



UNIVERSIDAD SIMÓN BOLÍVAR
INGENIERÍA GEOFÍSICA

**ESTUDIO MAGNETOESTRATIGRÁFICO EN LA
SECCIÓN DE EL MAMÓN (MIEMBRO MEDIO DE
LA FORMACIÓN URUMACO, ESTADO FALCÓN)**

Por
Jhon Richard Quijano Ballesteros

Proyecto de Grado
Presentado ante la Ilustre Universidad Simón Bolívar
Como requisito Parcial para optar al Título de
Ingeniero Geofísico

Sartenejas, Julio de 2005



UNIVERSIDAD SIMÓN BOLÍVAR
INGENIERIA GEOFISICA

**ESTUDIO MAGNETOESTRATIGRÁFICO EN LA
SECCIÓN DE EL MAMÓN (MIEMBRO MEDIO DE
LA FORMACIÓN URUMACO, ESTADO FALCÓN)**

Por
Jhon Richard Quijano Ballesteros

Proyecto de Grado
Presentado ante la Ilustre Universidad Simón Bolívar
Como requisito Parcial para optar al Título de
Ingeniero Geofísico

Realizado con la asesoría de los Profesores:
Dr. Andrés A. Pilloud B.
Dr. Vincenzo Costanzo

Sartenejas, Julio de 2005

Este trabajo ha sido aprobado en nombre de la Universidad Simón Bolívar por el siguiente jurado calificador:

Prof. Milagrosa Aldana

Prof. Andrés Pilloud

Prof. Vincenzo Costanzo

Prof. Omar Linares

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar quiero agradecer a Dios, María Auxiliadora y a mi Ángel de la Guarda, por darme la fuerza de espíritu necesaria para culminar esta etapa de mi vida.

A mis padres Elvira y Jaime y a mis hermanos Dayana, Jesús, Betania y Pedrito, por apoyarme indistintamente de estar de acuerdo o no con mis acciones tomadas. Ustedes son la razón que me anima a superar todas las pruebas que se me han presentado y presentarán en mi vida. Los Amo.

Al profesor Andrés Pilloud, porque se convirtió en la luz en la oscuridad del túnel, son muchas las cosas que te debo, muchos los conocimientos aprendidos. Por siempre guardare en mi memoria y corazón todos y cada uno de los momentos vividos desde aquel 11 de julio de 2004, cuando partimos a Urumaco. No caben palabras para agradecerte todo el apoyo y la dedicación que me prestaste en este recorrido.

A Carelis Herrera, porque sin ti este proyecto no se como hubiese culminado, me diste el empuje necesario en los momentos de desanimo. Formamos un excelente equipo de trabajo. Nunca olvidaré las largas jornadas en el laboratorio, peleando con los equipos y contra el sueño, sin duda, encontré en ti y en tu familia una bella amistad. Gracias por abrirme las puertas de tu casa y depositar en mí tu confianza.

Al profesor Vincenzo, por enseñarme y permitirme utilizar el laboratorio de Paleomagnetismo, por darme animo y fuerza para culminar este proyecto, por ayudarme a interpretar todos los datos que se generaron.

A la profesora Milagrosa que junto con el profesor Vincenzo, se dedicaron por dos semanas a medir las muestras en Edinburgh, gracias profesora, sin su ayuda no hubiese tenido ningún resultado.

Al profesor Linares, por permitirme aportar un granito de arena a este bello proyecto, por apoyarnos y poner a disposición todos los recursos necesarios para el desarrollo de este estudio. Por permitirnos pernotar en la casa del Museo, durante nuestra estadía en Urumaco.

A Richard Rodríguez, pibe son muchos los momentos que hemos vivido juntos, desde el liceo, nuestra intención ha sido siempre superarnos, formamos un excelente equipo de trabajo que nunca olvidare.

A Reinaldo Sánchez (Dino), gracias por ser como eres, en Urumaco fuiste un apoyo tremendo,

Al extraordinario pueblo de Urumaco, mágico lugar que llegó a mi vida para llenarla de alegría. Dr. Adrianza, Chiquita, Pito, Patricia, José, el personal de la Alcaldía y tantos otros que escapan de mi memoria, gracias de todo corazón.

A Victor Mota, mi amigo del alma. Son muchas las pruebas que la vida nos ha puesto y que hemos logrado superar, gracias de todo corazón porque en los momentos claves estuviste para darme todo tu apoyo. Igualmente quiero agradecer a tus padres y a Roberto, por abrirme las puertas de tu hogar.

A Nohelia León llegaste a mi vida de una forma inesperada e incluso descabellada, gracias por tu bella amistad y tu inmenso apoyo. Oscar y Barbarita mi ahijadita, gracias por ese toque de inocencia y sinceridad tan particular, sin duda dos pequeños tesoros.

A Tony, Dios te puso en mi camino en el momento ideal, me diste fuerza y seguridad para de una vez por todas culminar, gracias a ti y toda tu familia.

A todas las personas que en este momento escapan de mi memoria, pero, que dieron su granito de arena, gracias de todo Corazón.

ESTUDIO MAGNETOESTRATIGRÁFICO EN LA SECCIÓN DE EL MAMÓN
(MIEMBRO MEDIO DE LA FORMACION URUMACO, ESTADO FALCON)

POR

Jhon Richard Quijano Ballesteros

RESUMEN

La magnetoestratigrafía es un método geofísico que busca reconocer los revertimientos del campo magnético terrestre, de forma que se pueda hacer correlaciones estratigráficas independientes de las facies. El presente estudio corresponde a la parte media superior del miembro informal Urumaco medio, asignada al Chasiquense (biozona de mamíferos sudamericanos continentales). El Chasiquense ha sido correlacionado con los Cronos C5n y C4A dentro del Tortonense (Mioceno tardío). En campo se estudiaron en detalle dos secciones parciales, a lo largo del río Urumaco y al oeste de la falla homónima, que se correlacionaron para formar una sección de 133 m. En total fueron 35 las capas estudiadas en detalle. El litotipo predominante es pelítico. Se reconocen en campo dos fallas, la falla Urumaco y una falla aquí denominada Falla A, ambas fallas son sinestrales. El rumbo regional del área de estudio es N74W. En total fueron diez sitios muestreados, que se sometieron a desmagnetizaciones por temperatura y por campos alternos. La sección representa aproximadamente 475.000 años, según la tasa de sedimentación, calculada para la Formación Urumaco. Se pudo reconocer un periodo revertido y un periodo normal que tentativamente se pueden ubicar entre el sub-Cron C4Ar3 y el Cron C4An.



ÍNDICE GENERAL

	Página
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	
2.1 Nomenclatura de Rocas	2
2.2 Magnetismo	4
2.3 Paleomagnetismo	6
2.4 Magnetoestratigrafía	9
CAPÍTULO III: GEOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO	
3.1 Ubicación Geográfica	11
3.2 Geología Regional	11
3.3 Geología Estructural del Área El Mamón – El Domo de Agua Blanca	13
3.4 Formación Urumaco	14
CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE TRABAJO	
4.1 Revisión Bibliográfica	22
4.2 Trabajo de Campo	22
4.2.1 Levantamiento Geológico	23
4.2.2 Levantamiento de Secciones	23
4.2.3 Toma de Muestras Orientadas	24
4.3 Trabajo de Laboratorio y Oficina	24
4.3.1 Ubicación de Datos sobre la Base Topográfica	25
4.3.2 Construcción de la Columna Estratigráfica	25
4.3.3 Mediciones de las Propiedades Magnéticas	25
4.3.4 Procesamiento de los Datos Magnéticos	27
4.3.5 Interpretación de los Resultados	28



CAPÍTULO V: RESULTADOS Y ANÁLISIS

5.1 Resultados del Levantamiento Geológico	29
5.2 Resultados del Levantamiento de las Secciones	31
5.3 Resultados Paleomagnéticos	32
5.3.1 Desmagnetización por Temperaturas	32
5.3.2 Desmagnetización por Campos Alternos (USB)	38
5.3.3 Desmagnetización por Campos Alternos (Edinburgh)	42

CAPÍTULO VI: INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS MAGNÉTICOS 48

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 53

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 55

APÉNDICES

A Columna Sedimentológica de la Sección El Mamón	58
B Descripción de las Capas de la Sección El Mamón	63
C Imágenes	73
D Datos Magnéticos de las Muestras	79
E Diagramas, Proyecciones Estereográficas y Curvas de Desmagnetización	81



ÍNDICE GENERAL DE TABLAS

	página
Tabla 1: Sitios en donde se tomaron los núcleos, con su denominación, DAB/B, Capa y litotipo de la roca muestreada	32
Tabla 2: Susceptibilidad magnética de cada núcleo vs. pasos de temperatura	33
Tabla 3: Sitios de toma de muestras, con su denominación, DAB/B, capa y litotipo de la roca muestreada.	37
Tabla 4: Susceptibilidad magnética y NRM, medidos a temperatura ambiente y promediada por sitio, con la ubicación estratigráfica de las muestras.	38
Tabla 5: Declinación e inclinación reportada por sitio.	45



ÍNDICE GENERAL DE FIGURAS

	Página
Figura 1: Triángulo de composición para la clasificación y nomenclatura de rocas intermedias siliciclásticas-carbonática.	3
Figura 2: Triángulo de clasificación y nomenclatura de conglomerados y brechas.	3
Figura 3: Escala de tamaño de grano de componentes siliciclásticos.	5
Figura 4: Esfericidad y redondez de los granos. Gráfica visual de Powers(1953)	5
Figura 5: Representación de la alineación de los momentos magnéticos.	6
Figura 6: Representación esquemática del campo magnético terrestre, adoptando el modelo de un dipolo geocéntrico axial.	7
Figura 7: Componentes del vector representativo del campo magnético terrestre	7
Figura 8: Escala temporal de la Polaridad Magnética para los últimos 30 Ma.	10
Figura 9: Ubicación del área de estudio.	12
Figura 10: Mapa paleogeográfico del Estado falcón en el Mioceno Inferior.	15
Figura 11: Mapa Geológico de Urumaco, con los niveles fósiles y capas guías.	15
Figura 12: Carta faunal de las formaciones Socorro (miembro superior), Urumaco y Codore (miembro El Jebe).	19
Figura 13: Columna sintética integrada de las sección de Llano Grande.	21
Figura 14: Posiciones de las muestras en el magnetómetro Molspin.	26
Figura 15: Mapa Estructural del área El Mamón, en el Río Urumaco, con la ubicación de contactos guías, fallas, sitios con mediciones de DAB/B y sitios de toma de muestras orientadas.	30
Figura 16: Susceptibilidad magnética vs. Temperatura de las muestras EM10-7 y EM10-9.	35
Figura 17: Susceptibilidad magnética vs. Temperatura de las muestras EM01-7, EM01-8, EM01-9, EM02-7, EM02-8, EM02-9, EM08-8 y EM10-8.	35
Figura 18: Susceptibilidad magnética vs. Temperatura de la muestra EM08-7.	36
Figura 19: Proyecciones Estereográficas, Diagramas de Zijderveld y curvas de	37



desmagnetización por temperaturas, respectivamente, correspondientes a las muestras EM10-9 (a) y EM08-7 (b).

Figura 20: Susceptibilidad Magnética vs. Posición Estratigráfica. 40

Figura 21: NRM vs. Posición Estratigráfica. 40

Figura 22: Proyecciones estereográficas, diagramas de Zijderveld y curvas de desmagnetización por campos alternos, respectivamente, correspondientes a las muestras EM01-6 (a) y EM03-3 (b). 41

Figura 23: Proyecciones estereográficas, diagramas de Zijderveld y curvas de desmagnetización por campos alternos, respectivamente, correspondientes a las muestras EM01-1 (a) y EM02-2 (b). 43

Figura 24: Proyecciones estereográficas, diagramas de Zijderveld y curvas de desmagnetización por campos alternos, respectivamente, correspondientes a las muestras EM05-1 (a) y EM05-2 (b). 44

Figura 25: Proyecciones estereográficas, diagramas de Zijderveld y curvas de desmagnetización por campos alternos, respectivamente, correspondientes a las muestras EM06-1 (a) y EM10-1 (b). 45

Figura 26: Proyección Estereográfica de las componentes aisladas por sitio. 47

Figura 27: Columna Estratigráfica con susceptibilidad magnética, Declinación, Inclinación y la polaridad interpretada 49

Figura 28: Escala de tiempo del Mioceno medio-Mioceno tardío. 51



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La magnetoestratigrafía es un método geofísico que busca reconocer los revertimientos del campo magnético terrestre, de forma que se puedan realizar correlaciones estratigráficas independientes de las facies. Este método es un instrumento ideal para determinar edades de secuencias estériles de fósiles marinos. Además, este método tiene generalmente, una mayor resolución temporal que las zonaciones determinadas por la bioestratigrafía. Es así como el objetivo de este proyecto es el de reconocer algunos de los revertimientos registrados por la literatura a escala mundial en la secuencia estudiada, que se denomina sección El Mamón y se encuentra ubicada al oeste de la falla de Urumaco, en el miembro medio de la Formación Urumaco de edad Mioceno tardío. Este estudio comprendió un período de campo en donde se realizaron levantamientos geológicos, levantamientos de secciones y toma de muestras orientadas en rocas de naturaleza pelítica, y un periodo de laboratorio en donde se desmagnetizaron las muestras recolectadas y se midió la remanencia magnética natural de cada muestra, a fin de aislar los componentes primarios.

Este proyecto, pretende contribuir al estudio de la secuencia Neógena que aflora en el occidente del Estado Falcón. Además, es necesario destacar que estos trabajos son pioneros en el área de estudio, sentando los criterios a tener en cuenta para próximos estudios magnetoestratigráficos en el área.

La región de Urumaco imprime una motivación adicional por ser un área de referencia mundial, en lo que respecta a yacimientos fosilíferos de vertebrados, despertando el interés de varias disciplinas científicas tales como Paleontología, Antropología y Ciencias de la Tierra en general.



CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Nomenclatura de Rocas

En campo, la descripción de secciones se realiza en forma telegrama y no verbal, de manera que se omitan el menor número de detalles. A continuación, se presenta el orden de descripción que se emplea en campo:

Frase introductiva

Litotipos presentes y su relación estratigráfica.

Para cada litotipo

Término del litotipo, términos calificativos y componentes comunes,

Textura, compactación y porosidad cualitativa,

Color, color de meteorización, fractura, olor y minerales accesorios.

Estratificación,

Estructuras sedimentarias, diagenéticas y tectónicas.

Icnofósiles.

Cotacto basal de la capa

Dato interpretativo

Unidad litoestratigráfica.

Para describir rocas silisiclásticas, la forma correcta sería como sigue: el litotipo, se refiere al tamaño de grano (ver figuras 1 y 2) y a la redondez de los componentes mayores a 2 mm, seguido por el calificativo, que indica la composición de los componentes mayoritarios (> 10% del total de la roca) y comunes (1% – 10% del total de la roca). El tamaño de grano



promedio y máximo presente en los sedimentos, determinado en rocas pelíticas mediante el tacto con los dedos o los

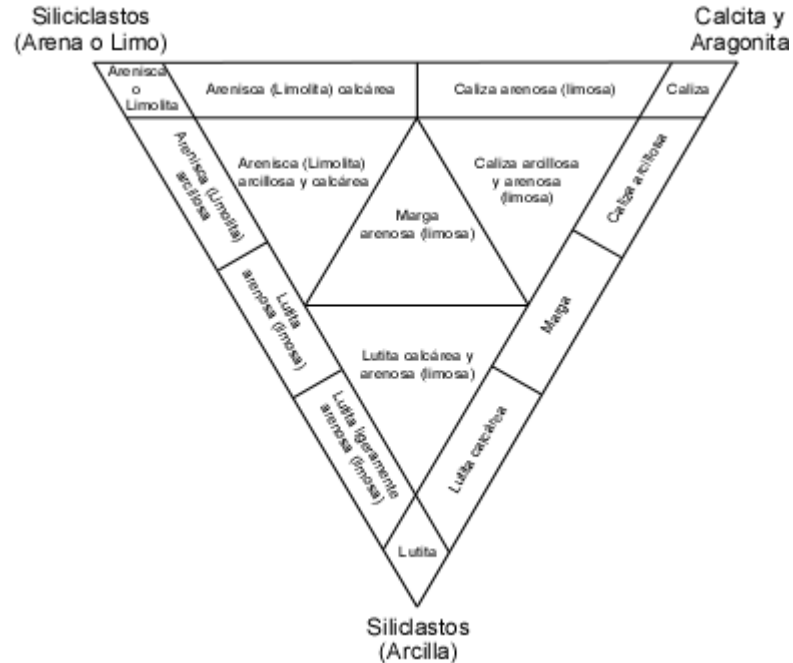


Figura 1: Triángulo de composición para la clasificación y nomenclatura de rocas intermedias, siliciclásticas-carbonáticas. Tomado de Guía personal, Pilloud. Inédito.



Figura 2: Triángulo de clasificación y nomenclatura de conglomerados y brechas. Tomado de Guía personal, Pilloud. Inédito.



dientes, en rocas arenosas, mediante la evaluación con un comparador de tamaño de grano y una lupa de mano (ver figura 3). La redondez y esfericidad de los granos detríticos, se aprecia utilizando el comparador visual de Powers (1953) (ver figura 4). El color y el color de meteorización se describe según los términos traducidos al castellano del Rock Color Chart, de The Geological Society of American.

2.2 Magnetismo

La susceptibilidad magnética (κ) es una medida del grado con el cual un material puede ser magnetizado. Éste parámetro es de gran ayuda para caracterizar distintos tipos de rocas. La susceptibilidad magnética depende principalmente de la concentración, pero también de la forma, tamaño y tipo de grano que conforma la roca y de la magnitud del campo externo (Sheriff, 1999).

En la naturaleza se presentan tres tipos de materiales: diamagnéticos, paramagnéticos y ferromagnéticos. Los materiales diamagnéticos incluyen elementos como cuarzo, feldespato, calcio y carbonatos (Robinson, 1988), y se caracterizan por presentar susceptibilidades negativas, estos materiales muestran una dirección opuesta al campo que la induce. Los materiales paramagnéticos incluyen algunos minerales que contengan hierro y sal como biotita, olivino y sulfatos ferrosos (Robinson, 1988), y se caracterizan por susceptibilidades positivas pequeñas. Los materiales ferromagnéticos, incluyen elementos como hierro, níquel, cromo y cobalto y se caracterizan por presentar valores de susceptibilidad altos y positivos, la dirección y magnitud de la magnetización se puede establecer mediante un campo magnético externo. En el caso de los minerales ferromagnéticos se debe considerar el dominio magnético, que consiste en pequeñas regiones, en donde los momentos magnéticos de los átomos se alinean con sus vecinos más próximos (ver figura 5).

Las sustancias antiferromagnéticas tienden a alinearse en dos direcciones opuestas, anulando el momento magnético. Son muy usados en paleomagnetismo ya que los momentos magnéticos indican la orientación de líneas de fuerza del campo magnético terrestre en tiempos de formación



mm	μm	ϕ	Nomenclatura	Código	Litotipos	
256		-8	Bloque	16	Conglomerado o Brecha	
64		-6	Guijarro	15		
4		-2	Guijón	14	Microconglomerado	
2		-1	Gránulo	13		
1,41		-0,5	Arena	muy gruesa sup	12	Areniscas
1		0		muy gruesa inf	11	
1,71		0,5		gruesa sup	10	
1,2	500	1		gruesa in	9	
1/2	350	1,5		media sup	8	
1/4	250	2		media inf	7	
1/8	177	2,5		fina sup	6	
1/8	125	3		fina inf	5	
1/16	88	3,5		muy fina sup	4	
1/16	63	4		muy fina inf	3	
1/64	16	6	Limo	2	Limolita	
			Arcilla	1	Lutita	
				0	Rocas no siliciclásticas	

Figura 3: Escala de tamaño de grano de componentes siliciclásticos. Tomado de Guía personal, Pilloud. Inédito.

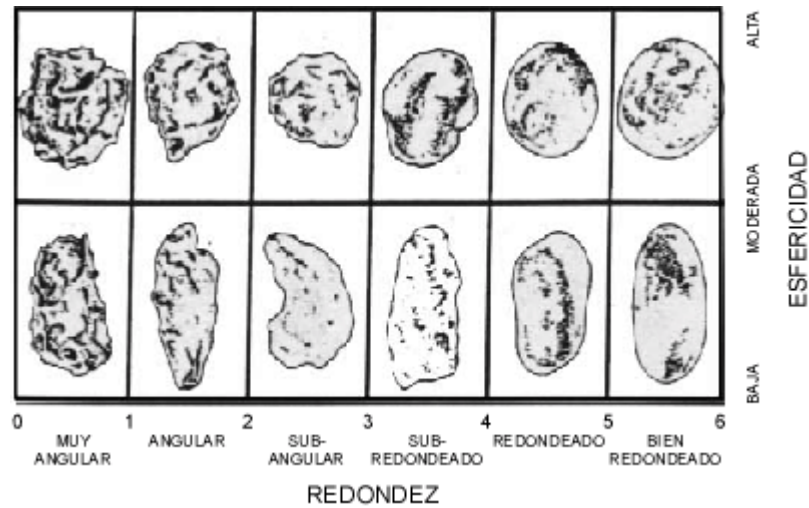


Figura 4: Esfericidad y redondez de los granos. Gráfica visual de Powers (1953). Tomado de Guía personal, Pilloud. Inédito.



El mineral antiferromagnético más conocido es la Hematita (óxido de hierro, Fe_2O_3) (Robinson, 1988).

En el caso de sustancias ferrimagnéticas, los momentos magnéticos atómicos tienden a alinearse en dos direcciones opuestas, una de las cuales es preferida, produciendo un momento magnético neto. El mineral ferrimagnético más abundante es la magnetita (óxido de hierro, Fe_3O_4)

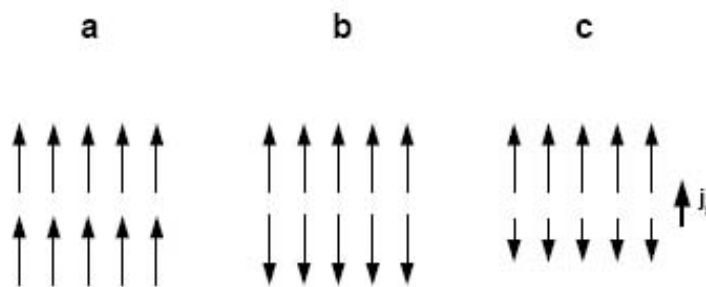


Figura 5: Representación de la alineación de los momentos magnéticos. (a) Ferromagnetismo, (b) Antiferromagnetismo y (c) Ferrimagnetismo. En el caso (b) el momento neto es cero, en el caso (c) se observa a la derecha el momento magnético. Tomado de Butler, 1998.

2.3 Paleomagnetismo

El campo magnético terrestre se aproxima al campo producido por un dipolo magnético situado en el centro de la Tierra (ver figura 6). Cualquier cuerpo magnetizado dejado en libertad de movimiento dentro de este campo tenderá a orientar sus respectivos polos magnéticos en la forma ilustrada en la figura. De esta manera, es posible conocer la dirección en la cual se encuentra el polo geomagnético en cualquier lugar de la superficie terrestre. En un punto dado, el campo magnético puede expresarse en función de tres parámetros (ver figura 7), dos definiendo la dirección, declinación (medida positiva al este del norte geográfico) e inclinación (medida positiva hacia abajo de la horizontal) y uno definiendo la intensidad (Butler, 1998).

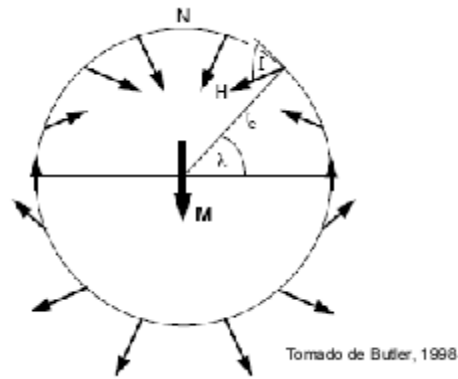


Figura 6: Representación esquemática del campo magnético terrestre, adoptando el modelo de un dipolo geocéntrico axial.

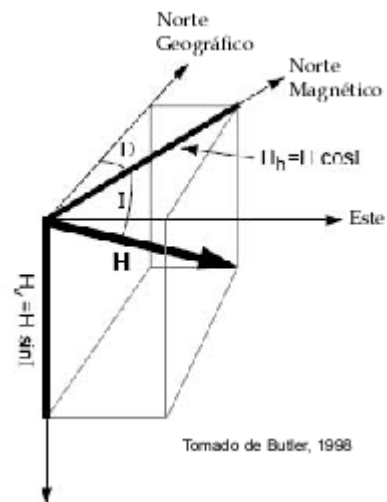


Figura 7: Componentes del Vector representativo del campo magnético terrestre.



