



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

CONTROL CRONOMÉTRICO BASADO EN
ARQUEOMAGNETISMO DE TEOPANCAZCO,
ESTADO DE MÉXICO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

FÍSICO

P R E S E N T A:

EDGAR RODRIGO HERNÁNDEZ AVILA

DIRECTOR DE TESIS:

DRA. ANA MARÍA SOLER ARECHALDE

2010





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

4.3.1.- <i>Estadística Fisher</i>	32
4.3.2.- <i>Intersección de planos y límites de confianza</i>	34
5.- ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LAS MUESTRAS MEDIDAS	36
5.1.- Fechamiento Arqueomagnético	49
6.-CONCLUSIONES	75
BIBLIOGRAFÍA	77
APÉNDICE	82

RESUMEN

En este trabajo se realizó el estudio arqueomagnético de muestras arqueológicas de distintos pisos del centro de barrio de Teopancazco ubicado al sureste de Teotihuacán, Estado de México. El trabajo consta de 6 capítulos en los que se desarrollan los conceptos necesarios para el entendimiento, desarrollo y presentación de los resultados obtenidos.

En el primer capítulo, “Introducción al arqueomagnetismo”, hablamos del origen y desarrollo de esta ciencia interdisciplinaria, sus alcances y aplicaciones, tales como realizar estudios de muestras arqueológicas para fecharlas, como también el estudio de las variaciones espacio-temporales del campo geomagnético en el área de interés. También abordamos el tema de las propiedades magnéticas de los materiales tales como: magnetización, susceptibilidad, permeabilidad y el fenómeno de Histéresis, dominios ferromagnéticos y tipos de magnetización y los tipos de muestras arqueomagnéticas existentes.

En el capítulo dos, “Principios geofísicos y bases paleomagnéticas”, hablamos de las bases físicas para la descripción del campo magnético terrestre, su morfología, sus variaciones espaciales y temporales y su origen; también hablamos de las bases del paleomagnetismo, su metodología y sus aplicaciones al arqueomagnetismo.

En el capítulo tres, “Sitio arqueológico”, abordamos la información general correspondiente al sitio de estudio, Teopancazco: ubicación, cronología y antecedentes arqueomagnéticos del mismo.

En el capítulo cuatro, “Procesamiento de muestras arqueomagnéticas”, es donde establecemos el tipo de estudio realizado, denominado paleodirecciones, así como esclarecemos el proceso de extracción, formación y medición de la muestra; de igual forma también hablamos del marco teórico en el cual se basa el análisis posterior de los datos obtenidos.

En la capítulo cinco, “Análisis de resultados de las muestras medidas”, se presentan los resultados y el análisis correspondiente; podemos decir que, de un conjunto comprendido por 21 muestras de pisos arqueológicos, fue posible obtener 17 fechas (tabla 5.1), corroboradas estratigráficamente.

Finalmente en el capítulo 6, “Conclusiones”, podemos decir que fue posible encontrar una fecha para las muestras medidas dentro de la línea cronológica del sitio, que va desde 90 d.C. con la muestra TP80 hasta 510 d.C. con la muestra TP60-61, que corresponde a los periodos Tzacualli, Miccaotli, Tlamimilolpa, Xolalpan temprano y Xolalpan tardío, así como un periodo de transición entre Tlamimilolpa y Xolalpan temprano.

1.- INTRODUCCIÓN AL ARQUEOMAGNETISMO

El arqueomagnetismo es una ciencia interdisciplinaria que deriva de dos grandes ramas del conocimiento científico, las Ciencias de la Tierra y las Ciencias Arqueológicas, con el fin de realizar estudios de muestras arqueológicas para fecharlas, así como estudios de las variaciones espacio-temporales del campo geomagnético en el área de interés, con base en los principios del geomagnetismo y las bases paleomagnéticas, los cuales describiremos en el siguiente capítulo.

Los estudios de las muestras arqueomagnéticas se realizan a través de dos técnicas importantes, la primera la denominada paleointensidades, que consiste en estudiar la intensidad de la magnetización remanente natural (NRM); la segunda consiste en el estudio de las paleodirecciones, y esta técnica consiste en estudiar las direcciones de la (NRM) de las muestras.

De esta manera con ayuda de las ciencias arqueológicas es posible encontrar, extraer y procesar las muestras, que pueden ser pisos, muros, techos, y pinturas, los cuales deben de ser extraídos *in situ* para poder marcarlas de forma que se encuentren orientadas con el campo magnético terrestre actual (CMT), para que, posteriormente, se les realice una serie de mediciones para estudiar sus propiedades magnéticas; principalmente para este tipo de estudios nos enfocamos en analizar la dirección de magnetización remanente natural (NRM) de las muestras.

Es así como se espera obtener datos suficientes y satisfactorios que nos permitan establecer una fecha, la cual nos da dos interpretaciones importantes en la zona arqueológica; dependiendo del tipo de muestra, es posible establecer una fecha de elaboración de la muestra o una fecha de la última intervención por el hombre sobre la muestra; la primera corresponde a muestras arqueomagnéticas no quemadas (estucos) y las segundas a muestras arqueomagnéticas quemadas (estucos, hornos o fogones), principalmente.

1.1.-Propiedades magnéticas de la materia

Toda materia consiste fundamentalmente en átomos, y cada átomo consta de electrones en movimiento. Estos circuitos de electrones, cada uno de los cuales está confinado a un solo átomo, son a los que llamaremos corrientes atómicas. Por tanto tenemos dos clases de corrientes:

- 1.- Una corriente verdadera que consiste en el transporte de carga, esto es, el movimiento de electrones libres o de iones cargados
- 2.- Corrientes atómicas, que son corrientes puras que circulan sin dar origen al transporte de carga.

Ambas clases de corrientes pueden producir campos magnéticos (Reitz, 1972).

1.1.1.-Magnetización

Cada corriente atómica es un pequeño circuito cerrado de dimensiones atómicas, y puede por tanto, describirse apropiadamente como un dipolo magnético. De hecho, el momento dipolar es lo que interesa aquí, puesto que el campo de inducción magnética distante puede ser debido a un solo átomo y se determina completamente especificando su momento dipolar magnético \mathbf{m} (Reitz, 1972).

Sea m_i el momento del i -ésimo átomo. Definiremos ahora una cantidad vectorial macroscópica, la magnetización M . Si sumamos todos los momentos dipolares de un elemento de volumen Δv , y luego dividimos el resultado por Δv obtenemos;

$$M = \lim_{\Delta v \rightarrow 0} \frac{1}{\Delta v} \sum_i m_i \quad (1.1)$$

Se llama momento dipolar magnético por unidad de volumen, o Magnetización la cual nos proporciona una descripción macroscópica de las corrientes atómicas internas de la materia. (Reitz, 1972).

El efecto de un campo magnético exterior es la tendencia a alinear los dipolos magnéticos del material con la dirección del campo; de esta forma obtenemos una magnetización no nula. Las unidades de la magnetización son A/m.

1.1.2.-Susceptibilidad, permeabilidad magnética e histéresis

En una extensa clase de materiales, existe una relación aproximadamente lineal entre M y el campo aplicado H . Si el material es isotrópico así como lineal²

$$M = \chi_m H = \chi_m \frac{B}{\mu} \quad (1.2)$$

donde la cantidad escalar adimensional χ_m se llama susceptibilidad magnética, definida como capacidad con que se magnetiza un material en presencia de un campo magnético, B es la inducción del campo magnético y μ es la permeabilidad, en el vacío

² Si el material es anisotrópico pero lineal, la ecuación (1.2) se sustituye por unas relaciones tensoriales

$$M_x = \chi_{m11} H_x + \chi_{m12} H_y + \chi_{m13} H_z,$$

etc, que al ser diagonalizado los eigenvalores y eigenvectores proporcionan las magnitudes y direcciones de las susceptibilidades principales χ_{m11} , χ_{m22} , χ_{m33} .

$\mu = \mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ [Hr/m] definida como la facilidad que ofrece un cuerpo al paso del flujo magnético.

Si χ_m es positiva, el material se llama paramagnético (véase figura 1.1.b), y la inducción magnética es reforzada por la presencia del material. Si χ_m es negativa, el material es diamagnético (véase figura 1.1.a), y la inducción magnética es debilitada por la presencia del material. Aunque la susceptibilidad sea función de la temperatura, para materiales paramagnéticos y diamagnéticos conviene decir que es bastante pequeña i.e. $|\chi_m| \ll 1$ (véase tabla 1.1)

Otra clase de materiales magnéticos son los ferromagnéticos (véase figura 1.1.c), en donde la inducción magnética se ve profundamente alterada, dichos materiales no se comportan de forma lineal.

Tabla 1.1 Propiedades magnéticas de acuerdo con el comportamiento frente a un campo magnético

NOMBRE	SUSCEPTIBILIDAD	PERMEABILIDAD
paramagnético	$0 < \chi_m \ll 1$	$\mu > \mu_0$
diamagnético	$0 < \chi_m$ y $ \chi_m \ll 1$	$\mu > \mu_0$
ferromagnético	$0 < \chi_m$ y $\chi_m \rightarrow \infty$	$\mu \gg \mu_0$

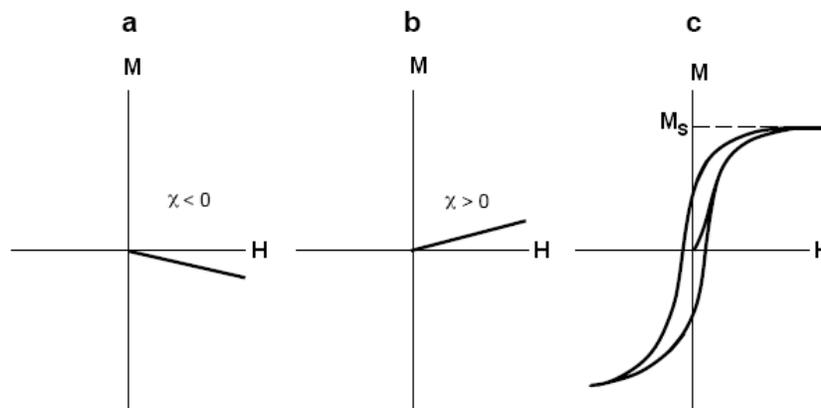


Figura 1.1 Grafica de Magnetización (M) contra campo aplicado (H) para un material (a) diamagnético, (b) paramagnético y (c) ferromagnético modificado de Butler (1992).

Es posible apreciar un comportamiento peculiar en la figura 1.1.c; a este tipo de comportamiento de la curva se le denomina ciclo de histéresis (figura 1.2), debido a que tipo de curva de magnetización de los materiales ferromagnéticos no son iguales cuando se aumenta el campo que cuando se disminuye; de esta forma es posible definir las características de magnetización de los materiales y es posible inferir el tipo de dominio magnético.

Esta histéresis que en algunos minerales es muy grande, es la que permite la existencia de imanes permanentes muy potentes. Las sustancias ferromagnéticas con gran histéresis se denominan duras mientras las que presentan poca de denominan blandas.

Componentes de la curva de histéresis:

La coercitividad (H_c) es el campo magnético requerido para mover las paredes del dominio y el que mantiene la magnetización.

La magnetización de saturación (M_s) es la magnetización en el interior del dominio que se produce por el intercambio de los espines atómicos.

La magnetización remanente (M_r) es la magnetización de la red cuando no hay campo.

La remanencia de saturación (M_{rs}) es la que queda después de remover un campo suficiente para la saturación.

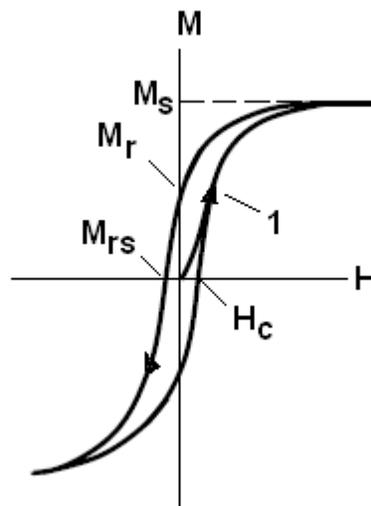


Figura 1.2 Diagrama del ciclo de histéresis

- 1) La dirección de magnetización de los granos del dominio simple empieza alinearse con la dirección de el campo magnético aplicado (H)
(Modificado de Butler, 1992).

1.1.3.- Dominios Ferromagnéticos

Una muestra de hierro puede existir en un estado magnetizado o desmagnetizado; esto se debe a que la muestra se divide en dominios; cada dominio está totalmente magnetizado y pueden orientarse al azar (figura 1.3) y por tanto presentar un aspecto desmagnetizado desde el punto de vista macroscópico (Reitz, 1972).

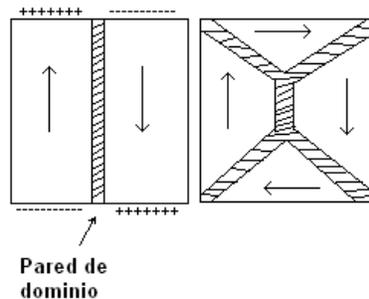


Figura 1.3 Dominios hipotéticos: el primero es un doble y el segundo es un dominio cuádruple (Merrill, 1998)

Al pasar de un dominio a otro adyacente, el vector del momento atómico \mathbf{m} gira gradualmente desde su dirección original a otra nueva en el curso de unos 100 átomos (figura 1.4). Esta región comprendida entre los dos dominios se llama pared del dominio o pared de Bloch (Reitz, 1972).

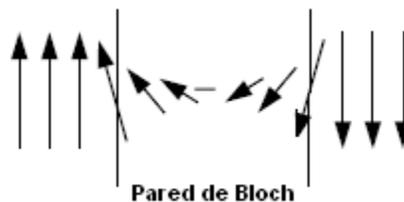


Figura 1.4 Pared de Bloch: cambio en la dirección de los espines atómicos (Modificado de Butler, 1992).

