentes viscosos fueron definidos a menos de 9mT/450 °C, y las direcciones aisladas a coercividades/temperaturas intermedias precediendo el componente C se denominaron como componente B. En los siguientes párrafos se hará un descripción mas detallada de los componentes paleomagnéticos aislados en cada una de las áreas de estudio, con énfasis en el componente característico C.

En el área de Codazzi (FIGURA 2) se tomaron muestras en 14 sitios, de los cuales 4 sitios en la Formación La Quinta y 8 sitios en la Formación Rio Negro mostraron resultados favorables para hacer un análisis paleomagnético (FIGURA 5), mientras 2 sitios, uno en cada una de estas unidades no dieron resultados. La intensidad de magnetización remanente natural (MRN) en ambas unidades está en un rango entre 0.5 y 80 mA/m. En la Formación La Quinta, en muestras de limolitas rojas, limolitas calcáreas y micritas, fueron aislados los componentes A y C (TABLA 2, FIGURA 5A, B y C). En tres sitios se aisló el componente C con direcciones hacia el noreste, cuyas inclinaciones pasan a ser positivas después de la corrección estructural (FIGURA 6). En el sitio PM-PL01 sus direcciones son antípodas de las restantes del componente C. El componente C del sitio GN-111 tiene direcciones hacia el noroeste con inclinaciones negativas intermedias, y es el único sitio cercano a la falla de Media Luna. Este sitio fue excluido del cálculo de la dirección media del componente C (TABLA 2, FIGURA 5D). En la Formación Rio Negro, sobre muestras de limolitas y areniscas muy finas rojas fueron aislados los componentes A y C. El componente C presenta declinaciones hacia el noreste e inclinaciones positivas y en menor proporción negativas someras después de la corrección estructural (TABLA 2, FIGURA 5-E-F-G, FIGURA 6). La dirección al noroeste con inclinaciones positivas del sitio PM-PL04 es aislada y no se considera para el posterior análisis.

TABLA 2. Datos Paleomagnéticos y parámetros estadísticos para las formaciones la Quinta y Rio Negro, y del Grupo Cogollo. **DB** (Dirección de Buzamiento), **N** (Número Total de sitios), **n** (Número de sitios donde se aislo componente, **Dac** (Declinación in situ), **Iac** (Inclinación in situ), **Ddc** (Declinación con corrección estructural), **Idc** (Inclinación con corrección estructural). Las direcciones con valores de $\alpha95 > 18^\circ$ y $\gamma/6 k < 10$ no se le calculó corrección estructural ni se le asigna componente, estas direcciones se descartaron por su alta dispersión en el cálculo de las direcciones media.

SITIOS	Codazzi										Sin Corrección					Con Corrección Estructural				
	ROCA	UNIDAD	EDAD	DB/ buz	N/n	Rango	Dac	Iac	Ddc	Idc	k	a95	comp.							
GN-100	Micritas	Fm. La Quinta	Jurásico	284/25°	6/6	0-15 mT	349.3	1		2.7	50.6									
GN-102	Micritas	Fm. La Quinta	Jurásico	275/25°	11/4	0-15mT	32.8	39.8		29										
					11/7	12-90 mT	36.9	19.1	11.01	6.98	24.6									
GN-104	Micritas	Fm. La Quinta	Jurásico	285/20°	6/3	0-9 mT	5.7	-22.1	14.2	-23.9	53.78	17								
					6/5	6-90 mT	37.5	20	29.3	26.3	40.73	12.1	Viscoso							
GN-110	Limolitas Rojas	Fm. La Quinta	Jurásico	281/71°	7/5	0-500°C	356.8	0.3	5.9	-13.3	64.94	9.6								
					7/6	0-680°C	25.9	-8.7	24.3	11	54.21	9.2	c							
GN-111	Limolitas Rojas	Fm. La Quinta	Jurásico	150/20°	10/5	6-90 mT	347.2	-2.7	348.3	13.1	20.04	17.5								
					10/9	0-250°C	309	-34.4	309.1	-14.4	25.34	10.4	c							
PM-PL01†*	Lodolita Calc	Fm. La Quinta	Jurásico	285/33°	7/6	0-90 mT; 0- 500 °C	222.6	2.7	220.1	-12,3	19.06	14.2								
PM-PL02†*	Micritas	Fm. La Quinta	Jurásico	296/25°	5/4	0-50 mT	59.8	27.5	44.8	38.8	23.86	16								
					8/5	0-500°C	4.4	1.9	3.6	2.6	23.62	16.1	a							
GN-105	Limolitas Rojas	Fm. Rio Negro	Cretácico	272/20°	8/6	0-680°C	27.5	-14.9	30.8	-5.6	37.07	11.1								
					7/5	0-300°C	31.5	38.3			18.46	18.3	c							
GN-106	Limolitas Rojas	Fm. Rio Negro	Cretácico	275/25°	7/6	100-640°C	49	-33.8	56.8	-15.1	52.32	9.3								
					5/4	0-680°C	32	-0.7			8.27	34								
GN-107	Arenisca muy fina	Fm. Rio Negro	Cretácico	314/25°	7/5	0-500°C	5.7	30.7	351.1	21.9	55.77	10.3								
					7/6	450-680°C	54.8	10.4	46	28.1	56.43	9	c							
GN-108	Limolitas	Fm. Rio Negro	Cretácico	283/30°	8/5	0-500°C	28.4	35.2	3.2	27.6	35.46	13								
					8/6	540-680°C	58.5	5.9	48.3	25	57.16	8.9	c							
PM-PL03†*	Lodolita Roja	Fm. Rio Negro	Cretácico	300/32°	7/4	0-450°C	19	26.5			4.95	38.3								
					7/7	0-700°C	40	7.8	34.5	12	91.63	6.3	c							
PM-PL04†*	Lodolita Roja	Fm. Rio Negro	Cretácico	238/40°	6/4	0-500 °C	290.1	42			9.26	26.5								
					6/6	0-690 °C	336.6	24.4	317.9	23.9	88.27	7.2								

Manauare													
SITIOS	ROCA	UNIDAD	EDAD	DB/ buz	N/n	Rango	Sin Corrección			Con Corrección Estructural			
							Dac	Iac	Ddc	Idc	k	a95	comp.
GN-112	Limolita arenosa	Fm. Rio Negro	Cretacico	312/10°	9/6	0-90 mT 0-640°C	356.8	-24.7	0.7	-31.5	51.45	9.4	a
GN-113	Lodolita	Fm. La Quinta	Jurásico	330/2°	8/6	20-90 mT; 400-680°C	29.1	5.2	28.9	4.1	45.45	11.5	c
PM-PL05†*	Lodolita amarilla	Fm. Rio Negro	Cretácico	284/18°	6/2	0-10 mT; 0-300 °C	15.4	16.4			25.14	52.1	
PM-PL06†*	Lodolita Roja	Fm. La Quinta	Jurásico	110/15°	5/4	0-200	26.2	-24.8	33.4	-19.9	22.45	16.5	c
GN-114	Caliza	Fm Lagunitas	Cretácico	105/25°	5/4	300-700°C	23.3	10.7	26	9.5	111.2	8.7	b
Direcciones Dispersas													

