



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN CIENCIAS DE LA TIERRA
CENTRO DE GEOCIENCIAS

**VISIÓN PALEOGEOGRÁFICA DEL ARCO JURÁSICO CORDILLERANO EN
MÉXICO A PARTIR DE PALEOMAGNETISMO EN LA FORMACIÓN NAZAS**

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS DE LA TIERRA

Presenta

Luis Alejandro Rodríguez Parra

Tutor

Dr. Roberto Stanley Molina Garza
Centro de Geociencias, UNAM

Miembros del Comité Tutor

Dr. Harald Böhnelt, Centro de Geociencias, UNAM
Dr. Timothy Lawton, Centro de Geociencias, UNAM

Santiago de Querétaro, Querétaro, México, marzo, 2021



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Declaro conocer el Código de Ética de la Universidad Nacional Autónoma de México, plasmado en la Legislación Universitaria. Con base en las definiciones de integridad y honestidad ahí especificadas, aseguro mediante mi firma al calce que el presente trabajo es original y enteramente de mi autoría. Todas las citas de, o referencias a la obra de otros autores aparecen debida y adecuadamente señaladas, así como acreditadas mediante los recursos editoriales convencionales.

Luis A. Rodríguez P.

AGRADECIMIENTOS

La realización de este proyecto de grado fue posible gracias al apoyo del Centro de Geociencias de la Universidad Nacional Autónoma de México, todos sus funcionarios e instalaciones.

Agradezco al Laboratorio de Geomagnetismo Ivar Giæver (IGGL, por sus siglas en inglés) por permitir el uso de sus instalaciones y equipos. El IGGL es financiado por el consulado de investigación de Noruega (proyecto #226214) y el Centre for Earth Evolution and Dynamics, de la Universidad de Oslo, Noruega.

Al Dr. Roberto Molina-Garza por su acompañamiento y guía en la realización de este proyecto y por su confianza y apoyo constante a lo largo de mi maestría.

A los Dres. Timothy Lawton y Harald Böhnel por sus constantes colaboraciones en el desarrollo del comité tutorial de este proyecto.

A los Dres. Rafael Barboza Gudiño, Gabriel Chávez Cabello y Tomás Peña Alonso, por sus comentarios y revisión del manuscrito de este proyecto.

A Daniel Serrano y Diego Osorio por su compañía y colaboración en el trabajo de campo, y Paola Catalina Montaña por su colaboración en el procesamiento de los datos.

A mis amigos en Querétaro, Alejandra, Lupita, Diego, Daniel Yela, Daniel Pascasio, Daniela, Carlos, Roberto y cada una de las personas que conocí en mi estadía en México, me llevo las mejores lecciones de vida de cada uno.

A toda mi familia, mis Padres Gladys y Cesar y a mi hermana Nathaly por ser el motor constante de mi vida, el mejor apoyo y la fortaleza para continuar.

Gracias a todos

TABLA DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	II
TABLA DE CONTENIDO	III
LISTA DE FIGURAS	IV
LISTA DE TABLAS	V
RESUMEN	VI
ABSTRACT	VII
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	1
1.2 OBJETIVO PRINCIPAL.....	3
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
1.4 HIPÓTESIS DE ESTUDIO.....	4
2. MARCO GEOLÓGICO	5
2.1 MARCO GEOLÓGICO REGIONAL	5
2.2 FORMACIÓN NAZAS.....	9
2.3 RESULTADOS PREVIOS DE PALEOMAGNETISMO.....	10
3. METODOS	13
3.1 TRABAJO DE CAMPO Y PREPARACIÓN DE MUESTRAS	13
3.2 CARACTERIZACIÓN DE LA MINERALOGÍA MAGNÉTICA.....	22
3.3 ANISOTROPÍA DE SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA.....	24
3.4 PALEOMAGNETISMO	25
4. RESULTADOS	28
4.1 CARACTERIZACIÓN DE LA MINERALOGÍA MAGNÉTICA.....	28
4.2 ANISOTROPÍA DE SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA.....	39
4.3 PALEOMAGNETISMO	41
5. DISCUSIÓN	50
5.1 POLOS DE REFERENCIA PARA EL JURÁSICO.....	50
5.2 ROTACIONES DE EJE VERTICAL.....	52
5.3 MODELOS TECTÓNICOS.....	54
6. CONCLUSIONES.....	61
REFERENCIAS.....	62

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de terrenos tectonoestratigráficos de México, (Tomado de Centeno-García, 2017)	6
Figura 2. Mapa general de las localidades volcánicas Jurásicas reportadas sobre todo el territorio Mexicano. Énfasis en las dos áreas de estudio: Villa Juárez (1) y Charcas (2).	8
Figura 3. Sitios con resultados previos de paleomagnetismo para la Formación Nazas.	13
Figura 4. Fotografías de los afloramientos de la Formación Nazas en el área de Villa Juárez.	15
Figura 5. Fotografías de los afloramientos de la Formación Nazas en el área de Villa Juárez.	16
Figura 6. Mapa del área de Villa Juárez con representación de los sitios de muestreo paleomagnético (Modificado de Lawton & Molina-Garza, 2014).	17
Figura 7. Columnas estratigráficas esquemáticas y representativas del Mesozoico de las áreas de trabajo.	18
Figura 8. Mapa del área de Charcas con representación de los sitios de muestreo paleomagnético. Modificado de Závala-Monsiváis et al. (2012).	20
Figura 9. Fotografías de los afloramientos de la Formación Nazas en el área de Charcas.	21
Figura 10. Curvas termomagnéticas de Susceptibilidad Vs. Temperatura, 9 sitios de la localidad de Villa Juárez.	28
Figura 11. Curvas de adquisición de magnetización remanente Isotermal (IRM).	31
Figura 12. Modelación de las curvas de adquisición de magnetización remanente Isotermal (IRM) mediante los parámetros de Kruiver et al., (2001).	32
Figura 13. Continuación, Modelación de las curvas de adquisición de magnetización remanente Isotermal (IRM) mediante los parámetros de Kruiver et al., (2001).	33
Figura 14. Imágenes de microscopio electrónico de barrido, (electrones retro-dispersados) de óxidos de Fe observados en muestras de la Fm. Nazas.	36
Figura 15. Imágenes de microscopio electrónico de barrido, (electrones retro-dispersados) de óxidos de Fe observados en muestras de la Fm. Nazas.	37
Figura 16. Imágenes de microscopio electrónico de barrido, (electrones retro-dispersados) de óxidos de Fe observados en muestras de la Fm. Nazas.	38
Figura 17. Gráfico de proyección de igual área, con proyección en el hemisferio inferior, donde se representan las medias de los resultados de AMS para los sitios analizados. Acompañado de dos gráficas de representación de las relaciones de anisotropía: grado de anisotropía (P) vs. Susceptibilidad magnética (Km), y parámetro de forma (T) vs. Grado de anisotropía (P).	41
Figura 18. Diagramas de Zijderveld representativos para la Fm. Nazas.	43
Figura 19. Resultados de la prueba del pliegue, DT-Test (Enkin, 2003).	46
Figura 20. Diagramas de igual área, para los resultados de paleomagnetismo de la Fm. Nazas en las localidades de A) Villa Juárez y B) Charcas.	47
Figura 21. Polos geomagnéticos virtuales, VGP, para cada sitio de la Fm Nazas.	48
Figura 22. Análisis de VGP para los polos de Norte América existentes para $\approx 175\text{Ma}$.	54
Figura 23. Reconstrucción del margen de convergencia para México a 170Ma , sobre una configuración actual del territorio.	57
Figura 24. Ejemplos de las condiciones dominantes de movimiento por causas integradas para Norte América respecto a Sudamérica a los 170Ma .	58
Figura 25. Alternativas tectónicas del movimiento de ejes verticales del Arco Naza s.	60

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Resultados paleomagnéticos previos en rocas de la Formación Nazas en México. _____	13
Tabla 2. Localización de los sitios de muestreo, para las localidades de Villa Juárez y Charcas. _____	22
Tabla 3. Descripción de las componentes utilizadas en el modelo propuesto para las curvas de adquisición de IRM, siguiendo la metodología de Kruiver et al., (2001). _____	34
Tabla 4. Resultados de AMS para los sitios de la Formación Nazas en la localidad de Villa Juárez _____	40
Tabla 5. Resultados de paleomagnetismo de la Formación Nazas en las áreas de Villa Juárez y Charcas. __	42
Tabla 6. Resultados de paleomagnetismo de la Formación Nazas en las áreas de Villa Juárez y Charcas. Con los cuales se hizo la medición de los Polos Geomagnéticos Virtuales (VGP) y la paleolatitud de cada sitio. _	49
Tabla 7. Valores de rotación para la Fm. Nazas calculados a partir de los valores esperados en relación con los polos de Corral Canyon y Canelo Hills. _____	53

RESUMEN

La relación paleogeográfica entre la parte continental de México y el resto de Norte América ha cambiado a lo largo del tiempo. Específicamente durante el Triásico Tardío al Jurásico Medio, la parte continental de México correspondía a la porción occidental del supercontinente de Pangea y se encontraba dominada por cadenas de arcos volcánicos, generados debido a la subducción entre una placa oceánica y dos placas continentales unidas a lo largo de la sutura Ouachita: Laurentia y Gondwana. La Formación Nazas representa la actividad volcánica en el sistema de arco Jurásico continental en el Norte de México, correlacionable a lo largo de todos los sistemas Jurásicos del occidente de Pangea. Por esta razón los estudios paleomagnéticos de la Formación Nazas son importantes marcadores de la relación entre los sistemas de arco y el entendimiento de la evolución tectónica de la parte occidental de Pangea ecuatorial. Rocas volcánicas de geoquímica de arco, representadas principalmente por riolitas, andesitas, flujos de ceniza, horizontes de ignimbritas y materiales epiclásticos con edades comprendidas entre el Sinemuriano y el Bathoniano, corresponden a la descripción litológica de la secuencia de la Fm. Nazas. Se realizó un estudio de mineralogía magnética y paleomagnetismo en las localidades de Villa Juárez (25.4°N, 103.60°W) y Charcas (23.1°N, 101.91°W) para la Fm. Nazas en el norte de México. Los estudios de mineralogía magnética realizados incluyen análisis del espectro de coercitividad (IRM) y curvas termomagnéticas, complementados con fabrica magnética (AMS) de las rocas e imágenes de SEM. El paleomagnetismo fue realizado en procesos de desmagnetización termal y de campos magnéticos alternos. La magnetización característica, que reside principalmente en hematita, exhibe una inclinación somera hacia el noreste y se interpreta como una magnetización remanente térmica de origen primario. La magnetización característica es pre-plegamiento, de polaridad normal. Se calcularon direcciones medias por sitio y VGPs. La dispersión de VGPs sugiere un adecuado muestreo de la variación secular. Se determinó un polo paleomagnético para la Fm. Nazas, con Lat=70.6°N, Long=45°W, A95=4.5, N=23. Los resultados fueron comparados mediante la misma metodología de VGP con el polo de referencia para el cratón de Norte América, lo que indica una rotación de $R=30.3^{\circ}\pm 4.8^{\circ}$ en sentido horario y desplazamiento latitudinal

despreciable $F=4.8^{\circ}\pm 3.9^{\circ}$. Los resultados encontrados para las rotaciones de la Fm. Nazas, se entienden como producto de rotaciones de ejes verticales en un modelo de bloques independientes localizados dentro del sistema del Arco Nazas. Además, la reconstrucción paleogeográfica realizada da evidencia de un transporte tectónico entre los bloques Jurásicos del occidente de Pangea, lo que es de esperarse en un sistema convergente de subducción oblicua que está acompañado de un régimen de múltiples condicionantes tectónicos que interactúan al mismo tiempo, como el roll-back de la placa subducida y el movimiento de la placa de Sudamérica respectivamente.

ABSTRACT

Paleogeographic relationships between the Mexican continental region and the rest of North America have varied over time. Specifically during the Late Triassic to Middle Jurassic the continental part of Mexico corresponded to the western portion of the Pangea supercontinent, and was dominated by chains of volcanic arcs product of the subduction of an oceanic plate below two continental plates joined or along the Ouachita suture: Laurentia and Gondwana. The Nazas Formation contains the record of volcanic activity in the continental Jurassic arc system in Northern Mexico, correlated throughout all Jurassic systems in western Pangea. For this reason, paleomagnetic studies of the Nazas Formation are important markers of the relationship between arc systems and the understanding of the tectonic evolution of western equatorial Pangea. Volcanic rocks with arc geochemistry, represented mainly by rhyolites, andesites, ash flows, ignimbrite horizons and epiclastic materials with ages between the Sinemurian and the Bathonian, correspond to the lithological description of the Nazas Formation. We carried out a study of magnetic mineralogy and paleomagnetism in the localities of Villa Juárez (25.4°N, 103.60°W) and Charcas (23.1°N, 101.91°W) for Nazas Formation in northern Mexico. Magnetic mineralogy studies performed include coercivity spectrum analysis (IRM) and thermomagnetic curves, supplemented by magnetic susceptibility (AMS) of the rocks and SEM images. Paleomagnetism was carried out in thermal and alternate field demagnetization processes. The characteristic magnetization resides primarily in hematite, is seen to be of shallow inclination to the northeast and is interpreted as a remaining thermal magnetization of primary origin. The characteristic magnetization is pre-folding, and of uniform normal polarity. Average directions per site and VGPs were calculated, and the dispersion of VGPs suggests adequate sampling of secular variation. A paleomagnetic pole was determined for the Nazas Formation, with Lat = 70.6°N, Long = 45°W, A95 = 4.5, N = 23. The results were compared using the same VGP methodology with the reference pole for the North American craton, indicating a rotation of $R=30.3^{\circ}\pm 4.8^{\circ}$ clockwise and insignificant latitudinal displacement $F=4.8^{\circ}\pm 3.9^{\circ}$. The results found for the rotations of the Nazas Formation are understood as the product of rotations of vertical axes within the Nazas Arc system, in a model of independent blocks. Furthermore, the paleogeographic reconstruction carried out

gives evidence of tectonic transport between the Jurassic blocks of western Pangea, which is to be expected in a convergent system of oblique subduction, that is accompanied by a regime of multiple tectonic conditioning factors that interact at the same time, such as the roll-back of the subducted plate and the movement of the South American plate respectively.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Definición del Problema

Paleomagnetismo es una herramienta necesaria para la realización de una reconstrucción paleogeográfica. Dichas reconstrucciones requieren de un conocimiento geológico regional que se apoya en análisis estratigráficos que permiten entender los ambientes de depósito de una determinada secuencia y su correlación con otras. Sin embargo, las reconstrucciones paleogeográficas necesitan complementarse con datos paleomagnéticos que identifiquen las variaciones latitudinales y/o las rotaciones de bloques, para poder precisar la configuración tectónica del área estudiada. En ese sentido, el paleomagnetismo se ha convertido en una herramienta indispensable en la paleogeografía (e.g., Torsvik et al., 2012).

Años de investigación han reconocido en México elementos tectónicos de carácter continental y de carácter oceánico (e.g., Centeno García, 2017). Las relaciones paleogeográficas entre la parte continental de México y el resto de Norte América han sido diferentes a lo largo del Mesozoico, por situarse en un entorno geodinámico escenario de procesos de margen convergente en el oeste y divergente en el este. Durante el Triásico Tardío al Jurásico Medio la parte continental de México correspondía a la región ecuatorial-occidental del supercontinente Pangea y se encontraba dominada por cadenas de arcos volcánicos, generadas por la subducción de una placa oceánica por debajo de dos placas continentales amalgamadas: Laurentia y Gondwana. El territorio ocupado actualmente por México se encuentra dividido en diferentes terrenos tectonoestratigráficos, los cuales se caracterizan por diferentes procesos evolutivos y de acreción a lo largo de su historia, pero incluyen un ensamble de bloques continentales Laurénticos y Gondwánicos (Centeno-García, 2005) además de ensamblajes oceánicos en el oeste. Específicamente para el Jurásico Temprano a Medio la parte del territorio Mexicano que ocupaba la parte ecuatorial de Pangea occidental, contiene el siguiente registro estratigráfico: 1) la presencia del arco volcánico continental Nazas, definido por rocas volcánicas y volcanoclásticas de la

Formación Nazas (Bartolini et al., 2003; Barboza-Gudiño et al., 2008); y 2) una fase inicial de rifting que posteriormente daría origen al Golfo de México (Salvador, 1992; Michalzik, 1991; Godínez-Urban et al., 2011A).

La Formación Nazas está compuesta principalmente por tobas de flujo de composición riolítica a dacítica, ignimbritas bien preservadas en horizontes puntuales, derrames de lavas de composición intermedia e intercalaciones de lodolitas rojas, limolitas, areniscas y conglomerados de carácter epiclástico (Bartolini, 1998; Barboza-Gudiño et al., 2008; Lawton y Molina-Garza, 2014; Nova, 2016). Los mismos autores han reportado edades isotópicas para esta formación y se ha podido determinar que la edad de depósito se encuentra en el rango de ~195 a 165Ma entre el Sinemuriano (Jurásico Inferior) y el Bathoniano (Jurásico Medio) (Nova, 2016). Esta formación es correlacionable por su edad y características geológicas generales con unidades en diferentes localidades en California y Arizona, el sur de México y la Cordillera Central de Colombia, por lo que establecer su paleogeografía es de gran importancia en el entendimiento de la evolución tectónica de Pangea ecuatorial occidental.

Los sistemas de arco son la representación completa de las secuencias geológicas que se generan producto del proceso de subducción entre dos placas. Estudios previos en los sistemas de arco jurásicos de Pangea occidental sugieren una estrecha relación entre el Arco Jurásico Cordillerano en Estados Unidos, el Arco Nazas en México y los arcos Jurásicos en la Cordillera Central de Colombia (Dickinson y Lawton, 2001). Sin embargo, el margen convergente debe haber sido modificado por los procesos extensionales que llevaron a la ruptura de Pangea y la apertura del Golfo de México y el proto-Caribe (Pindell y Kennan, 2009). El traslape entre el noroeste de Sudamérica y el sur de México en reconstrucciones de Pangea sugiere, además, que el segmento mexicano de ese margen, y/o el segmento Colombiano, son alóctonos con respecto a su posición original (e.g., Lottes y Rowley, 1990; Pindell y Kennan, 2009). Aunque existen diferentes argumentos geológicos que apoyan la relación entre los sistemas Jurásicos en Laurentia y Gondwana, la paleogeografía del

margen convergente que generó dichos sistemas aún es un importante tema de debate (e.g., Martini y Ortega, 2016).

En general, se han propuesto modelos que requieren subducción oblicua a lo largo del margen occidental de Pangea. Resultando en transporte tectónico hacia el norte de elementos tectónicos en los Andes Colombianos (Bayona et al., 2010), y transporte tectónico hacia el sur para elementos en el centro de México (Anderson y Schmidt, 1983; Pindell y Kennan, 2009). Datos paleomagnéticos de distintos sectores del arco permitirían evaluar estos modelos tectónicos y paleogeográficos, siendo una herramienta apropiada para estudiar la evolución geológica del Arco Nazas y su importancia en la tectónica regional.

En el desarrollo de este trabajo se realizó un estudio paleomagnético de la Formación Nazas en el centro norte de México, a partir del cual se reconstruye la paleogeografía del Arco Nazas en el área de Pangea ecuatorial para edades del Jurásico Temprano a Medio. El estudio paleomagnético aporta datos de nuevos sitios de muestreo de dos localidades distintas y además reevalúa los datos de localidades paleomagnéticas cercanas reportadas en la literatura.

1.2 Objetivo Principal

El presente trabajo tiene como propósito estudiar la relación paleogeográfica del Arco Nazas con respecto al cratón de Norte América a partir de un estudio paleomagnético detallado de la Formación Nazas en la parte Centro-Norte de México.

1.3 Objetivos Específicos

Entender la naturaleza de la magnetización remanente natural de la Formación Nazas, así como cambios composicionales en la mineralogía magnética y su historia. Mediante una descripción de la mineralogía magnética de la Formación Nazas.

Entender la composición vectorial y los respectivos cambios en la magnetización remanente natural de la Formación Nazas.

Determinar la dirección paleomagnética característica para las muestras de la Formación Nazas en las localidades de Villa Juárez (Coahuila) y Charcas (San Luis Potosí).

Obtener, para el conjunto de localidades estudiadas de la Formación Nazas, una paleolatitud y su respectiva rotación respecto al cratón de Norte América.

Comparar los datos obtenidos en las localidades estudiadas con los resultados de estudios previos en otras localidades con registro geológico del Jurásico Inferior y Medio, para entender su relación al arco en continental de Pangea ecuatorial.

Generar un modelo tectónico regional para el Arco Nazas que integre los resultados paleomagnéticos de la Formación Nazas con los datos de las demás formaciones relacionadas con el sistema de arco y el subsiguiente sistema de rifts.

1.4 Hipótesis de Estudio

La evolución tectónica del Arco Nazas ha sido distinta a lo largo de su extensión como resultado de subducción oblicua, comportándose como sistemas de bloques de movimientos individuales, pero relacionados entre si a un movimiento regional de configuración tectónica global. Por lo anterior, los registros paleomagnéticos de la Formación Nazas muestran rotaciones de bloques, a lo largo de toda la extensión del arco, como evidencia del acomodamiento tectónico producido el Arco Nazas, y son estos mismos registros paleomagnéticos la herramienta más adecuada para estudiar la evolución del arco en las reconstrucciones paleogeográficas.

2. MARCO GEOLÓGICO

2.1 Marco geológico Regional

La mayor parte del territorio ocupado por México corresponde actualmente a la parte sur occidental de la placa de Norte América, dejando por fuera a la península de Baja California que se sitúa dentro de la placa del Pacífico y una pequeña parte del sur del país que está relacionada con la placa del Caribe (**Figura 1, Figura 2**; Sedlock et al., 1993). México es un territorio que ha sido dividido en diferentes terrenos tectonoestratigráficos, cuya configuración resultante se debió a diferentes procesos de amalgamación y separación a lo largo de la historia geológica (**Figura 1**; Campa y Coney 1983; Sedlock et al., 1993; Centeno-García, 2005, 2017). Específicamente encontramos que, para finales del Paleozoico e inicios del Mesozoico, se presentaban dos procesos tectónicos diferentes a lo largo del territorio Mexicano: 1) la parte oriental del territorio estuvo relacionada con la amalgamación y formación del supercontinente Pangea (Pindell, 1985; Ross y Scotese, 1988; Centeno-García y Silva-Romo, 1997; Centeno-García, 2005), seguido por procesos de rift y tectónica extensional que dieron origen a la apertura del Golfo de México entre el Triásico Tardío y el Jurásico Medio (Pindell, 1985; Ross y Scotese, 1988; Molina-Garza et al., 1992; Dickinson y Lawton, 2001; Centeno-García, 2005). 2) En la parte occidental para el mismo tiempo del Pérmico Tardío al Jurásico Medio se presentaron procesos de tectónica cordillerana involucrados con la subducción de las placas oceánicas adyacentes, fallamientos de carácter transcurrente y acreción de terrenos (Sedlock et al., 1993; Centeno-García y Silva-Romo, 1997).

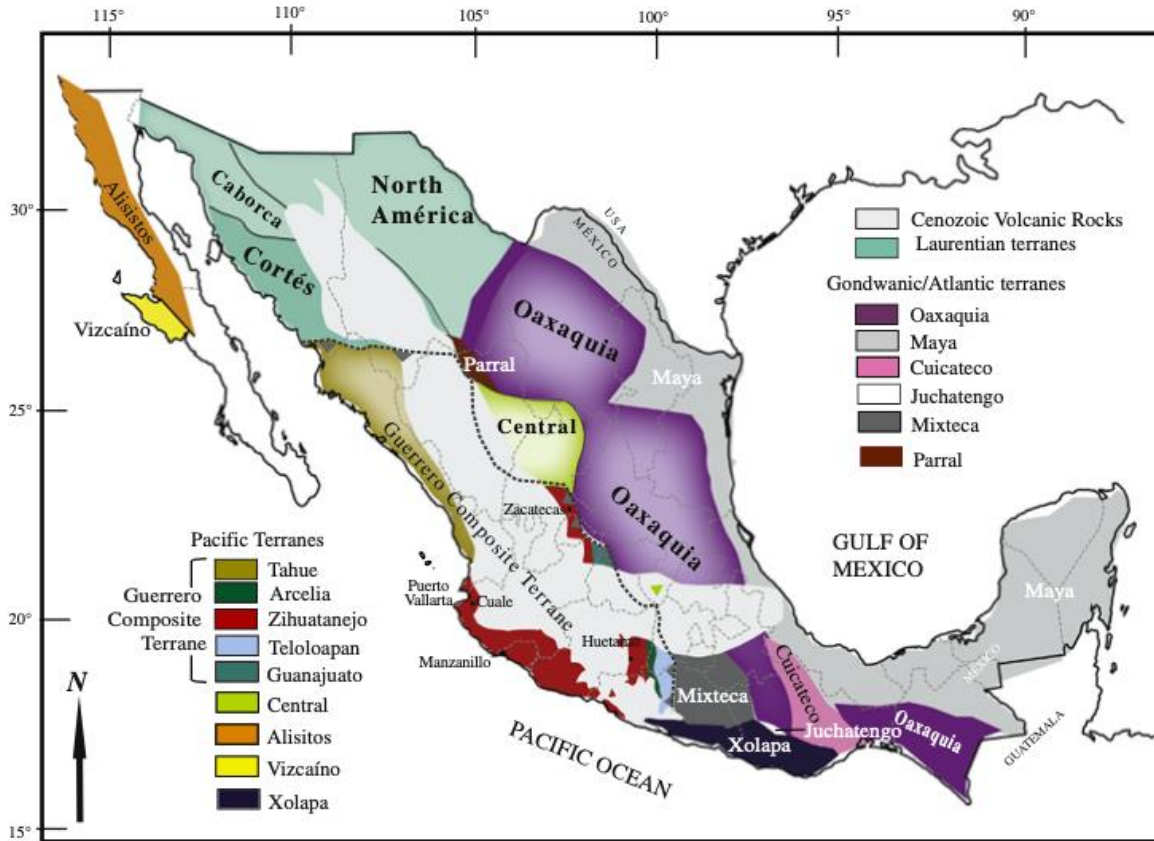


Figura 1. Mapa de terrenos tectonoestratigráficos de México, (Tomado de Centeno-García, 2017)

El proceso de subducción entre el Triásico Tardío y el Jurásico Medio que fue generado entre la placa oceánica de Farallon y las placas continentales amalgamadas de Laurentia y Gondwana dio como resultado un sistema de arco continental muy representativo (Torsvik et al., 2012; Boschman et al., 2018A-B). Dichos sistemas de arco constituyen lo que se conoce como Arco Cordillerano al oeste de los Estados Unidos (Damon et al., 1981; Bartolini et al., 2003) y el Arco Nazas a lo largo de México (Bartolini et al., 2003). Éste último está desarrollado desde Sonora y Baja California abarcando los estados de Durango, Chihuahua, Zacatecas, Coahuila, San Luis Potosí, Tamaulipas y Chiapas (Figura 2). En la parte norte de Sudamérica este arco continental corresponde a la Cordillera Central de Colombia (Dickinson y Lawton, 2001; Bartolini et al., 2003; Villagómez et al., 2011). El sistema de arco estudiado ha sido posteriormente afectado por procesos que han logrado separar y desmembrar las evidencias del arco Jurásico abarcando desde Alaska hasta Ecuador,

incluyendo la parte central de todo el sistema de arcos Jurásicos que corresponde al Arco Nazas en el territorio Mexicano.

La presencia de metasedimentos y rocas volcanosedimentarias a lo largo de lo que se conoce como el Cinturón Costero, representado por las localidades de San Felipe y el Arco en Baja California (**Figura 2**), hace sugerir a algunos autores una configuración tectónica diferente para las rocas volcanosedimentarias del Jurásico Medio. Martini y Ortega (2016) proponen que la presencia de las rocas volcanosedimentarias consideradas Arco Nazas al oriente de México están más bien relacionadas con actividad magmática Intraplaca, como producto de la atenuación progresiva del espesor de la litosfera debido a los procesos iniciales de rifting en Pangea Occidental. Bajo este panorama, el Cinturón Plutónico Costero representaría el proceso de arco magmático producto de la subducción en el borde Pacífico (Martini y Ortega, 2016). Sin embargo, aunque este modelo tectónico propuesto podría explicar la configuración tectónica, no logra explicar la semejanza de las firmas geoquímicas documentadas en las rocas del Arco Nazas con firmas de subducción o las relaciones temporales entre magmatismo y extensión.

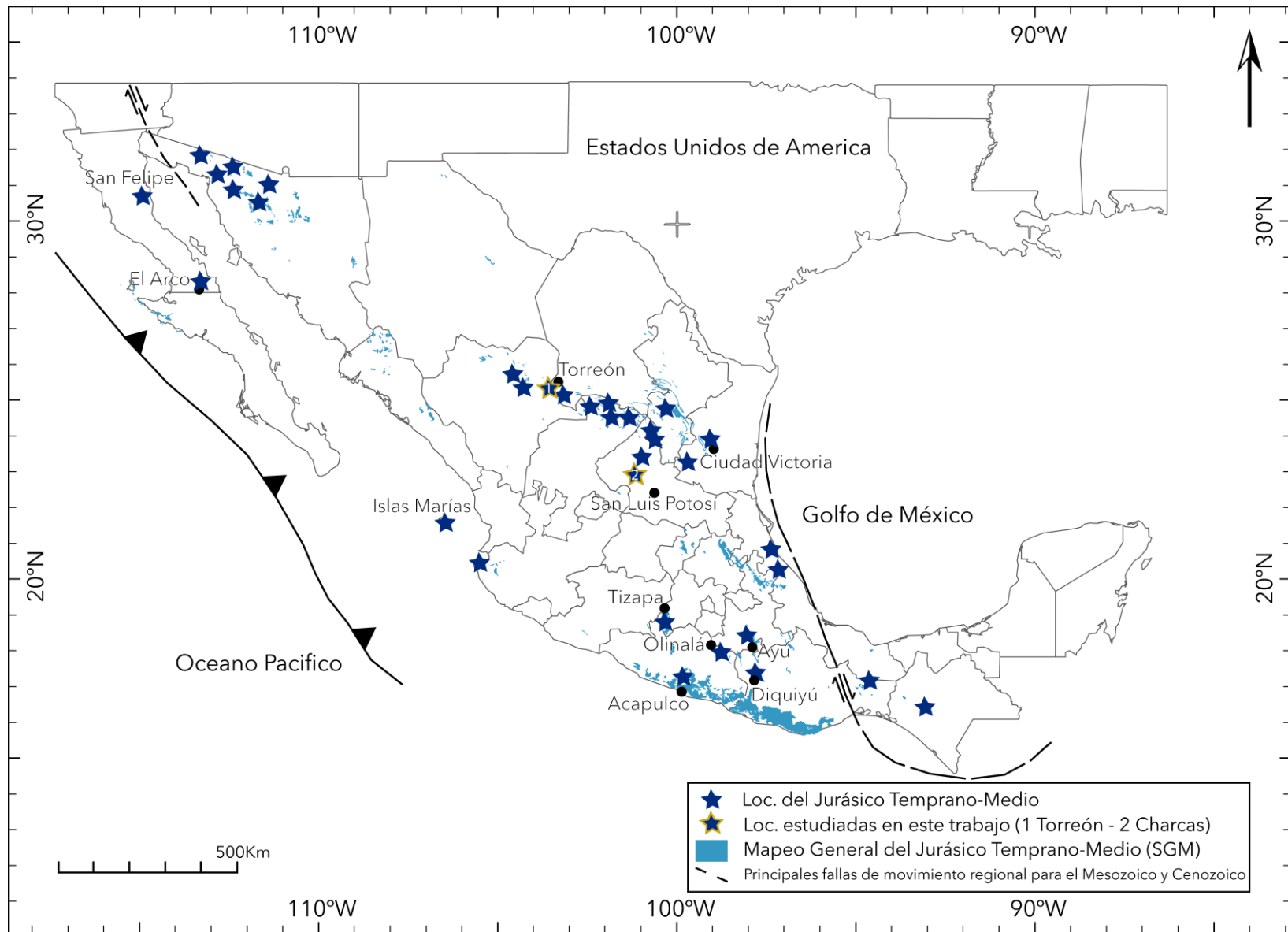


Figura 2. Mapa general de las localidades volcánicas Jurásicas reportadas sobre todo el territorio Mexicano. Énfasis en las dos áreas de estudio: Villa Juárez (1) y Charcas (2). Recopilación tomada con datos de (Coombs et al., 2019; Lawton y Molina-Garza, 2014; Martini y Ortega, 2016; Molina-Garza et al., PRENSA; Nova, 2016; Sedlock et al., 1993).

2.2 Formación Nazas

Las rocas volcánicas y volcanoclásticas del Jurásico Inferior y Medio presentes en diferentes afloramientos a lo largo del territorio Mexicano han sido catalogadas como registros del arco volcánico continental de Nazas (Bartolini et al., 2003; Barboza-Gudiño et al., 2008; Godínez-Urban et al., 2011; Lawton y Molina-Garza, 2014; Rubio-Cisneros y Lawton, 2011; Zavala-Monsiváis et al., 2012). Dichos registros corresponden a la secuencia estratigráfica del arco Jurásico de Pangea occidental, que son evidenciados en la Formación Nazas.

La localidad tipo de la Formación Nazas fue definida por Pantoja-Alor (1972) y se ubica en el área de Cerritos Colorados, al occidente de Villa Juárez, en el norte de Durango. Adicionalmente, existen registros de esta formación en diferentes lugares del territorio Mexicano como por ejemplo al Occidente de San Luis Potosí, sobre la Sierra de Catorce, en Charcas, en la Sierra de Salinas (Barboza-Gudiño et al., 2008; Lawton y Molina 2014; Nova, 2016), y, finalmente, en el norte de Zacatecas (Blickwede, 2001).