La inclinación, como se puede observar, varía con la latitud, desde horizontal cerca del ecuador hasta vertical cerca de los polos. Ello proporciona una forma de estimar la latitud de un punto dado y de posibles movimientos relativos entre dos puntos cualesquiera (Butler, 1998).

Estudios del campo magnético terrestre con observaciones directas tomadas durante los últimos cientos de años y con mediciones paleomagnéticas en rocas y materiales arqueológicos de diversas edades, han permitido determinar que las características de este campo varían en el tiempo. Las variaciones observadas van desde aquellas de baja magnitud y periodo corto (subcrones), hasta variaciones mayores y con periodos largos (crones, supercrones) (Butler, 1998).

Las rocas, por ser agregados de minerales, se comportan como imanes débiles, cuyas direcciones de magnetización son paralelas a la dirección del campo magnético para el momento de su formación.

La magnetización remanente natural (NRM) es la magnetización fósil preservada en la roca. El NRM depende del campo geomagnético y de los procesos geológicos que ocurrieron durante la formación de la roca y durante su historia. El NRM normalmente está compuesto por más de una componente, la componente adquirida durante la formación de la roca, se denomina componente primaria y las componentes que son adquiridas posteriormente se denominan componentes secundarias (Butler, 1998).

El paleomagnetismo se encarga de estudiar las diferentes componentes superpuestas en las rocas, de modo, que pueda obtener información del campo geomagnético, presente en el momento de formación de la roca, para ello se vale de distintas técnicas, tales como, desmagnetizaciones por temperaturas y desmagnetizaciones aplicando campos alternos.

Las desmagnetizaciones por campos alternos, consisten en exponer una muestra a un campo magnético alterno, que decrementa en magnitud al pasar el tiempo, la sinusoidal generada



tiene comúnmente una frecuencia de 400 Hz y decae hasta cero en un tiempo máximo de un minuto.

Las desmagnetizaciones por temperatura, consisten en calentar una muestra elevando la temperatura hasta temperaturas superiores a los puntos de Curie de los distintos minerales que conforman la roca, de modo que se borren las componentes secundarias y podamos observar la componente primaria (Butler, 1998).

En ambos métodos los NRM se reportan en coordenadas polares: Declinación, Inclinación e Intensidad y coordenadas cartesianas: Norte, Este y Down.

2.4 Magnetoestratigrafía

La magnetoestratigrafía es el estudio de los cambios de polaridad del campo geomagnético terrestre, de un período determinado, correlacionados con los registros estratigráficos de ese mismo período. Analizando la magnetización remanente natural primaria se determina la orientación del campo magnético para la época de formación de la roca (Hailwood, 1989), si la dirección del Norte magnético es la misma que el Norte geográfico se dice que estamos en presencia de un campo magnético normal y se representa de color negro en las tablas de escala temporal, por el contrario, si la dirección del Norte magnético apunta hacia el Sur geográfico, estamos en presencia de un campo magnético revertido, que se representa de color blanco en las tablas de escala temporal. En la figura 8 tenemos un ejemplo de una escala temporal de polaridad magnética para los últimos 30 Ma. (Berggren et al, 1995).

Para el estudio magnetoestratigráfico se deben tomar muestras de rocas orientadas, es decir se debe conocer hacia donde apunta el Norte magnético, además, se debe tomar nota de la posición estratigráfica de la muestra, así como también, datos de rumbo y buzamiento, que permitan realizar correcciones tectónicas y estratigráficas. Es de hacer notar, que este método empleado por si solo es estéril, de modo que se requiere siempre de algún marcador estratigráfico.



La Magnetoestratigrafía se divide en zonas de polaridad, que son equivalentes a cronozonas (Cronoestratigrafía) y Cronos (Geocronología).

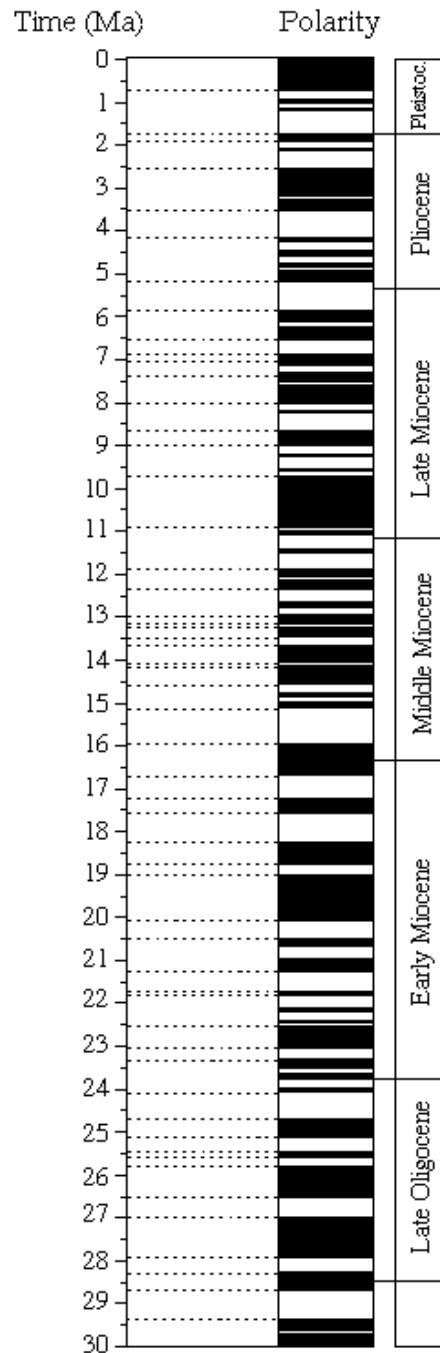


Figura 8: Escala temporal de la Polaridad Magnética para los últimos 30 Ma. Tomado de Berggren et.al. in Soc. Econ. Paleontol Mineral., Spec. Publ. 54, 129-212, 1995.



CAPÍTULO III

GEOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO

3.1 Ubicación Geográfica

La región de Urumaco se encuentra ubicada dentro del Municipio Urumaco, en la parte noroccidental del Estado Falcón (Hoja de Cartografía Nacional N° 6149, escala 1:100.000). El pueblo de Urumaco se encuentra situado en la zona central y se accede por medio de la carretera nacional Falcón-Zulia, entre las ciudades de Coro y Maracaibo. El área de estudio está ubicada aproximadamente a 2,5 Km. al norte del pueblo de Urumaco, en el margen occidental del río Urumaco, al noroeste de la falla de Urumaco. Esta falla separa la sección de El Mamón de la sección de El Domo de Agua Blanca, estudiada por Herrera (2005). El acceso al área de estudio, es por medio de una carretera no pavimentada que permite el tránsito de vehículos hasta el caserío El Hatillo (ver figura 9). El clima en general es árido y semiárido, con temperaturas de hasta 38° C. La vegetación dominante es xerofítica y la cobertura vegetal es escasa en la mayor parte de la región, exhibiendo un registro geológico continuo (ver imagen 1, apéndice C).

3.2 Geología Regional

La Cuenca de Falcón, según Audemard (1997) se formó en la parte oriental y central sobre el alóctono Caribe, emplazado durante la compresión del Paleoceno-Eoceno inferior. Durante el Eoceno superior tuvo lugar un nuevo pulso orogénico que separó las cuencas de Falcón y Maracaibo, la literatura denomina esta cuenca como Canal Falconiano (González de Juana et.al, 1938; Zambrano, 1971; Wheeler, 1963). Esta cuenca, fue rellenada durante el Ciclo Terciario Superior, específicamente durante el Oligoceno y Mioceno (González de Juana et.al, 1980).



La cuenca de Falcón comenzó a recibir sedimentos marinos durante el Eoceno superior, en su parte más oriental, y que correspondientes a la Formación Cerro Misión. La invasión

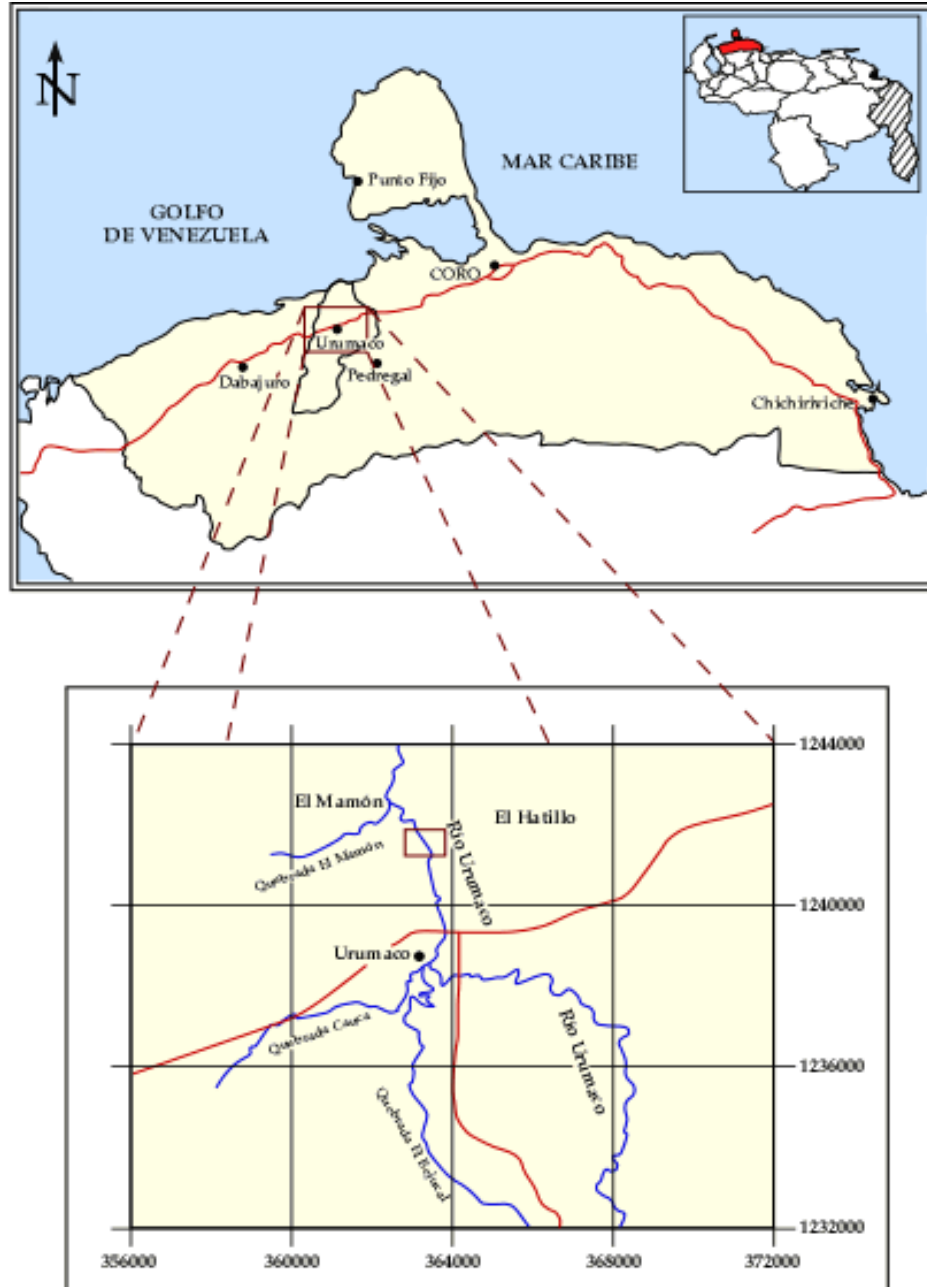


Figura 9: Ubicación del área de Estudio.



marina avanzó hacia el límite occidental de la cuenca, en el Oligoceno inferior, alcanzando su mejor desarrollo durante el Oligoceno medio y superior y parte del Mioceno inferior. Durante este lapso las zonas meridionales y en parte centrales de la cuenca se levantaron, aportando sedimentos a los ambientes marinos de Falcón centro norte y Falcón nor-oriental (González de Juana et al, 1980) (ver figura 10).

Durante el Mioceno comenzó el proceso de inversión de la cuenca. Esta inversión, levantó y erosionó los sedimentos depositados en el canal. La formación del anticlinorio de Falcón condujo a la división de la cuenca en dos entidades depositacionales distintas, hacia el Sur, ambientes marginales y costeros, y hacia el Norte se mantuvieron los ambientes de aguas profundas y de transición (Boesi & Goddard, 1991).

Según Audemard (1995a) el cierre de la Cuenca de Falcón, se subdivide en tres etapas. Primera, inversión tectónica del Mioceno medio-Mioceno superior, que se originó debido a la configuración de un campo de esfuerzos con un esfuerzo máximo orientado N 155°. Tanto los esfuerzos máximos como mínimo son sub-horizontales, lo que genera según la teoría de fallamiento de Anderson un régimen de transurrencia. La segunda etapa corresponde a la compresión Mioceno-Plioceno que originó probablemente, la inversión del Surco de Urumaco. La fuente de la compresión fue el movimiento transcurrente de la falla de Oca-Ancón y el campo de esfuerzos existente para el momento. Esta fase tectónica propició la formación de una discordancia durante el Mioceno tardío, que es observable con intensidad variable en diversas zonas, lo cual hace que esta discontinuidad estratigráfica no tenga un carácter regional. La última fase compresiva configuró la región al estado actual y se mantiene activa (Audemard, 1995a).

3.3 Geología Estructural del Área El Mamón – El Domo de Agua Blanca

Según Charles Ducloz (1951) el área de Urumaco se encuentra afectada por numerosas fallas diagonales que localmente causan plegamientos en los estratos. Ducloz reconoce al menos 34 fallas, de las cuales veinte son del tipo normal, cuatro probablemente sean normales, cinco normales con componentes inversas locales, una inversa, una vertical y tres no determinadas. La



Falla de Urumaco es definida como normal, en donde el bloque deprimido se encuentra al WSW de la falla, la falla tiene un buzamiento de 60° a 65°. Santamaría (1986), señala que las fallas son oblicuas normales de ángulo alto y movimiento horizontal variable, que discrimina de la siguiente manera, cuando la componente horizontal es del tipo dextral se produce el levantamiento del bloque oeste, mientras que cuando es sinistral lo hace el bloque este, lo que conduce a la conclusión de que los bloques deprimidos siempre son desplazados hacia el Sur. Además agrega que la estructura de El Domo de Agua Blanca se encuentra afectado por fallas de rumbo NE, que desplazan su eje. Ducloz (1951) estudia el área y define una serie de capas guías compuestas por sedimentos calcáreos, que tienen una mayor competencia a la meteorización que las secuencias de sedimentos pelíticos, con la información colectada, elabora un mapa a escala 1:20.000 en donde presenta las capas guías y las fallas reconocidas en campo. Linares (2004) recopila esta información, la valida en campo y la integra a sus estudios paleontológicos de vertebrados, generando un mapa actualizado con las capas guías, localidades fósiles y niveles fósiles descritos en el área (ver figura 11). Según este mapa la sección de El Mamón esta ubicada entre las capas guías de Ducloz denominadas Capa Calcárea (capa guía 8) y Capa de Thracia (capa guía 18). Estas capas delimitan el miembro medio de la Formación Urumaco.

3.4 Formación Urumaco

Williston y Nichols (1928) fueron los primeros, en describir y subdividir a la Formación Urumaco en tres miembros, posteriormente Chappell (1956, LEV I) describe la unidad y sus miembros informales, mencionando la presencia de restos de vertebrados, reptiles y mamíferos, en la parte superior de la formación. Díaz de Gamero y Linares (1989), tratan ampliamente la estratigrafía, sedimentología y fauna de vertebrados fósiles de la formación. Linares (2004) describe la bioestratigrafía de la fauna de mamíferos, de los niveles fósiles de vertebrados, localizados en la región. Además, Linares menciona los estudios específicos de restos de vertebrados realizados por Royo y Gómez (1960), Pascual y Díaz de Gamero (1969), Sill (1970), Wood y Díaz de Gamero (1971), Wood y Patterson (1973), Wood (1976), Medina (1976), Mones (1980), Wood (1980), Bocquentin y Buffetaut (1981), Bocquentin (1984a y b) y Lundberg et al. (1988), mientras que Hambalek et.al. (1994) presentan un estudio palinoestratigráfico de la unidad.



Según Díaz de Gamero y Linares (1989), la Formación Urumaco se compone de la siguiente secuencia litológica:

Miembro inferior lutítico-limoso:

Lutitas, limonitas, areniscas y areniscas calcáreas friables a calizas coquinoides. Las lutitas son el litotipo más abundante en esta secuencia, y se presentan en dos tipos. Las más comunes y de mayores espesores individuales son de color gris, macizas, de fractura concoidea, muy escasamente microfosilíferas, a veces limolíticas y ocasionalmente portadoras de madera fósil. Las segundas son de color marrón, laminadas, extremadamente ricas en material vegetal finamente fragmentado, a veces carbonosas. Ambos tipos tienen concreciones, costras ferruginosas y escasas madrigueras. Las limolitas presentan espesores de 0,3 m a 8 m, muy bioturbadas, con concreciones ferruginosas y madrigueras, observándose ocasionalmente laminación paralela. Las areniscas son de espesor variable, desde unos centímetros hasta 5 ó 6 m. Son masivas, micáceas, friables, con abundante bioturbación y madrigueras, concreciones ferruginosas y costras de oxidación en el tope de las capas. Muestran estratificación paralela y cruzada planar. Contienen restos de conchas en la parte superior del miembro. Areniscas calcáreas friables a calizas coquinoides bien consolidadas, generalmente bioturbadas y a veces con madrigueras. Este litotipo es el menos común dentro de esta secuencia.

Miembro medio lutítico-arenoso-calcáreo:

Lutitas, calizas y areniscas. Las lutitas son semejantes a las del miembro inferior. Las de color gris son microfosilíferas, bioturbadas, con concreciones ferruginosas y un mayor contenido carbonoso que las correspondientes del miembro anterior, concentrado en delgados niveles o lentes. Las lutitas marrones son relativamente más abundantes, portadoras de restos de vertebrados variados: reptiles, mamíferos y peces, así como coprolitos y madera. A veces gradan a limolitas, intensamente bioturbadas con *Thalassinoides*. Calizas presentan espesores de 0,5 m a 4 m, excepcionalmente hasta 6 m. Varían de areniscas conchíferas hasta calizas coquinoides, consolidadas y arenosas, frecuentemente bioturbadas, con concreciones ferruginosas y costras ferruginosas en el tope de las capas. Las calizas son muy numerosas en la mitad inferior de este



miembro. Contienen una abundante y medianamente variada fauna de moluscos en matriz arenosa, fragmentados y con variedad de tamaños. Hacia la parte superior del miembro, las calizas son más arenosas, menos abundantes y más delgadas. Ocasionalmente, las conchas son de mayor tamaño y mejor selección y forman bancos o niveles dominados por cada uno de los siguientes géneros: *Pecten*, *Ostrea*, *Chama*, *Anadara*. Estas capas, forman crestas extensas y bisectadas, de baja altura (inferior a los 200 m), con pendientes de 15% a 25% que disminuyen hacia el norte (Linares, 2004), haciéndolas excelentes capas guías. Las areniscas hacia la parte inferior del miembro, son de grano fino a medio, friables, masivas, en espesores de 2 a 10 m, de contacto basal erosivo, a veces con material conglomerático y clastos de arcilla en la base y costra de oxidación en el tope; estratificación cruzada planar y festoneada a gran escala, con ángulos de 20 a 30 grados, disminuyendo hacia el tope y pasando a estratificación paralela, flaser y ondulada; bioturbadas, con madrigueras verticales hacia el tope de las capas; con poca extensión lateral y generalmente asociadas a capas carbonosas de hasta 1 m de espesor en la base. Otro tipo es de grano fino, en capas inferiores a 3 m de espesor, laminadas o con estratificación paralela, gruesas costras de oxidación en el tope y contactos abruptos.

Miembro superior lutítico-arenoso:

Lutitas, limolitas y areniscas. Las lutitas son más abundantes hacia la parte superior, generalmente de color gris, frecuentemente limosas, intercaladas con delgadas areniscas con costras de oxidación y niveles carbonosos. Las lutitas marrones, portadoras de vertebrados, son más escasas y delgadas de hasta 0,3 m. Las limolitas, tanto arenosas como arcillosas tienen espesor promedio de 2 m, excepcionalmente hasta de 6 m, intercaladas con areniscas y horizontes ferruginosos. Las areniscas en la parte inferior son friables, de grano fino a medio, con espesores promedios de 3 m a 7 m, o laminares en capas centimétricas entre lutitas y limolitas, a veces calcáreas y conchíferas; presenta estratificación cruzada y festones a pequeña escala, estratificación flaser; rizaduras en el tope y laminación convoluta hacia la base; las estructuras y el tamaño del grano disminuyen hacia la parte superior de esta secuencia, que suele mostrar estratificación paralela; bioturbación y concreciones ferruginosas. Hacia arriba en la sección son de 1 m a 2 m de espesor; masivas, pasando hacia arriba a laminación paralela, rara vez cruzada de ángulo bajo, laminación flaser y lenticular y finalmente limosas, en espesores delgados,



intercaladas con limos y arcillas, con concreciones y horizontes ferruginosos. Casi en el tope de la formación hay varios niveles importantes portadores de vertebrados, en una variedad de litologías: lutitas marrones y grises, limolitas arenosas y areniscas de grano fino, localmente conchíferas, con costras de oxidación. De esta última hay una capa delgada con abundantes madrigueras verticales y numerosísimos restos de tortugas, denominada en la literatura como "capa de tortugas".

La edad según Díaz de Gamero y Linares (1989) es Mioceno tardío, Zona de *Neogloboquadrina Humerosa*. La distribución temporal de los géneros de mamíferos fósiles presentada por Linares (2004), sugiere una edad continental comprendida entre los pisos Laventense, para la parte inferior del miembro inferior de la Formación Urumaco, Chasiquense para prácticamente todo el miembro medio de la Formación Urumaco y Huayqueriense, para todo el miembro superior de la Formación Urumaco. Hambalek, et.al. (1994) reconocen la Zona de *Echitricolporites spinosus* (Mioceno medio) en base a la palinología.

Según Linares, 2004, al correlacionar el registro de los mamíferos fósiles de la región de Urumaco, con las escalas cronoestratigráficas y magnetoestratigráficas del Cenozoico tardío de Sudamérica se puede ubicar los contactos con las formaciones Socorro (infrayacente a la Formación Urumaco) y Codore (Suprayacente a la Formación Urumaco), entre los Cronos C5AA-C5A (± 13 Ma), y Cronos C3A-C3 (± 6 Ma), cubriendo el intervalo que comprende el tope del Mioceno medio, todo el Mioceno tardío y posiblemente el Plioceno temprano. En la figura 12 se presenta la Carta faunal de las formaciones Socorro (miembro superior), Urumaco y Codore (Miembro El Jebe) basada en la distribución estratigráfica de los taxa de mamíferos, según Linares, 2004, en donde se observa la correlación con las zonas de mamíferos continentales suramericanos con los Cronos.