Fonseca													
SITIOS	ROCA	UNIDAD	EDAD	DB/ buz	N/n	Rango	Sin Corrección			Con corrección			
							Dac	Iac	Ddc	Idc	k	a95	comp.
HM-812*	Limolitas Rojas	Fm. La Quinta	Jurásico	5/26°	9/9	0-90 mT	89.2	13.6	83.8	9.7	158.43	4.1	c
HM-816*	Limolitas Rojas	Fm. La Quinta	Jurásico	169/18°	8/6	0-400 °C	349.5	-28			12.53	19.7	
HM-818*	Limolitas Rojas	Fm. La Quinta	Jurásico	103/17°	8/6	0-680 °C	129	-20.6		13.88	18.6		
HM-901*	Limolitas Rojas	Fm. La Quinta	Jurásico	324/85°	7/7	500-580	112	64	108.8	47.1	48.7	11.1	b
HM-902*	Limolitas Rojas	Fm. La Quinta	Jurásico	345/53°	7/7	600-680 °C	33.3	6.5	34.3	0.4	92.3	6.3	c
HM-903*	Limolitas Rojas	Fm. La Quinta	Jurásico	329/41°	8/6	9-90 mT	45.1	-52.8	106.8	-9.3	171.44	5.1	c
HM-905*	Limolitas Rojas	Fm. La Quinta	Jurásico	352/25°	9/9	0-300	109.8	-12.4	107.3	18.4	63.05	6.5	Viscoso
HM-909a*	Limolitas Rojas	Fm. La Quinta	Jurásico	328/62°	9/9	300-580	149.2	-27.2	149.6	24.1	19.93	11.8	b
HM-826*	Caliza	Grupo Cogollo	Cretácico	341/14°	9/8	540-680 °C	235.6	-22.3	225.8	0.9	62.04	7.1	c
HM-825*	Caliza	Grupo Cogollo	Cretácico	105/25°	9/8	0- 680 °C/ 3- 90 mT	23.6	28.7	14.6	1.7	69.89	6.7	a
					8/8	0-680 °C	260.3	-20.3	251.6	-17.6	50.41	7.9	c
					8/8	0-540 °C/0-90mT	3.3	19.7	7.6	-31.3	19.32	14.1	a
					5/5	3-100 mT	47.3	74			18.97	18	
Direcciones Dispersas													

†Muestras Analizadas en la Universidad de Florida *Muestras de Mano orientadas en campo

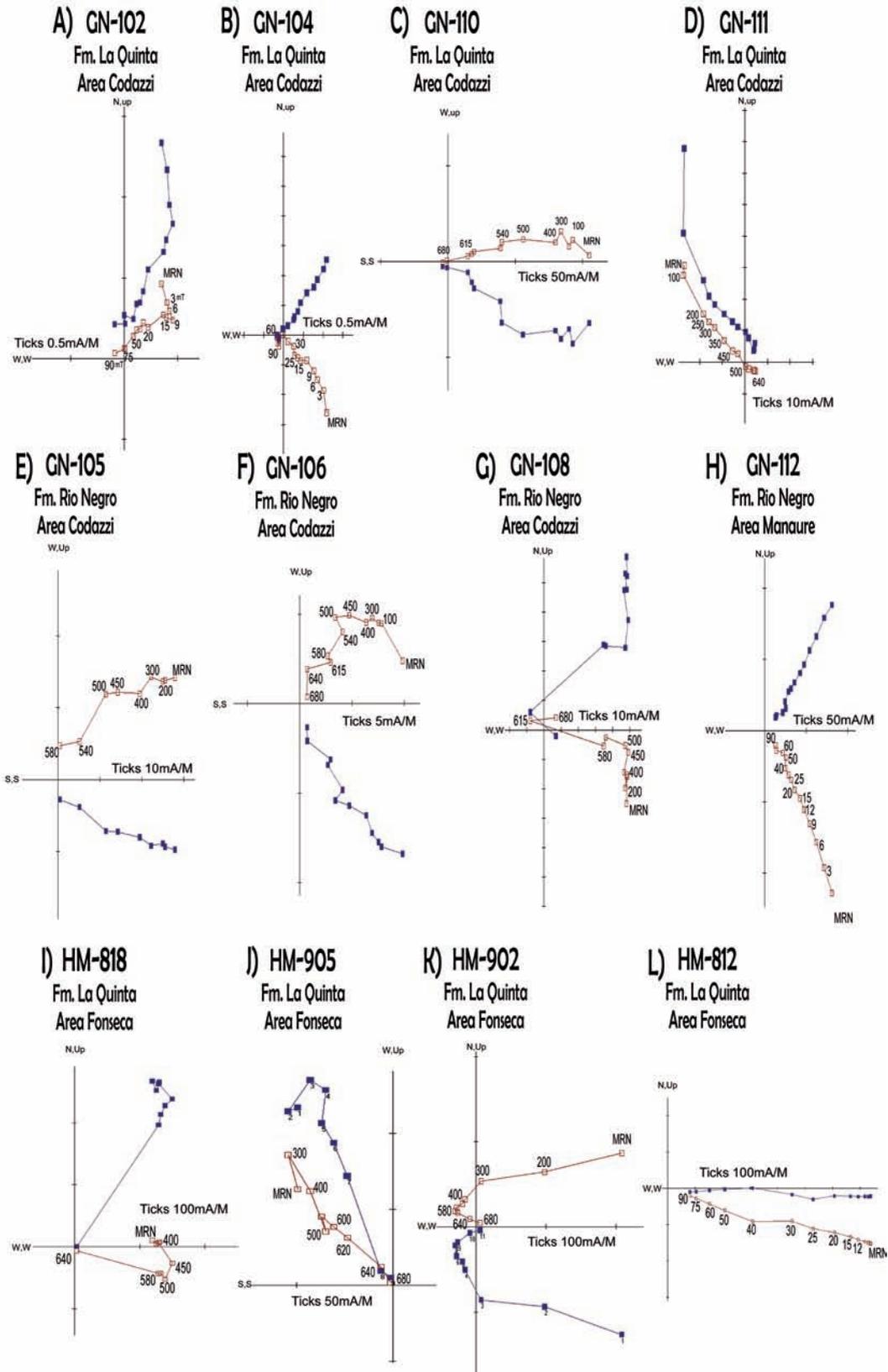


FIGURA 5. Diagramas ortogonales de desmagnetización de Ziegerveld. Símbolos abiertos y rojos son proyecciones sobre el plano vertical. Símbolos cerrados y azules son proyecciones sobre el plano horizontal

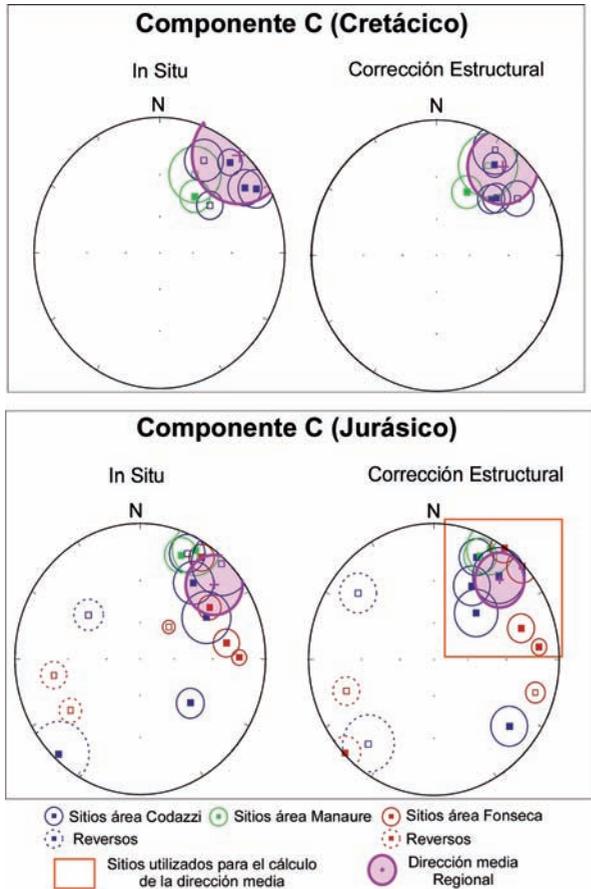


FIGURA 6. Diagramas de igual área a diferentes edades, mostrando las direcciones del componente C, in situ y después de la corrección estructural. Símbolos cerrados (abiertos) representan inclinaciones positivas (negativas), los sitios con declinaciones mayores a 90° fueron excluidos del cálculo de la dirección media.