Litológicamente, las rocas volcánicas más comunes en la Formación Nazas son tobas de flujo de ceniza de composición riolítica que incluyen también horizontes de ignimbritas grises a verdes bien preservadas, que se observan alternando con material epiclástico o rocas volcanoclásticas compuestas por lodolitas rojas, limolitas, areniscas y conglomerados, secuencias descritas sobre la localidad tipo en Cerritos Colorados (Barboza-Gudiño et al. 2008; Bartolini 1998; Lawton y Molina 2014; Nova, 2016). También se caracteriza por sucesiones volcánicas incluyendo flujos de lava andesíticos y dacíticos y brechas volcánicas. También hay domos riolíticos y tobas de flujo de ceniza, que son evidentes, por ejemplo, en las secuencias de San Luis Potosí. Puntualmente, para el área de Charcas Zavala-Monsiváis et al. (2012) describen una sección compuesta por secuencias de flujos de piroclastos y flujos de lava de composición intermedia a félsica, intercalados con brechas volcánicas de composición andesítica a riolítica.

Nova (2016) considera que la edad de depósito de la Formación Nazas corresponde a un rango entre el Sinemuriano y el Bathoniano, Jurásico Inferior y Jurásico Medio,

respectivamente. Lo anterior basado en edades U/Pb y Ar/Ar obtenidas en diferentes localidades de la Formación Nazas. Bartolini (1998) reporta una edad Ar/Ar de 195.3 ± 5 Ma en plagioclasa, para la localidad de Villa Juárez, Durango. Lawton y Molina-Garza (2014) obtuvieron edades U/Pb de 170 ± 2 y 169 ± 2 Ma en flujos de Ignimbrita en la parte superior de la sección de la localidad tipo en Cerritos Colorados, Durango. Barboza-Gudiño et al. (2004) reportaron edades de 174.7 ± 1.3 para la Mesa Central en la localidad de Real de Catorce, San Luis Potosí. Barboza-Gudiño et al. (2008) reportan edades de 193.1 ± 0.3 en la Sierra Madre Oriental en localidades de Aramberri, Nuevo León. Finalmente, Zavala-Monsiváis et al. (2012) reportan una edad U/Pb de 179 ± 1 Ma en una riodacita sobre la sección del área de Charcas. Por lo explicado en este párrafo, al registro estratigráfico del arco Jurásico de Pangea occidental en el norte de México se le asigna un rango de ~200 a 165 Ma (Bartolini 1998; Lawton & Molina, 2014; Barboza-Gudiño et al., 2008, 2004; Rubio-Cisneros y Lawton, 2011; Zavala-Monsiváis et al., 2012).

La subsecuente formación de cuencas extensionales (rifts) asociadas a la ruptura de Pangea generó depósitos siliciclásticos que sobreyacen a la Formación Nazas, depositada en un arco extensional (Rubio-Cisneros y Lawton, 2011). Dichos depósitos corresponden a unidades como la Formación La Joya (Barboza-Gudiño et al. 2004) o la Formación Todos Santos en Chiapas (Godínez-Urban et al., 2011A).

En la parte basal de la secuencia en la sierra de La Ballena, la Formación Nazas tiene un contacto discordante en la mayoría de los casos sobre la Formación Zacatecas, que es una secuencia de turbiditas del Triásico. Sin embargo, en algunas localidades se ha reportado que el contacto es por fallamiento normal (Nova, 2016). Localmente en el área de Real de Catorce, la Formación Nazas suprayace a una unidad de capas de rocas continentales y marinas marginales denominadas “Capas Cerro el Mazo” de edad Jurásico Inferior, que no ha sido formalmente definida aún (Barboza-Gudiño et al. 2004).

2.3 Resultados previos de Paleomagnetismo

Los estudios paleomagnéticos previos en donde se presentan datos sobre la Formación Nazas, son pocos y ambiguos. Ninguno de los estudios se centra en analizar los resultados paleomagnéticos de la Formación Nazas para poder analizar el comportamiento del arco Jurásico respecto a su posición inicial, rotaciones y cambios paleolatitudinales. Los estudios se basan en dimensionar en conjunto todas las unidades del norte, centro y noroccidente de México para el Triásico y el Jurásico (**Figura 3**), con reconstrucciones paleogeográficas básicas del borde occidental de Pangea ecuatorial.

Los primeros estudios fueron realizados por Nairn (1976) quien analizó a la Formación Nazas en conjunto con las Formaciones la Boca y la Joya. Los estudios de Nairn (1976) en la Formación Nazas se realizaron en Durango, en el área de Cerritos Colorados (**Figura 3**), logrando realizar catorce sitios en la misma localidad. Los catorce sitios analizados se dividían en rocas volcánicas y lechos rojos. Los procesos de desmagnetización fueron igualmente divididos según la litología. Para las rocas volcánicas utilizaron campos alternos y para los lechos rojos desmagnetización termal hasta 550°C. Los resultados de Nairn (1976), compilados en la **Tabla 1**, muestran una dirección media para los catorce sitios de $D = 350.6^\circ$ e $I = 28.4^\circ$ y un polo paleomagnético para esta localidad. Como resultado de los datos de Nairn (1976) para la Formación Nazas las direcciones medias encontradas son concordantes con las de los polos de referencia reportados para Norteamérica. Sin embargo, en el estudio de Nairn (1976) la edad reportada (Triásico - Jurásico) para la Formación Nazas, no parece ser detallada y, además, en el estudio no se muestran las fases de desmagnetización progresiva de las muestras, por lo que no se pueden evaluar sus direcciones medias obtenidas.

Posteriormente, Warrior (2008) analizó nuevas localidades de la Formación Nazas y otras formaciones relacionadas con el objetivo de analizar en detalle la hipótesis de la Megacizalla Mojave – Sonora. En la Formación Nazas Warrior (2008) se centró en la localidad de Santa María del Oro a través de tres sitios diferentes, en los que hace desmagnetizaciones progresivas tanto de campos alternos como termales (**Tabla 1**) presentando los resultados

de direcciones medias y dos VGP. Los resultados de Warrior (2008) siguieron la existencia de una rotación menor de eje vertical y valores de inclinación cercanos a cero, lo que indica que no existe transporte latitudinal respecto a Norteamérica. La carencia de evidencia de transporte es interpretada por Warrior (2008) como el resultado de una continuidad lateral de la parte norte del arco Nazas con respecto a Norteamérica, entre el Triásico Tardío y el Jurásico. Finalmente concluye que los resultados en su conjunto no evidencian cambios paleolatitudinales, por lo que no son concordantes con la hipótesis de la Megacizalla Mojave – Sonora de Silver y Anderson (1974).

Por su parte, Nova (2016) se concentró en el análisis de la evolución tectónica del bloque Oaxaquia durante el Jurásico en la parte central del territorio Mexicano. Para la Formación Nazas Nova (2016) analizó siete sitios de la localidad de Charcas (**Figura 3**) para los cuales hizo desmagnetizaciones progresivas por campos alternos y presentó direcciones medias por sitio, compiladas en la **Tabla 1**. A partir de sus resultados, Nova (2016) propone una dirección media característica de $D = 20.9^\circ$ e $I = 9^\circ$, que sugiere una rotación de $30.2^\circ \pm 8^\circ$ interpretada por el autor como evidencia de una rotación local con respecto al eje vertical. Por último, Nova (2016) presentó paleolatitudes para cada formación analizada y sugirió que la Formación Nazas se depositó en latitudes ecuatoriales de $4.5^\circ N \pm 4.1^\circ$. Los resultados de este autor, en conjunto, indican que el bloque Oaxaquia se encontraba en latitudes ecuatoriales cuando se da el inicio a la ruptura de Pangea y a los siguientes procesos que llegaron a desarrollar los sistemas de arco, del arco Nazas y los subsiguientes sistemas de rifting.

Como los datos paleomagnéticos existente sobre la Formación Nazas son pocos y sujetos a interpretaciones que no son del todo consistentes entre sí, el incremento de la cantidad de sitios de muestreo mejorará notablemente las bases para interpretar en conjunto todos los datos. De esta manera, se podrá determinar cuáles son las características iniciales del sistema de arco desarrollado, sus variaciones o concordancias longitudinales y su evolución continua.

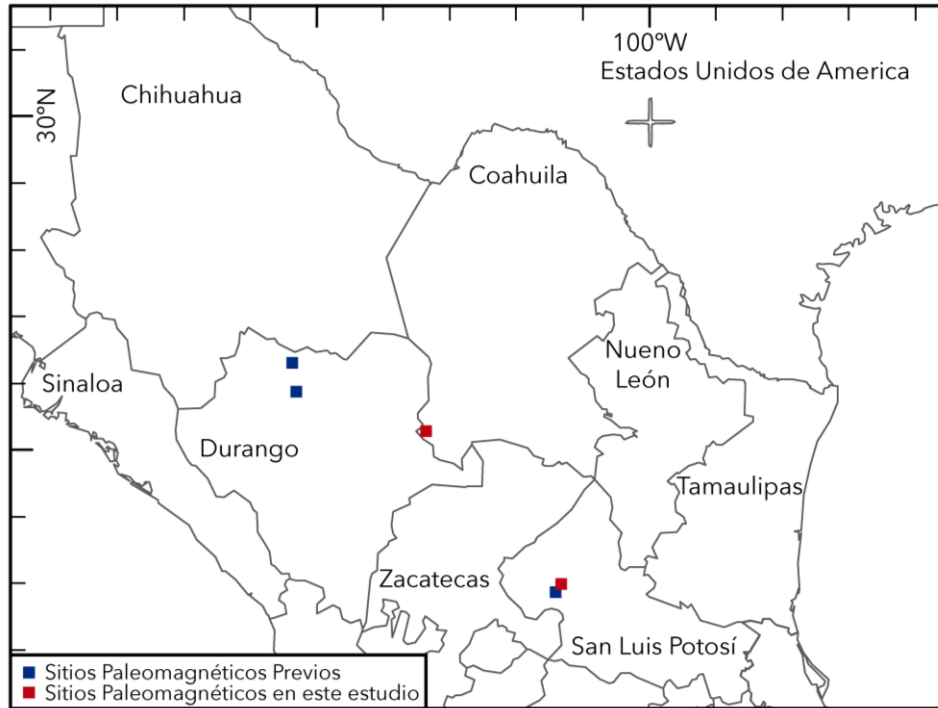


Figura 3. Sitios con resultados previos de paleomagnetismo para la Formación Nazas (Cuadros azules), tomados de Nairn (1976), Warrior (2008) y Nova (2016). Sitios analizados en este estudio (Cuadros Rojos).

Tabla 1. Resultados paleomagnéticos previos en rocas de la Formación Nazas en México.

Referencia	Localidad	Latitud	Longitud	Corrección Estructural		α_{95}	K	N/n	Comentario
				Dec	Inc				
Nairn, 1976	Cerritos Colorado	25.5	-105.5	350.6	28.4	8.2	24	14/14	Termal 550°C
Warrior, 2008	Santa Maria del Oro	25.979	-105.35	334.2	-11.1	18.53	8.65	10/8	AF < 20mT
Warrior, 2008	Santa Maria del Oro	25.979	-105.35	149.2	8.4	9.53	49.99	10/5	100-350 °C
Warrior, 2008	Santa Maria del Oro	25.979	-105.35	140.1	4.8	12.52	29.74	10/7	ChRM
Nova, 2016	Charcas	23.105	-101.179	50	-28.4	8.3	66.4	6/6	AF 0-90
Nova, 2016	Charcas	23.095	-101.173	11.2	18.1	5.1	223.3	5/5	AF 40-90
Nova, 2016	Charcas	23.095	-101.173	25.1	8.6	8.2	68.2	6/6	AF 50-90
Nova, 2016	Charcas	23.095	-101.173	27.3	3.5	6.8	98.8	6/6	AF 50-90
Nova, 2016	Charcas	23.095	-101.173	26.9	11.1	8.2	125	5/4	AF 50-90
Nova, 2016	Charcas	23.095	-101.173	13.2	0.6	8.5	82.1	6/5	AF 0-90
Nova, 2016	Charcas	23.095	-101.173	21.2	11.7	10.6	52.9	5/5	AF 0-90

N= número total de especímenes analizadas, n = número de especímenes utilizados en los cálculos (donde se aisló componente). Dec: Declinación, Inc: Inclinación.

3. METODOS

3.1 Trabajo de Campo y preparación de muestras

El desarrollo de este trabajo está dividido en tres partes principales, las cuales incluyen trabajo de campo, trabajo de laboratorio y finalmente procesamiento y análisis de datos. En primer lugar, el trabajo de campo se basó en el muestreo paleomagnético de dos localidades diferentes de la Formación Nazas en la parte Central Norte de México. Las visitas a campo de tales localidades, identificadas anteriormente por otros autores, fueron principalmente basadas en trabajos de Zavala-Monsiváis et al. (2012) y Lawton y Molina-Garza (2014).

Las dos localidades distintas de la Formación Nazas estudiadas en este trabajo fueron las áreas de Villa Juárez, Durango, y Charcas, San Luis Potosí (**Figura 2; Tabla 2**). Sobre la información previamente recolectada por varios autores sobre la estratigrafía y exposición de la formación en el campo se realizó el muestreo paleomagnético. Este muestreo fue acompañado de un muestreo general de rocas para petrología ígnea, sedimentaria y magnética que complementaron el estudio paleomagnético. Se tomaron como referencia horizontes sedimentarios de lodolitas rojas y la disposición de ignimbritas puntuales, con el fin de identificar diferentes unidades de flujo a lo largo de toda la sección de la Formación Nazas. El muestreo se organizó a lo largo de toda la sección de la formación (de base a tope) en su localidad tipo en los alrededores de Villa Juárez en el área al sur de Torreón, y se lograron identificar diferentes flujos volcánicos (**Figura 4 y Figura 5**). Las muestras paleomagnéticas se tomaron tanto en rocas volcánicas, producto de flujo, como en rocas volcanosedimentarias de carácter epiclástico. En el caso de las rocas volcanosedimentarias, se identificaron las unidades de menor tamaño de grano y disposición más rojiza en campo, con el fin de encontrar un mejor resultado del estudio paleomagnético.

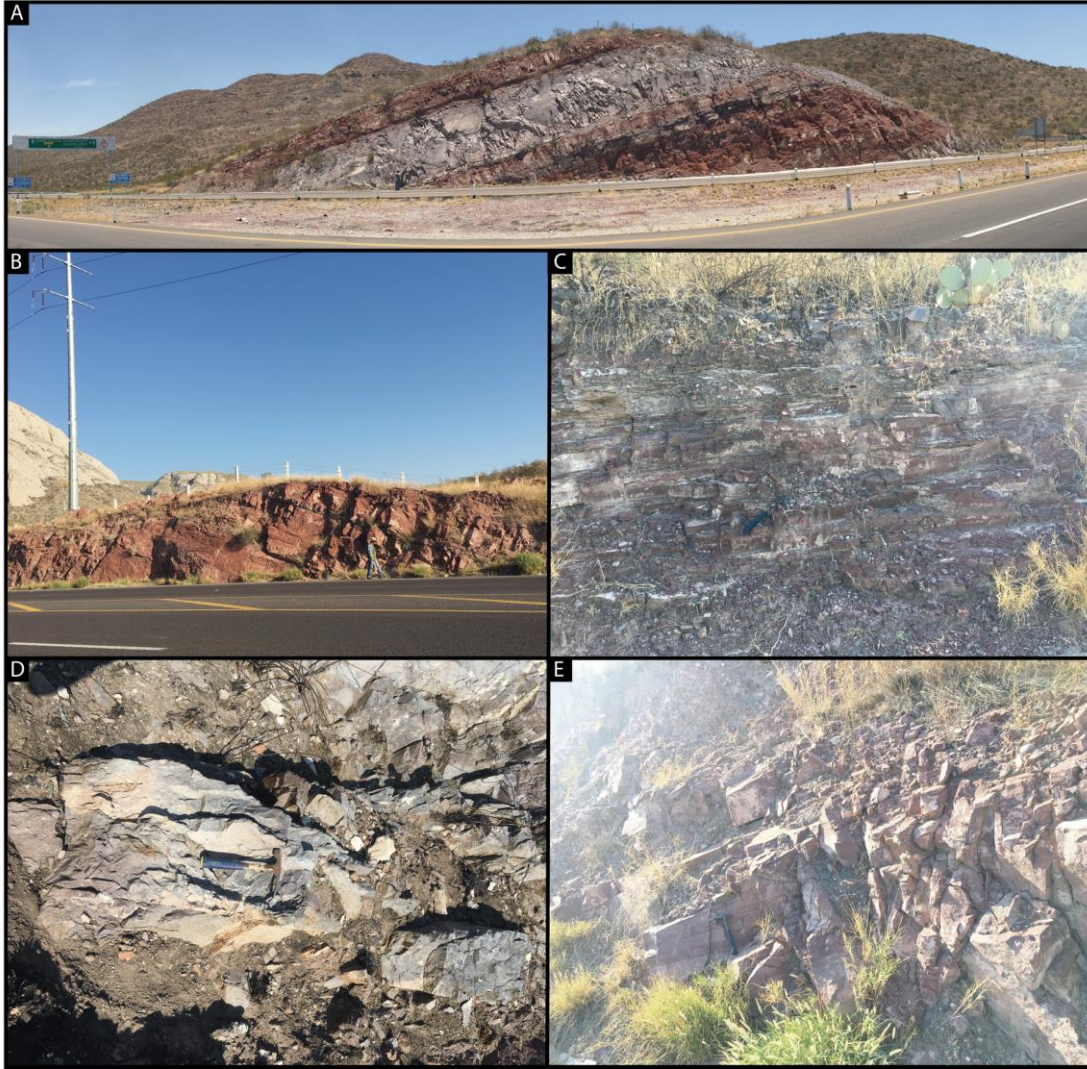


Figura 4. Fotografías de los afloramientos de la Formación Nazas en el área de Villa Juárez. A) Visión general de la sección de la Formación Nazas en Villa Juárez, intercalaciones de los flujos volcánicos con depósitos volcanoclásticos, típica evidencia de la Formación. B) Visión general de las partes volcanoclásticas de la sección, lodolitas rojas principalmente. C) Acercamiento de los miembros volcanoclásticos, lodolitas rojas laminares. D) y E) Acercamiento a los miembros volcánicos, flujos de ceniza riolíticos.

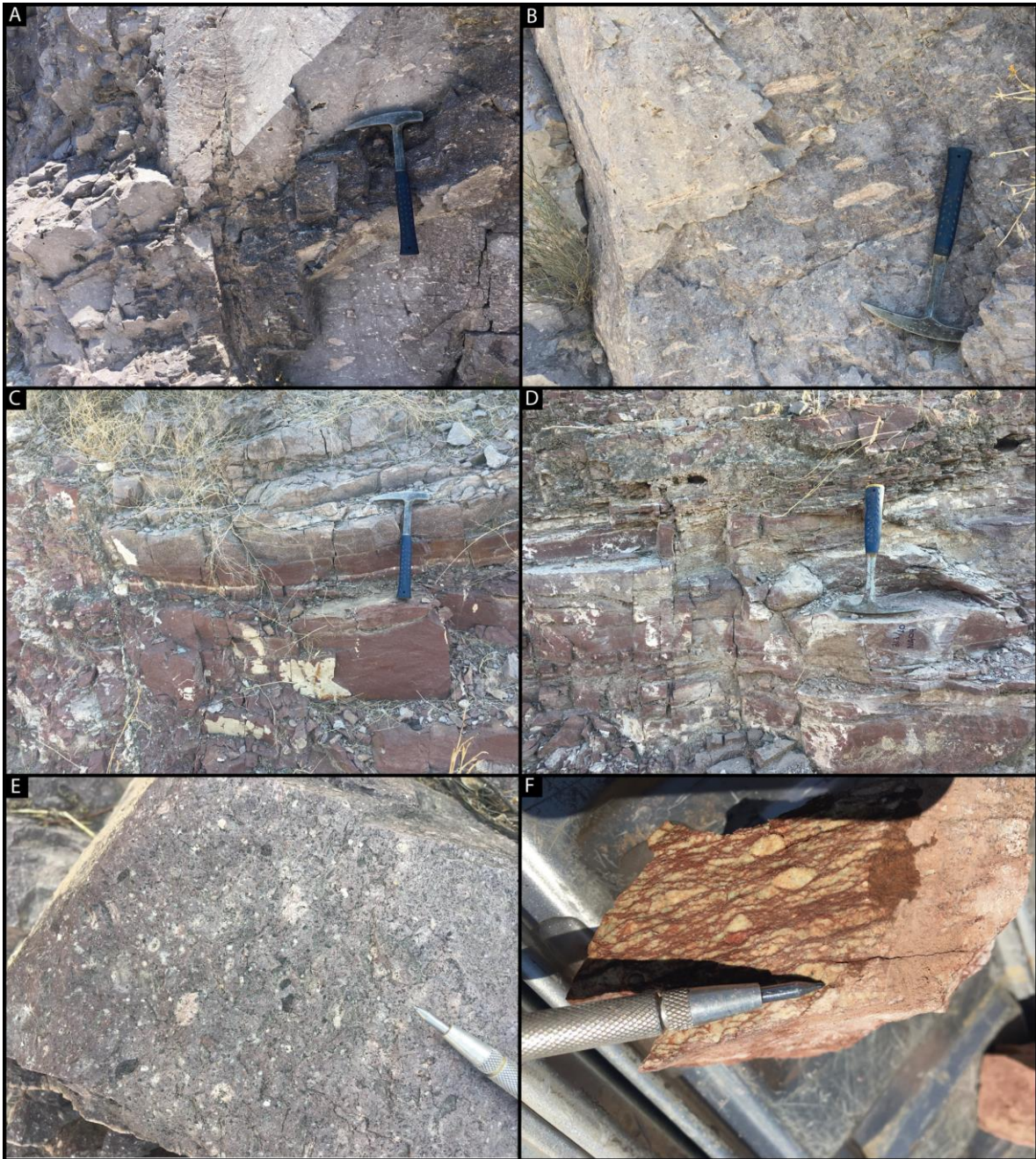


Figura 5. Fotografías de los afloramientos de la Formación Nazas en el área de Villa Juárez. A) Tobas de flujos de ceniza, intercaladas con algunos horizontes de ignimbritas. B) rocas volcánicas, Ignimbritas grises. C) intercalaciones de los segmentos volcánicos con los volcanoclásticos. D) Lodolitas rojas, volcanoclásticas con evidencia de bloques de tamaño macroscópico posiblemente de impacto. E) Tobas de flujo de ceniza en acercamiento a muestra de mano F) Lodolitas rojas en acercamiento a muestra de mano.

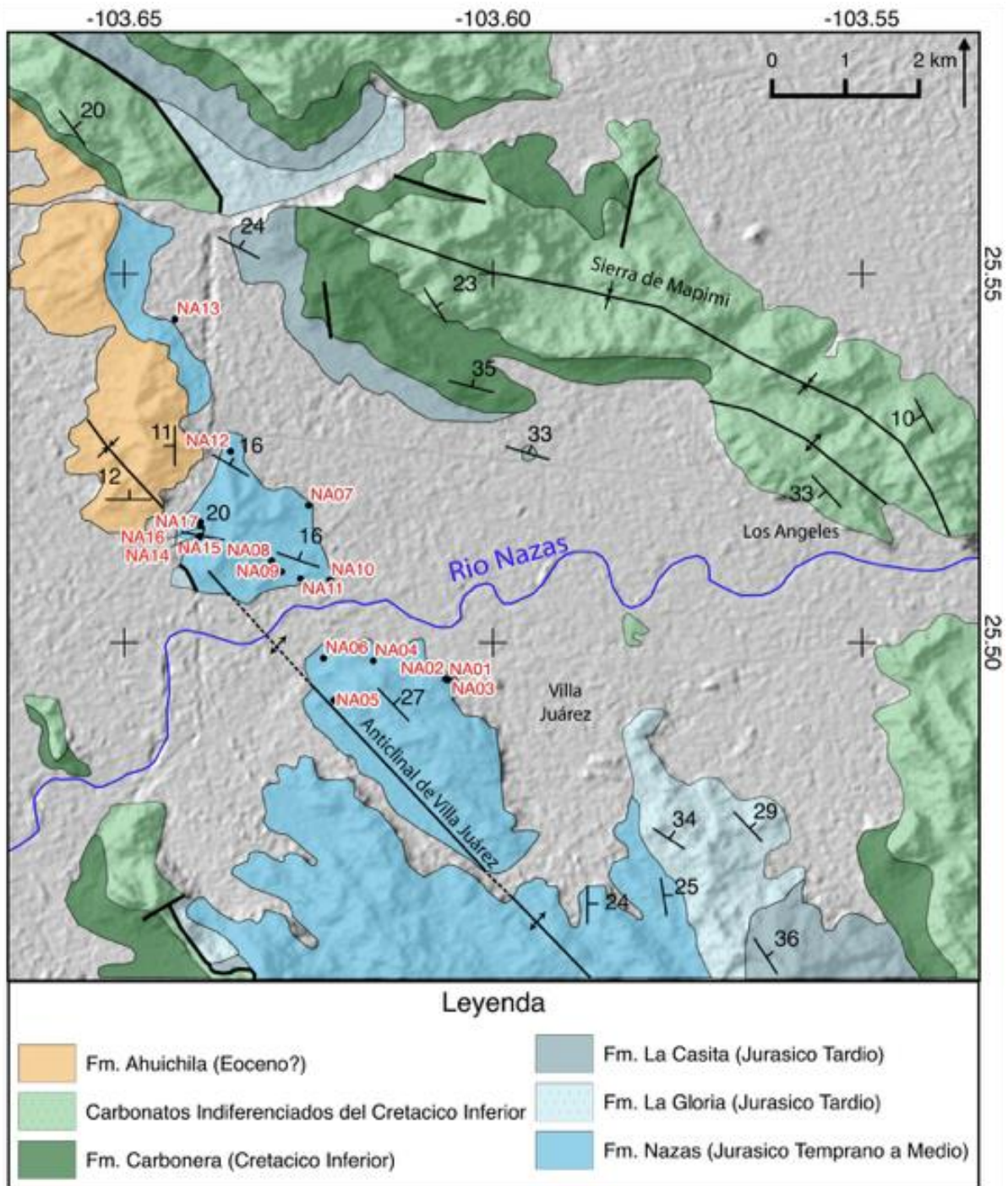


Figura 6. Mapa del área de Villa Juárez con representación de los sitios de muestreo paleomagnético (Modificado de Lawton & Molina-Garza, 2014).

Para el área de Villa Juárez se tomaron 17 sitios distintos sobre toda la sección estratigráfica de la Formación Nazas (**Figura 6** y **Figura 7**; **Tabla 2**). Los cuales representan alrededor de 4 flujos volcánicos intercalados con rocas volcanosedimentarias, las cuales también fueron muestreadas. Las muestras se tomaron en bloques orientados que posteriormente fueron

tratados en el laboratorio para la extracción de los núcleos paleomagnéticos estándar. Para todos los sitios se tomaron entre 2 o más bloques. La disposición general de los afloramientos de trabajo en el área de Villa Juárez se considera aceptable porque son sitios que revelan la forma y exposición de los depósitos de la formación. Sin embargo, se logra evidenciar una deformación de pequeña escala que afectan de distinta manera cada uno de los afloramientos (**Figura 4** y **Figura 5**). Sin embargo, se considera que la deformación observada es de carácter local y no sistemática por lo que se creó que no afecta los datos paleomagnéticos a nivel regional en términos de rotaciones respecto a un eje vertical. Como es de esperarse las rocas presentan un cierto grado de buzamiento producto de los procesos tectónicos posteriores a su formación. Ejemplo de esto es la orogenia Laramide del final del Cretácico y Paleoceno. Por esta razón, en cada uno de los sitios se identificaron paleohorizontales, sobre las direcciones de flujo, en las cuales se hacen correcciones estructurales.

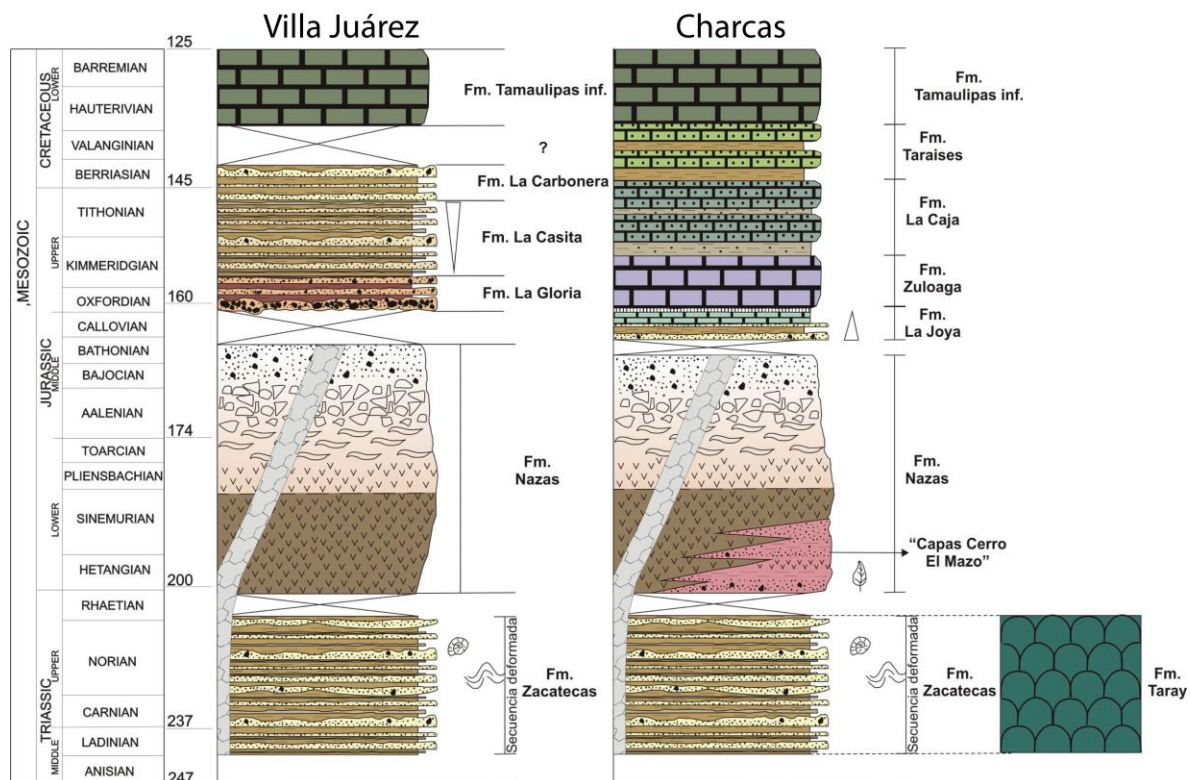


Figura 7. Columnas estratigráficas esquemáticas y representativas del Mesozoico de las áreas de trabajo, A) Villa Juárez, B) Charcas (Recopilado de Barbosa-Gudiño et al. 2010; Lawton & Molina-Garza, 2014; Nova 2016), las unidades de Villa Juárez se toman en referencia a correlaciones a la Fm. Gran Tesoro en el área de Santa María del Oro (Eguiluz-de Antuñano et al., 2014).

En el área de Charcas se trabajó con 23 muestras diferentes que se encuentran agrupadas sobre 4 flujos volcánicos distintos (**Figura 8 y Figura 9; Tabla 2**) que subyacen la Formación La Joya (**Figura 7**). En este caso se siguió el mismo procedimiento de extracción de bloques orientados que posteriormente se trataron en el laboratorio. En esta localidad los flujos volcánicos son continuos, es decir que no se logra evidenciar rocas volcanosedimentarias que separen sus afloramientos. Sin embargo, la exposición de los flujos en cada afloramiento permitió identificar las diferentes secuencias de flujos volcánicos que se tienen (**Figura 9**). También se observaron basculamientos en los sitios estudiados, y en estos casos se lograron medir los horizontes de flujo que fueron tomados como paleohorizontales para la corrección de los datos paleomagnéticos. El muestreo en el área de Charcas se hizo con el objeto de complementar los datos obtenidos por Nova (2016) para así tener una mejor cobertura regional.

Se prepararon y procesaron las muestras recolectadas en el campo, en los respectivos laboratorios. El proceso de preparación de las muestras incluye la extracción de los núcleos paleomagnéticos de cada uno de los bloques que se obtuvo en el campo. Este proceso fue realizado con la ayuda de un taladro estático en el área de corte y preparación de muestras del laboratorio de paleomagnetismo del Centro de Geociencias, con la ayuda de un taladro estático. En total se manejó el parámetro de trabajar entre 8 y 10 núcleos por sitio, tomados mayoritariamente en 2 o 3 bloques diferentes para cada sitio, con el fin de disminuir los posibles errores de medición de la orientación de los bloques individuales. Después de la extracción de los núcleos, se realizó el corte de los especímenes a tamaño estándar de 2.2 cm de alto por 2.54 cm de diámetro para análisis de paleomagnetismo. Las muestras trabajadas venían previamente orientadas de las vistas de campo y luego de la perforación de los núcleos, cada uno de ellos se reorientó con los parámetros adecuados según la convención de los equipos en los cuales se procesaron las muestras. De la misma manera se prepararon las muestras para el desarrollo de estudios de mineralogía magnética y se realizaron secciones delgado-nulidas para la identificación petrográfica.