Existen tres tipos de dominios (Dunlop, 1995):

- 1) Dominio sencillo (DS): contiene un solo dominio; los cambios en la magnetización ocurren por la rotación simultánea de los espines atómicos.
- 2) Dominio pseudo-sencillo (DPS): se caracteriza por una magnetización que no es uniforme ya que ocurre en granos más grandes que los sencillos; presentan comportamiento del dominio sencillo como alta remanencia de saturación (M_s) y alta fuerza de coercitividad (H_c).
- 3) Dominios múltiples (MD): contiene más de un dominio; los cambios de la magnetización ocurren por el movimiento de las paredes o por la formación o deformación de los dominios.

1.1.4.- Ferritas

Según la teoría de Heisenberg del ferromagnetismo, hay un cambio en la energía electrostática relacionado con el cambio de la alineación del espín paralelo a antiparalelo de los átomos vecinos. Si este cambio de energía favorece la alineación, y al mismo tiempo es de suficiente magnitud, el material formado por estos átomos es ferromagnético. Si el cambio de energía favorece a la alineación antiparalela, es aún posible obtener una estructura de espín ordenada, pero con espines que alternan de un átomo a otro a medida que se recorre el cristal (Reitz, 1972).

Una estructura de espín ordenada con momento magnético neto cero se llama antiferromagnético (figura 1.5). La estructura de espines más ordenada generalmente contiene tanto componentes “de espín hacia arriba” como “de espín hacia abajo”, pero tiene un momento magnético distinto de cero en uno de estos sentidos; dicho material se llama ferroimagnético o simplemente ferrita. Estas ferritas se cristalizan en una estructura bastante complicada conocida como estructura espinel. El ejemplo clásico de una ferrita es la magnetita mineral (Fe_3O_4), que se ha conocido desde épocas antiguas (Reitz, 1972).



Figura 1.5 Representación esquemática de los espines atómicos en las estructuras ordenadas de espín (a) ferromagnéticas Ej. Hierro (b) antiferromagnéticas Ej. Hematita (c) ferromagnéticas Ej. Magnetita (modificado de Reitz, 1972)

Otros minerales ferromagnéticos son: Ilmenita (FeTiO_3), Titanomagnetita [$\text{Fe}(\text{Fe},\text{Ti})_2\text{O}_4$], Pirrotita (Fe_{1-x}S) y los óxidos de la fórmula general ($x\text{OFe}_2\text{O}_3$), donde X puede ser ocupado por Mn, Co, Ni, Mg, Zn y Cd. El magnetismo de las rocas se debe a la magnetita y a otros minerales del mismo tipo $\text{FeO} - \text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{TiO}_2$. La composición de cada cristal se presenta en el diagrama ternario (figura 1.6).

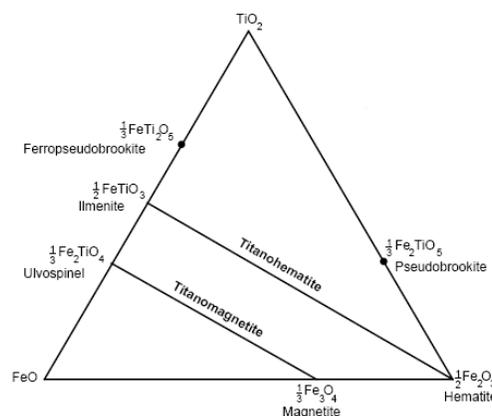


Figura 1.6 Diagrama ternario composición de óxidos de FeTi (Butler, 1992).

1.1.5.- Tipos de Magnetizaciones

Los materiales ferromagnéticos tienen la propiedad de permanecer magnetizados después de estar expuestos a un campo magnético a este efecto se le conoce como remanencia o magnetización; existen diversos procesos por los cuales se adquiere la magnetización y que describimos a continuación:

1.- Termorremanentes (TRM) adquirida durante el enfriamiento después de haber estado expuesta la muestra a elevadas temperaturas, alcanzando la temperatura de Curie, en presencia de un campo magnético; aunada a esta magnetización existe también la denominada magnetización termorremanente parcial (PTRM), la cual es adquirida a altas temperaturas pero sin alcanzar la temperatura de Curie³.

2.-Remanente detrítica (DRM) adquirida durante el proceso de secado de la muestra después de sedimentarse, en una solución acuosa y en presencia de un campo magnético; también existe la magnetización post-deposicional (PDRM) que consiste en una magnetización adquirida durante un periodo en el que la muestra se encuentra en forma de lodo antes de consolidarse.

3.-Remanente anhisterética (ARM) es la magnetización inducida durante el periodo de desmagnetización por campos alternos en presencia de un campo magnético externo.

4.-Remanente Química (CRM): esta magnetización es adquirida debida a la generación de nuevos compuestos químicos con propiedades magnéticas diferentes.

5.-Remanente isothermal (IRM): esta magnetización es adquirida en un tiempo muy corto a temperatura constante en presencia de un campo magnético externo muy fuerte.

6.-Remanente por esfuerzos o impacto (SRM): magnetización adquirida cuando la muestra es sometida a esfuerzos o choques.

7.-Remanente viscosa (VRM) es la magnetización adquirida durante un largo periodo de exposición a un campo magnético externo.

La magnetización remanente natural (NRM) es aquella magnetización característica de una muestra sin haber sido procesada; ésta es debida a la suma de la magnetización primaria de tipo (TRM) o (DRM) y las magnetizaciones secundarias (Butler, 1992).

³Temperatura de Curie (T_c) es la temperatura a la cual un material pierde la capacidad de mantener el magnetismo, cambia de una condición ferromagnética a una paramagnética.

1.2.1.- Tipos de muestras Arqueomagnéticas

Los minerales magnéticos más importantes en las rocas y en las muestras arqueológicas son la magnetita y la hematita. En las cuales sus temperaturas de Curie son 580°C y 680°C, respectivamente. Estos minerales se encuentran en las series de las titanomagnetitas y titanohematitas (figura 1.6); a continuación presentamos el tipo de muestras arqueomagnéticas que se encuentran (tabla 1.2).

Tabla 1.2 Tipos de Muestras Arqueomagnéticas

Tipo de muestras	Ejemplos	Magnetización primaria	Probables Magnetizaciones secundarias
Muestras quemadas no	Estucos(consolidados de cal, líticos y agua) pinturas	DRM y PDRM	CRM, SRM y VRM
Muestras quemadas	Estucos quemados, hornos, fogones	TRM y PTRM	VRM

2.- PRINCIPIOS GEOFÍSICOS Y BASES PALEOMANÉTICAS

En el capítulo anterior abordamos las bases físicas de los materiales empleados en el fechamiento arqueomagnético; ahora bien, en este capítulo desarrollaremos las bases físicas en las cuales se sustenta la descripción del campo magnético terrestre, así como las bases del Paleomagnetismo y su metodología.

2.1.-Campo Magnético Terrestre

Las manifestaciones del campo magnético terrestre han sido de gran interés para la humanidad desde tiempos muy remotos; tal es el caso de los chinos con la brújula, o los griegos con la magnetita.

Pero no es hasta que observando los trabajos realizados por W. Gilbert en el siglo XVII, los geomagnetistas logran explicar que el campo magnético en la superficie terrestre puede ser aproximado por un imán de barra colocado en el centro de la Tierra a una latitud de 11.5 grados con respecto al eje de rotación (Merrill, 1983).

En la actualidad es posible dividir las contribuciones del campo magnético terrestre:

a) Campo interno, constituye el 97 % del campo total a su vez se encuentra dividido en:

- 1) Campo Geomagnético, generado en el centro de la Tierra, dando origen a momentos magnéticos, estableciendo un campo dipolar y uno no dipolar.
- 2) Campo magnético cortical, generado por los elementos de la corteza.

b) Campo externo, producido por las corrientes inducidas en la atmósfera (ionosfera).

Para el estudio del campo magnético terrestre es importante estudiar primero la morfología del campo, las variaciones espaciales y temporales del campo y su origen.

2.1.1.- Morfología del campo

El campo magnético lo podemos describir en cualquier punto de la superficie terrestre como un vector indicando la dirección y la intensidad del campo (Figura 2.1). Este vector lo podemos describir completamente con tres elementos:

- a) La declinación (D): Es el ángulo medido en grados entre la componente horizontal del campo magnético y el norte geográfico.
- b) La inclinación (I): Es el ángulo medido en grados del vector total con respecto a la proyección en el plano horizontal.
- c) La intensidad (H): es la magnitud del vector total medida en Teslas (T).

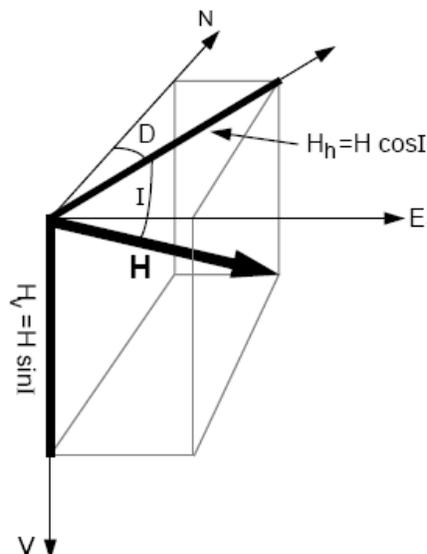


Figura 2.1 Elementos magnéticos usados para la descripción la magnitud y la dirección del campo magnético en cualquier punto de la superficie terrestre (modificado de Butler, 1992).

Y por tanto las coordenadas quedan expresadas de la siguiente forma:

$$N = H \cos I \cos D$$

$$E = H \cos I \sin D \quad (2.1)$$

$$V = H \sin I$$

En donde N es el norte geográfico, E es el este geográfico y V es la vertical con respecto al plano horizontal.

El campo magnético terrestre típico tiene una magnitud de unos $50 \mu\text{T}$ que es pequeño comparado un el campo magnético remanente en una muestra pequeña de cerámica que es del orden de unos $2000 \mu\text{T}$.

El concepto central del paleomagnetismo es que le campo magnético terrestre es un campo dipolar, geocéntrico y axial (figura 2.2). Lo que indica es que es producido en el centro del planeta, es de tipo dipolar y el eje del dipolo está alineado con el eje de rotación de la Tierra.

En la actualidad la mejor aproximación del campo magnético es un dipolo cuyo eje se encuentra formado un ángulo de 11.5° con el eje de rotación de la Tierra. Su morfología se representa mediante cartas isomagnéticas que muestran curvas de igual valor de una componente del campo.

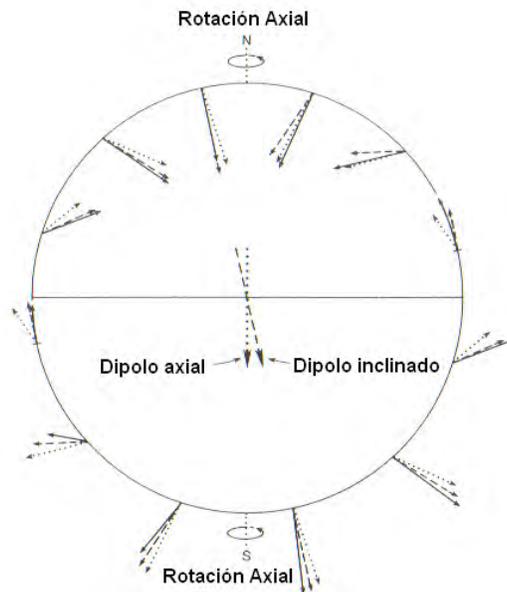


Figura 2.2 El campo magnético vs. la latitud en la aproximación GAD.

Este dipolo es perturbado por el campo no dipolar; este campo es justo el que aparece tras remover la mejor aproximación dipolar; estas perturbaciones son locales, es decir que cambian de punto a punto en la superficie terrestre. Tanto el campo dipolar como el campo no dipolar tienen una representación matemática, debido al análisis de los armónicos esféricos obtenidos tras resolver las ecuaciones de Maxwell, para una aproximación esférica de la superficie terrestre.

2.1.2.- Las variaciones espaciales y temporales del campo magnético terrestre

Las observaciones del astrónomo chino Yi-Xing en el 720 dC de la declinación de la brújula junto con las subsecuentes a lo largo de los siglos permitieron a Henry Gellibrand en 1634 determinar que la declinación varía con el tiempo (figura 2.3).

La inclinación y la intensidad también presentan variaciones; cuando éstas son cambios en el campo interno, en escalas de tiempo del orden de 1 a miles de años reciben el nombre de variación secular; la intensidad y la dirección del campo total cambia debido a las componentes del campo dipolar y a no dipolar.

Existen diversos tipos de variaciones en el campo magnético; las hay desde pequeñas variaciones debidas al campo externo con duraciones de décimas de segundo a segundos, hasta variaciones de escala geológica de millones de años como son las inversiones de la polaridad (véase tabla 2.1).

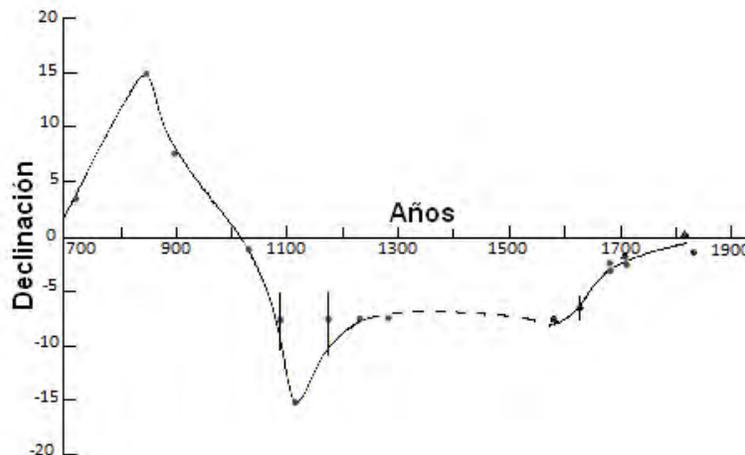


Figura 2.3 Declinación vs. Tiempo (Modificado de Smith & Needham, 1967)

2.1.2.1.-Variación Secular

Existen dos claras componentes de la variación secular:

- a) La primera es la deriva al oeste debida al campo no dipolar con una razón de 0.2° /año (Merril, 1983). Por tanto a un ciclo completo de la tierra le toma alrededor de unos 2000 años. Otra fuente de variación secular es la deriva al polo del campo no dipolar a razón de 0.01° de latitud por año, como también por cambios al azar del campo no dipolar.
- b) La segunda es el cambio en intensidad del campo magnético terrestre con una razón aproximadamente lineal de disminución del 8% en los últimos 150 años.

