

# PALEOMAGNETISMO Y MINERALOGÍA MAGNÉTICA EN ROCAS DE LA FORMACIÓN SALDAÑA Y UNIDADES CRETÁDICAS SUPRAYACENTES EN LA PARTE NORTE DEL VALLE SUPERIOR DEL MAGDALENA, COLOMBIA

Bayona, G.<sup>1</sup>; Silva, C.<sup>1,2</sup>; Rapalini, A. E.<sup>3</sup>; Costanzo-Álvarez, V.<sup>4</sup>; Aldana, M. <sup>4</sup>; Roncancio, J.<sup>1</sup>

## RESUMEN

Rocas pertenecientes a las formaciones Saldaña (Triásico Superior-Jurásico Inferior), Yaví y Alpujarra (Aptiano) en el sector Norte del Valle Superior del Magdalena se desmagnetizaron por los métodos térmico y de campo alterno con el fin de aislar componentes de magnetización y establecer su edad relativa a partir de pruebas de campo (horizontalización de capas, prueba del contacto y discordancia). Análisis de mineralogía magnética permitieron definir los minerales magnéticos que registran dichos componentes. En estas unidades se logró aislar tanto el componente que registra la dirección del dipolo actual, así como componentes estables (característicos y primarios) de magnetización correspondientes a la edad de formación de cada unidad. El componente característico de la Fm. Saldaña, portado principalmente por magnetita, se aisló confiablemente en Olaya Herrera ( $D=179.9$   $I=7.1$   $N=8$   $k=17.19$   $\alpha 95=13.7$ ), en donde se documentan rotaciones de bloques sentido anti-horario de  $43\pm 29^\circ$  previo a la acumulación de la Fm. Yaví. El componente característico de la Fm. Yaví se aisló en tobos y lodolitas en el área de Alpujarra y su dirección ( $D=5.2$   $I=6.2$   $N=7$   $k=40.15$   $\alpha 95=9.6$ ) sugiere un tiempo de magnetización pre-deformación de la Fm. Yaví. Hematita y magnetita son los minerales magnéticos que llevan este componente en la Fm. Yaví.

**Palabras claves:** Paleomagnetismo, Formación Saldaña, Formación Yaví, Triásico-Jurásico, Valle Superior del Magdalena

## A PALEOMAGNETIC AND ROCK MAGNETIC STUDY IN THE SALDAÑA FORMATION AND OVERLYING CRETACEOUS UNITS IN THE NORTHERN UPPER MAGDALENA VALLEY, COLOMBIA

## ABSTRACT

Lavas, mudstones and volcanoclastic rocks from the Saldaña (Upper Triassic - Lower Jurassic), Yaví and Alpujarra (Aptian) formations in the northern Upper Magdalena Valley were demagnetized using thermal and alternating field methods in order to isolate magnetic components and to establish a relative age of magnetization using several field tests. Magnetic mineralogy analyses permit the identification of the minerals that record uncovered magnetic components. Isolated components represent different events of magnetization. Directions parallel to the present Earth magnetic field were isolated in all the studied units. Characteristic components isolated from the Yaví Formation in Alpujarra area and from the Saldaña Formation in Olaya Herrera area, may correspond to primary or near-to-deposition events of magnetization. In Olaya Herrera, the characteristic component of the Saldaña Formation ( $D=179.9$   $I=7.1$   $N=8$   $k=17.19$   $\alpha 95=13.7$ ) is carried by magnetite. Characteristic components uncovered in two different structural domains document  $43\pm 29^\circ$  counterclockwise rotations previous to deposition of the Aptian Yaví Formation. Characteristic directions of the Yaví Formation are carried by hematite and magnetite, and the mean-site direction ( $D=5.2$   $I=6.2$   $N=7$   $k=40.15$   $\alpha 95=9.6$ ) suggests a pre-folding event of magnetization.

**Keywords:** Paleomagnetism, Saldaña Formation, Yaví Formation, Triassic-Jurassic, Upper Magdalena Valley

<sup>1</sup> Corporación Geológica Ares. Calle 57 No. 23-09 of. 202. Bogotá, Colombia (gbayona@cgares.org).

<sup>2</sup> Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. Colombia.

<sup>3</sup> Dpto. de Ciencias Geológicas, Universidad de Buenos Aires. Argentina.

<sup>4</sup> Dpto. de Ciencias de la Tierra, Universidad Simón Bolívar. Caracas, Venezuela.

## INTRODUCCION

El paleomagnetismo es una herramienta que permite evaluar la aloctonía de los terrenos geológicos y evaluar rotaciones de bloques asociados a diferentes eventos de deformación. Un estudio de paleomagnetismo y de mineralogía magnética consiste en determinar: (1) el magnetismo remanente natural (MRN) y sus componentes de magnetización, (2) la dirección y sentido de cada componente, (3) la secuencia de eventos de magnetización que una roca ha tenido y (4) los minerales que llevan el registro de dicho magnetismo. Como resultado, se obtiene la dirección del campo magnético actuante en el momento de magnetización; esta dirección se descompone en inclinación (ángulo con el plano horizontal) y declinación (ángulo con el Norte magnético). Si la roca adquiere su magnetización en el momento de formación o depositación (o tiempo cercano) se denomina este evento como una magnetización primaria, la cual es utilizada para documentar translaciones y/o rotaciones. Los cambios en la inclinación en rocas de diferente edad expuestas en el mismo terreno permiten estimar los movimientos latitudinales; la comparación de la declinación entre diferentes dominios estructurales o

bloques tectónicos permite cuantificar y definir el sentido de rotaciones a lo largo de un eje vertical.

El presente trabajo consiste en: (1) aislar los componentes de magnetización primaria y secundaria (adquiridas posterior a la formación de la roca) en rocas de la Fm. Saldaña y de las unidades suprayacentes del Cretácico (formaciones Yaví y Alpujarra) y (2) determinar los minerales magnéticos que registran dichos componentes. Este estudio pionero en paleomagnetismo permite evaluar si los componentes de magnetización aislados en rocas del Triásico-Jurásico y las suprayacentes del Aptiano expuestas en el Valle Superior del Magdalena (VSM) son propicios para documentar rotaciones de bloques y la aloctonía de los terrenos al Oeste de la Cordillera Oriental, más exactamente en el denominado terreno Payandé (Etayo *et al.*, 1983). Un estudio integrado de paleomagnetismo y mineralogía magnética es necesario debido a complejos eventos tectónicos post-Jurásicos (e.g., Sarmiento-Rojas, 2001) que pueden remagnetizar el componente primario. La identificación de otros eventos de magnetización post-Jurásicas tienen importantes repercusiones para el análisis de deformación Cretácica y Terciaria, así como en determinar eventos de migración de fluidos.

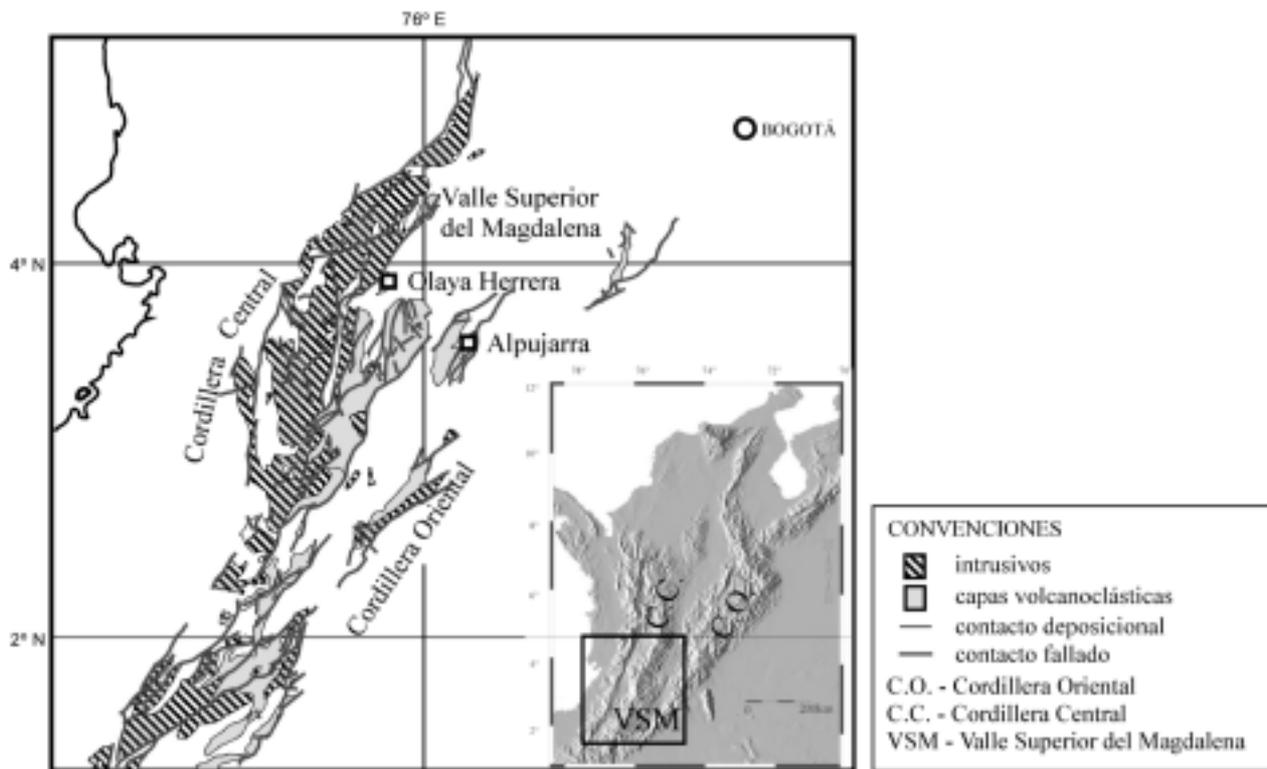


FIGURA 1. Localización geográfica y geológica del área de estudio en el Valle Superior del Magdalena. Ver recuadro para ubicación regional. Mapa geológico modificado de Cediel & Cáceres (1988).