El espesor de la Formación Urumaco varía entre 1.700 m y 2.000 m, según Díaz de Gamero y Linares (1989), Hambalek et.al. (1994) mencionan un espesor de 1.432 m en la quebrada El Paují (parte oriental del surco de Urumaco). La Formación Urumaco descansa concordante y transicionalmente sobre la Formación Socorro. El contacto superior, con la Formación Codore es también concordante y transicional. La Formación Urumaco se considera



equivalente a la Formación Caujarao, ubicada hacia el este y que presenta facies más marinas (mayor abundancia de carbonatos) que las presentes en la Formación Urumaco (González de Juana et al.; 1980, Saavedra & Vélez, 1987), aunque algunos informes inéditos indican, que la Formación Caujarao corresponde tan sólo al miembro medio de la Formación Urumaco (Díaz de

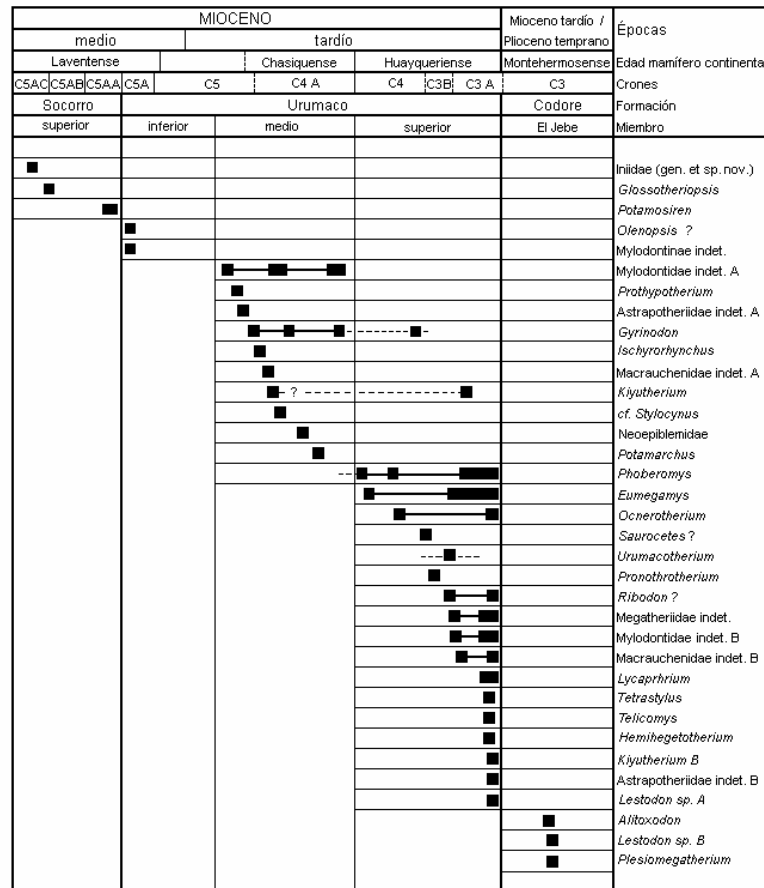


Figura 12: Carta faunal de las formaciones Socorro (miembro superior), Urumaco y Codore (miembro El Jebe) basada en la distribución estratigráfica de la taxa de mamíferos. Las unidades cronoestratigráficas del Cenozoico tardío continental son de acuerdo a Cione et al. (2000) y han sido ligeramente modificadas; la escala magnetoestratigráfica es según Cande y Kent (1995). Tomado de Linares, 2004.



Gamero y Linares, 1989).). La Formación Urumaco se corresponde hacia el occidente con la parte inferior y media de la Formación La Puerta (LEV. II, 1970).

La Formación Urumaco es pobremente microfosilífera, con foraminíferos arenáceos y escasos calcáreos, típicos de aguas salobres. El interés paleontológico principal, reside en su contenido de vertebrados fósiles. La Formación Urumaco, en conjunto con las formaciones Socorro y Codore, conforman la denominada región de Urumaco, que cubre una superficie de 250 km², tiene unos 3.000 m de espesor y en ella se localizan más de 100 localidades con vertebrados fósiles. Estas localidades se encuentran en 60 niveles estratigráficos portadores de vertebrados, pertenecientes a la parte superior de la Formación Socorro, la Formación Urumaco y la parte inferior y media del Miembro El Jebe de la Formación Codore (Linares, 2004). En la figura 13, se observa la columna sintética levantada en la región de Urumaco, con las capas guías, la correlación con las edades de mamíferos continentales y los crones, propuesta por Linares, 2004. Además, se presenta la ubicación aproximada de la sección de El Mamón, según Linares (com. pers.).

La sedimentación de la Formación Urumaco, se ubica dentro de un complejo, de ambientes marginales y próximo costeros, con desarrollo de amplias lagunas y bahías, semiprotegidas por barreras litorales, en un régimen principalmente transgresivo. El aporte de sedimentos fue relativamente escaso, predominantemente de grano fino, en parte proveniente de un sistema fluvial que desemboca en la laguna. La importancia de los depósitos de acarreo de tormenta, es indicativa de un régimen micromareal con tormentas frecuentes, a veces de gran intensidad. La abundancia de materia orgánica vegetal y la composición de los conjuntos de vertebrados, indican la presencia de cubierta vegetal selvática, en un clima húmedo tropical. Dentro de este marco ambiental, la sedimentación del miembro medio de la formación, indica una reducción en el aporte de sedimentos respecto al miembro inferior, mientras que el miembro superior es de carácter regresivo, con un aumento en el aporte de sedimentos y el desarrollo de una llanura fluvial en el sector occidental del área. Durante la sedimentación de la Formación Urumaco, se produjo un equilibrio entre el ascenso relativo del nivel del mar, producto del ascenso eustático y la subsidencia local, y el suministro de sedimentos, de manera que se



preservaron las secuencias detrás de las barreras litorales, sin que se produjera una invasión marina en el área (Díaz de Gamero y Linares, 1989).

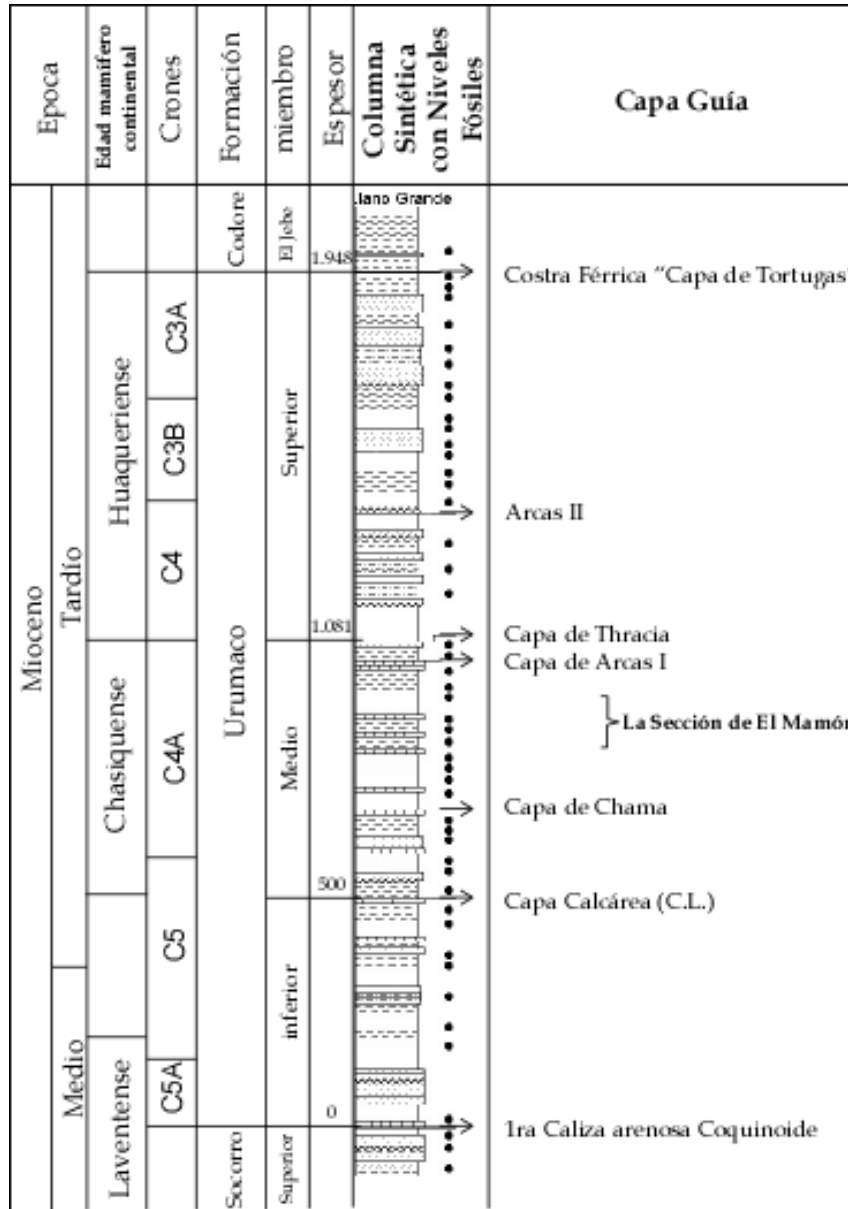


Figura 13: Columna sintética integrada de la sección de Llano Grande, mostrando la distribución general de los niveles fósiles (huesos) portadores de vertebrados terrestres (círculos negros), capas guías y la correlación edades de mamíferos continentales y los crones, propuesta por Linares, 2004. Además, se presenta la ubicación aproximada de la sección de El Mamón, según Linares (com. pers.). Modificado de Linares, 2004.



CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA DE TRABAJO

4.1 Revisión Bibliográfica

La revisión bibliográfica corresponde a la primera fase del proyecto, realizada entre los meses de mayo y junio de 2004. Durante ese lapso de tiempo se recopilaron los mapas geológicos de Richmond Petroleum Company a escala 1:5.000, elaborado por Heater (1928), con curvas de nivel detalladas del sector del Anticlinal El Mamón y Domo de Agua Blanca. Texas Petroleum Company a escala 1:20.000, elaborado por Ch. Ducloz (1951), con las capas guías del área. Creole Petroleum Corporation a escala 1:100.000 (hojas: B-4, 1954 y C-4 1966). Igualmente se recopilaron los trabajos de Ducloz, 1951; Santamaría, 1986; Díaz de Gamero, M. L. y O. J. Linares, 1989 y Hambalek et.al, 1994.

4.2 Trabajo de Campo

El levantamiento geológico de superficie en el área de El Mamón – El Domo de Agua Blanca se realizó en cinco etapas, llevadas a cabo entre el 17 de junio de 2004 y 10 de febrero de 2005, y contó con la participación del Prof. Andrés A. Pilloud y los bachileres Carelis J. Herrera, Richard A. Rodríguez, José Reinaldo Sánchez y Jhon R. Quijano. Durante ese lapso de tiempo el equipo de trabajo estuvo alojado en la “Casa del Museo”, ubicado en el pueblo de Urumaco. Las herramientas y los materiales de campo fueron suplidos por el Prof. Andrés Pilloud. En la primera etapa (entre el 17 y el 24 de junio), se realizó un reconocimiento geológico en el área de estudio, liderizado por el Prof. Andrés Pilloud y que contó con la participación especial del Prof. Omar Linares junto con su equipo de trabajo y el grupo de reconocimiento geológico de la USB “Grupo TEK”. Durante la segunda y tercera etapa (entre el 11 y el 23 de julio, y entre el 4 y el 11 de octubre), se realizaron levantamientos geológicos y de secciones. Durante la cuarta etapa (entre el 22 y el 30 de enero) se levantaron secciones y se tomaron muestras orientadas. En la quinta etapa (entre el 03 y el 10 de febrero), se tomaron muestras orientadas.



4.2.1 Levantamiento Geológico

El levantamiento geológico comprendió:

La ubicación de los puntos de interés mediante la medición y construcción de poligonales, desde puntos únicos en el terreno, ubicados en el mapa base, construido por el Prof. Andrés Pilloud a escala 1:2.500, a partir del mapa de Richmond Petroleum Company a escala 1:5.000. La metodología utilizada para ubicar los puntos de interés mediante la medición y la construcción de poligonales fue la poligonal medida con cinta métrica, brújula y anotaciones en la libreta de campo.

La orientación de planos geológicos (estratificación, diaclasas y fallas), con la brújula Clar y la orientación de líneas geológicas (ejes de pliegues) con la brújula Brunton. Es de hacer notar, que con la brújula Clar se mide la dirección azimutal magnética del buzamiento y el ángulo de buzamiento; restándole 10° al azimut magnético se obtiene el azimut cuadrangular o geográfico. En cada sitio se midieron de 3 a 20 planos de estratificación en puntos diferentes, los cuales fueron promediados aritméticamente, para obtener la orientación promedio de los estratos en cada sitio. En algunos sitios se midieron además, las direcciones de las familias de diaclasas presentes.

En adelante se abreviara como DAB/B, los datos de dirección azimutal de buzamiento y buzamiento de los planos geológicos medidos en campo, sin colocar el signo de grados.

4.2.2 Levantamiento de Secciones

Para el levantamiento de secciones se requirió de: una lupa de mano, tabla de comparación de tamaño de grano de la compañía Shell, tabla de comparación de colores de la GSA (“Rock-Color Chart”), el ácido clorhídrico al 10%, un metro plegable para medir los espesores de las capas y una piqueta. Primero, se definieron los contactos entre las capas a levantar, posteriormente se describió capa por capa en forma “telegrama”, tomando nota en la libreta de campo. Se levantaron dos secciones parciales correspondientes al área de El Mamón, una a lo largo del margen izquierdo del Río Urumaco y otra a lo largo del margen derecho del



Río Urumaco, ambas fueron correlacionadas para formar una sola sección levantada de 133,10 m de espesor.

4.2.3 Toma de Muestras Orientadas

Para la toma de muestras orientadas se requirió de una perforadora de mano, marca Makita, con pila recargable y con sistema de lubricación a base de agua, proporcionado por una bomba de agua manual, de 3 galones de capacidad, además se usaron: una broca de 20 mm de diámetro, cajitas plásticas cúbicas de 1 cm³, con tapa y con el símbolo de Norte magnético y un punto que indica si el estrato es moderno o antiguo, tachuelas de 8 mm de diámetro de color blanco con el Norte magnético dibujado, brújula Brunton y un mazo de goma. La metodología fue la siguiente: en primer lugar se definieron sobre la roca planos subhorizontales (buzamiento de 0°, ver imagen 2, apéndice C), posteriormente se definía sobre el plano, una línea con lápiz paralela al Norte magnético y controlada con la brújula Brunton, Esta línea se empleó para ubicar las cajitas plásticas y las tachuelas (para los casos en que se tomaron núcleos, ver imagen 3, apéndice C). Posteriormente y empleando un mazo de goma se clavaron las cajitas dentro de la roca, (ver imagen 4, apéndice C), una vez incrustados en la roca se extrajeron y se organizaron, se tomó nota de su ubicación con respecto a las capas (ubicación estratigráfica) y del tipo de roca. En los casos en donde se tomaron núcleos, estos se perforaron y luego se envolvieron en cinta transparente y en periódico, igualmente se registraron los datos en la libreta de campo. Durante este estudio se tomaron un total de diez sitios con cajitas cúbicas, con seis especímenes por sitio, denominados con las letras “EM” y el número correspondiente en orden ascendente. Adicionalmente, en cuatro de esos sitios se tomaron núcleos que fueron enumerados siguiendo el patrón de las cajitas. En total se tomaron sesenta cajitas y once núcleos. Cabe destacar, que no fue posible tomar núcleos en todos los sitios, debido a que la broca se atascaba en la roca. Además es importante mencionar que la altísima meteorización, y las escasas precipitaciones hacen imposibles la toma de muestras orientadas en zonas alejadas del lecho del río.



4.3 Trabajo de Laboratorio y Oficina

El trabajo de laboratorio se realizó en el Laboratorio de Paleomagnetismo de la Universidad Simón Bolívar desde el 14 de febrero hasta el 13 de junio de 2005. El trabajo de Oficina se realizó de forma paralela, durante el mismo período.

4.3.1 Ubicación de Datos Sobre la Base Topográfica

Una vez adquiridos los datos de campo, tales como: poligonales, ubicación de las muestras, ubicación de las fallas observadas en campo, sitios con toma de DAB/B, límites de afloramientos y contactos entre capas, el equipo de trabajo digitalizó el mapa base empleado en campo, en Excel se generaron las coordenadas UTM de los datos poligonales, partiendo de un punto único reconocido en campo y correlacionado con el mapa. Con la ayuda de Surfer8 se graficaron las poligonales y se descargaron sobre el mapa base realizado en Canvas7. Los datos fueron corregidos por la declinación magnética. El mapa construido se realizó a escala 1:2500.

4.3.2 Construcción de la Columna Estratigráfica

En primer lugar se procedió a calcular todos los espesores y los contactos de las capas, se reenumeraron las capas, siguiendo un orden ascendente de antiguo a moderno, se definió el perfil de meteorización de cada capa en función de las características observadas en campo. Y se construyó la columna empleando el programa Canvas7 a escala 1:200, resaltando el tamaño de grano, la estratificación, las estructuras sedimentarias, estructuras tectónicas, fósiles hallados y sitios con toma de muestras.

4.3.3 Mediciones de las Propiedades Magnéticas

Para el estudio de Laboratorio, se contó con un total de sesenta muestras en cajitas cúbicas, para ser desmagnetizados por campos alternos y de once núcleos, para ser desmagnetizados por temperatura.



Inicialmente se prepararon los núcleos cortándolos en cilindros de 18 mm de largo por 18 mm de diámetro. Una vez que las muestras estaban listas para su análisis en laboratorio se procedió a medir la susceptibilidad magnética, utilizando el sistema de Susceptibilidad Magnética Bartington MS2 y su sensor MS2B. El sensor MS2B trabaja con un sistema dual de frecuencias altas (HF) y bajas (LF), con valores de 4.6 KHz y 0.465 KHz respectivamente. Las mediciones se realizaron empleando ambas frecuencias, de forma que se detectara alguna posible contaminación de los valores reportados por partículas magnéticas muy finas. (Operation Manual Bartington). Es necesario esperar alrededor de quince minutos antes de iniciar las mediciones, de forma que disminuya la deriva del instrumento. Inicialmente se tomaba una medida del aire (equipo sin muestra), seguida de la medida de la muestra y finalmente otra medida de aire, este procedimiento se repitió cinco veces por cada muestra, de forma que se disminuyera la deriva del instrumento. El sistema de unidades empleado fue el c.g.s., con una apreciación de 0.1. El valor de la susceptibilidad magnética se obtiene de la relación (Operation Manual Bartington):

$$M_{\text{corregida}} = M_{\text{Muestra}} - (M_{\text{inicial del aire}} + M_{\text{final el aire}}) / 2$$

Paralelamente se midió el NRM de cada muestra a temperatura ambiente, utilizando un magnetómetro de giro Molspin Limited y el programa Spdel form1. El Molspin se configura con un spin corto de seis segundos de duración y con una atenuación de 1. Las muestras son colocadas en seis posiciones distintas dentro del equipo para atenuar el error, la muestra gira con una frecuencia de 6 Hz, la amplitud y fase de esta señal, provee una medida de la magnitud y dirección de la componente horizontal de magnetización de cada muestra (Operator's Manual Molspin). Antes de iniciar las mediciones se calibraba el instrumento con una muestra con un NRM establecido de 720 mA/m. Posteriormente se colocaban las muestras siguiendo las posiciones señaladas en la figura 14, en cada posición se hacía girar el magnetómetro, al finalizar las posiciones se le pedía al programa que realizara un promedio de los datos generados, la salida es un archivo .TXT que nos presenta los datos en coordenadas cartesianas y polares. Estos datos eran importados a Excel y al formato .PMD.

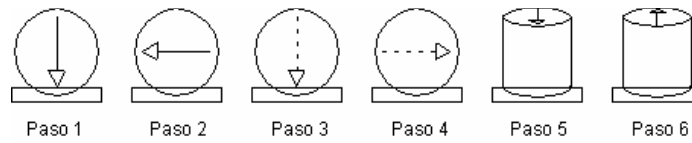


Figura 14: Posiciones de las muestras en el magnetómetro Molspin.

Para la desmagnetización por temperaturas se empleó un Desmagnetizador Thermal Schonstedt, modelo TSD-2. Los núcleos fueron sometidos a 17 pasos de temperaturas desde 50 °C hasta 700 °C, en cada paso se midió el NRM y la susceptibilidad magnética. Cada paso tenía una duración de 40 minutos en la fase de calentamiento y 40 minutos en la fase de enfriamiento. Cabe destacar, que en el desmagnetizador termal sólo se pueden introducir un máximo de 12 núcleos por paso.

Para la desmagnetización por campos alternos se empleó un Desmagnetizador de Corriente Alterna Schonstedt modelo GSD-1 de hasta 1.000 Oersteds (100 mT), con una tasa de decaimiento igual a 10 y un Magnetómetro Criogénico 2G con un sensor DC SQUID, (Universidad de Edinburgh, Reino Unido). Las muestras fueron discriminadas en dos grupos, conformados por dos muestras y cuatro muestras por cada sitio, el grupo de dos muestras por sitios fue llevado a Edinburgh. El grupo restante fue estudiado en la Universidad Simón Bolívar. Cada muestra fue sometida a 14 pasos comprendidos entre picos de campos magnéticos de 25 Oersteds y 1000 Oersteds, en cada paso se midió el NRM, la duración de cada paso fue de seis minutos por muestra.

4.3.4 Procesamiento de los Datos Magnéticos

Para procesar los datos se emplearon cuatro programas bajo ambiente MSDOS, generados por Randolph J. Enkin, (Pacific Geoscience Centre, Canada). El programa PMENTRY versión 3.2, que permite convertir la data generada por el magnetómetro Molspin en un archivo .PMD. El programa KIRSCH versión 3.4, que permite analizar la data paleomagnética, usando análisis de componentes principales (método Kirschvink), usando archivos de entrada del tipo .PMD, el formato del archivo de salida que se genera luego de la interpretación es del tipo .DIR. El



programa PMSTAT versión 3.8, que permite integrar las interpretaciones realizadas por cada muestra, generando un archivo por sitio, usando archivos de entrada del tipo .DIR y generando un archivo de salida también del tipo .DIR. El programa STERPLOT versión 3.2, que permite graficar redes estereográficas con las direcciones de los polos magnéticos, usando archivos de entrada del tipo .DIR y generando un archivo de salida del tipo .HPG. El programa de diseño CoreIDRAW 9, que lee archivos del tipo .HPG y que permite generar archivos del tipo .JPG que pueden ser importados a cualquier programa bajo ambiente Windows.

Una vez introducidos los datos generados por el Molspin, se procedió a introducir las correcciones estratigráficas (ya que las tectónicas no se realizan, debido a la definición de planos subhorizontales en campo), necesarias para horizontalizar los datos, para ello se empleó la regla de la mano derecha, aplicada en programas de computación de modo que la PC reconozca los datos de rumbo y buzamiento correctos. Esta regla nos dice que si tenemos un cuerpo con un rumbo N30E y buza en dirección Sur, el rumbo que debemos introducir es $20^\circ + 180^\circ$, por el contrario, si la capa buza en dirección Norte el rumbo que se debe introducir es 20° .

4.3.5 Interpretación de los Resultados

Para la interpretación de los datos se generaron, por cada muestra analizada, las curvas de desmagnetización M/Mmax vs. Temperatura y M/Mmax vs. Campos Alternos. Adicionalmente se generaron los Diagramas de Zijderveld, utilizando las coordenadas cartesianas y las Proyecciones Estereográficas, utilizando las coordenadas polares. En primer lugar, se procedió a eliminar todos aquellos pasos anómalos, posteriormente se interpretaron los resultados siguiendo el método de Kirschvink y calculando la media de Fisher, esta interpretación se guardaba en un archivo del tipo .DIR, el paso siguiente consistía en agrupar todos los .DIR de las muestras de un mismo sitio, de forma que se pudiera calcular la media de McFadden. Finalmente se graficaron los datos en una red estereográfica y se realizaron los perfiles Declinación vs. Posición Estratigráfica e Inclinación vs. Posición Estratigráfica. Ambos perfiles se integraron a la columna estratigráfica con datos magnéticos.



CAPÍTULO V

RESULTADOS Y ANÁLISIS

5.1 Resultados del Levantamiento Geológico

Producto del trabajo de campo, realizado en el área de El Mamón, se generó un mapa estructural en escala 1:2.500, en el Río Urumaco, en donde se observa el inicio y culminación de la sección levantada, los contactos entre capas adyacentes vistos o inferidos en campo, los sitios con mediciones de DAB/B, los sitios con toma de muestras orientadas y las fallas observadas e inferidas, con el DAB/B del plano de falla (ver figura 15).

En el área de estudio se observan dos fallas, la Falla de Urumaco y una falla aquí denominada como “Falla A”. La Falla A se ubica a lo largo del lecho del Río Urumaco, es lateral sinistral y tiene un rumbo NNW. En esta falla se observa un desplazamiento horizontal mínimo de 15 m y máximo de aproximadamente 50 m, que se evidencia por los desplazamientos de la capa 30 y del contacto entre las capas 25 y 26. La Falla de Urumaco, vista en campo, tiene un rumbo N21E y se comporta como sinistral, con una componente normal, que presenta un buzamiento de 60° a 76° en dirección Norte. No se obtuvo evidencia en campo que permita determinar el desplazamiento de la falla. Al revisar la literatura encontramos que Ducloz (1951) define la falla de Urumaco como normal, además, señala que el bloque deprimido es el occidental. Santamaría (1986) agrega que en todo el sistema de fallas, con componentes normales, presentes en el área, el bloque deprimido siempre es desplazado hacia el Sur. De modo que lo visto en campo, sugiere que la secuencia del área de El Mamón es más joven que la de El Domo de Agua Blanca.