Tabla 2.1
Las variaciones espaciales y temporales del campo magnético terrestre

Nombre	Tiempo en segundos	Causas
Muy cortas		Asociadas al
Micropulsaciones	3.0 E-1 a 3.0 E+1	campo externo
Variaciones subacústicas		
Tormentas magnéticas	1.00E+02	Asociadas al campo externo
Variación Diurna		
Variación secular	3.0 E+9 a 3.0 E+10	Campo no dipolar*
Variación en el momento dipolar geomagnético	3.0 E+9 a 3.0 E+10	Campo dipolar*
Excursiones	1.0E+14	Inversiones abortadas
Variaciones en Intensidad	3.0 E+11	Campo dipolar
Paleovariación secular	3.00E+12	Campo no dipolar y variaciones en el dipolo
Cambios de polaridad	3.00E+14	Campo dipolar y no dipolar interno

*Turbulencia en el núcleo (Irving, 1964)

2.1.3.- Origen del campo magnético terrestre

Desde la antigüedad se trató de dar una explicación al origen del campo magnético terrestre; alguna de las primeras ideas sugirió que el campo era producido por la estrella polar, posteriormente se pensó que era una enorme barra imantada colocada en el centro de la Tierra la que lo producía.

En la actualidad existen varias teorías que tratan de darle una explicación a la existencia del campo magnético terrestre; una de las más destacadas y aceptadas es aquella que establece que el campo es generado por corrientes convectivas en el núcleo externo; a este modelo se le conoce con el nombre de dinamo magnetohidrodinámica.

2.1.3.1 Dinamo

Las ecuaciones de Maxwell establecen que existe una estrecha relación entre el campo eléctrico y el cambio del campo magnético, provocando que el movimiento de un conductor en presencia de un campo magnético, dé origen a un flujo de electrones, generando corrientes eléctricas; éste es el principio de los motores eléctricos.

En la figura 2.4 podemos apreciar el diseño de una dinamo que transfiere energía mecánica a energía almacenada en un campo magnético. De esta forma podemos pensar en un disco de metal girando, al cual posteriormente lo ponemos en presencia de un campo magnético, con lo que originamos que los electrones literalmente corran hacia fuera debido a la fuerza de Lorentz:

$$F = qv \times B \quad (2.2)$$

donde F es la fuerza magnética, q es la carga eléctrica de los electrones y B es la inducción del campo magnético, provocando una diferencia de potencial entre el centro del disco y la orilla, si este flujo de electrones lo hacemos pasar por una bobina, se genera una inducción magnética en la misma dirección del campo magnético; a este modelo se le conoce como dinamo autoexcitado.

Se piensa que un sistema similar ocurre con el núcleo externo, en el cual se generan corrientes debidas al movimiento de rotación de la Tierra. El campo debido a estas corrientes es reforzado por el núcleo interno el cual está principalmente formado por hierro.

El fenómeno de la inversión de los polos está descrito por un modelo denominado acoplamiento de dinamos; este acoplamiento de dos dinamos uno opuesto al otro, ha generado modelos del campo magnético que presenta la propiedad de inversión de polaridad.

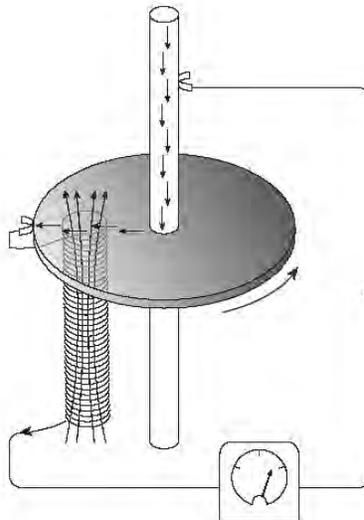


Figura 2.4 Dinamo autoexcitado (Butler,1992).

2.2.- Bases Paleomagnéticas

El Paleomagnetismo es el estudio del campo magnético en el pasado; este estudio es posible realizando el análisis de la magnetización remanente en las rocas. El magnetismo grabado en las rocas nos permite establecer un tiempo geológico; de esta forma las direcciones paleomagnéticas las podemos determinar a través de la orientación obtenida en los especímenes de roca extraídas in situ (Sternberg, 1990).

Otra peculiaridad del estudio paleomagnético más allá del estudio de la variación secular es el estudio de la inversión de los polos magnéticos, siendo el estudio de este tipo de inversiones una herramienta poderosa para determinar tiempos geológicos; la última de estas grandes inversiones documentadas ocurrió hace 780,000 años, posteriores a esta inversión han ocurrido pequeñas inversiones hace 100,000 años y 40,000 años respectivamente (Sternberg, 1990).

Una de las contribuciones más importantes del paleomagnetismo a las Ciencias de la Tierra es la aplicación de estos estudios a la Deriva Continental y a la Teoría de la Tectónica de Placas.

Del paleomagnetismo se deriva el término arqueomagnetismo que no es diferente del paleomagnetismo salvo por el tipo de muestras estudiadas así como los tiempos a los que se enfocan, ya que el arqueomagnetismo sólo realiza estudios en tiempos arqueológicos. En particular para América y el estudio de las civilizaciones Mesoamericanas estamos hablando en general de no más de 30,000 años, lo que nos permite establecer que el estudio de las inversiones no compete al arqueomagnetismo.

2.2.1.- Metodología paleomagnética

Los pasos más importantes que conforman la metodología del paleomagnetismo, son la colecta de muestras; consiste en la extracción de rocas, se necesitan entre 8 y 12 especímenes por muestra del sitio de interés; las mediciones realizadas en el laboratorio, consisten en determinar las direcciones o las intensidades de las muestras y finalmente el análisis estadístico de los datos para compararlos con las curvas de direcciones o la curva de intensidades y determinar la posible fecha.

3.- SITIO ARQUEOLÓGICO

Mesoamérica es un área comprendida por el centro y sur de México, Guatemala, Belice, El Salvador y oeste de Honduras donde la civilización se desarrolló entre los años 2000 aC y 1521 d.C. La frontera norte comprende los estados de Michoacán, Hidalgo, México, Veracruz y una parte de Sinaloa.

La cronología en Mesoamérica ha estado basada en secuencias estratigráficas ajustadas mediante cerámica y estilos arquitectónicos y fechamientos absolutos mediante C^{14} . Las diversas correlaciones entre los calendarios mayas y cristianos, fechamientos anómalos de C^{14} , el mejoramiento de las técnicas de C^{14} y el desarrollo de otras técnicas de fechamiento como la hidratación de obsidiana y la termoluminiscencia conducen a una revisión de dicha cronología, aunque existe consenso de varias fronteras bien delimitadas. En las investigaciones arqueológicas se está empleando cada vez más al arqueomagnetismo ya que es una herramienta que puede proveer de una precisión no alcanzada aún por los métodos radiométricos (Tarling, 1983).

Básicamente la cronología de Mesoamérica comprende tres grandes períodos Tabla 3.1

Tabla 3.1 Cronología de Mesoamérica

Períodos	Comienzo	Termino
Preclásico	2000 aC	200 dC
Clásico	200 dC	900 dC
Posclásico	900 dC	1521 dC

3.1.- Antecedentes Arqueomagnéticos

Nagata y colaboradores en 1965 realizaron las primeras investigaciones arqueomagnéticas en México (Urrutia, 1975), que consistieron en determinaciones de paleointensidad del campo geomagnético sobre alfarería de Cuiculco en el sur de la ciudad de México y, como también de basaltos y rocas piroclásticas del Xitle (Tabla A.1a Apéndice 1 de Soler, 2006). Bucha y colaboradores en 1970 también realizaron determinación de paleointensidades en siete sitios arqueológicos (Tabla A.Ib Apéndice 1 de Soler, 2006).

Daniel Wolfman en 1969 tomó las primeras muestras para fechamiento arqueomagnético como parte de su trabajo doctoral que publicó en 1973, donde realizó la primera curva de variación secular para Mesoamérica entre el año 1 y el 1200 d.C., claro que como él mismo menciona, el método arqueomagnético es dependiente de los resultados de radiocarbono.

Wolfman se basó en la distribución y orden cronológico de los polos virtuales geomagnéticos por estratigrafía, estilo de cerámica y arqueotectónico, y los fechamientos

de C^{14} disponibles, reconociendo que son insuficientes para una descripción adecuada de la variación secular del campo geomagnético (Wolfman, 1990).

Wolfman (1990) realizó dos etapas de estudio y comparando resultados entre la segunda etapa y la primera, la comparación mostró concordancia, publicándose así una curva de deriva polar para Mesoamérica (Tabla A.2, Apéndice 1 Soler, 2006).

En el año 2000 gracias a los excelentes resultados de una tesis de licenciatura en arqueología (Hueda, 2000) se reimpulsó la investigación de los materiales arqueológicos y el mejoramiento de una curva de variación secular para Mesoamérica (Hueda et al., 2004). Ya se han concluido 5 tesis de Licenciatura en Física (Soler, 2006), en particular, las tesis de Fabián Sánchez (Sánchez, 2005), María Rodríguez (Rodríguez, 2003) y Esmeralda Romero (Romero, 2008), estas dos últimas son trabajos previos de Teopancazco, al igual que la de Y. Hueda (Hueda, 2000).

3.2.- Ubicación de sitio de estudio

Teotihuacán fue una ciudad mesoamericana caracterizada por un asentamiento denso, pluriétnico, centro artesanal, foco de una gran red de comercio y destino final de peregrinaciones religiosas. Su grandeza y supremacía datan de principios de nuestra era y perduraron hasta el siglo VII (Manzanilla y López Luján, 2001). “La destrucción de la gran urbe fue por fuego, desmantelamiento destrucción ritual, desmembramiento y saqueo” (Manzanilla, 2000a).

La zona arqueológica de Teotihuacán se encuentra ubicada al noreste de la actual Ciudad de México, D.F. a unos 45 km, véase figura 3.1.



Figura 3.1 Ubicación de la zona Arqueológica de Teotihuacán (Hueda et al, 2004).

3.2.1.- Barrios de Teotihuacán

Existen características en los barrios que conforman Teotihuacán que hacen suponer que éstos tenían una organización tipo oikos⁴, donde confluyen en un centro ritual y administrativo, grupos de diversos órdenes sociales que constituyen una mano de obra dependiente de dicho centro. En particular para la zona sur de Teotihuacán es de origen multiétnico (Manzanilla, 2007), quizás este fuerte componente multiétnico de la sociedad teotihuacana requirió una base estructural diversa del resto de Mesoamérica debido a que cada familia teotihuacana tenía dentro de un conjunto su propia cocina, dormitorios y traspatios, pero también su patio ritual donde veneraba al dios patrono. Entonces, no compartía ni la cocina ni el santuario doméstico con otros, lo que distingue a la sociedad teotihuacana de la mayor parte de las sociedades de Mesoamérica (Manzanilla, 2006).

Una de las características de las ciudades multiétnicas del centro de México es la existencia de grupos especializados en trabajos artesanales y oficios que, a menudo, se establecen en barrios. Para Teotihuacan, originalmente se pensó en la existencia de barrios de artesanos con una sola actividad preponderante. Actualmente los investigadores son de la idea de que la clave está más bien en la multiespecialización; es decir, la destreza para varias artesanías, a veces relacionadas, en manos de las mismas personas (Manzanilla, 2006). Por otro lado, en los centros de barrio tenemos evidencias de artesanos de tiempo completo, quizá de origen foráneo, dedicados a la manufactura de bienes suntuarios⁵ especializados como los atavíos, los tocados, quizá las máscaras y la parafernalia de la élite (Manzanilla, 2006a).

Tomando la propuesta de la Dr. Linda R. Manzanilla tanto La Ventilla 92-94 y el Grupo 5 Prima como el sector de Tepantitla, posiblemente el de Yayahuala y también Teopancazco, fueron centros de barrio. Generalmente estos sitios tienen patios de congregación que rebasan las dimensiones de los patios más grandes de los conjuntos residenciales y habitacionales como Tetitla u Oztoyahualco (véase tabla 3.2).

Tabla 3.2 Tamaños aproximados de los patios principales y templos principales (Manzanilla, 2006).

	Patio principal	Santuario del templo principal
Oztoyahualco 15B	25 m ²	10 m ²
Tlamimilolpa	c. 7 m ²	-----
Tetitla	c.125 m ²	c. 40 m ²
Yayahuala	c. 168 m ²	c. 54 m ²
Teopancazco	c. 275m ²	c. 57 m ²
Tepantitla	c. 182 m ²	c. 153 m ²
Zacuála	c. 224 m ²	c. 224 m ²
La Ventilla 92-94	c. 400 m ²	c. 169 m ²

⁴ Centro de almacenamiento y producción.

⁵ *adj.* Relativo al lujo.

Al parecer los centros de barrio funcionaban gracias al liderazgo de un linaje o “casa” fuerte que organizaba no sólo el ritual, sino actividades artesanales como la producción de atavíos⁶ para la élite teotihuacana (Manzanilla, 2006).

En base a la propuesta anterior de la Dra. Linda R. Manzanilla podemos decir que Teopancazco es un centro de barrio ubicado al sureste de la Ciudadela (figura 3.2), que fue excavado en 1884 por Leopoldo Batres, recientemente el proyecto “Teotihuacán: elite y gobierno” a cargo de la Dra. Linda R. Manzanilla realizó excavaciones en el sitio de 1997 a 2005.

