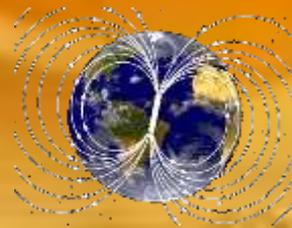


**UNIDADES
MAGNETOESTRATIGRAFICAS
DEFINICION, CARACTERISTICAS,
EJEMPLOS DE CADA TIPO DE
UNIDAD EN LA LITERATURA
GEOLOGICA VENEZOLANA**



AURORA PIÑA, JOSEFINA RODRÍGUEZ y MORALIS GONZÁLEZ

Octubre, 2008.

Estratigrafía Avanzada



UNIDADES MAGNETOESTRATIGRÁFICAS

Campo Magnético Terrestre

Inversiones del CMT

Magnetismo de las rocas

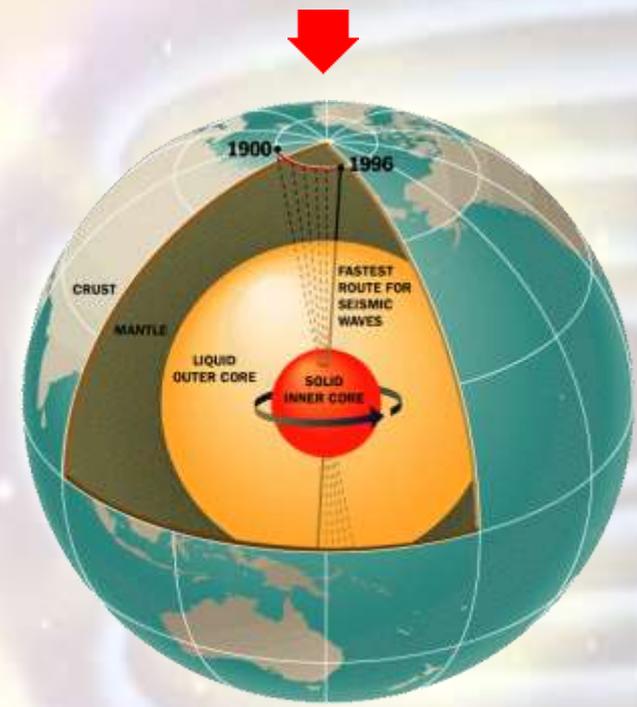
Unidades Magnetoestratigráficas

Ejemplos internacionales

Ejemplos en Venezuela

CAMPO MAGNÉTICO TERRESTRE

Un poderoso campo magnético rodea a la Tierra, como si el planeta tuviera un enorme imán en su interior y cuyos polos magnéticos no coinciden con los polos geográficos de su eje. Esto se produce porque las posiciones de los polos magnéticos no son constantes y muestran notables cambios de año en año.



El polo norte magnético de la Tierra se encuentra localizado (por el momento) en el norte de Canadá, a unos 600 km aproximadamente de la villa Resolute Bay

<http://www.practiciencia.com.ar>

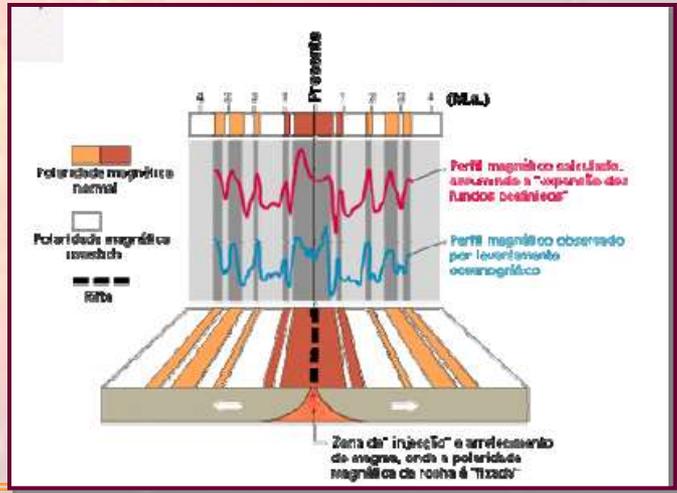
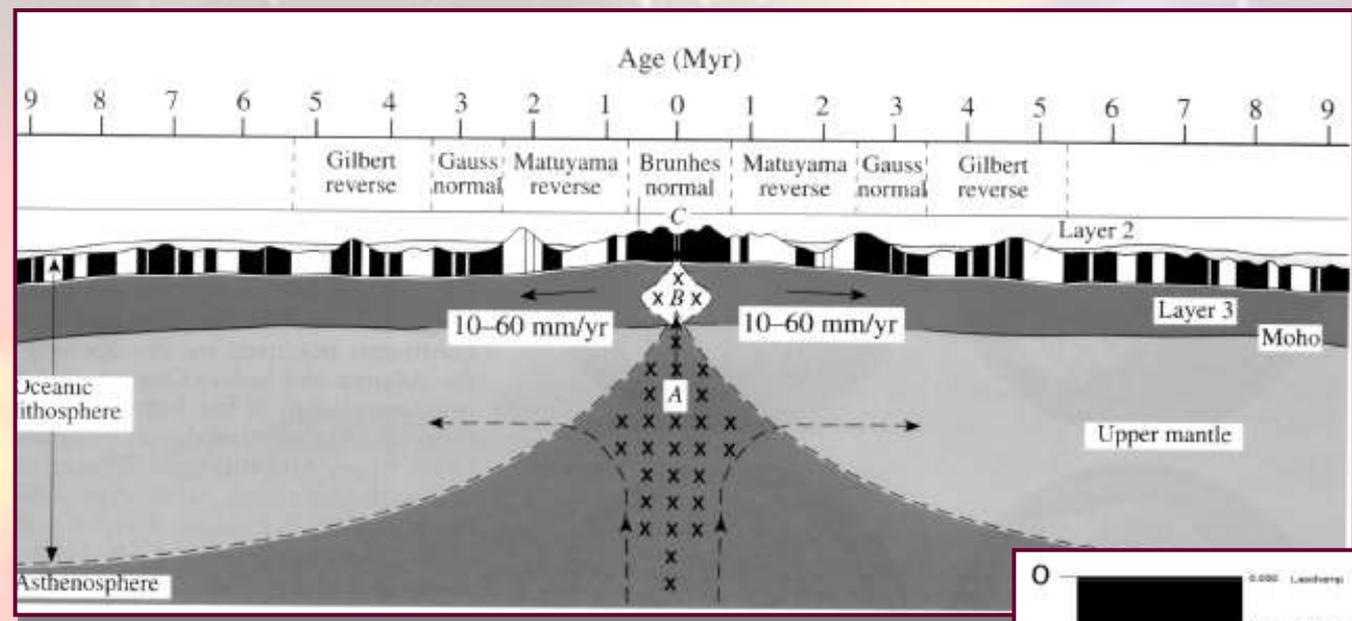




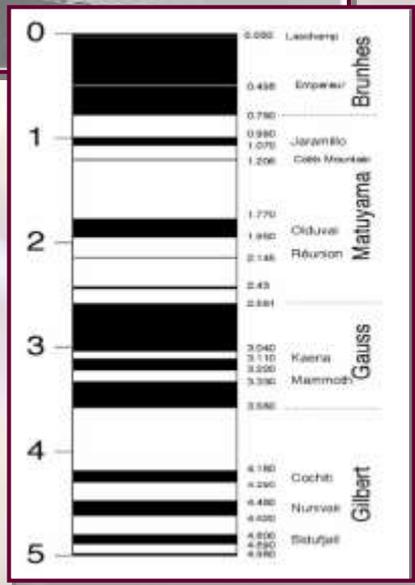
UNIDADES MAGNETOESTRATIGRÁFICAS

- Campo Magnético Terrestre
- Inversiones del CMT
- Magnetismo de las rocas
- Unidades Magnetoestratigráficas
- Ejemplos internacionales
- Ejemplos en Venezuela

INVERSIONES DEL CAMPO GEOMAGNÉTICO



Las varas magnéticas en los alrededores de las crestas centro-oceánicas revelan la historia del campo magnético de la Tierra desde hace millones de años. El estudio del pasado magnético de la Tierra recibe el nombre de paleo-magnetismo.





Campo Magnético Terrestre

Inversiones del CMT

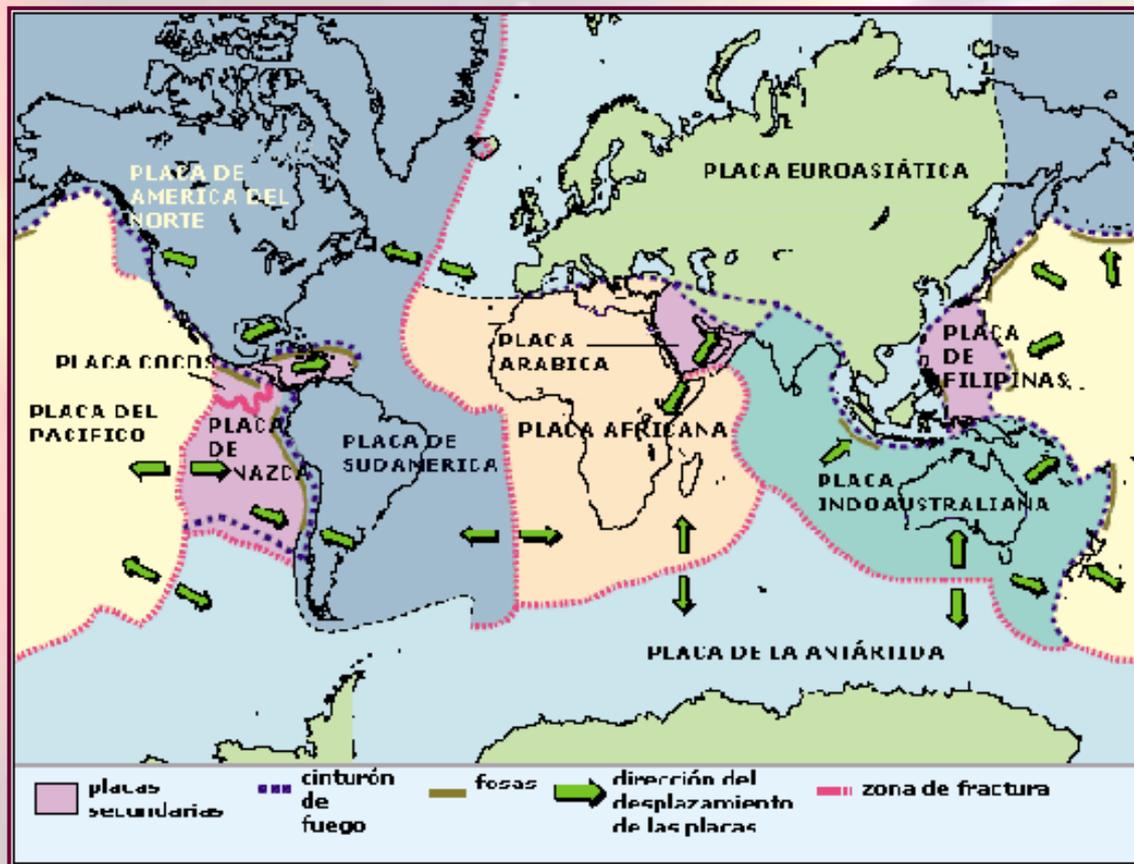
Magnetismo de las rocas

Unidades Magnetoestratigráficas

Ejemplos internacionales

Ejemplos en Venezuela

INVERSIONES DEL CAMPO GEOMAGNÉTICO Y DERIVA CONTINENTAL



Cuando se forman las placas tectónicas a lo largo de las dorsales oceánicas, el campo magnético que existe se imprime en la roca cuando se enfría por debajo de los 700° C.