El rumbo regional observado es de N74W. En los estratos cercanos a la falla de Urumaco (capas 1 hasta la 8), se observa como las capas toman un rumbo aproximadamente de E – W asociados a los pliegues de arrastre generados por el movimiento sinistral de la falla. En el

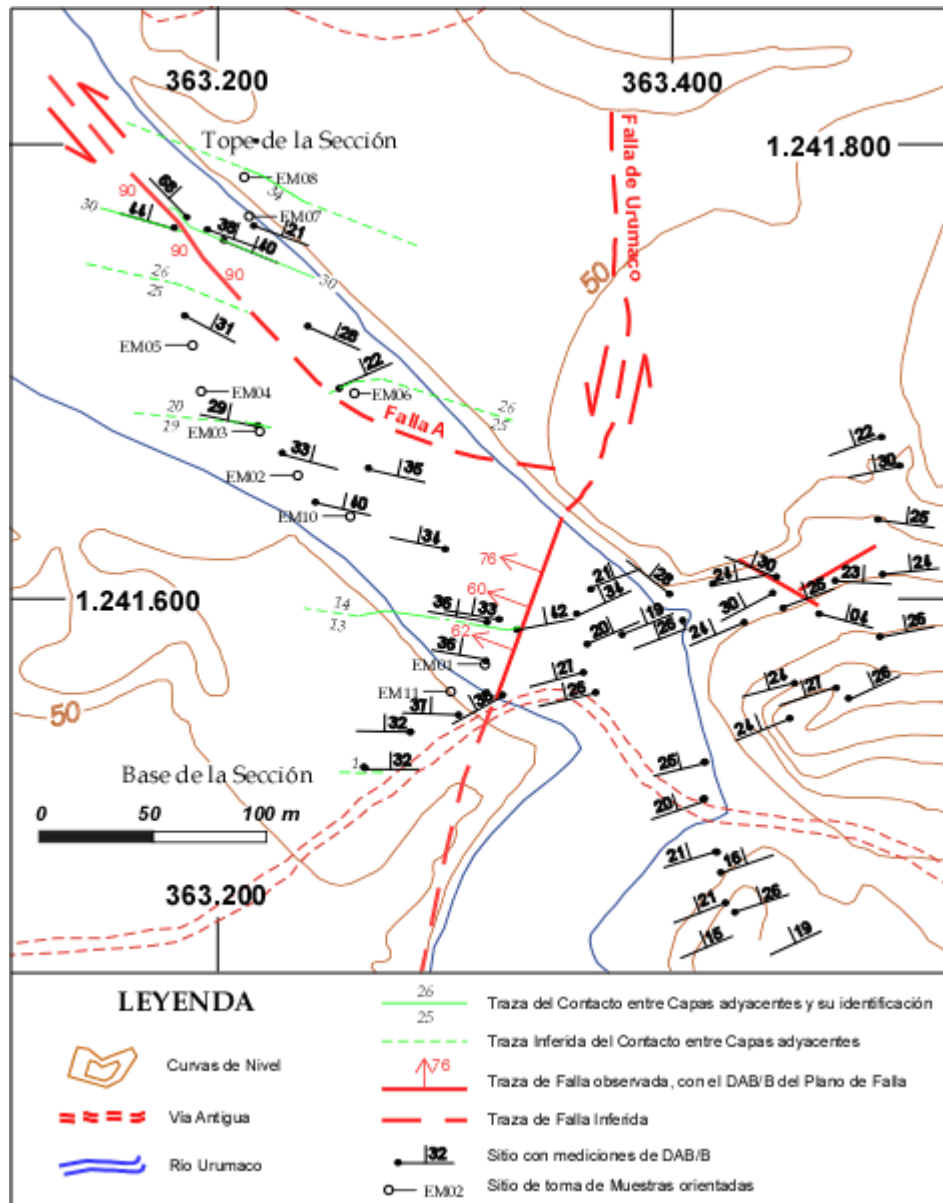


Figura 15: Mapa Estructural del área El Mamón, en el Río Urumaco, con la ubicación de contactos guías, fallas, sitios con mediciones de DAB/B y sitios de toma de muestras orientadas



contacto entre las capas 25 y 26, en el margen derecho del río presenta un rumbo de N66E, esto se debe a la existencia de un pliegue generado por la Falla A, ubicada al oeste de la localidad.

5.2 Resultados del Levantamiento de las Secciones

Se levantaron dos secciones parciales a lo largo del Río Urumaco, al oeste de la falla Urumaco, que posteriormente se correlacionaron para generar una única sección de 133.1 m. En total fueron treinta y cinco las capas estudiadas en detalle, en donde se destacan la ausencia de rocas calcáreas, muy comunes en la sección de El Domo de Agua Blanca al este de la falla Urumaco y una brecha con guijones, guijarros y bloques de hasta 80 cm de diámetro (ver imágenes 5 y 6, apéndice C), que presenta, en parte cantos alineados y hasta imbricados, que permiten reconocer una dirección del flujo de la corriente en dirección Norte, en la capa suprayacente a las brechas se presenta estructuras de deslizamiento y superficies de solapamiento, que igualmente, permiten reconocer la dirección del flujo de la corriente hacia el Norte. Se interpreta que la depositación de estas brechas y de la capa suprayacente están asociadas a una falla sinsedimentaria, en donde el bloque oriental se levanto, erosionándose y depositándose hacia el Norte, sobre el bloque deprimido. Esto nos sugiere, que si buscamos las brechas al este de la falla de Urumaco, no deberíamos encontrarlas.

Entre las areniscas presentes en la sección, destacan dos capas fuertemente compactadas, ambas son ligeramente calcáreas. La arenisca de mayor espesor (capa 13) presenta dos capas gruesas formadas por coquinas de hasta 0,40 m de espesor y en partes presenta glauconita. La arenisca de menor espesor (capa 30) se encuentra profundamente meteorizada y se caracteriza por presentar clastos de lodo (cerca del 70% de la roca), fragmentos de carbón y fragmentos fósiles. Entre las limolitas presentes en la sección, destaca la capa 12, que se caracteriza por presentar cinco capas lenticulares de hasta 10 cm de espesor formadas por coquinas, tres de estas capas presentan bivalvos grandes de concha gruesa y gasterópodos de espira alta, que podrían estar in situ (ver imágenes 7 y 8, apéndice C).

El resto de las capas se encuentra compuesto en su mayoría por lutitas en parte carbonosas (ver imagen 9, apéndice C) y en parte ligeramente limosas a limosas y por limolitas en parte



ligeramente arcillosas a arcillosas. Estas rocas en parte son masivas, mostrando en algunos casos estratificación cruzada y rizaduras de corriente (ver imágenes 10 y 11, apéndice C), además la mayoría de las capas se encuentran bioturbadas (ver imagen 12, apéndice C). Cabe destacar, que en la capa 16, que presenta estratificación cruzada, fue tomado el sitio EM10, con la finalidad de controlar la influencia, que pudiera tener esta estructura sedimentaria en los resultados de laboratorio.

La columna estratigráfica de la sección a escala 1:200, se presenta en el apéndice A, en tanto que la descripción de las capas en detalle de base a tope, se presenta en el apéndice B.

5.2 Resultados Paleomagnéticos

Los análisis de laboratorio realizados serán discriminados por método empleado.

5.3.1 Desmagnetización por Temperaturas

En total fueron once los núcleos correspondientes a cuatro sitios, sometidos a desmagnetizaciones por temperaturas en un rango de 27 °C a 700 °C. En la tabla 1, se observan los sitios en donde se tomaron núcleos, la denominación de cada núcleo, el DAB/B, la capa donde se tomaron los núcleos y su litotipo. Los núcleos, se sometieron a un total de 17 pasos de temperatura, a lo largo de la desmagnetización, se observó como aumentaba la intensidad magnética y la susceptibilidad magnética de cada muestra. En la tabla 2 se presenta la susceptibilidad magnética por muestra. Como se observa para todas ocurre un incremento de la susceptibilidad a partir de 300 °C, lo que sugiere que a esta temperatura se inicia un cambio químico, que precipita algún mineral ferromagnético y expele un fuerte olor a azufre. Este cambio químico podría estar asociado a la presencia de jarosita en las rocas, (aunque no se detectó en las capas donde se tomaron muestras, si se presenta en capas aledañas). La jarosita es un mineral secundario que se presenta formando costras y recubrimientos y tiene una fórmula química de $(\text{SO}_4)\text{KFe}_3(\text{OH})_6$ (Dana, 1960).



Según los incrementos de susceptibilidad, se pueden discriminar tres grupos de muestras.

El primero estaría conformado por EM10-7 y EM10-9, con aumentos muy leves de la susceptibilidad, presentando un valor mínimo de 2,63 (c.g.s.) y un valor máximo de 28,16 (c.g.s.). Es de hacer notar que el punto máximo es alcanzado por ambas muestras a una temperatura de 450 °C (ver figura 16), para decaer entre los 500 °C, y 600 °C de forma drástica. Tentativamente se puede interpretar la precipitación de magnetita, con una proporción magnetita/roca muy baja.

<i>Sitio</i>	<i>Núcleos</i>	<i>DAB/B</i>	<i>Capa</i>	<i>Litotipo</i>
EM01	EM01-7 EM01-8 EM01-9	10/36	11	Limolita arcillosa
EM10	EM10-7 EM10-8 EM10-9	13/40	16	Limolita arcillosa con granos de arena muy fina
EM02	EM02-7 EM02-8 EM02-9	14/36	17	Limolita arcillosa con granos de arena muy fina
EM08	EM08-7 EM08-8	20/21	35	Lutita limosa

Tabla 1: Sitios en donde se tomaron núcleos, con su denominación, DAB/B, capa y litotipo de la roca muestreada

El segundo grupo estaría conformado por las muestras EM01-7, EM01-8, EM01-9, EM10-8, EM02-7, EM02-8, EM02-9 y EM08-8. Estas muestras presentan una tendencia muy similar entre sí, los valores de susceptibilidad aumentan a partir de los 350 °, pero es a los 500 °C cuando alcanzan su máximo valor para después decaer con una pendiente muy baja entre 525 °C y 700 °C. Sólo las muestras EM08-8 y EM10-8 decaen a valores inferiores a 43 (c.g.s.), el resto de las muestras presenta valores finales de susceptibilidad en un rango de 108 a 231 (c.g.s.) (ver figura 17). A priori se puede interpretar que en todas las muestras salvo en EM08-8 y EM10-8, precipita hierro, debido a que a una temperatura de 700 °C aún las muestras no presentan una caída significativa de los valores de susceptibilidad.



		SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA (GFS) POR TEMPERATURA															
Intercala	Z'	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	525	550	575	600	650	700
Em.01 - 7	7.33	7.48	7.20	7.20	7.21	7.29	9.80	11.70	29.39	99.16	241.94	270.65	277.04	266.71	265.26	238.60	231.11
Em.01 - 8	7.67	7.70	7.88	7.69	7.63	7.78	8.34	10.28	26.24	121.78	223.84	244.03	263.03	269.06	267.11	233.38	204.90
Em.01 - 9	7.22	7.10	7.08	7.09	6.96	6.96	7.89	9.14	21.84	89.84	186.39	180.18	195.23	169.48	160.61	143.89	123.26
Em.02 - 7	8.73	8.63	8.53	8.48	8.36	8.30	10.28	18.71	42.48	77.80	128.78	171.78	197.81	191.34	186.80	127.20	108.65
Em.02 - 8	6.03	6.93	6.80	6.86	6.68	7.63	12.04	22.11	46.88	83.28	144.28	197.34	248.30	280.61	231.19	200.34	162.92
Em.02 - 9	6.08	6.90	6.05	6.85	6.85	7.81	13.88	28.04	64.90	94.88	188.04	316.13	288.29	281.86	267.88	208.00	178.24
Em.08 - 7	6.82	6.93	6.40	6.86	6.71	17.16	64.11	333.41	843.88	1765.29	686.44	880.38	878.78	410.82	339.14	161.38	76.90
Em.08 - 8	4.37	4.28	4.38	4.36	4.44	6.16	15.98	72.90	188.71	305.10	478.00	114.91	113.03	88.22	89.34	31.18	20.01
Em.10 - 7	2.28	2.88	2.28	2.71	6.72	2.66	7.84	17.82	28.61	28.16	23.79	18.81	18.86	14.24	12.14	7.62	6.78
Em.10 - 8	6.44	6.38	6.30	6.23	2.68	6.31	112.41	256.13	300.46	269.00	324.80	229.82	249.96	218.71	178.40	74.70	42.94
Em.10 - 9	2.72	2.68	2.83	2.84	2.89	6.88	14.21	19.16	21.81	17.00	13.80	11.61	11.61	10.18	8.38	5.98	7.58

Tabla 2. Susceptibilidad magnéticas de cada núcleo vs pasos de temperatura.



El tercer grupo esta conformado únicamente por la muestra EM08-7. Esta muestra alcanza valores cercanos a 1.770 (c.g.s.) a una temperatura de 450 °C, para después caer a valores por debajo de 300 (c.g.s.) entre los 500 °C y 600 °C (ver figura 18). Al igual que las muestras del primer grupo, pareciera estar precipitando magnetita, con la diferencia que en esta muestra la proporción magnetita/roca es mucho más alta, que la reportada por EM10-7 y EM10-9.

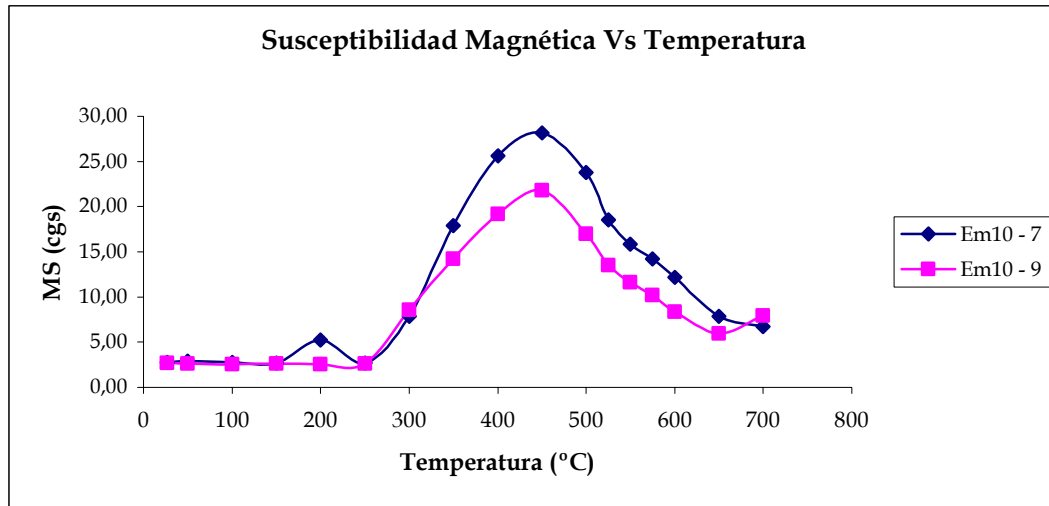


Figura 16: Susceptibilidad magnética vs. Temperatura de las muestras EM10-7 y EM10-9.

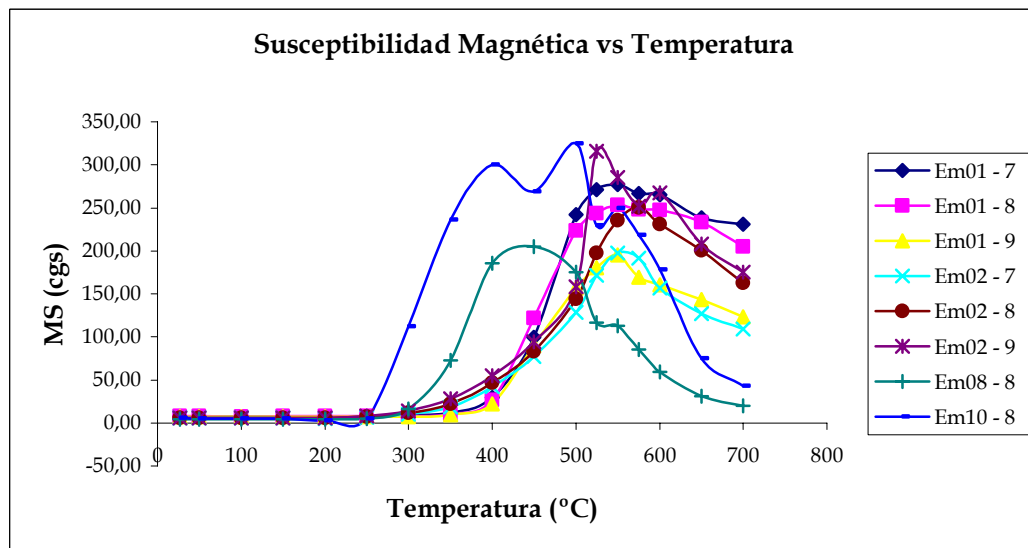


Figura 17: Susceptibilidad magnética vs. Temperatura de las muestras EM01-7, EM01-8, EM01-9, EM02-8, EM02-9, EM08-8 y EM10-8.



Como se observa los valores de susceptibilidad nos sugieren que todos los núcleos, en mayor o menor grado, están sufriendo cambios químicos, estimulados por las altas temperaturas a las que han sido sometidos. Sin analizar las curvas de desmagnetización, podemos asegurar que estas muestras no son idóneas para reportar los cambios de polaridad que se buscan en un estudio magnetoestratigráfico.

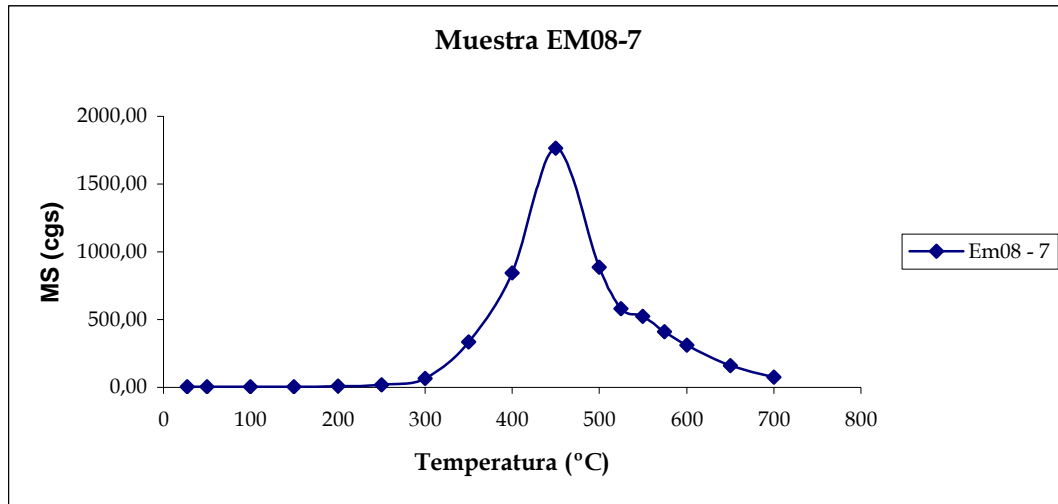


Figura 18: Susceptibilidad magnética vs. Temperatura de la muestra EM08-7.

En la figura 19, se presenta las proyecciones estereográficas, los diagramas de Zijderveld y las curvas de desmagnetización para las muestras EM08-7 y EM10-9. Tanto en la red estereográfica como en los diagramas, es imposible seguir un patrón que nos lleve a aislar las componentes primarias de estas muestras. Igualmente se observa como la intensidad se va incrementando a partir de los 300 °C. Cabe destacar que los restantes nueve núcleos presentan comportamientos semejantes, por lo que se hace imposible determinar algún resultado interesante al emplear desmagnetizaciones por temperaturas.

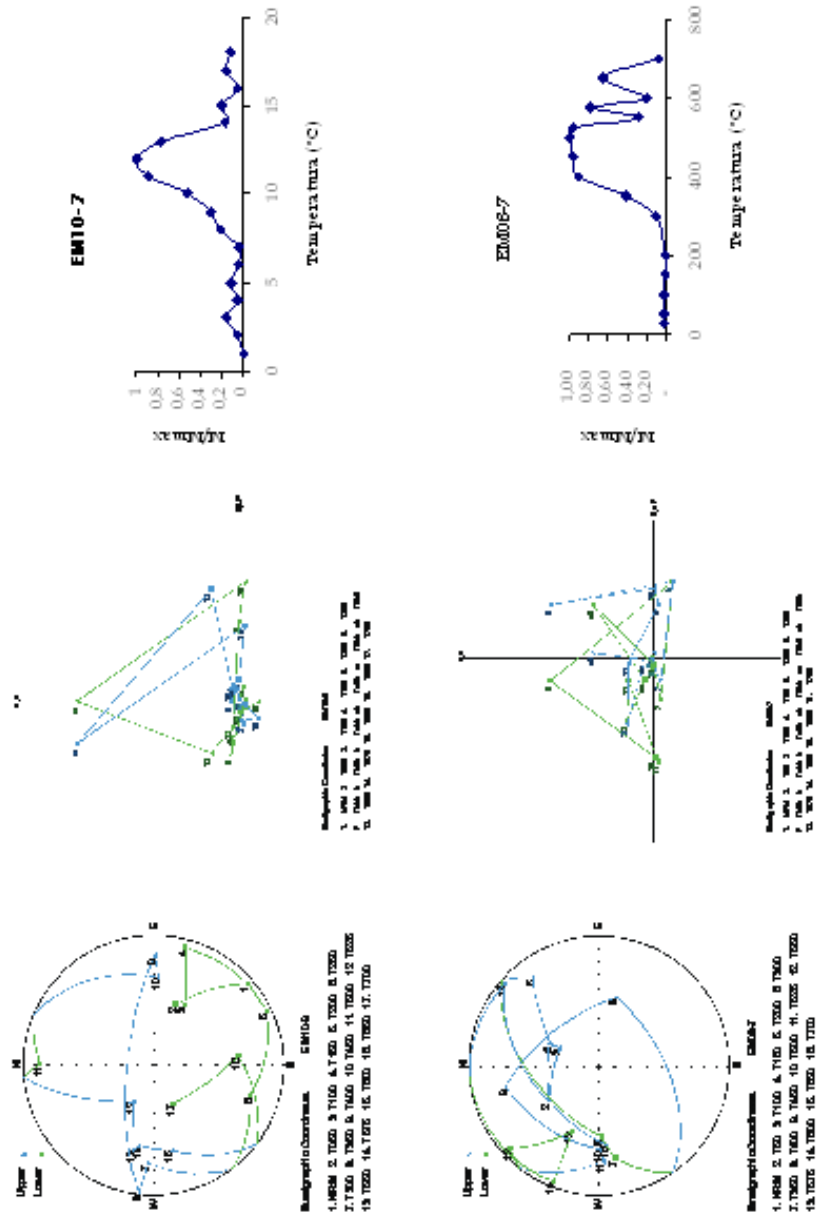


Figura 19: Proyecciones estereográficas, diagramas de Zijderveld y curvas de desmagnetización por temperaturas, respectivamente, correspondientes a las muestras EM10-9 (a) y EM08-7 (b). Aquí se observa el incremento de intensidades para las muestras con mayor y menor contraste de susceptibilidad.



5.3.2 Desmagnetización por Campos Alternos (USB)

En total fueron cuarenta muestras las que se sometieron a desmagnetizaciones parciales por campos alternos. Las desmagnetizaciones se lograron realizar únicamente hasta 400 Oersteds (equivalente a 40 mT). En la tabla 3, se enumeran los sitios de toma de muestras, el DAB/B, la capa en donde se tomó y su litotipo.

<i>Sitio</i>	<i>DAB/B</i>	<i>Capa</i>	<i>Litotipo</i>
EM11	02/37	07	Limolita arcillosa
EM01	10/36	11	Limolita arcillosa
EM10	13/40	16	Limolita arcillosa con granos de arena muy fina
EM02	14/36	17	Limolita arcillosa con granos de arena muy fina
EM03	12/29	19	Limolita arcillosa
EM04	20/30	22	Limolita arcillosa, en partes muy ligeramente calcárea
EM05	28/31	23	Limolita ligeramente arcillosa
EM06	336/42	25	Lutita ligeramente limosa
EM07	20/21	32	Limolita ligeramente arcillosa
EM08	20/21	35	Lutita limosa

Tabla 3: Sitios de toma de muestras, con su denominación, DAB/B, capa y litotipo de la roca muestreada. Cabe destacar que los sitios se encuentran ordenados de acuerdo a su posición estratigráfica de antiguo a moderno.

En la tabla 4, se presentan los datos de susceptibilidad y los datos de NRM, medidos a temperatura ambiente y promediados por sitio. Es de hacer notar que para estas mediciones se consideraron las muestras a analizar en la Universidad Simón Bolívar y las que se midieron en Edinburgh. Considerando que el área de estudio se encuentra delimitada al Sur por la falla de Urumaco, se graficaron susceptibilidad magnética vs posición horizontal relativa a la falla y NRM vs posición horizontal relativa a la falla, con el fin de buscar alguna dependencia de la susceptibilidad o NRM con respecto a la falla, ver figuras 20 y 21. Es de hacer notar que la posición horizontal relativa a la falla es la distancia horizontal perpendicular, desde el sitio con toma de muestras hasta el plano de falla visto en campo.