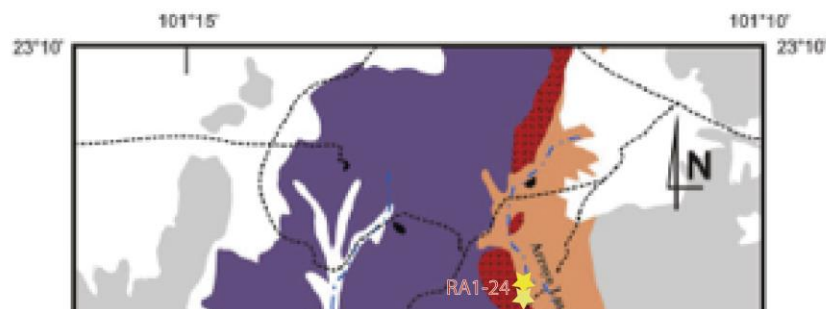


Figura 8. Mapa del área de Charcas con representación de los sitios de muestreo paleomagnético. Modificado de Závala-Monsiváis et al. (2012).

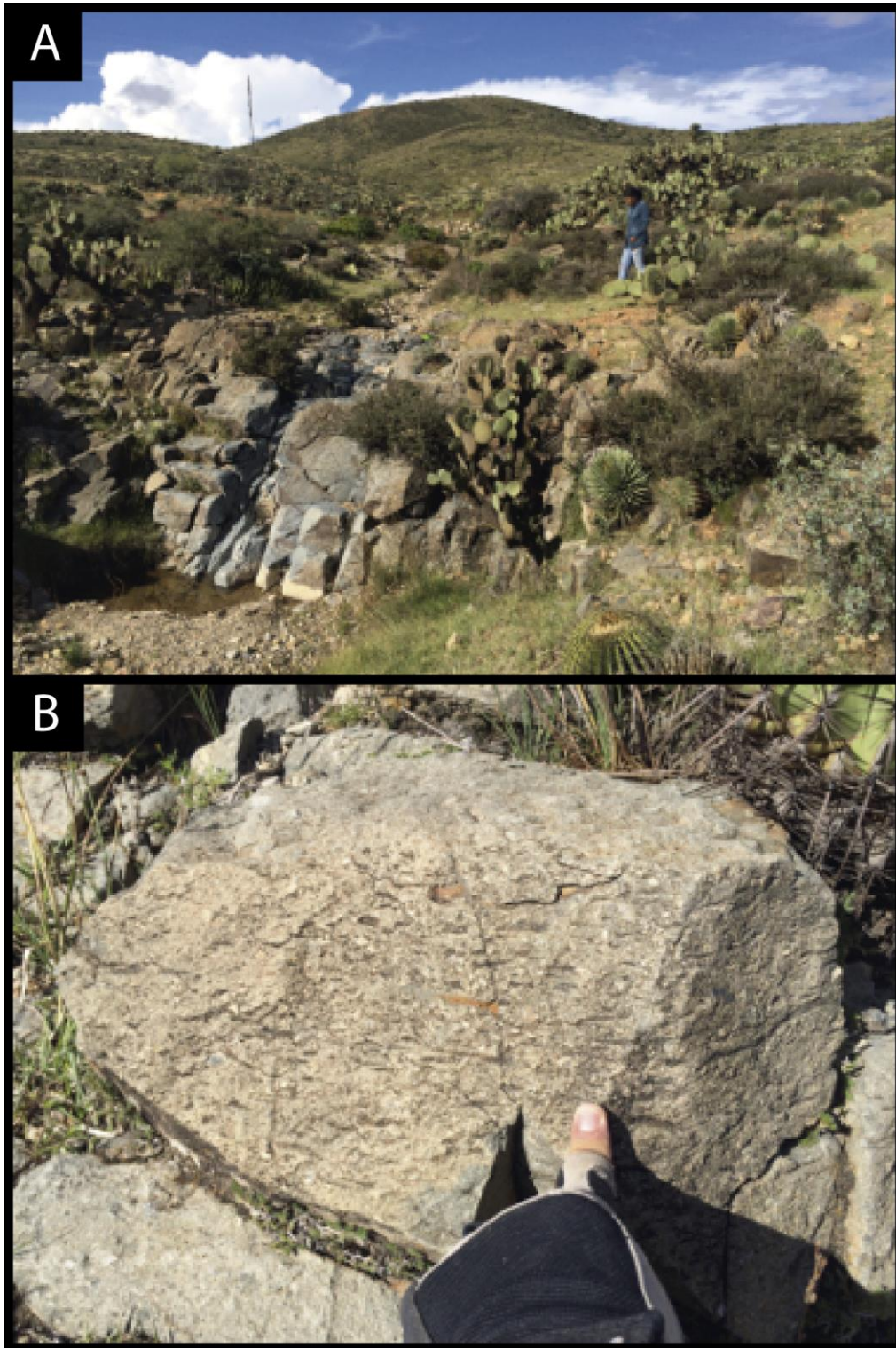


Figura 9. Fotografías de los afloramientos de la Formación Nazas en el área de Charcas. A) Visión general del afloramiento de los flujos volcánicos sobre los cuales se tomaron las muestras. B) Visión de muestra de mano de Andesitas, principales componentes de los flujos en el área de Charcas.

Tabla 2. Localización de los sitios de muestreo, para las localidades de Villa Juárez y Charcas.

Localidad	Sitio	Latitud	Longitud	Localidad	Sitio	Latitud	Longitud
Villa Juárez	NA01	25.4949	-103.6061	Charcas	RAFLUJO1	23.13	-101.91
	NA02	25.4950	-103.6064		RAFLUJO2	23.13	-101.91
	NA03	25.4950	-103.6058		RAFLUJO3	23.13	-101.91
	NA04	25.4975	-103.6162		RAFLUJO4	23.13	-101.91
	NA05	25.4921	-103.6216				
	NA06	25.4978	-103.6229				
	NA07	25.5186	-103.6249				
	NA08	25.5110	-103.6300				
	NA09	25.5096	-103.6286				
	NA10	25.5084	-103.6221				
	NA11	25.5086	-103.6260				
	NA12	25.5259	-103.6355				
	NA13	25.5438	-103.6400				
	NA14	25.5144	-103.6397				
	NA15	25.5142	-103.6396				
	NA16	25.5157	-103.6396				
	NA17	25.5163	-103.6396				

3.2 Caracterización de la Mineralogía Magnética

Junto al trabajo de paleomagnetismo se realizaron estudios de mineralogía magnética con el fin de comprobar y determinar los arreglos magnéticos que se presentan en las rocas de la Formación Nazas. Se realizaron curvas termomagnéticas de Susceptibilidad vs. Temperatura, análisis del espectro de coercitividades y microscopía magnética. Todos los experimentos se realizaron por separado tomando muestras distintas y representativas de los sitios.

Las curvas termomagnéticas se realizaron en el laboratorio de Geomagnetismo Ivar Giæver (IGGL, por sus siglas en inglés) de la Universidad de Oslo, Noruega con el fin de determinar las temperaturas de Curie de las muestras. Este estudio se realizó en un medidor de susceptibilidad magnética Kappabridge AGICO MFK1-FA equipado con un horno CS-4 que permite medir las variaciones de la susceptibilidad desde la temperatura ambiente hasta

700 °C en atmosfera de argón (Ar). Se tomaron 9 muestras pulverizadas, cada una correspondiente a un sitio distinto, de la localidad de Villa Juárez. El procedimiento se llevó a cabo en la medición de la susceptibilidad magnética de 0 a 700 °C en atmósfera de Ar. Como resultado se obtuvieron 9 curvas termomagnéticas (Susceptibilidad vs. Temperatura) que fueron procesadas en el software Cureval8 (AGICO) (Chadima y Hroudá, 2006), donde se realizaron correcciones de estabilidad de valores base del equipo y de densidad de cada una de las muestras, asegurando las condiciones físicas del equipo para medición. Finalmente se dio una estimación de las temperaturas de Curie de cada uno de los casos.

El espectro de coercitividades fue analizado por medio de la medición de curvas de adquisición de una Magnetización Remanente Isothermal (IRM, por sus siglas en inglés). El análisis del espectro de coercitividades está basado en las diferencias de las fuerzas coercitivas (h_c) entre los minerales magnéticos principales. Los minerales del grupo de las titanomagnetitas en su fragmento ferromagnético presentan valores de $h_c \leq 100\text{mT}$ (Dunlop, 1986) mientras que las partículas de hematitas o goethitas muestran valores de $h_c \geq 0.3\text{T}$ y $> 3\text{T}$, respectivamente (Özdemir y Dunlop, 2010), y por dicha diferencia en el valor de h_c podemos utilizar el espectro de coercitividades para determinar mineralogía magnética.

Este experimento se realizó en el magnetizador de pulsos IRM del Centro de Geociencias de la Universidad Nacional Autónoma de México, el cual tiene una capacidad máxima de campos directos de 5T, y la magnetización se midió progresivamente en el magnetómetro JR6 AGICO. Se analizaron 11 núcleos de diferentes sitios en la localidad de Villa Juárez a los cuales se les indujo un IRM en secuencia progresiva de 0, 20, 40, 60, 80, 100, 150, 200, 250, 300, 400, 500, 650, 800, 950, 1100, 1300, 1500, 1700, 1900, 2100, 2300, 2600, 2900 mT. Posteriormente se reseteó el registro induciendo otro IRM, pero en el sentido opuesto de la muestra (*back-field*), también en secuencia progresiva de 10, 20, 30, 40, 50, 70, 90, 110, 130, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 500, 600, 700 mT. Siguiendo la metodología de Kruiver et al., (2001) se lograron descomponer las curvas de adquisición de IRM en componentes

significativas del espectro de coercitividades. Con este experimento se logra estudiar el espectro de coercitividades que presentan los componentes magnéticos de la Formación Nazas en su sección de Villa Juárez.

Como herramienta adicional se realizó una descripción petrográfica de las distintas litologías encontradas a lo largo de la sección de Villa Juárez. Se tomaron 11 secciones delgado-pulidas a las cuales se les hizo descripción petrográfica general en los equipos del laboratorio de microscopía del Centro de Geociencias, en específico un microscopio tipo Olympus BX-RLA2 con luz reflejada utilizando los oculares de 10X y 50X, con el fin de identificar marcadores del ambiente de depósito de las muestras volcanosedimentarias y las características petrológicas de las rocas volcánicas. Finalmente, se hizo un reconocimiento de petrografía de luz reflejada para identificar las asociaciones de minerales magnéticos en las muestras, dichas asociaciones se documentaron por medio de fotografías de Microscopio Electrónico de Barrido (SEM, por sus siglas en inglés), utilizando el SEM TM-1000 de Hitachi del Centro de Geociencias y se justificaron las relaciones observadas en las imágenes con los resultados de los experimentos previos de mineralogía magnética. Complementario a las imágenes de SEM se realizaron composiciones cualitativas de la composición elemental de los minerales magnéticos por medio del espectroscopio de energía dispersa de rayos X (EDS, por sus siglas en inglés) de Oxford que está acoplado al SEM del Centro de Geociencias. Generando perforaciones de 50nm de ancho por 1mm de profundidad aproximadamente en cada disparo o punto analizado, sobre cada disparo se analizan entre 500 y 1200 cuentas para el respectivo análisis, a un voltaje de 15kV.

3.3 Anisotropía de Susceptibilidad Magnética

Para estudiar la relación entre los flujos volcánicos y las paleohorizontales encontradas en el campo, las cuales se utilizaron como base de las correcciones estructurales en los datos paleomagnéticos, se realizaron mediciones de anisotropía de susceptibilidad magnética (AMS). Los flujos volcánicos de la Formación Nazas no siempre desarrollan planos estratificados bien definidos, por lo que sus paleohorizontales son tomadas en las

secuencias volcanosedimentarias supra o subyacentes. Para las mediciones de AMS se utilizó un instrumento Kappabridge (KLY-3 AGICO) del Centro de Geociencias. En cada sitio se definieron los eigenvalores y sus direcciones principales indicados como $K1 \geq K2 \geq K3$, siendo K1 el valor máximo, K2 el intermedio y K3 el mínimo, siguiendo los parámetros propuestos por Jelínek (1981) y las medias de los eigenvalores, con sus errores estadísticos, fueron evaluadas usando las estadísticas de Jelínek y Kropáček (1978). Los cálculos del elipsoide de susceptibilidad se realizaron en el software Anisoft 4, de AGICO, (Chadima y Hrouda, 2006) utilizando el parámetro T y el grado de anisotropía P'. El parámetro P' indica el grado de anisotropía y el parámetro T es utilizado para identificar el tipo de fábrica magnética y determinar las condiciones de flujo en que se depositaron los flujos volcánicos. En la teoría, los valores de $T > 0$ indican que el elipsoide tiene una forma oblada ($K1 \geq K2 \gg K3$), y los valores de $T < 0$ muestran un elipsoide que tiene una forma prolada ($K1 \gg K2 \geq K3$) y se llegaría a asumir que el valor de K3 es el polo del plano de estratificación en el caso de que se logren determinar valores de estratificación de los flujos. El elipsoide de anisotropía también puede identificar fábricas de depósito de fábricas tectónicas, como se explicará más adelante, razón por la que los cálculos de los parámetros T, P', K1, K2, K3, no se realizaron en profundidad, según las características de los datos obtenidos, discutidos en los siguientes capítulos.

3.4 Paleomagnetismo

El trabajo de paleomagnetismo se realizó en los equipos del Centro de Geociencias y del laboratorio de Geomagnetismo Ivar Giæiver. Se comenzó con la desmagnetización de muestras piloto para todos los sitios estudiados. Se tomaron 2 núcleos por sitio. Dicha desmagnetización se realizó por campos magnéticos alternos y térmica en etapas progresivas. El proceso de desmagnetización de muestras piloto permitió determinar cuál de las dos técnicas era más útil para cada uno de los sitios. En general se sugirió que los sitios de la localidad de Villa Juárez respondían mucho mejor a la desmagnetización térmica sin importar si eran rocas volcánicas o volcanosedimentarias, mientras que los sitios de la

localidad de Charcas presentaron un mejor comportamiento a la desmagnetización de campos alternos.

Las muestras procesadas en el Centro de Geociencias se desmagnetizaron en un horno de desmagnetización térmica modelo TD-48 SD de ASC (California) y en un desmagnetizador de campos alternos LDA-3A (Brno, República Checa). Los resultados fueron medidos en pasos progresivos en un magnetómetro Spinner JR6 AGICO (Brno, República Checa) de sensibilidad de $2 \cdot 10^{-6}$ A/m. Por su parte, los análisis realizados en el laboratorio de Geomagnetismo Ivar Giæver fueron realizados en un horno de desmagnetización térmica modelo MMTD80A y en un magnetómetro de rocas superconductor (SRM, por sus siglas en inglés) WSGI modelo 755 (2G Enterprises, California) el cual presenta sensores de alta sensibilidad con un nivel de ruido de momento dipolar magnético inferior a $1 \cdot 10^{-12}$ Am².

El proceso de desmagnetización se realizó en pasos progresivos en los cuales se midió la dirección e intensidad de la remanencia en cada uno de los pasos. Para los campos alternos se trabajó en secuencias progresivas de 3, 6, 9, 12, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 50, 60, 75, 90 y 100 mT, mientras que la desmagnetización térmica se llevó a cabo en secuencias de 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 550, 590, 620, 640, 660, 680, 700 °C. Para todos los sitios se realizó la desmagnetización general de las muestras. Las secuencias de desmagnetización variaron en algunos sitios dependiendo del comportamiento específico que se iba encontrando en cada caso. Los datos de orientación de cada muestra fueron corregidos por la declinación magnética promedio de las áreas de estudio (+6 para Charcas y +7 para Villa Juárez) basados en el mapa de declinación magnética de Norte América del 2010 del National Geophysical Data Center, de la National Oceanographic and Atmospheric Agency (NOAA, por sus siglas en inglés).

El procesamiento de datos se basó primero en la identificación de los distintos comportamientos magnéticos de cada sitio de forma visual para reconocer segmentos lineales en los diagramas ortogonales de desmagnetización (Zijderveld, 1967), los cuales se

interpretaron con la determinación de componentes magnéticas en el software Remasoft 3.0 (AGICO) (Chadima y Hrouda, 2006). Dichas componentes magnéticas fueron estudiadas mediante el análisis de componentes principales (Kirschvink, 1980). Se aceptaron componentes magnéticas donde la desviación angular máxima (MAD) fuera menor a 15°. Además, en los sitios donde no fue posible realizar análisis de componentes principales por el traslape de temperaturas de bloqueo de las componentes presentes se realizaron análisis de círculos mayores (Bailey y Halls, 1984), y en algunos casos, se siguieron las recomendaciones de McFadden y McElhinny (1988). El cálculo de direcciones medias por sitio se basó en el procedimiento estadístico de Fisher (1953) y se decidieron descartar de los cálculos finales de VGP sitios con valores de $\alpha_{95} > 20^\circ$ y/o $k < 10$, utilizando igualmente el software Remasoft 3.0 (AGICO) (Chadima y Jelínek, 2009).

4. RESULTADOS

4.1 Caracterización de la Mineralogía Magnética

Se realizaron nueve curvas termomagnéticas para diferentes sitios de la localidad de Villa Juárez por medio de la medición de la susceptibilidad magnética de 0 a 700 °C en una atmosfera de Ar. En la **Figura 10** son evidentes en todos los casos curvas no reversibles, producto de alteraciones minerales dentro del experimento, con observación del efecto de Hopkinson, y dos temperaturas de Curie. Para la mayoría de las muestras hay una inflexión en la curva que se centra alrededor de la temperatura de Curie de la magnetita baja en Titanio (~580°C) y será discutido en el texto para determinar los portadores magnéticos de las rocas. En algunos casos hay también una inflexión, menos marcada, a la temperatura de Curie de la hematita (~660°C).

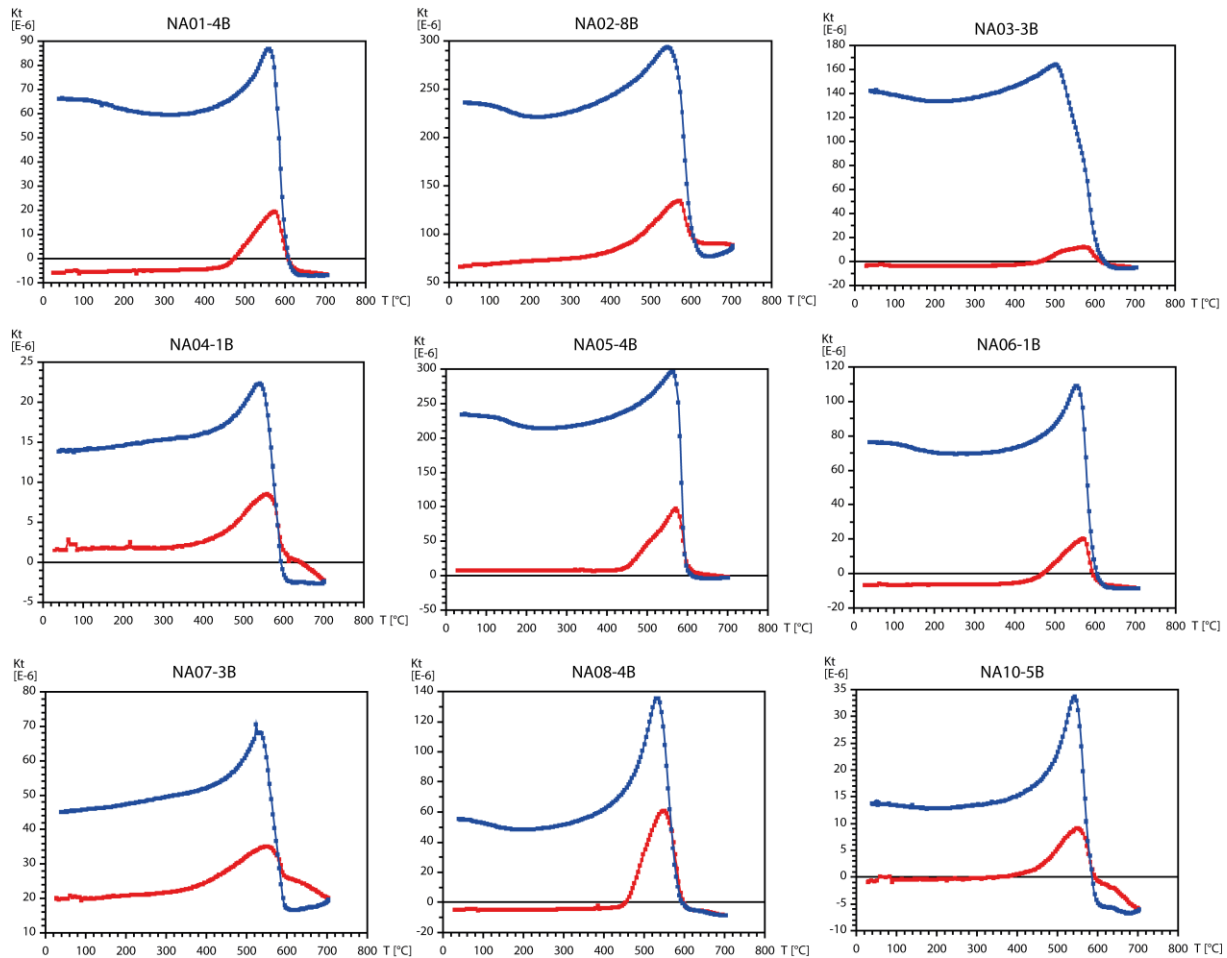


Figura 10. Curvas termomagnéticas de Susceptibilidad Vs. Temperatura, 9 sitios de la localidad de Villa Juárez.

Se realizaron estudios de análisis del espectro de coercitividad por medio de la medición de la Magnetización Remanente Isothermal (IRM) al inducir un campo magnético gradual, en pasos progresivos, sobre las muestras. Se analizaron once muestras correspondientes a ocho sitios en la localidad de Villa Juárez, previamente seleccionados, de los sitios de flujos volcánicos de composición andesítica y tobácea seleccionados fueron NA01, NA02, NA05, NA10, por otra parte los sitios de composición volcanosedimentaria principal que se seleccionaron fueron NA04, NA06, NA07, NA08. La muestra NA01-6B, presentó problemas en la toma de datos, por lo que se excluyó de los resultados.

La **Figura 11** muestra los resultados de adquisición de la IRM que evidencian un aumento moderado de la magnetización, al exponer la muestra a campos de magnetización cercanos a 300mT y a un incremento gradual hacia los campos magnéticos de 1T o mayores. Las muestras no alcanzan saturación con la inducción máxima empleada de 3T. Los resultados del análisis de *Back-Field* de IRM se presentan igualmente en la **Figura 11**. Las muestras NA01-11B, NA06-2B, NA10-1B no cruzan la escala horizontal al incrementar los valores de IRM, pero el resto de las muestras analizadas muestran desmagnetización de "*Back-Field*" progresiva con valores cercanos a cero, o que cruzan el eje horizontal en valores de IRM entre 700 y 900mT. Sin embargo, es evidente en el comportamiento de las curvas de "*back-field*" que existen al menos dos grupos de coercitividad de remanencia, una para partículas blandas, principalmente titanomagnetitas, con valores de H_{cr} que varían entre 400 y 550 mT y otra para partículas duras que varía entre 600 y 1100 mT, como es observable en las líneas de tendencia igualmente graficadas en la **Figura 11**. Adicionalmente, se hizo el modelamiento de las curvas de adquisición de IRM, mediante el análisis de componentes de coercitividad (**Figura 12** y **Figura 13**; **Tabla 3**; **Anexo 1**), siguiendo la metodología propuesta por Kruiver et al., (2001). Se modelaron las muestras con dos o tres componentes, las componentes de baja coercitividad, con $B_{1/2} < 100\text{mT}$, están presentes en algunas muestras con porcentajes aproximados al 15% o menos en cada caso, dichas componentes están asociadas a fases ferromagnéticas de titanomagnetitas, no se observan diferencias claras en los porcentajes del componente de baja coercitividad entre las rocas

volcánicas y las volcanosedimentarias, sin embargo se puede sugerir que las rocas volcánicas tienen una mayor presencia de dicho componente. La principal contribución está dada por los componentes de altas coercitividad, con $B_{1/2} > 100\text{mT}$ y $< 1000\text{mT}$, lo que es atribuible a fases ferromagnéticas donde la hematita es el componente principal y se encuentra presente tanto para las rocas volcánicas como para las volcanosedimentarias. Por otro lado, existen componentes de muy alta coercitividad, asociadas posiblemente a goethitas producto de meteorización, con $B_{1/2} > 1000\text{mT}$, con contribuciones aproximadas al 5% en las rocas volcánicas, donde es más evidente la presencia del componente de muy alta coercitividad, para las rocas volcanosedimentarias dicho componente está presente en algunas de las muestras, pero en porcentajes menores que no superan el 3% de la sumatoria total. En conclusión, las componentes de coercitividad para las rocas de la Formación Nazas están dominadas principalmente por componentes de alta coercitividad, con presencia constante de componentes de baja y muy alta coercitividad para todas las muestras, sin generar distinciones significativas entre los distintos tipos de roca que componen esta formación.

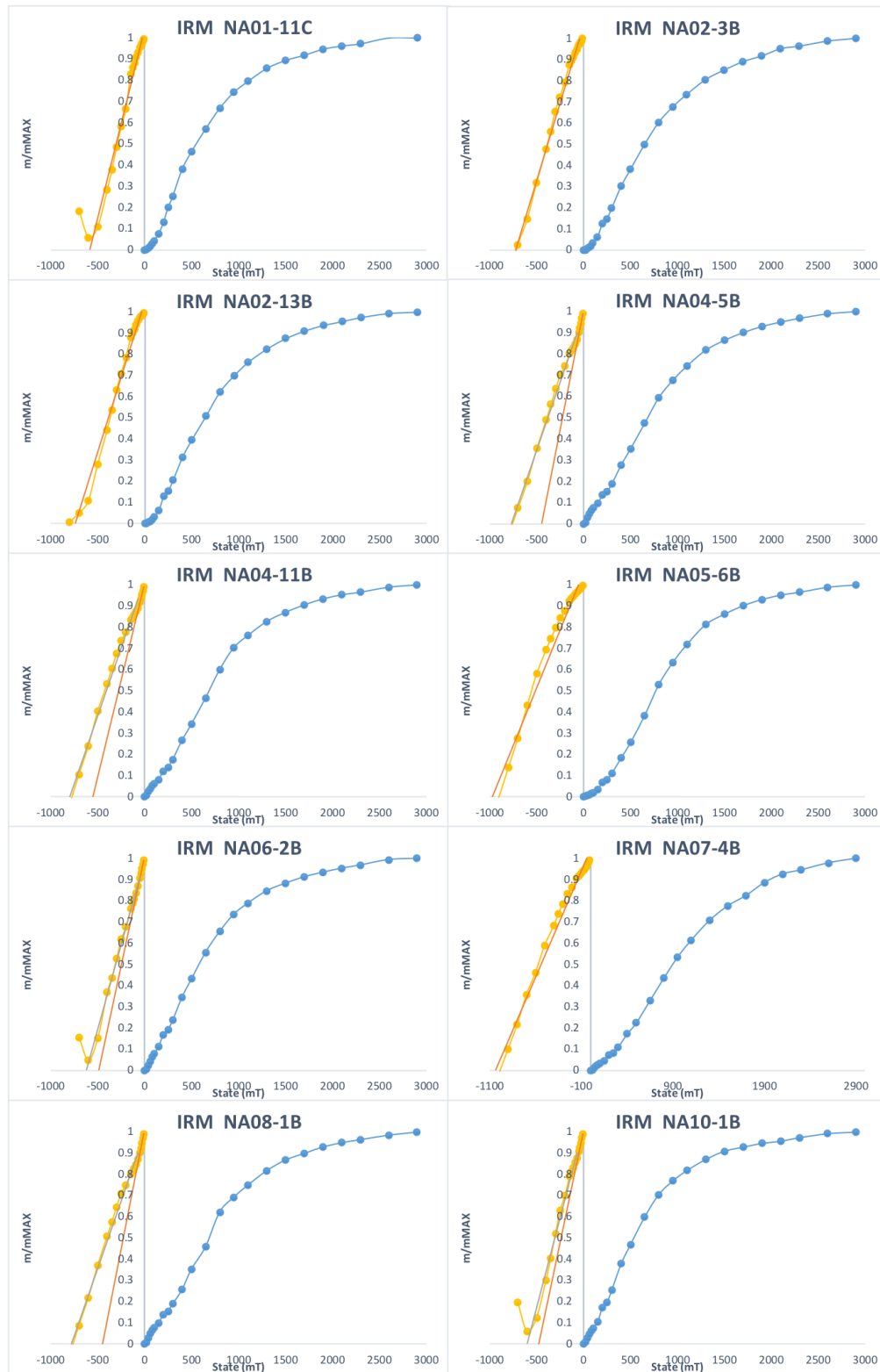


Figura 11. Curvas de adquisición de magnetización remanente Isotermal (IRM) (Curva Azul) y el respectivo back-field (Curva Amarilla), normalizados al valor máximo de IRM, para cada uno de los sitios analizados. Las líneas naranjas y grises representan las líneas de tendencia para las fases de menor y mayor inducción respectivamente. Indicando los valores de H_{cr} para partículas blandas y duras en la intersección de la abscisa respectivamente.

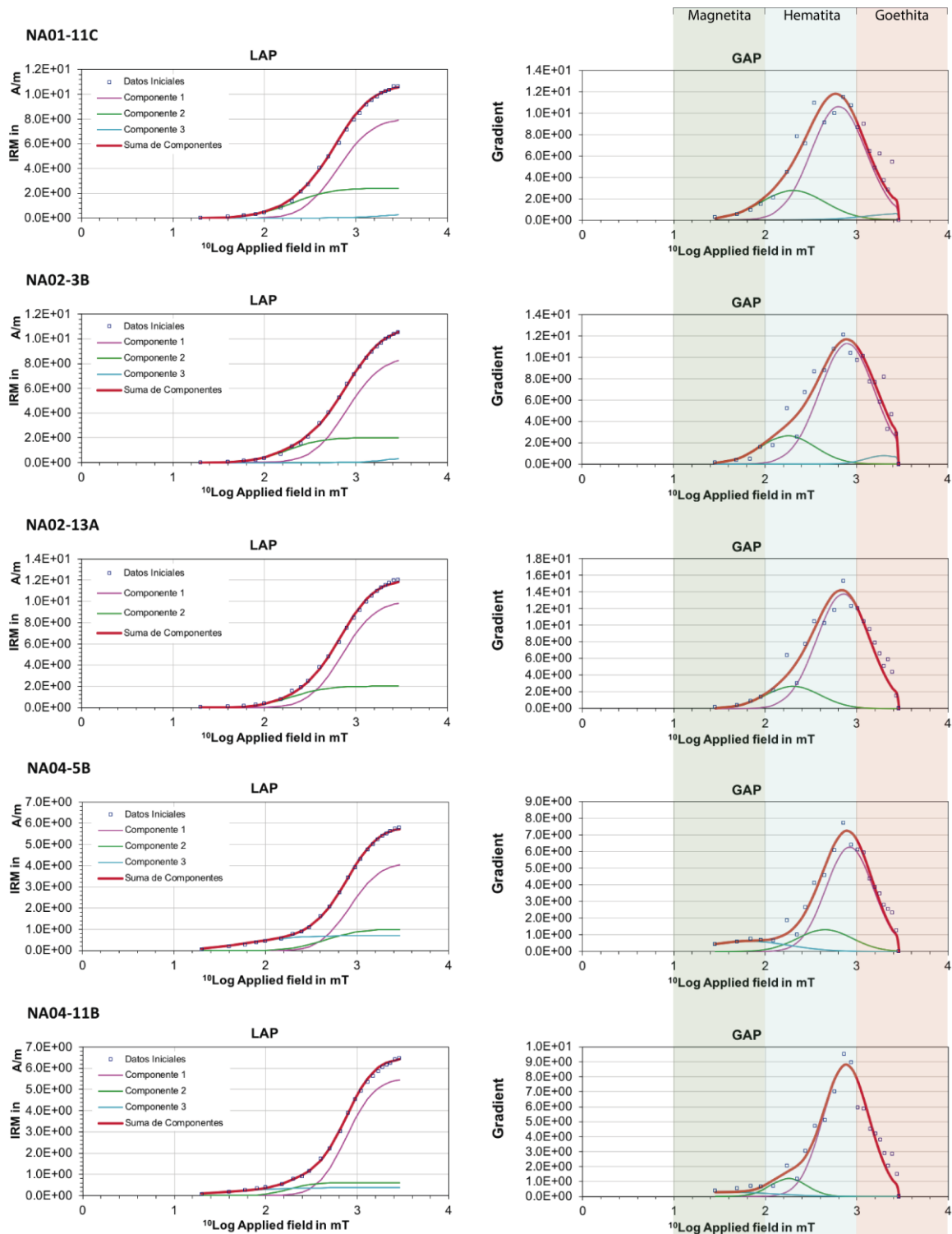


Figura 12. Modelación de las curvas de adquisición de magnetización remanente Isotermal (IRM) mediante los parámetros de Kruiver et al., (2001), Del lado Izquierdo gráficas de adquisición Lineal (LAP, por sus siglas en ingles), y del lado derecho gráficas de adquisición de gradiente (GAP, por sus siglas en ingles). Las franjas de colores Verdes, Azules y Rojos en las gráficas de GAP representan la interpretación de los minerales magnéticos, según los parámetros propuestos por Abrajevitch et al., (2009).