En el área de Manauere (FIGURA 3) los 2 sitios de la Formación La Quinta y 2 sitios de la Formación Río Negro arrojaron resultados favorables para hacer un análisis paleomagnético, mientras el sitio del Grupo Cogollo no dió resultados. La intensidad de magnetización remanente natural (MRN) está en un rango entre 3 y 600 mA/M. En la Formación La Quinta sobre muestras de lodolitas rojas se aislaron los componentes B y C. El componente C presenta declinaciones al noreste e inclinaciones positivas someras después de la corrección estructural (TABLA 2, FIGURA 6). En la Formación Río Negro sobre muestras de limolitas marrón y areniscas muy finas amarillas fueron aislados los componentes A y C. El componente C presenta declinaciones hacia el NE e inclinaciones positivas y negativas intermedias, las cuales se somerizan levemente después de la corrección estructural (TABLA 2, FIGURA 5-H, FIGURA 6).

En el área de Fonseca (FIGURA 4) se tomaron muestras en 8 sitios en la Formación La Quinta y 2 sitios en el Grupo Cogollo; de estos sitios solo 7 de la Formación La Quinta mostraron resultados favorables para hacer un análisis paleomagnético. La intensidad de magnetización remanente natural (MRN) está en un rango entre 39 y 765 mA/M. En la Formación La Quinta sobre muestras de lodolitas rojas se aislaron los componentes A, B y C. El componente A presenta declinaciones al norte e inclinaciones positivas intermedias a someras en los sitios HM 909A y HM903 (Arroyo Salado) con comportamiento univectorial (TABLA 2). El componente B en los sitios HM818 y HM902 son direcciones intermedias que preceden el componente característico C. El componente C presenta declinaciones hacia el noreste-este en 3 sitios (TABLA 2, FIGURA 5-I, L) y en los sitios HM-905 y HM-902 tiene direcciones al suroeste (TABLA 2, FIGURA 5-J-K) los cuales se consideran como direcciones antipodales. Después de la corrección estructural, las inclinaciones tienden a ser someras positivas y negativas, pero con una alta dispersión en la declinación (FIGURA 6). La declinación al ESE después de la corrección estructural corresponde al sitio más cercano a la Falla del Cerrejón y el que tiene mayor grado de deformación. Por este motivo se descarta del cálculo de la dirección media.

El cálculo de la dirección media se realizó integrando los resultados de los sitios de las tres áreas debido al bajo numero de sitios con resultados en rocas del Jurásico y Cretácico en el área de Manauere y Fonseca. Tomando los valores para la Formación La Quinta, la dirección media resultante para el Jurásico presenta una declinación hacia el noreste y una inclinación positiva somera (TABLA 3) (FIGURA 6). Luego de realizar la corrección estructural, las direcciones se agrupan (los parámetros estadísticos a_{95} disminuye y el k aumenta en la TABLA 3), y la inclinación aumenta levemente (FIGURA 6).

En cuanto a las rocas Cretácicas de la Formación Río Negro, la dirección media encontrada in situ es hacia el noreste con inclinaciones someras negativas (TABLA 3) (FIGURA 6). Luego de realizar la corrección estructural, las direcciones se agrupan (los parámetros estadísticos a_{95} disminuye y el k aumenta en la TABLA 3), y la inclinación es positiva somera (FIGURA 6). La dirección media de la Formación Río Negro es muy similar a los encontrados para la Formación La Quinta.

TABLA 3. Declinaciones medias para los componente A y C para el flanco oeste de la SP. **N** (Número Total de sitios), **n** (Número de sitios donde se aislo componente, **Dac** (Declinación in situ), **Iac** (Inclinación in situ), **Ddc** (Declinación con corrección estructural), **Idc** (Inclinación con corrección estructural)

Resultados este Estudio									
Componente	N/n	In Situ				Con corrección			
		Dac	Iac	k	a95	Ddc	Idc	K	a95
A-Campo Actual (5=Codazzi; 1= Manaure; 2=Fonseca)	29/8	5	11.6	11.1	17.4	1.9	-0.9	11.3	17.2
C-Regional Jurásico (W Serrania del Perijá)	17/10	46.9	12.3	10.6	15.5	42.5	13.5	12.7	14.1
C-Regional Cretácico (W Serrania del Perijá)	11/7	41.8	-1.9	9.1	21.2	39.3	9.4	12.1	18.1
C-Regional Js + K (W Serrania del Perijá)	28/17	44.8	6.5	9.8	12	41.2	11.8	14.1	10.2

Prueba del Reverso Mcfadden and McElhinny, 1990			
	R	Angulo crítico γ_c	Angulo Observado
C-Regional Jurásico (W Serrania del Perijá)	9.29		
C-Regional Cretácico (W Serrania del Perijá)	6.5	21.56	5.16

INTERPRETACIÓN DE LOS COMPONENTES DE MAGNETIZACIÓN Y SU TEMPORALIDAD

El componente A fue aislado en las formaciones La Quinta y Río Negro de las tres áreas y tiene una declinación similar a la reportada por Bayona *et al.* (2006a) para las formaciones Hato Nuevo y Manantial (FIGURA 7). Aunque el grado de agrupamiento no cambia después de la corrección estructural (TABLA 3), esta dirección del componente A fue interpretada como un evento de magnetización post-plegamiento. En el área de Fonseca, los sitios HM 909A y HM903 estan alineados a lo largo del Arroyo Salado, y la migración de fluidos por ese alineamiento favoreció el proceso de remagnetización, o bien fue magnetizado por procesos volcánicos posteriores.

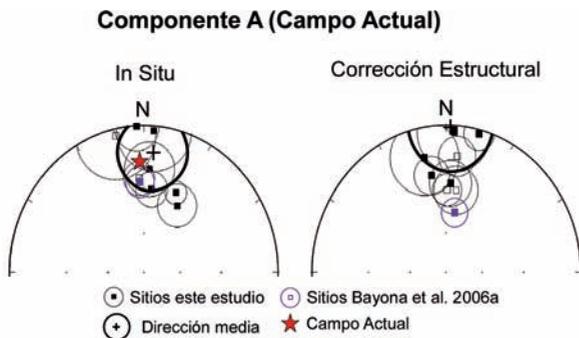


FIGURA 7. Diagramas de igual área a diferentes edades y para todas la áreas, mostrando las direcciones del componente A, in situ y después de la corrección estructural. Símbolos cerrados (abiertos) representan inclinaciones positivas (negativas).

El componente C fue aislado en ambas unidades y en todas la áreas, y se interpreta como el componente

característico con unas declinaciones dominantes hacia el noreste, o su dirección antípoda. El rango de temperaturas de desbloqueo entre 640°C y 680°C indica que el mineral portador es la hematita. Sin embargo, en las unidades calcáreas de la Formación La Quinta en Codazzi la temperatura de desbloqueo es menor de 500 °C, sugiriendo que el portador esta relacionado con la familia de la magnetita o titanomagnetitas.