UNIDADES MAGNETOESTRATIGRÁFICAS

- Campo Magnético Terrestre
- Inversiones del CMT
- Magnetismo de las rocas
- Unidades Magnetoestratigráficas
- Ejemplos internacionales
- Ejemplos en Venezuela



MAGNETISMO DE ROCAS

TIPOS DE MAGNETIZACIÓN

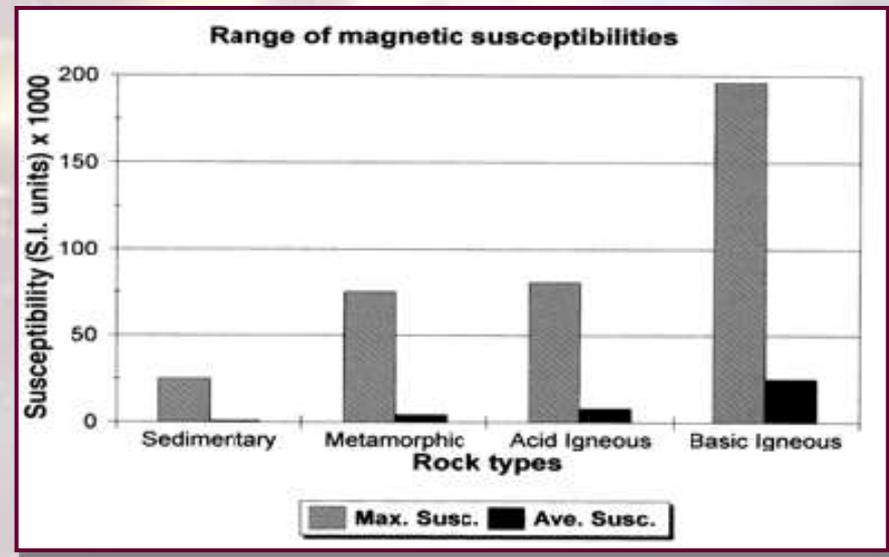
Los minerales magnéticos contienen átomos de ciertos elementos, de los cuales el hierro es el único ejemplo natural importante, que se comportan como pequeños imanes.

En presencia de un campo externo, las rocas presentan dos comportamientos:



PARAMAGNETISMO
susceptibilidad magnética $(k) > 0$

DIAMAGNETISMO
susceptibilidad magnética $(k) < 0$



El efecto paramagnético y diamagnético es muy débil, con la excepción de los elementos ferromagnesianos (hierro, cobalto, níquel), con una interacción magnética varios órdenes de magnitud superior





Campo Magnético
Terrestre



Inversiones
del CMT



Magnetismo
de las rocas



Unidades
Magnetoestratigráficas



Ejemplos
internacionales



Ejemplos en
Venezuela



MAGNETISMO DE ROCAS

TIPOS DE MAGNETIZACIÓN

FERROMAGNESIANOS: El tipo de interacción magnética define los dominios magnéticos:

1 MATERIALES FERRIMAGNÉTICOS: La mayoría de las rocas magnetizadas en la naturaleza (e.g. magnetita, titanomagnetita, óxido de hierro)

2 MATERIALES FERROMAGNÉTICOS: Hierro metálico

3 ANTI-FERROMAGNETISMO: Dominios en oposición de fase, Momento magnético nulo (Hematita).

4 Si los dominios están levemente rotados, se genera un anti-ferromagnetismo con momento magnético débil en sentido perpendicular



UNIDADES MAGNETOESTRATIGRÁFICAS



Estudio mineralógico de suelos agrícolas por espectroscopía Mössbauer. Cerón Loayza, María Luisa

MAGNETISMO DE ROCAS

Tipo	Susceptibilidad magnética			Origen
	Signo	Magnitud	Dependencia del cuerpo	
Diamagnetismo	-	10^{-5} uem	Independiente	Campo inducido, circulaciones electrónicas de pares de electrones
Paramagnetismo	+	0 a 10^{-4} uem	Dependiente	Momento angular del electrón
Ferromagnetismo	+	10^{-4} a 10^{-2} uem	Dependiente	Alineamiento de los espines por interacción dipolo-dipolo de los momentos de átomos adyacentes
Antiferromagnetismo	+	0 a 10^{-4} uem	Dependiente	Apareamiento de los espines por interacción dipolo-dipolo

TIPOS DE COMPORTAMIENTO MAGNÉTICO

Campo Magnético Terrestre

Inversiones del CMT

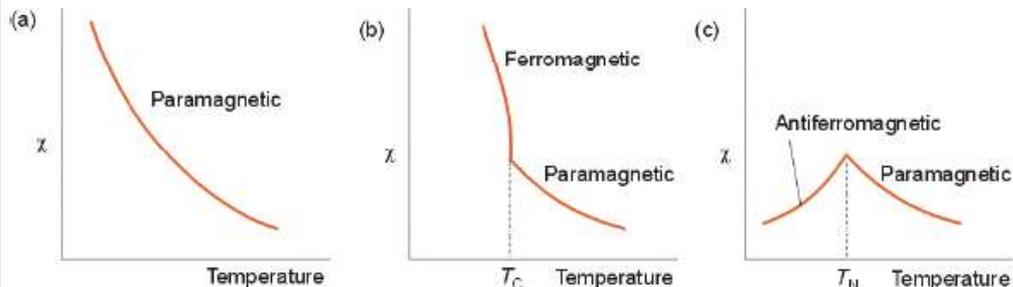
Magnetismo de las rocas

Unidades Magnetoestratigráficas

Ejemplos internacionales

Ejemplos en Venezuela

Representaciones de χ vs T^2 en función de la Ley de Curie y de Curie-Weiss



Posibles comportamientos al disminuir la temperatura

Paramagnetismo



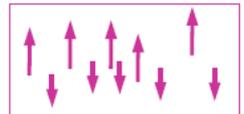
Ferromagnetismo



Antiferromagnetismo



Ferrimagnetismo





UNIDADES MAGNETOESTRATIGRÁFICAS

Campo Magnético Terrestre

Inversiones del CMT

Magnetismo de las rocas

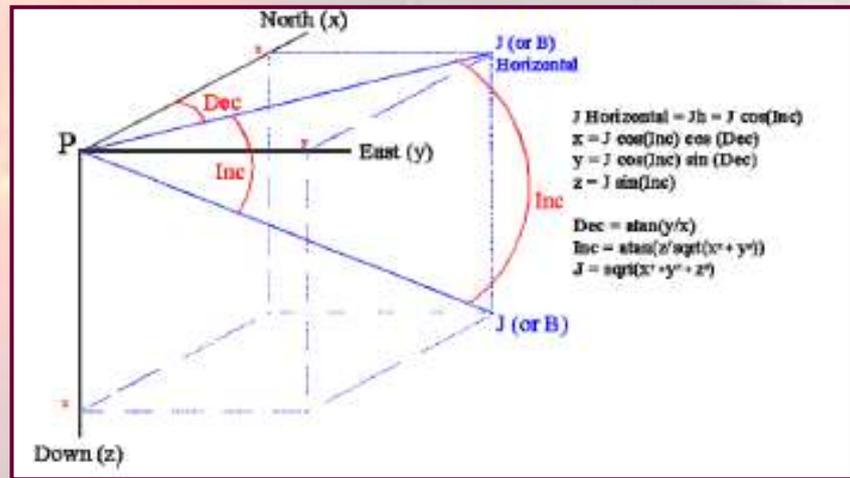
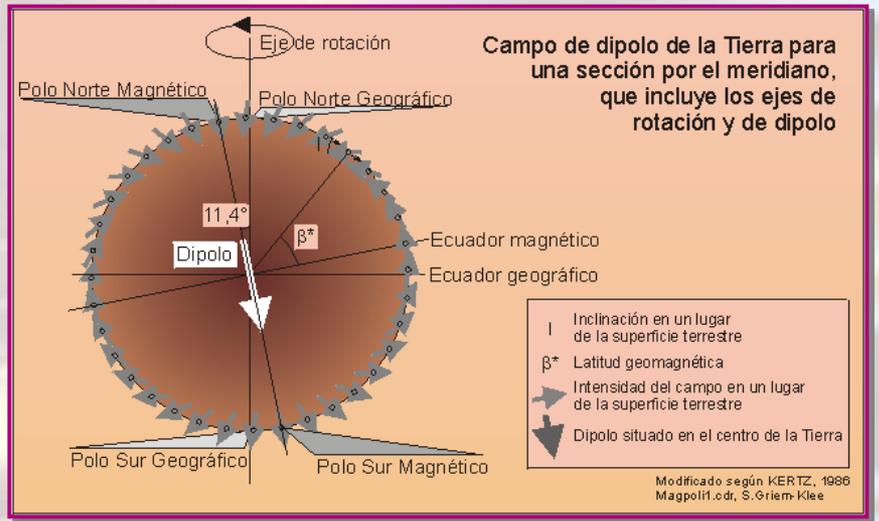
Unidades Magnetoestratigráficas

Ejemplos internacionales

Ejemplos en Venezuela

MAGNETISMO DE LAS ROCAS

La dirección de la imanación de una roca viene dada por la inclinación I o ángulo que forma la dirección de imanación con la horizontal, y la declinación o ángulo que forma la dirección de imanación con el polo norte geográfico.