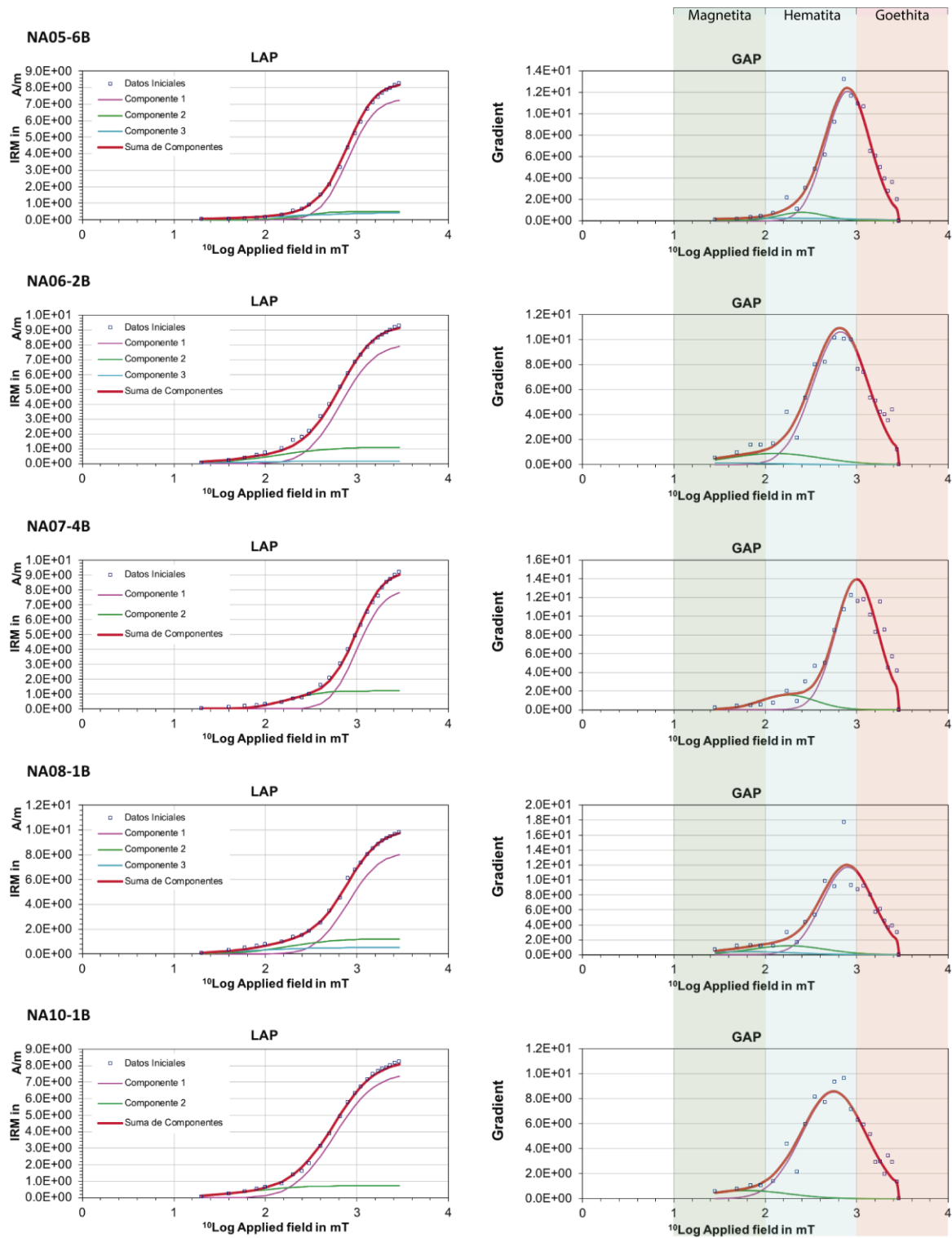


Figura 13. Continuación, Modelación de las curvas de adquisición de magnetización remanente Isotermal (IRM) mediante los parámetros de Kruiver et al., (2001), Del lado izquierdo gráficas de adquisición Lineal (LAP, por sus siglas en ingles), y del lado derecho gráficas de adquisición de gradiente (GAP, por sus siglas en ingles). Las franjas de colores Verdes, Azules y Rojos en las gráficas de GAP representan la interpretación de los minerales magnéticos, según los parámetros propuestos por Abrajevitch et al., (2009).

Tabla 3. Descripción de las componentes utilizadas en el modelo propuesto para las curvas de adquisición de IRM, siguiendo la metodología de Kruiver et al., (2001).

Muestras	Componente	Contribución (%)	SIRM (A/m)	log (B1/2) (mT)	B1/2 (mT)	DP (mT)	S-ratio
NA05-6B	1	88.48	7.30	2.90	794.33	0.24	0.155
	2	6.06	0.50	2.40	251.19	0.25	
	3	5.45	0.45	2.20	158.49	0.80	
NA07-4B	1	86.96	8.00	3.00	1000.00	0.23	0.197
	2	13.04	1.20	2.25	177.83	0.30	
NA04-11B	1	85.01	5.50	2.88	758.58	0.25	0.248
	2	9.27	0.60	2.25	177.83	0.20	
	3	5.72	0.37	1.60	39.81	0.50	
NA08-1B	1	82.83	8.20	2.90	794.33	0.28	0.268
	2	12.12	1.20	2.25	177.83	0.40	
	3	5.05	0.50	1.80	63.10	0.50	
NA04-5B	1	70.69	4.10	2.92	831.76	0.26	0.271
	2	17.24	1.00	2.65	446.68	0.30	
	3	12.07	0.70	1.80	63.10	0.45	
NA02-13A	1	83.33	10.00	2.85	707.95	0.29	0.272
	2	16.67	2.00	2.30	199.53	0.30	
NA06-2B	1	86.39	8.00	2.82	660.69	0.30	0.287
	2	11.88	1.10	2.10	125.89	0.50	
	3	1.73	0.16	1.60	39.81	0.50	
NA02-3B	1	77.98	8.50	2.90	794.33	0.30	0.302
	2	18.35	2.00	2.25	177.83	0.30	
	3	3.67	0.40	3.30	1995.26	0.20	
NA01-11A	1	72.73	8.00	2.80	630.96	0.30	0.333
	2	21.82	2.40	2.30	199.53	0.35	
	3	5.45	0.60	3.50	3162.28	0.40	
NA10-1B	1	91.24	7.50	2.75	562.34	0.35	0.358
	2	8.76	0.72	1.80	63.10	0.45	

La S-ratio fue calculada siguiendo la definición propuesta por Bloemendal et al., (1992): $(1-IRM-0.3T/IRM1T)/2$, si no se produce interacción magnética y el ciclo de histéresis se cierra de los 300mT en adelante la S-ratio corresponde a $IRM+0.3T/IRM1T$.

Se utilizaron las imágenes de SEM para definir texturas y asociaciones de los minerales magnéticos presentes en la Formación Nazas y otros óxidos de Fe y Ti. Se realizaron observaciones de secciones delgado-pulidas seleccionadas de diferentes sitios. Los resultados de la selección de texturas encontradas y las mediciones de EDS de las composiciones cualitativas se muestran en las **Figura 14**, **Figura 15**, **Figura 16** y el **Anexo 2**.

Para las titanomagnetitas presentes se observan diferentes formas texturales en los distintos tipos de roca; cristales euhedrales y subeuhedrales (**Figura 15A-B-C**) presentes en

las rocas volcánicas y en las volcanosedimentarias. También existen titanomagnetitas diseminadas con exsoluciones de Ilmenita (**Figura 15C**) en las rocas volcánicas; y en algunos casos, principalmente para las rocas volcanosedimentarias, se evidencian cristales subeuhedrales de titanomagnetitas que están en contacto con bordes de alteración de hematita, o recrecimientos de dicho mineral (**Figura 15E-F; Figura 16C**). Por la disposición de sus texturas se considera que las titanomagnetitas representan minerales ferromagnéticos primarios formados en todos los casos con relación a las condiciones de formación de la roca. Dichos minerales magnéticos son variaciones composicionales de Ti (**Anexo 2**), por lo que se entiende que los minerales ferromagnéticos presentes en el momento de formación de la roca corresponden a minerales del grupo de las titanomagnetitas.

Igualmente, se pueden observar en casos más extraños y de menor relevancia, miembros ferromagnéticos extremos, como es el caso de los Rutilos (**Figura 15D**) en rocas volcanosedimentarias y las goethitas (**Figura 14**) tanto en las rocas volcánicas como en las volcanosedimentarias, estos resultados texturales son concordantes con los análisis de IRM que fueron descritos anteriormente. Donde es evidente la existencia de miembros extremos como la goethita en ambos tipos de rocas.

Se pueden observar igualmente en las rocas volcanosedimentarias texturas típicas de hematitas, correspondientes en la mayoría de los casos a crecimientos pseudomorfo en forma de lamelas acompañados de Ilmenita (**Figura 14**). También son comunes las texturas de granos esqueléticos (**Figura 16D-E-F**) donde se evidencia crecimiento de Hematitas relacionado con procesos de oxidación deutérica y crecimientos de hematita de carácter individual en granos anhedrales (**Figura 16A**). Las texturas antes descritas son características de las rocas volcanosedimentarias en la Fm. Nazas, dicha textura no se observa en las rocas volcánicas.

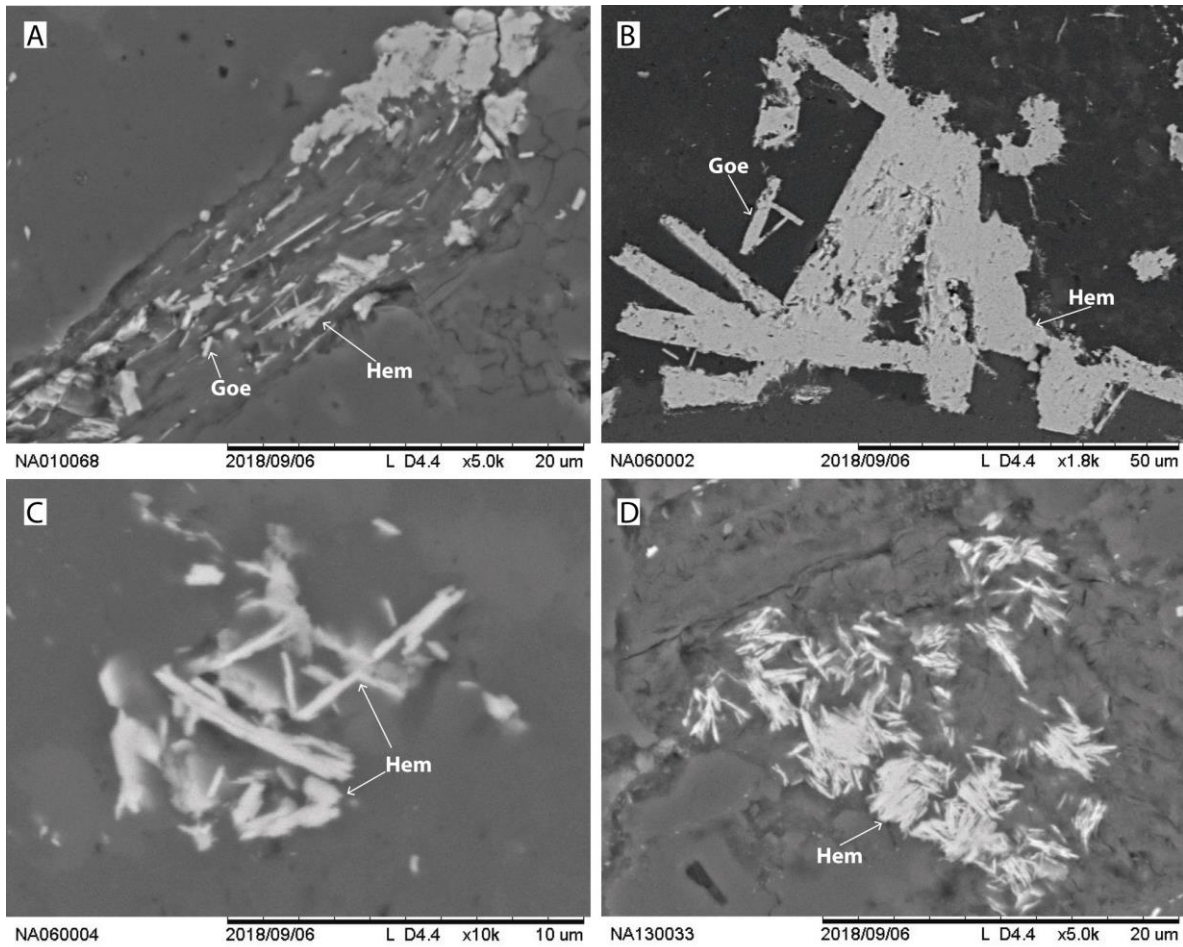


Figura 14. Imágenes de microscopio electrónico de barrido, (electrones retro-dispersados) de óxidos de Fe observados en muestras de la Fm. Nazas. Volcánicas en NA01 y volcanosedimentarias en NA06 y NA13. Hem – Hematita, Goe – Goethita. A), B) C), D) Textura Lamelar y fibroso radial en Hematitas y Goethitas.

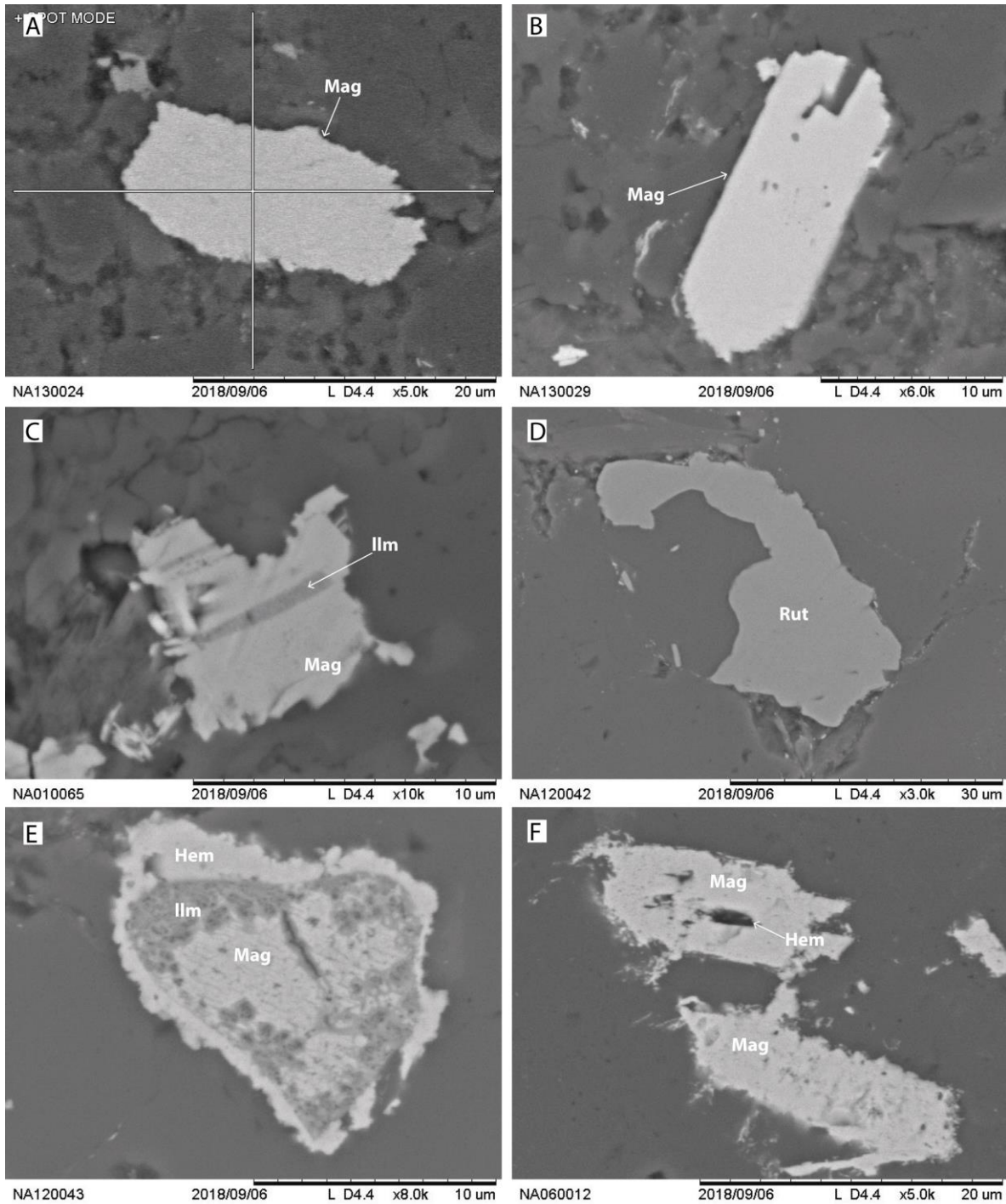


Figura 15. Imágenes de microscopio electrónico de barrido, (electrones retro-dispersados) de óxidos de Fe observados en muestras de la Fm. Nazas. Volcánicas en NA01, Volcanosedimentarias en NA06, y NA13 Sedimentarias en NA12. Mag – Titanomagnetita, Hem – Hematita, Ilm – Ilmenita, Rut - Rutilo. A), Magnetitas de grano grueso, anhedral con superficie posiblemente maghemitizada; B) Magnetita euhedral con borde ligeramente corroído. C) Texturas tigris y de exsolución de magnetita e ilmenita; D) Rutilo; E), F) Magnetitas con bordes de alteración y/o corrosión de Ilmenita y Hematita con estructuras complejas.

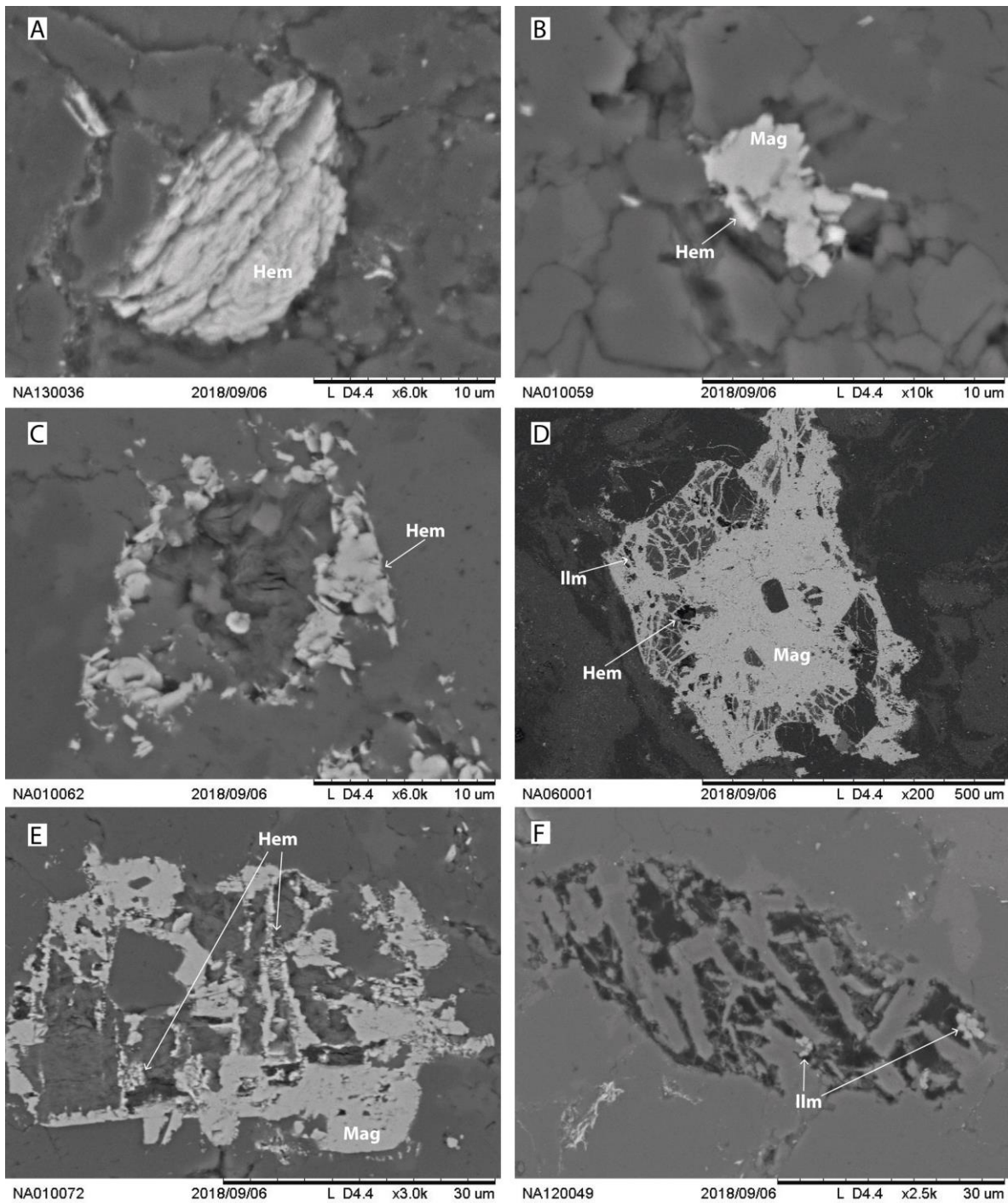


Figura 16. Imágenes de microscopio electrónico de barrido, (electrones retro-dispersados) de óxidos de Fe observados en muestras de la Fm. Nazas. Volcánicas en NA01., Volcanosedimentarias en NA06, y NA13 Sedimentarias en NA12. Mag – Titanomagnetita, Hem – Hematita, Ilm – Ilmenita. A) Hematitas de crecimiento; B) Magnetitas con bordes de Hematitas; C) Hematitas de reemplazamiento, bordes de alteración; D), E), F) Texturas esqueléticas para granos de Magnetita con reemplazamiento por oxidación diurética de Hematita e Ilmenita.

4.2 Anisotropía de Susceptibilidad Magnética

Las mediciones de la anisotropía de la susceptibilidad magnética (AMS, por sus siglas en inglés) permiten hacer determinaciones sobre las fábricas magnéticas de los flujos y depósitos estudiados. Especialmente para los flujos de lavas, como es el caso aplicable para las rocas de la Formación Nazas, en los modelos se espera que el eje máximo de susceptibilidad (K_1) coincida con la dirección de flujo, mientras que el eje mínimo de susceptibilidad (K_3) sea perpendicular al plano del flujo (Cañon-Tapia et al., 1997; Lenhardt et al., 2013; Tomezzoli et al., 2017). Las mediciones de AMS fueron utilizadas en este estudio como una herramienta adicional o complementaria a los análisis de paleomagnetismo y mineralogía magnética, y se centraron los análisis en lograr hacer correlaciones a las direcciones de flujo que fueron medidas en el campo.

Los resultados de AMS de las rocas volcánicas de la Formación Nazas, se muestran en la **Tabla 4** y en el **Anexo 3**. Se analizaron 8 sitios distintos en la localidad de Villa Juárez, de los cuales se pudieron utilizar 7 para las mediciones medias realizadas (**Figura 17**) correspondiendo a litologías principalmente de rocas volcánicas, 5 sitios correspondientes a flujos volcánicos de composición andesítica principalmente, 1 sitio correspondiente a secuencias volcanoclásticas de composición tobácea y 1 sitio de composición volcanosedimentaria. Los valores de anisotropía magnética media por sitio (K_m) varían desde $1.95E-05$ hasta $1.59E-04$ con valores medios de $7.36E-05$. Los valores de Foliación (F) y Lineación (L) tienen un valor medio de 1.019 y 1.006 respectivamente.

En los análisis individuales por sitio la dispersión de los datos es considerable, lo que hace que las definiciones de los elipsoides de susceptibilidad sean difíciles de interpretar, como se puede ver en las gráficas de proyección estereográfica de igual área del **Anexo 3**. Las formas proladas y obladas de los elipsoides no son fáciles de ver en los análisis individuales de cada sitio. Sin embargo, el agrupamiento de los datos, mejora y se puede interpretar un elipsoide prolado mejor definido en el elipsoide de presentación conjunta de las medias de los sitios (**Figura 17**). Se ven las direcciones de susceptibilidad máxima (K_1), intermedia (K_2)

y mínima (K3), con un agrupamiento centrado en los valores de K3, mientras que los valores de K1 y K2, se encuentran distribuidos en lo que se puede atribuir al plano de foliación magnética. Dicho plano de foliación magnética estaría definido por la forma de guirnalda que generan los valores de K1 y K2, con un rumbo de 311.6° y un buzamiento de 67.7°.

Los resultados de AMS aunque no tienen buenos agrupamientos, si muestran en general una relación que permite definir un plano de foliación magnética, cuyo rumbo es de 131.6° y un buzamiento de 67.7°. Este resultado que es concordante con los datos obtenidos en campo respecto a la dirección, donde las direcciones de buzamiento en todos los casos son NE. Sin embargo, los valores de buzamiento observados en el plano de foliación magnética son mayores a los planos de estratificación medidos en campo, los valores promedio de las mediciones en el campo son de 20.1° mientras que el valor encontrado en el plano de foliación magnética es de 67.7°. Además, es importante señalar que las observaciones de los datos de AMS permiten determinar que hay evidencia débil de una fábrica tectónica por el paralelismo entre el plano axial del pliegue donde se realizó el muestreo y el plano de foliación magnética. Pero es poco probable que esto afecte los datos paleomagnéticos, lo que se traduce en que no hay evidencia de deformación excesiva de la secuencia estudiada. Por lo anterior, el AMS permite corroborar los datos de campo, que serán utilizados como correcciones estructurales de los datos de paleomagnetismo.

Tabla 4. Resultados de AMS para los sitios de la Formación Nazas en la localidad de Villa Juárez

SITIO	K1	K2	K3	Km	N	L	F	Pj	T
NA01	284.9/43.7	161.4/30.0	50.7/31.4	5.16E-05	5	1.016	1.018	1.034	0.038
NA02	13.6/60.7	113.2/5.4	206.2/28.7	3.70E-05	5	1.044	1.024	1.07	-0.284
NA04	136.2/13.9	353.4/72.8	228.7/10.0	1.04E-04	5	1.004	1.004	1.008	0.022
NA05	299.7/43.2	85.7/41.5	192.2/17.8	1.95E-05	5	1.018	1.022	1.04	0.104
NA06	311.7/0.7	43.6/68.4	221.4/21.6	4.08E-05	5	1.026	1.01	1.037	-0.446
NA07	80.6/59.6	327.6/12.9	230.8/27.0	1.04E-04	5	1.015	1.039	1.057	0.433
NA08	349.1/7.0	88.6/53.4	254.1/35.7	1.59E-04	5	1.02	1.024	1.045	0.095
MEDIA	334.0/42.9	112.3/38.8	221.6/22.3	7.36E-05	7	1.006	1.019	1.026	0.499

K1, K2, K3, representan las orientaciones de los ejes principales de susceptibilidad. N, corresponde al número de especímenes analizados y en la media al número de sitios utilizados para calcularla. Km, susceptibilidad magnética media por sitio. L, lineación. F, Foliación. Pj, T, corresponden a las relaciones de anisotropía.

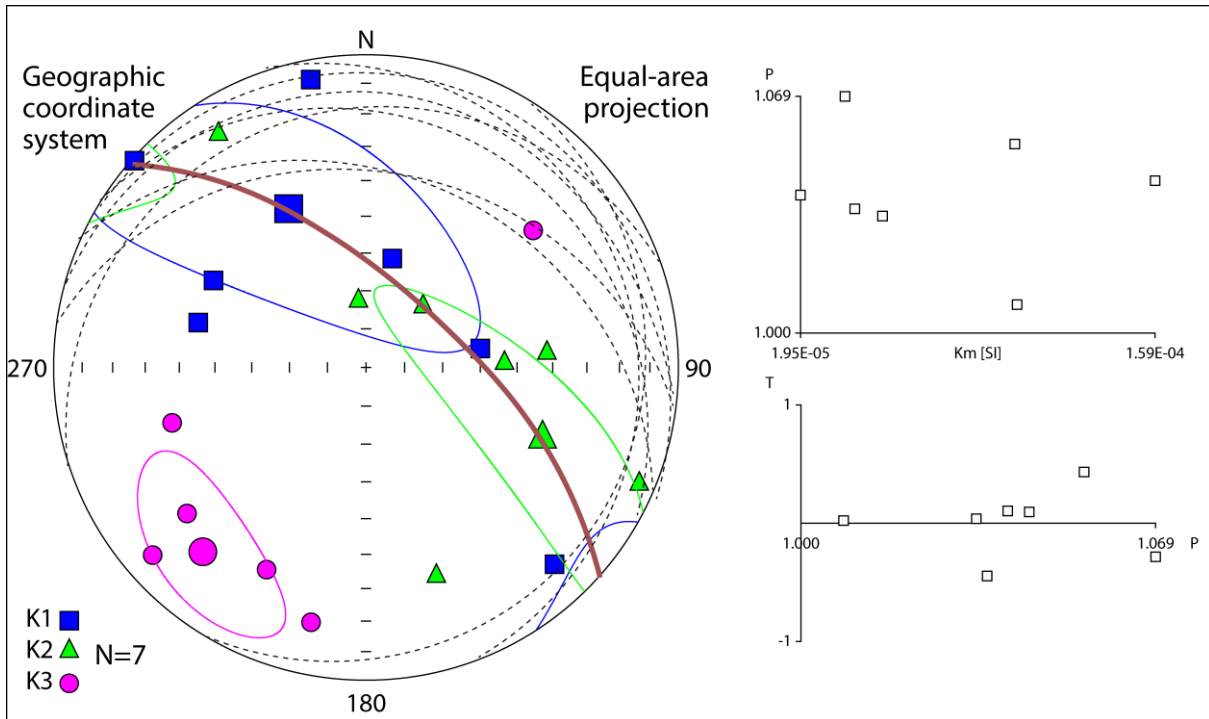


Figura 17. Gráfico de proyección de igual área, con proyección en el hemisferio inferior, donde se representan las medias de los resultados de AMS para los sitios analizados. Acompañado de dos gráficas de representación de las relaciones de anisotropía: grado de anisotropía (P) vs. Susceptibilidad magnética (Km), y parámetro de forma (T) vs. Grado de anisotropía (P). La línea roja representa el plano estimado de foliación magnética que se puede predecir con los datos. Las líneas punteadas representan los planos de estratificación que se tomaron en el campo para la localidad de Villa Juárez (ver Tabla 5).

4.3 Paleomagnetismo

Los análisis de paleomagnetismo se realizaron sobre las dos localidades de trabajo: Villa Juárez y Charcas. Los estudios paleomagnéticos se centraron en aislar el componente paleomagnético característico (ChRM) de cada muestra, aplicando los métodos de análisis de componentes principales (PCA) (Kirschvink, 1980). Dependiendo del sitio, las componentes magnéticas de los sitios analizados se dividen en patrones multivectoriales, generalmente de dos componentes y en patrones univectoriales. Esto se evidencia en los diagramas ortogonales de desmagnetización (o de Zijderveld) empleados en el análisis de componentes principales (**Figura 18**). En la **Tabla 5** se presentan los resultados de las magnetizaciones aisladas, junto con los rangos de medición, en grados Celsius $^{\circ}\text{C}$ o microteslas (mT), dependiendo si el proceso de desmagnetización fue termal o por campos

alternos, acompañados de los valores medios de cada sitio y los parámetros estadísticos correspondientes.

Tabla 5. Resultados de paleomagnetismo de la Formación Nazas en las áreas de Villa Juárez y Charcas.

Localidad	Sitio	Muestras	Litología	Paleohorizontal		AF/Termal	In Situ		Corrección Estructural		□ 95	K
				Rumbo/Buzamiento	N n		Dec.	Inc.	Dec.	Inc.		
Villa Juárez	NA01*		V	299/07	13 11	450° - 680°	246.9	50.4	252.1	56.3	7.5	37.70
	NA02*		V	299/07	10 10	450° - 680°	270.4	61.9	282.7	65.4	4.2	130.89
	NA03		V	299/07	8 8	450° - 680°	339.2	17.4	358.4	12.5	4.9	127.83
	NA04		SV	299/07	7 6	400° - 680°	1.9	34.4	6.5	28.4	10.9	38.76
	NA05		V	030/12	7 5	500° - 680°	17.8	8.7	19.9	12.5	15.1	26.64
	NA06		SV	252/19	6 6	400° - 680°	7.0	29.5	5.0	11.3	4.7	204.56
	NA07		SV	300/21	12 12	100° - 680°	320.8	45.0	352.6	34.1	6.5	46.06
	NA08		V	340/13	5 4	100° - 680°	354.3	41.6	15.6	37.5	8.7	112.31
	NA09		V	340/13	7 7	40 - 90	15.6	25.8	0.8	15.6	6.2	110.00
	NA10		SV	340/13	8 7	400° - 680°	283.3	19.4	23.7	24.2	5.0	147.98
	NA11		SV	340/13	8 7	40 - 90	12.4	35.7	14.5	11.7	7.5	101.50
	NA12		SV	278/38	3 3	100° - 680°	356.0	26.4	357.8	-9.8	15.5	64.30
	NA13		SV	293/38	6 6	500° - 680°	0.5	28.8	1.8	14.7	4.2	96.60
	NA14		V	283/13	7 6	50 - 90	14.5	12.8	3.7	10.6	3.1	69.10
	NA15		SV	283/13	7 7	0 - 90	16.7	2.5	10.9	9.6	3.9	74.90
	NA16		V	283/13	8 7	0 - 90	15.2	3.9	16.8	15.2	4.8	57.90
	NA17		V	283/13	5 4	450° - 680°	15.1	32.4	15.6	19.4	7.2	163.43
Villa Juárez	MEDIA				17 15		0.2	26.4	8.2	16.7	6.8	32.31
Charcas	RA-I	RA1a6	V	311/20	17 16	0 - 90	313.0	50.1	336.0	47.4	5.7	42.91
	RA-II	RA6a12	V	311/20	22 22	0 - 90	358.2	29.3	4.2	15.3	7.9	16.44
	RA-III*	RA13a19	V	311/20	8 7	0 - 90	279.4	30.7	291.9	41.2	26.0	6.36
	RA-IV	RA20a24	V	311/20	17 13	30 - 70	347.7	4.3	347.4	-6.0	9.0	21.99
	CHA-3 (Nova,2016)			275/15	5 5	40 - 90	10.9	3.2	11.2	18.1	5.1	223.3
	CHA-4 (Nova,2016)			275/15	6 6	50 - 90	25.0	-5.5	25.1	8.6	8.2	68.2
	CHA-5 (Nova,2016)			275/15	6 6	50 - 90	27.6	-10.4	27.3	3.5	6.8	98.8
	CHA-6 (Nova,2016)			275/15	5 4	50 - 90	26.5	-2.9	26.9	11.1	8.2	125.0
	CHA-9 (Nova,2016)			275/15	6 5	0 - 90	13.5	-14.2	13.2	0.6	8.5	82.1
	CHA-10 (Nova,2016)			275/15	5 5	0 - 90	20.9	-2.8	21.2	11.7	10.6	52.9
Charcas	MEDIA				10 8		14.4	0.1	15.0	8.1	10.8	27.16

N= número total de especímenes analizadas, n = número de especímenes utilizados en los cálculos (donde se aisló componente y se utilizó en el promedio del sitio). Dec: Declinación, Inc: Inclinación. V: Ígneas Volcánicas, SV: Volcanosedimentarias. *Representa los sitios que fueron excluidos de los cálculos de media de cada localidad y de la Formación Nazas en conjunto, por valores estadísticos no aceptables. Dentro de los datos, se incluyen los resultados de Nova, (2016) para la localidad de Charcas, que fueron utilizados para el cálculo de la media de la Formación Nazas.