## MARCO GEOLÓGICO REGIONAL Y ESTUDIOS PREVIOS

El VSM es una provincia geológica que está limitada hacia el Oeste por intrusivos del Jurásico en las estribaciones orientales de la Cordillera Central y hacia el Este por el sistema de cabalgamiento con vergencia Oeste de la Cordillera Oriental (FIGURA 1). Los intrusivos del Triásico-Jurásico y las rocas de la Fm. Saldaña afloran ampliamente en el VSM. La Fm. Saldaña, una sucesión de ~1 km de espesor, incluye depósitos volcanoclásticos continentales (e.g., Cediél *et al.*, 1981; Mojica *et al.*, 1985) de composición calco-alcalina (Bayona *et al.*, 1994; Castañeda, 2002). Hacia su base presenta un intervalo delgado de depósitos marinos someros de edad cercana al límite Triásico-Jurásico (Mojica & Llinás, 1984; Mojica & Prinz-Grimm, 2000). La Fm. Saldaña es suprayacida en discordancia angular por conglomerados, arenitas y lodolitas del Aptiano (Vergara & Prössl, 1994), las cuales se denominan localmente como formaciones Yaví y Alpujarra (Flórez & Carrillo, 1994).

Resultados de paleomagnetismo en rocas del Triásico-Jurásico en Venezuela y parte más Norte de Colombia difieren con los datos reportados en el VSM. Los datos de paleomagnetismo en la Serranía de Perijá y Andes de Mérida en Venezuela (Castillo *et al.*, 1991; Gose *et al.*, 2003) y en la Sierra Nevada de Santa Marta (McDonald & Opdyke, 1984) indican que estos bloques ya estaban situados cerca al ecuador magnético (declinación al Norte con inclinación moderada a somera) y adjuntos al cratón Suramericano desde el Jurásico. Los resultados preliminares de paleomagnetismo en la Fm. Luisa, de edad Triásico, indican un componente magnético estable con dirección  $D=100$ ;  $I=-55$ , permitiendo sugerir que este bloque ha sido trasladado una gran distancia latitudinal hacia el Norte (Scott, 1978).

## LOCALIZACIÓN DE ÁREAS DE ESTUDIO

En este estudio se escogieron dos localidades ubicadas en el extremo Norte y en los límites Oeste y Este del VSM. El área de Olaya Herrera se ubica en el bloque colgante del sistema de fallas del borde Este de la Cordillera Central. El área de Alpujarra se localiza en el sistema de fallas del borde Oeste de la Cordillera Oriental. En ambas regiones, las rocas de la Fm. Saldaña infrayacen en discordancia angular a rocas del Aptiano. Una marcada diferencia en la sucesión volcanoclástica de la Fm. Saldaña se ha reportado entre estas localidades (Bayona & Cortés, 1995). En Olaya Herrera, las rocas son de origen volcánico y de estructura maciza con algunas intercalaciones de tobas estratificadas

y soldadas. Diques máficos cortan las unidades volcanoclásticas en este sector permitiendo la realización de la prueba de contacto (Butler, 1992). En Alpujarra, las tobas estratificadas y macizas se intercalan con rocas epiclásticas; esta sucesión está cortada y cubierta por flujos viscosos asociados a un domo riolítico.

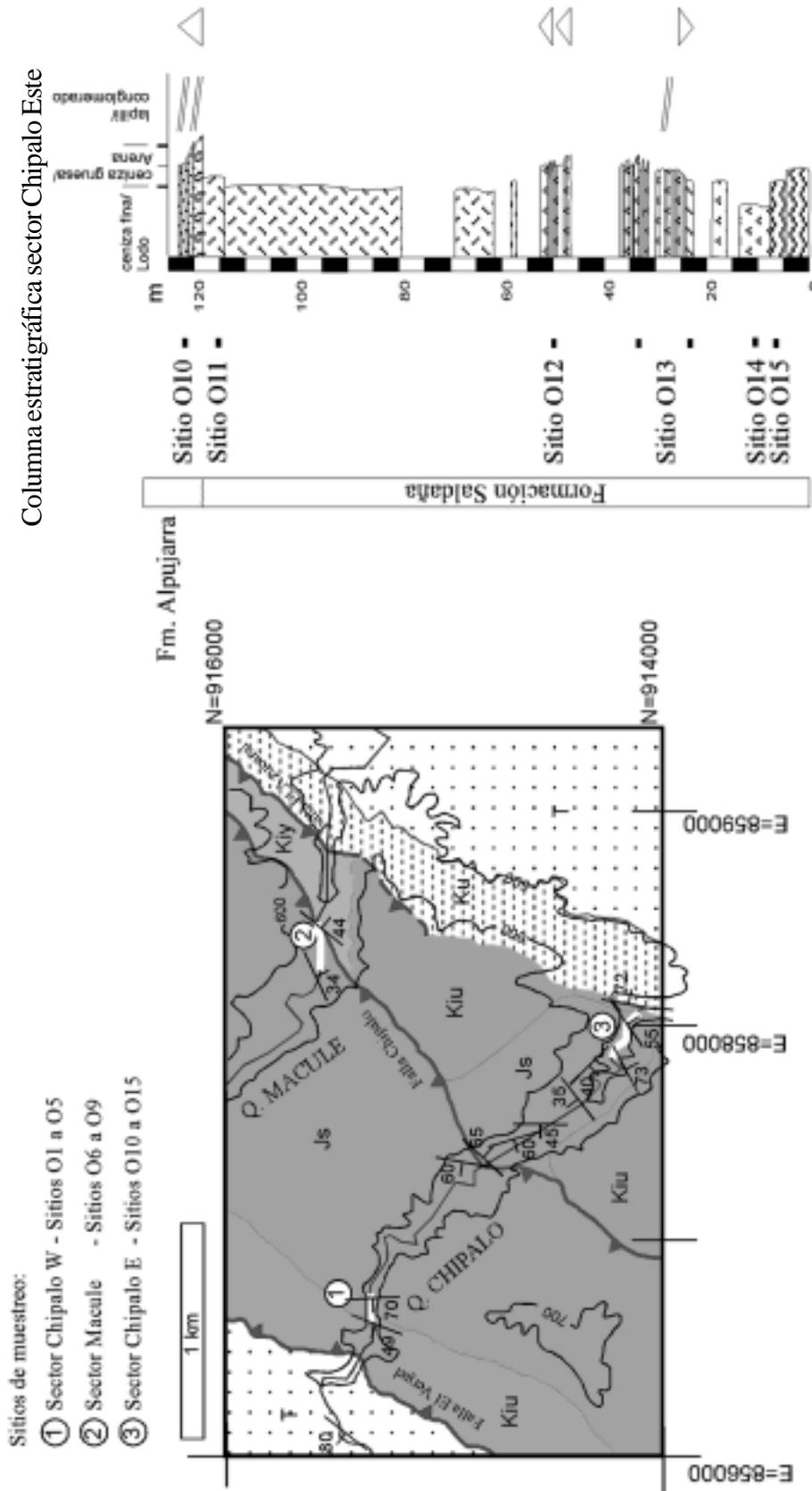
En el área de Olaya Herrera se ubicaron los sitios de muestreo en tres sectores con dominios estructurales diferentes (FIGURA 2). En el sector Chipalo Oeste las capas de las formaciones Alpujarra y Saldaña buzcan al Oeste pero con una diferencia de al menos 20 grados de buzamiento entre la superficie de discordancia. En el sector Chipalo Este las unidades buzcan hacia el Sureste y existe una diferencia de al menos 10 grados en buzamiento en rocas a ambos lados de la discordancia angular. La falla Chipalo divide estos dos dominios estructurales. En el sector Macule las unidades buzcan hacia el Sureste y las formaciones Saldaña y Yaví están en contacto fallado. La Fm. Yaví se ha cartografiado en el sector Macule, mientras esta unidad está ausente en los sectores Chipalo Este y Chipalo Oeste.

En el área Alpujarra se distribuyeron los sitios de muestreo en dos dominios estructurales denominados Sector 1 y Sector 2 (FIGURA 3). El Sector 1 se localiza en el bloque colgante de una falla con vergencia al Oeste, mientras el Sector 2 se ubica en el bloque colgante de un sistema de fallas con vergencia al Este. Los estratos de la Fm. Yaví buzcan al Sureste en ambos sectores, pero el Sector 2 es 20° más inclinado que el Sector 1. En general, rocas de la Fm. Saldaña tiene un menor ángulo de buzamiento que rocas de la Fm. Yaví, y la discordancia angular entre las formaciones Saldaña y Yaví se observa claramente en el Sector 1.

## METODOLOGÍA

Para cada localidad se realizó una cartografía geológica a escala 1:25.000 en las zonas con afloramiento continuo para determinar dominios estructurales y ubicar los sitios de muestreo. Seleccionado el sitio, se elaboró una columna estratigráfica a escala 1:1000 para determinar la posición estratigráfica de los especímenes (o núcleos extraídos) por sitio (FIGURAS 2 y 3).

En cada sitio se colectaron 6 a 8 núcleos orientados con un corazonador portátil y una brújula Brunton, y luego se cortaron a un tamaño estándar de 2.2 cm de alto y 2.4 cm de diámetro en el laboratorio. En litologías de grano fino se colectaron muestras de mano orientadas para ser procesadas en el laboratorio. En niveles estratificados,



**FIGURA 2.** Mapa geológico y columna estratigráfica del área de Olaya Herrera indicando la ubicación de los sitios de muestreo. Mapa modificado de Amézquita & Montes (1994). Para convenciones de mapa y columna ver FIGURA 3.