Las direcciones de magnetización característica C de las unidades del Jurásico y Cretácico reportadas en estas tres áreas son similares, y por consiguiente se consideran tres hipótesis respecto a la edad de la magnetización. La primera es que la magnetización es primaria en cada una de las formaciones, y corresponde al Jurásico medio a tardío y el Cretácico temprano para las formaciones La Quinta y Río Negro, respectivamente. Una segunda hipótesis es que la magnetización es secundaria, de probable origen químico y registrada en ambas unidades durante el Cretácico temprano, asociada a eventos diagenéticos durante un período de extensión tectónica. La tercera hipótesis sugiere que la magnetización es secundaria, de probable origen químico y fue adquirida por ambas unidades entre el Cretácico tardío y el Eoceno, asociada a procesos orogénicos relacionados con la colisión de la placa Caribe con la Placa Suramericana (Cardona *et al.*, 2011).

El incremento del factor de agrupamiento (*k*) de las direcciones del componente C tras la corrección estructural sugiere una magnetización pre-plegamiento (TABLA 3). La prueba del pliegue realizada para todos los sitios del área de Fonseca en las rocas del Jurásico (FIGURA 8) es positiva, pero estadísticamente

sus resultados no son significativos. No obstante el 90% de las inclinaciones en los sitios analizados se somerizan luego de realizar la corrección estructural y el factor de agrupamiento k aumenta, sugiriendo que la magnetización del componente C es pre-plegamiento. En los sitios cuyas declinaciones son mayores a 90° , éstas pueden ser causadas por rotaciones locales, asociadas a desplazamientos en fallas, como la falla de Media Luna en el sitio GN-111 (FIGURA 2) o la Falla del Cerrejón en el sitio HM-901 (TABLA 2, FIGURA 4).

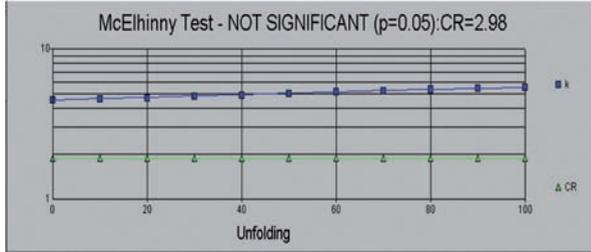


FIGURA 8. Prueba del Pliegue para el componente C para los sitios jurásicos. Notese el aumento del valor k cuando se realiza la corrección estructural (Línea Azul).

Con las direcciones medias del componente C para las rocas Jurásicas y las Cretácicas (TABLA 3), se examinó si estadísticamente se puede sostener que ambas direcciones no pertenecen a la misma población (ej. Watson, 1956). Para ello se utilizó el algoritmo desarrollado por McFadden and McElhinny (1990) para la prueba de la reversión, pero aplicándola a direcciones de igual polaridad. Estos autores incluyeron valores de separación angular crítica para determinar la calidad de la prueba. Cuanto menor el valor angular crítico se considera más resolutive la misma. Al aplicar la misma prueba a nuestras direcciones medias Jurásica y Cretácica, sus respectivos parámetros estadísticos producen $\gamma_c = 21.6^\circ$ y una diferencia angular entre ambas direcciones medias de solo 5.2° . En primera instancia esta diferencia sugiere que no se puede excluir la posibilidad de que ambas direcciones correspondan a la misma población. Para el test de McFadden and McElhinny (1990), valores superiores a 20° para el ángulo crítico indican que el examen debe considerarse indeterminado por la baja resolución del mismo. En nuestro caso implicaría distancias angulares extraordinariamente grandes para poder determinar que las direcciones medias jurásica y cretácica son esencialmente distintas, cosa que no sucede (TABLA 3). Aunque estadísticamente no podemos concluir que estas direcciones son diferentes, se observa que mientras las rocas cretácicas presentan una única polaridad (normal), las Jurásicas muestran registros con ambas polaridades magnéticas. Esta diferencia es consistente con un origen primario de la remanencia

Un tercer criterio utilizado para determinar la temporalidad de la magnetización, fue comparar las direcciones medias encontradas para el Jurásico y el Cretácico de este trabajo, con las direcciones calculadas a partir de los polos paleomagnéticos de referencia de Torsvik *et al.* (2008) para un punto de la SP ($10.5^\circ\text{N } 73^\circ\text{W}$), y para cada uno de los periodos en los cuales pudieron ocurrir dichas magnetizaciones (FIGURA 9). Este procedimiento permitió determinar la relación paleolatitudinal entre el cratón y la SP en el tiempo. El Cratón ha tenido un movimiento muy leve en dirección sur- norte entre el Jurásico medio y el tardío (170-150 Ma) y el Cretácico tardío y el Eoceno (70-40 Ma). En cambio, experimentó un movimiento norte-sur mayor tanto en el lapso Jurásico tardío a Cretácico temprano y entre el Eoceno y el Presente (FIGURA 9). Esto dificulta interpretar probables cambios paleolatitudinales de la SP respecto al Cratón; por otra parte, Somoza (2007) indica que la placa Suramericana no tuvo un mayor movimiento durante 45 millones de años entre el Cretácico tardío (85Ma) y el Eoceno (40 Ma). Por consiguiente, la SP probablemente ha estado anexa a la placa Suramericana al menos desde el Jurásico Medio.

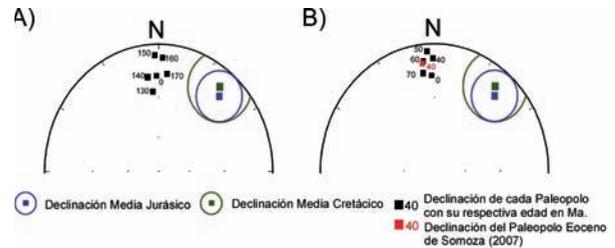


FIGURA 9. Comparación de las declinaciones de los Paleopolos de Torsvik *et al.* (2008) sobre un punto en la Serranía del Perijá ($10.5^\circ\text{N}, 73^\circ\text{W}$) con los valores de declinaciones medias encontradas en este estudio, para **A)** Jurásico Medio (170 Ma) a Cretácico Inferior (130 Ma) y **B)** Maastrichtiano (70 Ma) a Eoceno Medio (40 Ma).

En los mismos sitios Jurásicos del área de Fonseca, se realizó la prueba de rumbo (Schwartz and Van der Voo, 1983) para determinar si existe una relación entre el cambio de rumbo de las capas con el cambio de la declinación magnética (FIGURA 10) (TABLA 4). Los resultados muestran una pobre correlación entre la variación de las declinaciones magnéticas con las variaciones de rumbo de las capas. Esto provee nuevamente un resultado indeterminado, pues no puede confirmarse que el curvamiento de las capas sea posterior a su magnetización. La variación entre 30° y 90° en las direcciones para esta área sugiere sin embargo que las rotaciones locales son posteriores a la adquisición de la remanencia.

TABLA 4. Relaciones entre el rumbo de la capas y las declinaciones encontradas para los sitios jurásicos del área de Fonseca. **SR** (Rumbo Regional), **S** (Rumbo de las capas con regla de la mano derecha), **DR** (Declinacion media para los sitios), **D** (Declinacion de cada Sitio).

Sitio	Prueba de Rumbo (Schwartz and Van der Voo, 1983)					
	SR	S	ΔS	Dr	D	ΔD
HM-812	58	275	-217	66,4	84,8	-18,4
HM-818	58	13	45	66,4	34,3	32,1
HM-901	58	234	-176	66,4	99,1	-32,7
HM-902	58	255	-197	66,4	45,8	20,6
HM-905	58	262	-204	66,4	71,6	-5,2

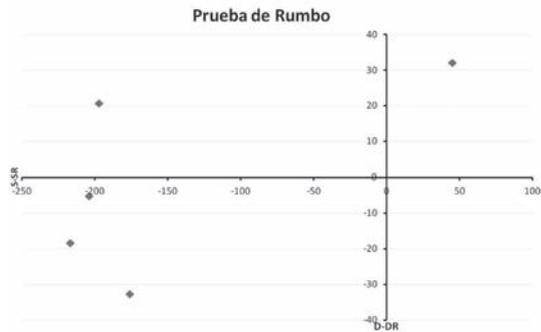


FIGURA 10. Prueba de Rumbo para las direcciones del componente C para los sitios Jurásicos de Fonseca. Nótese la pobre correlación entre la variación por declinación magnética (D) y el rumbo de los estratos (R), el azimut promedio de declinación (DR) es 66.4 y de rumbo de las capas (SR) es 58.