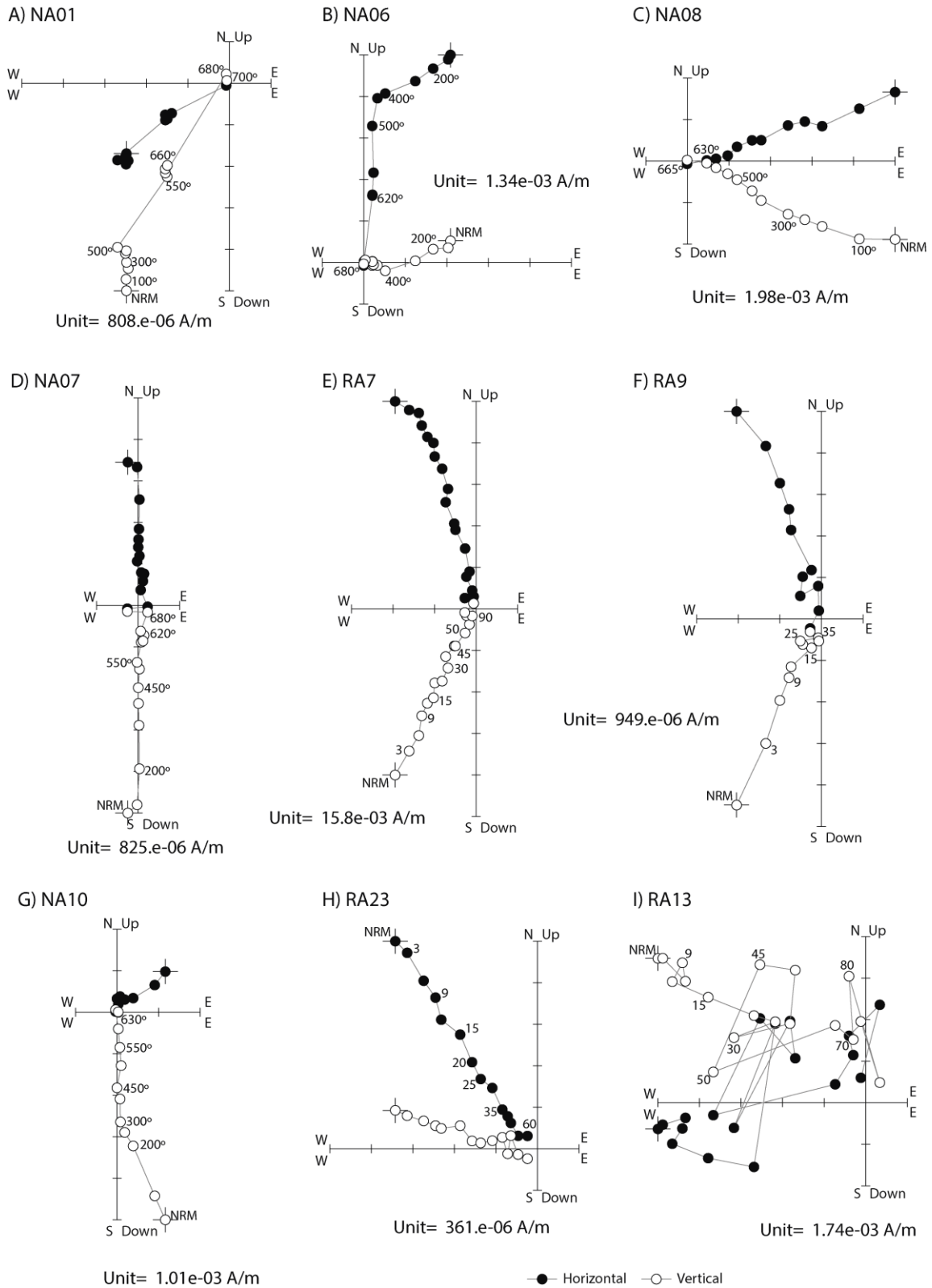


Figura 18. Diagramas de Zijderveld representativos para la Fm. Nazas. Los números representan las temperaturas ($^{\circ}\text{C}$) o coercitividads (mT) de las mediciones de remanencia magnética. A,B,C,D,G para el sitio de Villa Juárez. E,F,H, para el sitio de Charcas. I, caso donde es imposible determinar componentes.

En la localidad de Villa Juárez se estudiaron 17 sitios diferentes, sobre todos los sitios se lograron hacer estudios de paleomagnetismo, aunque dos sitios (NA01, NA02) se descartaron de los resultados finales, por su alta dispersión y remagnetización, como se explica más adelante. Los sitios de esta localidad se pueden dividir en dos tipos diferentes: por un lado, sitios que presentan patrones multivectoriales (**Figura 18A-B**) donde la componente característica (ChRM) se encuentra a partir de los 450°C aproximadamente, con temperaturas de bloqueo distribuidas entre 400 y 650°C para las desmagnetizaciones termal y mayor a los 20mT para los estudios por campos alternos. A este tipo de comportamiento corresponden los sitios, NA01, NA02, NA04, NA06, NA10, NA13, NA14 y NA15, en dichos sitios el componente aislado fue el ChRM ya que en el componente secundario presentaba mayor dispersión en los datos y no era posible aislarlo en algunos casos, además de que su relevancia paleomagnética es menor. Por otra parte, existen sitios con patrones principalmente univectoriales (**Figura 18C-D-E**), donde la ChRM aislada corresponde a todas o la mayoría de los pasos de desmagnetización. A este tipo corresponden los sitios, NA03, NA05, NA07, NA08, NA09, NA11, NA12, NA16 y NA17. Para los sitios de Villa Juárez la intensidad de magnetización remanente natural (NRM) esta dividida en dos, en primer lugar, sitios con NRM alta, valores en el rango entre ~ 1 y $32 \cdot 10^{-3}$ A/m, y por último sitios con NRM bajos en el rango $< 1 \cdot 10^{-3}$ A/m, razón por la que los métodos de desmagnetización utilizados son tanto termal como campos alternos. La dispersión angular dentro de cada sitio es relativamente baja, así como la dispersión entre sitios.

Aunque para todos los sitios de la localidad de Villa Juárez, se encontraron ChRM y se pudo medir una dirección media por sitio, como se observa en la **Tabla 5**, en los resultados finales del cálculo de la media de la localidad, se excluyeron los resultados de los sitios NA01, NA02, cuyos resultados no eran concordantes con el resto de sitios, lo que se puede explicar como una magnetización secundaria que alteró dichos sitios o un comportamiento anómalo del campo geomagnético. Ambos presentan valores medios similares, su localización en el terreno es muy próxima y su composición es la misma de tipo andesítica.

En la localidad de Charcas, se tomaron 24 muestras distintas agrupadas en 4 flujos volcánicos diferentes. Los resultados de la desmagnetización de los sitios de esta localidad tienen un comportamiento casi univectorial con coercitividads entre 15 y 90 mT en todos los casos (**Figura 18**), en donde la ChRM definida incluye la mayoría de los pasos de desmagnetización. Para los sitios de Charcas la intensidad de magnetización remanente natural (NRM) está dividida en dos al igual que en la localidad de Villa Juárez, en primer lugar, sitios con NRM alta, valores en el rango entre ~ 1 y $2 \cdot 10^{-3}$ A/m, y por último sitios con NRM bajos en el rango entre 0.6 y $1 \cdot 10^{-3}$ A/m, razón por la que los métodos de desmagnetización utilizados son tanto termal como campos alternos, con el fin de utilizar el método más pertinente en cada uno de los sitios según el rango de intensidad que presentan las muestras.

Los resultados de la desmagnetización de los sitios de la localidad de Charcas muestran agrupaciones y valores estadísticos aceptables para 3 de los 4 flujos estudiados. Los valores estadísticos del flujo 3 son muy altos en α_{95} y bajo k , lo que también es explicable por el bajo número de especímenes sobre los cuales se pudo determinar la ChRM, ya que en muchos casos los especímenes del flujo 3 presentaban diagramas de Zijdeveld muy aleatorios sobre los cuales no era posible realizar ningún aislamiento de ChRM (**Figura 18**). En consecuencia, los datos de la media medida para la localidad de Charcas excluyen el resultado del flujo 3. Asimismo, los resultados del flujo 1 con dirección NW se excluyeron de los cálculos finales, porque presentan una diferencia mayor a dos desviaciones estándar de la media. Para complementar los datos obtenidos en este estudio, en los cálculos de la media de la localidad se integraron los resultados de Nova (2016) en la misma localidad (**Tabla 5**). Notamos que la inclinación media para rocas ígneas volcánicas es de 23.6° y la inclinación media para rocas volcanosedimentarias es de 21.2° . Por ello es posible concluir que la inclinación media no está afectada por error de inclinación (*inclination shallowing*; Tauxe y Kent, 2004).

Se realizó la prueba del pliegue, siguiendo los parámetros del DT-Test (Enkin, 2003) utilizando en la localidad de Villa Juárez los 17 sitios de este estudio y en Charcas, se unieron los datos de este estudio con los presentados por Nova (2016) (**Figura 19**). Los resultados indican que el mejor ajuste de los datos es con una horizontalización (Unfolding) de 1.58 ± 3.28 para Villa Juárez y 5.79 ± 3.36 en Charcas, y que por consiguiente los resultados son indeterminados en ambos casos. Aunque los resultados de dicha prueba no permiten obtener información adicional sobre la temporalidad de la magnetización, los resultados de mineralogía magnética, explicados anteriormente, y los estudios previos en localidades aledañas permiten sugerir la temporalidad primaria de la magnetización.

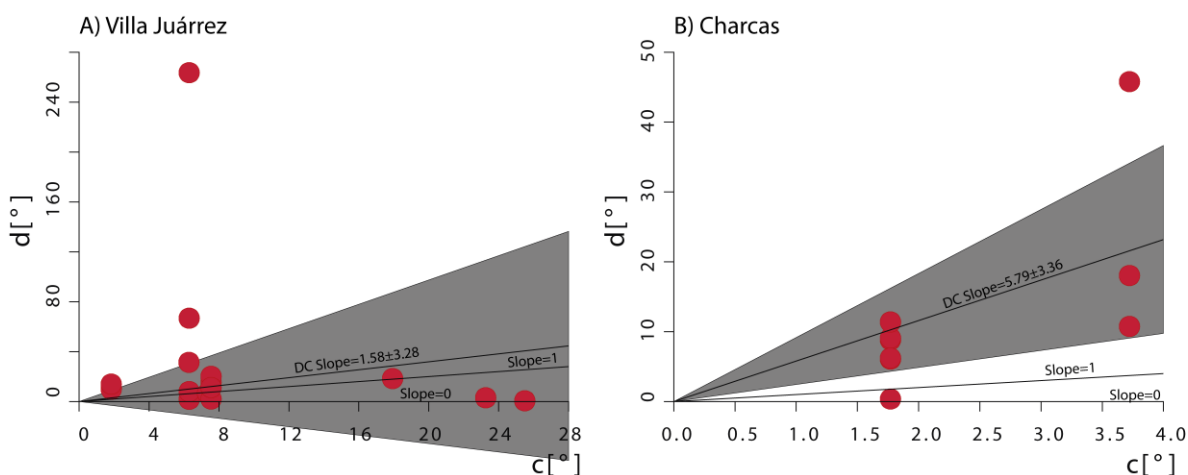


Figura 19. Resultados de la prueba del pliegue, DT-Test (Enkin, 2003). A) Para la localidad de Villa Juárez. B) para la localidad de Charcas, utilizando en conjunto los datos de este estudio y los presentados por Nova, (2016). c , en el eje horizontal, representa el ángulo entre la dirección media in situ y la dirección media corregida estructuralmente por la relación angular entre las direcciones medias in situ y corregidas por buzamiento. d , en el eje vertical, es una proyección del arco entre las direcciones medias in situ y la dirección media in situ sobre el arco usado para calcular el valor c . El área sombreada representa la región del 95% de confianza.

Los datos de paleomagnetismo de ambas localidades de la Fm. Nazas presentaron resultados consistentes en conjunto, en la localidad de Charcas se incluyeron los datos de Nova (2016). Lo anterior, permitió que se generaran agrupaciones de medias por localidad con valores estadísticos aceptables, tal como se evidencia en la **Tabla 5** y la **Figura 20A-B**, donde se puede evidenciar que el agrupamiento de los datos, previa exclusión de los sitios mencionados anteriormente, es buena en cada caso. Además, es evidente que los resultados de ambas localidades son concordantes entre sí con un polo ubicado en Latitud

= 66.8°, Longitud = 38.7°, A95 = 9.6 para Charcas y un polo en Latitud = 72.4°, Longitud = 49.4°, A95 = 5.1 para Villa Juárez.

Finalmente, con las medias paleomagnéticas y los valores de localización geográfica actual de cada sitio, se generaron mediciones de polos geomagnéticos virtuales (VGP) por sitio (**Tabla 6**). Con lo anterior, se logró determinar un paleopolo para la Formación Nazas, con una Latitud = 70.6°, Longitud = 45° y un parámetro estadístico A95 = 4.5, lo que es ilustrado en la **Figura 21**.

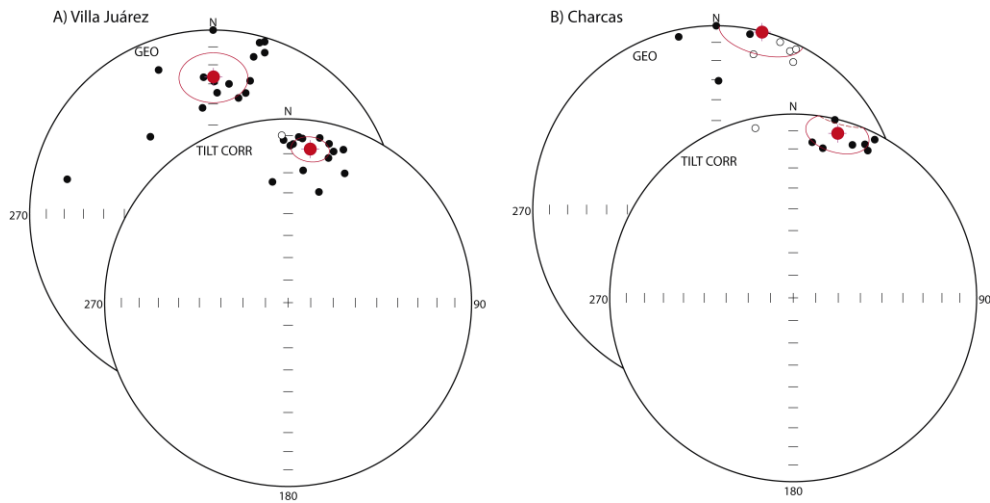


Figura 20. Diagramas de igual área, para los resultados de paleomagnetismo de la Fm. Nazas en las localidades de A) Villa Juárez y B) Charcas. Los resultados se presentan en coordenadas geográficas, in situ de cada sitio (GEO) y en corrección estructural (TILT CORR). Los círculos rojos representan las direcciones medias de cada caso y su respectivo cono de confianza ≈ 95 .

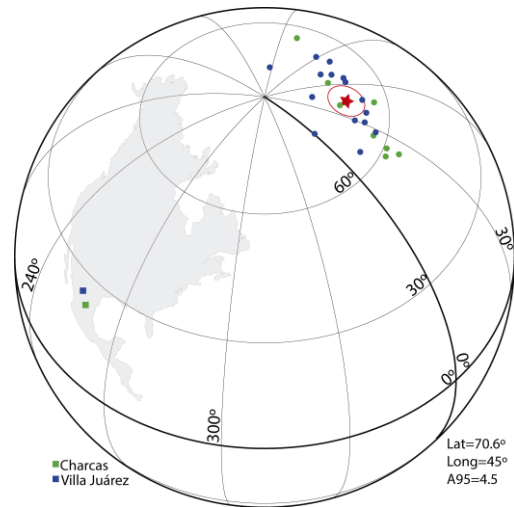


Figura 21. Polos geomagnéticos virtuales, VGP, para cada sitio de la Fm Nazas, en verde los correspondientes a la localidad de Charcas y en azul los de la localidad de Villa Juárez. En rojo el paleopolo calculado para la Fm. Nazas, con su respectivo círculo de confianza A95. Los cuadrados representan las localidades de muestreo, con una proyección de la configuración actual de Norte América.

Se tomo el método de la envolvente de A95 mediante el cálculo de los valores $A95_{max}$ y $A95_{min}$ definidos por Deenen et al. (2011) para analizar la variación paleosecular (PSV, por sus siglas en inglés) del polo calculado. Los resultados son 11.37° y 4.85° respectivamente. Se puede concluir que la dispersión angular entre sitios indica que la variación paleosecular está promediada en ambas localidades, aunque el A95 del polo está en el límite inferior del $A95_{min}$ encontrado.

Tabla 6. Resultados de paleomagnetismo de la Formación Nazas en las áreas de Villa Juárez y Charcas. Con los cuales se hizo la medición de los Polos Geomagnéticos Virtuales (VGP) y la paleolatitud de cada sitio.

Sitio	Corrección Estructural		□ 95	Latitud	Longitud (E)	VGP			
	Dec.	Inc.				Latitud	Longitud (E)	dp	dm
NA01	252.1	56.3	7.5	25.49	256.39	2.1	206.8	7.79	10.81
NA02	282.7	65.4	4.2	25.50	256.39	26.8	208.8	5.52	6.81
NA03	358.4	12.5	4.9	25.50	256.39	70.8	91.2	2.53	4.98
NA04	6.5	28.4	10.9	25.50	256.38	79.0	44.7	6.56	11.96
NA05	19.9	12.5	15.1	25.49	256.38	63.0	28.2	7.82	15.37
NA06	5.0	11.3	4.7	25.50	256.38	69.6	61.9	2.42	4.76
NA07	352.6	34.1	6.5	25.52	256.38	80.3	123.0	4.25	7.43
NA08	15.6	37.5	8.7	25.51	256.37	75.0	0.7	6.02	10.23
NA09	0.8	15.6	6.2	25.51	256.37	74.4	73.7	3.27	6.37
NA10	23.7	24.2	5.0	25.51	256.38	64.3	11.9	2.86	5.34
NA11	14.5	11.7	7.5	25.51	256.37	66.0	38.6	3.86	7.61
NA12*	357.8	-9.8	15.5	25.53	256.36	69.3	82.6	7.92	15.67
NA13	1.8	14.7	4.2	25.54	256.36	71.9	70.6	2.20	4.30
NA14	3.7	10.6	3.1	25.51	256.36	69.5	65.8	1.59	3.14
NA15	10.9	9.6	3.9	25.51	256.36	66.8	47.7	1.99	3.94
NA16	16.8	15.2	4.8	25.52	256.36	66.1	31.4	2.53	4.92
NA17	15.6	19.4	7.2	25.52	256.36	68.5	30.0	3.92	7.51
RAFLUJO1	336.0	47.4	5.7	23.13	258.09	67.9	187.2	4.80	7.39
RAFLUJO2	4.2	15.3	7.9	23.13	258.09	74.1	62.7	4.16	8.11
RAFLUJO3	291.9	41.2	26.0	23.13	258.09	28.1	183.5	19.27	31.65
RAFLUJO4*	347.4	-6.0	9.0	23.13	258.09	66.5	111.2	4.53	9.03
CHA-3 (Nova,2016)	11.2	18.1	5.1	23.10	258.83	72.5	39.2	2.74	5.29
CHA-4 (Nova,2016)	25.1	8.6	8.2	23.10	258.83	59.3	22.8	4.16	8.26
CHA-5 (Nova,2016)	27.3	3.5	6.8	23.10	258.83	56.0	23.8	3.40	6.80
CHA-6 (Nova,2016)	26.9	11.1	8.2	23.10	258.83	58.7	18.7	4.21	8.31
CHA-9 (Nova,2016)	13.2	0.6	8.5	23.10	258.83	63.8	47.6	4.25	8.50
CHA-10 (Nova,2016)	21.20	11.70	10.60	23.10	258.83	63.3	25.6	5.46	10.76
Fm. Nazas (MEDIA)						70.6	45.0	4.50	

Los sitios en Gris representan los sitios excluidos de los cálculos, explicados en la Tabla 5, para los cuales los VGP tampoco se tuvieron en cuenta. *Son los sitios cuya Inclinación era negativa, y para efectos de los cálculos de VGP se transpusieron a valores positivos. Dec: Declinación, Inc: Inclinación.

5. DISCUSIÓN

5.1 Polos de Referencia para el Jurásico

La premisa utilizada para analizar los resultados paleomagnéticos de una determinada localidad de estudio está basada en el entendimiento de la temporalidad de su magnetización y la relación de los datos con la configuración tectónica del área estudiada. Años de trabajo de varios autores y la evolución de varios conceptos asociados a los registros paleomagnéticos han permitido obtener curvas de vagabundeo polar aparente para los cratones estables, a partir de las cuales se puede comparar los datos de una determinada localidad con sus direcciones esperadas calculadas con base a un polo de referencia.

Respecto al Jurásico Temprano a Medio, los datos existentes sobre localidades tipo para el cratón de Norte América son relativamente pocos. No se cuenta con un polo paleomagnético de referencia para esta edad en rocas de México, a pesar de que gran parte del territorio es asociable a dicho cratón. Reconstrucciones de curvas de vagabundeo polar aparente como las realizadas por Torsvik et al. (2012) o el reagrupamiento de los datos existentes que presenta Nova (2016) tienen grandes ventanas de tiempo de incertidumbre para el Jurásico. Los polos disponibles de Norte América con los que se pueden comparar los datos del centro de México son por ejemplo los de Corral Canyon y Canelo Hills en Arizona (Kluth et al., 1982; May et al., 1986). Dichas localidades presentan valores estadísticos confiables y sus relaciones estratigráficas han sido bien definidas con estudios posteriores y son de aproximadamente la misma edad que las rocas de la Formación Nazas estudiadas (ca. 175 Ma).

En realidad, la curva de vagabundeo polar aparente de Norte América es controversial (Hagstrum 1993; Kent y Irving, 2010). La controversia surge de discrepancias entre datos del noreste de Norte América (e.g., van Fossen y Kent, 1990). Por lo anterior, se hace necesario poder incluir datos para el Jurásico en el Territorio Mexicano, lo cual fue uno de

los objetivos principales de este estudio. Los datos presentados para la Formación Nazas serán analizados respecto a datos validados para el arco Cordillerano en Norte América, comparándolos con las localidades de Corral Canyon y Canelo Hills en Arizona. Con el fin de contribuir en el entendimiento tectónico del Arco Nazas, discusión que se presenta en este capítulo. También se hacen comparaciones con el arco Cordillerano en Sonora (Molina-Garza y Geissman, 1999).

El estudio realizado se centró en analizar las características magnéticas y los componentes paleomagnéticos de la Formación Nazas en las localidades de Villa Juárez y Charcas. De los datos presentados en el capítulo de resultados para el análisis de la mineralogía magnética se puede concluir que la magnetización de estas rocas está dada por combinaciones de componentes ferromagnéticas que residen en hematitas principalmente y con casos en que residen en titanomagnetitas bajas en Ti. Esto se evidencia con claridad en los datos de SEM, o en los espectros de coercitividad estudiados. Sin embargo, los estudios realizados, permiten ver que el componente magnético principal corresponde a magnetizaciones de tipo primario, por ejemplo, evidenciado en los diagramas de Zijderveld de paleomagnetismo, donde se logran aislar dos componentes magnéticas. La componente de mayor estabilidad en ambas localidades no tiene parecido a una dirección observada en rocas más jóvenes como rocas del Cretácico o del Cenozoico. La dispersión angular entre sitios indica que la variación paleosecular está promediada en ambas localidades y la dirección media representa el campo geomagnético promedio de acuerdo con la hipótesis del dipolo geocéntrico axial. Con la inclinación media calculamos una paleolatitud al tiempo de depósito de la Formación Nazas de $8.5^{\circ} \pm 1.75^{\circ}N$ para la localidad de Villa Juárez y $4.07^{\circ} \pm 1.45^{\circ}N$ para Charcas (**Tabla 7**).

En los resultados de la anisotropía de la susceptibilidad magnética, el plano de foliación magnética tiene direcciones correlacionables con los datos de campo y con el rumbo del eje del pliegue principal sobre el que se encuentran los sitios de trabajo. Los datos de anisotropía de la susceptibilidad magnética arrojan resultados concordantes con las

estructuras antes mencionadas, lo que sugiere que el plano de foliación magnética es un proxi adecuado para el clivaje del plano axial.

Respecto al paleomagnetismo, las localidades estudiadas presentan resultados favorables de desmagnetización, lo que permitió realizar el análisis de componentes medias por sitio y posteriormente el calculo de VGP'S. La distribución de VGP'S es ligeramente alargada en la dirección este-oeste; con dichos VGP fue posible encontrar un polo paleomagnético promedio para toda la Formación Nazas (**Figura 21**). Los resultados observados, antes mencionados, tienen que ser comparados con los resultados esperados respecto al polo de referencia de Norte América para la edad de la formación (promedio en 175Ma).

Como se mencionó anteriormente, no se cuenta con un polo de referencia que sea totalmente confiable para comparar los datos de México, por lo que se decidió trabajar la misma metodología de calculo de VGP y posterior determinación de un polo paleomagnético para los resultados de las localidades de Corral Canyon y Canelo Hills en Arizona (Kluth et al., 1982; May et al., 1986). Lo anterior con el fin de reducir los errores analíticos que se pueden ver introducidos al comparar polos obtenidos con metodologías diferentes. Los análisis de VGP para las localidades de referencia se presentan en la **Figura 22** y el **Anexo 4**. A partir de dichos análisis fue posible encontrar el polo de referencia con el cual se compararán los resultados de la Formación Nazas. Para Corral Canyon el polo paleomagnético publicado corresponde a Latitud=62°, Longitud=115.3°, A95=6.1 y para Canelo Hills es de Latitud=62.6°, Longitud=131.2°, A95=6.3 (**Figura 22**). A estos polos se les asignan unas edades de 172.5 (± 5.8) y 175-179, respectivamente. Los resultados de la unión de los VGP de estas dos localidades generan un polo paleomagnético de referencia de Latitud=62.6°, Longitud=124°, A95=4.4 (**Figura 22C**).

5.2 Rotaciones de Eje Vertical

Posteriormente, se realizó la comparación de los resultados esperados para la Formación Nazas, a partir del polo de referencia calculado, con los resultados observados en el estudio paleomagnético (**Tabla 7**). Se calculó los parámetros R y F de acuerdo con Butler (1998) y Demarest (1983). Se observa que los resultados obtenidos para la Formación Nazas tienen rotaciones de sentido horario de $R=30.3^{\circ}\pm 4.8^{\circ}$ y $F=4.8\pm 3.9$, respecto al polo de referencia. Estas rotaciones en sentido horario son explicadas como rotaciones de eje vertical dentro de los modelos tectónicos que se explican más adelante en el texto. El valor de F indica que existen desplazamientos latitudinales promedio de 530.9 ± 647.6 Km.

Tabla 7. Valores de rotación para la Fm. Nazas calculados a partir de los valores esperados en relación con los polos de Corral Canyon y Canelo Hills.

Localidad	R	ΔR	F	ΔF	FI (Km)	ΔFI (Km)	Paleolatitud
Villa Juarez	28.2	5.7	5	6.1	560	720.5	8.5 ± 1.75
Charcas	34.3	8.7	1.9	4.9	210.6	1037.4	4.07 ± 1.45
Fm. Nazas	30.3	4.8	4.8	3.9	530.9	647.6	6.9 ± 1.60

R, Rotación, F, Flateling, FI, Desplazamiento latitudinal.

De los resultados obtenidos para la Formación Nazas respecto a las rotaciones en sentido horario encontradas en las direcciones paleomagnéticas, se puede debatir cual es el comportamiento que se ve reflejado para la evolución del Arco Nazas en el Jurásico Medio. Una interpretación es que la rotación refleja que el arco Nazas tenía una orientación diferente a la actual, una orientación este-oeste, y llegó a su orientación actual por rotación horaria. La segunda interpretación, dada la estructura, la extensión evidente del Arco Nazas, y la disposición de los componentes tectónicos conocidos, se considera que las rotaciones reflejan rotación respecto a un eje vertical en un sistema de bloques encadenados que rotan bajo condiciones relacionadas a la partición de esfuerzos asociados a subducción oblicua. Dejando descartada la posibilidad de que el Arco Nazas en toda su extensión se comporte como un solo bloque singular que rota sobre su mismo eje, ya que dicha asociación necesitaría de evidentes espacios de acomodamiento regional que no existen.

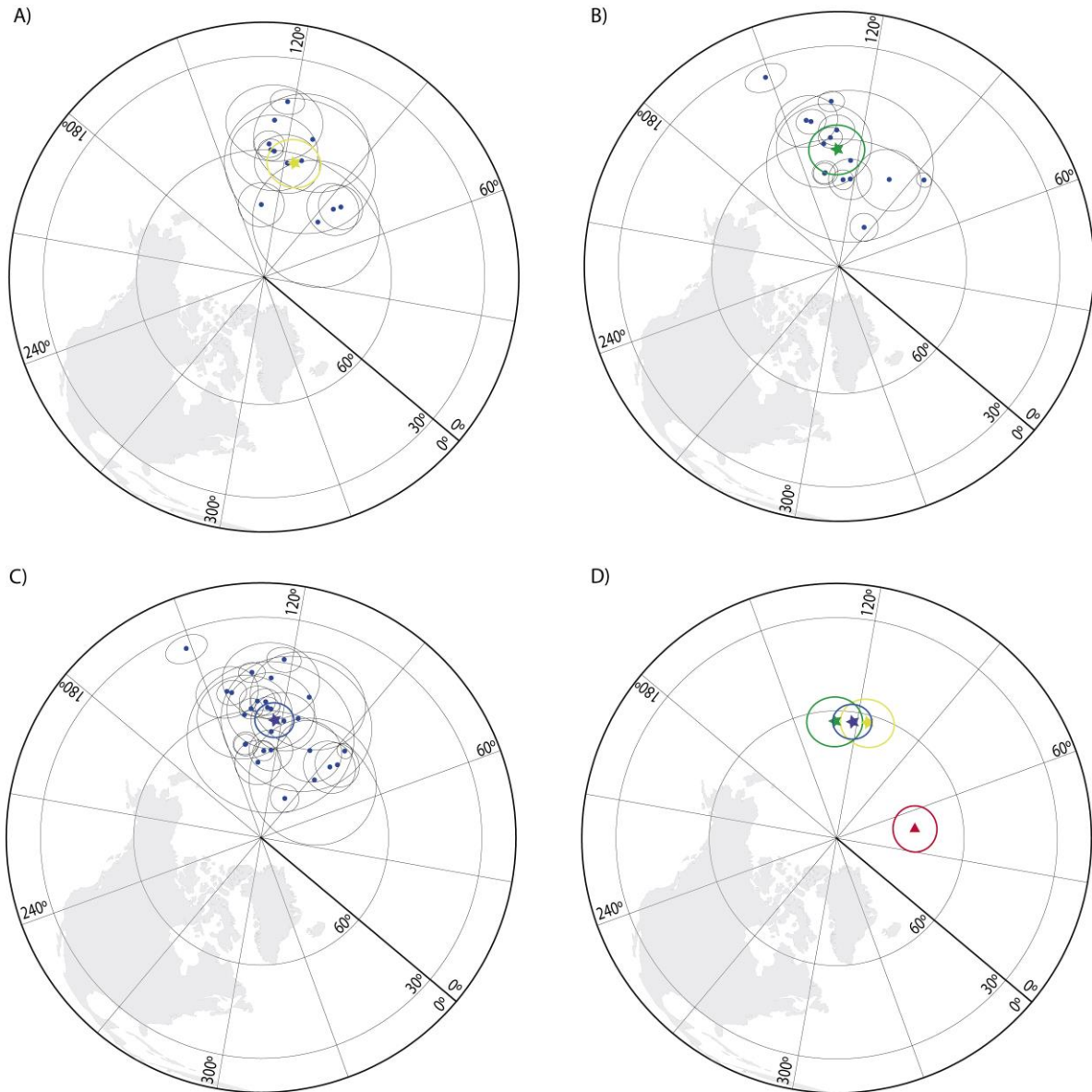


Figura 22. Análisis de VGP para los polos de Norte América existentes para ≈ 175 Ma. A) Datos para la localidad de Corral Canyon, presentados por May et al., 1986. Polo encontrado con análisis de VGP: Latitud= 62° , Longitud= 115.3° , $A95=6.1$. B) Datos para la localidad de Canelo Hills, presentados por Kluth et al., 1982. Polo encontrado con análisis de VGP: Latitud= 62.6° , Longitud= 131.2° , $A95=6.3$. C) Polo de referencia utilizado en este estudio, combinando los datos de Corral Canyon y Canelo Hills: Latitud= 62.6° , Longitud= 124° , $A95=4.4$. D) Comparación de los polos para Corral Canyon (Amarillo), Canelo Hills (Verde) y la Fm. Nazas (Rojo). En todos los casos, los puntos y estrellas representan el valor del VGP y los círculos los márgenes de error definidos por $A95$. Las proyecciones están dadas con vista desde 90° de latitud Norte.