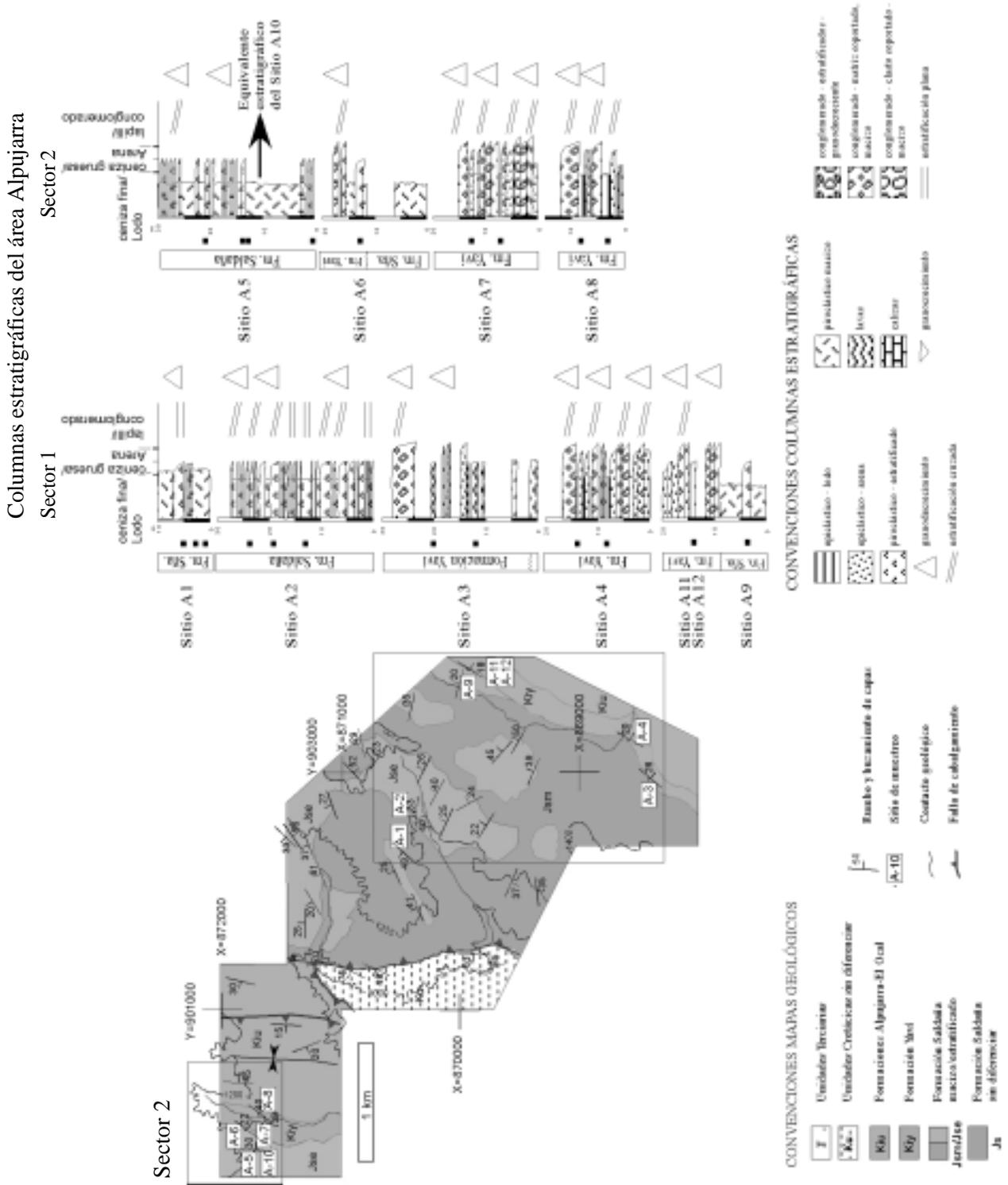


FIGURA 3. Mapa geológico y columna estratigráfica del área de Alpujarra indicando la ubicación de los sitios de muestreo.

las muestras fueron tomadas en diferentes capas para promediar la variación secular y considerar posibles remagnetizaciones isotermales, y así dar un buen estimado de la dirección de magnetización en cada sitio.

Para determinar el método de desmagnetización más adecuado, se tomaron mínimo 2 muestras por sitio y se desmagnetizaron por los métodos de campos alternos (CA) y térmico en el Laboratorio de Paleomagnetismo del Ingeominas (Colombia) usando un magnetómetro Minispin (Molspin) con una sensibilidad de  $10^{-6}$  A/m. El método más efectivo se aplicó para desmagnetizar las muestras restantes en el Laboratorio de Paleomagnetismo de la Universidad de Buenos Aires (Argentina) con un desmagnetizador por altas temperaturas ASC y un magnetómetro criogénico 2G Enterprises con una sensibilidad de  $10^{-11}$  A/m. Por el método CA se aplicaron los siguientes campos: 0, 2.5, 5.0, 7.5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 105 y 120 mT, midiendo el MRN en cada paso. Por el método térmico se calentó la muestra a 100, 200, 300, 350, 400, 450, 500, 550, 580, 600, 620, 640, 660, 680, 690 y 700°C, midiendo el MRN y controlando la susceptibilidad magnética (K) en cada paso para monitorear creación de nuevos minerales magnéticos a altas temperaturas.

Una vez terminado el proceso de desmagnetización se escogieron ocho muestras representativas para análisis mineralógico usando curvas termomagnéticas ( $T_c$ ) y la curva de adquisición de la Magnetización Remanente Isotermal (MRI; Lowrie, 1990) en el laboratorio de Paleomagnetismo de la Universidad Simón Bolívar (Venezuela). Para determinar  $T_c$  se utilizó un susceptómetro Bartington MS2 y un horno Bartington MS2WF. Las muestras previamente maceradas se calentaron hasta una temperatura de 700°C y luego se enfriaron hasta temperatura ambiente midiendo K a intervalos de 5°. Para realizar los experimentos de MRI 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 MRI 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 los componentes magnéticos se realizó un análisis visual de los diagramas ortogonales de Zijdeveld (1967) y se aplicó la técnica de análisis de componente principal (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). La edad relativa de magnetización se estimó a partir del ejercicio de determinar estadísticamente el más alto grado de agrupamiento de las direcciones medias por sitio después de los siguientes dos ejercicios. La corrección 1 equivale a horizontalizar las capas del Cretácico para determinar si los componentes de magnetización fueron adquiridos antes o después de la deformación de unidades del Cretácico y Terciario. Posterior al cálculo del nuevo rumbo y buzamiento de las capas de la Fm. Saldaña al horizontalizar el Cretácico, se procedió a la corrección 2 la cual horizontaliza las capas de la Fm. Saldaña a su posición original de acumulación. Otros criterios para la definición de la edad relativa de magnetización fueron comparar: (1) los resultados de las diferentes unidades discordantes (prueba de discordancia) y (2) las direcciones aisladas en el dique y la roca encajante (prueba de contacto).

## RESULTADOS DE PALEOMAGNETISMO

En más del 85% de los sitios se pudo aislar, al menos, dos componentes de magnetización que se diferencian en dos grupos. El primero corresponde a los componentes aislados en los primeros pasos de desmagnetización (bajas fuerzas coercivas y/o temperaturas de desbloqueo) y el segundo equivale al componente característico (altas fuerzas coercivas y/o temperaturas de desbloqueo). Este último difiere entre unidades y sectores muestreados. Estos resultados están sintetizados en la TABLA 1 y en las FIGURAS 5 y 6.

### *Componentes secundarias y su mineralogía magnética*

En todas las unidades muestreadas de ambas áreas se logró aislar un componente cuya dirección in situ es al Norte con inclinaciones someras positivas, similar a la dirección del campo actual. En Olaya Herrera se aisló este componente en 9 sitios con rangos de temperatura/coercividad de desbloqueo no mayores a 550°C/50mT (componentes «a» en TABLA 1; FIGURAS 4A, 4C, 4D y 5A). En Alpujarra, la dirección del campo actual se aisló en 6 sitios con una temperatura/coercividad de desbloqueo que alcanza los 680°C/120mT (A2a, A5a, A7a, A9a, A11a y A12a, FIGURAS 4E a 4H y 6A). La dispersión de esta dirección aumenta después de horizontalizar las capas, indicando que el tiempo de magnetización fue posterior a los eventos de deformación (TABLA 2 y FIGURAS 7A y 7B).

En el área de Alpujarra se logró aislar un componente a bajas temperaturas o coercividades intermedias con direcciones al Sur e inclinaciones positivas (o su reverso). En la Fm. Yaví, el rango de temperatura no supera los

300°C y se aislaron tres direcciones con declinación al Sur (A4a, A6a, A8a) y una dirección con declinación al Norte (A3ai) (FIGURA 6C). En este grupo de declinaciones al Sur se incluye un sitio de la Fm. Saldaña (A2b) con una coercividad de desbloqueo a 80mT. Estas direcciones in situ no concuerdan como una dirección reversa del dipolo actual y logran su mejor agrupamiento al horizontalizar las capas por buzamientos de la Fm. Yaví (TABLA 2 y FIGURAS 7A y 7B). El contraste de temperaturas/coercividades de desbloqueo sugiere una diferencia en la mineralogía magnética de estos componentes en las dos áreas. En Olaya Herrera, la maghemita (FIGURA 4D) registra estos componentes y también puede estar presente en los sitios A2 (Fm. Saldaña) y A12 (Fm. Yaví) del área Alpujarra; sin embargo, los componentes mencionados arriba también son registrados en sulfuros? (sitio A9, FIGURA 4H). En algunas muestras donde la temperatura de desbloqueo alcanza los 680°C, la hematita registra este componente (sitio A9).

#### ***Componentes característicos en unidades del Cretácico y su mineralogía magnética***

Algunas direcciones aisladas a temperaturas intermedias a altas presentan un mejor agrupamiento al horizontalizar las capas con una dirección resultante al Norte con inclinaciones positivas (o su reverso); estas direcciones fueron consideradas como el registro del campo magnético previo a la deformación del Terciario. En el área de Olaya Herrera sólo se logró aislar un componente en rocas de la Fm. Alpujarra (sitio O10b) en coercividades entre 20-60mT (FIGURAS 4C y 5B). Por el contrario, en 7 sitios del área Alpujarra, y localizados en ambos sectores, se aisló éste componente en rangos de temperatura entre 350 a 700°C (componente “b”, FIGURAS 4F, 4G y 6E). En el sitio A3, se obtuvo dos componentes antipodales (componentes “b” y “c”, FIGURA 4E), pero la dirección al Sur (A3bi) no pasó la prueba de reverso (McFadden & McElhinny, 1990) al compararla con las otras 7 direcciones al Norte (FIGURA 6F). El grado de agrupamiento de este componente aumentó levemente (TABLA 2, BC-Yaví) al horizontalizar las capas, y las direcciones de los sitios quedan con inclinaciones muy someras y con declinación al Norte (FIGURA 7B).

El aislamiento de este componente en Alpujarra por el método térmico y a temperaturas de desbloqueo que superan los 600°C sugiere la presencia de hematita. Sin embargo, curvas termomagnéticas indican la presencia de magnetita (FIGURA 4G), como lo indica la caída de la curva termomagnética de calentamiento a 580°C. La diferencia en inclinación en las direcciones antipodales del sitio A3 pueden estar relacionadas al tipo del mineral. El

componente de temperaturas intermedias (A3b, FIGURA 4E) es una dirección híbrida entre magnetita y hematita, mientras el componente de más alta temperatura (600-700°C, A3c, FIGURA 4E) lo registra completamente la hematita.

#### ***Componentes característicos en la Fm. Saldaña y su mineralogía magnética***

En Olaya Herrera se aisló en un número mayor de sitios el componente característico que en el área de Alpujarra. Este componente se aisló en coercividades entre 20 -120 mT en ambas áreas; el rango de temperatura en Olaya Herrera varía entre 200 y 650°C, mientras en Alpujarra alcanza los 700 °C. Los componentes en Olaya Herrera se presentan en tres grupos.