Las anteriores pruebas (prueba de la reversión y prueba de pliegue), junto con el registro de direcciones normales y reversas, la presencia de diferentes tipos de mineralogía magnética en varios tipos de rocas, el mejoramiento de los factores estadísticos α_{95} y k luego de la horizontalización de los sitios y el hecho de que en zonas con una mayor complejidad estructural se evidencie mayor rotación; nos permite sugerir que el componente C esta registrando un episodio de magnetización primario.

INTEGRACIÓN DE LOS DATOS DE PALEOMAGNETISMO DE AMBOS FLANCOS DE LA SP

Los nuevos cálculos de direcciones medias del componente C, incluyendo los datos de Gose *et al.* (2003) en el Este de Perijá, documenta la tendencia de las direcciones a ubicarse hacia el noreste con inclinaciones positivas (TABLAS 3 y 5). Las direcciones del Jurásico y Cretácico, después de la corrección estructural, tienen menores valores de α_{95} y mayores de k , apoyando la interpretación de un evento de magnetización pre-plegamiento. La única diferencia significativa es el incremento de la inclinación de las direcciones del Cretácico, pasando de $9.4^\circ \pm 18.1$ con los datos de los sitios al oeste de Perijá, a $18^\circ \pm 12.9^\circ$ al integrar los datos de ambos flancos.

TABLA 5. Declinaciones medias para el componente C integrando información de ambos flancos de la SP. **N** (Número Total de sitios), **n** (Número de sitios donde se aislo componente), **Dac** (Declinación in situ), **Iac** (Inclinación in situ), **Ddc** (Declinación con corrección estructural), **Idc** (Inclinación con corrección estructural).

Resultados integrando datos de Gose <i>et al.</i> 2003 con este Estudio									
Componente	N/n	In Situ				Con corrección			
		Dac	Iac	k	α_{95}	Ddc	Idc	k	α_{95}
C-Regional Jurásico (1=E. Perijá 4=Codazzi; 2= Manaure; 4=Fonseca)	18/11	44.2	13.9	10.13	15.1	43	14.8	13.62	12.8
C-Regional Cretácico (7=E. Perijá 5=Codazzi; 2= Manaure)	18/14	33.5	9.6	8.29	14.1	41	18	10.48	12.9
C- Jurásico a Eoceno (11=E. Perijá 9=Codazzi; 4= Manaure; 4=Fonseca)	40/28	35.8	13.3	8.37	10	43.5	18	12.69	8

Asumiendo la hipótesis que las direcciones características del componente C son resultados de una remagnetización, el cálculo de la dirección media uniendo los datos del Jurásico, el Cretácico y el Eoceno dan una dirección media encontrada in situ noreste con inclinaciones positivas someras. Al realizar la corrección estructural las direcciones se agrupan, la inclinación media aumenta y la declinación aumenta más hacia el noreste. A pesar que sus valores estadísticos no cambian sustantivamente, son mejores estadísticamente si los comparamos con los cálculos de regional Jurásico y regional Cretácico (TABLA 4) (FIGURA 11).

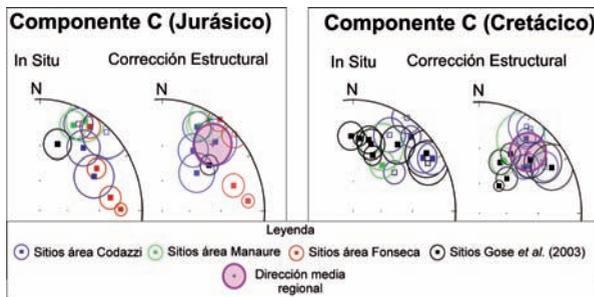


FIGURA 11. Diagramas de igual área a diferentes edades, mostrando las direcciones del componente C, in situ y después de la corrección estructural, integrando resultados del flanco este de la SP. Símbolos cerrados (abiertos) representan inclinaciones positivas (negativas), los sitios con declinaciones mayores a 90° fueron excluidos del cálculo de dirección media.

CALCULO DE ROTACIONES

Teniendo como referencia un punto en el cratón (latitud 4°N y longitud 72°W) y asumiendo las declinaciones de los paleopolos de Torsvik *et al.* (2008) para 160 Ma, en el Jurásico, y de 130 Ma para el Cretácico se calcularon los valores de rotación de las diversas localidades. Con base en lo anterior, los cálculos de rotaciones fueron realizados tomando como referencia una edad U/Pb de 163±5 Ma Dasch (1982) para la Formación la Quinta y de la base del Barremiano (130 Ma) para la Formación Rio Negro, tomando solo los valores del flanco oeste de la SP y también adicionando los valores de Gose *et al.* (2003) del flanco este de la SP (TABLA 5).

DISCUSIÓN

Comparado con estudios hechos por Gose *et al.* (2003) en rocas Jurásicas a Eocenas sobre el flanco oriental de la SP, nuestros resultados indican valores semejantes de rotación horaria. La magnitud de rotación hallada en el flanco oriental teniendo como punto de referencia los Andes de Mérida, es de 50°±12°, ligeramante mayor que la encontrada en este estudio, tanto para las rocas del Jurásico (40°±15°) como para las del Cretácico (44±18°) (TABLA 6). Al integrar los datos de Gose *et al.* (2003) con los de este estudio, la magnitud de rotación horaria para las rocas del Jurásico es de 41°±13° y para el Cretácico es de 45±13° (TABLA 6).

TABLA 6. Calculo de rotaciones para la Serranía del Perijá, usando los valores de los paleopolos de Torsvik *et al.* (2008), de 160 Ma para el Jurásico y de 130 Ma para el Cretácico. **Dm** (Declinación media), **Im** (Inclinación media).

	VGP Lat	VGP Long	a95	dirección			Paleolatitud		Rotación	
				Dm	Im	a95	Media	media	error	
Cratón Jurásico Medio (160 Ma)	-81.9	270.5	3.8	2.3	-6.48	3.8				
Cratón Cretácico Inf (130 Ma)	-83.8	47.9	2.9	355.6	13.9	2.9				
Jurásico (Este Estudio)	47.9	378.4	10.3	42.5	13.5	14.1	6.8	40.2	15	
Cretácico (Este Estudio)	50.7	382.4	12.9	39.3	9.4	18.1	4.7	43.7	18	
Jurásico (Este Estudio y datos de Gose <i>et al.</i> , 2003)	47.9	377.3	9.4	43	14.8	12.8	7.5	40.7	13.4	
Cretácico (Este Estudio y datos de Gose <i>et al.</i> , 2003)	49.6	375.1	9.6	41	18	12.9	9.2	45.4	13.2	

Esto indica que la SP ha probablemente rotado del orden de 40° en sentido horario como un bloque rígido. Sin embargo, la magnitud de rotaciones en los sitios anexos a la Falla del Cerrejón y a la Falla de Media Luna es mayor atestiguando la presencia de procesos de rotación de orden local superpuestos. Comparados estos valores con los reportados por MacDonald and Opdyke

(1972) para la Alta Guajira, y usando los paleopolos de referencia de Torsvik *et al.* (2008), las lavas de la Alta Guajira dan una magnitud de rotación horaria de 77°±19°, mostrando que la SP ha tenido una rotación de igual signo pero magnitud sensiblemente menor (FIGURA 12B).