UNIDADES MAGNETOESTRATIGRÁFICAS

Campo Magnético Terrestre

Inversiones del CMT

Magnetismo de las rocas

Unidades Magnetoestratigráficas

Ejemplos internacionales

Ejemplos en Venezuela

MAGNETISMO DE LAS ROCAS

IMANTACIÓN REMANENTE NATURAL

IMANTACIÓN PRIMARIA + IMANTACIÓN SECUNDARIA

- VISCOSA** Efecto del campo terrestre durante el tiempo geológico
- ISOTERMA** Rayo = campos magnéticos intensos > 1000 veces la intensidad del CMT
- IMANTACIÓN PARCIAL** Termo-remanente o química

Las imantaciones secundarias se pueden identificar mediante la desmagnetización progresiva en el laboratorio

Calentamiento por etapa sin campo magnético

Campos alternativos

Disolución con ácido





UNIDADES MAGNETOESTRATIGRÁFICAS

MAGNETISMO DE LAS ROCAS

Campo Magnético Terrestre

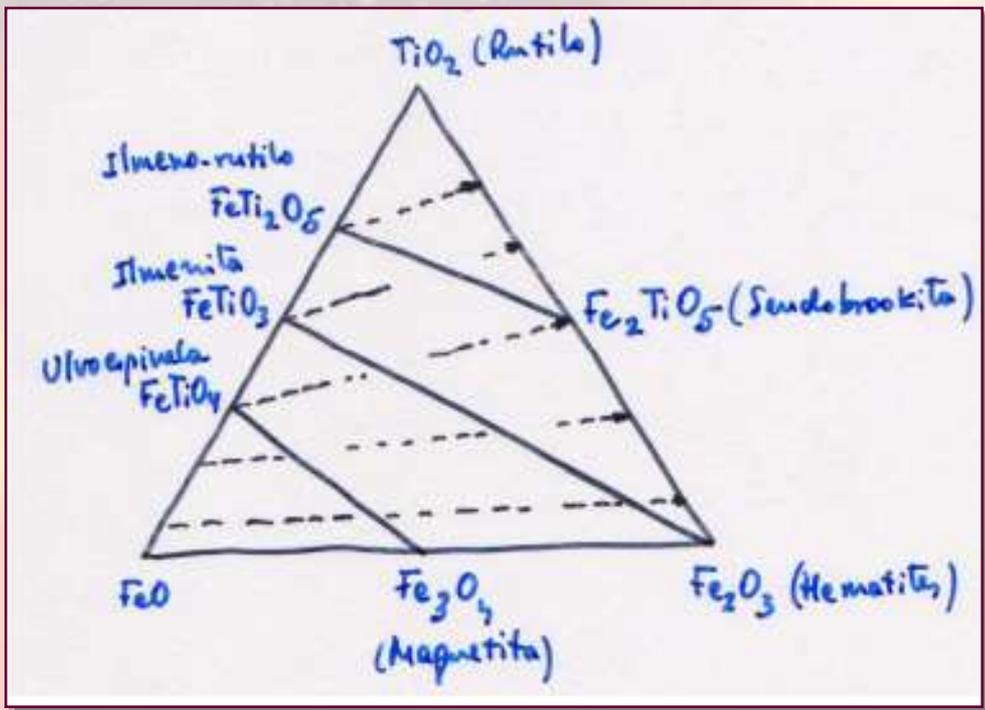
Inversiones del CMT

Magnetismo de las rocas

Unidades Magnetoestratigráficas

Ejemplos internacionales

Ejemplos en Venezuela



- ⊙ PUNTO DE CURIE
- ⊙ MAGNETIZACIÓN REMANENTE TÉRMICA
- ⊙ MAGNETIZACIÓN REMANENTE DEPOSITACIONAL
- ⊙ MAGNETIZACIÓN REMANENTE POSTSEDIMENTARIA
- ⊙ MAGNETIZACIÓN REMANENTE QUÍMICA

- ⊙ Magnetita (Fe_3O_4)- 578 °C,
- ⊙ Maghemita ($\gamma-Fe_2O_3$) - 675 °C (pero es metastable y se invierte a hematita o magnetita > 350)
- ⊙ Hematita ($\alpha-Fe_2O_3$) - 675 °C (temperatura de Neel, pues es antiferromagnético)
- ⊙ Titanomagnetita, Titanohematita - aumento en el contenido de Ti disminuye la temperatura de Curie.
- ⊙ Pyrrhotita ($Fe_7 S_8$)- 320 °C
- ⊙ Goethite ($FeOOH$)- 120 °C





UNIDADES MAGNETOESTRATIGRÁFICAS

Campo Magnético Terrestre

Inversiones del CMT

Magnetismo de las rocas

Unidades Magnetoestratigráficas

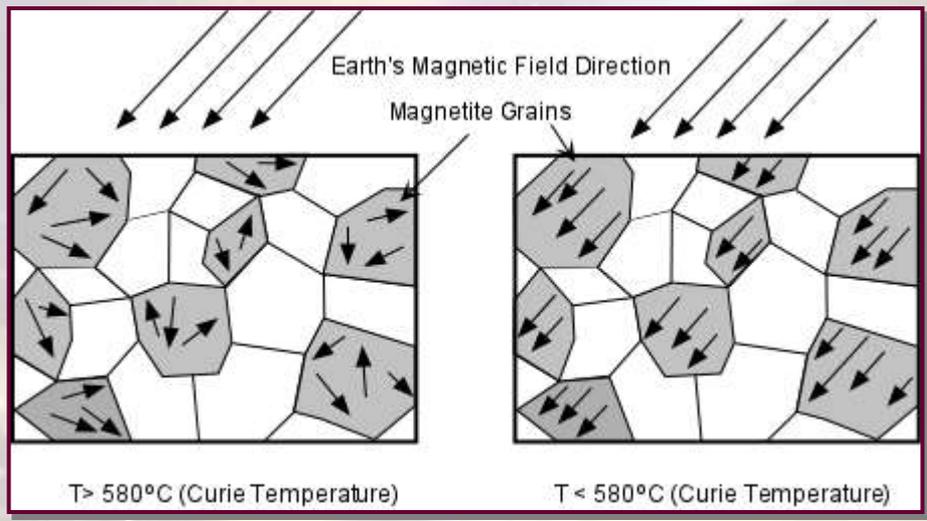
Ejemplos internacionales

Ejemplos en Venezuela

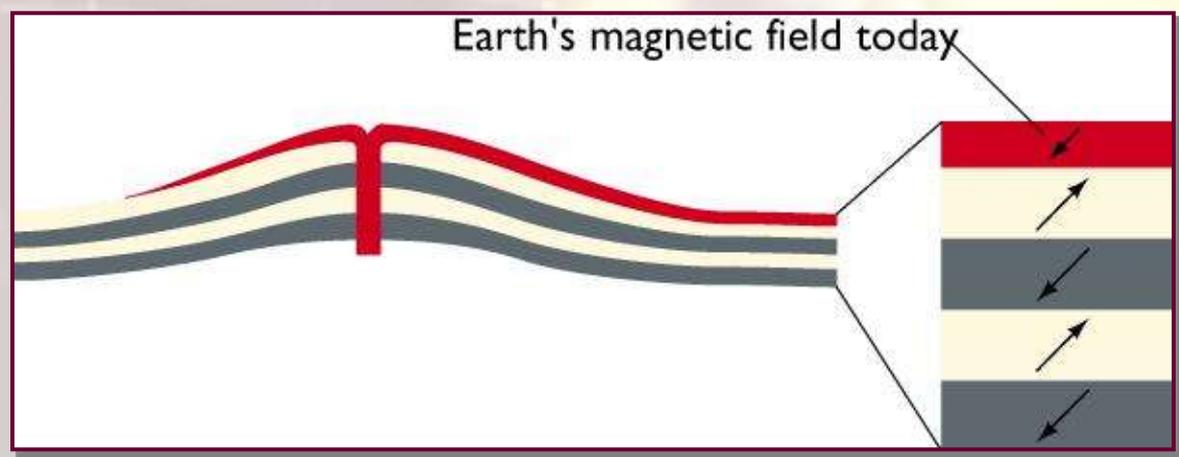
MAGNETISMO TERMO-REMANENTE (TRM)

ÍGNEAS Y METAMÓRFICAS

Magnetización remanente en función de la temperatura de Curie.



Correspondencia entre la magnetización grabada por diferentes flujos de lava y la escala magnética de polaridad.





UNIDADES MAGNETOESTRATIGRÁFICAS

Campo Magnético Terrestre

Inversiones del CMT

Magnetismo de las rocas

Unidades Magnetoestratigráficas

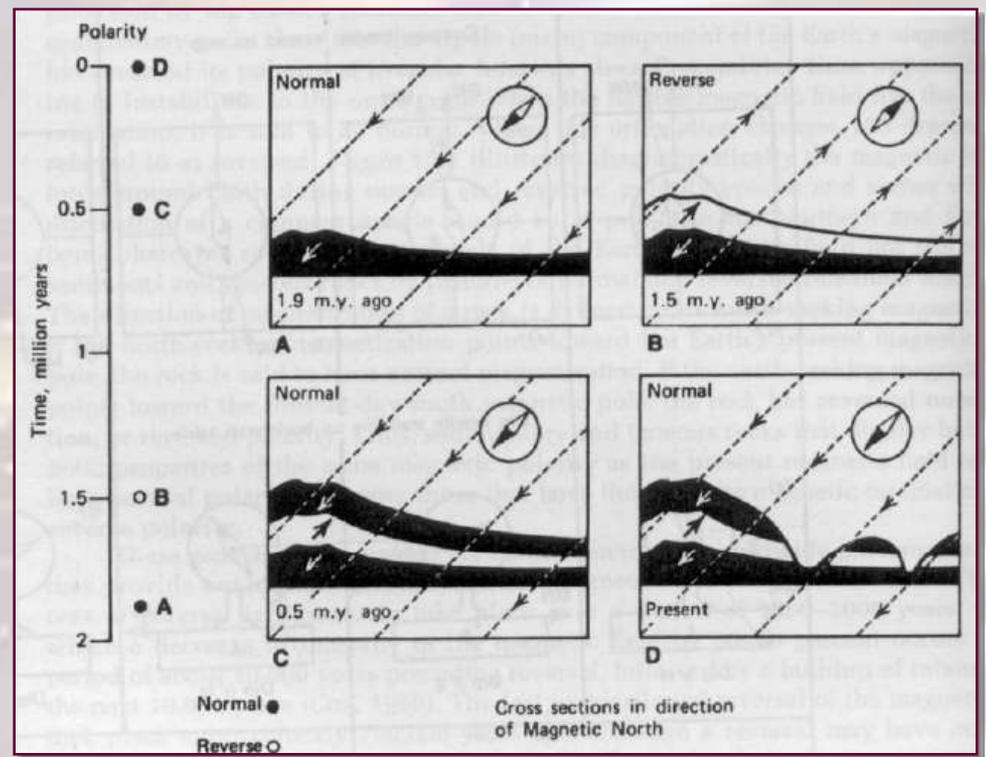
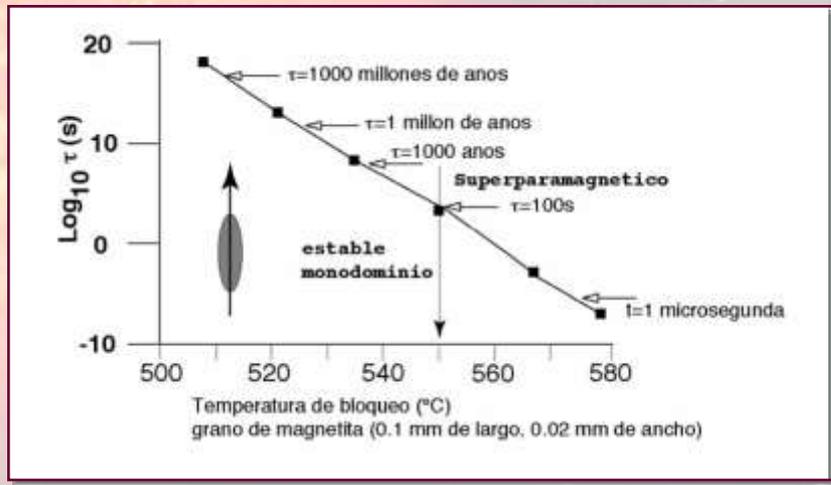
Ejemplos internacionales