El primer grupo en Olaya Herrera incluye los componentes de ocho sitios en los sectores Chipalo Este y Chipalo Oeste, cuyas direcciones son al Sur e inclinaciones someras (FIGURAS 4A, 4D y 5C). Las direcciones de este grupo alcanzan el mejor grado de agrupamiento con inclinaciones someras positivas después de realizar los dos ejercicios de horizontalización (B-Ch-Saldaña, TABLA 2 y FIGURAS 5E y 7C). Es de anotar que el dique y tobos encajantes dan direcciones idénticas (O5b y O4b, respectivamente, FIGURA 5C).

El segundo grupo en Olaya Herrera incluye las direcciones del componente característico en el sector Macule (B-Ma-Saldaña, TABLA 2 y FIGURA 5C) las cuales son al Noroeste con inclinaciones negativas intermedias (FIGURA 4B). El mejor agrupamiento de las inclinaciones entre el sector Macule (considerando su dirección reversa) y los sectores en la Q. Chipalo se logra después de los dos ejercicios de horizontalización (FIGURAS 5E y 7C). Sin embargo, las declinaciones entre el sector Macule y los sectores de la Q. Chipalo difieren en 43° (FIGURA 7C).

El tercer grupo de direcciones en Olaya Herrera incluye los componentes O2&O3a, O2&O3b, O8c, O11c, O12b, O14b y O15c, cuyos rangos de desbloqueo varían entre sitios (TABLA 1, FIGURA 5F). Las direcciones resultantes después de hacer las dos correcciones de horizontalización de este tercer grupo sugieren que efectivamente las direcciones en la Q. Macule no coinciden con las direcciones en la Q. Chipalo (FIGURAS 5G y 5H). Sin embargo, es necesario utilizar el método térmico de desmagnetización en los sitios O8, O11 y O15 para corroborar que las direcciones inferidas corresponden a un componente de magnetización registrado por minerales de muy alta coercividad.

Paleomagnetismo y mineralogía magnética en rocas de la Formación Saldaña y unidades Cretácicas suprayacentes en la parte norte del Valle Superior del Magdalena, Colombia

TABLA 1. Componentes de magnetización y parámetros estadísticos por sitio.

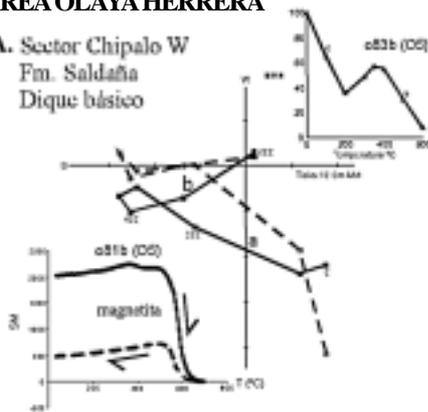
Área	Sitio	Unidad	Bogotá N/n	BsAs N/n	Caga (DB/B)	Componente			Sin Corrección				Corrección 1		Corrección 2	
						Desde	Hasta	Dec.	Inc.	k	α95	Dec.	Inc.	100% Yavi-Alpujarra	100% Saldaña	
OLAYA HERRERA	O1	Alpujarra	1/1	6/4	29/49	a	0	400	356.7	-3.9	14.55	20.8	6	-19.4		
			1/0	6/2	29/49	b	400	550								
	O2-03	Saldaña	3/0	6/3	28/70	a (1)	20mT	70mT	35	-23.3	587.71	5.1	47.5	-5.3	46.6	12.7
			3/1	6/5	28/70	b (1) (2)	5mT	120mT	21.6	-11.7	32.94	11.9	30.3	-7.2	30.5	5.9
	O4	Saldaña	3/0	6/4	28/70	b* (3)	450-110mT	550-9120	300.4	-10	33.29	16.3	193	-6.1	189.4	-12.2
			3/0	6/3	28/70	a	0mT	9mT	11.7	7.5	3.46	89.2	9.2	-2		
	O5	Saldaña	3/2	6/6	28/70	b	6mT	120mT	159.7	-11.1	39.85	8.9	163.3	21.3	173.1	24.5
			2/2	6/2	28/70	a	0	300	8.2	38.9	13.36	26.1	343.3	16.4		
	O6	Saldaña	2/2	6/6	28/70	b	200	650	160.2	-6.8	68.63	7.3	166.6	24.3	177.5	25.9
			2/2	4/4	155/34	b	450-0mT	600-120mT	306.8	-34.9	149.72	5.5	307.2	9.1	306.6	-3.9
	O7	Saldaña	2/2	5/5	155/34	b	550-0mT	600-120mT	308.9	-44.7	176.8	4.6	308.9	-0.7	310.7	-1.3
			2/0	3/3	155/34	b	15mT	80mT	338.6	-29.6	335.83	6.7	334.8	9.8	332.5	6.4
	O8	Saldaña	2/1	3/3	155/34	c (4)	600-90mT	550-700	192.2	10.1	30.64	20.7	281.9	51.3	276.2	33.3
			2/0	2/0	6/5	129/44	a	0	550	346.7	27.4	24.65	15.7	10.1	95	
	O9	Yavi	2/0	6/3	129/44	b	400	550								
			2/1	4/4	109/72	a	0mT	50mT	357.4	23.8	17.58	18.8	29.8	18.4		
	O10	Alpujarra	2/1	4/4	109/72	b	20mT	60mT	337	16.5	18.15	19.4	17.7	35.8		
			2/2	3/3	145/55	b	400-15mT	550-120mT	222	8.2	117.02	7.1	191.8	32.9	196.9	-5.6
	O11	Saldaña	2/0	3/3	145/55	c (4)	120mT	9120	213.1	-27.7	1046.9	3.8	224	10.8	224.3	-32.2
			2/0	3/3	145/55	a	0mT	15mT	7.1	20.5	13.31	21.8	28.8	8.8		
O12	Saldaña	5/0	6/5	108/70	a	0mT	15mT	7.1	20.5	13.31	21.8	28.8	8.8			
		5/5	6/6	108/70	b	450-15mT	600-120mT	137.4	-27.8	188.88	3.3	212.9	-54.3	214.6	-62.2	
O13A	Saldaña	3/1	4/4	94/64	a	5mT	15mT	347.7	35.7	30.01	14.2	41.5	28.3			
		3/2	4/4	94/64	b	30mT	80mT	171.4	17.5	33.4	11.8	167.2	-11.3	166.5	-2.9	
O13B	Saldaña	3/3	2/2	94/64	b	15mT	120mT	209.1	4	30.61	14	192.1	19.4	195.6	24.4	
		2/1	3/3	148/41	a	0mT	20mT	354.7	27.7	26.27	19.3	33.4	21.5			
O14	Saldaña	2/1	3/3	148/41	b	20mT	120mT	267	52.6	8.92	32.6	113.4	53.9	188.7	52.7	
		2/1	3/3	148/41	b* (3)	200-105mT	640-9120mT	202.4	31.8	67.46	11.3	161.8	19.7	172.4	4.4	
O15	Saldaña	6/5	6/5	124/70	a	0mT	40mT	353.9	26.4	51.87	6.8	31.9	21.9			
		6/0	6/4	124/70	b	30mT	80mT	200.5	26.1	17.36	22.7	167.4	17	168.9	-2.8	
O16	Saldaña	6/0	6/6	124/70	c (4)	50mT	9080mT	336.1	36.7	31.03	12.2	42.9	37.6	55.8	57.6	
		6/0	6/2	313/49	a	0	300									
A1	Saldaña	6/0	6/2	313/49	bm (2)	500	700	19.8	38.6	68.63	8.1	24.7	40.1	1.5	10	
		6/2	6/2	313/49	bl	400	700	30.3	3.2	175.74	6.9	30.1	21.2	300.5	-45.1	
A2	Saldaña	11/3	8/7	18/33	a	0mT	120mT	0.9	15.6	85.09	5.3	6.6	24.1	6.1	-16.5	
		11/0	8/3	18/33	b	30mT	80mT	184.2	6.8	59.54	16.1	183.5	-1.7	185.7	38.8	
A3	Yavi	7/0	6/2	127/28	as	0	200	153.3	29.9	41.88	39.6	149.7	4.3			
		7/0	6/4	131/26	al	0	300	357	-12.1	32.32	16.5	356	6.3			
A4	Yavi	7/0	6/2	127/28	bs	350	600	325.4	18.8	191.91	18.1	332	44.9			
		7/1	6/4	131/26	bl	350	620	172.7	-4	32.56	13.6	177.1	-22.9			
A5	Saldaña	11/1	6/6	131/26,127/28	c	600	700	2.9	-13.9	21.87	13.5	8.8	2.6			
		11/3	6/6	120/20,141/31	a	0	200	197.8	4.9	24.37	13.8	197.8	-4			
A6	Yavi	1/0	4/4	126/22	a	0	200	196.5	8.3	161.49	7.3	194.9	8.6			
		1/1	4/4	126/22	b	350	700	17	-11.1	130.2	6.7	14.3	-3.3			
A7	Yavi	2/0	6/5	101/39	a	0	350	3.4	27	6.32	33.3	23.4	25.3			
		2/0	6/4	101/39	b	350	700	7	-6.1	28.17	17.6	4	-2.3			
A8	Yavi	3/1	6/6	128/40,127/56	a	0	300	184.5	20.5	14.83	16.2	179.1	-8.6			
		3/1	6/6	128/40,127/56	b	300	700	18.7	-6.9	49.78	8.6	18.7	8.2			
A9	Saldaña	2/1	6/6	16/20	a	0	600	19.3	8.2	112.86	5.7	21.5	12	21.4	-11.7	
		2/0	6/4	16/20	b	640	690	244.2	-2.1	9.35	31.7	243.5	7.5	248.5	11.2	
A10	Saldaña	1/0	5/3	100/22	b	400	640	32.3	21.6	29.52	23.1	48.2	20	41.9	12	
		2/2	6/6	122/18	a	0	300-135mT	349.5	12	121.29	5	353.9	23.7			
A11	Yavi	2/1	6/6	122/18	b	120mT	700	0.8	8.2	139.21	5.1	4.4	17.1			
		6/0	5/5	122/18	a	0mT	120mT	339.3	13.2	97.23	7.8	343.6	27.1			
A12	Yavi	6/0	5/5	122/18	b	120mT	700	348.3	6.7	239.15	5	351.3	18.8			

as, bs=componentes aislados en el nivel superior del sitio; bm=componente aislado en el nivel intermedio del sitio; ai, bi=componentes aislados en el nivel inferior del sitio. Cuando n Bt<sub>2</sub> + n BsAs =2, no se representa en la figura de estereonet de igual área, N/n= Muestras analizadas/Muestras utilizadas para el cálculo de la media.