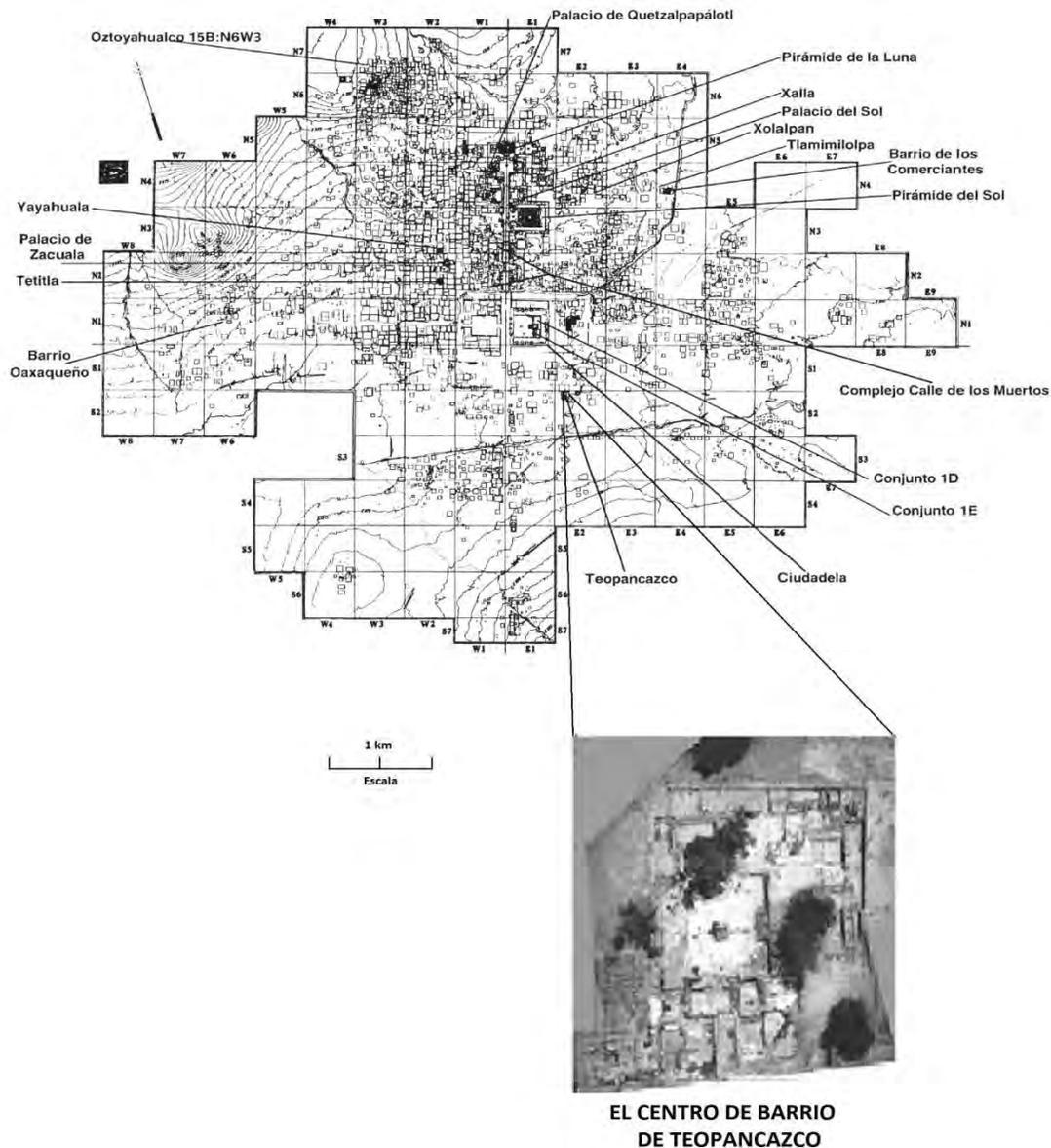


Figura 3.2 Ubicación de Teopancazco al sureste de la Ciudadela (Modificado de Manzanilla, 2007 y 2009). © René Millon 2008.

⁶ Vestido o adorno que se pone a una persona.

Tomando la ampliación de la Dra. Linda R. Manzanilla (Manzanilla, 2009a) de la propuesta original de Sergio Gómez *et al.* (2004) y Gómez Chávez (2000) sobre los elementos que constituyen los barrios, se considera ahora que los centros de barrio de Teotihuacán, como cualquiera unidad intermedia de grandes urbes, como Teopancazco (véase figura 3.3), tienen un centro físico, y éste tiene siete componentes:

1. Un componente ritual, una gran plaza mayor que las encontradas en los conjuntos residenciales y habitacionales (275m²), con un altar cerca del centro y un gran templo al este del patio, con un santuario en la parte superior (ca. 57 m²) donde los moradores del barrio asisten a las ceremonias (Manzanilla, 2009a);
2. Un componente administrativo, (que se encuentra en la porción sur de la plaza principal), donde ocurren las audiencias de la administración central con los grupos corporativos y de manufactura (Manzanilla, 2009a);
3. Un componente artesanal muy especializado para hacer frente a las necesidades de las elites intermedias que rigen los barrios, particularmente para la manufactura de atavíos y tocados. En Teopancazco, las "tiendas de sastre" se encuentran en el sector noreste y norte, entre dos posibles templos, el este y norte (Manzanilla, 2009a);
4. Un componente residencial de la "casa" noble del barrio. Este sector está establecido entre las dos tiendas de sastre (Manzanilla, 2009a);
5. Viviendas para el personal militar del barrio que en Teopancazco puede ser localizado en la porción suroeste del complejo donde la iconografía militar está agrupada (Manzanilla, 2009a);
6. El sexto componente es una adaptación de las cocinas y almacenes establecidos en la periferia norte del centro de barrio (Pecci *et al.*, en prensa), y dedicada a la alimentación de los artesanos y militares (Manzanilla, 2009a);
7. Un espacio abierto anexo, que según Sergio Gómez y colaboradores (2004: 175 *et seq.*), estaba destinado al intercambio, a la celebración de festividades y al juego de pelota. En Teopancazco, está situada al este, el único sector donde hay un gran muro que delimita el centro de barrio (Manzanilla, 2009a);

Fechamientos arqueomagnéticos previos realizados por Wolfman en 1990, se concentran en 475 dC, que corresponde al periodo denominado Xolalpan Temprano (Soler, 2006), pero fechamientos de radiocarbono sobre madera carbonizada arrojan una fecha de 555 d.C. (Beta 115496⁷, Manzanilla, 2003); los últimos fechamientos reportados en (Romero, 2008) establecen fechas que

⁷ Reportada en Beramendi-Orosco *et al.*, 2009, *Quaternary Research*, 71 (1), 99 – 107.

corresponden a finales de la etapa Tlamimilolpa y a la etapa Xolalpan entre los años 320 y 420 años d.C. para distintos cuartos, estructuras y pisos.

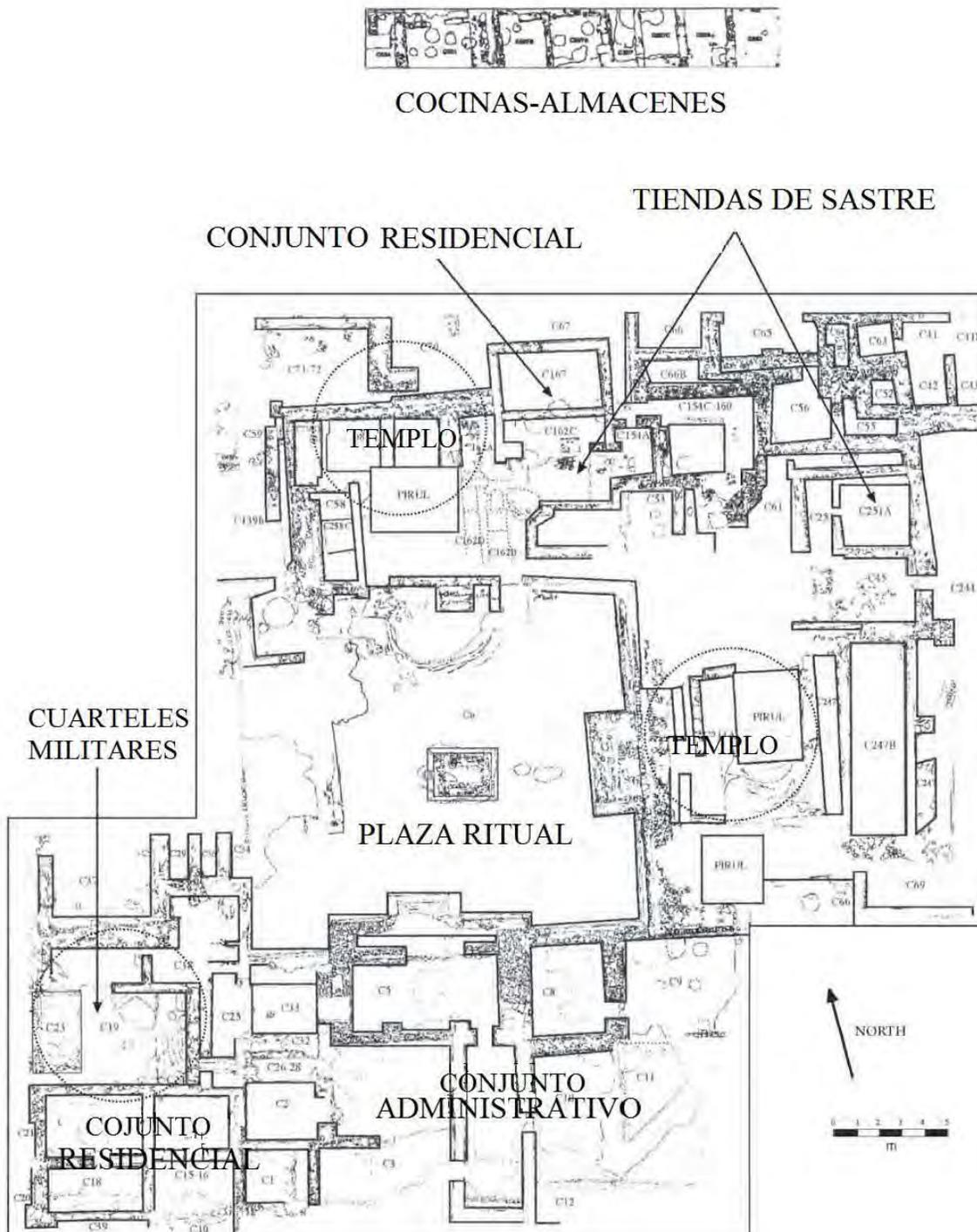


Figura 3.3 Componentes del centro de barrio Teopanazgo (modificado de Manzanilla, 2006)

3.3.- Cronología del sitio

Pocos sitios pueden considerarse imprescindibles para la construcción de un marco cronológico de Mesoamérica como Teotihuacan. Teotihuacan fue una gran urbe planificada y ortogonal, capital de un Estado de características peculiares, un asentamiento estratégico en cuanto a recursos como la obsidiana, un dinámico centro artesanal, una ciudad multiétnica y un sitio sagrado (Manzanilla 1997).

El sitio muestra varias etapas de ocupación que terminaban con un ritual consistente en “matar o sacrificar” piezas de cerámica seguido de un incendio. En la Tabla 3.3 a continuación se describen las etapas de ocupación Teotihuacana.

Tabla 3.2 Etapas de ocupación Teotihuacana (Manzanilla, 2009)

Etapa de ocupación	Años d.C.	Acontecimientos
Tzacualli	1-100	Inicio y desarrollo urbano del Valle de Teotihuacán. Comienza la construcción de la Pirámide del Sol .
Miccaotli	100-200	Se traza la Calzada de los Muertos. Se construye la Pirámide de Quetzalcóatl.
Tlamimilolpa ⁸	200-350	Se da la planificación urbana del sitio: Traza de ejes y calles perpendiculares y paralelas, dividiendo a la ciudad en cuatro cuadrantes. Construcción de edificios públicos y administrativos, sistema de drenaje y abastecimientos de agua y la existencia de barrios.
Xolalpan ⁹	350-550	Etapa de renovación urbana y de máxima extensión, seguida del colapso e incendio.

⁸ En realidad este periodo no es completo ya que presenta un periodo de transición de 240-350 d.C.

⁹ Este periodo se encuentra dividido en 2 Xolalpan temprano 325-415 d.C. y Xolalpan tardío 460-550 d.C. con una fase constructiva en 420 d.C.

4.-PROCESAMIENTO DE MUESTRAS ARQUEOMAGNÉTICAS

Para hablar del procesamiento de muestras es importante establecer qué tipo de estudio se realizó, que para este trabajo el estudio realizado es el denominado Paleodirecciones, por lo cual es importante destacar que las muestras tienen que ser extraídas *in situ*, en el sitio arqueológico, para su orientación con el campo magnético terrestre actual y así posteriormente poder realizar las mediciones y análisis correspondientes.

4.1.-Colecta de muestras

Para los estudios arqueológicos, en especial para el estudio de las paleodirecciones se define una muestra arqueológica, como un extracto de material correspondiente al mismo periodo. Es aquí donde es imprescindible el trabajo en conjunto con el arqueólogo, el cual dicta esta periodicidad.

Una muestra consiste en una colección de especímenes, a los cuales somos capaces de medirles sus propiedades magnéticas, esto debido a sus dimensiones particulares requeridas por las características físicas de los instrumentos de medición (figura 4.1) que establecen una figura cilíndrica al espécimen con un diámetro de 1 pulgada y una altura de 2.1 cm como máxima.

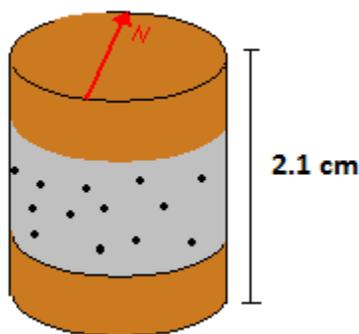


Figura 4.1 Especimen cilíndrico

Para los especímenes arqueomagnéticos a diferencia de los paleomagnéticos, es necesario por sus características físicas, consolidarlos por medio de 2 placas de madera una en la parte superior y otras en la parte inferior (figura 4.1), de esta forma consolidarlo y darle las dimensiones requeridas; también se envuelve con cinta adhesiva.

Existen dos técnicas de extracción de muestras la denominada por bloque y la denominada por especímenes:

Por bloque: consiste en la extracción de material en un solo bloque de unos cuantos decímetros de tamaño con la orientación del campo magnético terrestre marcada; a este tipo de muestra es indispensable posteriormente extraer una cierta cantidad de especímenes (figura 4.2).