Ejemplos en Venezuela

MAGNETISMO TERMO-REMANENTE (TRM)

ÍGNEAS Y METAMÓRFICAS

Enfriamiento de lavas y magnetización remanente



Magnetización en función de la temperatura





UNIDADES MAGNETOESTRATIGRÁFICAS

Campo Magnético Terrestre

Inversiones del CMT

Magnetismo de las rocas

Unidades Magnetoestratigráficas

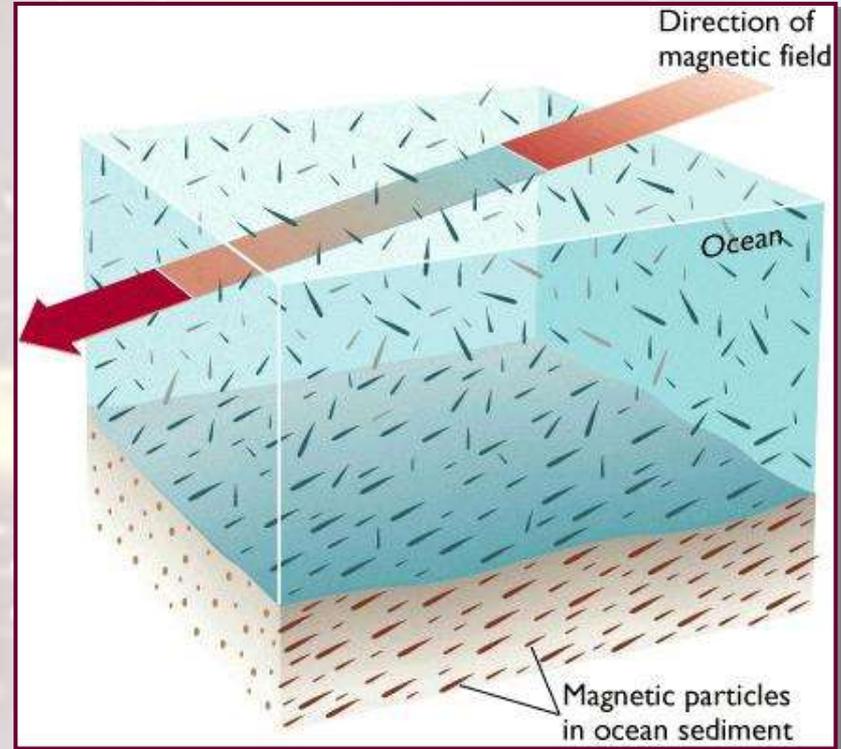
Ejemplos internacionales

Ejemplos en Venezuela

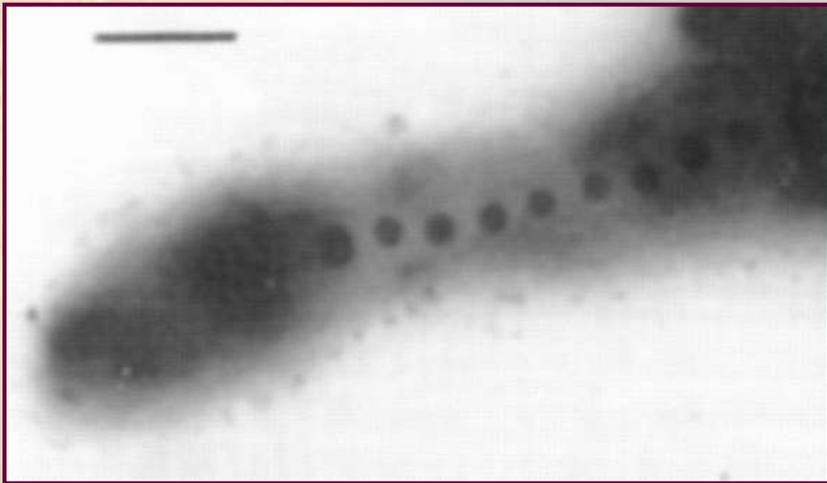
MAGNETISMO REMANENTE DEPOSITACIONAL O DETRÍTICA

SEDIMENTARIAS

Correspondencia entre el alineamiento de partículas y el campo magnético presenta durante depositación



(*Rhodopseudomonas rutilis*) de Mikhail Vainshtain de la Russian Academy of Sciences. Escala = .5 micrometer.
<http://www.panspermia.org/magneto.htm>





Campo Magnético
Terrestre



Inversiones
del CMT



Magnetismo
de las rocas



Unidades
Magnetoestratigráficas



Ejemplos
internacionales

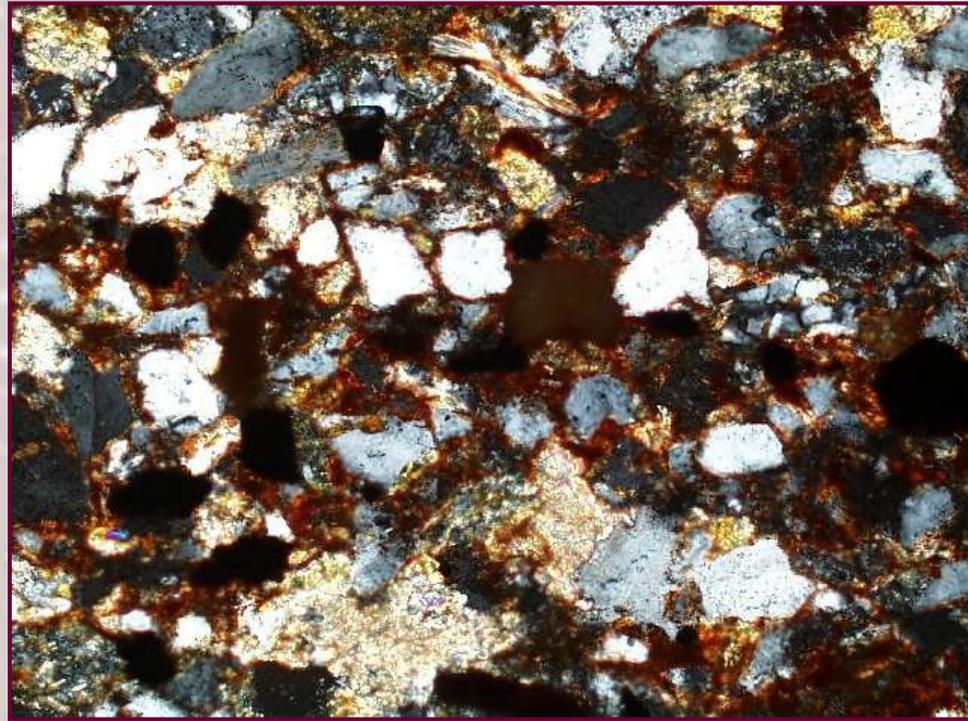


Ejemplos en
Venezuela



OTRAS FORMAS DE MAGNETIZACIÓN REMANENTE NATURAL

QUÍMICA Y VISCOSA



Sección delgada de una arenisca





UNIDADES MAGNETOESTRATIGRÁFICAS

Campo Magnético Terrestre

Inversiones del CMT

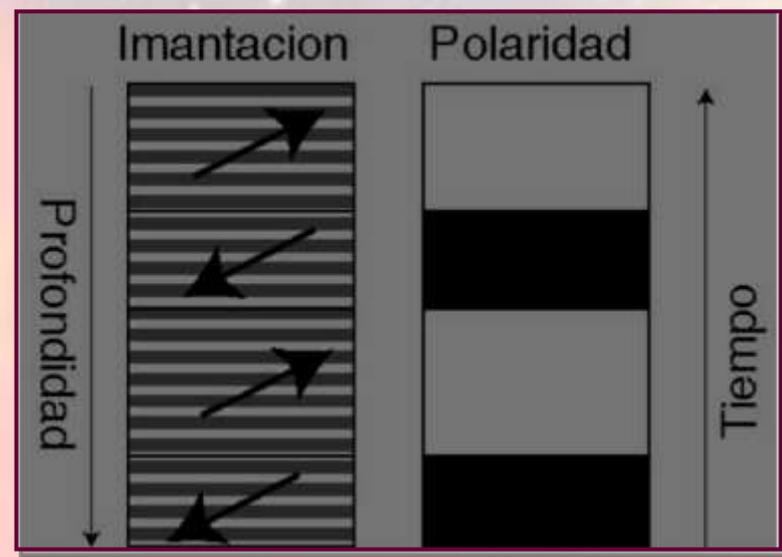
Magnetismo de las rocas

Unidades Magnetoestratigráficas

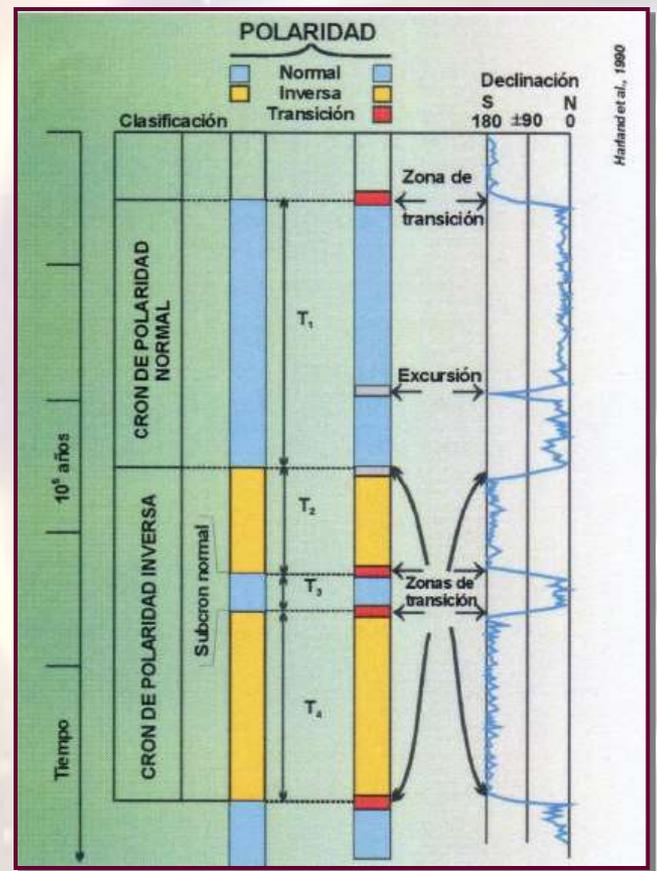
Ejemplos internacionales

Ejemplos en Venezuela

MAGNETOESTRATIGRAFÍA. UNIDADES MAGNETOESTRATIGRÁFICAS



Estudio de las características magnéticas de las rocas estratificadas de diferentes edades. Su objetivo es la obtención de la escala magnetoestratigráfica.