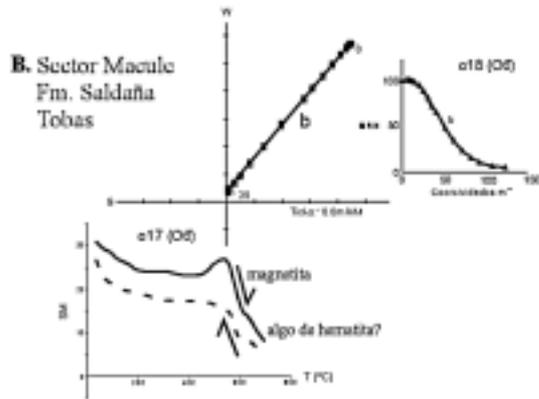
(1) Estas direcciones al Noreste podrían corresponder a la dirección antiparalela del componente b\* del sitio O2-O3, (2) Una dirección al Sur se convirtió en su correspondiente al Norte para el cálculo de la media, (3) Se toman estas componentes de mayor estabilidad para el cálculo de la dirección media del componente característico B de la Fm. Saldaña, (4) Desmagnetizó un 60-85% por CA. Este componente es la dirección del último punto de CA hasta el origen, (5) Dos direcciones al Sur fueron convertidas en sus correspondientes al Norte para el cálculo de la media, (6) Cambios significativos de k y α95 son registrados en las correcciones.

**ÁREA OLAYA HERRERA**

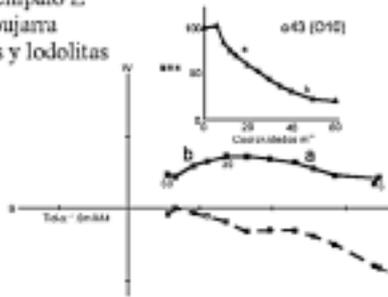
**A. Sector Chipalo W**  
Fm. Saldaña  
Dique básico



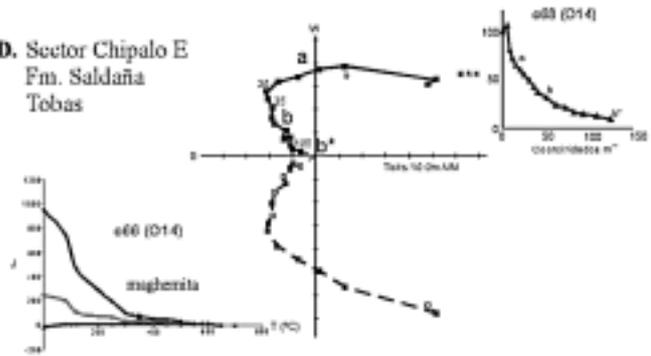
**B. Sector Macule**  
Fm. Saldaña  
Tobas



**C. Sector Chipalo E**  
Fm. Alpujarra  
Arenitas y lodolitas

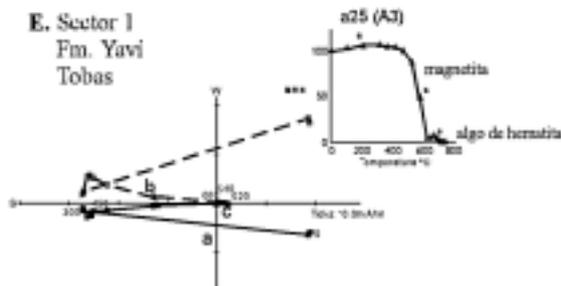


**D. Sector Chipalo E**  
Fm. Saldaña  
Tobas

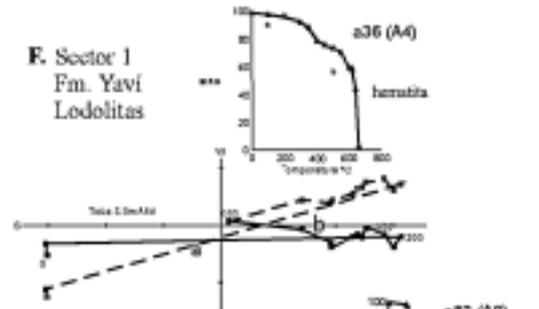


**ÁREA ALPUJARRA**

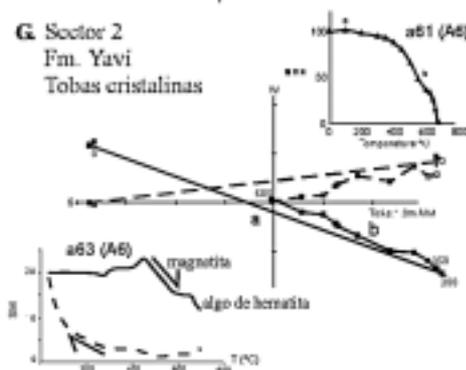
**E. Sector 1**  
Fm. Yavi  
Tobas



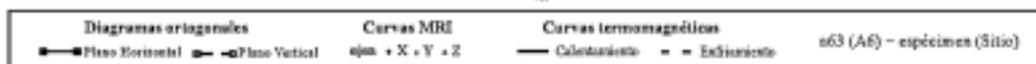
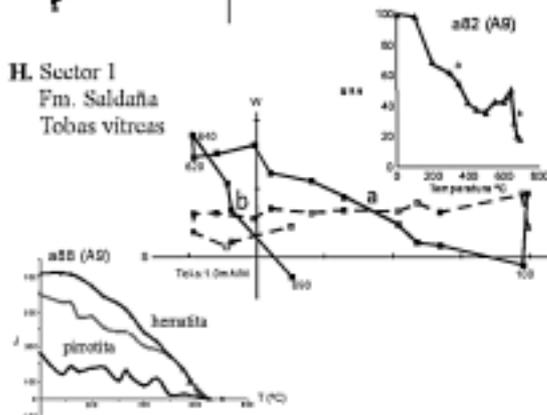
**F. Sector 1**  
Fm. Yavi  
Lodolitas



**G. Sector 2**  
Fm. Yavi  
Tobas cristalinas



**H. Sector 1**  
Fm. Saldaña  
Tobas vitreas



**FIGURA 4.** A a H: Diagramas ortogonales de Zijdeveld (1967) y gráficos de decaimiento del magnetismo remanente natural representativos de las unidades estudiadas. El rango de temperatura o coercividad de los componentes aislados en cada muestra se indica en ambos gráficos. Curvas termomagnéticas y curvas de decaimiento del magnetismo remanente isothermal obtenidas en muestras del mismo sitio se anexan para indicar la mineralogía magnética. Ver texto para discusión.

En Alpujarra, las direcciones del componente característico se aislaron en 3 sitios con declinaciones al Noreste (A1bm, A5b y A10b) y en un sitio con declinación al Suroeste (A9b, FIGURA 4H). Esta última dirección no pasa la prueba de reverso en ninguna de las correcciones (FIGURAS 6H y 6I). El mejor agrupamiento de estas direcciones se obtiene después de horizontalizar las capas de la Fm. Yaví. La

dirección media resultante es al Noreste con inclinaciones positivas intermedias (B - Saldaña, TABLA 2; FIGURA 7B). Sin embargo, los parámetros estadísticos de la dirección media indican un alto grado de dispersión. En el nivel inferior del sitio A1 se aisló un componente con una dirección in situ al Noroeste e inclinación somera positiva, la cual consideramos como anómala (TABLA 1, A1bi).

**ÁREA OLAYA HERRERA**

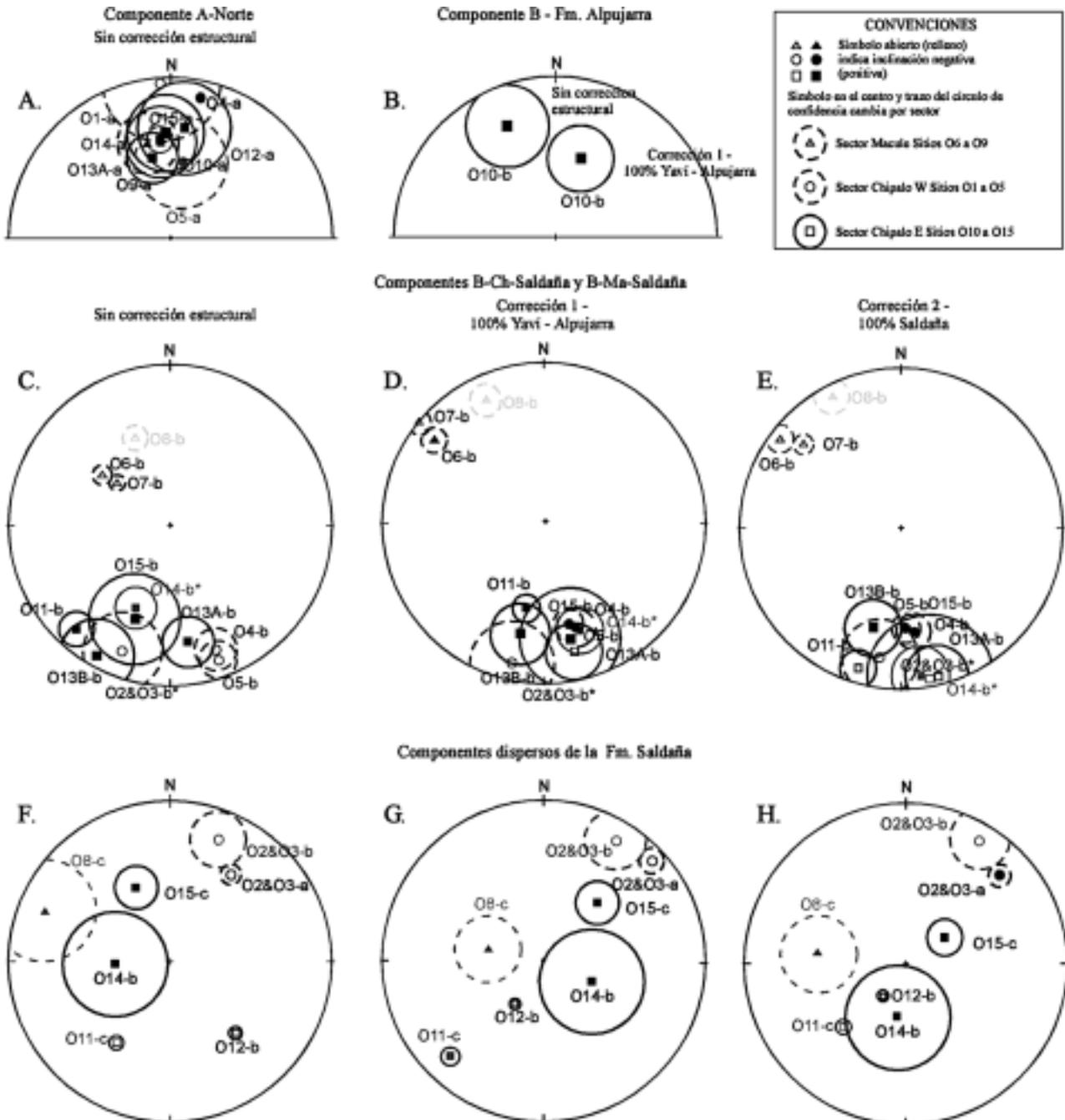


FIGURA 5. Diagramas de igual área representando los componentes aislados para el área de Olaya Herrera. La letra después del sitio (e.g. O14-b) hace referencia al componente cuyos datos estadísticos están en la TABLA 1.