Al comparar los resultados de este estudio con datos de rocas Jurásicas de la SNSM (rotación horaria $17^\circ \pm 12.8^\circ$, Bayona *et al.*, 2010) o $18^\circ \pm 6^\circ$ (recalculado usando los paleopolos de referencia para 160 Ma de Torsvik *et al.*, 2008), (FIGURA 12B), se observa claramente que este último bloque ha sufrido una rotación significativamente menor.

A pesar de que estos dos macizos montañosos se encuentran cerca en el presente, ambos muestran

evoluciones geológicas disímiles, al menos durante el Jurásico medio y tardío. Las inclinaciones magnéticas de las rocas del Jurásico medio son diferentes entre las reportadas en la SNSM ($I=-18.2$) con respecto a las reportadas en la Serranía de Perijá ($I=13.3$). Bayona *et al.* (2010) reportaron para el Cretácico de la SNSM valores de inclinaciones positivas ($I=8.3^\circ$) virtualmente idénticos a los encontrados en este estudio para la SP ($I=9.4^\circ$; FIGURA 12A).

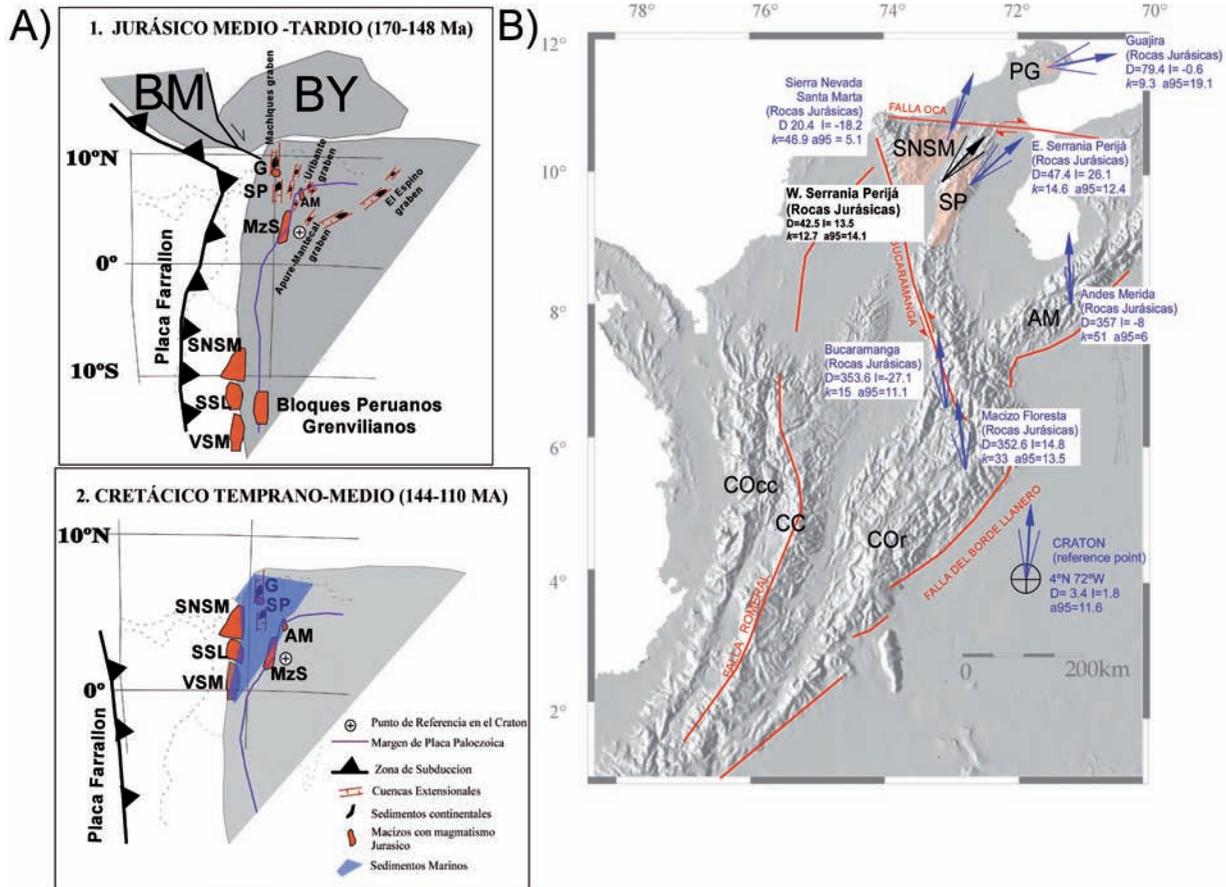


FIGURA 12. A) Modelo tectónico conceptual ilustrando el desplazamiento de la Serranía del Perijá (SP) hacia el sur desde el Jurásico medio hasta el Cretácico inferior, incluyendo un rotación horaria del mismo. Bloques adyacentes (BM= Bloques Mexicanos, BY= Bloque Yucatán, G= Guajira y VSM= Valle Superior del Magdalena). Macizos SNSM= Sierra Nevada de Santa Marta, MzS= Macizo de Santander, AM= Andes de Mérida, SSL= Serranía de San Lucas. **B)** Comparación de declinaciones características aisladas en rocas del Jurásico y reportadas para la SNSM (Bayona *et al.*, 2010), Este de la SP (Gose *et al.*, 2003), Guajira (MacDonald and Opdyke 1972), Andes de Merida (AM) (Castillo *et al.*, 1991) y Macizo de Floresta y Bucaramanga (Bayona *et al.*, 2006b) y las reportadas para el Jurásico en este estudio (W de la Serranía del Perijá). Cordillera Oriental. (COR), Cordillera Central (CC), Cordillera Occidental (COcc)

Con base en los datos de las inclinaciones medias de las direcciones del Jurásico y el Cretácico reportadas en Perijá, el cálculo de las paleolatitudes medias es prácticamente invariante (4.7° y 9.2° , TABLA 6). Por el contrario, los valores de las paleolatitudes reportadas en Bayona *et al.* (2010) para la SNSM sugieren un movimiento paleolatitudinal hacia el norte desde -9.3°

en el Jurásico Medio hasta $+4.2^\circ$ en el Cretácico Temprano para este bloque (FIGURA 12A).

Por otra parte, si acepta el origen primario de la magnetización de las rocas del Jurásico de SP, ésta sugiere que SP y el Bloque Yucatán, estuvieron relativamente cerca al menos durante el Jurásico.

Godínez *et al.* (2011) indican una paleolatitud de $2.1^{\circ} \pm 3.4N$ para el bloque Yucatán para el Jurásico tardío (datos de la Formación Todos Santos). Las asociaciones litofaciales y poblaciones de circones detríticos entre esta unidad reportadas por Godínez *et al.* (2011) y la Formación la Quinta muestran una gran similitud (Montaña *et al.* 2012). No obstante el bloque Yucatán presenta una rotación antihoraria de 35° - 40° respecto de la Placa Norteamericana (Godínez *et al.*, 2011) y para el Cretácico inferior a medio ya no se encontraba cerca de la SP, como lo sugieren reconstrucciones paleogeográficas de Dickinson and Lawton (2001) y Pindell and Kennan (2009) (FIGURA. 12A).