Por especímenes: consiste en la extracción directa de especímenes en el sitio de interés; para esta técnica, es necesario primero pegar la tapa de madera superior directo a la muestra y orientarla para su posterior extracción.



Figura 4.2 Muestras por especimen y por Bloque del sitio de Teopancazco (Hueda et al.,2004).

Las muestras son extraídas en el sitio arqueológico *in situ*, es decir, extraídas tal y como se encontraron durante la excavación, sin ser alterada la posición de la muestra; es importante resaltar que no cualquier trozo de piso, muro, techo etc... sirve para el estudio por el método de paleodirecciones; es indispensable determinar que éste haya permanecido fijo desde su construcción a través de los años para lo cual la experiencia arqueológica es sumamente importante.

4.1.1.- Orientación de muestras

Las muestras sin importar que sean muestras por bloque o por especímenes, se orientan con respecto al CMT, para lo cual se coloca una brújula sobre la muestra en bloque o en especimen y se traza una recta a la cual se le determina el ángulo con respecto al norte, es decir, el azimuth (D) (figura 4.3); en muchas ocasiones se utiliza 0° por comodidad, de igual forma se coloca la brújula para medir el ángulo con respecto a la vertical y de forma indirecta obtener la inclinación que es $[90^\circ - \text{el ángulo medido}]$ para un piso sin pendiente el ángulo medido es de 0° y llega a 90° para los muros, (Soler, 2006).

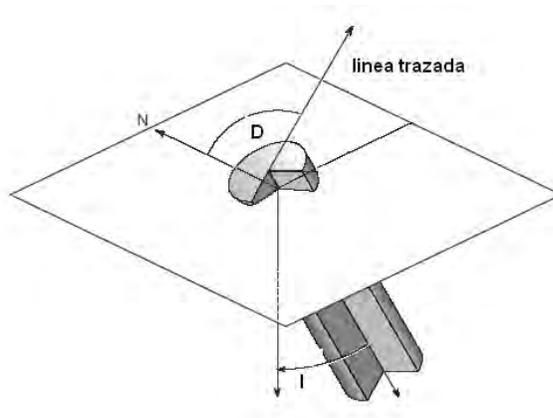


Figura 4.3 Orientación de un espécimen
D es el azimuth, I es la inclinación (modificado de Butler, 1992).

4.1.2.-Ubicación de muestras

Ubicación en la zona arqueológica, consiste y depende del trabajo arqueológico, en el cual se determinan dos cosas: el nivel del piso en el que se encuentra la muestra y el cuadrante de la malla en el que es extraída la muestra.

El nivel en el cual es extraída la muestra depende de la clasificación que el arqueólogo esté utilizando en el sitio, correspondiente a un cierto periodo, como también las coordenadas de la malla.

4.2.- Medición de la Magnetización

Una vez obtenidos los especímenes (alrededor de unos 8 a 12, recomendado, por muestra) es posible poder realizar las mediciones en el laboratorio de Paleomagnetismo. En particular en el Instituto de Geofísica de la UNAM se cuenta con magnetómetros de giro que miden la oscilación del campo magnético producido por la rotación del momento magnético de los especímenes, originado por la rotación de los mismos. En el caso de las muestras reportadas en este trabajo se utilizó un magnetómetro JR6 con una resolución de $2 \times 10^{-6} \text{Am}^{-1}$.

Las mediciones obtenidas por este tipo de instrumentos son (M_x , M_y , M_z) del momento magnético del espécimen en coordenadas del mismo. Estos datos normalmente alimentan un programa de computadora y se obtiene la declinación, la inclinación y la intensidad de la magnetización remanente del espécimen. Estos programas de computadora calculan las correcciones geográficas y de rumbo y echado.

Con estas direcciones ya corregidas y graficadas por cada sitio en una red estereográfica, se puede observar si las muestras poseen más de una componente de magnetización, esto es, magnetizaciones secundarias, ya que por ejemplo las NRM de un sitio pueden encontrarse a lo largo de un círculo mayor, lo que es el resultado de la suma de dos vectores de diferente magnitud pero dirección constante, que conecta ambos vectores. O en otros casos mostrar mucha dispersión, por lo que el proceso de laboratorio tendrá que ser con más cuidado y con un mayor número de pasos¹⁰.

Ahora se elige una o varias muestras que serán tomadas como pilotos y a las que se efectuará el tratamiento. Básicamente existen dos tipos de tratamientos para obtener la magnetización primaria o característica y la o las secundarias: Térmico y el de Campos Alternos.

4.2.1.- Representación de los datos

Los vectores de dirección en Paleomagnetismo son descritos en términos de inclinación I ¹¹ y la declinación D ¹², (véase figura 2.1). Para desplegar visualmente esta información se usan dos tipos de proyecciones: igual-ángulo, estereográfica o de Wulff y de igual-área o de Lambert o Schmidt (Butler, 1992).

La primera tiene la propiedad de que un cono definido por vectores alrededor de uno central; se representan como un círculo, cuyo tamaño cambia de acuerdo con la inclinación, más pequeño a mayor inclinación, o sea más cerca del centro de la proyección (Butler, 1992).

La de igual-área tiene la propiedad de que el área de un cono de vectores alrededor de un vector central permanecerá constante independientemente de la dirección del vector central. La proyección de este cono será una elipse, a menos que el vector central sea vertical. Esta es la proyección más usada para el caso de datos de análisis de direcciones en paleomagnetismo (Butler, 1992).

Un ejemplo es la figura 4.4 que muestra la dirección con una $I=50^\circ$ y $D=70^\circ$ graficado en una representación de igual área.

¹⁰ Pasos: entiéndase como el número de desmagnetizaciones aplicadas.

¹¹ Inclinación I , con respecto a la horizontal del sitio en que se colectó.

¹² Declinación D , con respecto al norte geográfico.

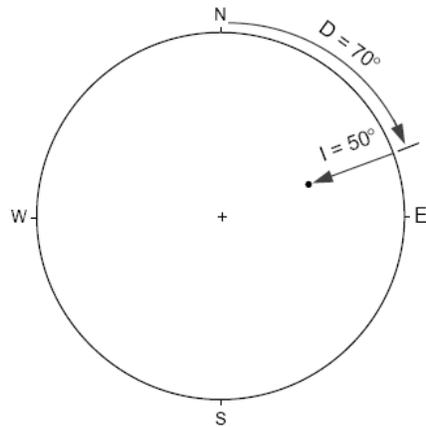


Fig. 4.4 Representación en un diagrama de igual-área de la dirección de magnetización de un espécimen (Butler, 1992).

4.2.2.-Desmagnetización por campos alternos

Esta técnica es la recomendada para el tratamiento de rocas ígneas, ya que la magnetización remanente térmica (componente original de las rocas ígneas) es muy resistente al lavado, mientras que las viscosas y las isotérmicas son muy sensibles.

El método consiste en aplicar un campo débil a la muestra, causando que los granos de menor o igual coercitividad a la del campo aplicado se alineen a él; al reducirse el campo la magnetización de estas partículas se deja en posiciones al azar, por lo que sólo quedarán las remanencias de las partículas con coercitividades mayores que la del campo aplicado.

Incrementos sucesivos en el campo aplicado, midiendo la remanencia después de cada incremento permiten obtener el espectro de coercitividad, al graficarla contra el campo aplicado. Como también se mide su dirección es posible representarla en una red estereográfica, usualmente la de Schmidt, empleándose círculos rellenos en el caso de inclinaciones positivas.

4.2.3.- Obtención de las componentes de magnetización

Una herramienta muy utilizada son los diagramas de Zijderveld DZ, que combinan en el mismo diagrama intensidad y cambios en la dirección. El punto final del vector de desmagnetización es proyectado como dos puntos en dos planos ortogonales, el plano horizontal y el vertical (véase figura 4.5).

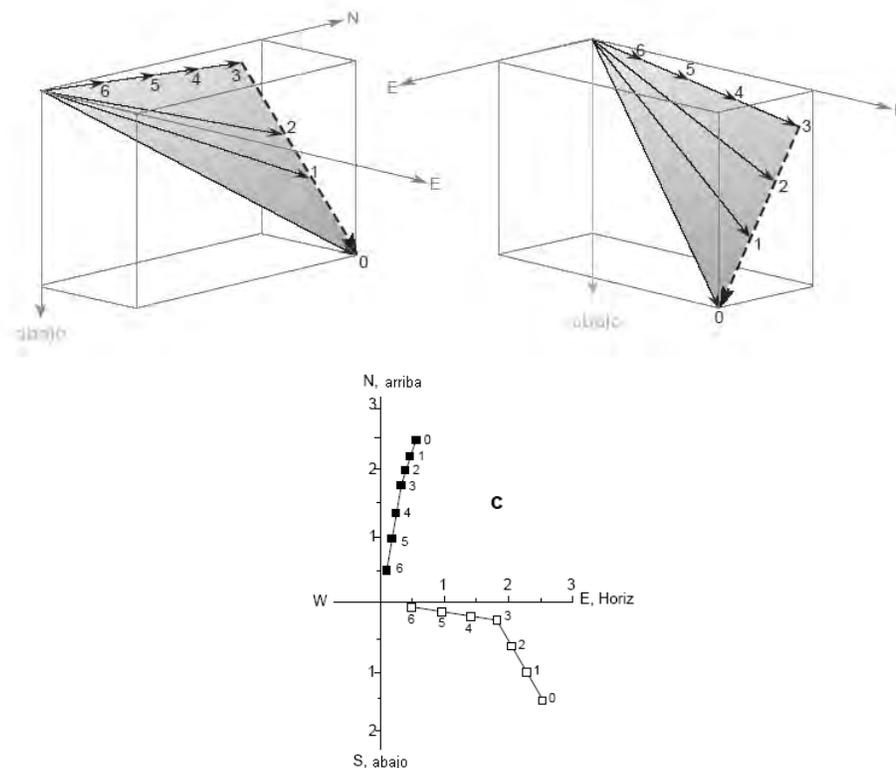


Figura 4.5 DZ para un espécimen desmagnetizado en 6 pasos (modificado de Butler, 1992)

En el DZ de la figura 4.5, la distancia al origen es proporcional a la intensidad, por lo que en el proceso de desmagnetización se formarán trayectorias sobre los dos planos de acuerdo con los cambios en declinación, inclinación e intensidad. Las proyecciones sobre el plano horizontal se representan comúnmente por puntos y sobre el plano vertical por cruces o círculos no rellenos.

4.3.- Procedimiento para analizar los resultados

Dada la naturaleza de los datos es necesario el empleo de técnicas estadísticas para su análisis. La estadística empleada para determinar direcciones medias en los vectores de magnetización como en los polos paleomagnéticos es de tipo bidimensional. La más utilizada es la estadística de Fisher (1953), basada en suponer a los vectores de magnetización distribuidos en la superficie de una esfera de acuerdo a una distribución normal, pero existen otros métodos como los de Roberts y Ursell (1960).

4.3.1.- Estadística de Fisher

La distribución Fisher ve a las direcciones de los vectores de NRM de varios especímenes como puntos en la superficie de una esfera unitaria, con cada una de las direcciones con peso unitario.

De esta manera es posible la construcción de la función de densidad de probabilidad Fisher $P_{dA}(\theta)$ análoga a la función de densidad de probabilidad Gaussiana de una distribución normal, pero para una distribución sobre la superficie de una esfera, la cual proporciona la probabilidad por unidad de área angular dA de encontrar una dirección dentro de dicha área, centrada en un ángulo θ con un ancho de banda $\theta + d\theta$ de la medida verdadera.

$$P_{dA}(\theta|\kappa) = \int_{\theta}^{\theta+d\theta} p_{dA}(\theta'|\kappa) d\theta' \quad (4.1)$$

donde θ es el ángulo de la dirección verdadera y κ es el parámetro de precisión; esto es una medida de la concentración de la distribución alrededor del valor medio, creciendo a mayor concentración.

La función de probabilidad correspondiente es

$$P_{dA}(\theta|\kappa) = \frac{\kappa}{2\text{senh}\kappa} \text{sen}\theta \exp(\kappa \cos\theta) \quad (4.2)$$

Si se considera la dispersión de direcciones en la superficie de una esfera unitaria, la probabilidad de que un dato en particular caiga en un área diferencial de $dA = \text{sen}\theta d\theta d\phi$ la ecuación 4.1 adquiere la forma.

$$P_{dA}(\theta|\kappa) = \int_{\theta}^{\theta+d\theta} p_{dA}(A'|\kappa) \text{sen}\theta' d\theta' d\phi' \quad (4.3)$$

Si ϕ es un ángulo azimutal simétricamente distribuido alrededor la dirección media, la ecuación 4.2 se reescribe como

$$P_{dA}(\theta|\kappa) = \frac{\kappa}{4\pi \text{senh}\kappa} \exp(\kappa \cos\theta) \quad (4.4)$$

Es así como conociendo la función de densidad de Fisher podemos analizar el comportamiento de las observaciones.

La dirección media puede calcularse a partir de computar las direcciones de N vectores unitarios, determinando primero los cosenos directores de cada uno de ellos:

$$\begin{aligned} l_i &= \cos I_i \cos D_i \\ m_i &= \cos I_i \text{sen} D_i \\ n_i &= \text{sen} I_i \end{aligned} \quad (4.5)$$

donde D_i es la declinación del i -ésimo vector, I_i es la inclinación de i -ésimo vector y l_i , m_i , n_i son los cósenos directores del i -ésimo vector, y la resultante de la suma de cada uno de estos N vectores unitarios está dada por R véase figura 4.6 (Butler.1992).



Figura 4.6 Resultante R de la suma de N vectores unitarios (Butler, 1992).

R está dado por la siguiente expresión:

$$R = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^N l_i\right)^2 + \left(\sum_{i=1}^N m_i\right)^2 + \left(\sum_{i=1}^N n_i\right)^2} \quad (4.6)$$

De esta forma es posible obtener la Declinación media D_m y la Inclinación media I_m dadas por:

$$D_m = \tan^{-1} \left(\frac{\sum_{i=1}^N m_i}{\sum_{i=1}^N l_i} \right) \quad \text{y} \quad I_m = \text{sen} \left(\frac{\sum_{i=1}^N n_i}{R} \right) \quad (4.7)$$

Es así como a partir de esta dirección media existen criterios de confiabilidad. En la estadística Fisher el límite de confianza está expresado como un ángulo radial a partir de la dirección media y el nivel de probabilidad indicado por el límite de confianza está completamente definido (Butler, 1992).