La mineralogía magnética en los sitios de la Fm. Saldaña en Alpujarra está dominada por la hematita (curvas de MRI, FIGURA 4 H), mientras en Olaya Herrera los minerales magnéticos poseen menor coercividad. El componente B de la Fm. Saldaña en la Q. Chipalo lo registra la magnetita, como lo sugiere las muestras del dique en el sitio O5 (FIGURA 4A). Sin embargo maghemita o un sulfuro de hierro parece estar presente como lo indica el comportamiento de la susceptibilidad en la curva de calentamiento a 400°C. Desmagnetizaciones térmicas de MRI a lo largo de los ejes X (0.12T) y Y (0.4T) para una toba del sitio O14 indica un decaimiento en un rango amplio de temperaturas de desbloqueo alcanzado la desmagnetización completa alrededor de 350°C indicando la presencia de la maghemita o un sulfuro de hierro (pirrotita o greigita; FIGURA 4D). La probable presencia de la hematita en menores cantidades, u otros minerales de muy alta coercividad, se infiere en los sitios donde la desmagnetización no superó el 80% por CA (e.g., O15c). A diferencia de Olaya Herrera, la hematita es la fase magnética más representativa de las muestras en Alpujarra. Desmagnetizaciones térmicas de MRI a lo largo de los ejes Z (3T) y Y (0.4T) indican una temperatura de desbloqueo por encima de los 600°C, sugiriendo un mineral magnético de alta coercividad (FIGURA 4H). En el sitio A2, curvas termomagnéticas indican la presencia de magnetita y hematita.

## DISCUSION

En ambas áreas fue posible borrar el componente del campo actual (A-Norte, TABLA 2) tanto en rocas de la Fm. Saldaña como en las unidades Cretácicas. Por consiguiente, los componentes característicos en rocas de la Fm. Yaví en Alpujarra (BC-Yaví, TABLA 2) y en rocas de la Fm. Saldaña en Olaya Herrera (B-Ch y B-Ma-Saldaña, TABLA 2) se pueden considerar primarios, como se argumenta a continuación.

Estos componentes característicos, los cuales son estables a temperaturas/coercividades > 600°C/60mT, dan resultados positivos a las diferentes pruebas de campo. Primero, el agrupamiento de las inclinaciones se incrementa al realizar las respectivas correcciones estructurales (FIGURAS 7B y 7C). Segundo, la dirección característica de la Fm. Saldaña (D=180 I=7.1) difiere de la dirección característica de la suprayacente Fm. Yaví (D=5.2 I=6.2) y de la infrayacente Fm. Luisa (D=100 I=-55) reportada por Scott (1978). Este último punto confirma un resultado positivo de la prueba de discordancia entre rocas de la Fm. Yaví con rocas de la

Fm. Saldaña. Tercero, la similitud en las direcciones características obtenidas en el dique (sitio O5) con las aisladas en la Q. Chipalo (B-Ch-Saldaña) indica un tiempo de magnetización posterior al emplazamiento del dique. Debido a que no fue posible asociar el componente característico a un único mineral magnético en muestras de la Fm. Saldaña en Olaya Herrera y la Fm. Yaví en Alpujarra, consideramos que estos minerales son primarios o fases secundarias asociadas a procesos termoquímicos muy cercanos al tiempo de acumulación.

El ejercicio de las dos correcciones de horizontalización efectuado en este estudio probó ser determinante para esclarecer el tiempo de magnetización en rocas pre-Cretácicas. Por lo anterior, es recomendable efectuar de nuevo el estudio paleomagnético en rocas de la Fm. Luisa para seguir el mismo procedimiento de horizontalización de las capas.

La comparación de los paleopolos geomagnéticos virtuales (PGV) entre el cratón Suramericano y el área de trabajo (Bayona *et al.*, 2005), para unidades de la misma edad, soportan un tiempo de magnetización cercano al tiempo de formación de las rocas. En la FIGURA 8A. se ilustra cómo el PGV calculado a partir de la dirección característica de la Fm. Saldaña aislada en los dos sectores de la Q. Chipalo (B-Ch-Saldaña) coincide con los PGV calculados en rocas del Triásico Superior y Jurásico Inferior-Medio. Por el contrario, los PGV calculados para las direcciones características obtenidas en la Q. Macule y en rocas de la Fm. Luisa tienen complicaciones estructurales, como se explicará más adelante. El PGV calculado a partir de la dirección característica de la Fm. Yaví también coincide con el PGV obtenido en rocas del cratón de edad Aptiano-Albiano (FIGURA 8B).

Las diferencias en las direcciones características y los PGV entre la Fm. Saldaña y las unidades del Cretácico sugieren translación de bloques debido al cambio en el valor de las inclinaciones entre la Fm. Saldaña (I=-7.1, con declinación Norte) y la Fm. Yaví (I=6.2). Sin embargo, es necesario tomar una mayor cantidad de datos en rocas del Triásico-Jurásico para definir si la translación es únicamente del terreno Payandé, o es el movimiento hacia el Norte del cratón Suramericano durante el Triásico Tardío y Jurásico Temprano.

La variación de las declinaciones características de la Fm. Saldaña entre los sectores de la Q. Chipalo y la Q. Macule, en el área de Olaya Herrera, puede documentar rotaciones de bloques. Debido a que el PGV obtenido en

ÁREA ALPUJARRA

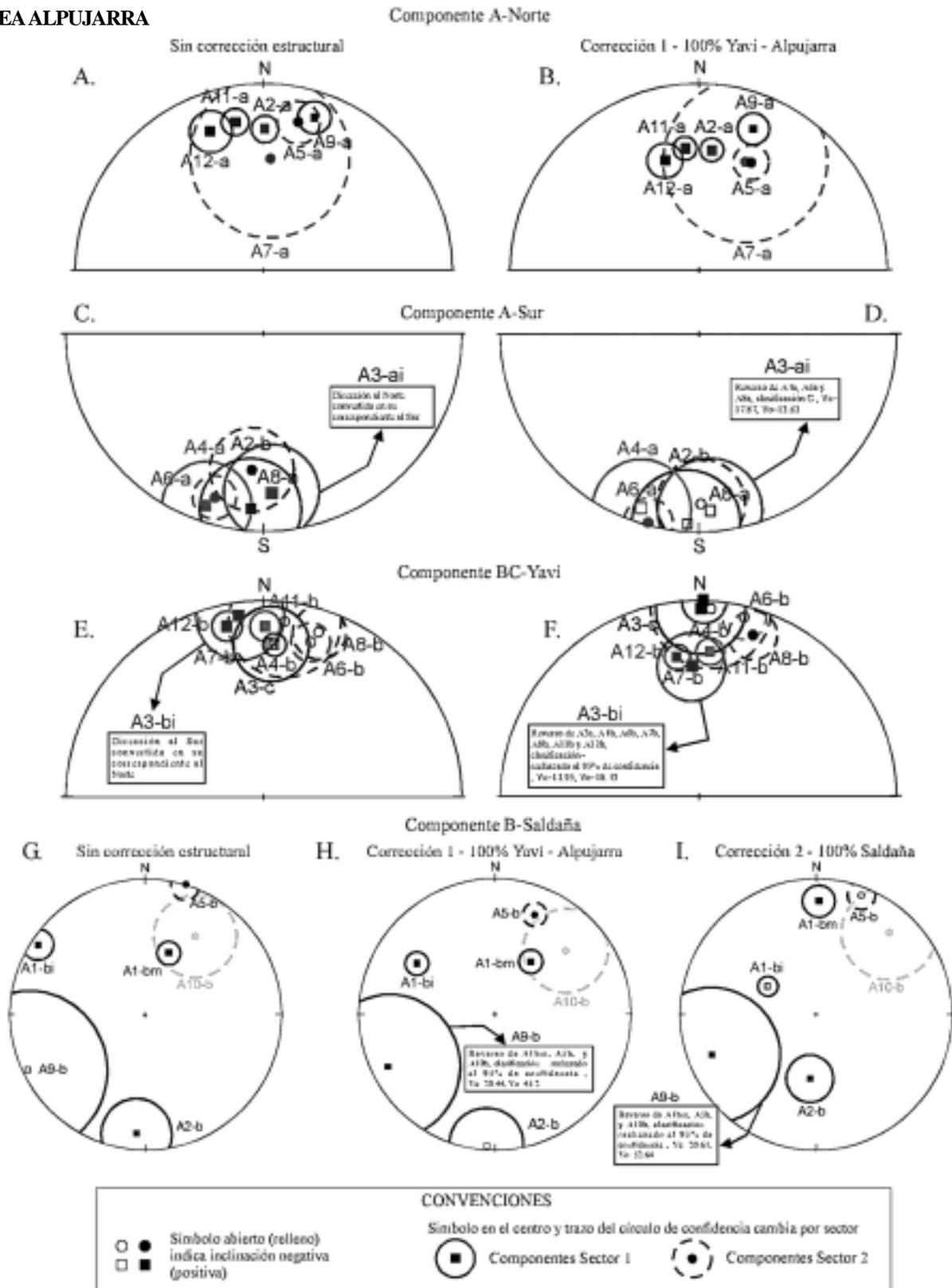


FIGURA 6. Diagramas de igual área representando los componentes aislados para el área de Alpujarra. La letra después del sitio (e.g. A2-b) hace referencia al componente cuyos datos estadísticos están en la TABLA 1.