5.3 Modelos Tectónicos

El agrupamiento tectónico regional para el Jurásico Temprano a Medio en Pangea ecuatorial occidental es sin duda un importante tema de debate, en especial por la necesidad de encontrar los espacios de acomodación adecuados sobre el borde occidental de Pangea Ecuatorial para evitar el traslape entre el norte de Sudamérica y el sur de México. Una observación clara es que la Formación Nazas y la Formación La Boca (Nova, 2016) se depositaron a latitudes cercanas al Ecuador. Se hace necesario tener en cuenta evidencias regionales claras como el movimiento del Bloque Maya (Molina-Garza et al., 1992; Godínez-Urban et al., 2011B), previo a la apertura del Golfo de México, y tener en cuenta que la Formación La Silla y el Miembro El Diamante de la Formación Todos Santos en Chiapas se depositaron también cercanas al Ecuador (Godínez-Urban et al., 2011B). Otros elementos relevantes son la ubicación de los Andes Colombianos y el Bloque de Chortis en la unión de Norte y Sudamérica.

Evidencias de la relación existente entre Arizona, México y Colombia respecto a la continuidad del sistema de arcos Jurásicos hacen proponer una configuración tectónica para 170Ma (Molina-Garza et al., PRENSA), como la que se presenta en la **Figura 23**. Es evidente la necesidad de pensar tectónicamente en los espacios de acomodamiento de los bloques de la parte sur, correspondientes a la actual Cordillera Central de Colombia y a la relación de la trinchera de subducción con la geometría del arco que se está estudiando. Ya que la configuración implica un traslape entre la Cordillera Central y el sur de México. Los resultados paleomagnéticos para el arco Cordillerano en Sonora indican también rotaciones en el sentido horario (Molina-Garza y Geissman, 1999). La latitud estimada para Sonora en el Jurásico Medio es entre 4°N y 16°N.

La relación de la placa subducida bajo el Arco Nazas se particiona en dos componentes tectónicas para mencionar, por una parte, el empuje de la placa que subduce el cual ha sido ampliamente estudiado (Engebretson et al., 1985; **Figura 24A**) y que tiene componentes de subducción de tipo ortogonal y una componente resultado de subducción oblicua que es paralela a la trinchera y promueve el desarrollo de fallamiento lateral. Y por otro lado la

relación de “*Roll-Back*” del “*Slab*” que se está subduciendo, la cual es una fuerza de empuje en sentido contrario al sentido de la subducción (Molnar y Atwater, 1978).

Por otra parte, el agrupamiento litósferico regional en especial para el período previo a la ruptura de Pangea (Jurásico Inferior) genera importantes fuerzas de carácter extensional entre Norte América y Sudamérica (Pindell y Dewey, 1982; **Figura 23**) las cuales van a dominar las relaciones de estructura y régimen tectónico del Arco Nazas. Evidencias existentes muestran que los movimientos de las Américas son en sentidos NW y SE respectivamente, como se ve en la **Figura 24B** el movimiento de Sudamérica presentado por Pindell et al. (2016). El análisis regional de las fuerzas que configuran el régimen tectónico del Arco Nazas permite hacer suposiciones sobre la causa de las rotaciones respecto de ejes verticales encontradas en los resultados de paleomagnetismo de la Fm. Nazas y otras localidades como Sonora.

En conclusión, se puede decir que el régimen tectónico está dominado por cuatro fuerzas regionales que según su importancia van a determinar la estructura del arco y su posterior rotación: 1) La fuerza extensional entre Norte y Sudamérica; 2) La extensión de la corteza en el movimiento del Bloque Maya; 3) la dirección del movimiento de la placa subducida; 4) El *Roll-Back* del *slab* en el límite convergente.

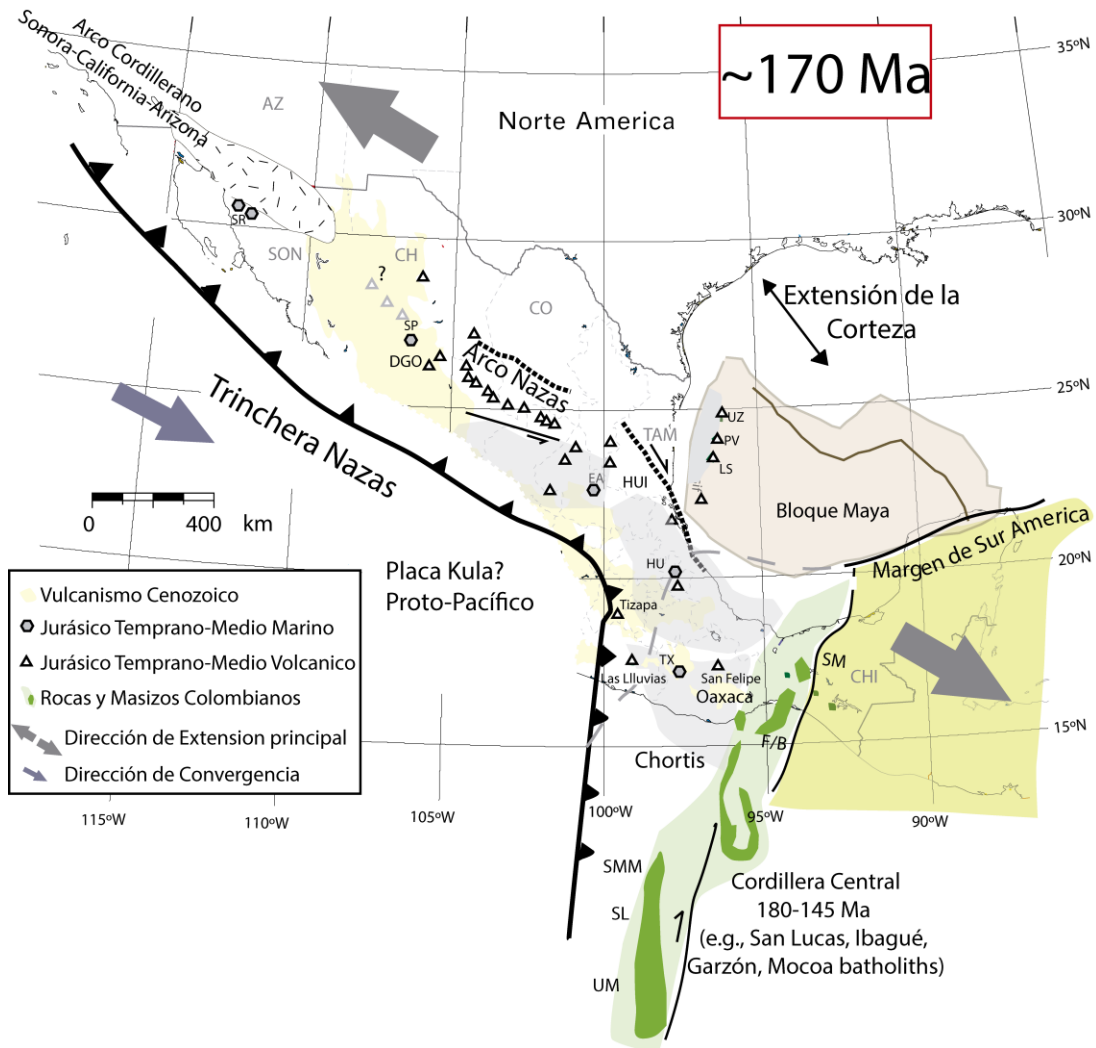


Figura 23. Reconstrucción del margen de convergencia para México a 170Ma, sobre una configuración actual del territorio. Se reconstruye el movimiento del Bloque Maya (Molina-Garza et al., 1992). Se contempla una configuración conjunta con el borde norte de Sudamérica (Bayona et al., 2006: 2010). Se ilustran direcciones de convergencia e la placa subducida (Engebretson et al., 1985), y movimientos extensionales de Norte América respecto a Sudamérica (Pindell y Dewey, 1982). Reconstrucción Modificada de Molina-Garza et al., (PRENSA).

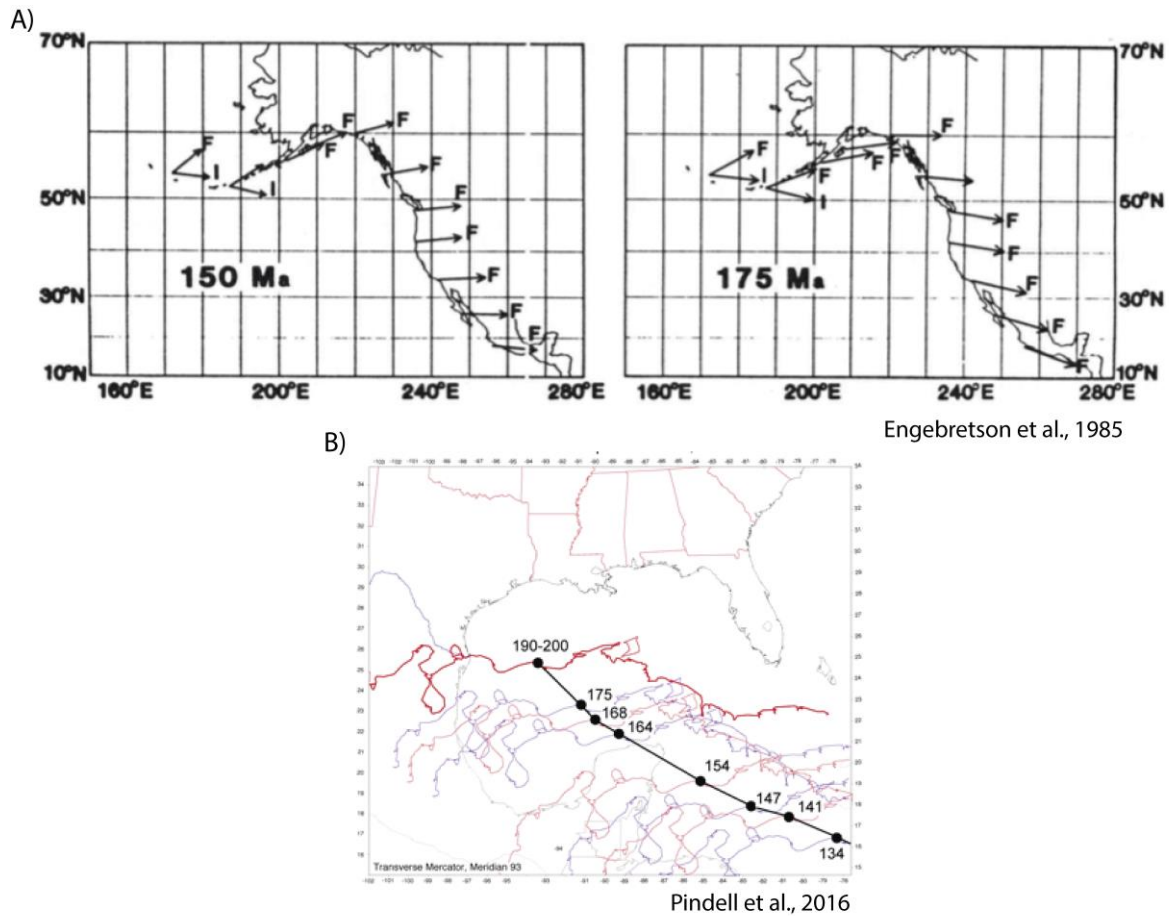


Figura 24. Ejemplos de las condiciones dominantes de movimiento por causas integradas para Norte América respecto a Sudamérica a los 170Ma. A) Vectores de velocidad de convergencia relativa de la placa oceánica respecto a la placa continental para 150 y 175Ma, se puede ver con claridad que el movimiento de dicha placa es una combinación de movimiento oblicuo y ortogonal (Modificado de Engebretson et al., 1985). B) Movimiento de Sudamérica respecto a Norte América de 200 a 134Ma, evidenciando una curva de movimiento en dirección SW (Tomado de Pindell et al., 2016).

En este trabajo se analizó la importancia relativa de las fuerzas que actúan en el margen occidental de Pangea ecuatorial respecto a los posibles modelos de movimiento necesarios para que existían rotaciones de eje vertical de carácter local, o por bloques dentro del sistema del Arco Nazas. Y se considera que la variación más importante se centra en la forma de la trinchera de subducción.

En el modelo 1, se considera una trinchera con rumbo NW, es decir una configuración similar a la actual distribución de afloramientos de la Formación Nazas desde Sonora hacia Tamaulipas. El sistema de rotaciones de ejes verticales es explicable con las fuerzas de

movimiento extensional de Norte América y con importantes componentes de subducción oblicua dextral en la placa subducida (**Figura 25A**). Los bloques internos del Arco Nazas rotan de manera horaria, lo que es concordante con los datos de paleomagnetismo.

En el modelo 2, la consideración es una trinchera de carácter horizontal, sobre menores cambios latitudinales, donde las componentes de la fuerza de subducción tienen que ser mayoritariamente ortogonales a la trinchera, y por ende el Roll-Back mucho menor en proporción (**Figura 25B**). De igual manera que en el modelo anterior, los bloques del Arco rotan de manera horaria, con la diferencia de que los bloques deben tener configuraciones mas elongadas latitudinalmente, para cumplir los grados de rotación y los espacios de acomodamiento necesarios.

En ambos modelos, se cumplen las premisas necesarias para explicar las rotaciones dentro del Arco Nazas para el Jurásico Medio, sin embargo es importante analizar la evolución de la trinchera y la relación de los espacios de acomodamiento en el prearco, además con la información existente es imposible decidir la mayor viabilidad de cada uno de los modelos, aunque basados en la información previa sobre las condiciones de la placa subducida, una configuración similar al modelo 1 sería de mayor aceptación. Estudios adicionales y complementarios son necesarios para poder entender en mejor sentido la evolución de este sistema de Arcos.

Existe, concordancia de las variaciones latitudinales presentadas para México con los datos existentes en Colombia y Ecuador para la parte norte de Sudamérica (Bayona et al., 2010). Las variaciones latitudinales de los bloques permiten suponer que la explicación similar al modelo 1 es más viable sobre la evolución de la trinchera del arco Jurásico. Finalmente es importante rescatar, que las representaciones Jurásicas para la parte Sudamericana son principalmente plutónicas (Bayona et al., 2019) y que para México los plutones encontrados son muy pocos, lo que nos puede dar indicios de las diferencias en los procesos erosivos posteriores, o las variaciones en el arco.

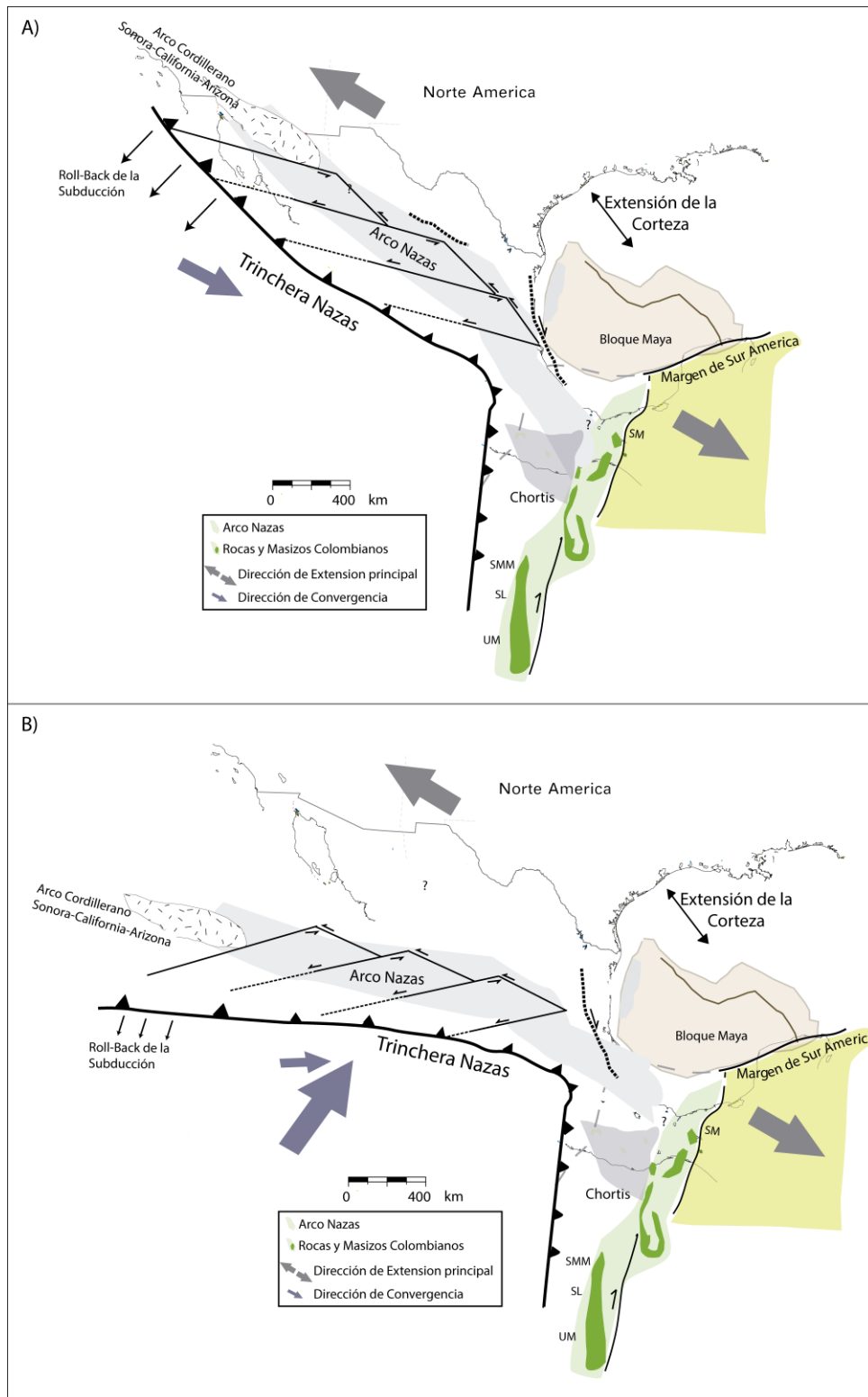


Figura 25. Alternativas tectónicas del movimiento de ejes verticales del Arco Nazas. A) Modelo 1, con una geometría de la trinchera similar a la configuración actual. B) Modelo 2. Con una geometría de la trinchera de carácter horizontal. En ambos casos se ilustran las fuerzas tectónicas regionales que influyen en el movimiento: Extensión de la corteza por movimiento del Bloque Maya, Roll-Back de la subducción, Movimiento de la placa subducida, Movimientos extensionales de Norte América y Sur América.

6. CONCLUSIONES

- La magnetización presente en la Formación Nazas es de tipo primario, se evidencia que existe magnetización óptima para realizar estudios paleomagnéticos. Donde los componentes mineralógicos están dominados por relaciones combinadas de hematitas y titanomagnetitas de tipo primario y algunas remagnetizaciones secundarias de hematita y goethita.
- Las composiciones vectoriales de las muestras estudiadas pueden ser de carácter multivectorial, de dos componentes en la mayoría de las muestras, donde la componente característica estudiada ChRM es evidenciada por encima de los 450°C o 40mT. O univectoriales donde la componente ChRM estudiada se evidencia desde los primeros pasos del proceso de desmagnetización.
- Los datos de la Formación Nazas presentan rotaciones de sentido horario, respecto a los polos de referencia para el cratón de Norte América en Corral Canyon y Canelo Hills, los cuales fueron calculados siguiendo la metodología de VGP para disminuir los errores asociados.
- Los resultados tienen valores estadísticos satisfactorios, pero los modelos propuestos necesitan de mayor evidencia tectónica para discernir entre ellos.
- La Formación Nazas presenta evidencias tectónicas importantes para el entendimiento del Arco Nazas, representadas en expresión litológica y composicional y en su distribución geográfica. Por medio de los datos paleomagnéticos estudiados en las localidades de Villa Juárez y Charcas se pudo entender el comportamiento del Arco Nazas, como un sistema de bloques con rotaciones en sentido horario. Cuya configuración tectónica está asociada a las fuerzas tectónicas de carácter regional.

REFERENCIAS

- Abrajevitch, A., Van der Voo, R., Rea, D. K., 2009. Variations in relative abundances of goethite and hematite in Bengal Fan sediments: Climatic vs. diagenetic signals. *Marine Geology*, vol. 267, no. 3-4, p. 91-206.
- Anderson, T.H., Schmidt, V.A., 1983. A model of the evolution of Middle America and the Gulf of Mexico–Caribbean Sea region during Mesozoic time. *Geol. Soc. Am. Bull.* 94, 941–966.
- Bailey, R. C. y H. C. Halls, 1984. Estimate of confidence in paleomagnetic directions derived from mixed remagnetization circle and direct observational data, *Journal of Geophysics*, Vol. 54, p. 174-182
- Barboza-Gudiño, J. R., Molina-Garza, R. S., Lawton, T. F., 2012. Sierra de Catorce: Remnants of the ancient western equatorial margin of Pangea in central Mexico. *The southern Cordillera and beyond*, vol. 25, no. 1, p. 1 – 18.
- Barboza-Gudiño, J.R., Hoppe, M., Gómez-Anguiano, M., Martínez-Macías, P.R., 2004. Aportaciones para la interpretación estratigráfica y estructural de la porción noroccidental de la Sierra de Catorce, San Luis Potosí, México: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, v. 21, p. 299–319
- Barboza-Gudiño, J.R., Orozco-Esquivel, M.T., Gómez-Anguiano, M., Zavala-Monsiváis, A., 2008, The early Mesozoic volcanic arc of western North America in northeastern Mexico. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 25, p. 49–63
- Barboza-Gudiño, J.R., Zavala-Monsiváis, A., Venegas- Rodríguez, G., Barajas- Nigoche, L.D., 2010, Late Triassic stratigraphy and facies from northeastern Mexico: Tectonic setting and provenance: *Geosphere*, v. 6, p. 621–640.

- Bartolini, C., 1998. Stratigraphy, Geochronology, Geochemistry and Tectonic Setting of the Mesozoic Nazas Formation, North-Central Mexico (Ph.D. thesis): El Paso, Texas, University of Texas, 557 p.
- Bartolini, C., H. Lang, T. Spell, 2003, Geochronology, geochemistry, and tectonic setting of the Mesozoic Nazas arc in north-central Mexico, and its continuation to northern South America, in C. Bartolini, R. T. Buffler, and J. Blickwede, eds., The Circum-Gulf of Mexico and the Caribbean: Hydrocarbon habitats, basin formation, and plate tectonics: AAPG Memoir no. 79, p. 427– 461.
- Bayona, G., Bustamante, C., Nova, G. & Salazar–Franco, A.M. 2019. Jurassic evolution of the northwestern corner of Gondwana: Present knowledge and future challenges in studying Colombian Jurassic rocks. In: Gómez, J. & Pinilla–Pachon, A.O. (editors), The Geology of Colombia, Volume 2 Mesozoic. Servicio Geológico Colombiano, Publicaciones Geológicas Especiales 36, p. 161–202. Bogotá.
- Bayona, G., Jiménez, G., Silva, C., Cardona, A., Montes, C., Roncancio, J., Cordani, U., 2010. Paleomagnetic data and K–Ar ages from Mesozoic units of the Santa Marta massif: a preliminary interpretation for block rotation and translations. *Journal of South American Earth Sciences*, vol. 29, no. 4, p. 817-831.
- Bayona, G., Jimenez, G., Silva, C., Cardona, A., Montes, C., Roncancio, J., 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*, v. 29, p. 817-831.
- Bayona, G., Rapalini, A., Costanzo-Alvarez, V., 2006. Paleomagnetism in Mesozoic rocks of the northern Andes and its implications in Mesozoic tectonics of northwestern South America. *Earth, planets and space*, vol. 58, no. 10, p. 1255-1272.
- Blickwede, J.F., 2001, The Nazas Formation: A detailed look at the early Mesozoic convergent margin along the western rim of the Gulf of Mexico Basin, in Bartolini,

- C., Buffler, R.T., and Cantú-Chapa, A., eds., *The Western Gulf of Mexico Basin: Tectonics, Sedimentary Basins, and Petroleum Systems*: American Association
- Bloemendal, J., King, J.W., Hall, F.R., Doh, S.-J., 1992, Rock magnetism of Late Neogene and Pleistocene deep-sea sediments: Relationship to sediment source, diagenetic processes and sediment lithology, *J. Geophys. Res.*, 97, 4361-4375.
- Boschman, L. M., Molina-Garza, R. S., Langereis, C. G., Van Hinsbergen, D. J. 2018B. Paleomagnetic constraints on the kinematic relationship between the Guerrero terrane (Mexico) and North America since Early Cretaceous time. *GSA Bulletin*, 130(7–8), 1131–1142.
- Boschman, L.M., van Hinsbergen, D.J.J., Kimbrough, D.L., Langereis, C.G., Spakman, W., 2018A. The dynamic history of 220 million years of subduction below Mexico: a correlation between slab geometry and overriding plate deformation based on geology, paleomagnetism, and seismic tomography. *Geochem. Geophys. Geosyst.* 19.
- Butler, R. F., 1998. *Paleomagnetism: Magnetic domains to geologic terranes*. Electronic edition, vol. 23.
- Campa, M.F. y Coney, P.J., 1983. Tectono-stratigraphic terranes and mineral resource distributions in Mexico. *Can J Earth Sci* 20:1040–1051
- Cañon-Tapia, E., Walker, G. P. L., Herrero-Bervera, E., 1997. The internal structure of lava flows –insights from AMS measurements II: Hawaiian pahoehoe, toothpaste lava and 'a'a. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 76, 19-46
- Cañon-Tapia, E., Walker, G. y Herrero-Bervera, E., 1995. Magnetic fabric and flow direction in basaltic pahoehoe lava of Xitle volcano, Mexico, *J. Volc. geotherm. Res.*, 65, p. 249–263.
- Centeno-Garcia, E., 2005, Review of Upper Paleozoic and Lower Mesozoic stratigraphy and depositional environments, central and west Mexico: Constraints on terrane

analysis and paleogeography: in Anderson, T.H., Nourse, J.A., McKee, J.W., and Steiner, M.B., eds. *The Mojave-Sonora Megashear Hypothesis: Development, Assessment, and Alternatives: Geological Society of America Special Paper*, vol. 393, p. 631-670.

Centeno-García, E., 2017. Mesozoic tectono-magmatic evolution of Mexico: an overview. *Ore Geol. Rev.* 83, 1035e1052.

Centeno-García, E., y Silva-Romo, G., 1997, Petrogenesis and tectonic evolution of central Mexico during Triassic-Jurassic time: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, v. 14, no. 2, p. 244–260.

Chadima, M. y Jelínek, V. 2009, Remasoft 3.0, Paleomagnetic data browser and analyzer for Windows, www.agico.com.

Chadima, M., y Hroudá, F., 2006. Remasoft 3.0 a user-friendly paleomagnetic data browser and analyzer. *Travaux Géophysiques*, vol. 27, p. 20-21.

Coombs, H., Kerr, A., Pindell, J., Buchs, D., Weber, B., Solari, L. 2019. Petrogenesis of the crystalline basement along the Western Gulf of Mexico: Post-collisional magmatism during the formation of Pangaea. Southern and central Mexico: basement framework, tectonic evolution, and provenance of Mesozoic-Cenozoic basins. *GSA Special Paper*.

Damon, P. E., Shafiqullah, M., Clark, K. F., 1981, Age trends of igneous activity in relation to metallogenesis in the southern Cordillera, *in* Dickinson, W. R., and Payne, W. D., eds., *Relations of tectonics to ore deposits in the southern Cordillera: Arizona Geological Society Digest*, v. 14, p. 137-154.

Deenen, M. H., Langereis, C. G., van Hinsbergen, D. J., Biggin, A. J., 2011. Geomagnetic secular variation and the statistics of palaeomagnetic directions. *Geophysical Journal International*, vol. 186, no. 2, p. 509-520.

- Demarest Jr, H. H. 1983. Error analysis for the determination of tectonic rotation from paleomagnetic data. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 88(B5), 4321-4328.
- Dickinson, W. R., y Lawton, T. F., 2001. Carboniferous to Cretaceous assembly and fragmentation of Mexico. *Geological Society of America Bulletin*, vol. 113, no. 9, p. 1142-1160.
- Dunlop, D. J., 1986. Hysteresis properties of magnetite and their dependence on particle size: A test of pseudo-single-domain remanence models, *J. Geophys. Res.*, 91, 9569–9584.
- Eguiluz-de Antuñano, S., Aranda-García, M., & Buitrón-Sánchez, B. E. 2014. Las formaciones Gran Tesoro y Nazas: evolución de las secuencias Triásico Superior-Jurásico Inferior en México y su significado tectogenético. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 66(3), 507-539.
- Engelbreton, D.C., Cox, A., Gordon, R.G., 1985. Relative motions between oceanic and continental plates in the Pacific basin. *Geol. Soc. Am. Spec. Pap.* 206, 1–59.
- Enkin, R. J., 2003. The direction–correction tilt test: an all-purpose tilt/fold test for paleomagnetic studies. *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 212, no. 1-2, p. 151-166.
- Fisher, R. A., 1953. Dispersion on a sphere. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A. Mathematical and Physical Sciences*, vol. 217, no. 1130, p. 295-305.
- Godínez-Urban, A., Lawton, T. F., Molina Garza, R. S., Iriundo, A., Weber, B., López-Martínez, M., 2011A. Jurassic volcanic and sedimentary rocks of the La Silla and Todos Santos Formations, Chiapas: Record of Nazas arc magmatism and rift-basin formation prior to opening of the Gulf of Mexico. *Geosphere*, vol. 7, no. 1, p. 121-144

- Godínez-Urban, A., Molina Garza, R. S., Geissman, J. W., Wawrzyniec, T., 2011B. Paleomagnetism of the Todos Santos and La Silla Formations, Chiapas: implications for the opening of the Gulf of Mexico. *Geosphere*, vol. 7, no. 1, p. 145-158.
- Hagstrum, J. T. 1993. North American Jurassic APW: the current dilemma. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 74(6), 65-69.
- Jelínek, V., y Kropáček, V. 1978. Statistical processing of anisotropy of magnetic susceptibility measured on groups of specimens. *Stud Geophys Geod* 22, 50–62.
- Jelínek, V., 1981. Characterization of the magnetic fabric of rocks. *Tectonophysics*, 79, T63-T67.
- Kent, D. V., y Irving, E. 2010. Influence of inclination error in sedimentary rocks on the Triassic and Jurassic apparent pole wander path for North America and implications for Cordilleran tectonics. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 115(B10).
- Kirschvink, J. L., 1980. The least-squares line and plane and the analysis of palaeomagnetic data. *Geophysical Journal International*, vol. 62, no. 3, p. 699-718.
- Kluth, C. F., Butler, R. F., Harding, L. E., Shafiqullah, M., Damon, P. E., 1982. Paleomagnetism of Late Jurassic rocks in the northern Canelo Hills, southeastern Arizona. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, vol. 87, no. B8, p. 7079-7086.
- Kruiver, P.P., Dekkers, M.J., Heslop, D., 2001, Quantification of magnetic coercivity by the analysis of acquisition curves of isothermal remanent magnetisation, *Earth Planet. Sci. Lett.*, Vol, pp.
- Lawton, T.F., y Molina-Garza, R.S., 2014. U-Pb geochronology of the type Nazas Formation and superjacent strata, northeastern Durango, Mexico: Implications of a Jurassic age for continental- arc magmatism in north-central Mexico: *Geological Society of America Bulletin*, vol. 126, no. 9-10, p. 1181-1199.