Sitio	Posición en Columna	Posición horizontal relativa a la falla	MS (c.g.s.)	NRM (mA/m)
EM11	15,70	20	3,32	0,21
EM01	27,30	10	8,70	2,16
EM10	52,60	90	5,28	0,19
EM02	59,80	120	6,97	0,13
EM03	68,10	140	13,69	0,13
EM04	78,80	170	6,24	0,13
EM05	86,00	180	14,58	10,61
EM06	93,40	105	4,05	0,14
EM07	125,70	175	3,51	0,07
EM08	133,00	190	9,50	0,09

Tabla 4: Susceptibilidad Magnética y NRM, medidos a temperatura ambiente y promediado por sitio, con la ubicación estratigráfica de los sitios y la ubicación relativa de los sitios con la falla de Urumaco.

Aparentemente, no pareciera haber alguna relación directa entre los valores reportados para la susceptibilidad y el NRM de los sitios con respecto a las falla de Urumaco. Aunque, llama la atención el sitio EM05, ubicado a 86 m de la base de nuestra sección y aproximadamente a 170 m en línea recta de la Falla Urumaco, en dirección aguas abajo. Este sitio presenta un comportamiento anómalo con respecto a los demás, registrando una susceptibilidad de 14,58 (c.g.s.) y un NRM de 10.61 (mA/m). Es necesario recordar que en el área de estudio se presenta otra falla denominada Falla A, con rumbo NNW a lo largo del lecho del río, con un desplazamiento no mayor de 50 m, y justamente el sitio EM05 se encuentra aproximadamente a 40 m de la misma (ver figura 15), pero, es poco probable que una falla tan pequeña genere únicamente en este sitio un comportamiento anómalo. Esto nos lleva a concluir, que los valores reportados para todas las muestras obedecen a su génesis y no a factores de remagnetización secundaria.

Las muestras EM01-6 y EM03-3 (ver figura 22), son ejemplos individuales de desmagnetización por campos alternos. Para estas muestras en particular se observan dos componentes: para la muestra EM01-6, se observa una declinación de 176° y una inclinación de -55° , en tanto que para la muestra EM03-3, tenemos los siguientes valores: declinación de 11.8° y una inclinación de 37.5° . Como vemos dichos valores corresponden a un campo de polaridad invertida (blanco), en el caso de EM01-6 y un campo de polaridad normal (negro), para EM03-3.

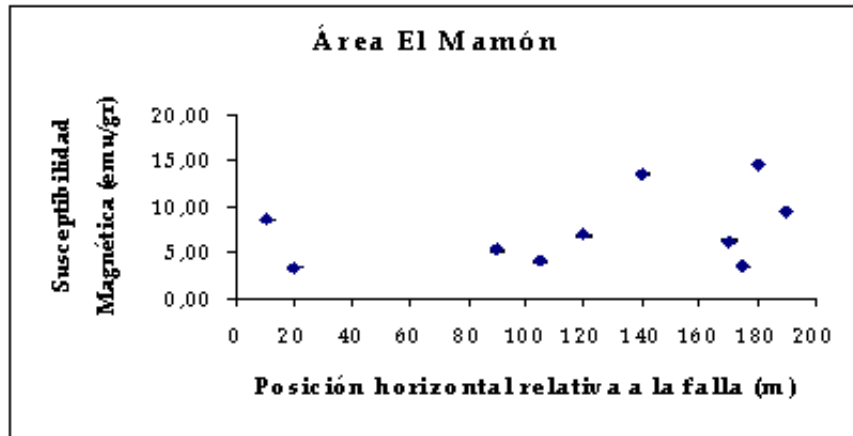


Figura 20: Susceptibilidad Magnética vs Posición horizontal relativa a la falla. La falla de Urumaco se encuentra cercana al origen de coordenadas. No se observa ninguna relación entre la falla y los valores reportados.

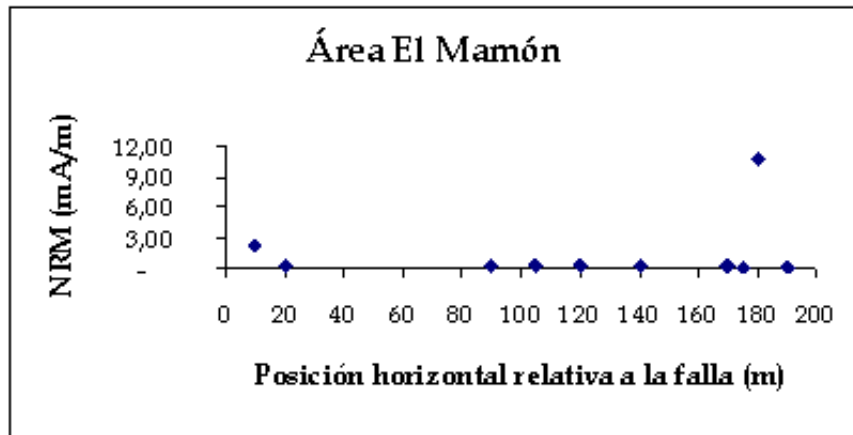


Figura 21: NRM vs Posición horizontal relativa a la falla. La falla de Urumaco se encuentra cercana al origen de coordenadas. No se observa ninguna relación entre la falla y los valores reportados.

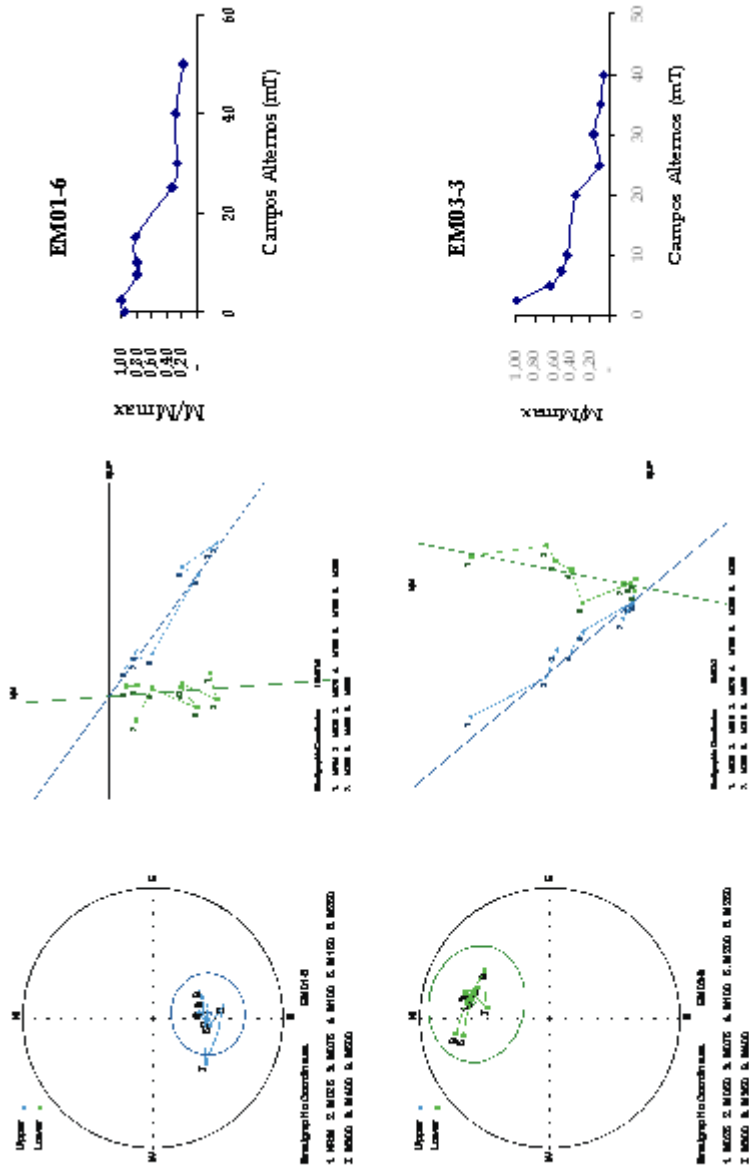


Figura 22: Proyecciones estereográficas, diagramas de Zijderveld y curvas de desmagnetización por campos alternos, respectivamente, correspondientes a las muestras EM01-6 (a) y EM03-3 (b). Se observa la presencia de una componente de desmagnetización. Es de hacer notar que estas muestras no se desmagnetizaron totalmente.



Aunque estas muestras reporten buenos resultados, es necesario señalar que para la mayoría de las muestras analizadas en la USB, se requiere continuar con los pasos de desmagnetización hasta 100 mT aproximadamente.

5.3.3 Desmagnetización por Campos Alternos (Edinburgh)

En total fueron veinte muestras las que se sometieron a desmagnetizaciones por campos alternos. En las figuras 23, se presentan las proyecciones estereográficas, diagramas de Zijderveld y curvas de desmagnetización, para las muestras EM01-1 y EM02-2. En ambos casos se observan dos componentes; coincidentalmente las muestras presentan un patrón de desmagnetización primero decreciente y posteriormente creciente. En ambas muestras, se observa cómo la polaridad del NRM va migrando hacia el Norte para EM02-2 y hacia el Sur para EM01-1, lo que indica que la muestra EM01-1, registra una componente revertida y la muestra EM02-2 registra una componente normal. En la figura 24, se presentan las muestras EM05-1 y EM05-2; es de hacer notar que en el sitio EM05, conformado por ambas muestras, presenta dos componentes antipodales, no desarrolladas totalmente, que se evidencia por el aumento del patrón de desmagnetización, los diagramas de Zijderveld y por los círculos mayores que describen, con un α_{95} inferior a 19 en ambos casos. Es de hacer notar, además, que este sitio es el que presenta la susceptibilidad magnética y el NRM más alto de todos los sitios (ver tabla 4). Finalmente el sitio EM05, reporta una componente normal, que tiende hacia la zona gris. En la figura 25 se presentan las muestras EM06-1 y EM10-1; en estos ejemplos se observan tres componentes para cada muestra, así como, la migración de la polaridad, en el caso de EM06-1. En esta muestra se observa cómo la dirección del NRM migra del Norte hacia el Sur, ubicándose en la zona gris, en tanto el NRM de la muestra Em10-1, migra hacia el Norte, registrando una componente normal. En la tabla 5, se presenta los valores calculados de declinación e inclinación, según el cálculo de la media de Fisher, para interpretar cada muestra y la media de McFadden, para interpretar cada sitio. En la Figura 26 se presenta la proyección estereográfica de las componentes aisladas por sitio, que será discutido en el próximo capítulo.

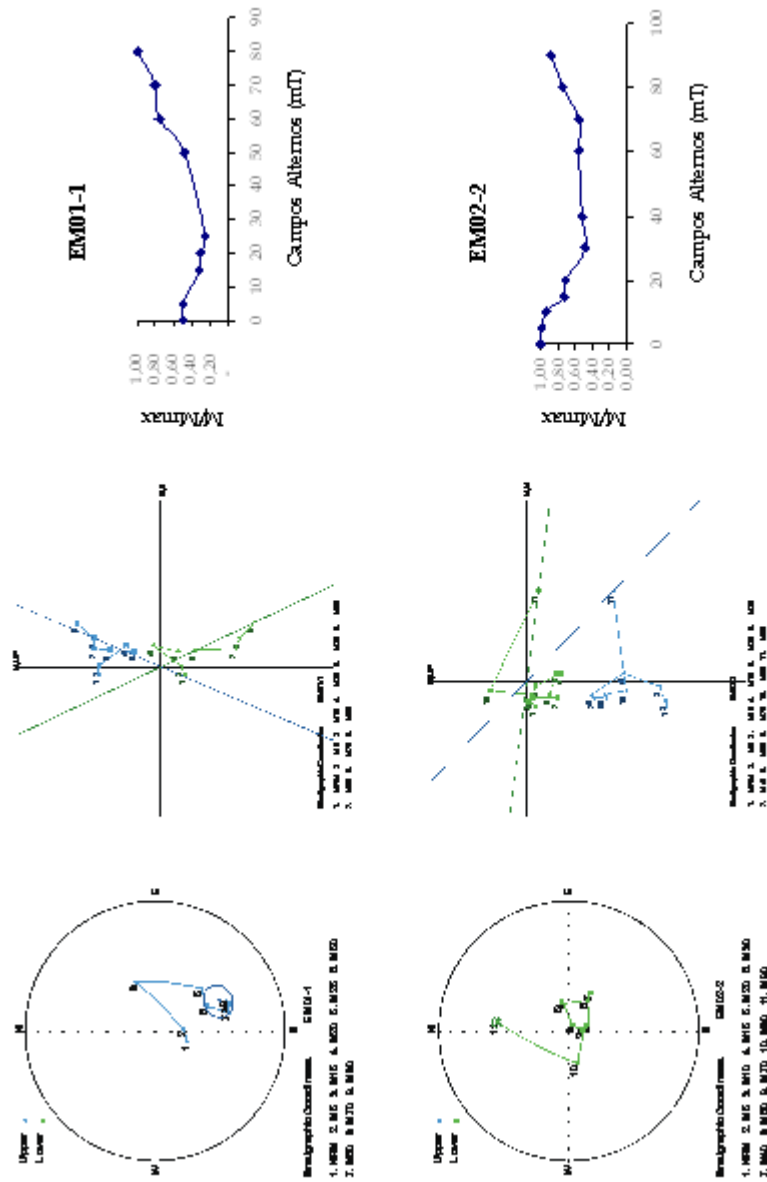


Figura 23: Proyecciones estereográficas, diagramas de Zijderveld y curvas de desmagnetización por campos alternos, respectivamente, correspondientes a las muestras EM01-1 (a) y EM02-2 (b). Aquí se observa dos componentes paleomagnéticas para cada muestra.

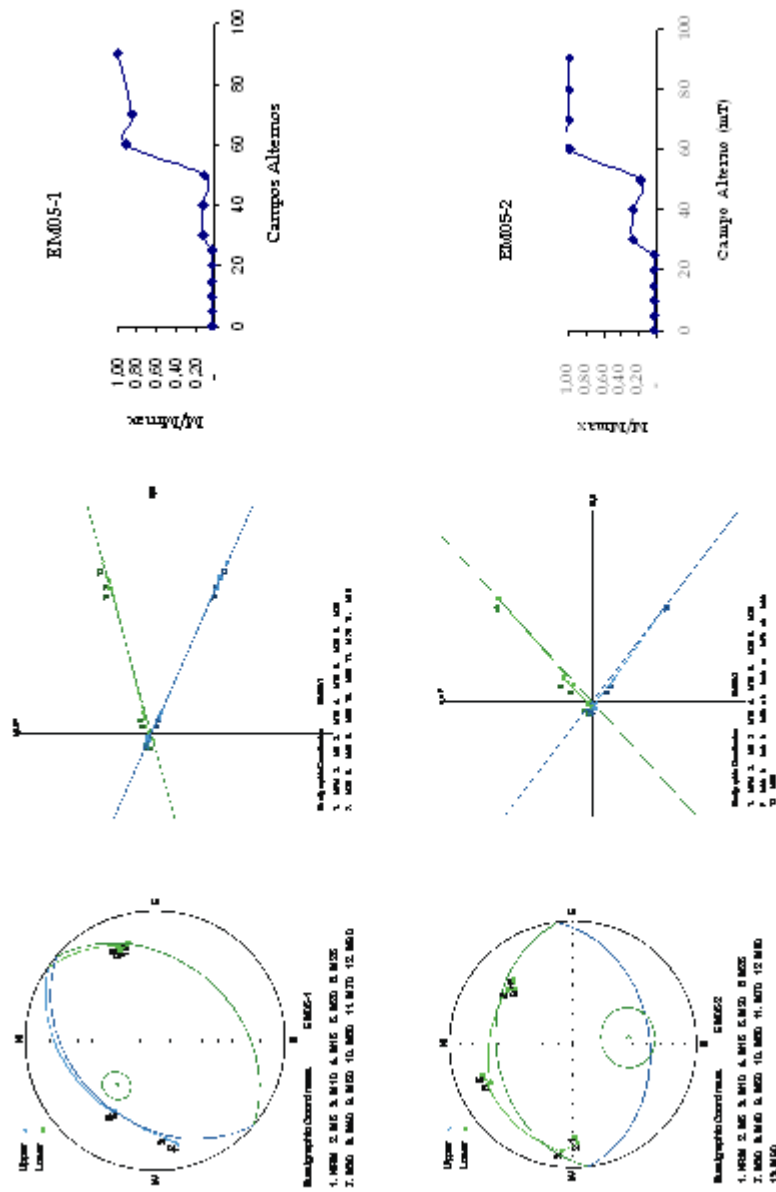


Figura 24: Proyecciones estereográficas, diagramas de Zijderveld y curvas de desmagnetización por campos alternos, respectivamente, correspondientes a las muestras EM05-1 (a) y EM05-2 (b). Aquí se observa dos componentes antipodales, no desarrolladas totalmente. Además, cada muestra describe un círculo mayor, con un α_{95} inferior a 19.

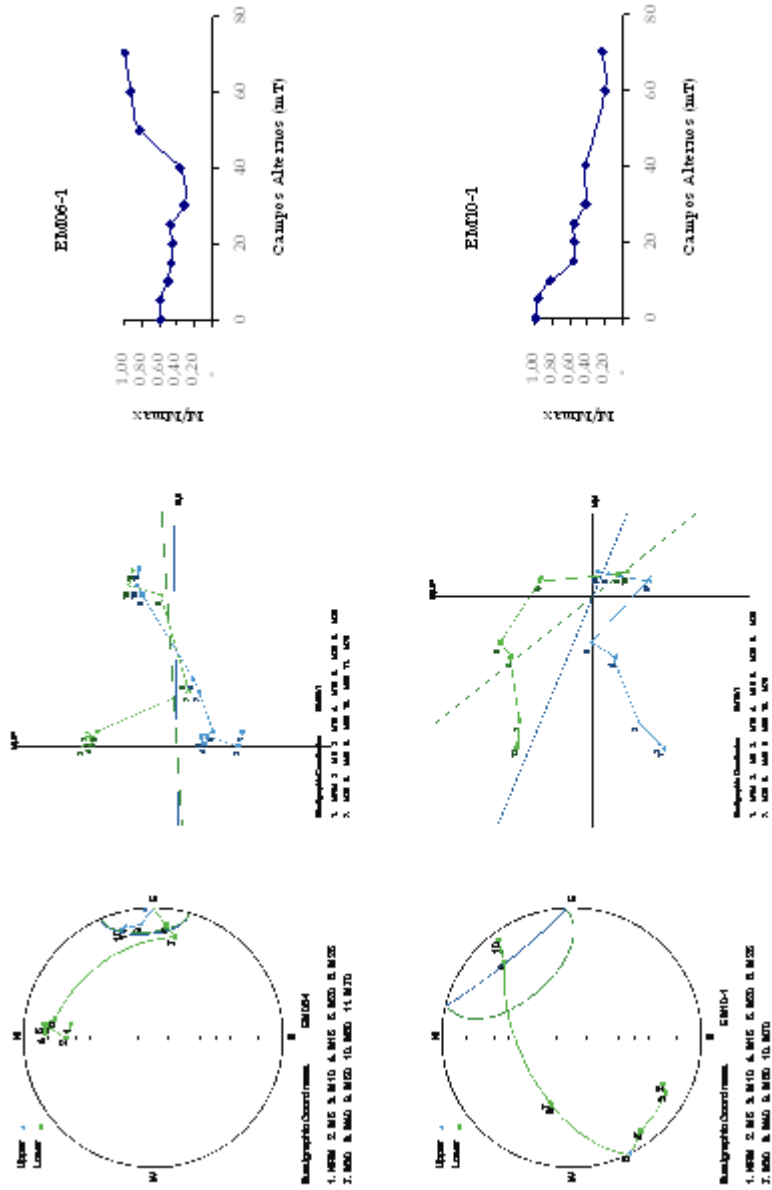


Figura 25: Proyecciones estereográficas, diagramas de Zijderveld y curvas de desmagnetización por campos alternos, respectivamente, correspondientes a las muestras EM06-1 (a) y EM10-1 (b). Aquí se observa tres componentes paleomagnéticas para cada muestra.



Sitio	Posición en Columna (m)	Declinación (°)	Inclinación (°)
Em11	15,7	280,6	-53,1
Em01	27,3	164,1	-50,9
Em10	52,6	33,2	37,1
Em02	59,8	8,9	36,6
Em03	68,1	38,8	17,7
Em04	78,8	303,8	9,8
Em05	86	61,3	27,0
Em06	93,4	80,8	1,1
Em07	125,7	313,7	-45,6
Em08	133	336	6,8

Tabla 5: Declinación e inclinación reportada por sitio, luego de aislar sus componentes, de estratos antiguos a jóvenes.

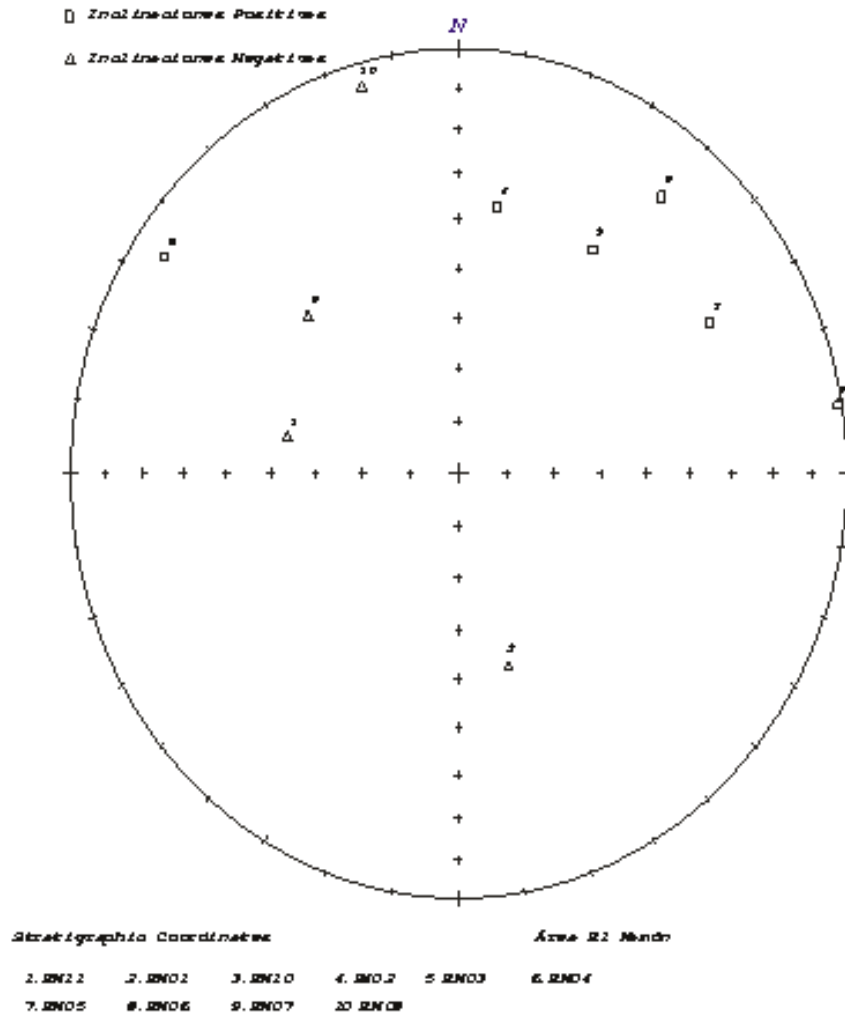


Figura 26: Proyección Estereográfica de las componentes aisladas por sitio.



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El rumbo regional de los estratos en toda la sección es N74W, con algunas variaciones en los estratos cercanos a las fallas. La sección estudiada presenta una alternancia de rocas pelíticas, que en ocasiones, pueden llegar a ser areniscas de grano muy fino; es de hacer notar, que en esta secuencia se presenta un estrato compuesto por brechas, cuya depositación posiblemente este asociada a una falla sinsedimentaria, se puede reconocer que la dirección del flujo de corriente, es en dirección Norte.

Se demuestra que la presencia de estratificación cruzada de ángulo medio en los estratos, para el caso del sitio EM10, no fue determinante en el resultado arrojado, al contrario no se evidenció relación alguna entre estas estructura sedimentaria y los valores de declinación e inclinación reportados.

No se observa relación directa entre los valores de susceptibilidad magnética y el NRM, con respecto a la posición relativa de los sitios para con las fallas. Con respecto a la las inclinaciones de los sitios Em11 y EM01, se presume que esos valores tan elevados, podrían estar asociados a la componente normal que presenta la falla de Urumaco.