Campo Magnético
Terrestre



Inversiones
del CMT



Magnetismo
de las rocas



Unidades
Magnetoestratigráficas



Ejemplos
internacionales

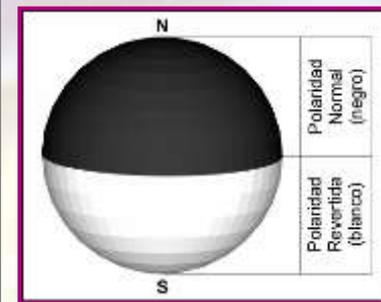


Ejemplos en
Venezuela



UNIDADES MAGNETOESTRATIGRÁFICAS

Unidades de polaridad magnetoestratigráfica	Equivalentes cronoeestratigráficos	Equivalentes geocronológicos
Superzona de polaridad	Cronozona (o supercronozona)	Cron (o supercron)
Zona de polaridad	Cronozona	Cron
Subzona de polaridad	Cronozona (o subcronozona)	Cron (o subcron)



Terminología recomendada para las Unidades de Polaridad Magnetoestratigráfica

La unidad básica formal en la clasificación de la polaridad magnetoestratigráfica es la zona de polaridad magnetoestratigráfica, o simplemente, zona de polaridad. Las zonas de polaridad pueden subdividirse en SUBZONAS DE POLARIDAD y agruparse en SUPERZONAS DE POLARIDAD. Las zonas de polaridad magnetoestratigráfica pueden consistir en conjuntos de estratos considerados como una unidad por contener: (1) una polaridad única de magnetización; (2) una alternancia compleja de polaridad normal e invertida de magnetización; (3) una polaridad dominante, normal o invertida, pero con episodios menores de la polaridad opuesta.

Guía Estratigráfica Internacional (Rev. Sol. Geol. España, 2001)





UNIDADES MAGNETOESTRATIGRÁFICAS

UNIDADES MAGNETOESTRATIGRÁFICAS

Campo Magnético Terrestre



Inversiones del CMT



Magnetismo de las rocas



Unidades Magnetoestratigráficas



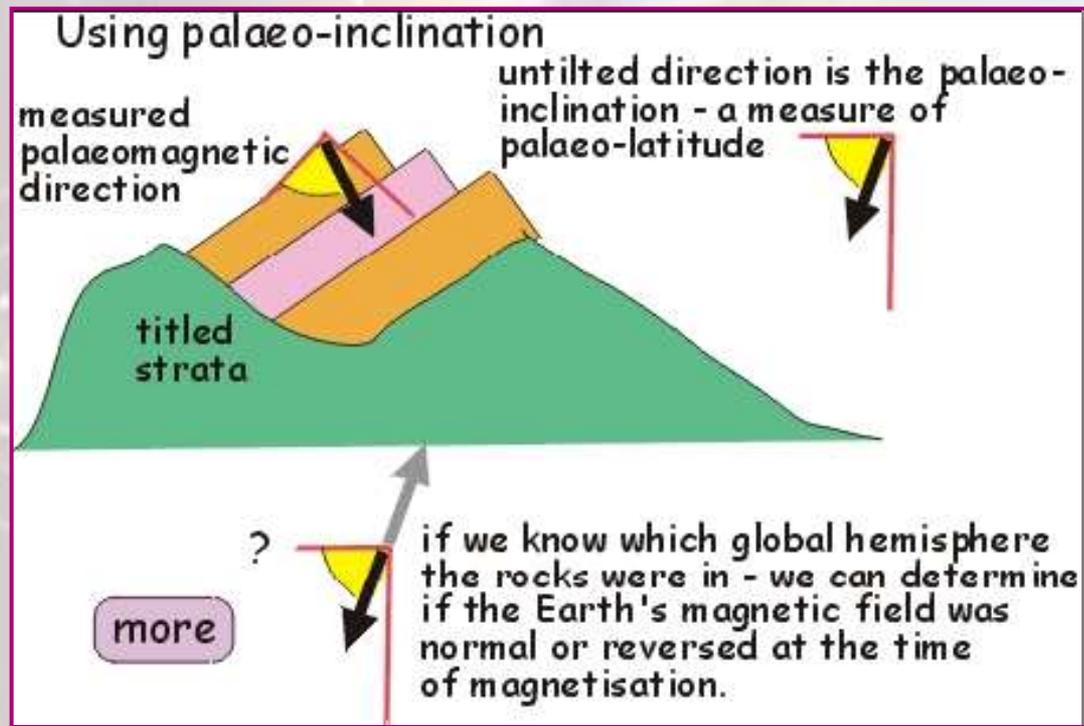
Ejemplos internacionales



Ejemplos en Venezuela



- © **Recolección de muestras orientadas**
- © **Medidas de magnetización remanente**





UNIDADES MAGNETOESTRATIGRÁFICAS

NOMENCLATURA DE LAS UNIDADES MAGNETOESTRATIGRÁFICAS

El nombre formal de una unidad de polaridad magnetoestratigráfica está formado por:

Campo Magnético Terrestre

Inversiones del CMT

Magnetismo de las rocas

Unidades Magnetoestratigráficas

Ejemplos internacionales

Ejemplos en Venezuela

1 Nombre de un rasgo geográfico apropiado, combinado con un término que indique el rango y la dirección de polaridad.



Por ejemplo:
Zona de polaridad normal Jaramillo.

2

No deben reemplazarse los nombres bien establecidos derivados de nombres de ilustres expertos en la ciencia del geomagnetismo



Por ejemplo,
Bsunhes, Gauss y Matuyama.

3

Las unidades expresadas por números y letras pueden usarse informalmente, pero no es recomendable como práctica usual. Sin embargo, las clásicas anomalías magnéticas lineales del fondo oceánico son una excepción, dada la importancia histórica que tienen y su uso predominante en la literatura.





Campo Magnético Terrestre



Inversiones del CMT



Magnetismo de las rocas



Unidades Magnetoestratigráficas



Ejemplos internacionales

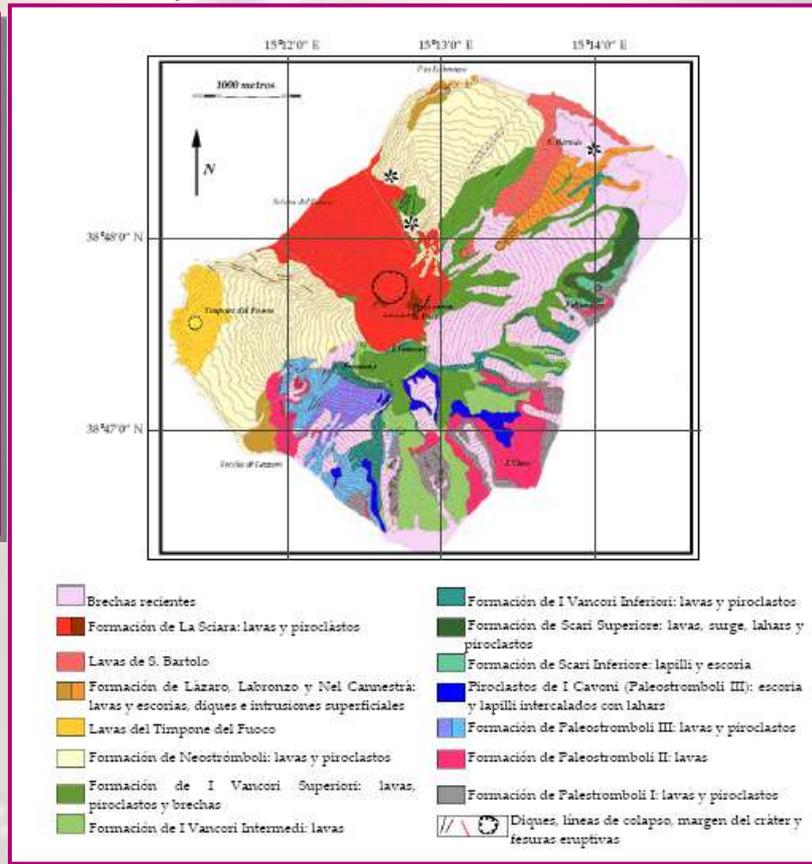
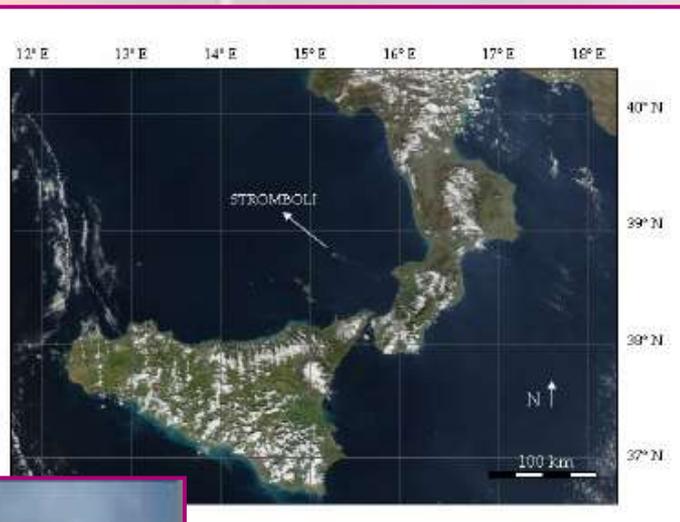