- Lenhardt, N., Böhnel, H., Hinderer, M., Hornung, J. 2013. Paleocurrent direction measurements in a volcanic setting by means of anisotropy of magnetic susceptibility: A case study from the Lower Miocene Tepoztlán Formation (Transmexican Volcanic Belt, Central Mexico). *Sedimentary Geology*, 290, 1-14.
- Lottes, A. L., y Rowley, D. B., 1990. Early and late Permian reconstructions of pangea. Palaeozoic palaeogeography and biogeography: Geological Society of London, Memoir, vol. 2, p. 383-395.
- Martini, M., y Ortega-Gutiérrez, F., 2016. Tectono-stratigraphic evolution of eastern Mexico during the break-up of Pangea: A review. *Earth-science reviews*, vol. 183, p. 38- 55.
- May, S. R., Butler, R. F., Shafiqullah, M., Damon, P. E., 1986. Paleomagnetism of Jurassic volcanic rocks in the Patagonia Mountains, southeastern Arizona: Implications for the North American 170 Ma reference pole. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, vol. 91, no. B11, p. 11545-11555.
- Mcfadden, P. L., y M. W. McElhinny. 1988. The combined analysis of remagnetization circles and direct observations in paleomagnetism, *Earth Planetary Sciences Letters.*, No. 87, p.161-172.
- Michalzik, D., 1991. Facies sequence of Triassic-Jurassic red beds in the Sierra Madre Oriental (NE Mexico) and its relation to the early opening of the Gulf of Mexico: *Sedimentary Geology*, vol. 71, p. 243-259
- Molina-Garza, R. S., Lawton T., Barboza-Gudiño J. R., Sierra-Rojas M. I., Figueroa A., Pindell J., PRENSA. Geochronology and correlation of the Todos Santos Group, western Veracruz and eastern Oaxaca states, Mexico: Implications for regional stratigraphic relations and the rift history of the Gulf of Mexico., En Martens, U., y Molina-Garza, R.S., eds., *Southern and Central Mexico: Basement Framework, Tectonic Evolution, and Provenance of Mesozoic-Cenozoic Basins: Geological Society of America Special Paper 546*, p. XXX–XXX

- Molina-Garza, R. S., Van Der Voo, R., y Urrutia-Fucugauchi, J., 1992. Paleomagnetism of the Chiapas Massif, southern Mexico: Evidence for rotation of the Maya Block and implications for the opening of the Gulf of Mexico. *Geological Society of America Bulletin*, vol. 104, no. 9, p. 1156-1168.
- Molina-Garza, R. S., y Geissman, J. W. 1999. Paleomagnetic data from the caborca terrane, Mexico: implications for cordilleran tectonics and the mojave-sonora megashear hypothesis. *Tectonics*, 18, 293-325.
- Molnar, P., Atwater, T., 1978. Interarc spreading and Cordilleran tectonics as alternates related to the age of subducted oceanic lithosphere. *Earth Planet. Sci. Lett.* 41, 330–340.
- Nairn, A.E.M., 1976, A paleomagnetic study of certain Mesozoic formations in Northern Mexico: *Physics of the Earth and Planetary Science Interiors*, vol. 13, p. 47-56.
- Nova, G., 2016. Paleomagnetismo de rocas Jurásicas en el bloque Oaxaquia: Implicaciones paleogeográficas para Pangea Ecuatorial. Tesis de maestría. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Özdemir, Ö., y Dunlop D. J., 2010, Hallmarks of maghemitization in low-temperature remanence cycling of partially oxidized magnetite nanoparticles, *J. Geophys. Res.*, 115, B02101, doi:10.1029/2009JB006756.
- Pantoja-Alor, J., 1972. La Formación Nazas del levantamiento de Villa Juárez, Estado de Durango (resumen), *en Segunda Convención Nacional de la Sociedad Geológica Mexicana*, 25- 31.
- Pindell, J. L., 1985. Alleghenian reconstruction and subsequent evolution of the Gulf of Mexico, Bahamas, and proto-Caribbean. *Tectonics*, vol. 4, no. 1, p. 1-39

- Pindell, J., Miranda, C. E., Cerón, A., Hernandez, L. 2016. Aeromagnetic map constrains Jurassic-Early cretaceous synrift, break up, and rotational seafloor spreading history in the Gulf of Mexico. *Mesozoic of the Gulf Rim and beyond: New progress in science and exploration of the Gulf of Mexico Basin: SEPM Society for Sedimentary Geology*, 35, 123-153.
- Pindell, J.L., Dewey, J.F., 1982. Permo-Triassic reconstruction of western Pangea and the evolution of the Gulf of Mexico/Caribbean region. *Tectonics* 1, 179–211.
- Pindell, J.L., y 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.H., Lorente, M.A., and Pindell, J.L., eds., *The Origin and Evolution of the Caribbean Plate: Geological Society of London Special Publication 328*, p. 1–55.
- Ross, M.I., y Scotese, C.R., 1988, A hierarchical tectonic model of the Gulf of México and Caribbean Region: *Tectonophysics*, v. 155, p. 139–168.
- Rubio-Cisneros, I.I., y Lawton, T.F., 2011, Detrital zircon U-Pb ages of sandstones in continental red beds at Valle de Huizachal, Tamaulipas, NE Mexico: Record of Early-Middle Jurassic arc volcanism and transition to crustal extension: *Geosphere*, v. 7, p. 159–170.
- Salvador, A., Westermann, G.E.G., Oloritz, F., Gordon, M.B., Gursky, H.J., 1992. Meso-America. In G.E.G., Westermann Ed. *The Jurassic Of Circum-Pacific*. Cambridge University Press. Cambridge, p. 93-122.
- Schaaf P., Díaz-López F., Gutiérrez-Aguilar F., Solís-Pichardo G., Hernández-Treviño T., Arrieta-García G., Solari L., Ortega-Obregón C. 2020. Geochronology and geochemistry of the Puerto Vallarta igneous and metamorphic complex and its relation to Cordilleran arc magmatism in northwestern Mexico, *Lithos*, Vol 352, 105248.

- Sedlock, R. L., Ortega-Gutiérrez, F., Speed, R. C., 1993. Tectonostratigraphic terranes and tectonic evolution of Mexico. Geological Society of America, vol. 278.
- Silver, L.T., and Anderson, T.H., 1974, Possible left-lateral early to middle Mesozoic disruption of the southwestern North America craton margin. Geological Society of America Abstracts with Programs.
- Tauxe, L., y Kent, D. V. 2004. A simplified statistical model for the geomagnetic field and the detection of shallow bias in paleomagnetic inclinations: was the ancient magnetic field dipolar?. J.E.T. Channell, D. Kent, W. Lowrie, J.G. Meert (Eds.), Timescales of the paleomagnetic field, Geophysical Monograph, 145, AGU, Washington, DC (2004), pp. 101-117
- Tomezzoli R., Arzadún G., Cristallini E., 2017. Anisotropía de susceptibilidad magnética y paleomagnetismo en la formación lolén de edad devónica, sierras australes de la provincia de Buenos Aires. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 74 (3): 326-337.
- Torsvik, T. H., Van der Voo, R., Preeden, U., Mac Niocaill, C., Steinberger, B., Doubrovine, P. V., Van Hinsbergen, D., Domeier, M., Gaina, C., Tohver, E., Meert, J. G., McCausland, P., Cocks, R., 2012. Phanerozoic polar wander, palaeogeography and dynamics. Earth-Science Reviews, vol. 114, no. 3-4, p. 325-368.
- Van Fossen, M. C., y Kent, D. V. 1990. High-latitude paleomagnetic poles from Middle Jurassic plutons and moat volcanics in New England and the controversy regarding Jurassic apparent polar wander for North America. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 95(B11), 17503-17516.
- Villagómez, D., Spikings, R., Magna, T., Kammer, A., Winkler, W., Beltrán, A., 2011. Geochronology, geochemistry and tectonic evolution of the Western and Central cordilleras of Colombia. Lithos 125 (3), 875–896.

- Warrior, S., 2008. A Paleomagnetic investigation of the Mojave-Sonora Megashear hypothesis in North-Central and Northeastern Mexico. (Msc Thesis). El Paso, Texas, University of Texas, 188 p.
- Watkins, N. D., y Haggerty, S. E., 1967. Primary oxidation variation and petrogenesis in a single lava. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, vol. 15, no. 3, p. 251-271.
- Zavala-Monsiváis, A., Barboza-Gudiño, J. R., Velasco-Tapia, F., García-Arreola, M. E., 2012. Sucesión volcánica Jurásica en el área de Charcas, San Luis Potosí: Contribución al entendimiento del Arco Nazas en el noreste de México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, vol. 64, no. 3, p. 277-293.
- Zijderveld, J. D. A., 1967. AC demagnetization of rocks: Analysis of results, *Methods in Paleomagnetism* DW Collinson, KM Creer, SK Runcorn, p. 254–286.

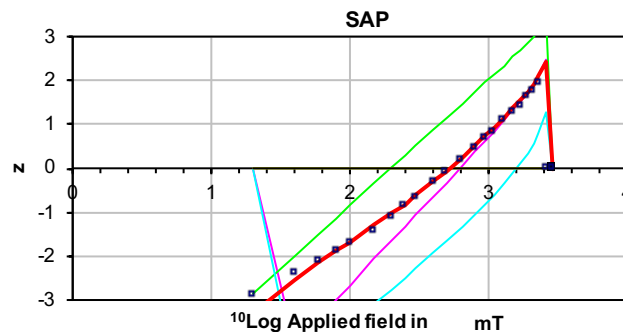
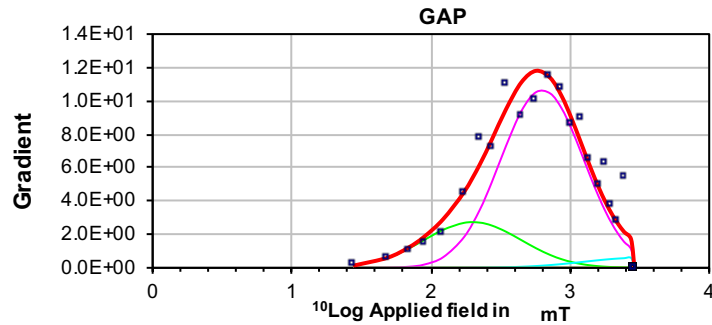
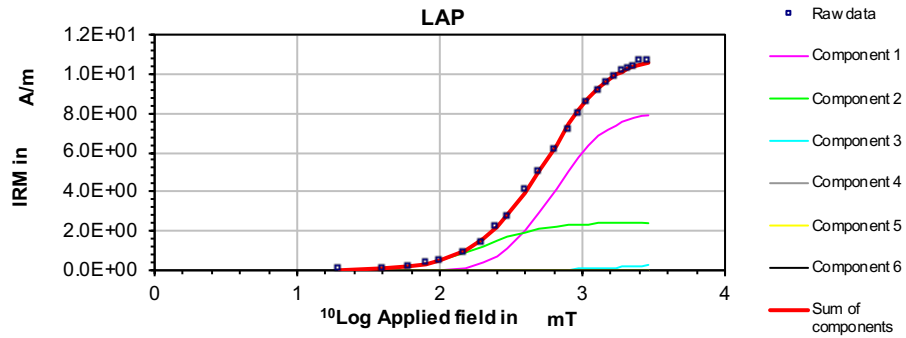
Anexo 1.

IRM COMPONENT ANALYSIS

NA01-11A

	Squared residuals	S-ratio	calculated	measured
LAP	5.49E-01	$-IRM_{0.3T}/IRM_{1T}$	-0.334	
GAP	3.52E+01	$(1-IRM_{0.3T}/IRM_{1T})/2$	0.333	
SAP	3.79E-01			

component	contribution	SIRM	log(B _{1/2})	B _{1/2}	DP
	%	A/m	mT	mT	mT
1	72.7	8.00E+00	2.80	631.0	0.30
2	21.8	2.40E+00	2.30	199.5	0.35
3	5.5	6.00E-01	3.50	3162.3	0.40

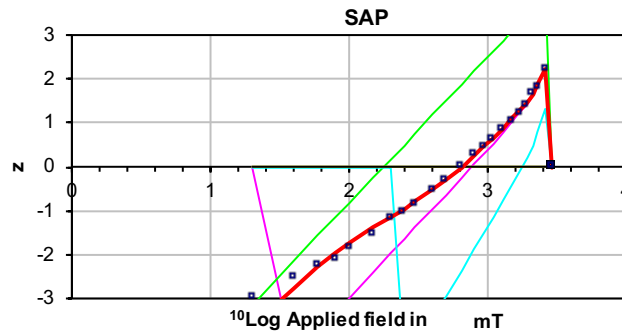
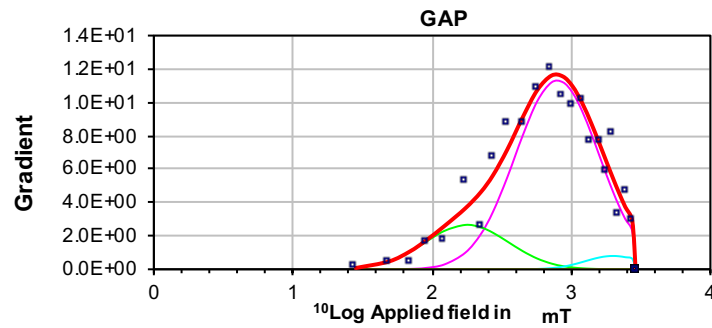
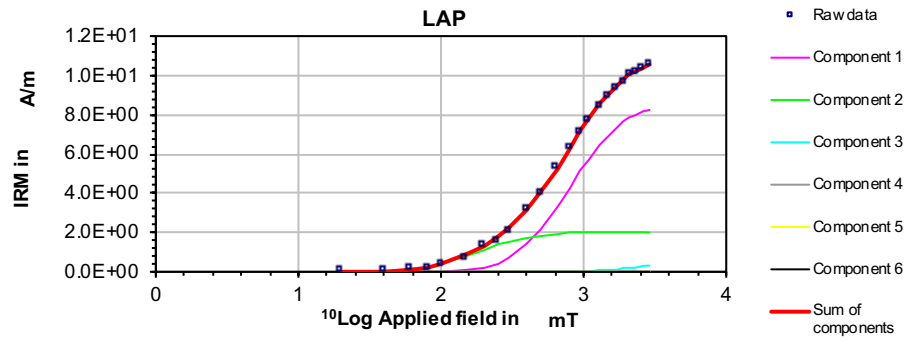


IRM COMPONENT ANALYSIS

NA02-3B

	Squared residuals	S-ratio	calculated	measured
LAP	2.15E-01	$-IRM_{0.3T}/IRM_{1T}$	-0.396	
GAP	2.60E+01	$(1-IRM_{0.3T}/IRM_{1T})/2$	0.302	
SAP	5.29E-01			

component	contribution %	SIRM A/m	log(B _{1/2}) mT	B _{1/2} mT	DP mT
1	78.0	8.50E+00	2.90	794.3	0.30
2	18.3	2.00E+00	2.25	177.8	0.30
3	3.7	4.00E-01	3.30	1995.3	0.20

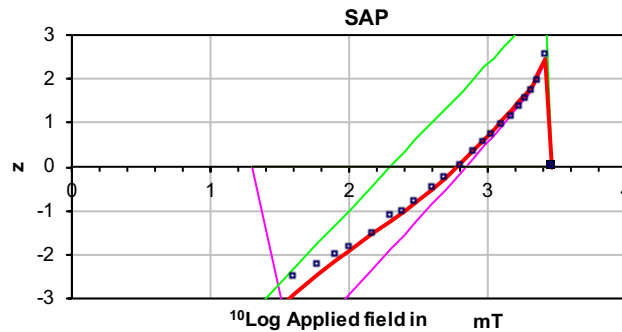
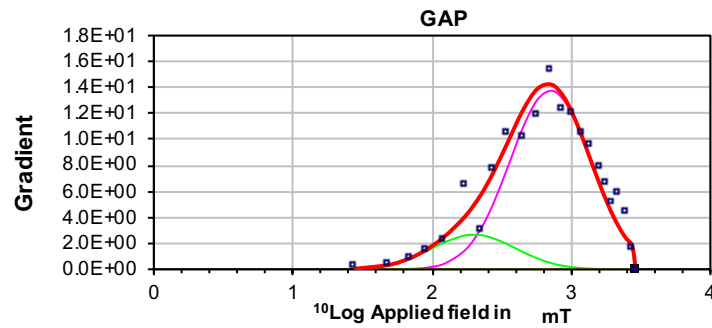
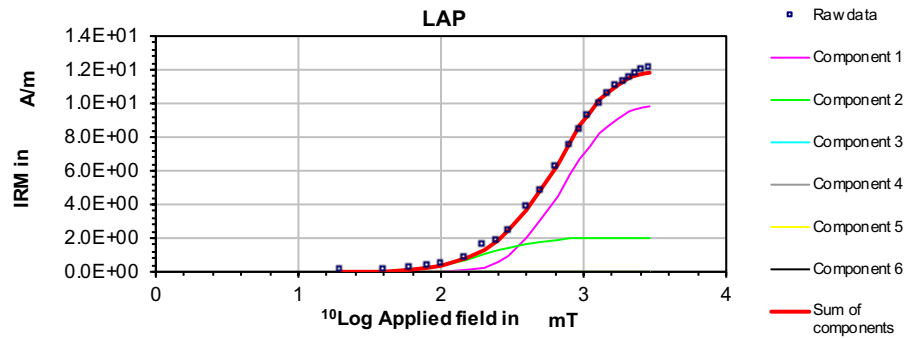


IRM COMPONENT ANALYSIS

NA02-13A

	Squared residuals	S-ratio	calculated	measured
LAP	5.08E-01	$-IRM_{0.3T}/IRM_{1T}$	-0.456	
GAP	4.09E+01	$(1-IRM_{0.3T}/IRM_{1T})/2$	0.272	
SAP	9.99E-01			

component	contribution %	SIRM A/m	log(B _{1/2}) mT	B _{1/2} mT	DP mT
1	83.3	1.00E+01	2.85	707.9	0.29
2	16.7	2.00E+00	2.30	199.5	0.30

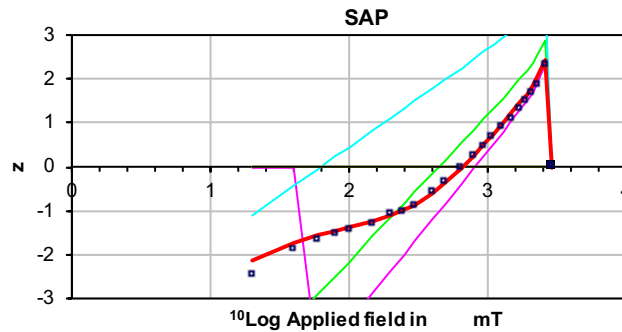
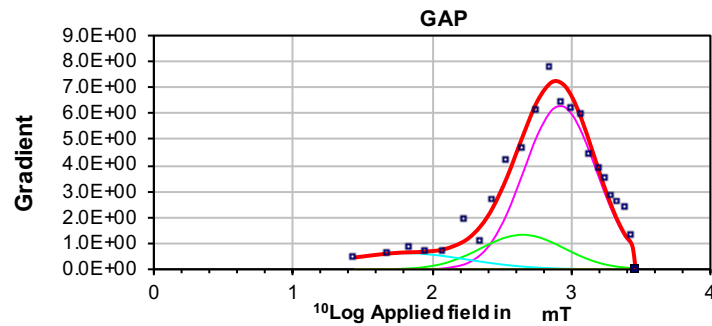
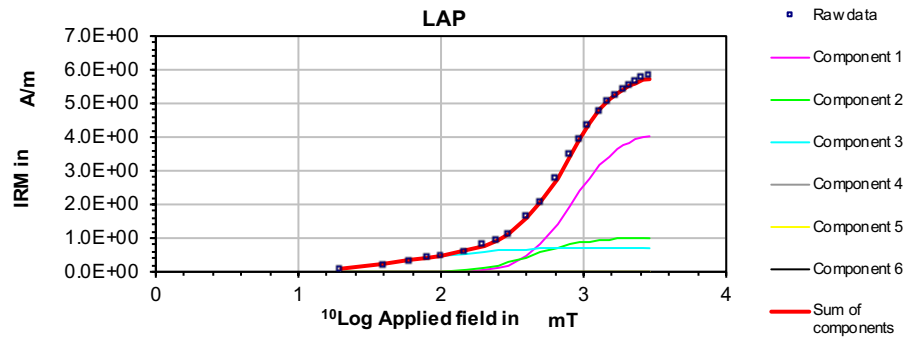


IRM COMPONENT ANALYSIS

NA04-5B

	Squared residuals	S-ratio	calculated	measured
LAP	5.93E-02	$-IRM_{0.3T}/IRM_{1T}$	-0.458	
GAP	5.39E+00	$(1-IRM_{0.3T}/IRM_{1T})/2$	0.271	
SAP	3.67E-01			

component	contribution %	SIRM A/m	log(B _{1/2}) mT	B _{1/2} mT	DP mT
1	70.7	4.10E+00	2.92	831.8	0.26
2	17.2	1.00E+00	2.65	446.7	0.30
3	12.1	7.00E-01	1.80	63.1	0.45

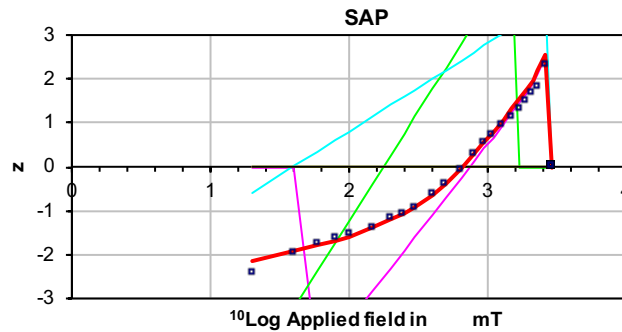
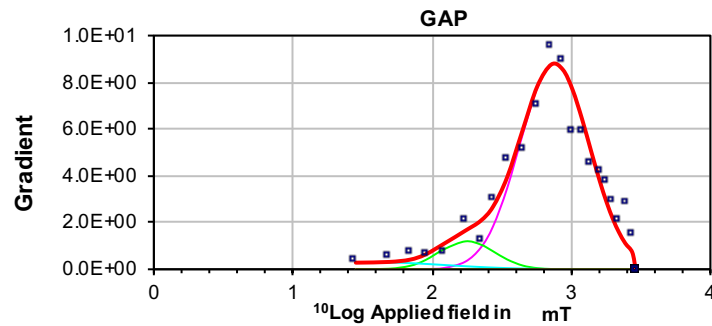
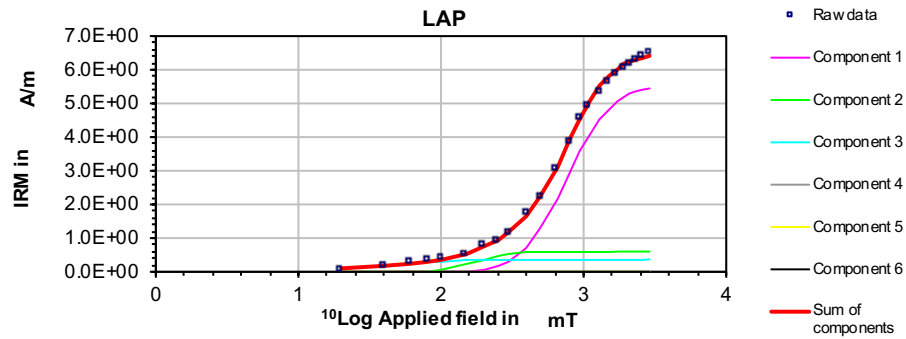


IRM COMPONENT ANALYSIS

NA04-11B

	Squared residuals	S-ratio	calculated	measured
LAP	1.61E-01	$-IRM_{0.3T}/IRM_{1T}$	-0.504	
GAP	1.31E+01	$(1-IRM_{0.3T}/IRM_{1T})/2$	0.248	
SAP	5.83E-01			

component	contribution %	SIRM A/m	log(B _{1/2}) mT	B _{1/2} mT	DP mT
1	85.0	5.50E+00	2.88	758.6	0.25
2	9.3	6.00E-01	2.25	177.8	0.20
3	5.7	3.70E-01	1.60	39.8	0.50

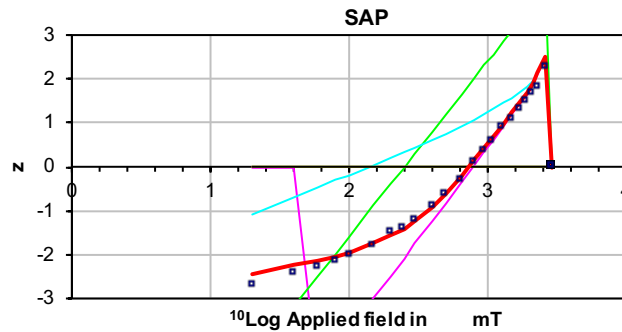
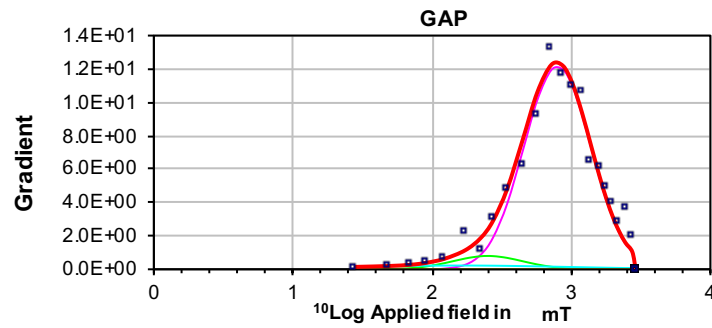
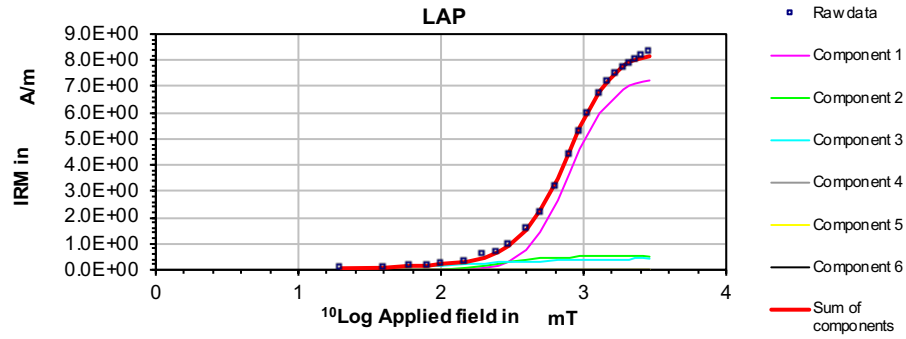


IRM COMPONENT ANALYSIS

NA05-6B

	Squared residuals	S-ratio	calculated	measured
LAP	3.28E-01	$-\text{IRM}_{0.3T}/\text{IRM}_{1T}$		-0.691
GAP	1.63E+01	$(1-\text{IRM}_{0.3T}/\text{IRM}_{1T})/2$		0.155
SAP	5.55E-01			

component	contribution %	SIRM A/m	log(B _{1/2}) mT	B _{1/2} mT	DP mT
1	88.5	7.30E+00	2.90	794.3	0.24
2	6.1	5.00E-01	2.40	251.2	0.25
3	5.5	4.50E-01	2.20	158.5	0.80

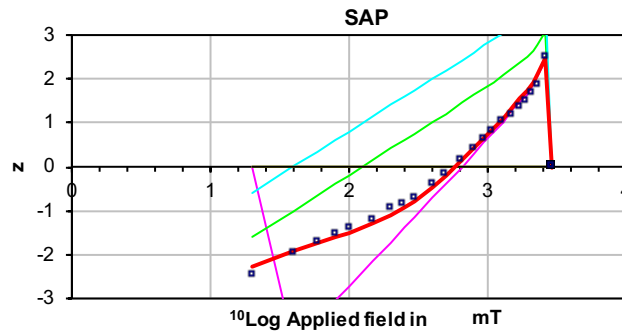
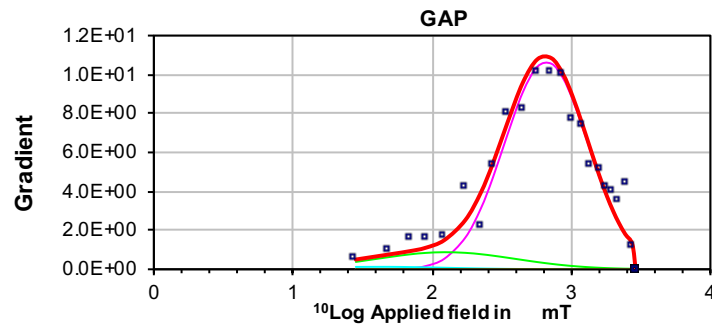
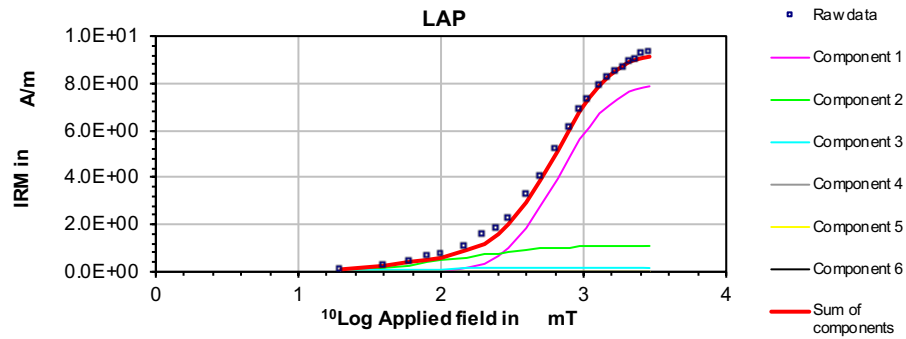


IRM COMPONENT ANALYSIS

NA06-2B

	Squared residuals	S-ratio	calculated	measured
LAP	4.06E-01	$-IRM_{0.3T}/IRM_{1T}$	-0.426	
GAP	2.10E+01	$(1-IRM_{0.3T}/IRM_{1T})/2$	0.287	
SAP	3.43E-01			

component	contribution %	SIRM A/m	log(B _{1/2}) mT	B _{1/2} mT	DP mT
1	86.4	8.00E+00	2.82	660.7	0.30
2	11.9	1.10E+00	2.10	125.9	0.50
3	1.7	1.60E-01	1.60	39.8	0.50

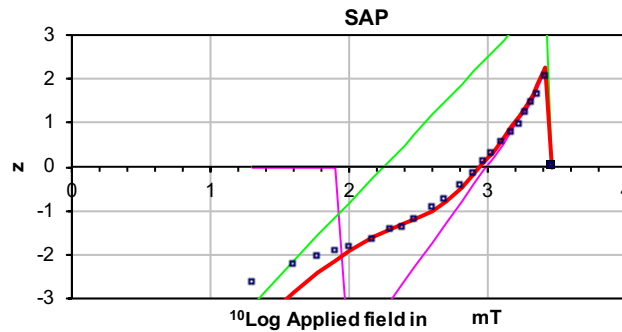
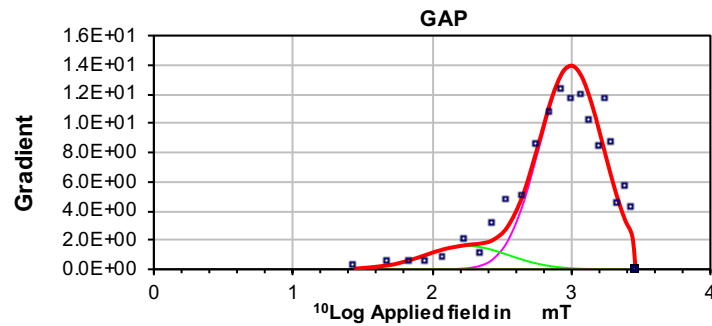
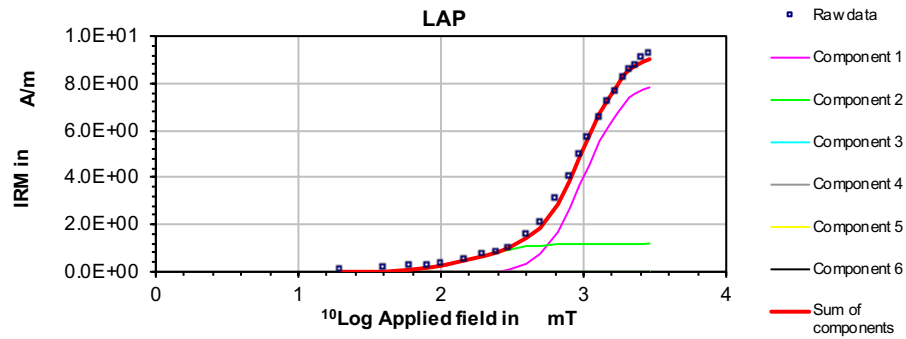


IRM COMPONENT ANALYSIS

NA07-4B

	Squared residuals	S-ratio	calculated	measured
LAP	4.63E-01	$-IRM_{0.3T}/IRM_{1T}$	-0.606	
GAP	5.07E+01	$(1-IRM_{0.3T}/IRM_{1T})/2$	0.197	
SAP	2.01E+00			

component	contribution %	SIRM A/m	log(B _{1/2}) mT	B _{1/2} mT	DP mT
1	87.0	8.00E+00	3.00	1000.0	0.23
2	13.0	1.20E+00	2.25	177.8	0.30

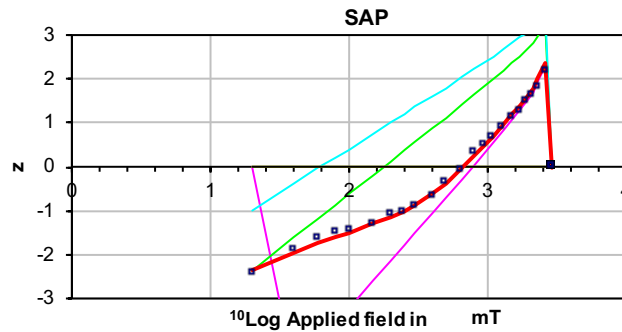
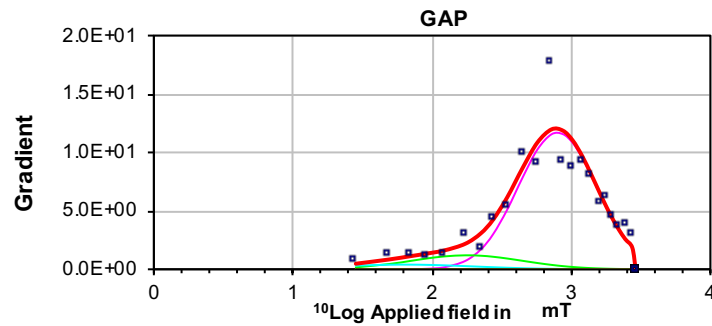
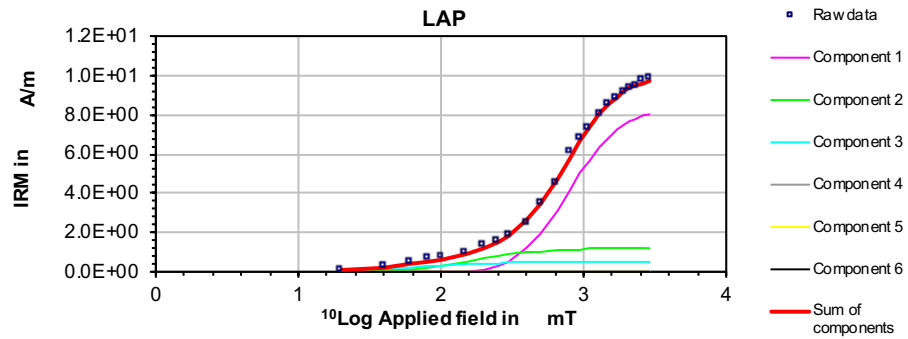