Del estudio magnetoestratigráfico realizado en el área de El Mamón, se concluye que el 28% de las muestras tomadas en campo, presentó buenos resultados, el 15% de las muestras fueron estériles y el restante 57% no arrojaron resultados concluyentes, por lo que deben ser sometidas a desmagnetizaciones por campos alternos hasta 100 mT. Igualmente se concluye que el método de Desmagnetización por Temperaturas, no es idóneo para separar las componentes primarias del NRM en este tipo de roca, por lo que sugiere descartarlo de futuros proyectos en el área.

Los valores reportados de Susceptibilidad en las muestras sometidas a desmagnetizaciones térmicas, sugiere la posible precipitación de magnetita y de hierro.



Se lograron reconocer por lo menos un evento con polaridad inversa y otro de polaridad normal. Cabe destacar que en la sección se presentan dos intervalos de 25 m y 28 m, respectivamente, en los cuales no fue posible la toma de muestras, debido a que los estratos se encuentran conformados por brechas, están intensamente bioturbados o están cubiertos.

Se estima que la sección levantada, según la tasa de sedimentación calculada para la Formación Urumaco, se depositó en un período aproximado de 475.000 años. No se presentan suficientes evidencias que permitan concluir la interpretación, sin embargo, a priori se puede señalar, que esta sección podría ubicarse entre el sub-Cron C4Ar3 y el Cron C4An, ubicados dentro del Cron C4A.

De forma que se pueda afinar esta interpretación se recomienda:

Desmagnetizar las muestras de la USB hasta 100 mT, para aislar completamente las componentes primarias, de manera que se validen los resultados arrojados por las muestras de Edinburgh. Adicionalmente se recomienda realizar estudios de propiedades magnéticas tales como Cociente S, Temperaturas de Curie y Experimentos de Lowrie, que permitan reconocer en detalle el tipo de minerales magnéticos, presentes en estas rocas.

Continuar el estudio magnetoestratigráfico en dirección aguas abajo del Río Urumaco, de forma que se pueda llegar a alguna capa guía de las definidas por Ducloz (1951) (ver figura 11).

Se recomienda estudiar en detalle la falla de Urumaco, de forma que se pueda evidenciar su desplazamiento horizontal de la sección El Mamón con respecto a la sección El Domo de Agua Blanca, para establecer una correlación con la sección estudiada por Herrera (2005) al lado sureste de la falla.

Se recomienda aumentar la densidad de muestreo en toda la sección, especialmente alrededor de los sitios EM01, EM10, EM06 y EM07.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AUDEMARD, F. A., 1995. La Cuenca Terciaria de Falcón, Venezuela Noroccidental: Síntesis Estratigráfica, Génesis e Inversión Tectónica. IX Congreso Latinoamericano de Geología. Caracas. s/n (en diskettes).
- AUDEMARD, F. A., 1997. Tectónica Activa de la Región Septentrional de la Cuenca Invertida de Falcón, Venezuela Occidental. VIII Congreso Geológico de Venezuela. Porlamar. N° 1: pp 93-100.
- AUDEMARD, F. A.; BOUSQUET, J. C. & RODRÍGUEZ, J. A., 1999. Neotectonic and paleoseismicity studies on the Urumaco Fault, northern Falcón Basin, northwestern Venezuela. *Tectonophysics* 308. pp 23-35.
- BERGGREN, W.; KENT, D.; SWISHER, C.; AUBRY, M., 1995 A Revised Cenozoic Geochronology and Chronostratigraphy. *Geochronology, Time Scales and Global Stratigraphic Correlation. Spc. Pub. N° 54*, pp384, 142-144
- BOESI, T. & GODDARD, D., 1991. A New Geologic Model related to the distribution of Hydrocarbon Source Rocks in the Falcón Basin, Northwestern Venezuela. In: Biddle, K. (Edit.), *Active Margins. American Association of Petroleum Geologists (AAPG). Memoir 48*. pp 303-319.
- BUTLER, R., 1998, *Paleomagnetism: Magnetic Domains to Geologic Terranes*, Electronic Edition, Department of Geosciences University of Arizona, Tucson, pp 237
- CHAPPELL, W. M., 1956, Formación Urumaco, In *Léxico Estratigráfico de Venezuela*, Bol. Geol. (Venezuela), Publ. Esp. 1: 661 -662.
- COMISIÓN VENEZOLANA DE ESTRATIGRAFÍA Y TERMINOLOGÍA, 1970. *Lexico Estratigráfico de Venezuela*. Bol. Geol. Public. Esp. 4. 756 p
- DANA; HURLBUT, 1960. *Manual de Mineralogía*, Editorial Reverté 600. p 373
- DÍAZ DE GAMERO, M. L. y O. J. LINARES, 1989. Estratigrafía y paleontología de la Formación Urumaco, del Mioceno tardío de Falcón noroccidental, *VII Congr. Geol. Venez.*, Mem., 1: 419-439.
- DUCLOZ, C., 1951, *Geology of the Urumaco concession*, Texas Petroleum Company, Rept. II-87, 34 p., Inédito.
- GONZALEZ DE JUANA, C; ITURRALDE DE AROZENA, J. & PICARD, X., 1980. *Geología de Venezuela y de sus Cuencas Petrolíferas*. Ediciones FONINVES. Caracas. T II. pp.1031.



HAILWOOD, E. A., 1989, *Magnetostratigraphy*, 84 pp. Geological Society of London Special Report 19

HAMBALEK, N., V. RULL, E. DE DIGIACOMO y M. L. DÍAZ DE GAMERO, 1994. Evolución paleoecológica y paleoambiental de la secuencia del Neógeno en el surco de Urumaco. Estudio palinológico y litológico, *Bol. Soc. Venez. Geol.*, 191-2 7-19.

LINARES, O. J., 2004, Bioestratigrafía de la fauna de mamíferos de las formaciones Socorro, Urumaco y Codore (Mioceno medio-Plioceno temprano) de la región de Urumaco, Falcón, Venezuela, *Paleobiología Neotropical*, 1: 1 – 26.

ROBINSON, E.;CAPIT, C., 1988, *Basic Exploration Geophysics*. Edit. Jhon Wiley and Soon,

SAAVEDRA, J. B. & VELEZ, F., 1987. Análisis Estratigráfico, Sedimentológico y Paleontológico de la Formación Urumaco en su área tipo. Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela. Inédito. pp 174.

SANTAMARIA, R., 1986, Estudio Sedimentológico y Bioestratigráfico de la región de Urumaco, estado Falcón, Trabajo Especial de Grado, universidad Central de Venezuela, 174 p. Inédito.

SHERIFFS, R., 1999, *Encyclopedic Dictionary of Exploration Geophysics Versión Digital*.

WHEELER, C. B. Oligocene and lower Miocene stratigraphy of western and northeastern Falcón Basin, Venezuela. *AAPG Bull.*, 47 (1): 35 – 68

WILLISTON, S. H. y C. R. NICHOLS, 1928. The geology of Venezuela and Trinidad, by R. A. Liddle, Review, *Amer. Assoc. Petrol. Geol., Bull.*, 12(4) 445-451.

ZAMBRANO, E.; VAZQUEZ, E.; DUVAL, B.; LATREILE, M. Y COFFINIERES, B., 1971 síntesis paleogeográfica y petrolera del occidente de Venezuela. IV Congr.Geol. Venez. Men. Vol. 1, pp 483-545

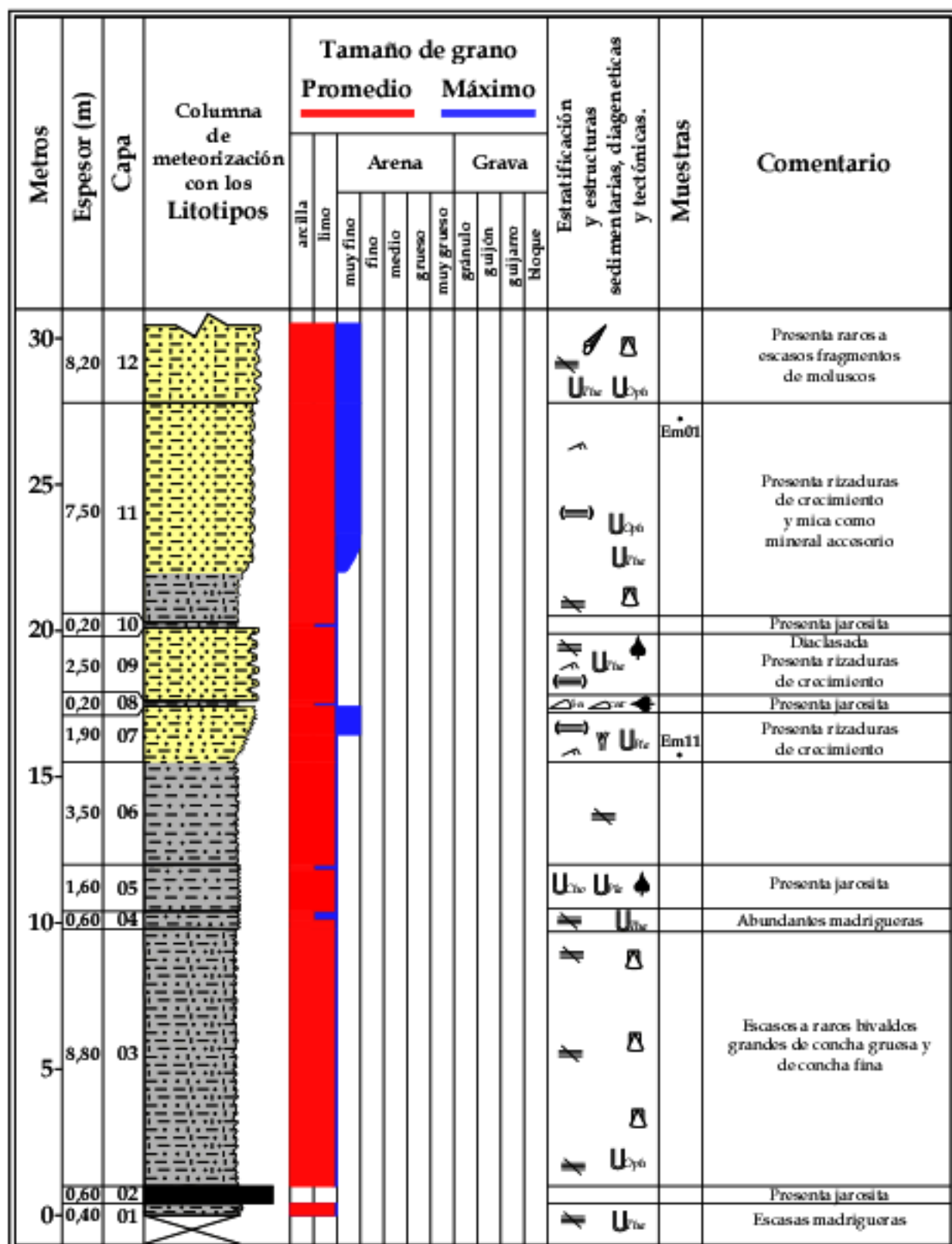


Figura 29: Columna Estratigráfica de la Sección El Mamón, de las capas 1 a 12. En la figura 30, se presenta la columna de las capas 12 a 17.

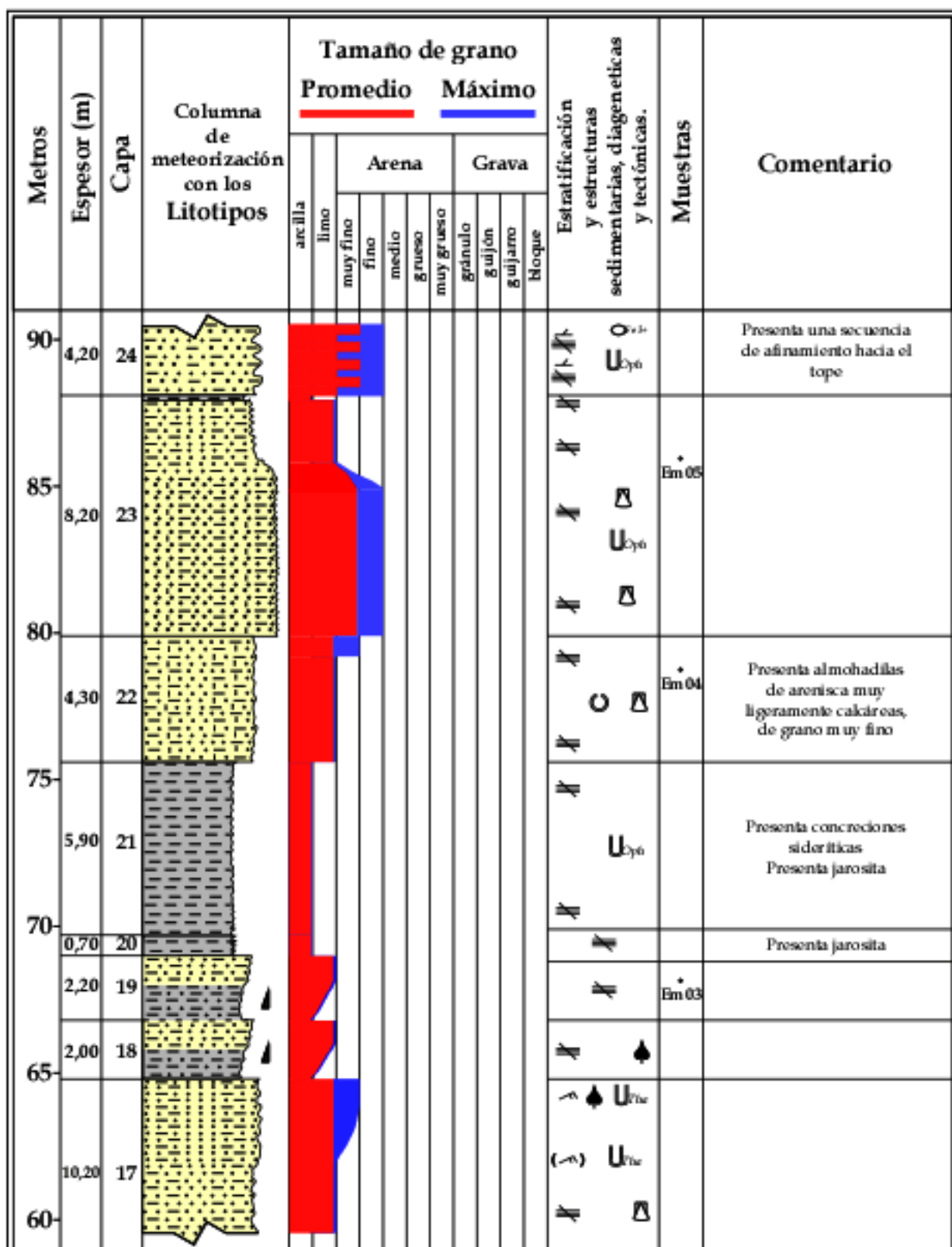


Figura 31: Columna Estratigráfica de la Sección El Mamón, de las capas 17 a 24. En la figura 30, se presenta la columna de las capas 12 a 17. En la figura 32 se presenta la columna de las capas 24 a 30.

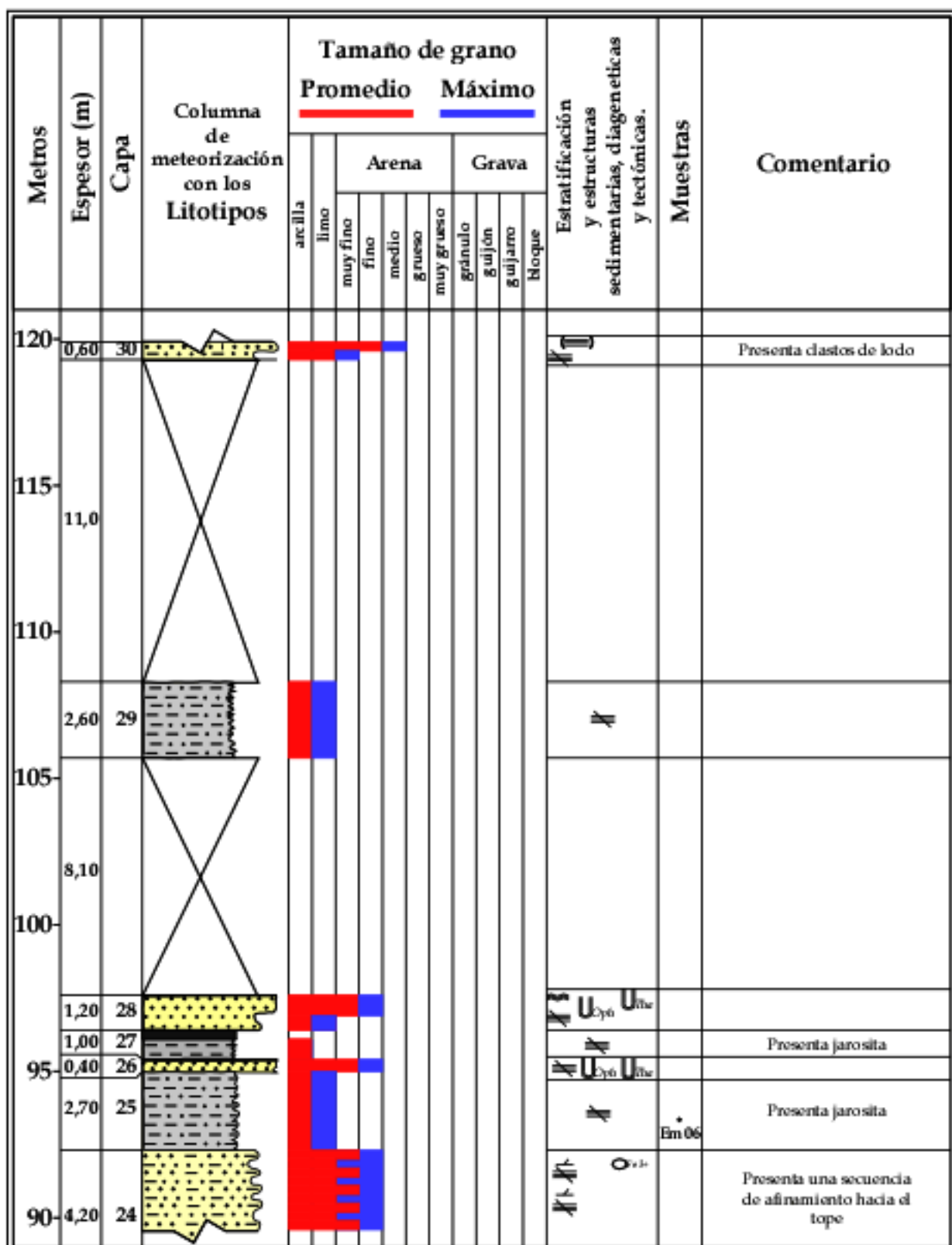
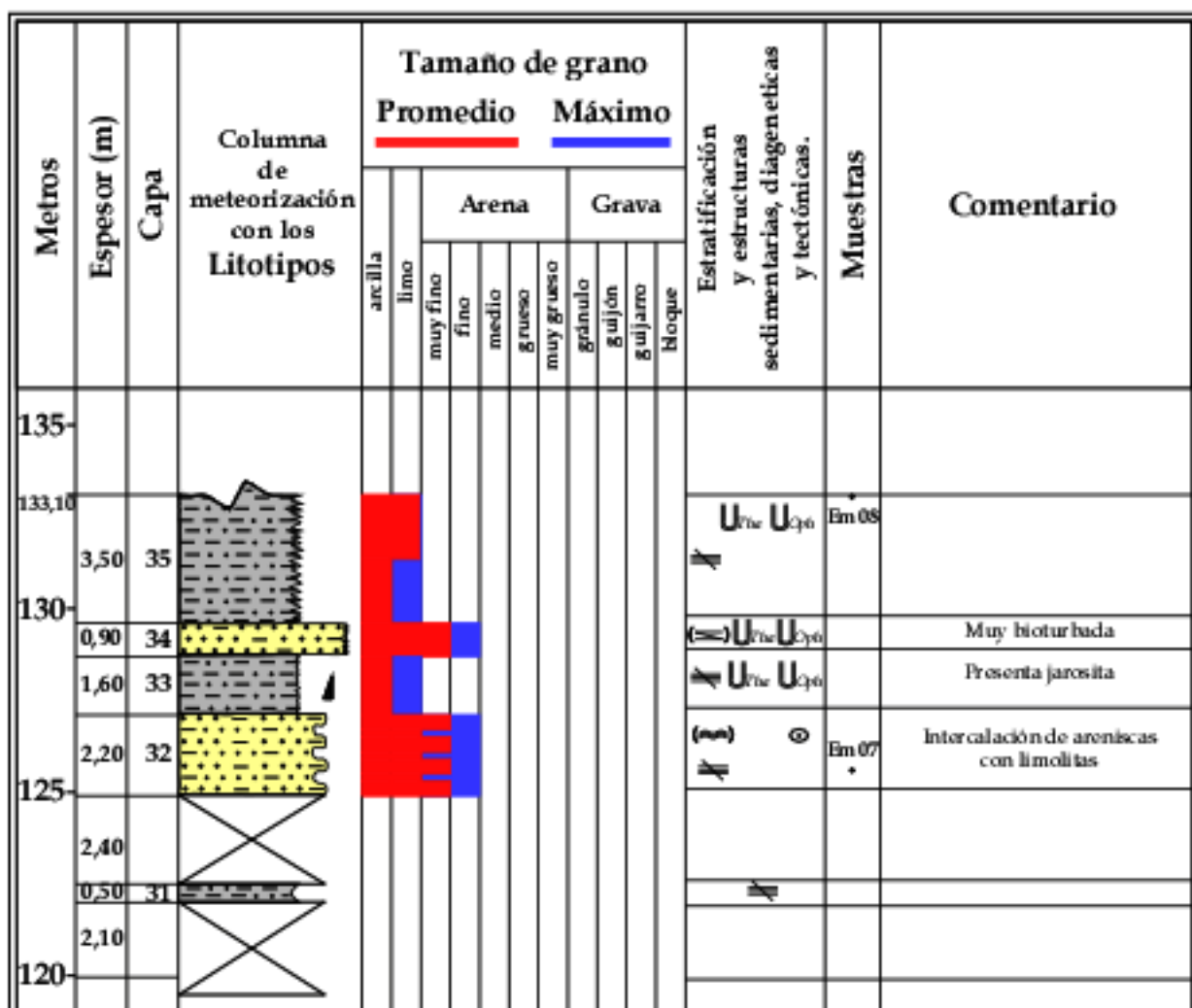


Figura 32: Columna Estratigráfica de la Sección El Mamón, de las capas 24 a 30. En la figura 31, se presenta la columna de las capas 17 a 24. En la figura 33 se presenta la columna de las capas 30 a 35.



LEYENDA

Brecha	Cantos alisados	Costras férricas
Lutita	Gradación normal	Nódulo, acreción de arcilla
Arenisca	Gradación inversa	Nódulo, acreción de minerales férricos
Limonita arcillosa	Estratificación cruzada planar	U _{7b} Bioturbado por Thalassinoidea
Masiva (homogénea)	Estratificación cruzada de bajo ángulo	U _{7c} Bioturbado por Ophiocorpeus
Laminación paralela	Estratificación cruzada festoneada	U _{7d} Bioturbado por Planolites
Laminación paralela incipiente	Estructuras de corriente y de crecimiento	U _{7e} Bioturbado por Chondrites
Laminación cruzada planar	Estructuras incipientes	Castoripodus
Laminación cruzada planar incipiente	Lentos de limonita arcillosa	Bivalvos
Laminación ondulada	Lentos de carbón	Restos de plantas carbonizadas
Laminación ondulada incipiente	Estructuras de escape de fluidos	
Componentes intercalados	Estructuras de oolitos	

Figura 33: Columna Estratigráfica de la Sección El Mamón, de las capas 30 a 35 y leyenda de símbolos empleados. En la figura 32, se presenta la columna de las capas 24 a 30.



Descripción de las capas de la Sección El Mamón (de base a tope)

Capa 1: 0,40 (+) m de espesor.

Lutita limosa, de color gris claro, que meteoriza naranja amarillento pálido y presenta una fractura concoidal. La roca es masiva y muestra escasas madrigueras de *Thalassinoides*. Los estratos infrayacentes a esta capa están cubiertos por arenas de edad Pleistoceno y el contacto con la capa suprayacente es abrupto planar.

Capa 2: 0,60 m de espesor.

Carbón arcilloso, con intercalaciones de láminas de carbón, de hasta 2 cm de espesor. El carbón arcilloso es de color negro grisáceo y negro, presentando una fractura físil. El carbón es de color negro y muestra una fractura paralelepípeda. Estas rocas presentan una pátina de jarosita. El contacto con la capa suprayacente es abrupto planar.

Capa 3: 8,80 m de espesor.