Una aproximación del límite de confiabilidad está dada por el ángulo α_{95}

$$\alpha_{95} \approx \frac{140^\circ}{\sqrt{kN}} \quad (4.8)$$

donde k es la mejor aproximación del parámetro de precisión κ de la función de densidad de probabilidad Fisher dado por $k=(N-1)/(N-R)$ y α_{95} es el ángulo que estima 2 veces el error estándar de la dirección media.

4.3.2.- Intersección de planos y límites de confianza

Otro método de análisis complementario consiste en la denominada intersección de planos; este método estima los planos obtenidos a partir de los eigenvectores asociados a los eigenvalores obtenidos al resolver un problema de valores propios.

$$(A - \lambda I)V = 0 \quad (4.9)$$

Donde A es la matriz que cuenta con los 3 eigenvalores $\lambda_1 < \lambda_2 \leq \lambda_3$, I es la matriz identidad y V es conocido como el polo del mejor círculo aproximado. De esta intersección de planos es posible encontrar una dirección que determina un vector de dirección media.

Al método de intersección de planos es posible asociarle un ángulo medio de dispersión, MAD por sus siglas en inglés, a la dirección media. Tanto el MAD como el α_{95} son utilizados para calcular los límites de confianza asociados a la declinación e inclinación media (Figura 4.7)

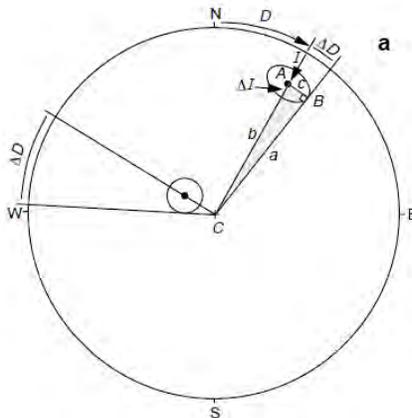


Figura 4.7 Cálculo de incertidumbres de la declinación e inclinación medias (Butler, 1992)

De la figura se desprende el siguiente análisis.

$$\frac{\text{sen } c}{\text{sen } C} = \frac{\text{sen } b}{\text{sen } B} \quad (4.10)$$

$$\text{sen } \Delta D = \frac{\text{sen } c \text{ sen } b}{\text{sen } B} = \frac{\text{sen } \alpha_{95} \text{ sen } \frac{\pi}{2}}{\text{sen } \left[\frac{\pi}{2} - I \right]} \quad (4.11)$$

$$\Delta D = \text{sen}^{-1} \left[\frac{\text{sen } \alpha_{95}}{\text{cos } I} \right] \text{ y } \Delta I = \alpha_{95} \quad (4.12)$$

Es así como con la ecuación 4.9 obtenemos los límites de confianza de la declinación media y la inclinación media, en el caso en que éstas se hayan obtenido mediante la técnica de intersección de planos solo hay que sustituir α_{95} por el MAD.

Finalmente ya obtenidos los vectores de dirección media, se grafican sobre las curva de variación secular (declinación e inclinación) construida para las coordenadas del Sitio. De esta forma se obtienen una serie de intersecciones que corresponden a fechas posibles. Estas fechas se presentan al arqueólogo que junto con su interpretación arqueológica y otras técnicas de fechamiento como el Carbono 14 o la estratigrafía, elige la que constituirá un fechamiento arqueomagnético.

5.- ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LAS MUESTRAS MEDIDAS

En este capítulo se realizara una breve reseña de los datos obtenidos y el tipo de análisis al cual fueron sometidas las muestras para obtener los resultados finales, pero antes presentamos una lista de todas las muestras utilizadas (tabla 5.1).

Muestras	Especímenes	Ubicación	Comentario
TP35-37	TP: 35 36 37	CTO 313A PISO 3	Piso no quemado
TP38-41	TP: 38 39 40 42	CTO 284 PISO 4	Piso quemado
TP42-45	TP: 42 43A 43B 44 45	E1 CTO 262F PISO 3	Piso quemado
TP46-49	TP: 46 47 48A 48B 49	E1 CTO 362C PISO 4	Piso no quemado
TP50-53	TP: 50 51 52 53	E1 CTO 362G PISO 4A	Piso no quemado
TP57-59	TP: 57 58 59	E1 CTO 267 PISO 3	Piso no quemado
TP60-61	TP60: A B C D TP61: A B	E1 CTO 6 PISO 12	Piso quemado ¹³
TP70	TP70: B E G I	E1 CTO 254A PISO 3	Piso no quemado
TP71	TP71: A B C D E G	E1 CTO 262F PISO 3	Piso quemado
TP72	TP72: A B C D E F G H I J K L M	CTO 313A PISO 3	Piso no quemado
TP73	TP73: A B C	E1 CTO 408F PISO 6	Piso no quemado
TP76	TP76: A B	CTO 253A PISO 3	Piso quemado
TP78	TP78: A B C D F G H I K L M	E1 CTO 181 B261 PISO 4	Piso no quemado
TP79	TP79: B C D E G H	E1 CTO 308 PISO 5	Piso quemado
TP80	TP80: A B C D F G H	E1 CTO 313B PISO 5	Piso no quemado
TP81	SIN ESPECIMEN	E1 CTO 313B PISO 5	No tiene norte
TP82	TP82: A B C E F G J K L M O	E1 CTO 167 PISO 2	Piso no quemado
TP83	TP83: A B C E F	E1 CTO 267 PISO 3	Piso no quemado
TP84	TP84: A B C D E G H J L N O P Q R	E1 CTO 213A PISO 2	Piso no quemado
TP85	TP85: A B C E G I	E1 CTO 6 PISO 12	Piso no quemado
TP86	SIN ESPECIMEN	E1 CTO 262C PISO 3A	No se pudo muestrear

Tabla 5.1 Nombre de las muestras y su ubicación en la zona arqueológica
Donde CTO = cuarto, E1=estructura 1 y PISO.

Para el análisis de las muestras es necesario primero analizar del comportamiento de cada uno de los especímenes que la componen; el número de los especímenes por muestra varía, esto debido a la disponibilidad del material para extraer, así como al número de éstos que si fue posible medir y que presentaron un comportamiento normal. Nos referimos a un comportamiento normal para aquel que sí muestra una desmagnetización durante el proceso de desmagnetización. A los especímenes se les puede agrupar en dos grandes grupos de comportamiento: aquellos que presentan un agrupamiento en la red estereográfica y a los que presentan un migración por alguno de los planos de esta red, al ser desmagnetizados; por este motivo presentamos dos especímenes de cada muestra con dichos comportamientos.

¹³ Probablemente quemado.

Para entender la notación en cada uno de los cuadros, en la celda superior derecha (M) corresponde al nombre de la muestra y (Es) al nombre del espécimen, en la celda superior media se encuentra anotada la ubicación de la muestra, la celda superior derecha presenta el número de cuadro, las tres gráficas en cada cuadro corresponden al Diagrama de Zijderveld, la variación de la intensidad con respecto al campo al cual es sometido el espécimen y la red estereográfica del espécimen respectivamente, las celdas inferiores presentan la declinación e inclinación del espécimen así como su ángulo medio de dispersión MAD.

El DZ, que combina en el mismo diagrama intensidad y cambios en la dirección, puede presentar una sola trayectoria, una recta que se dirige al origen lo que significa una sola magnetización. También puede presentar dos trayectorias rectas, siendo la que se dirige la magnetización característica, o trayectorias curvas lo que implica un plano. Las trayectorias sobre los dos planos describen los cambios en declinación, inclinación e intensidad, debidos al proceso de desmagnetización.

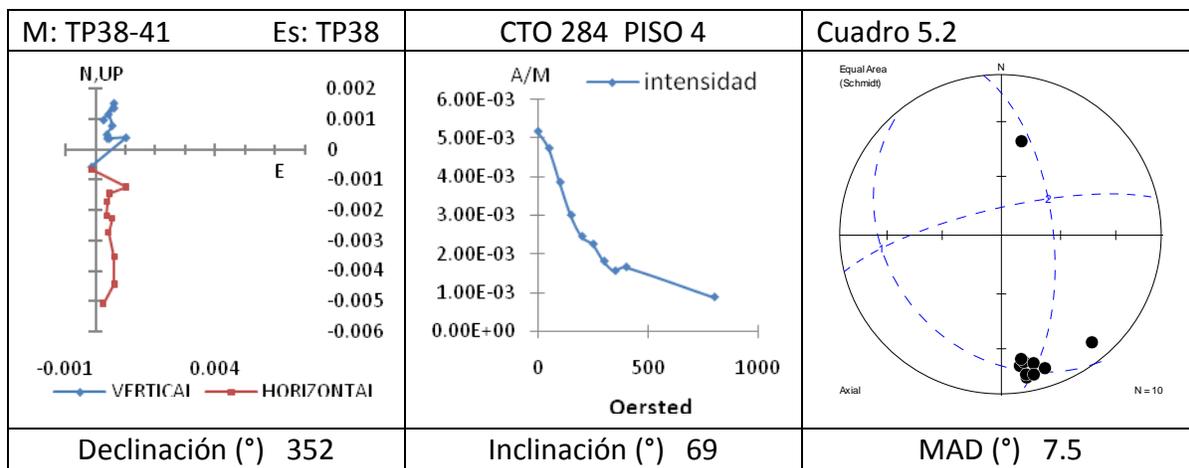
La Variación de la intensidad presenta como disminuye la intensidad del vector de magnetización al ser sometido al proceso de desmagnetización por campos alternos crecientes.

La red estereográfica muestra la proyección sobre una esfera unitaria del vector de magnetización del espécimen.

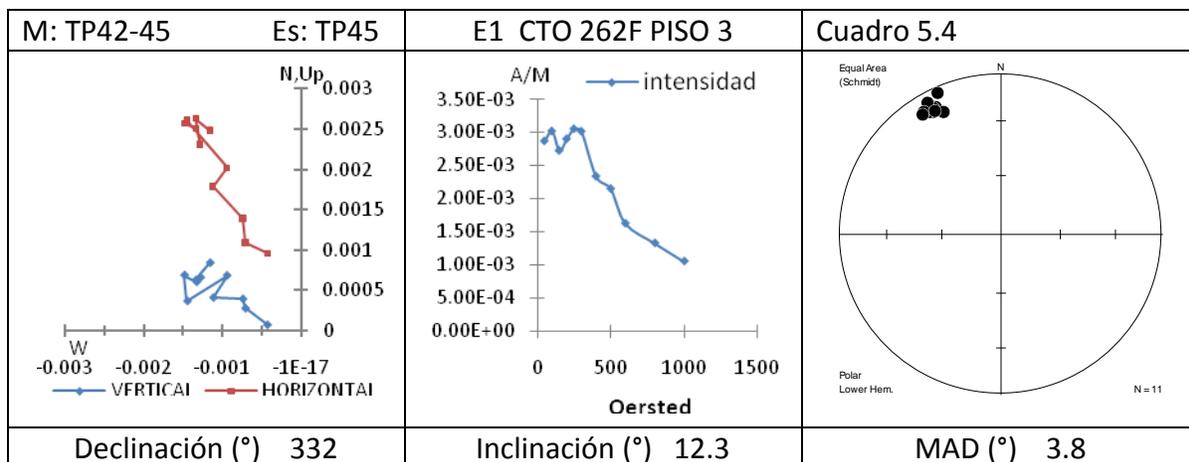
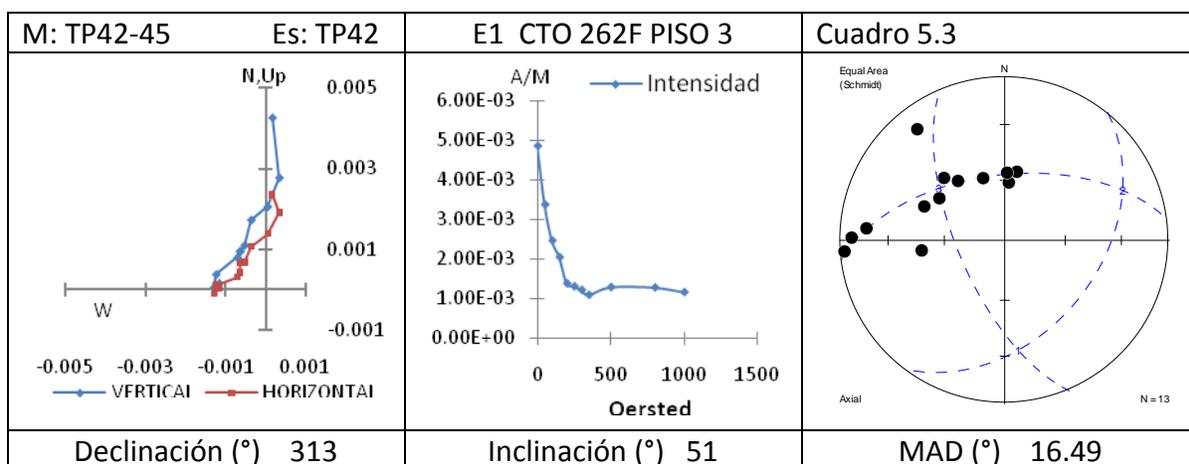
Para cada espécimen fue posible obtener una declinación y una inclinación característica, presentadas en el cuadro inferior derecho de cada uno de ellos, tomando en cuenta que el ángulo medio de dispersión (MAD) sea pequeño, es decir menor a 10° ; esto se cumplió en la medida de lo posible ya que existen algunos especímenes que presentan un MAD mayor. A algunos especímenes se les tomó la declinación e inclinación característica como el último punto obtenido tras la desmagnetización, debido a que el comportamiento del espécimen es migratorio a lo largo de un plano y presenta una gran dispersión; se caracteriza como ud (última dirección).