IRM COMPONENT ANALYSIS

NA08-1B

	Squared residuals	S-ratio	calculated	measured
LAP	2.61E-01	$-IRM_{0.3T}/IRM_{1T}$	-0.464	
GAP	5.80E+01	$(1-IRM_{0.3T}/IRM_{1T})/2$	0.268	
SAP	1.76E-01			

component	contribution %	SIRM A/m	log(B _{1/2}) mT	B _{1/2} mT	DP mT
1	82.8	8.20E+00	2.90	794.3	0.28
2	12.1	1.20E+00	2.25	177.8	0.40
3	5.1	5.00E-01	1.80	63.1	0.50

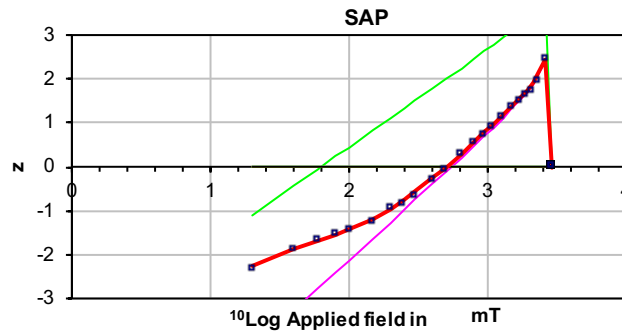
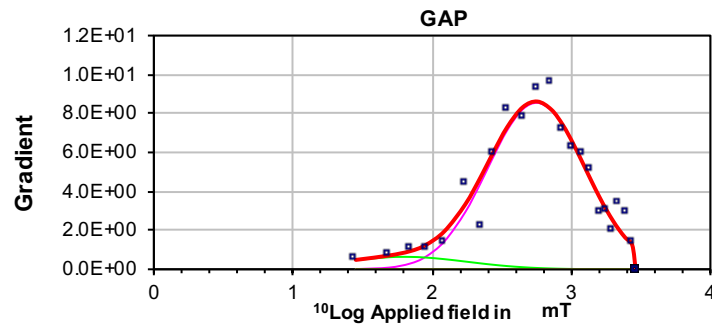
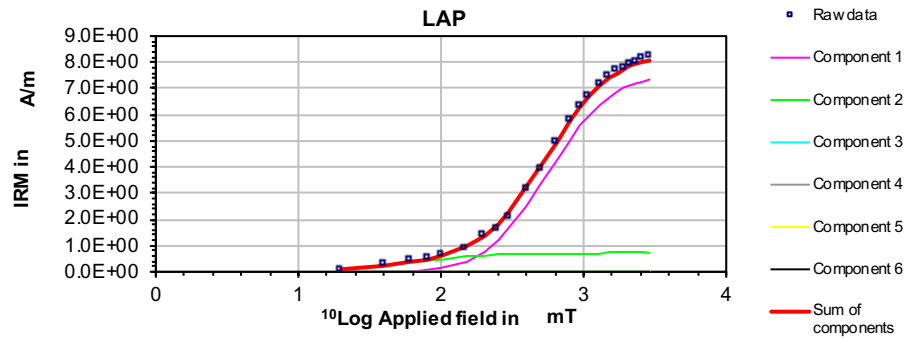


IRM COMPONENT ANALYSIS

NA010-1B

	Squared residuals	S-ratio	calculated	measured
LAP	2.08E-01	$-IRM_{0.3T}/IRM_{1T}$	-0.283	
GAP	1.70E+01	$(1-IRM_{0.3T}/IRM_{1T})/2$	0.358	
SAP	1.44E-01			

component	contribution %	SIRM A/m	log(B _{1/2}) mT	B _{1/2} mT	DP mT
1	91.2	7.50E+00	2.75	562.3	0.35
2	8.8	7.20E-01	1.80	63.1	0.45



NA02-13A	IRM2100	M	2100	11.50174	0.955363847	272.9	89	49.9	29.9	0	
NA02-13A	IRM2300	M	2300	11.73379	0.974638512	328.7	82.4	46.7	23.4	1	
NA02-13A	IRM2600	M	2600	11.96577	0.993907362	321.1	85.6	47.9	26.5	1	
NA02-13A	IRM2900	M	2900	12.03912		1	309.8	87.8	49	28.6	0
NA04-5B	NRM	N	0	0.002011675	0.000347003	100.6	68.4	279.8	68.2	0	
NA04-5B	IRM20	M	20	0.03641126	0.006280736	173.7	88.6	203.2	82.4	0	
NA04-5B	IRM40	M	40	0.1712629	0.029541879	127.1	88.4	210.8	81.8	0	
NA04-5B	IRM60	M	60	0.2717517	0.046875627	90	80.5	249	76.9	6	
NA04-5B	IRM80	M	80	0.3691978	0.063684527	204.4	88.1	195.9	82.7	0	
NA04-5B	IRM100	M	100	0.4352987	0.075086558	150.3	87.9	210.4	82.8	1	
NA04-5B	IRM150	M	150	0.5530443	0.095397006	222.6	86.5	181.5	83.2	1	
NA04-5B	IRM200	M	200	0.7850923	0.13542397	131.6	89.1	206.5	81.6	0	
NA04-5B	IRM250	M	250	0.8830566	0.152322257	312.2	87.2	191.1	78.9	0	
NA04-5B	IRM300	M	300	1.092607	0.188468513	142.8	88.1	210.8	82.4	1	
NA04-5B	IRM400	M	400	1.609352	0.277604095	86.1	85.8	226.5	79.8	0	
NA04-5B	IRM500	M	500	2.053607	0.354235564	80.5	86.6	221.4	79.9	1	
NA04-5B	IRM650	M	650	2.745323	0.473552652	110.6	86.4	225.4	81.6	1	
NA04-5B	IRM800	M	800	3.44398	0.594067023	90	84.8	232	79.6	1	
NA04-5B	IRM950	M	950	3.921862	0.676498958	335.6	88.2	198	79.4	0	
NA04-5B	IRM1100	M	1100	4.311125	0.743644619	24	88.7	205	79.8	0	
NA04-5B	IRM1300	M	1300	4.742109	0.817986915	8.1	88.3	203.3	79.3	0	
NA04-5B	IRM1500	M	1500	5.013163	0.864742193	51.8	88	210.9	79.6	0	
NA04-5B	IRM1700	M	1700	5.223341	0.900996707	74.5	88	213.7	80.3	0	
NA04-5B	IRM1900	M	1900	5.390668	0.929859666	45	89.1	205.8	80.3	0	
NA04-5B	IRM2100	M	2100	5.512123	0.950809964	78.7	88.4	211.6	80.6	0	
NA04-5B	IRM2300	M	2300	5.613172	0.968240344	32	88.1	207.5	79.3	0	
NA04-5B	IRM2600	M	2600	5.736637	0.989537356	46.5	87.2	212.5	78.9	0	
NA04-5B	IRM2900	M	2900	5.797292		1	40.8	87.1	211.6	78.7	0
NA04-11B	NRM	N	0	0.003224919	0.000498139	134.4	52	346.2	58.3	1	
NA04-11B	IRM20	M	20	0.04655986	0.007191898	126.4	87.1	238.8	81.4	1	
NA04-11B	IRM40	M	40	0.1604041	0.024776921	52.1	89.6	224.8	79.7	0	
NA04-11B	IRM60	M	60	0.2540335	0.039239445	166	89.1	224.4	80.9	0	
NA04-11B	IRM80	M	80	0.3401676	0.052544203	96.1	85.3	249.6	79.4	4	
NA04-11B	IRM100	M	100	0.4031204	0.062268247	114	88.6	230.8	80.5	0	
NA04-11B	IRM150	M	150	0.5251114	0.081111664	213.7	88.8	218.8	81	1	
NA04-11B	IRM200	M	200	0.7804102	0.120546555	251.6	88.1	212.3	80.4	0	
NA04-11B	IRM250	M	250	0.8960324	0.138406211	203.2	89.5	221.8	80.4	0	
NA04-11B	IRM300	M	300	1.135492	0.17539449	70.9	87.1	237.3	78.7	0	
NA04-11B	IRM400	M	400	1.726086	0.266620965	123.5	86.6	242.5	81.4	0	
NA04-11B	IRM500	M	500	2.221374	0.34312594	50.2	88	230.9	78.6	0	
NA04-11B	IRM650	M	650	3.022251	0.466833912	121	87.8	235.1	80.9	0	
NA04-11B	IRM800	M	800	3.879317	0.599221153	90.4	67.7	290.3	65.8	1	
NA04-11B	IRM950	M	950	4.549528	0.702745719	85.9	84.7	250.2	78.4	0	
NA04-11B	IRM1100	M	1100	4.926876	0.761033017	87.8	87	239.7	79.4	0	
NA04-11B	IRM1300	M	1300	5.352065	0.826710104	132.3	88.4	230.5	81	0	
NA04-11B	IRM1500	M	1500	5.633099	0.870120199	105.5	88.1	234	80.3	0	
NA04-11B	IRM1700	M	1700	5.861041	0.905329404	95.2	88.9	229.2	80	0	

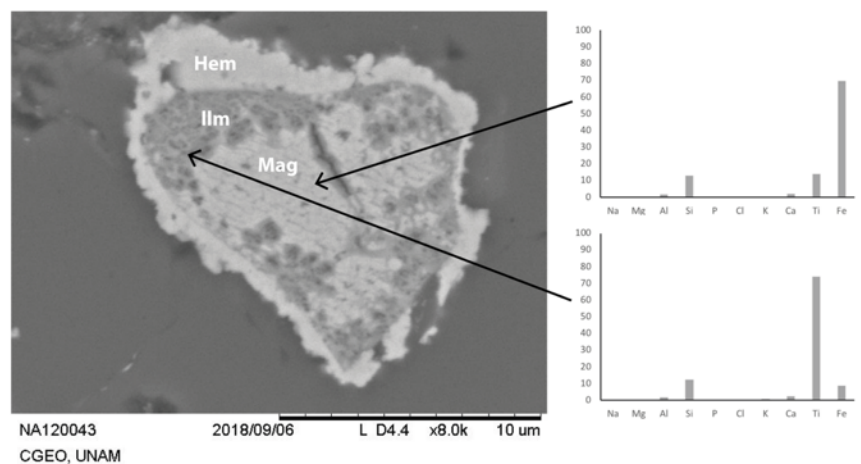
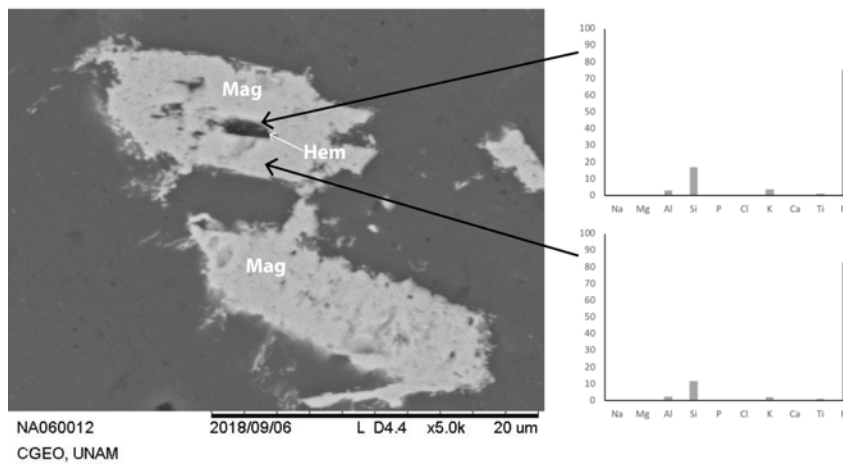
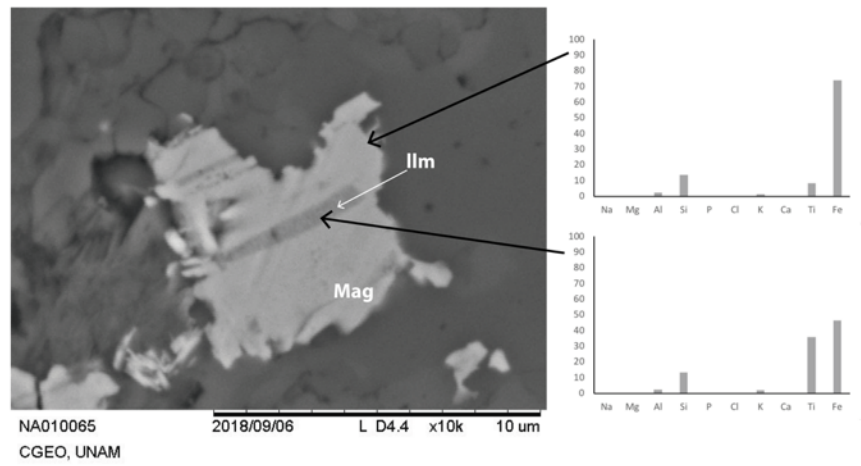
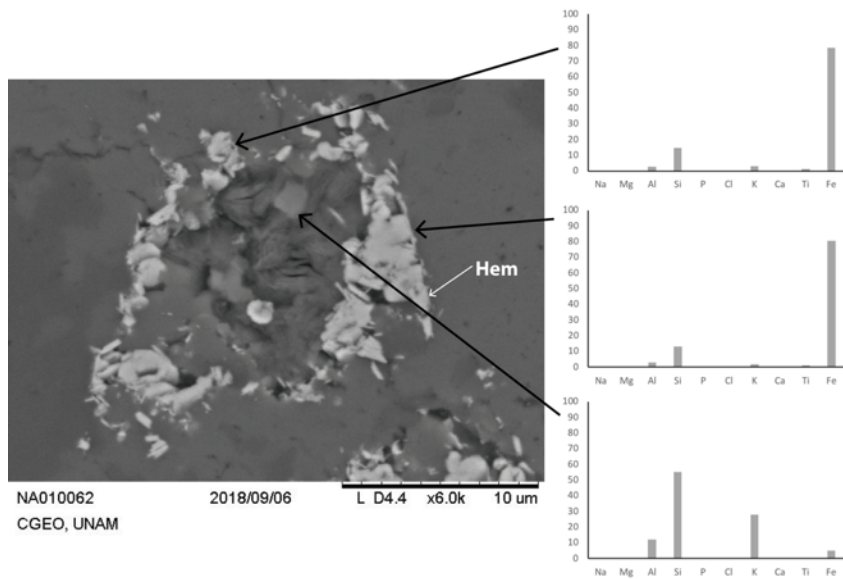
NA08-1B	IRM2100	M	2100	9.330397	0.949621999	324.5	89.5	252.7	8.6	0	
NA08-1B	IRM2300	M	2300	9.47615	0.964456337	58.2	87.9	254.8	7.9	0	
NA08-1B	IRM2600	M	2600	9.681266	0.985332476	46.7	87.2	255	7.1	0	
NA08-1B	IRM2900	M	2900	9.82538		1	20.7	85.9	254.5	5.1	0
NA10-1B	NRM	N	0	0.006202233	0.000753902	155.3	62.9	286	79	5	
NA10-1B	IRM20	M	20	0.07492356	0.00910721	162.4	86.7	193.8	69.1	0	
NA10-1B	IRM40	M	40	0.2450265	0.029783793	146.3	89.2	192.2	66.7	0	
NA10-1B	IRM60	M	60	0.3801184	0.046204667	226.5	77.4	159.7	72.3	0	
NA10-1B	IRM80	M	80	0.511271	0.062146705	212.7	88.1	188.4	67.5	0	
NA10-1B	IRM100	M	100	0.6164746	0.074934556	187.1	87.8	190.2	68.2	0	
NA10-1B	IRM150	M	150	0.8590273	0.10441765	180	87.2	191	68.8	0	
NA10-1B	IRM200	M	200	1.40811	0.171160494	241.2	86.2	182.2	67.6	0	
NA10-1B	IRM250	M	250	1.617346	0.196593832	256	87.7	185.3	66.5	0	
NA10-1B	IRM300	M	300	2.09012	0.254061098	206.6	89.4	190.3	66.5	0	
NA10-1B	IRM400	M	400	3.111045	0.378157956	60.3	88.5	194.1	65.2	0	
NA10-1B	IRM500	M	500	3.861373	0.469362842	29.1	88.5	192.7	64.7	0	
NA10-1B	IRM650	M	650	4.925302	0.598686981	66.8	87.3	196.8	64.8	0	
NA10-1B	IRM800	M	800	5.794644	0.704358417	82.6	87.7	196.5	65.6	0	
NA10-1B	IRM950	M	950	6.330916	0.769544078	68.2	89	193.2	65.6	0	
NA10-1B	IRM1100	M	1100	6.731018	0.818177818	200	89	190.1	66.9	0	
NA10-1B	IRM1300	M	1300	7.162213	0.870591017	141.8	88.6	193.3	67.1	0	
NA10-1B	IRM1500	M	1500	7.481992	0.909461227	10	88.7	191.5	64.7	1	
NA10-1B	IRM1700	M	1700	7.640851	0.928771071	105.3	89.1	193	66.2	0	
NA10-1B	IRM1900	M	1900	7.785403	0.946341852	133.6	87.9	195	67.4	0	
NA10-1B	IRM2100	M	2100	7.871842	0.956848802	93.4	88.8	194	66	0	
NA10-1B	IRM2300	M	2300	8.008302	0.973435973	191.1	85.2	188.2	70.7	1	
NA10-1B	IRM2600	M	2600	8.16302	0.992242465	324.2	88.4	188.9	64.7	0	
NA10-1B	IRM2900	M	2900	8.22684		1	79.7	87.7	196.5	65.5	0

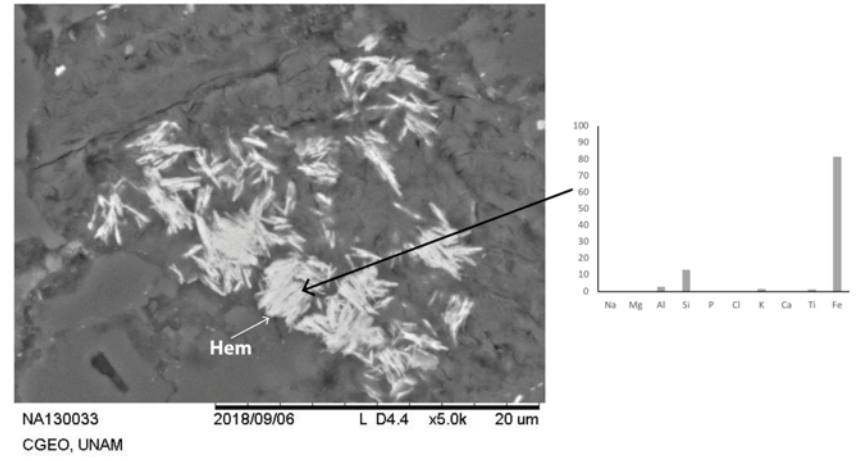
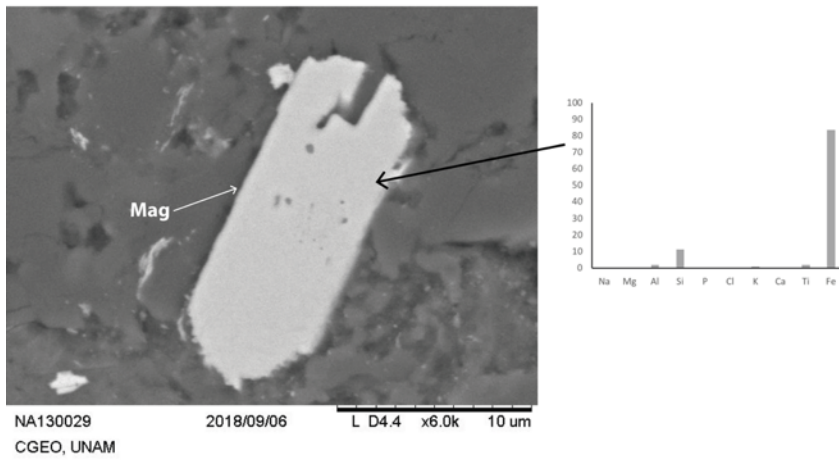
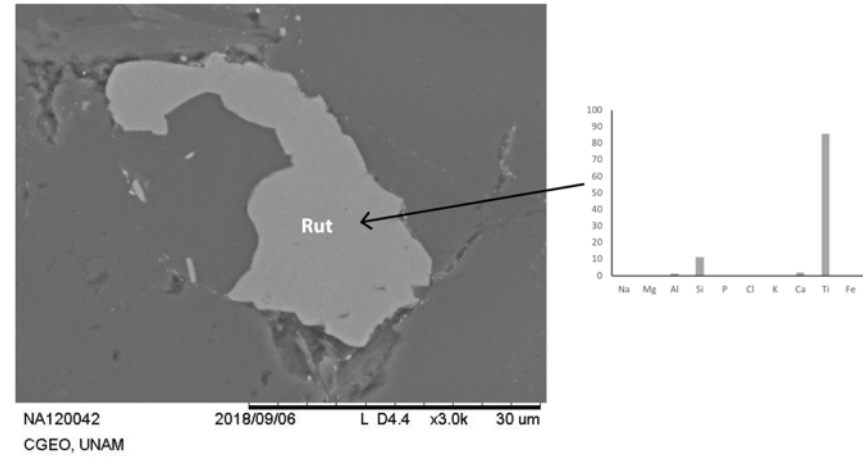
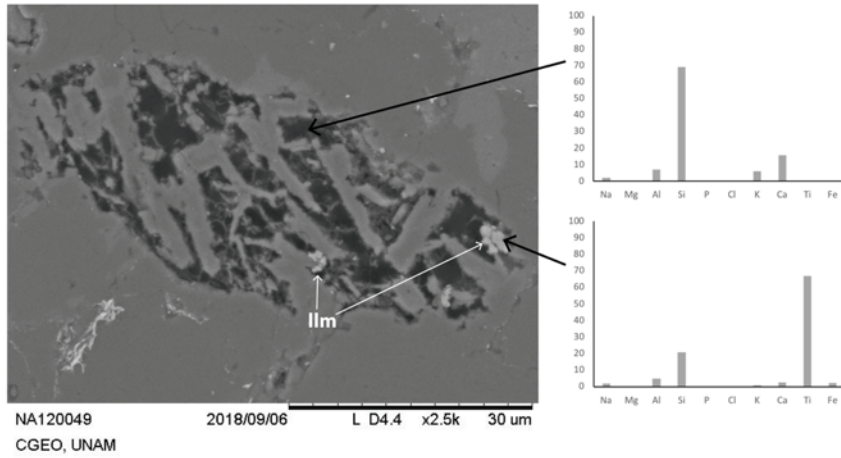
NA04-11B	IRM1900	M	1900	6.044179	0.933617931	122.3	87.9	234.5	81	0
NA04-11B	IRM2100	M	2100	6.170081	0.953065463	18.4	89.7	223.5	79.7	0
NA04-11B	IRM2300	M	2300	6.25148	0.965638811	107.1	88.8	230.1	80.3	0
NA04-11B	IRM2600	M	2600	6.402476	0.988962504	51.8	88.4	229.5	78.9	0
NA04-11B	IRM2900	M	2900	6.473932	1	77.2	88	233.6	79.4	0

NA04-5B	AIRM-800	M	-800	-0.278769	-0.04808601	45.8	87.8	222.4	77.1	1
NA04-11B	AIRM-10	M	-10	6.422593	0.992069889	80.5	88.4	231.9	79.6	0
NA04-11B	AIRM-20	M	-20	6.302158	0.97346682	76	88.5	231	79.5	0
NA04-11B	AIRM-30	M	-30	6.183049	0.955068573	78.1	88.2	232.7	79.5	0
NA04-11B	AIRM-40	M	-40	6.062986	0.936522966	87	88.2	233.1	79.7	0
NA04-11B	AIRM-50	M	-50	5.950622	0.91916659	125.5	89.2	227.1	80.5	0
NA04-11B	AIRM-70	M	-70	5.770563	0.891353663	97.1	89.2	227.6	80.1	0
NA04-11B	AIRM-90	M	-90	5.660892	0.874413262	95.7	89	228.9	80.1	0
NA04-11B	AIRM-110	M	-110	5.571122	0.860546882	100.3	88.9	229.6	80.1	0
NA04-11B	AIRM-130	M	-130	5.480739	0.846585815	90	89.1	228.4	80	0
NA04-11B	AIRM-150	M	-150	5.41267	0.836071494	90	88.2	233.3	79.8	0
NA04-11B	AIRM-200	M	-200	5.041438	0.778728908	85.2	88.6	230.7	79.8	0
NA04-11B	AIRM-250	M	-250	4.77218	0.737137801	56.3	88.3	230.5	78.9	0
NA04-11B	AIRM-300	M	-300	4.37143	0.675235699	79.7	88.5	231	79.6	0
NA04-11B	AIRM-350	M	-350	3.922359	0.605869663	54	88	231.2	78.7	0
NA04-11B	AIRM-400	M	-400	3.45268	0.533320399	72.9	87.7	234.5	79.1	0
NA04-11B	AIRM-500	M	-500	2.615244	0.403965318	65	86.4	239	78	0
NA04-11B	AIRM-600	M	-600	1.551412	0.239639836	354	86.8	221.5	76.8	0
NA04-11B	AIRM-700	M	-700	0.6763771	0.104477016	44.1	86.3	234.5	77.1	0
NA04-11B	AIRM-800	M	-800	-0.249057	-0.12094999	79.7	87.7	221.5	78.7	0

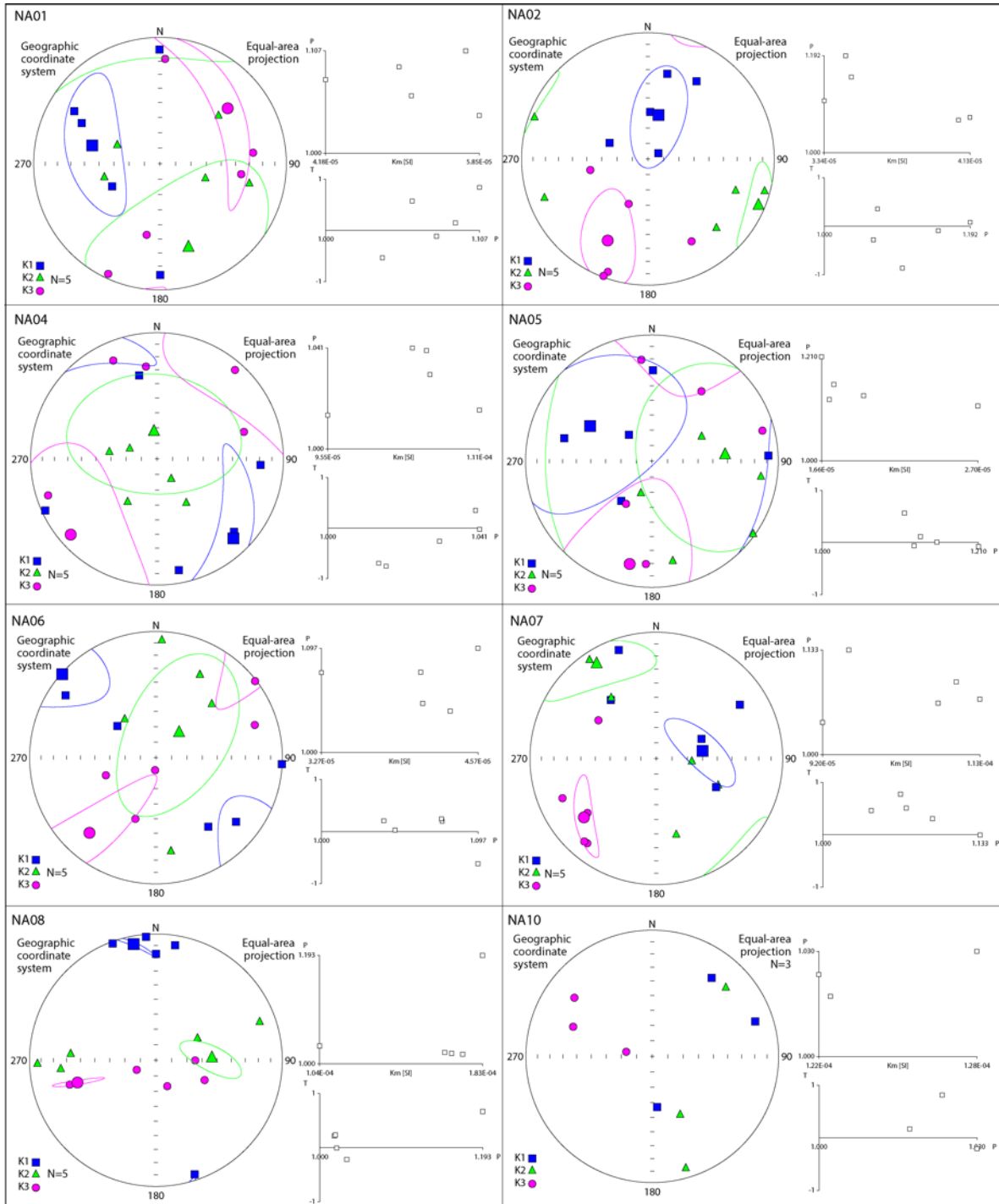
NA10-1B	AIRM-400	M	-400	2.479072	0.301339518	70.7	85.1	201.6	64	0
NA10-1B	AIRM-500	M	-500	1.008525	0.122589597	51.9	78.1	208.5	57.4	0
NA10-1B	AIRM-600	M	-600	0.4887832	0.059413238	37.8	-67.6	304.5	-75.3	0
NA10-1B	AIRM-700	M	-700	1.618029	0.196676853	80.5	-81.2	349.3	-65.9	0

Anexo 2.





Anexo 3.



Anexo 4.

Localidad	Sitio	Corrección Estructural			Latitud	Longitud (E)	VGP				Paleolatitud
		Dec.	Inc.	∞95			Latitud	Longitud (E)	dp	dm	
	CHO70	353.99	15.46	5.2	31.44	248.30	65.8	82.9	2.75	5.34	7.87329
	CHO71	332.26	23.93	3.5	31.44	248.30	58.2	128	2.00	3.74	12.5103
	CHO72	353.6	18.91	6.1	31.44	248.30	67.5	85	3.31	6.36	9.71963
	CHO73	303.01	17.8	4.2	31.44	248.30					
	CHO74	296.02	31.83	3.5	31.44	248.30					
	CHO75	327.96	14.5	11	31.44	248.30	51.6	126.3	5.77	11.27	7.36796
CORRAL	CHO76	325.51	-2.9	3.9	31.44	248.30	45.7	122.5	1.95	3.90	1.45093
CANYON	CHO77	338.72	23.51	7.4	31.44	248.30	62.6	118.7	4.20	7.89	12.2713
(May et al., 1986)	CHO78	295.71	-38.93	9.5	31.44	248.30					
	CHO80	153.67	-24.95	2.8	31.44	248.30	59.7	127.1	1.62	3.01	13.0954
	CHO81	354.43	27.33	14.8	31.44	248.30	72.3	86.3	8.79	16.13	14.4884
	CHO82	340.09	17.99	17.4	31.44	248.30	61.1	112.4	9.37	18.06	9.22226
	CHO83	343.62	40.44	5.2	31.44	248.30	73.2	132.4	3.80	6.29	6.28545
	CHO84	125.65	-72.76	3.2	31.44	248.30					
	CHO85	334.45	24.29	9.9	31.44	248.30	60	125.5	5.67	10.60	12.716
	CHO87	337.02	7.24	13.3	31.44	248.30	54.8	110.8	6.73	13.38	3.63451
							62	115.3	A95= 6.1		
	CHO10	339.1	29.6	19.1	31.59	249.43	65.3	124.7	11.69	21.13	15.8566
	CHO11	342.8	34.1	4.9	31.59	249.43	69.8	123.8	3.21	5.60	18.7023
	CHO21	157.8	-39.5	2.5	31.59	249.43	68.2	139.9	1.79	3.00	22.3999
	CHO22	125.7	-24.7	4.9	31.59	249.43	37	151.7	2.82	5.26	12.9514
	CHO23	174.5	-39.7	3.2	31.59	249.43	79.7	99.2	2.31	3.84	22.5437
	CHO26	348	22	7.4	31.59	249.43	67	100.9	4.14	7.82	11.4208
Canelo Hills	CHO27	352.2	8.8	1.8	31.59	249.43	61.9	86.1	0.92	1.82	4.4261
(Kluth et al., 1982)	CHO28	331.6	32.7	10.8	31.59	249.43	60.9	137.9	6.91	12.22	17.7963
	CHO29	330.8	25.3	4.1	31.59	249.43	57.6	131.7	2.38	4.41	13.2978
	CHO30	157.8	-39.2	2.9	31.59	249.43	68.1	139.4	2.07	3.47	22.1851
	CHO31	161.9	-36.2	2.4	31.59	249.43	70.1	128.5	1.63	2.79	20.0998
	CHO32	323.8	17.4	3	31.59	249.43	49.5	133.3	1.61	3.11	8.90529
	CHO33	324.9	29.8	3.4	31.59	249.43	54.5	141.6	2.09	3.77	15.9792
	CHO34	323.8	30.6	7.1	31.59	249.43	53.9	143.3	4.41	7.91	16.4729
	CHO35	331.4	29.2	2.7	31.59	249.43	59.5	134.6	1.64	2.98	15.6125
							62.6	131.2	A95= 6.3		
					Polo Calculado		62.6	124	4.40		