Lutita limosa, muy ligeramente calcárea, con escasos fragmentos de bivalvos, gradando a lutita limosa, ligeramente calcárea, con raros fragmentos de bivalvos. Estas rocas son de color gris azulado medio, que meteorizan naranja grisáceo y marrón claro, presentan una fractura concoidal y son masivas. La parte inferior de esta capa muestra escasas madrigueras de *Ophiomorpha*, rellenas de limolitas arcillosas, con arena muy fina, y escasos bivalvos grandes, de concha gruesa y de concha fina, que están in situ. En la parte media y en la parte superior de esta capa, los bivalvos in situ son menos frecuentes que en la parte inferior. El contacto con la capa suprayacente es abrupto planar.

Capa 4: 0,60 m de espesor.

Lutita limosa y lutita ligeramente limosa, de color gris azulado, que meteoriza gris claro y marrón moderado, presentando una fractura concoidal. Las lutitas son masivas y muestran



abundantes madrigueras de *Thalassinoides*, que están cementadas por minerales férricos. El contacto con la capa suprayacente es abrupto planar.

Capa 5: 1,60 m de espesor.

Lutita limosa, con láminas de hasta 3 cm de espesor y una capa media de 0,20 m de espesor, en el techo, formadas por lutitas ligeramente limosas y carbonosas. La lutita limosa es de color gris parduzco, que meteoriza gris claro, marrón claro y marrón moderado, presentando una fractura concoidal. Esta roca muestra madrigueras de *Chondrites* y *Planolites*, rellenas de limolitas arcillosas, y escasos restos de plantas, ligníticos o carbonizados. Las lutitas ligeramente limosas y carbonosas son físciles, de color negro parduzco, que meteorizan amarillo moderado, debido a la presencia de jarosita. El contacto con la capa suprayacente es abrupto planar.

Capa 6: 3,50 m de espesor.

Lutita limosa y ligeramente limosa, de color gris medio, que meteoriza naranja amarillento oscuro y marrón rojizo moderado. La roca presenta una fractura concoidal y es masiva. El contacto con la capa suprayacente es transicional.

Capa 7: 1,90 m de espesor.

Limolita arcillosa, gradando a limolita ligeramente arcillosa, con granos de arena muy fina. La limolita arcillosa es de color gris parduzco claro, que meteoriza gris oliva claro. Esta roca muestra una laminación incipiente, que describe estructuras de escape de fluidos. La limolita ligeramente arcillosa, con granos de arena muy fina es de color gris medio, gradando a gris medio claro, que meteoriza marrón claro y naranja grisáceo. Esta roca presenta rizaduras de corriente y rizaduras de crecimiento, así como, madrigueras de posibles *Planolites* o *Paleophycus*. El contacto con la capa suprayacente es abrupto planar.

Capa 8: 0,20 m de espesor.

Lutita carbonosa y ligeramente limosa a limosa, de color negro parduzco y negro, con una pátina de jarosita, de color amarillo moderado. Esta roca está laminada, es físcil y presenta lentes de limolitas arcillosas y lentes de carbón. La lutita carbonosa muestra restos de plantas carbonizados. El contacto con la capa suprayacente es abrupto planar.



Capa 9: 2,50 m de espesor.

Intercalación de limolitas arcillosas, con limolitas ligeramente arcillosas, que forman capas medias a gruesas, con contactos transicionales. Las limolitas arcillosas son de color gris medio, que meteorizan marrón rojizo moderado, marrón claro y naranja grisáceo, presentando una fractura concoidal. Estas limolitas, en su mayoría son masivas y en parte presentan una laminación paralela incipiente y posibles rizaduras de crecimiento. Las limolitas ligeramente arcillosas, presentan granos de arena muy fina, son de color gris medio y gris medio claro, que meteorizan gris parduzco claro y gris claro, son friables y se presentan diaclasadas. Estas limolitas muestran rizaduras de corriente y rizaduras de crecimiento, así como escasas madrigueras de *Thalassinoides*. En la parte superior de esta capa, las limolitas arcillosas presentan restos de plantas carbonizados. El contacto con la capa suprayacente es abrupto planar.

Capa 10: 0,20 m de espesor.

Lutita carbonosa y ligeramente limosa, de color negro grisáceo, que meteoriza marrón pálido, presentando en parte, una pátina de jarosita, de color amarillo moderado. Esta roca muestra una fractura físil. El contacto con la capa suprayacente es abrupto planar.

Capa 11: 7,50 m de espesor.

Lutita limosa, ligeramente calcárea, que grada en el metro basal a limolita arcillosa, ligeramente calcárea. La lutita limosa es de color gris verdoso oscuro, que meteoriza gris verdoso medio y presenta una fractura concoidal. Esta roca es masiva y muestra escasos moldes y fragmentos de bivalvos pequeños y muy pequeños, de concha fina. Las limolitas arcillosas presentan arena muy fina en el metro superior de esta capa. Las limolitas arcillosas son friables, de color gris verdoso oscuro, que meteorizan naranja amarillento oscuro y gris verdoso claro, presentando una fractura nodosa. Las limolitas arcillosas están bioturbadas por *Thalassinoides* y *Ophiomorpha*, presentando en parte, una laminación incipiente. Las limolitas arcillosas con arena muy fina muestran hacia el tope, rizaduras de corriente y rizaduras de crecimiento. Las rocas de esta capa contienen mica como mineral accesorio. El contacto con la capa suprayacente es abrupto planar.



Capa 12: 8,20 m de espesor.

Limolita arcillosa y arenosa, en parte ligeramente calcárea a calcárea, con mica como mineral accesorio. La arena es de grano muy fino. La roca es friable, de color gris azulado medio, que meteoriza gris claro medio, marrón claro y naranja grisáceo. En la parte basal (0,50 m), la roca es más competente y meteoriza profundamente, de color naranja amarillento oscuro. Las limolitas arcillosas y arenosas de esta capa son masivas y presentan abundantes madrigueras de *Ophiomorpha* y escasas madrigueras de *Thalassinoides*. Estas madrigueras son más resistentes a la meteorización y están cementadas por minerales férricos y posiblemente por siderita. Generalmente, esta capa muestra raros a escasos fragmentos de moluscos. Sin embargo, en cinco horizontes se presentan capas lenticulares de hasta 10 cm de espesor, formadas por coquinas. Además, en tres de estos horizontes existen bivalvos grandes, de concha gruesa y gasterópodos de espira alta, que podrían estar in situ. El contacto con la capa suprayacente es abrupto planar y se caracteriza por la diferencia en la resistencia a la meteorización.

Capa 13: 3,10 m de espesor.

Areniscas limosas, ligeramente arcillosas y ligeramente calcáreas. Hacia el tope, estas areniscas son glauconíticas. Las rocas de esta capa están moderadamente compactadas y son de color gris azulado medio y gris azulado oscuro, que meteorizan naranja grisáceo o son de color gris verdoso medio y gris verdoso oscuro, que meteorizan naranja amarillento oscuro, dependiendo de la ausencia o presencia de glaucomita. En la parte inferior de esta capa, las rocas presentan laminación cruzada, perteneciente a estratificación cruzada de ángulo bajo y posiblemente, a estratificación cruzada festoneada. En la parte media y superior, las rocas son masivas, presentando abundantes madrigueras de *Ophiomorpha* y escasas madrigueras de *Thalassinoides*. En la parte superior se presentan además, dos capas gruesas, de 0,40 y 0,30 m de espesor, formadas por coquinas. La coquina superior muestra bivalvos grandes de concha gruesa y gasterópodos de espira alta, que podrían estar in situ. Estos fósiles se presentan además, dispersos en toda la capa. El contacto con la capa suprayacente es abrupto irregular, debido a una base erosiva.



Capa 14: 4,00 m de espesor.

Brecha con guijones, guijarros y bloques de hasta 80 cm de diámetro, formados por areniscas, limolitas y lutitas limosas. Estas componentes intraformacionales, en su mayoría están soportadas por cantos y hacia el techo pueden estar soportadas por matriz. En esta secuencia rudítica se presentan además, capas lenticulares de hasta 30 cm de espesor, formadas por areniscas con gránulos y escasos quijones. Estas areniscas y la matriz de la brecha están compuestas por una arenisca limosa y ligeramente arcillosa, de grano muy fino con granos finos. Es de hacer notar, que esta roca no presenta granos de cuarzo o fragmentos fósiles, de tamaño arena media o gruesa. La arenisca de la matriz es friable, de color naranja grisáceo, que meteoriza naranja amarillento oscuro. Los cantos, en su mayoría son angulares y pueden ser subangulares. Además, los cantos son mayormente, de forma discoidal y elipsoidal. Las limolitas y las areniscas de grano muy fino y en parte, de grano fino, que forman los cantos son friables, de color gris claro, gris azulado claro y gris parduzco claro. Las lutitas limosas de los cantos presentan en su mayoría, laminas de lignito a carbón, son de color gris oscuro medio y pueden estar deformadas plásticamente, debido a la compactación durante la depositación de la brecha. En la brecha se presentan además, escasos cantos, formados por nódulos de arcilla y nódulos férricos, de forma elipsoidal a discoidal con diámetros de hasta 10 cm. La brecha es masiva, mostrando en parte cantos alineados y hasta imbricados, permitiendo reconocer una estratificación incipiente y la dirección de transporte. Las componentes imbricadas indican una dirección del flujo hacia el Norte, entre 60° y 280°. El contacto con la capa suprayacente es abrupto irregular, y describe una superficie inclinada hacia el Norte.

Capa 15: 3,00 m de espesor.

Limolitas con intercalaciones de brechas, que forman capas discontinuas. Las limolitas son ligeramente arcillosas a arcillosas y presentan arena muy fina. Estas rocas son friables, de color gris claro medio, que meteoriza gris claro y presenta mica como mineral accesorio. Las limolitas están laminadas y forman capas medias a gruesas de 0,20 m a 0,50 m de espesor, que tienden a acuñarse hacia la base y en dirección Norte, describiendo “forsets” de dunas. En la parte superior de la capa 15, las limolitas presentan láminas de lignito a carbón que también se acuñan hacia el Norte. Las brechas son similares a las brechas que se presentan en la capa 14. Sin embargo, los cantos son de menor tamaño y en su mayoría, ellos están soportados por matriz.



Estas brechas forman capas delgadas a medias, de 0,05 m a 0,40 m de espesor, que se acuñan lateralmente y presentan bases erosivas. El contacto con la capa suprayacente es abrupto y describe una superficie inclinada hacia el Norte.

Capa 16: 8,50 m de espesor.

Limolita arcillosa, con granos de arena muy fina, friable, de color gris azulado medio y gris azulado claro, que meteoriza naranja muy pálido y naranja grisáceo. Esta roca presenta mica como mineral accesorio. En la parte inferior de esta capa, la limolita muestra laminación paralela y escasas madrigueras de *Planolites* (?) y *Thalassinoides* (?). Los estratos de la parte basal de esta capa solapan la superficie depositacional de la capa infrayacente. En la parte superior de la capa 16, la limolita arcillosa presenta laminación cruzada, perteneciente a rizaduras de corriente y a estratificación cruzada. Los estratos que muestran estratificación cruzada tienen espesores de 5 cm a 10 cm. El contacto con la capa suprayacente es abrupto planar.

Capa 17: 10,20 m de espesor.

Lutita limosa, que grada a limolita arcillosa, en parte muy ligeramente calcárea, seguido por limolita arcillosa, no calcárea y por limolitas arcillosas, con granos de arena muy fina. La Lutita limosa es de color gris medio, que meteoriza naranja amarillento oscuro y marrón claro. Esta roca es masiva, muestra mica como mineral accesorio y presenta escasos nódulos férricos de forma irregular y elipsoidal, de 5 cm a 10 cm de diámetro. En el regolito de esta roca se presentan moldes de bivalvos medianos, de concha fina. La limolita arcillosa, en parte muy ligeramente calcárea es de color gris claro, que meteoriza naranja grisáceo y naranja amarillento oscuro. Esta roca es masiva, muestra escasa mica como mineral accesorio y presenta escasas conchas de bivalvos pequeños y medianos, de concha fina. Es de hacer notar, que la mayoría de las conchas de bivalvos están fragmentadas y no pertenecen a ejemplarios in situ. La limolita arcillosa, no calcárea es similar a la limolita infrayacente. Sin embargo, esta limolita no presenta conchas de bivalvos y muestra rizaduras de crecimiento. La limolita arcillosa, con granos de arena muy fina es de color gris azulado claro, que meteoriza gris muy claro y naranja muy pálido. Esta roca es friable y muestra en la parte inferior rizaduras de crecimiento y madrigueras de *Thalassinoides*, que están cementadas por minerales férricos. Además, esta limonita arcillosa presenta capas muy delgadas, de 1 cm a 2 cm de espesor, que también están cementadas por minerales férricos. En la



parte superior, esta roca muestra rizaduras de corriente y escasas madrigueras de *Thalassinoides*, que están cementadas por minerales férricos. Hacia el metro superior de esta capa, se presentan restos de planta carbonizados, de hasta 1 cm de diámetro. Sin embargo, en su mayoría son menores a 0,2 cm de diámetro. El contacto con la capa suprayacente es abrupto planar.

Capa 18: 2,00 m de espesor.

Lutita ligeramente limosa, que grada a limolita arcillosa. La lutita ligeramente limosa y la lutita limosa son de color gris azulado medio, que meteorizan gris muy claro. Estas rocas son masivas. La limolita arcillosa es de color gris muy claro, que meteoriza amarillo oscuro. Esta roca es masiva y presenta restos de planta carbonizados, menores a 0,2 cm. El contacto con la capa suprayacente es transicional.

Capa 19: 2,20 m de espesor.

Lutita limosa, que grada a limolita arcillosa. Estas rocas son de color gris azulado claro, que meteorizan gris muy claro y gris claro, y son masivas. El contacto con la capa suprayacente es abrupto planar.

Capa 20: 0,70 m de espesor.

Lutita carbonosa y lutita lignítica. La lutita carbonosa es de color negro grisáceo, que meteoriza gris medio. Esta roca presenta una fractura físil y es masiva. La lutita lignítica es de color negro parduzco, que meteoriza gris parduzco. Esta roca presenta una fractura concoidal y es masiva. La capa 20 presenta una pátina de jarosita de color amarillo grisáceo. El contacto con la capa suprayacente es abrupto planar.

Capa 21: 5,90 m de espesor.

Lutita de color gris medio, que meteoriza gris muy claro y en parte, muestra una pátina de jarosita. Esta roca presenta una fractura concoidal y es masiva. En la parte media superior de esta capa, se presentan madrigueras de *Ophiomorpha*, que están rellenas por areniscas limosas y arcillosas, de grano muy fino y que posiblemente están cementadas por siderita. El contacto con la capa suprayacente es abrupto planar.



Capa 22: 4,30 m de espesor.

Limolita arcillosa, en parte muy ligeramente calcárea y con escasos fragmentos de bivalvos. La roca es de color gris medio, que meteoriza gris medio claro y marrón moderado, muestra una fractura concoidal y es masiva. Esta capa presenta almohadillas, de hasta 15 cm de espesor, formadas por areniscas muy ligeramente calcáreas, de grano muy fino, originadas por estructuras de carga. Estas areniscas son de color gris claro, que meteorizan marrón moderado. En la parte superior de esta capa se presentan además, láminas de arenisca, similares a las areniscas descritas en las almohadillas. El contacto con la capa suprayacente es abrupto planar.

Capa 23: 8,20 m de espesor.

Arenisca ligeramente arcillosa y en parte, ligeramente calcárea, de grano muy fino, que grada a una limolita ligeramente arcillosa, con una capa delgada de lutita carbonosa en la parte superior. La arenisca ligeramente arcillosa es de color gris medio claro, que meteoriza gris claro. Esta roca es friable, masiva y presenta mica como mineral accesorio, así como, fragmentos de bivalvos de concha fina. Esta capa se encuentra bioturbada por madrigueras de *Ophiomorpha*, de hasta 4 cm de diámetro. La limonita ligeramente arcillosa es de color gris medio y gris parduzco, que meteoriza gris claro y naranja grisáceo. Esta roca es masiva. La lutita carbonosa es de color negro grisáceo, que meteoriza gris parduzco y gris medio. Esta roca presenta una fractura físil y es masiva. La lutita forma una capa delgada y su contacto con la capa suprayacente es abrupto planar.

Capa 24: 4,20 m de espesor.

Intercalación de areniscas de grano muy fino, con limolitas ligeramente arcillosas, con granos de arena muy fina. Las areniscas son de color naranja muy pálido, que meteorizan naranja grisáceo. Estas rocas son friables, muestran una laminación paralela y forman capas delgadas a muy delgadas, mostrando una secuencia de afinamiento. Esta roca presenta mica como mineral accesorio y en parte muestra costras férricas. En la parte inferior de la capa se presentan madrigueras de *Ophiomorpha*. La limolita ligeramente arcillosa es de color gris medio oscuro, que meteoriza gris medio claro. Esta roca es masiva y forma capas delgadas a muy delgadas. El contacto con la capa suprayacente es abrupto planar.



Capa 25: 2,70 m de espesor.

Lutita ligeramente limosa, de color gris medio y gris azulado medio, que meteoriza gris claro, naranja grisáceo y marrón moderado. Esta roca presenta una fractura concoidal y es masiva. Esta capa muestra una pátina de jarosita de color amarillo grisáceo. El contacto con la capa suprayacente es abrupto planar.

Capa 26: 0,40 m de espesor.

Arenisca de grano muy fino, de color gris claro, que meteoriza marrón rojizo moderado y naranja amarillento oscuro. Esta roca es friable y masiva. En la parte inferior de esta capa, la arenisca está bioturbada por madrigueras de *Ophiomorpha*, y *Thalassinoides*. Estas madrigueras, están cementadas por minerales férricos. El contacto con la capa suprayacente es abrupto planar.

Capa 27: 1,00 m de espesor.

Lutita ligeramente limosa y lutita carbonosa, con intercalaciones de láminas de carbón. La lutita ligeramente limosa es de color gris medio, que meteoriza gris claro y marrón moderado. Esta roca presenta una fractura concoidal y es masiva. La lutita carbonosa con intercalaciones de láminas de carbón es de color negro grisáceo, que meteoriza gris oscuro y marrón moderado. Esta roca muestra una fractura físil es masiva y presenta una pátina de jarosita de color amarillo grisáceo. El carbón es de color negro y forma láminas de hasta 3 cm de espesor. El contacto con la capa suprayacente es abrupto planar.

Capa 28: 1,20 m de espesor.

Limolita con granos de arena muy fina, en la parte basal de la capa, gradando a arenisca de grano fino. La limolita es de color naranja amarillento oscuro y marrón moderado. Esta roca es friable, masiva y presenta madrigueras de *Ophiomorpha*, que están cementadas por minerales férricos. La arenisca es de color naranja muy pálido, que meteoriza naranja moderado y gris claro. Esta roca es friable y presenta laminación ondulada. La arenisca se encuentra bioturbada por madrigueras de *Ophiomorpha* y *Thalassinoides*, cementadas por minerales férricos. El contacto con la capa suprayacente es abrupto planar.



Capa 29: 2,60 (+) m de espesor.

Lutita ligeramente limosa, de color gris medio azulado, que meteoriza profundamente, de color marrón rojizo moderado. Esta roca presenta una fractura concoidal y es masiva. Los contactos con las capas adyacentes se encuentran cubiertos.

Capa 30: 0,60 m de espesor.

Limolita muy ligeramente arcillosa, con granos de arena muy fina y suprayacente a esta, arenisca ligeramente calcárea, de grano fino, con granos medios. La limolita muy ligeramente arcillosa es de color gris verdoso claro, que meteoriza naranja muy pálido y marrón rojizo. Esta roca se encuentra fuertemente compactada, es masiva y forma una capa de 0,20 m a 0,30 m de espesor. La arenisca de grano fino está cementada por minerales férricos, posiblemente siderita. Esta roca meteoriza profundamente de color marrón rojizo moderado y púrpura rojizo ahumado. Además, la roca muestra una laminación incipiente. Hacia la parte inferior de esta capa se presentan clastos de lodo, de forma angular, de hasta 0,5 cm de diámetro, fragmentos de carbón, de hasta 1 cm de diámetro y escasos fragmentos fósiles, de hasta 0,2 cm de diámetro. Posiblemente, en esta roca, también se presentan granos de areniscas cuarzosas, de tamaño arena gruesa y muy gruesa. Los clastos de lodo pueden representar hasta el 70 % de la roca. Los clastos de lodos están formados por lutitas plásticas, de color gris verdoso medio. Además, en esta capa pueden presentarse lentes de material carbonoso, paralelos a la estratificación. Los contactos con las capas adyacentes se encuentran cubiertos.

Capa 31: 0,50 (+) m de espesor.

Lutita ligeramente limosa, de color gris medio azulado, que meteoriza profundamente, de color marrón rojizo moderado. Esta roca presenta una fractura concoidal y es masiva. Los contactos con las capas adyacentes se encuentran cubiertos.

Capa 32: 2,20 m de espesor.

Intercalación de areniscas muy ligeramente arcillosas, de grano muy fino, con limolitas muy ligeramente arcillosas. La arenisca muy ligeramente arcillosa es de color naranja muy pálido, que meteoriza naranja amarillento oscuro. Esta roca es friable y presenta una laminación ondulada incipiente. La arenisca forma capas muy delgadas a delgadas. Esta roca presenta en



parte, costras férricas. La limolita ligeramente arcillosa es de color gris azulado, que meteoriza naranja amarillento oscuro. Esta roca es masiva y forma capas muy delgadas. La capa 32 es muy similar a la capa 24, con la diferencia, que la capa 32 no muestra una secuencia de afinamiento. El contacto con la capa suprayacente es abrupto planar.

Capa 33: 1,60 m de espesor.

Lutita limosa que grada a lutita ligeramente limosa, de color gris azulado medio, que meteoriza gris azulado claro y naranja amarillento oscuro. Esta roca presenta una fractura concoidal y es masiva. Esta capa muestra hacia la parte inferior una pátina de jarosita; además, la roca se encuentra bioturbada por madrigueras de *Ophiomorpha* y *Thalassinoides*, que están cementadas por minerales férricos. El contacto con la capa suprayacente es abrupto planar.

Capa 34: 0,90 m de espesor.

Arenisca muy ligeramente arcillosa, de grano muy fino, de color gris claro, que meteoriza profundamente naranja muy pálido y naranja amarillento oscuro. Esta roca es friable y presenta una laminación cruzada planar incipiente, de ángulo bajo. Esta capa se encuentra bioturbada por madrigueras de *Ophiomorpha* y *Thalassinoides*, que están cementadas por minerales férricos. El contacto con la capa suprayacente es abrupto planar.

Capa 35: 3,50 m de espesor.

Lutita muy ligeramente limosa y lutita limosa. La lutita muy ligeramente limosa es de color gris medio, que meteoriza con un aspecto moteado, de colores gris claro, naranja amarillento oscuro y rojo pálido. Esta roca presenta una fractura concoidal y es masiva. La lutita limosa es de color gris claro, que meteoriza gris muy claro y naranja amarillento pálido. Esta roca presenta una fractura concoidal y es masiva. La lutita limosa se encuentra bioturbada por madrigueras de *Ophiomorpha* y *Thalassinoides*, que están cementadas por minerales férricos. El contacto con la capa suprayacente es abrupto planar. La capa suprayacente no fue descrita en este estudio.



Imagen 1: Panorámica del área de estudio, en el Río Urumaco en donde se observa la vegetación típica del área.



Imagen 2: Detalle que muestra la brújula Brunton calibrando el plano subhorizontal definido en la roca, nótese que el ojo de pescado se encuentra nivelado.



Imagen 3: Detalle que presenta el plano subhorizontal definido con las muestras colocadas y orientadas con el Norte magnético.



Imagen 4: Detalle en donde se observa las muestras ya incrustadas en la roca.



Imagen 5: Detalle de la parte media de la capa 14. Brecha con bloques de hasta 80 cm.



Imagen 6: Detalle de la parte media de la capa 14. Brecha con bloques de hasta 80 cm.



Imagen 7: Detalle de la parte basal de la capa 12. Se presentan madrigueras de *Thalassinoides*, por debajo de una limolita arcillosa y arenosa, con abundantes fragmentos de bivalvos y gasterópodos de espira alta.



Imagen 8: Detalle de la parte media de la capa 12. Bivalvos grandes de concha gruesa, fáciles de reconocer en limolitas arcillosas y arenosas, con abundantes fragmentos fósiles.



Imagen 9: Detalle del contacto entre las capa 19 (lutita limosa) y la capa 20 (lutita carbonosa).



Imagen 10: Detalle de la parte media de la capa 15, Se observa laminación cruzada perteneciente a estratificación cruzada.



Imagen 11: Detalle de la parte superior de la capa 16. Limolitas arcillosas con laminación cruzada perteneciente a estratificación cruzada.