Ejemplos en Venezuela



EJEMPLOS INTERNACIONALES

ANÁLISIS PALEOMAGNÉTICO Y DATACIÓN DE LAVAS DEL VOLCÁN STROMBOLI, PARA LOS ÚLTIMOS 10.000 AÑOS A. Vallenilla*, V. Costanzo, F. Speranza (U.S.B)



Direcciones paleomagnéticas obtenidas y comparadas con curvas magnetoestratigráficas. El mineral predominante es magnetita pura, Las edades probables para lavas de antigüedad inferior a los 3000 años, están en el rango de 2000-2500 años



T.E.G. (2005)





Campo Magnético Terrestre



Inversiones del CMT



Magnetismo de las rocas



Unidades Magnetoestratigráficas



Ejemplos internacionales



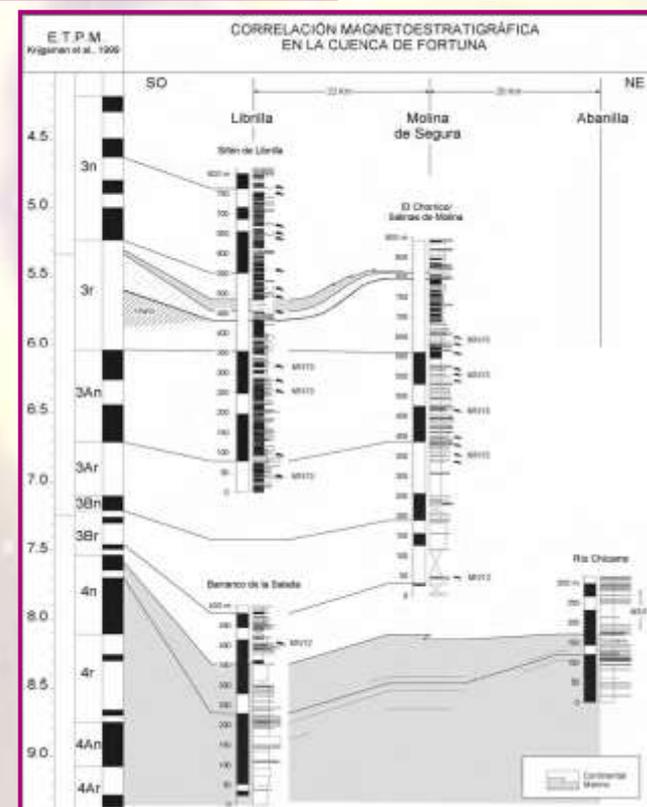
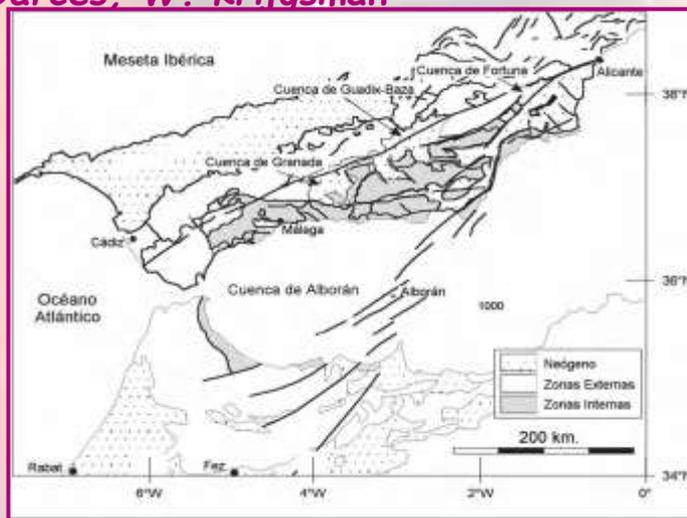
Ejemplos en Venezuela



MEMORIAS DE ARQUEOLOGÍA 14-1999 · PÁGS. 27-36

EJEMPLOS INTERNACIONALES

INVESTIGACIONES BIOESTRATIGRÁFICAS Y MAGNETOESTRATIGRÁFICAS EN LA CUENCA DE FORTUNA (MURCIA) Y SUS IMPLICACIONES PARA LA EVOLUCIÓN DE LA CUENCA MEDITERRÁNEA DURANTE EL MESSINIENSE (MIOCENO SUPERIOR). J. Agusti, M. Garcés, W. Krijgsman



4 sucesiones magnetoestratigráficas. Integración bioestratigráfica y magnetoestratigráfica permite establecer secuencia continua de 21 magnetozonas y correlación con la escala de tiempo de polaridad magnética (ETPM), apoyada bioestratigráficamente. Primer evento: 7,2 m.a. Segundo evento: 6,2 m.a. Tercer evento: 5,96 y 5,33 m.a.



UNIDADES MAGNETOESTRATIGRÁFICAS



Campo Magnético Terrestre



Inversiones del CMT



Magnetismo de las rocas



Unidades Magnetoestratigráficas



Ejemplos internacionales



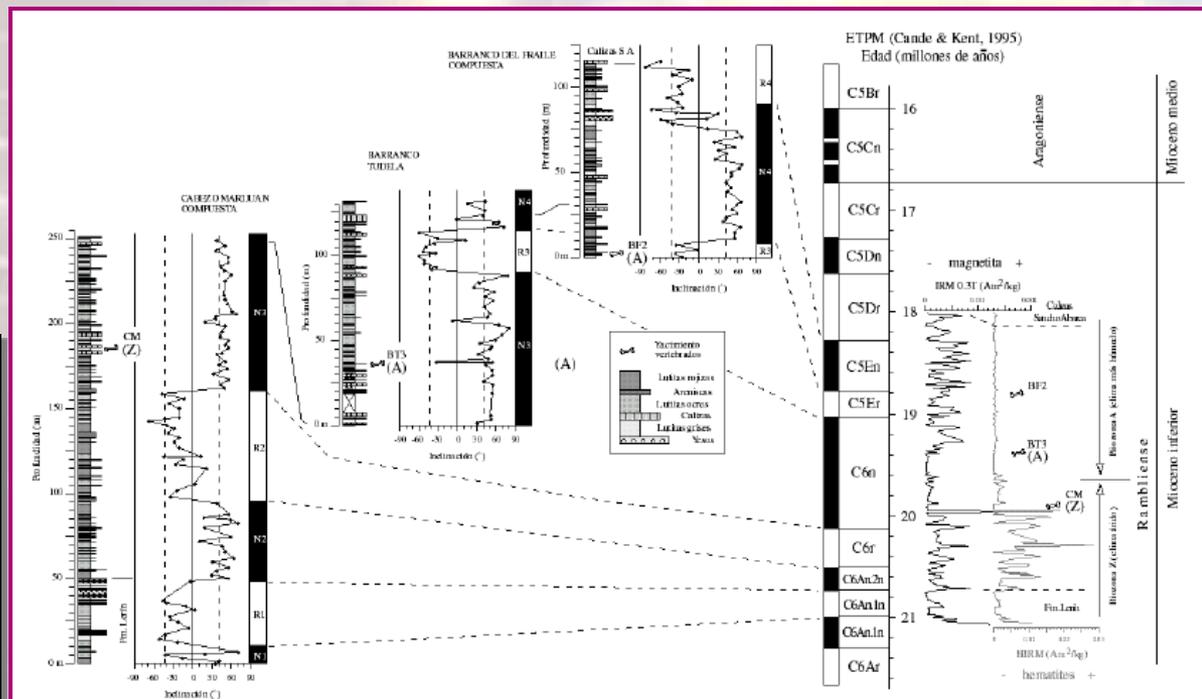
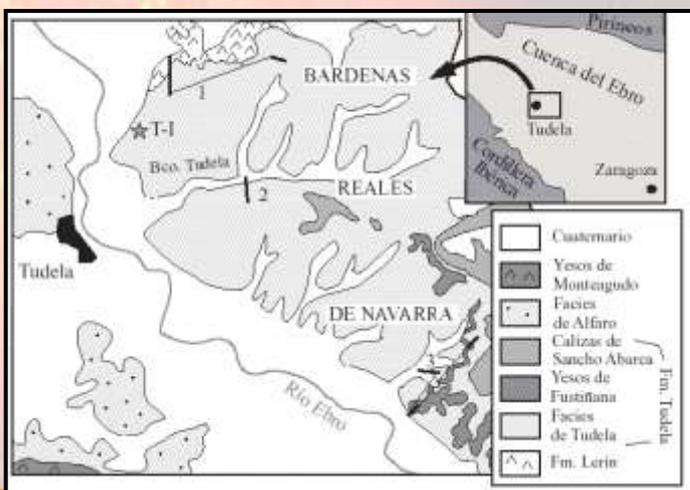
Ejemplos en Venezuela



EJEMPLOS INTERNACIONALES

MAGNETOESTRATIGRAFÍA Y MAGNETISMO AMBIENTAL DE LAS FACIES DE TUDELA (MIOCENO INFERIOR) EN LAS BARDENAS REALES DE NAVARRA (SECTOR OCCIDENTAL DE LA CUENCA DEL EBRO)

J.C. Larrasoña, M. Garcés, X. Murelaga y E. Beamud (2003)



Estudio magnetoestratigráfico de la Facies establece límite Lerín-Tudela (20.725 ka) y límite Tudela-Calizas Sancho Abarca (18 Ma).