**TABLA 2.** Direcciones medias de componentes de magnetización y parámetros estadísticos.

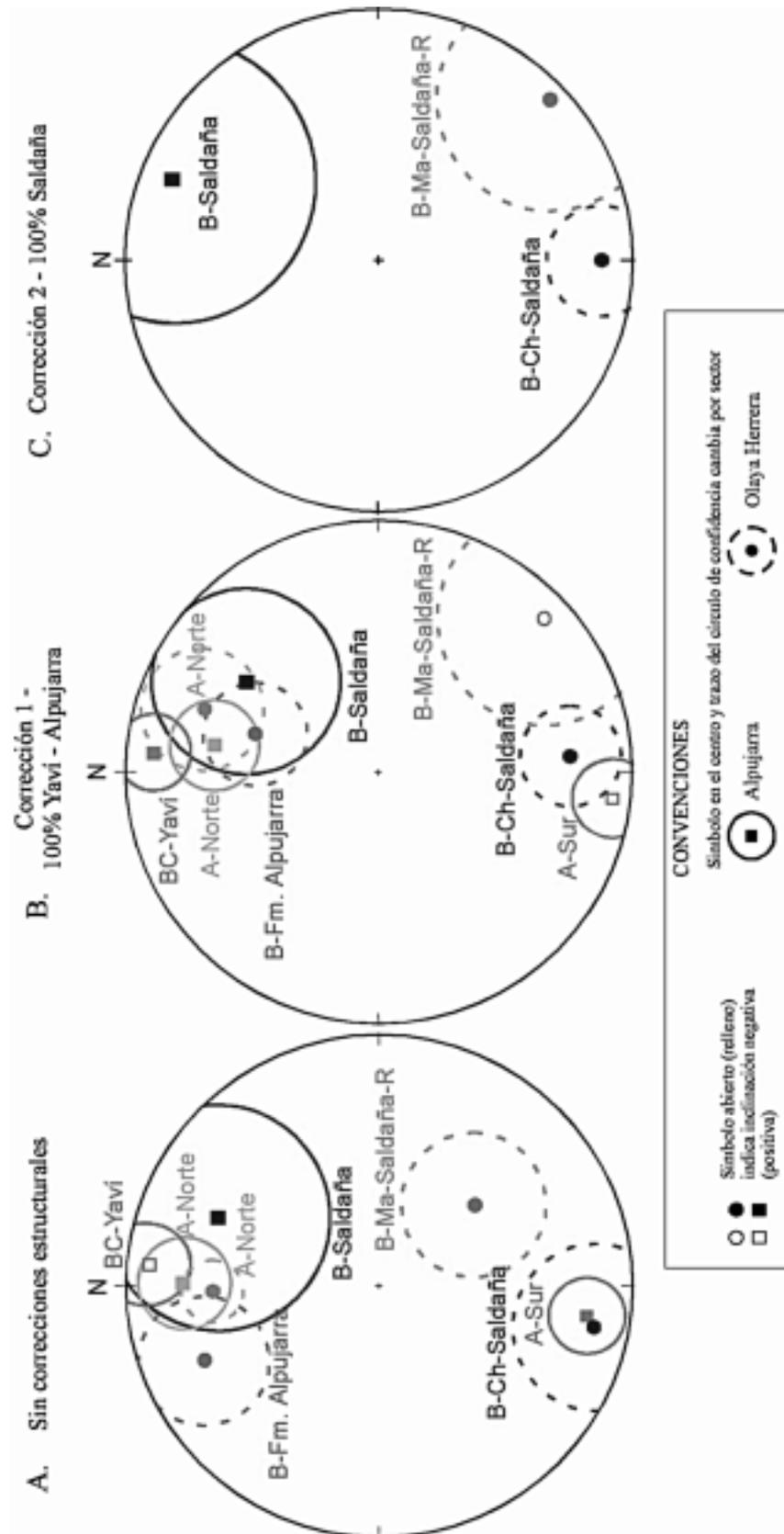
Área	Componente	Número de sitios						Sin corrección estructural						Corrección 1 100% Yavi -Alpujarra						Corrección 2 100% Saldaña					
		O-Chapalá (N/n)		O-Mozote (N/n)		Total		Dec.	Inc.	k	α95	Dec.	Inc.	k	α95	Dec.	Inc.	k	α95	Dec.	Inc.	k	α95		
		S	A	S	Y	S	Y																		
Otras Herrera	A-Norte	9/6	2/2	3/0	1/1	9	358.4	23.2	28.5	9.8	20.4	17.2	9.41	17.7											
	B-Fm. Alpujarra		2/1		1/0	1 (1)	337	16.5	18.15	18.4	17.7	35.8	18.15	18.4											
	B-Cb-Saldaña	9/8				8	190.7	8	8.2	20.6	175.2	15.2	16.02	14.3	179.9	7.1	17.19	13.7							
	B-Ma-Saldaña			3/3		3	318.8	-37.3	24.45	25.5	316.8	6.2	24.5	25.5	316.6	-4.2	24.59	25.4							

Área	Componente	Número de sitios						Sin corrección estructural						Corrección 1 100% Yavi						Corrección 2 100% Saldaña					
		Bactr1 (N/n)		Bactr2 (N/n)		Total		Dec.	Inc.	k	α95	Dec.	Inc.	k	α95	Dec.	Inc.	k	α95	Dec.	Inc.	k	α95		
		S	Y	S	Y	S	Y																		
Alpujarra	A - Norte	3/2	4/2	2/1	3/1	6	0.8	15	27.17	13.1	9.5	23.6	23.16	14.2											
	A - Sur	3/1	4/2	2/0	3/2	5 (2)	188.1	10.6	57.41	10.2	186.3	-4	62.31	9.8											
	BC-Yavi	4/4	4/4		3/3	7	5.5	-5.4	34.62	10.4	5.2	6.2	40.15	9.6											
	B-Saldaña	3/1		2/2		3	23.1	20.4	15.61	32.3	34.8	24.9	19.33	28.8	21.5	7.2	14.73	33.3							

S: Fm. Saldaña, Y: Fm. Yavi, A: Fm. Alpujarra, N/n= total de sitios/sitios incluidos en el tratamiento estadístico.

(1)El componente O10-b sólo tiene un dato, por lo cual, no representa valores estadísticos.

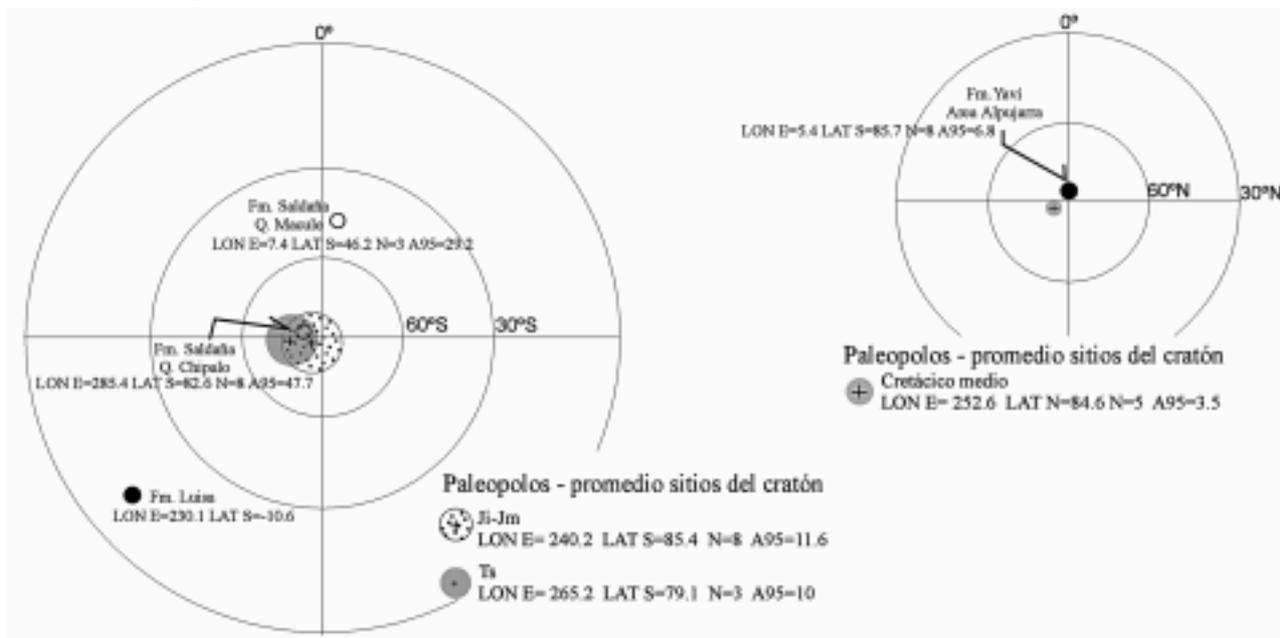
(2) Se considera la dirección reversa del sitio A3ai.



**FIGURA 7.** Diagramas de igual área ilustrando la dirección media y círculo de confiabilidad de los componentes del campo actual (A-Norte) y característicos calculado a partir de las direcciones medias de los componentes por sitio (TABLA 2). Los componentes característicos de la Fm. Saldaña en Olaya Herrera son B-Ch-Saldaña y B-Ma-Saldaña (convertida a su dirección reversa) y en Alpujarra es B-Saldaña. El componente característico de la Fm. Yavi en Alpujarra es BC-Yavi. Ver texto para discusión.

**A. Triásico Superior, Jurásico Inferior-Medio (HS)**

**B. Cretácico medio (Aptiano-Albiano (HN))**



**FIGURA 8.** Diagramas polares ilustrando los paleopolos geomagnéticos virtuales calculados para el cratón y las formaciones Luisa, Saldaña y Yaví para los intervalos de tiempo Triásico Superior, Jurásico Inferior-Medio (A) y Cretácico medio (B). HS/HN= Hemisferio Sur/Hemisferio Norte. La cruz y el círculo sombreado representan la posición del polo y su círculo de confianza al 95%: Ver Bayona *et al.* (2005) para los datos del cálculo de los paleopolos del cratón.

el sector Macule es anómalo consideramos que este bloque está rotado  $43 \pm 29^\circ$  en sentido anti-horario con respecto al bloque de la Q. Chipalo (FIGURA 7C). Este evento de rotación puede estar relacionado a fallas normales que limitan la distribución y acumulación de conglomerados y arenas de la Fm. Yaví en la Q. Macule.