Imagen 12: Detalle de la parte superior de la capa 12. Madrigueras de *Thalassinoides* cementados por minerales férricos.





EM01-1

	Paso (mT)	Xc [Am ²]	Yc [Am ²]	Zc [Am ²]	MAG[A/m]	M/Mmax	Dg [°]	Ig [°]	Ds [°]	Is [°]	Ó95
1	0	-1.14E-09	-2.76E-10	-7.51E-10	1.39E-03	0,51	193.6	-32.6	198.3	-68.5	1.8
2	5	-1.09E-09	-9.34E-11	-8.08E-10	1.36E-03	0,49	184.9	-36.4	176.5	-72.1	2.2
3	15	-2.92E-10	3.64E-10	-7.33E-10	8.69E-04	0,32	128.7	-57.5	68.6	-56.5	2.1
4	20	-2.99E-10	3.59E-10	-7.21E-10	8.59E-04	0,31	129.8	-57.1	69.8	-56.9	2.5
5	25	-6.08E-10	2.77E-10	-2.86E-10	7.27E-04	0,26	155.5	-23.2	136.2	-49.8	1.8
6	50	-1.19E-09	2.62E-10	-4.90E-10	1.31E-03	0,48	167.6	-21.9	153.3	-53.7	1.3
7	60	-2.06E-09	2.88E-10	-2.69E-10	2.10E-03	0,76	172.0	-7.4	166.0	-41.2	1.0
8	70	-2.14E-09	5.04E-10	-2.53E-10	2.21E-03	0,80	166.7	-6.6	159.7	-39.0	1.5
9	80	-2.61E-09	7.84E-10	-3.98E-10	2.75E-03	1,00	163.3	-8.3	154.8	-39.5	1.2

Em01-2

	Paso (mT)	Xc [Am ²]	Yc [Am ²]	Zc [Am ²]	MAG[A/m]	M/Mmax	Dg [°]	Ig [°]	Ds [°]	Is [°]	Ó95
1	0	4.22E-09	-1.14E-09	2.82E-09	5.20E-03	0,90	344.9	32.8	319.8	62.3	0.3
2	5	4.30E-09	-1.34E-09	2.69E-09	5.25E-03	0,91	342.7	30.8	318.7	59.7	0.3
3	10	4.44E-09	-1.39E-09	2.67E-09	5.36E-03	0,93	342.6	29.9	319.6	58.8	0.3
4	15	5.27E-09	-1.36E-09	1.41E-09	5.62E-03	0,97	345.5	14.5	334.7	46.1	0.3
5	20	5.39E-09	-1.49E-09	1.44E-09	5.77E-03	1,00	344.5	14.4	333.4	45.7	0.2
6	25	5.22E-09	-6.55E-10	1.38E-09	5.44E-03	0,94	352.8	14.7	344.5	48.5	0.5
7	60	4.46E-09	2.06E-09	-3.50E-11	4.91E-03	0,85	24.8	-0.4	28.0	34.2	0.3
8	70	4.56E-09	2.32E-09	-7.91E-11	5.12E-03	0,89	27.0	-0.9	30.4	33.3	0.3
9	80	3.87E-09	-2.74E-10	-1.16E-09	4.05E-03	0,70	356.0	-16,6	355.8	18.3	0.7
10	90	3.71E-09	4.41E-11	-1.24E-09	3.91E-03	0,68	0.7	-18,5	0.8	17.1	0.3

Em01-6

	Paso (mT)	Xc [Am ²]	Yc [Am ²]	Zc [Am ²]	MAG[A/m]	M/Mmax	Dg [°]	Ig [°]	Ds [°]	Is [°]	Ó95
1	0	-5.36E-10	3.47E-11	-2.04E-10	5.75E-04	0,96	176.3	-20.8	167.2	-55.2	0.0
2	2,5	-5.62E-10	-4.82E-11	-1.96E-10	5.97E-04	1,00	184.9	-19.2	181.6	-54.9	0.0
3	7,5	-4.28E-10	5.98E-12	-2.02E-10	4.73E-04	0,79	179.2	-25.3	170.1	-60.2	0.0
4	10	-4.26E-10	-6.69E-12	-2.03E-10	4.72E-04	0,79	180.9	-25.5	173.0	-60.7	0.0
5	15	-4.53E-10	-6.61E-11	-1.48E-10	4.81E-04	0,81	188.3	-17.9	187.3	-53.9	0.0
6	25	-1.91E-10	1.54E-11	-3.34E-11	1.95E-04	0,33	175.4	-9.9	169.7	-44.4	0.0
7	30	-1.37E-10	-8.43E-11	-3.68E-11	1.65E-04	0,28	211.6	-12.9	220.8	-45.5	0.0
8	40	-1.56E-10	2.39E-11	-6.89E-11	1.72E-04	0,29	171.3	-23.6	157.8	-56.5	0.0
9	50	-9.80E-11	2.44E-11	-4.60E-11	1.11E-04	0,19	166.0	-24.5	149.2	-55.5	0.0



EM02-1

	Paso (mT)	Xc [Am ²]	Yc [Am ²]	Zc [Am ²]	MAG[A/m]	M/Mmax	Dg [°]	Ig [°]	Ds [°]	Is [°]	Ó95
1	0	-1.48E-09	-9.10E-10	3.22E-09	3,66E-03	0,89	211.6	61.7	203.2	26.5	0.4
2	5	-1.59E-09	-9.89E-10	2.95E-09	3,49E-03	0,85	211.9	57.6	204.3	22.5	0.3
3	10	-1.29E-09	-1.20E-09	2.29E-09	2,89E-03	0,70	222.9	52.4	212.2	19.1	0.3
4	30	7.63E-10	-8.67E-10	2.45E-09	2,71E-03	0,66	311.3	64.8	239.4	57.9	0.4
5	40	6.84E-10	-1.07E-09	2.46E-09	2,77E-03	0,67	302.6	62.7	241.1	53.6	0.2
6	60	3.44E-09	1.10E-09	-2.43E-10	3,62E-03	0,88	17.7	-3.8	18.4	32.1	0.5
7	90	4.06E-09	2.56E-10	-6.11E-10	4,11E-03	1,00	3.6	-8.5	2.5	26.8	0.3

EM02-2

	Paso (mT)	Xc [Am ²]	Yc [Am ²]	Zc [Am ²]	MAG[A/m]	M/Mmax	Dg [°]	Ig [°]	Ds [°]	Is [°]	Ó95
1	0	1.89E-09	9.35E-10	4.06E-09	4,57E-03	1,00	26.3	62.6	162.0	79.3	0.2
2	5	1.99E-09	7.22E-10	3.94E-09	4,47E-03	0,98	19.9	61.8	174.3	81.6	0.3
3	10	2.27E-09	9.04E-10	3.47E-09	4,24E-03	0,93	21.7	54.8	117.8	85.4	0.2
4	15	1.91E-09	1.51E-09	2.21E-09	3,29E-03	0,72	38.3	42.2	77.7	70.1	0.4
5	20	1.93E-09	1.37E-09	2.21E-09	3,24E-03	0,71	35.4	43.0	74.7	72.2	0.3
6	30	7.77E-10	1.03E-09	1.81E-09	2,22E-03	0,49	53.0	54.5	121.3	67.5	0.3
7	40	7.28E-10	1.30E-09	1.88E-09	2,40E-03	0,53	60.8	51.6	118.4	62.2	0.4
8	60	9.74E-10	5.41E-10	2.28E-09	2,54E-03	0,56	29.0	64.0	162.4	77.4	0.2
9	70	1.04E-09	5.26E-10	2.22E-09	2,51E-03	0,55	26.8	62.3	160.1	79.3	0.3
10	80	1.61E-09	-6.98E-10	2.91E-09	3,40E-03	0,74	336.6	58.9	255.3	69.0	0.2
11	90	3.92E-09	6.29E-10	5.35E-10	4,01E-03	0,88	9.1	7.7	7.3	43.5	0.3



EM03-1

	Paso (mT)	Xc [Am ²]	Yc [Am ²]	Zc [Am ²]	MAG[A/m]	M/Mmax	Dg [°]	Ig [°]	Ds [°]	Is [°]	Ó95
1	0	7.36E-10	1.38E-09	1.76E-09	2,35E-03	0,78	61.9	48.4	100.7	59.4	0.9
2	5	8.10E-10	1.56E-09	1.68E-09	2,43E-03	0,81	62.6	43.7	95.2	55.8	0.9
3	30	-2.73E-10	2.60E-09	1.47E-09	3,00E-03	1,00	96.0	29.3	112.3	28.2	0.8
4	40	-2.00E-10	2.52E-09	1.45E-09	2,91E-03	0,97	94.5	29.8	111.4	29.3	1.2
5	50	-1.48E-09	1.72E-09	1.47E-09	2,70E-03	0,90	130.7	32.9	141.9	16.3	1.2
6	60	5.32E-10	1.49E-09	-4.16E-10	1,64E-03	0,55	70.4	-14.7	67.4	1.4	1.6
7	70	5.22E-10	1.51E-09	-4.31E-10	1,65E-03	0,55	70.9	-15.1	67.8	0.8	1.6

EM03-3

	Paso (mT)	Xc [Am ²]	Yc [Am ²]	Zc [Am ²]	MAG[A/m]	M/Mmax	Dg [°]	Ig [°]	Ds [°]	Is [°]	Ó95
1	2,5	1.36E-09	2.59E-10	1.55E-10	1,39E-03	1,00	10.8	6.4	10.5	35.4	0.0
2	5	8.22E-10	3.11E-10	1.58E-10	8,93E-04	0,64	20.7	10.2	23.0	38.8	0.0
3	7,5	6.96E-10	1.98E-10	4.68E-11	7,25E-04	0,52	15.9	3.7	16.6	32.6	0.0
4	10	6.12E-10	1.45E-10	1.01E-10	6,37E-04	0,46	13.3	9.1	13.7	38.1	0.0
5	20	5.00E-10	-7.03E-11	4.60E-11	5,07E-04	0,36	352.0	5.2	348.3	32.2	0.0
6	25	1.39E-10	4.13E-11	2.32E-11	1,47E-04	0,11	16.5	9.1	17.7	38.0	0.0
7	30	2.27E-10	4.20E-11	8.43E-11	2,46E-04	0,18	10.5	20.1	9.8	49.0	0.0
8	35	1.10E-10	6.61E-11	2.47E-11	1,31E-04	0,09	31.0	10.9	35.9	38.0	0.0
9	40	9.60E-11	-1.20E-11	0.00E+00	9,67E-05	0,07	352.9	0.0	350.4	27.3	0.0



EM04-1

	Paso (mT)	Xc [Am ²]	Yc [Am ²]	Zc [Am ²]	MAG[A/m]	M/Mmax	Dg [°]	Ig [°]	Ds [°]	Is [°]	Ó95	
1	0	-1.38E-09	-4.61E-09	4.43E-10	4,83E-03	1,00	253.3	5.3	254.9	-	12.6	0.9
3	10	1.49E-09	-2.61E-09	-6.57E-10	3,08E-03	0,64	299.7	12.3	304.5	-5.9	0.2	
4	15	1.10E-09	-2.05E-09	-5.74E-10	2,40E-03	0,50	298.2	13.9	304.0	-7.9	0.5	
5	20	9.71E-10	-2.23E-09	-5.80E-10	2,50E-03	0,52	293.5	13.4	299.8	-9.8	0.3	
6	25	1.32E-09	-1.40E-09	-2.81E-10	1,94E-03	0,40	313.3	-8.3	314.4	4.1	0.4	
7	30	1.19E-09	-8.56E-10	-2.15E-09	2,60E-03	0,54	324.3	55.7	345.9	-	33.8	0.6
8	40	1.15E-09	-9.65E-10	-2.12E-09	2,60E-03	0,54	320.0	54.7	342.8	-	34.2	0.5
9	50	3.60E-10	-1.61E-09	-1.77E-09	2,42E-03	0,50	282.6	47.0	313.2	-	42.6	0.3

EM04-2

	Paso (mT)	Xc [Am ²]	Yc [Am ²]	Zc [Am ²]	MAG[A/m]	M/Mmax	Dg [°]	Ig [°]	Ds [°]	Is [°]	Ó95
1	0	1.86E-09	5.50E-10	2.13E-09	2,88E-03	0,74	16.5	47.7	9.0	77.5	0.2
2	5	1.91E-09	2.62E-10	1.96E-09	2,75E-03	0,71	7.8	45.5	348.0	73.8	0.4
3	10	1.97E-09	9.57E-10	1.80E-09	2,83E-03	0,73	25.9	39.4	32.9	69.1	0.2
4	30	1.99E-09	-3.84E-10	2.38E-09	3,13E-03	0,80	349.1	49.6	306.9	69.6	0.2
5	40	1.92E-09	-1.40E-10	2.43E-09	3,10E-03	0,80	355.8	51.6	311.2	74.2	0.3
6	50	1.24E-09	-1.28E-09	2.84E-09	3,35E-03	0,86	314.1	57.9	264.1	57.4	0.5
7	60	1.06E-09	-1.30E-09	2.77E-09	3,24E-03	0,83	309.2	58.8	260.2	55.7	0.3
8	70	1.07E-09	-1.43E-09	2.76E-09	3,29E-03	0,85	306.8	57.1	261.4	53.7	0.2
9	80	1.42E-09	-1.10E-09	3.45E-09	3,89E-03	1,00	322.2	62.5	259.5	63.0	0.5



EM05-1

	Paso (mT)	Xc [Am ²]	Yc [Am ²]	Zc [Am ²]	MAG[A/m]	M/Mmax	Dg [°]	Ig	Ds [°]	Is	Ó95	
1	0	-2.66E-09	-9.47E-09	3.25E-10	9,84E-03	0,03	254.3	1.9	257.9	-	19.1	0.3
2	5	-2.64E-09	-9.44E-09	-3.71E-11	9,80E-03	0,03	254.4	-0.2	258.8	-	21.0	0.4
3	10	-2.16E-09	-9.25E-09	-1.15E-09	9,57E-03	0,03	256.9	-6.9	264.3	-	26.1	0.5
4	15	7.09E-10	-5.71E-09	-3.67E-09	6,82E-03	0,02	277.1	32.5	299.4	-	38.0	0.8
5	20	6.74E-10	-5.61E-09	-3.68E-09	6,74E-03	0,02	276.9	33.1	299.6	-	38.6	0.7
6	25	9.54E-10	-5.88E-09	-3.72E-09	7,02E-03	0,02	279.2	32.0	300.8	-	36.5	0.7
7	30	1.57E-08	3.34E-08	-1.54E-09	3,69E-02	0,13	64.8	-2.4	68.3	22.1	22.1	0.2
8	40	1.57E-08	3.34E-08	-1.57E-09	3,69E-02	0,13	64.8	-2.4	68.2	22.1	22.1	0.1
9	50	1.27E-08	2.60E-08	5.94E-10	2,89E-02	0,10	64.0	1.2	68.7	25.7	25.7	0.1
10	60	8.83E-08	2.46E-07	2.98E-09	2,61E-01	0,91	70.3	0.7	74.9	23.0	23.0	0.0
11	70	8.83E-08	2.30E-07	3.03E-09	2,46E-01	0,85	69.0	0.7	73.7	23.5	23.5	0.0
12	90	9.95E-08	2.70E-07	2.53E-09	2,88E-01	1,00	69.8	0.5	74.4	23.1	23.1	0.0

EM05-2

	Paso (mT)	Xc [Am ²]	Yc [Am ²]	Zc [Am ²]	MAG[A/m]	M/Mmax	Dg [°]	Ig	Ds [°]	Is	Ó95	
1	0	1.58E-09	-5.02E-09	3.99E-09	6,60E-03	0,04	287.5	37.2	268.9	26.3	26.3	0.4
2	5	1.12E-09	-5.20E-09	3.51E-09	6,37E-03	0,04	282.2	33.4	267.2	20.8	20.8	0.3
3	10	1.37E-09	-4.68E-09	2.01E-09	5,27E-03	0,03	286.3	22.4	276.5	13.3	13.3	0.2
4	15	5.28E-09	-1.32E-09	1.17E-10	5,44E-03	0,03	346.0	1.2	341.1	23.6	23.6	0.3
5	20	5.32E-09	-1.32E-09	1.13E-10	5,48E-03	0,04	346.1	1.2	341.2	23.6	23.6	0.3
6	25	4.41E-09	-1.43E-09	4.89E-10	4,66E-03	0,03	342.0	6.0	335.0	26.5	26.5	0.2
7	30	3.32E-08	2.58E-08	3.13E-10	4,20E-02	0,27	37.9	0.4	39.5	30.9	30.9	0.1
8	40	3.32E-08	2.57E-08	5.11E-10	4,20E-02	0,27	37.7	0.7	39.4	31.2	31.2	0.1
9	50	2.26E-08	2.00E-08	2.81E-09	3,03E-02	0,19	41.5	5.3	44.6	35.3	35.3	0.1
1	60	1.10E-07	1.10E-07	7.65E-10	1,56E-01	1,00	45.0	0.0	47.6	29.5	29.5	0.0
11	70	1.10E-07	1.10E-07	1.12E-10	1,56E-01	1,00	45.0	0.0	47.6	29.5	29.5	0.0
12	80	1.10E-07	1.10E-07	3.32E-11	1,56E-01	1,00	45.0	0.0	47.6	29.5	29.5	0.0
13	90	1.10E-07	1.10E-07	6.68E-11	1,56E-01	1,00	45.0	0.0	47.6	29.5	29.5	0.0



EM06-1

	Paso (mT)	Xc [Am ²]	Yc [Am ²]	Zc [Am ²]	MAG[A/m]	M/Mmax	Dg [°]	Ig [°]	Ds [°]	Is [°]	Ó95
1	0	1.89E-09	1.19E-10	5.78E-10	1,98E-03	0,60	3.6	17.0	9.2	36.0	0.3
2	5	1.93E-09	-1.17E-10	4.38E-10	1,98E-03	0,60	356.5	12.8	0.1	33.2	0.4
3	10	1.67E-09	1.39E-10	-1.09E-11	1,68E-03	0,51	4.8	-0.4	6.5	18.8	0.5
4	15	1.60E-09	1.20E-11	-6.88E-11	1,60E-03	0,48	0.4	-2.5	1.7	17.5	0.5
5	20	1.53E-09	1.55E-10	-9.26E-11	1,54E-03	0,46	5.8	-3.4	7.0	15.6	0.3
6	25	1.57E-09	2.07E-10	1.46E-10	1,59E-03	0,48	7.5	5.3	10.7	23.8	0.6
7	30	-3.70E-11	9.09E-10	5.82E-10	1,08E-03	0,33	92.3	32.6	102.0	21.1	0.2
8	40	-9.02E-13	1.14E-09	5.02E-10	1,25E-03	0,38	90.0	23.8	96.7	13.5	0.3
9	50	1.37E-10	2.76E-09	-2.62E-10	2,78E-03	0,84	87.2	-5.4	83.8	-12.8	0.2
10	60	6.28E-10	2.96E-09	-5.11E-10	3,07E-03	0,92	78.0	-9.6	73.6	-13.4	0.2
11	70	5.82E-10	3.24E-09	-4.27E-10	3,32E-03	1,00	79.8	-7.4	76.1	-12.0	0.5

EM06-2

	Paso (mT)	Xc [Am ²]	Yc [Am ²]	Zc [Am ²]	MAG[A/m]	M/Mmax	Dg [°]	Ig [°]	Ds [°]	Is [°]	Ó95
1	0	3.33E-09	-1.14E-09	-2.90E-09	4,56E-03	0,96	341.1	-39.5	340.1	-17.6	0.3
2	5	3.36E-09	-1.18E-09	-3.03E-09	4,68E-03	0,99	340.6	-40.4	339.7	-18.4	0.5
3	10	3.29E-09	-7.18E-10	-3.35E-09	4,75E-03	1,00	347.7	-44.9	345.0	-23.2	0.4
4	15	3.19E-09	-8.74E-10	-3.33E-09	4,69E-03	0,99	344.7	-45.2	342.7	-23.4	0.4
5	20	3.17E-09	-8.58E-10	-3.32E-09	4,67E-03	0,98	344.9	-45.3	342.8	-23.5	0.3
6	25	3.15E-09	-8.88E-10	-3.22E-09	4,59E-03	0,97	344.3	-44.5	342.4	-22.7	0.5
7	30	3.16E-09	-8.24E-10	-3.22E-09	4,59E-03	0,97	345.4	-44.6	343.2	-22.8	0.4
8	40	3.16E-09	-8.36E-10	-3.19E-09	4,57E-03	0,96	345.2	-44.3	343.1	-22.5	0.4
9	50	3.19E-09	-1.34E-09	-2.51E-09	4,27E-03	0,90	337.2	-36.0	337.0	-14.0	0.4
10	60	1.74E-09	-1.94E-10	1.88E-09	2,57E-03	0,54	353.6	47.0	8.2	67.2	0.4
11	70	1.75E-09	-3.93E-10	1.67E-09	2,45E-03	0,52	347.3	43.0	355.3	64.2	0.2
12	80	1.81E-09	1.35E-09	1.35E-09	2,63E-03	0,55	36.7	30.9	51.3	39.3	0.4
13	90	6.16E-10	2.07E-09	2.34E-10	2,17E-03	0,46	73.4	6.2	75.2	3.0	0.4



EM07-1

	Paso (mT)	Xc [Am ²]	Yc [Am ²]	Zc [Am ²]	MAG[A/m]	M/Mmax	Dg [°]	Ig [°]	Ds [°]	Is [°]	Ó95
1	0	2.04E-09	-2.41E-09	7.93E-10	3,26E-03	1,00	310.2	14.1	304.0	20.3	1.0
2	5	1.89E-09	-2.51E-09	7.11E-10	3,22E-03	0,99	307.0	12.8	301.3	17.9	1.1
3	10	1.88E-09	-2.55E-09	6.67E-10	3,24E-03	0,99	306.4	11.9	301.1	16.9	1.1
4	15	1.34E-09	-2.00E-09	-7.29E-10	2,52E-03	0,77	303.8	-16.8	308.9	-10.9	1.3
5	20	1.35E-09	-2.00E-09	-7.05E-10	2,51E-03	0,77	304.0	-16.3	308.8	-10.3	1.6
6	25	1.41E-09	-1.76E-09	-1.05E-09	2,49E-03	0,76	308.7	-25.0	316.2	-16.9	1.8
7	30	-6.22E-10	-2.73E-09	1.57E-10	2,80E-03	0,86	257.2	3.2	257.9	-8.1	1.1
8	40	-5.97E-10	-2.68E-09	1.12E-10	2,75E-03	0,84	257.4	2.3	258.5	-8.9	1.5
9	50	5.54E-11	-3.09E-09	-4.92E-10	3,13E-03	0,96	271.0	-9.0	275.4	-15.2	1.1
10	60	7.33E-10	-2.35E-09	-1.48E-09	2,87E-03	0,88	287.3	-31.0	299.8	-29.7	1.6
11	70	7.16E-10	-2.43E-09	-1.50E-09	2,39E-03	0,73	286.4	-30.6	298.8	-29.7	1.6

EM07-2

	Paso (mT)	Xc [Am ²]	Yc [Am ²]	Zc [Am ²]	MAG[A/m]	M/Mmax	Dg [°]	Ig [°]	Ds [°]	Is [°]	Ó95
1	0	-3.86E-09	-2.06E-09	-1.52E-10	4,38E-03	1,00	208.1	-2.0	208.8	-22.8	1.1
2	5	-3.78E-09	-1.83E-09	-1.81E-10	4,20E-03	0,96	205.8	-2.5	206.3	-23.4	1.0
3	10	-3.59E-09	-1.64E-09	-1.95E-10	3,95E-03	0,90	204.6	-2.8	205.0	-23.8	0.9
4	15	-2.80E-09	-1.23E-09	-5.72E-10	3,11E-03	0,71	203.7	-10.6	204.3	-31.5	1.2
5	20	-2.80E-09	-1.16E-09	-5.86E-10	3,09E-03	0,71	202.5	-10.9	202.9	-31.9	1.4
6	25	-2.38E-09	-7.51E-10	-4.67E-10	2,54E-03	0,58	197.5	-10.6	197.1	-31.6	1.1
7	30	-3.41E-11	-2.78E-10	-8.17E-10	8,64E-04	0,20	263.0	-71.1	324.9	-69.4	1.6
8	50	-2.90E-10	-1.43E-10	-1.01E-09	1,06E-03	0,24	206.2	-72.2	350.4	-86.2	1.2
9	80	4.56E-10	1.98E-10	-1.36E-09	1,45E-03	0,33	23.5	-69.9	21.8	-48.9	3.2
10	90	1.56E-09	-5.43E-10	-1.09E-09	1,98E-03	0,45	340.8	-33.4	346.6	-16.4	1.4