Campo Magnético Terrestre



Inversiones del CMT



Magnetismo de las rocas



Unidades Magnetoestratigráficas



Ejemplos internacionales



Ejemplos en Venezuela



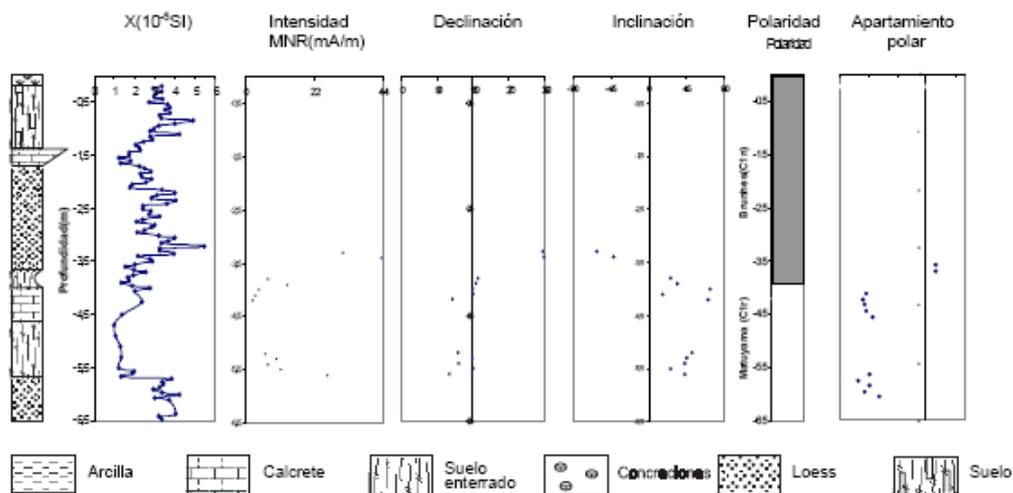
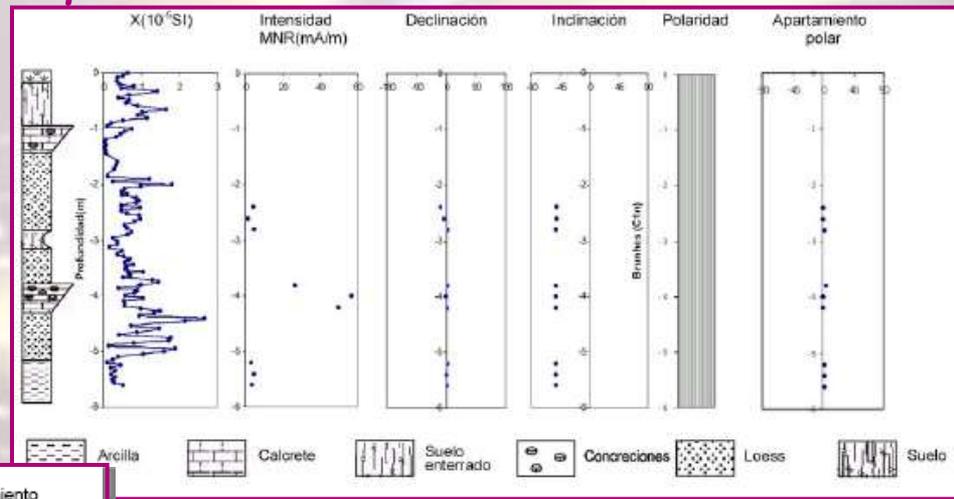
EJEMPLOS INTERNACIONALES

MAGNETOESTRATIGRAFIA DE SEDIMENTOS CENOZOICOS EN EL OESTE DEL GRAN BUENOS AIRES

P. Nabel, H. Morrás y M. Sapoznik

Asociación Geológica Argentina, (2005)

Sedimentología, susceptibilidad, intensidad del mrn, direcciones del mre, y polaridad magnética de los dos perfiles



8 m superiores de sedimentos de la planicie loésica: zona de polaridad magnética de Brunhes (menor de 0,78 Ma) y sedimentos subyacentes: zona de polaridad magnética de Matuyama. Cambio de polaridad magnética por encima de un suelo enterrado, a 13,30 m s.n.m., indicador de límite superior de zona de polaridad magnética de Matuyama.



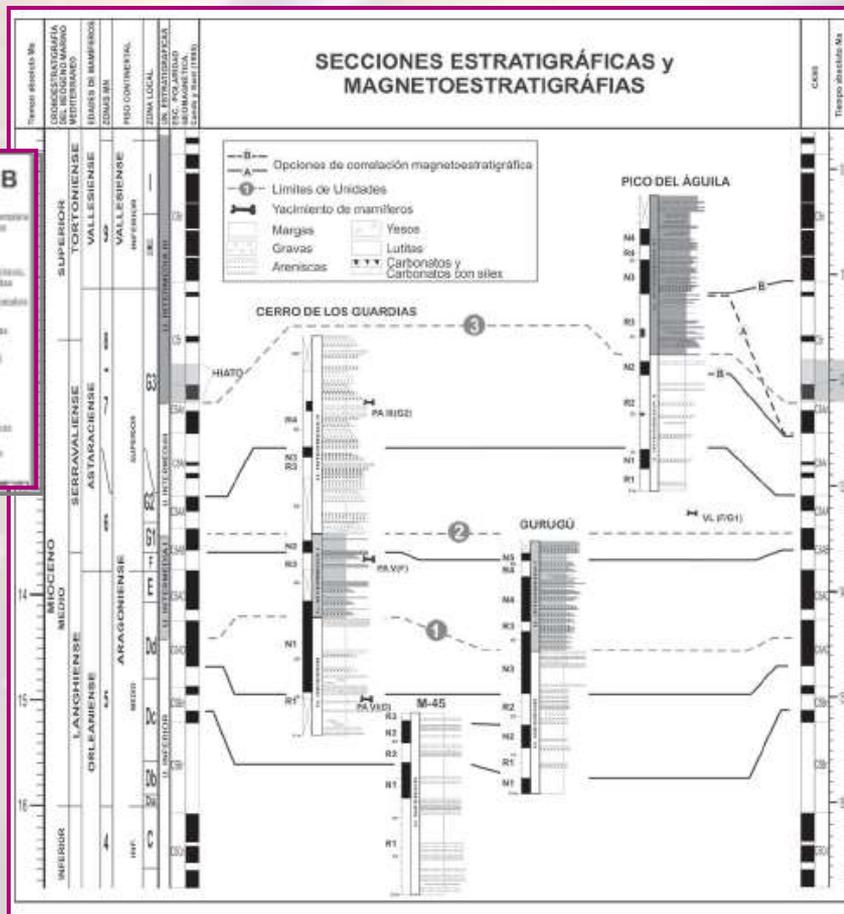
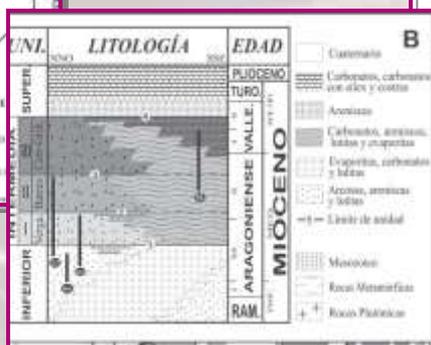


EJEMPLOS INTERNACIONALES

MAGNETOESTRATIGRAFÍA DE LAS UNIDADES INFERIOR E INTERMEDIA DEL MIOCENO DE LA CUENCA DE MADRID M. Montes, B. Beamud, M. Garcés y J.P. Calvo



Revista de la Sociedad Geológica de España, 19(3-4), 2006



Se muestran los primeros datos magnetoestratigráficos de los sedimentos aluviales distales y lacustres del Mioceno de la Cuenca de Madrid. Se estudiaron cuatro secciones que representan la casi totalidad de las unidades secuenciales Inferior e Intermedia, con 185 m de potencia aproximada. La sucesión estratigráfica estudiada representa casi 6 Ma dentro del Mioceno medio y superior. Existen saltos en las tasas de acumulación





Campo Magnético
Terrestre

Inversiones
del CMT

Magnetismo
de las rocas

Unidades
Magnetoestratigráficas

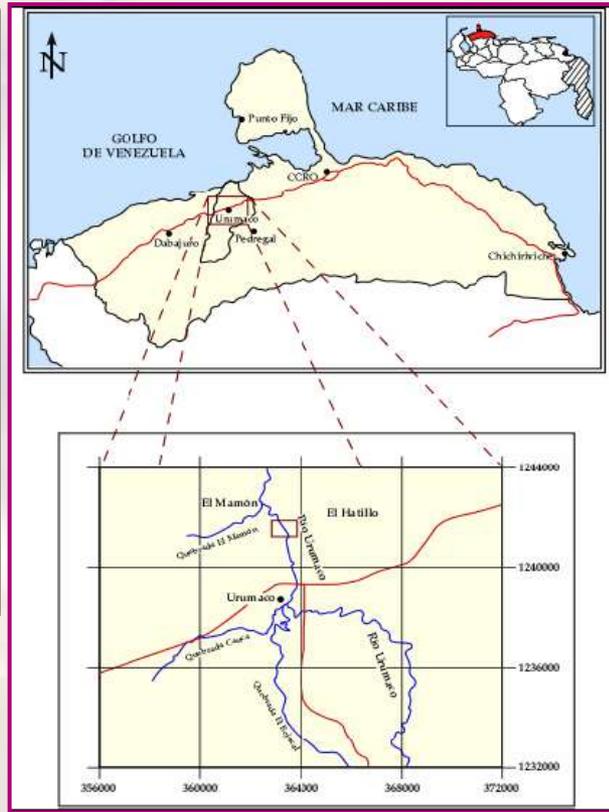
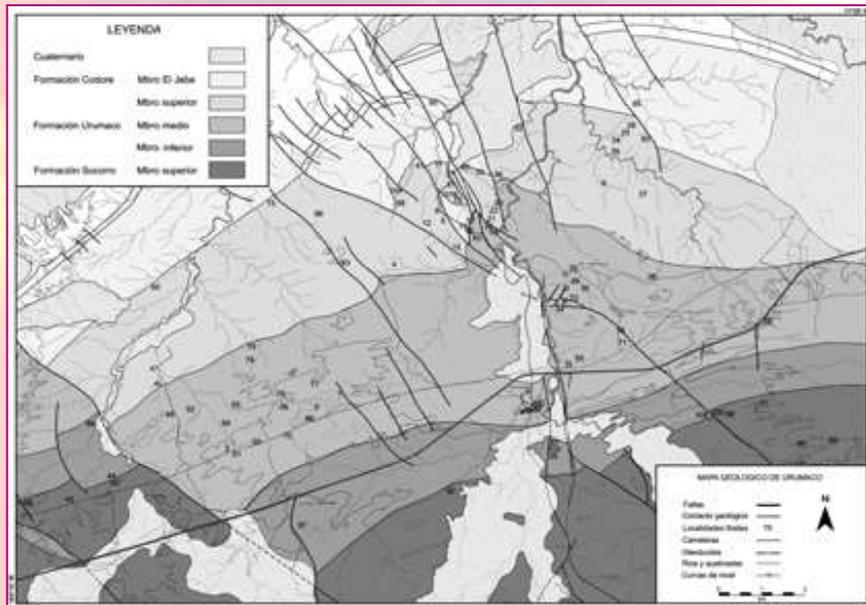
Ejemplos
internacionales

Ejemplos en
Venezuela

EJEMPLOS NACIONALES

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

J. Quijano*, V. Costanzo, A. Pilloud y M. Aldana, U.S.B



En la sección magnetoestratigráfica, se reconoció un evento con polaridad inversa; y otro, con normal. El primero (cambio de polaridad, de revertida a normal), de 25 m de areniscas con glauconita, las brechas y las limolitas con intercalaciones de brechas. El segundo, de 28 m.