Aunque los componentes B-Saldaña y A-Sur en Alpujarra logran un mejor agrupamiento al horizontalizar las capas de las unidades Cretácicas, el significado de estas direcciones es dudoso. El componente A-Sur puede considerarse como una dirección antipodal del componente característico de la Fm. Yaví (FIGURA 7B); sin embargo, la bajas temperaturas/coercividades de desbloqueo de este componente no lo hacen estable y por lo tanto confiable. El componente B-Saldaña en Alpujarra tiene una alta dispersión ( $k=19.33$ ), pero presenta declinaciones que son definitivamente más hacia el Este que las direcciones del componente característico de la Fm. Yaví. Futuros estudios deben probar la estabilidad de este componente en otras áreas con el fin de probar posibles rotaciones en sentido horario del área de Alpujarra previo al evento de magnetización de la Fm. Yaví. Estas direcciones, junto con la alta dispersión de las direcciones del tercer grupo de la Fm. Saldaña en Olaya Herrera, reflejan la complejidad de la historia geológica del VSM.

El contraste de litologías de la misma unidad, pero en áreas diferentes, se ve reflejada en las variaciones de mineralogía magnética. El componente característico de la Fm. Saldaña en Olaya Herrera, donde dominan las rocas piroclásticas, es registrado por minerales relacionados con la magnetita. En el área de Alpujarra, donde rocas epiclásticas y piroclásticas de la Fm. Saldaña están estratificadas, el componente característico es registrado por hematita. En capas de tobas y lodolitas de la Fm. Yaví en Alpujarra lo registra principalmente la hematita y en menor proporción la magnetita.

**CONCLUSIONES**

Los diferentes componentes magnéticos aislados en las formaciones Saldaña, Yaví y Alpujarra en las áreas de Olaya Herrera y Alpujarra (extremo Norte del Valle Superior del Magdalena, VSM) revelan que las litologías utilizadas en este estudio son adecuadas para paleomagnetismo. Con las pruebas de campo (horizontalización de capas, dique, discordancia) se estableció que estos componentes registran diferentes eventos de magnetización, los cuales son: (1) pre-deformación de la Fm. Saldaña y post-emplazamiento de los diques, (2) post-deformación de la Fm. Saldaña y

pre-depositación de las formaciones Yaví y Alpujarra, (3) pre-deformación de la Fm. Yaví y (4) post-deformación Terciaria. La magnetización generada en este último evento fue posible borrarla en los primeros pasos de desmagnetización en todas las unidades estudiadas.

En lavas, diques, tobas y rocas epiclásticas de la Fm. Saldaña se aislaron componentes magnéticos de los 4 eventos establecidos. En Olaya Herrera, los componentes característicos son pre-deformación de la Fm. Saldaña y post-emplazamiento de diques (componentes primarios). La comparación de estos componentes en dos bloques estructurales, donde en uno de ellos esta ausente la Fm. Yaví, sugiere rotación de bloques en sentido anti-horario de  $43 \pm 29^\circ$  previo a la acumulación de las formaciones Yaví y Alpujarra. La dirección media del bloque no rotado es:  $D=179.9$   $I=7.1$   $N=8$   $k=17.19$   $\alpha_{95}=13.7$ . En el área de Alpujarra, se estableció que el componente característico fue adquirido en un tiempo post-deformación de la Fm. Saldaña y pre-depositación de la Fm. Yaví, y la dirección media es:  $D=34.8$   $I=24.9$   $N=3$   $k=19.33$   $\alpha_{95}=28.8$ . Los minerales dominantes que llevan estos componentes son la magnetita en Olaya Herrera y la hematita en Alpujarra. Otros minerales como maghemita y posible pirrotita también fueron identificados.

En rocas de las formaciones Yaví y Alpujarra se aislaron componentes secundarios y componentes característicos. El componente característico fue aislado en tobas y lodolitas rojas de la Fm. Yaví en el área Alpujarra, y se pudo establecer un tiempo de magnetización pre-deformación de la Fm. Yaví. La dirección media de este componente es:  $D=5.2$   $I=6.2$   $N=7$   $k=40.15$   $\alpha_{95}=9.6$ . En las tobas y lodolitas de la Fm. Yaví en el área Alpujarra coexisten la magnetita y la hematita, este último domina en las lodolitas.

La comparación de los paleopolos geomagnéticos virtuales (PGV) calculados en rocas expuestas en el cratón y el área de estudio soportan la presencia de componentes de magnetización primaria en rocas de las formaciones Saldaña y Yaví. La diferencia en las direcciones de los componentes característicos, los cuales se adquirieron en diferentes intervalos de tiempo, son de gran interés para realizar estudios paleogeográficos y de deriva continental entre el Jurásico Temprano al Cretácico. Por consiguiente, es necesario adquirir nuevos datos paleomagnéticos en estas unidades del VSM con el fin de argumentar o refutar la hipótesis de translación de terrenos.

## 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 código 7277-05-13616) y la Fundación Banco de la República (proyecto 1680). C. Ayala, G. Veloza, M. Gómez colaboraron durante el desarrollo de todas las fases de este estudio y J. Salazar (Universidad Simón Bolívar, Venezuela) por su colaboración en la realización de los análisis mineralógicos.

## REFERENCIAS

- Amézquita, F., & Montes, C. (1994). Sección geológica El Maco – Buenavista: estructura en el sector occidental del Valle Superior del Magdalena, *en* Etayo-Serna, F., ed., Estudios Geológicos del Valle Superior del Magdalena: Bogotá, Universidad Nacional de Colombia, Capítulo VI, 36 p.
- Bayona, G., García, D., & Mora, G. (1994). La Formación Saldaña: producto de la actividad de estratovolcanes continentales en un dominio de retroarco, *en* Etayo-Serna, F., ed., Estudios Geológicos del Valle Superior del Magdalena: Bogotá, Universidad Nacional de Colombia, Capítulo I, 21 p.
- Bayona, G., & Cortés, M. (1995). Variación facial y petrogénesis de los depósitos de la Formación Saldaña en el sector norte del Valle Superior del Magdalena; Contribución a IGCP 322 Eventos Jurásicos en Sur América. *Geología Colombiana*, v.20, pp. 156-157.
- Bayona, G., Rapalini, A. E., Constanzo-Alvarez, V., Aldana, 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, Memorias en CD - X Congreso Colombiano de Geología, Bogotá, 11 p.
- Butler, R. (1992). *Paleomagnetism: Magnetic Domains to Geologic Terranes*. Blackwell Scientific Publications. Cambridge, 319 p.
- Castañeda, R. (2002). Caracterización petrográfica y geoquímica de la Formación Saldaña en un área del macizo Colombiano entre los departamentos de Cauca - Nariño y Putumayo [Trabajo de Grado]: Universidad Nacional de Colombia, 48 p.

- Castillo, J., Gose, W., & Perarnau, A. (1991). Paleomagnetic results from Mesozoic strata in the Mérida Andes, Venezuela. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 96, No. B4, pp. 6011-6022.
- Cediel, F., Mojica, J., & Macías, C. (1981). Las Formaciones Luisa, Payandé y Saldaña y sus columnas estratigráficas: *Geología Norandina*, v. 3, pp. 11-19.
- Cediel, F., & Cáceres, C. (1988). Geologic Map of Colombia, Escala 1:1200000. Geotec Ltda., Bogotá.
- Etayo-Serna, F., Barrero, D., Lozano, H., & otros 15 autores. (1983). Mapa de terrenos geológicos de Colombia, Publicación Geológica Especial: Bogotá. Ingeominas, 235 p.
- Fisher, R. A. (1953). Dispersion on a sphere: Proceedings of the Royal Society of London. v. Series A217, pp. 295-305.
- Flórez, N., & Carrillo, C. (1994). Estratigrafía de la sucesión litológica basal del Cretácico del Valle Superior del Magdalena, *en* Etayo-Serna, F., ed., *Estudios Geológicos del Valle Superior del Magdalena*: Bogotá, Universidad Nacional de Colombia, Capítulo II, 26 p.
- 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. pp. 969-975.
- Kirschvink, J.L. (1980). The least-squares line and plane and the analysis of palaeomagnetic data. *Geophysical Journal of the Royal Astronomy Society*, v. 62, pp. 699-718.
- Lowrie, W. (1990). Identification of ferromagnetic minerals in a rock by coercivity and unblocking temperature properties: *Geophysical Research Letters*, v. 17, pp. 159-162.
- MacDonald, W. D., & Opdyke, N. D. (1984). Preliminary paleomagnetic results from the Jurassic rocks of the Santa Marta Massif, Colombia, *in* Shagam, R., ed., *The Caribbean-South American plate boundary y regional tectonics*. Geological Society of America Memoir 162, pp. 295-298.
- McFadden, P. L., & McElhinny, M. W. (1990). Classification of the Reversal Test in Paleomagnetism. *Geophysics Journal International*, v. 103, pp. 725-729.
- Mojica, J., & Llinás, R. D. (1984). Observaciones recientes sobre las características del basamento económico del Valle Superior del Magdalena en la región de Prado-Rovira (Tolima, Colombia) y en especial sobre la estratigrafía y petrografía del Miembro Chicalá (=parte baja de la Formación Saldaña). *Geología Colombiana*, v. 13, pp. 81-128.
- Mojica, J., Macías, C., & Colmenares, F. (1985). Consideraciones sobre la importancia de la paleogeografía y las áreas de aporte pre-Cretácicas en la prospección de hidrocarburos en el Valle superior del Magdalena, Colombia. *Geología Colombiana*, v. 14, pp. 49-70.
- Mojica, J., & Prinz-Grimm, P. (2000). Las faunas de Amonitas del Triásico Tardío en el Miembro Chicalá (=parte baja de la Formación Saldaña) en Payandé, Tolima, Colombia. *Geología Colombiana*, v. 25, pp. 13-23.
- Sarmiento-Rojas, L. F. (2001). Mesozoic Rifting and Cenozoic Basin Inversion History of the Eastern Cordillera, Colombian Andes; Inferences from tectonic models: Bogotá, ECOPETROL-Netherlands Research School of Sedimentary Geology, 295 p.
- Scott, G. R. (1978). Translation of accretionary slivers: Triassic results from the Central Cordillera of Colombia, *in* EOS-Transactions Fall meeting supplements 59(12), pp. 1058-1059.
- Vergara, L., & Prössl, K. (1994). Dating the Yaví Formation (Aptian, Upper Magdalena Valley, Colombia). Palynological results, *in* Etayo-Serna, F., ed., *Estudios Geológicos del Valle Superior del Magdalena*: Bogotá, Universidad Nacional de Colombia, p. 1, Capítulo XVIII. 14 p.
- Zijderveld, J.D. (1967). A.C. demagnetization of rocks. In Collison, D.W., Cree, K.M., and Runcorn, S.K., eds., *Methods of Paleomagnetism*. Elsevier. New York, pp. 256-286.

---

Trabajo recibido: junio 13 de 2005  
Trabajo aceptado: diciembre 9 de 2005