CONCLUSIONES

Dos componentes se aislaron en las tres áreas de estudio en el flanco Oeste de la SP. El componente A documenta las direcciones del campo actual hacia el norte, y el componente C registra direcciones hacia el noreste e inclinaciones positivas en su dirección media que presentan un mejoramiento de los parámetros estadísticos luego de realizar las correcciones estructurales. La temporalidad de la magnetización es probablemente pre-plegamiento y su magnetización fue independiente en cada uno de los intervalos de tiempo estudiados (Jurásico y Cretácico), según la interpretación de los resultados de las pruebas de pliegue, de reversión y de rumbo. El rango de temperaturas de desbloqueo para el Componente C en la mayoría de sitios está entre $640^{\circ}C$ y $680^{\circ}C$ indicando que el mineral portador es la hematita, aunque en rocas calcareas, las temperaturas de desbloqueo fueron menores a $500^{\circ}C$ sugiriendo que el portador esta relacionado con la familia de la magnetita o titanomagnetita. Esto nos permite interpretar que este es un componente característico primario. Estos resultados concuerdan con los componentes hallados en estudios paleomagnéticos previos en el flanco oriental de la Serranía del Perijá.

Con base en los análisis de componentes, se sugiere que las rocas del Jurásico medio al Cretácico Inferior de la SP (Fm. La Quinta y Fm. Rio Negro, respectivamente) registran eventos tectónicos que se ven reflejados en una rotación horaria de $41 \pm 13^{\circ}$ en rocas del Jurásico y $45 \pm 13^{\circ}$ en rocas del Cretácico. La SP habría rotado en sentido horario unos 40° como un bloque rígido, a través del cual no tuvieron mayor injerencia sistemas de fallas locales como la del Perijá, como se indicaba anteriormente en estudios previos. Sin embargo, la magnitud de rotaciones se incrementa en los sitios anexos a la Falla del Cerrejón y a la Falla de Media Luna, indicando la superposición de efectos tectónicos locales.

La similitud en el valor de la inclinación entre las direcciones del Jurásico medio y del Cretácico inferior sugiere que no existieron mayores cambios paleolatitudinales para SP durante el Jurásico y Cretácico temprano, teniendo un comportamiento similar al esperado del cratón Suramericano y demostrando que esta Serranía ha estado anexa al Cratón al menos desde el Jurásico medio. En contraste, las direcciones magnéticas aisladas en las rocas del Jurásico medio y del Cretácico inferior de la SNSM reportan un cambio paleolatitudinal significativo durante el Jurásico tardío, sugiriendo que para el Jurásico medio la SP y la SNSM no estaban localizadas en la misma paleolatitud.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue financiada gracias al programa “Jóvenes Investigadores –Colciencias 2010” y el convenio firmado entre Colciencias y la Corporación Geológica Ares. Agradecemos al personal del Laboratorio de Paleomagnetismo “Daniel Valencio” de la Universidad de Buenos Aires, a Cesar Silva y James Channel por las desmagnetizaciones de las muestras piloto en el Laboratorio de Paleomagnetismo de la Universidad de Florida. A la empresa Pacific Rubiales Energy por el ingreso a la zona del Fonseca. A la Empresa OGX por el financiamiento parcial de este proyecto. A las comunidades que habitan la Serranía del Perijá, especialmente en las zonas de Codazzi, Manaure y Fonseca por su gran colaboración.

REFERENCIAS

- Arias A., y Morales C.J. 1999. Memoria Explicativa Mapa Geológico Generalizado del Departamento del Cesar. INGEOMINAS. Bogotá, 89p.
- Barrett, M., Butler, R., Novas, F., Moore-Fay, S., Moody, J., Clark, J., and Sánchez-Villagra, M. 2008. Dinosaur remains from the La Quinta Formation (Lower or Middle Jurassic) of the Venezuelan Andes. *Paläontologische Zeitschrift*, Vol. 82/2, pp. 163–177.
- Bayona, G., Jaramillo, C., and Reyes-Harker, A., 2006a. Resultados Paleomagnéticos en unidades del Paleógeno de Colombia y Oeste de Venezuela y posibles usos para caracterización de contactos. *Geología Colombiana* 31: 57–72.
- Bayona, G., Rapalini, A.E., and Costanzo- Alvarez, V., 2006b. Paleomagnetism in Mesozoic rocks of the Northern Andes and its Implications in Mesozoic Tectonics of Northwestern Southamerica: *Earth Planets and Space*, 58: 1255-1272.

- Bayona, G., Jimenez, G., Silva, C., Cardona, A., Montes, C., Roncancio, J., and Cordani, U., 2010. Paleomagnetic data and K/Ar ages from Mesozoic units of the Santa Marta Massif: A preliminary interpretation for block rotations and translations: *Journal of South American Earth Sciences*, 29: 817-831
- Bayona, G., Montes, C., Cardona, A., Jaramillo, C., Ojeda, G., Valencia, V., and Ayala-Calvo, C., 2011. Intraplate subsidence and basin filling adjacent to an oceanic arc-continent collision: a case from the southern Caribbean-South America plate margin. *Basin Research*, 23: 403–422.
- Cardona, A., Valencia V.A., Bayona, G., Duque, J., Ducea, M., Gerhels, G., Jaramillo C., Montes, C., Ojeda, G., and Ruiz, J., 2011. Early subduction orogeny in the Northern Andes: Turonian to Eocene magmatic and provenance record in the Santa Marta Massif and Rancheria Basin, Northern Colombia. *Terranova*, 23: 26-34.
- Castillo, J., Gose, W.A., and Perarnau, A., 1991. Paleomagnetic results from Mesozoic strata in the Mérida Andes, Venezuela. *Journal of Geophysical Research* 96: 6011–6022.
- Cáceres, H., Camacho, R., and Reyes, J. 1980. Guide book to the geology of the Ranchería Basin. In: *Geological Field-Trips, Colombia 1980- 1989 (Ed. by Geotec)*, pp. 1-31. Asociacion Colombiana de Geólogos y Geofísicos del Petróleo, Bogotá.
- Cediel, F., Shaw, R., and Caceres, C. 2003. Tectonic assembly of the Northern Andean block. In: *The Circum-Gulf of Mexico and the Caribbean: Hydrocarbon Habitats, Basin Formation and Plate Tectonics* (Ed. by C. Bartolini, R. Butler, and J. Blickwede), AAPG. Mem. 79: 815-848.
- Cediel, F., Leal-Mejía, H., Shaw, R., Melgarejo, J., and Restrepo-Pace, P., 2011. Regional Geology of Colombia. *Petroleum Geology of Colombia*. ANH.
- Dasch, L.E., 1982. U–Pb Geochronology of the Sierra de Perijá. Unpublished PhD thesis. Case Western Reserve University, 163p.
- Demarest, H., 1983. Error analysis for determination of tectonic rotation from paleomagnetic data: *Journal of Geophysical Research*, 88: 4321-4328.
- Dickinson, W.R., and Lawton, T.F., 2001. Carboniferous to Cretaceous assembly and fragmentation of Mexico. *Geological Society of America Bulletin*, 113: 1142–1160.
- Erlich, R. Macsotay I., Nederbragt A.J., and Lorente M.A. 1999. Palaeoecology, palaeogeography and depositional environments of Upper Cretaceous rocks of western Venezuela. En: *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 153 (1-4): 203-238.
- Feo-Codecido G., Smith F.D., Aboud N., and Di Giacomo E. 1984. Basement and Paleozoic rocks of the Venezuelan Llanos Basin. In: Bonini, W.e., Hargraves, R.B., Shagam, R.(Eds), *The Caribbean-South American Plate Boundary and Regional Tectonics* Geological Society of America Memoir 162, pp. 175-187.
- Forero, A., 1972. Estratigrafía del Pre cretácico en el flanco occidental de la Serranía de Perijá. *Universidad Nacional, Geología Colombiana*, 7: 7-78.
- Fisher, R.A., 1953. Dispersion on a sphere: *Proceedings of the Royal Society of London*, v. Series A217, pp. 295-305.
- Geoestudios, Ltda 2006. Cartografía Geológica Cuenca Cesar – Ranchería, Informe Final. 95p.
- Godínez-Urban, A., Molina Garza R.S., Geissman J.W. and Wawrzyniec T. 2011. Paleomagnetism of the Todos Santos and La Silla Formations, Chiapas: Implications for the Opening of the Gulf of Mexico. *Geosphere* 7.1: 145-58.
- Gose, W.A., Perarnau, A., and Castillo, J., 2003. Paleomagnetic results from the Perijá Mountains, Venezuela: an example of vertical axis rotation. In: Bartolini, C., Buffler, R., Blickwede, J. (Eds.), *The Circum-Gulf of Mexico and the Caribbean, Hydrocarbon Habitats, Basin Formation and Plate Tectonics*. AAPG Memoir, 79: 969-975.
- Hernández, M. 2003. Memoria Explicativa Geología Plancha 48, Jagua de Ibirico. Escala 1:100.000, INGEOMINAS. Bogotá,
- INVEMAR, INGEOMINAS, ECOPETROL – ICP, and GEOSearch Ltda, 2007. Mapa Geológico de la Sierra Nevada de Santa Marta, escala 1:200.000.
- INGEOMINAS, y GRP Ltda. 2010. Geología de las Planchas 27 y 28 Valledupar y Villanueva, escala 1:100000.
- James, K.H. 2009. In situ origin of the Caribbean: discussion of data: In: James, K. H., Lorente, M.A., and Pindell, J.L. (eds), *The Origin and Evolution of the*