XIII Congreso Venezolano de Geofísica (2006)

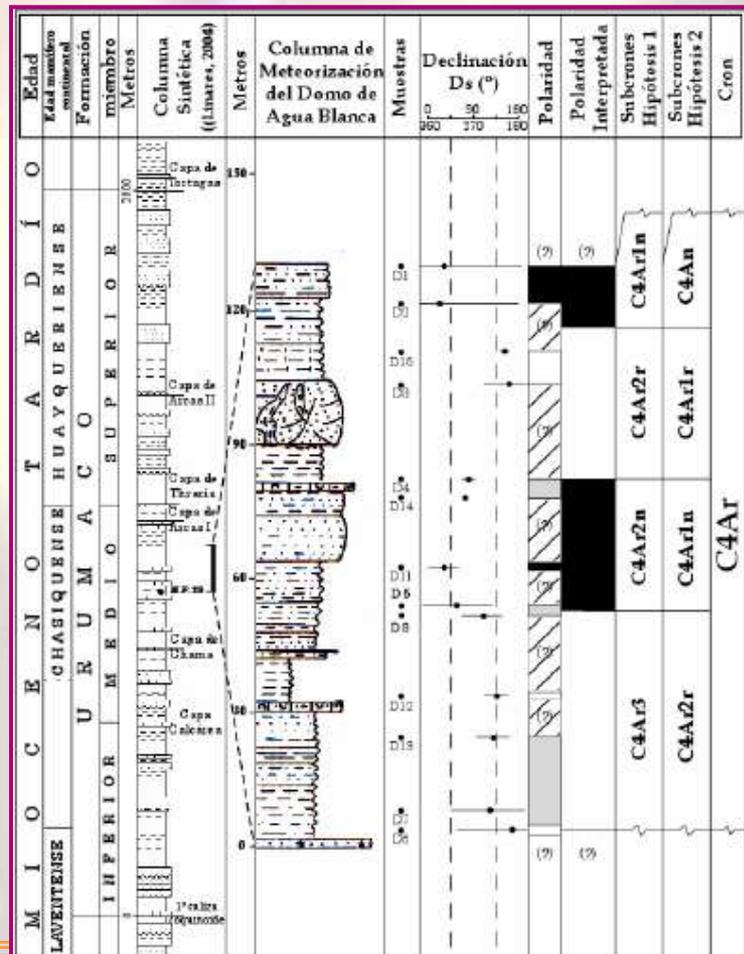




EJEMPLOS NACIONALES

ESTUDIO MAGNETOESTRATIGRÁFICO DE LA SECCIÓN DEL DOMO DE AGUA BLANCA (MIEMBRO MEDIO DE LA FORMACIÓN URUMACO, EDO. FALCÓN).

C. Herrera, A. Pilloud, V. Costanzo y M. Aldana. *USB*



Se levantaron dos secciones (flanco Norte y flanco Sur) del anticlinal. La sección del flanco Norte de 118,75 m y la sección del flanco Sur de 137,05 m. La secuencia estudiada corresponde a la parte media del miembro medio de la Formación Urumaco. Mediante la toma de muestras en 13 sitios y la aplicación de técnicas paleomagnéticas se reconocen tres revertimientos del Mioceno tardío (Linares, 2004). La secuencia levantada pudo depositarse: (a) entre 9,74 Ma y 9,23 Ma, con una tasa de sedimentación de 19 cm/ka, o (b) entre 9,58 Ma y 8,699 Ma, con una tasa de sedimentación de 22,4 cm/ka.





Campo Magnético
Terrestre



Inversiones
del CMT



Magnetismo
de las rocas



Unidades
Magnetoestratigráficas



Ejemplos
internacionales

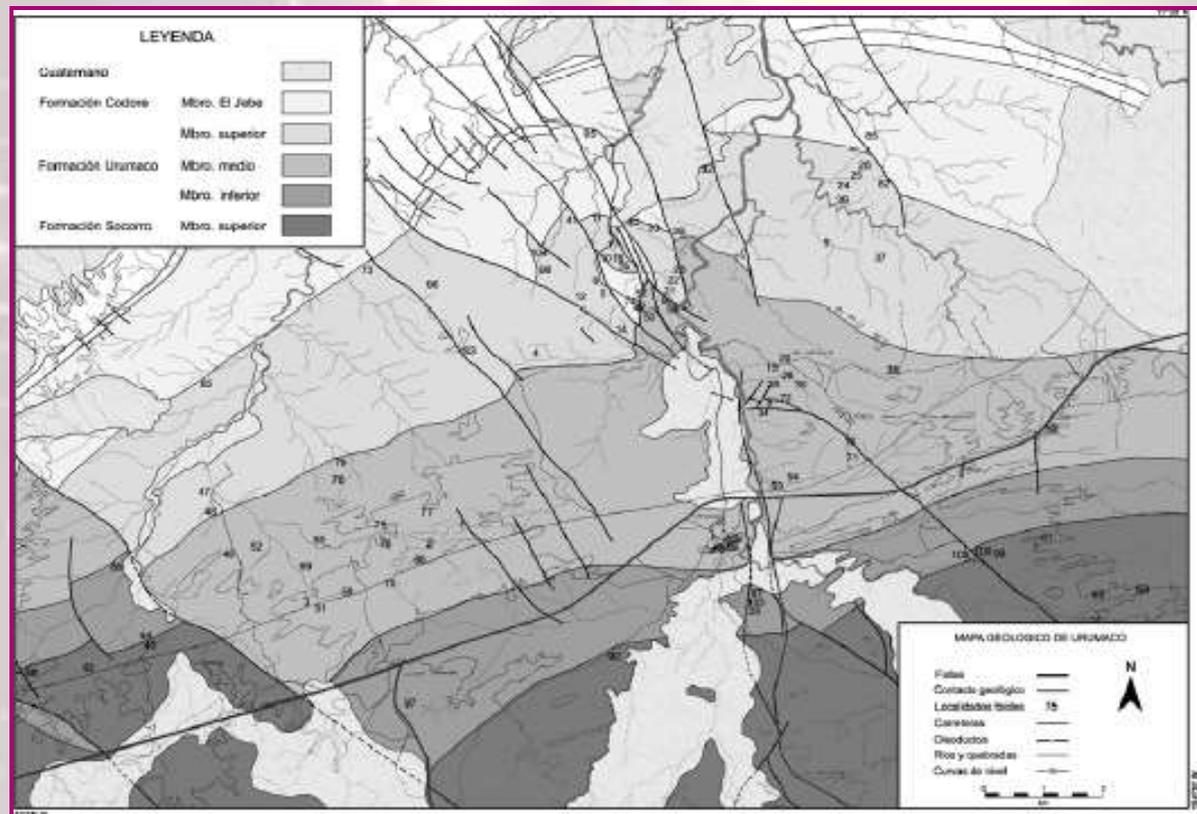


Ejemplos en
Venezuela



EJEMPLOS NACIONALES

BIOESTRATIGRAFIA DE LA FAUNA DE MAMIFEROS DE LAS FORMACIONES SOCORRO, URUMACO Y CODORE (MIOCENO MEDIO-PLIOCENO TEMPRANO) DE LA REGION DE URUMACO, FALCON, VENEZUELA O. Lináres, (2004) U.S.B.



Escalas **cronoestratigráficas** y **magnetoestratigráficas** del Cenozoico tardío de Sudamérica permiten aproximación sobre duración y límites de unidades mamífero continentales. Se llevan a cabo estudios de **cronología (paleomagnetoestratigrafía)** para afinar correlaciones y se revisan las especies para lograr un nivel de exactitud más completo de la fauna.



UNIDADES MAGNETOESTRATIGRÁFICAS



Campo Magnético Terrestre



Inversiones del CMT



Magnetismo de las rocas



Unidades Magnetoestratigráficas



Ejemplos internacionales



Ejemplos en Venezuela



Las tres escalas de tiempo geológico más empleadas son Haq et al. (1988), Harland et al. (1990) y Berggren et al. (1995). Correlacionan biozonas con edades geocronológicas, cronos y subcronos magnetoestratigráfico. Berggren et al. (1995) se basa en la escala de tiempo de polaridad magnética para el Cretácico tardío y el Cenozoico propuesta por Cande y Kent (1992). Haq et al. (1988) y Harland et al. (1990) se basan en versiones modificadas de la escala de Heirtzler et al. (1968).

EJEMPLOS NACIONALES

ESTUDIO MAGNETOESTRATIGRÁFICO DE LA PARTE SUPERIOR DE LA FORMACIÓN VIDOÑO EN LA SECCIÓN DEL RÍO ARAGUA, ESTADO MONAGAS R. G. Gutiérrez

Tiempo (Ma)	CRON	Polaridad	Periodo	Época	Edad / Subépoca	Biozonas	
						Nanofósiles Calcáreos (Martini, 1971)	Foraminíferos Planctónicos (Berggren et al., 1995)
54			Terciario	Paleoceno	Tardío	NP11	P6b
	C24r					NP10	P6a
55						NP9	P5
	C25n	■				NP8	P4c
56						NP7	P4b
	C25r	■				NP6	P4a
57						NP5	P3b
	C26n	■				NP4	P3a
58						NP3	P2
	C26r	■				NP2	P1c
59			Cretácico	Tardío	Maastrichtiense	NP1	P1b
	C27n	■				NP1	P1a
60							P0 + P0
	C27r	■					
61							
	C28n	■					
62							
	C28r	■					
63							
	C29n	■					
64							
	C29r	■					
65							
	C30n	■					
66							
	C30r	■					
67							
	C31n	■					
68							
	C31r	■					
69							
	C32n	■					
70							
	C32r	■					
71							
	C33n	■					
72							

Escala de tiempo geológico para el Maastrichtiense y Paleoceno, según Berggren et al. (1995).

Mediante desmagnetización por campos alternos se llegó a dos interpretaciones: (1) la parte superior de la Formación Vidoño comprende estratos pertenecientes a los cronos C29r, C27n, C25n y C24r; y (2) una remagnetización local de los estratos de la mitad inferior de la columna compuesta generada, pueden corresponder a los cronos C29r y C27n. El método de desmagnetización por temperaturas no efectivo por recristalización de minerales magnéticos que enmascaraban las componentes primarias y el fracturamiento de las muestras al calentarlas, sin embargo con este método se logró identificar la presencia de sulfuros de hierro en las muestras.



Se determinó el ambiente de depositación y la edad de la parte superior de la Formación Vidoño en la sección de las cabeceras del Río Aragua. Se realizó levantamiento geológico de 9 secciones, con toma de muestras orientadas en 20 sitios y de muestras de mano para su análisis bajo la lupa binocular, desmagnetización térmica, campos alternos y análisis de propiedades magnéticas (NRM, susceptibilidad magnética, cociente S y temperatura de Curie).