M: TP35-37	Es: TP37	CTO 313A PISO 3	Cuadro 5.1
Declinación ($^\circ$) 57	Inclinación ($^\circ$) 20	MAD ($^\circ$) 5.60	

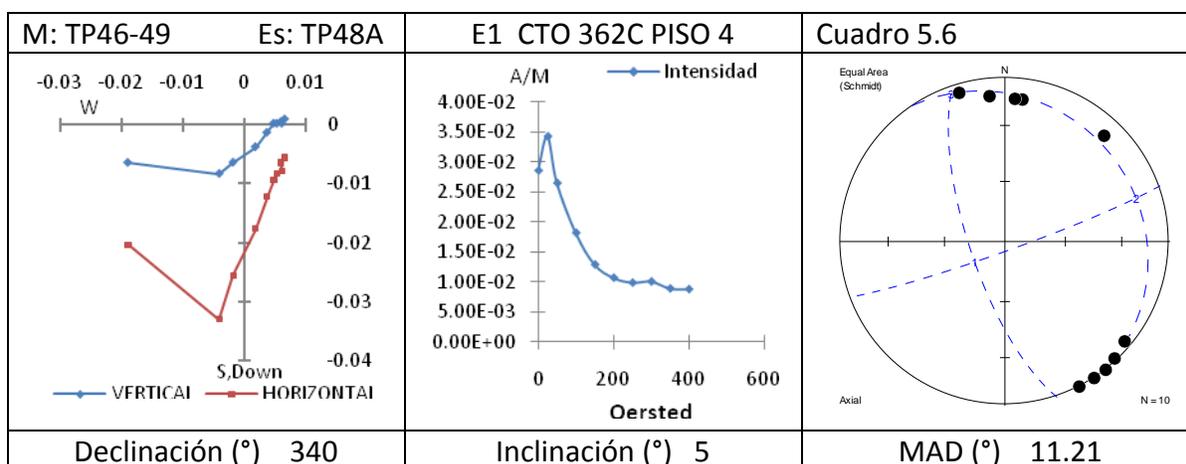
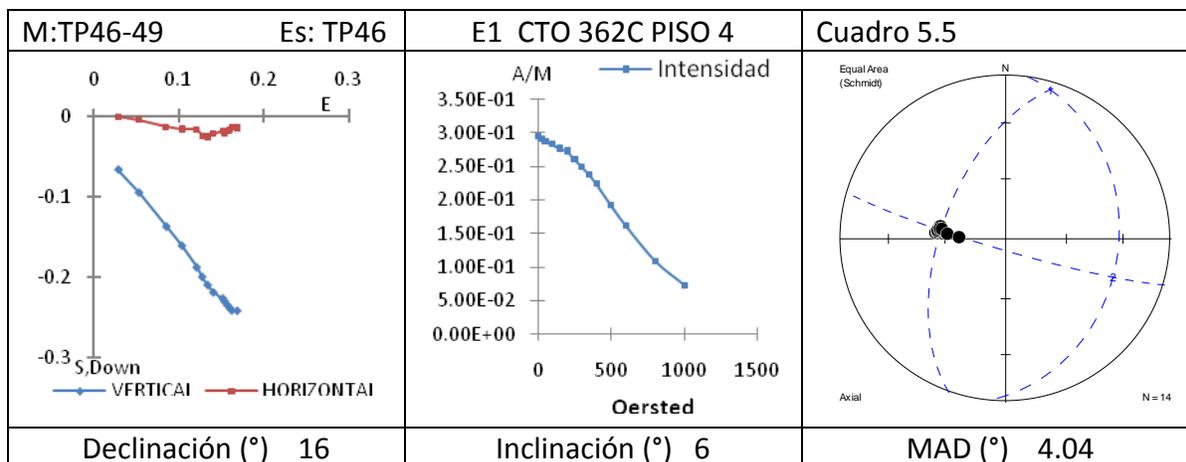
No se presenta otro espécimen de esta muestra ya que todos tienen el mismo tipo de comportamiento; esta muestra TP35-37 tiene relación con la TP72 ya que ambas fueron extraídas del mismo cuarto y piso.



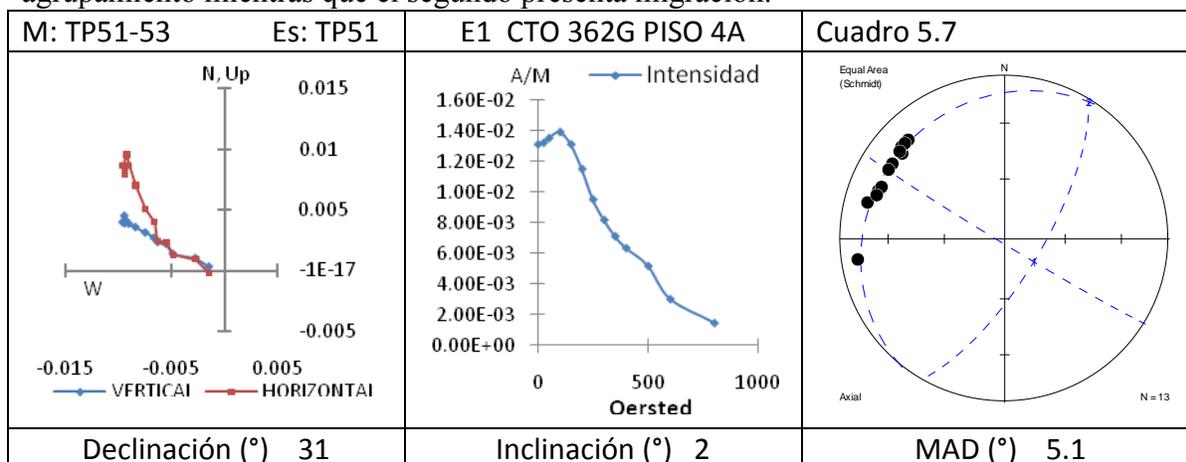
Los demás especímenes de esta muestra presentan el mismo tipo de comportamiento.



La muestra TP42-45 tiene relación con la muestra TP71 ya que ambas corresponden a la misma ubicación.

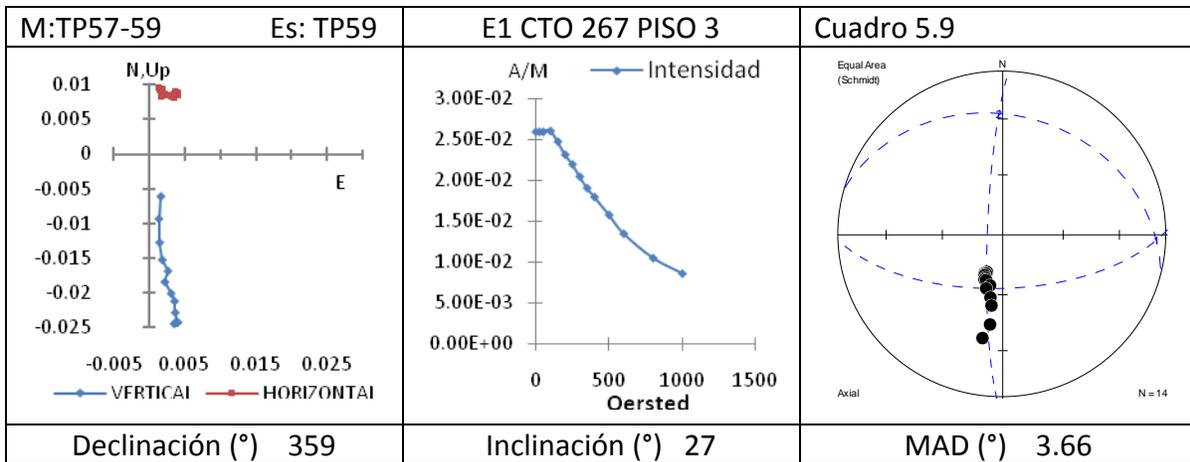
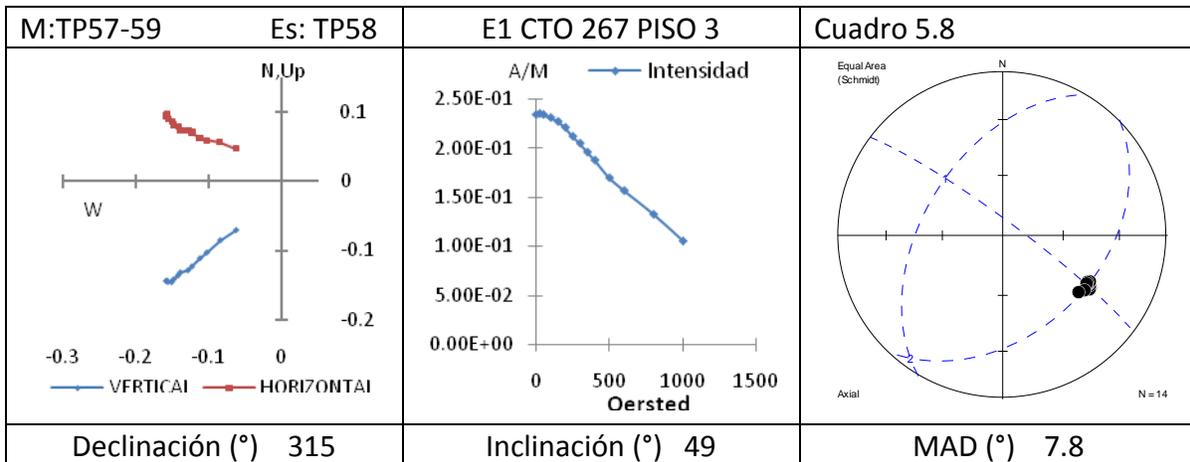


Los especímenes de los cuadros 5.5 y 5.6 son de la misma muestra; el primero presenta agrupamiento mientras que el segundo presenta migración.

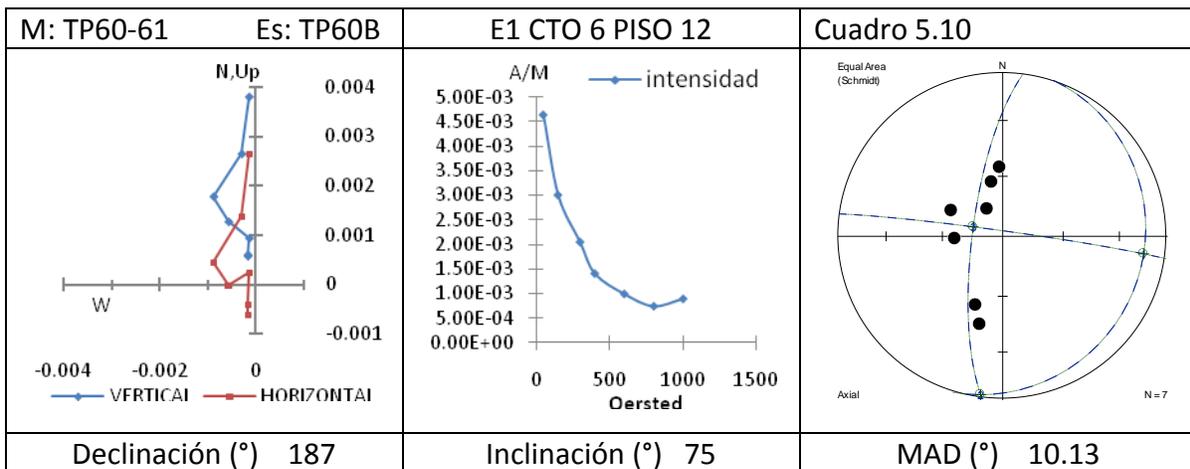


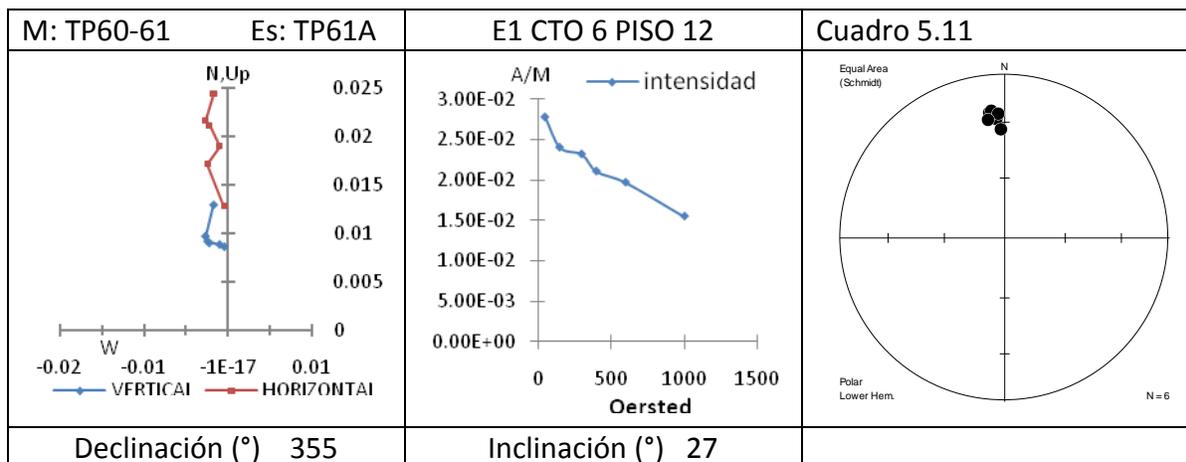
TP52 y TP53¹⁴ también tienen un comportamiento migratorio.

¹⁴ TP53 al igual que los demás especímenes no presentados en este capítulo se encuentran en el Apéndice.