- Caribbean Plate*. Geological Society, London, Special Publications, 328: 77-126.
- Kellogg, J. 1981. The Cenozoic Basement Tectonics of the Sierra de Perijá, Venezuela and Colombia. Tesis PhD, Princeton University, Princeton, NJ, 241p.
- Kellogg, J. 1984. Cenozoic tectonic history of the Sierra de Perija, Venezuela-Colombia, and adjacent basins. In: *The Caribbean-South American Plate Boundary and Regional Tectonics* (Ed. by W.E. Bonini, R.B. Hargraves & R. Shagam), Geol. Soc. Am. Mem., 162: 239-261.
- Kirschvink, J. 1980. The least-squares line and plane and the analysis of palaeomagnetic data: *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society.*, 62: 699-718.
- Lugo, J., and Mann P. 1995. Jurassic-Eocene tectonic evolution of Maracaibo Basin, Venezuela. In: Tankard, A.J., Surez Soruco, R., Welsink, H.J., (Eds), *Petroleum Basins of South America*. AAPG. Memoir. 62, pp. 699-725.
- MacDonald, W.D., and N.D. Opdyke., 1972. Tectonic rotations suggested by paleomagnetic results from northern Colombia, South America, *J. Geophys. Res.*, 77: 5739-5746.
- Maze, W.B. 1984. Jurassic La Quinta formation in the Sierra Perijá, northwestern Venezuela: geology and tectonic environment of red beds and volcanic rocks. In: Bonini, W.e., Hargraves, R.B., Shagam, R.(Eds), *The Caribbean-South American Plate Boundary and Regional Tectonics*. Geological Society of America Memoir 162, pp 263-282.
- Maze, W., and Hargraves, R.B., 1984. Paleomagnetic results from the Jurassic La Quinta Formation in the Perijá range, Venezuela, and their tectonic significance. *The Caribbean-South American Plate Boundary and Regional Tectonics*. Geological Society of America, Memoir 162, pp. 287-293.
- McElhinny, M. W., 1964. Statistical significance of the fold test in paleomagnetism. *Royal Astronomical Society of the Geophysical Journal*, 8: 338-340.
- McFadden, P.L., and Reid, A.B., 1982. Analysis of paleomagnetic inclination data. *Geophys. J. R. Astron. Soc.*, 69: 307-319.
- McFadden, B., and McElhinny, M., W., 1990. Classification of the reversal test in paleomagnetism, *Geophysical Journal International*. 103: 725-729
- Miller, J.B. 1962. Tectonic trends in Sierra de Perija and adjacent parts of Venezuela and Colombia. *AAPG Bull.*, 46: 1565-1595.
- Montaña, P., 2010. Caracterización Petrográfica Y Geocronología Detritica de las rocas aflorantes en el Arroyo Alberto (Serranía del Perijá), infra yacentes a la Formacion Río Negro. Trabajo de Grado, Departamento de Geociencias, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- Montaña P., Nova, G., Bayona, G., Montenegro, O., Cardona, A., Montes, C., Mahecha, H., and Valencia, V. 2012. Sedimentological and Provenance Analysis of the Jurassic La Quinta Formation in the western flank of the Perija Range. 108th Annual Meeting Geological Society of America- Cordilleran Section. *Abstracts With Programs*, Vol. 44, No 3, pp. 62.
- Montes, C., Guzman, G., Bayona, G., Cardona, A., Valencia, V., and Jaramillo, C.A. 2010. Clockwise Rotation of the SantaMarta Massif and Simultaneous Paleogene to Neogene Deformation of the Plato-San Jorge and Cesar-Rancheria Basins. *J. S. Am. Earth Sci.*, 29: 832-84.
- Nova, G. 2009. Identificación de las áreas de aporte de los sedimentos aflorantes del cretáceo temprano en la Serranía del Perijá. Trabajo de Grado Universidad Nacional de Colombia. 20p.
- Pindell, J.L., and Kennan, L. 2009. Tectonic evolution of the Gulf of Mexico, Caribbean and northern South America in the mantle reference frame: an update. In: James, K., Lorente, M. A., and Pindell, J. (eds) *The Origin and Evolution of the Caribbean Plate*. Geological Society, London, Special Publications, (328): 1-54.
- Ramos, I.P., Fasola, A., Giffuni, G., y Terán L. 1986. Informe bioestratigráfico preliminar de las secciones de superficie de La Vueltoza (río Caparo) y Borde Seco (río Camburito), estado Táchira. Informe inédito de INTEVEP para Corpoven, 19p.
- Sarmiento Rojas L.F. 2002. Mesozoic rifting and Cenozoic basin inversion history of the Eastern Cordillera, Colombian Andes. Inferences from tectonic models. PhD Thesis, Vrije Universiteit. Amsterdam, 295p.
- Schwartz, S. Y., and Van der Voo, R., 1983. Paleomagnetic evaluation of the orocline hypothesis in the central and

southern Appalachians: Geophysical Research Letters, 10: 505–508.

Somoza R. 2007. Eocene paleomagnetic pole for South America: Northward continental motion in the Cenozoic, opening of Drake Passage and Caribbean Convergence. *Journal of Geophysical Research*, 112: B03104, doi:10.1029/2006JB004610

Torsvik, T.H., Briden, J.C., and Smethurst, M. A. 2000. Super-IAPD Interactive analysis of palaeomagnetic data. www.geodynamics.no/software.htm.

Torsvik, T.H., Müller, R.D., Van der Voo, R., Steinberger, B., and Gaina, C., 2008. Global Plate Motion Frames: Toward a unified model. *Reviews Geophysics*, 46: 1 – 44.

Watson, G.S., 1956. A test for randomness of directions. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. Geophysical Journal International. Issue Supplement*, 7: 160–161

Zijderveld, J.D.A., 1967. A.C. demagnetization of rocks: analysis of results, in Collison, D.W., Creer, K.M., and Runcorn, S.K., eds., *Methods of Paleomagnetism*, Elsevier Science, p. 254-286.

Trabajo recibido: Octubre 22 de 2012
Trabajo aceptado: Diciembre 17 de 2012