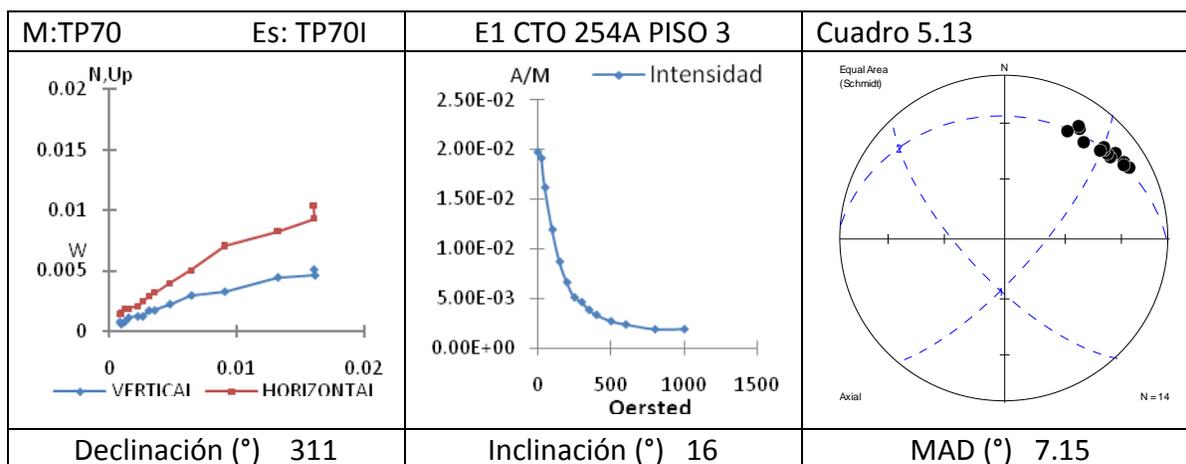
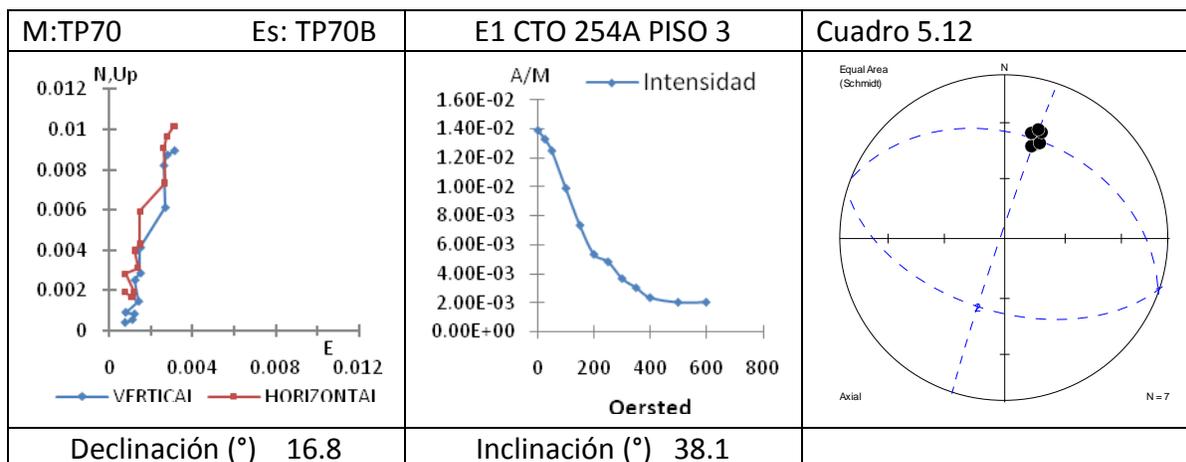


TP58 y TP 59 junto con TP57 presentan direcciones muy distintas, TP57-59 tiene relación con TP83 ya que tienen la misma ubicación.

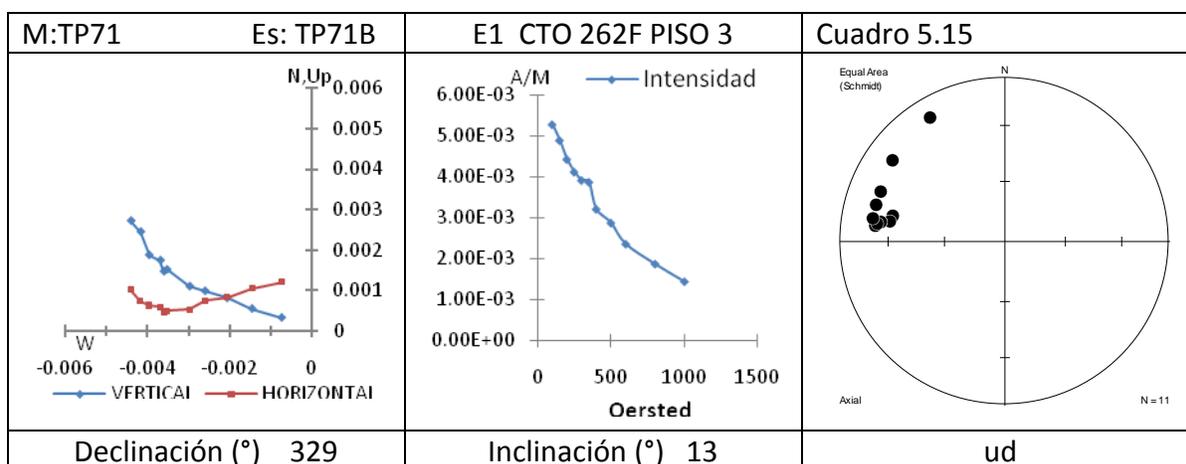
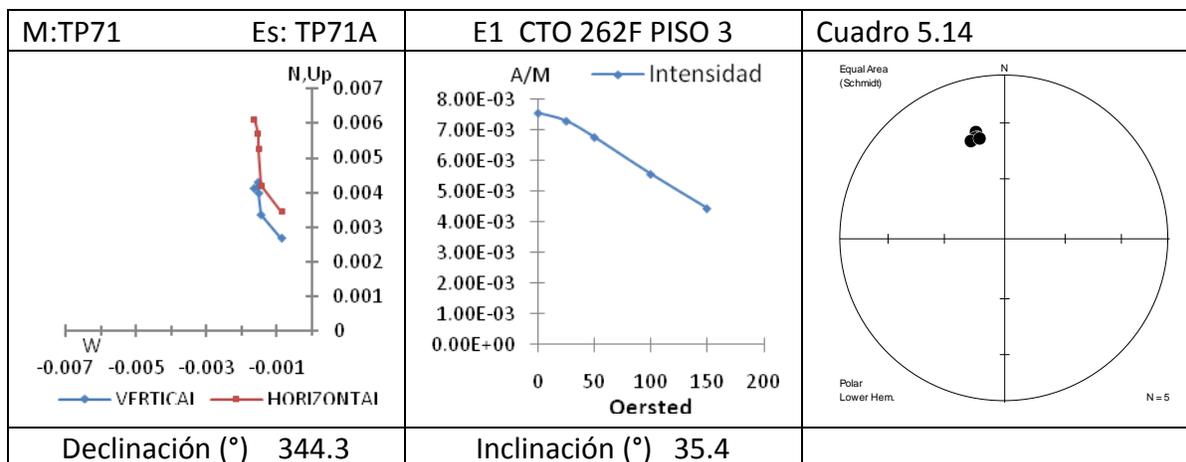




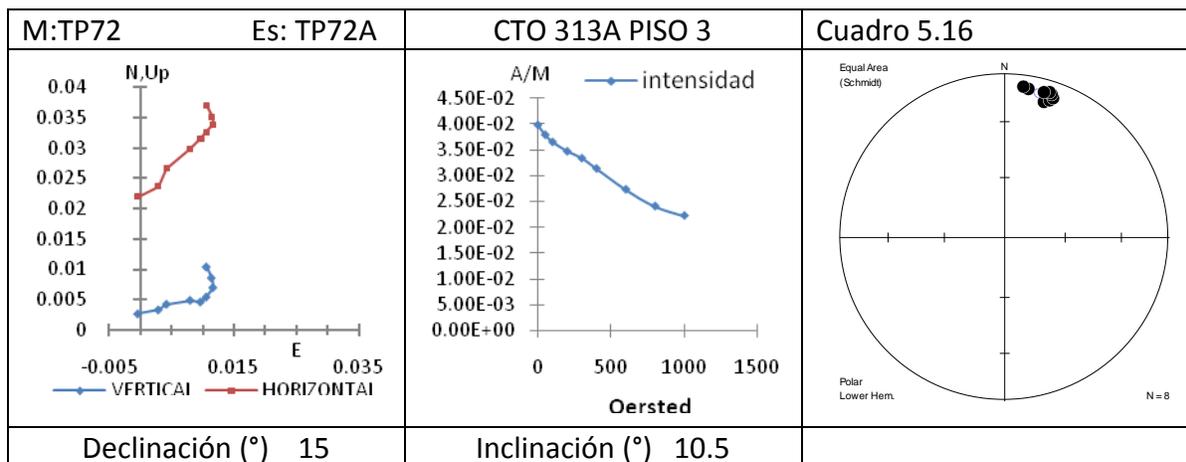
TP60-61 Guarda relación con TP85 debido a que ambas muestras tienen la misma ubicación.



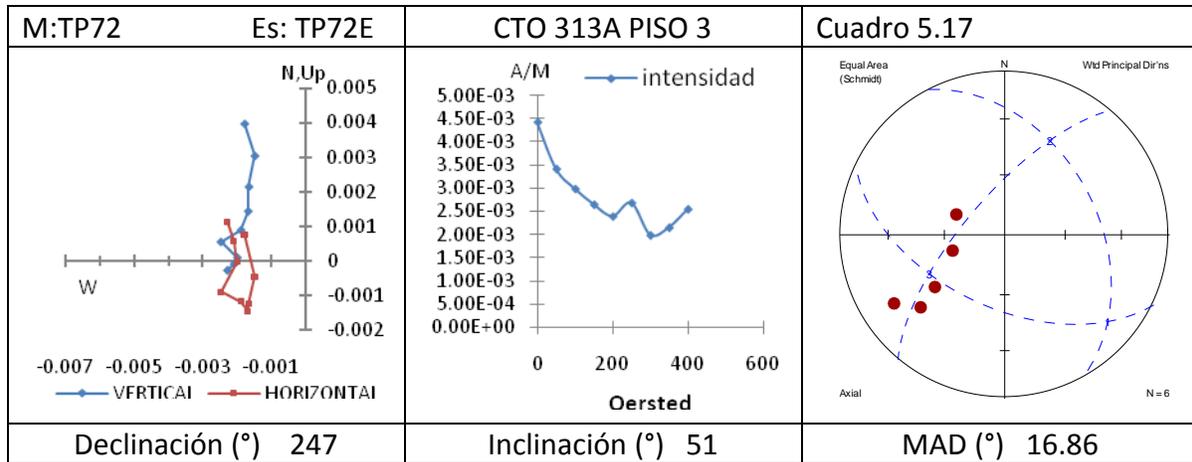
La muestra TP70 cuenta con 5 especímenes 2 presentan agrupamiento y 3 migración.



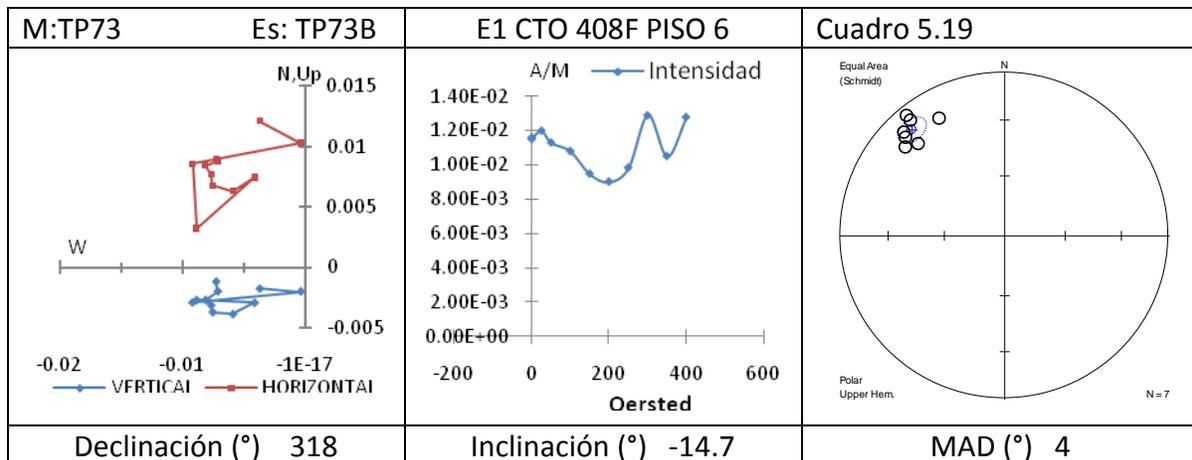
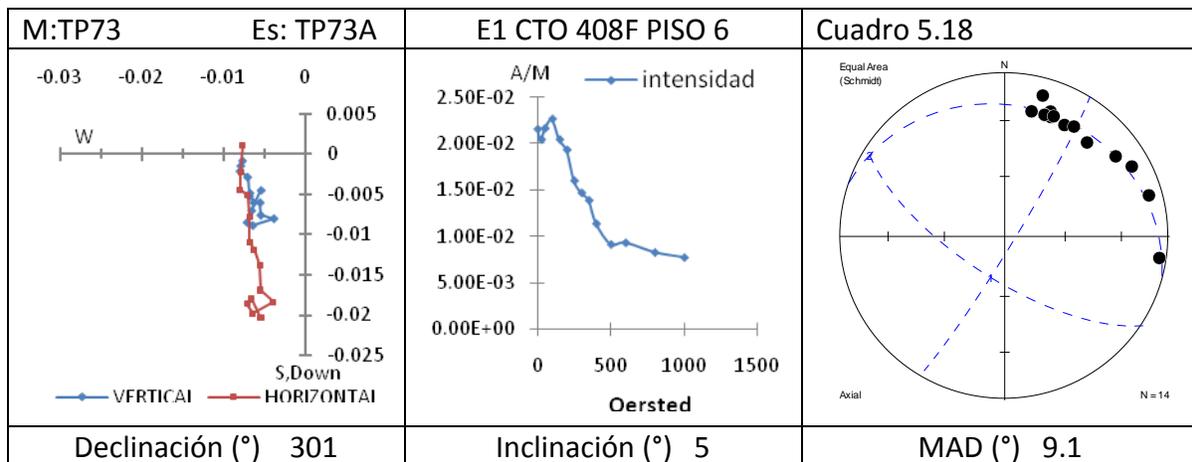
TP71B presenta direcciones secundarias con traslape¹⁵, la muestra está relacionada con TP42-45.



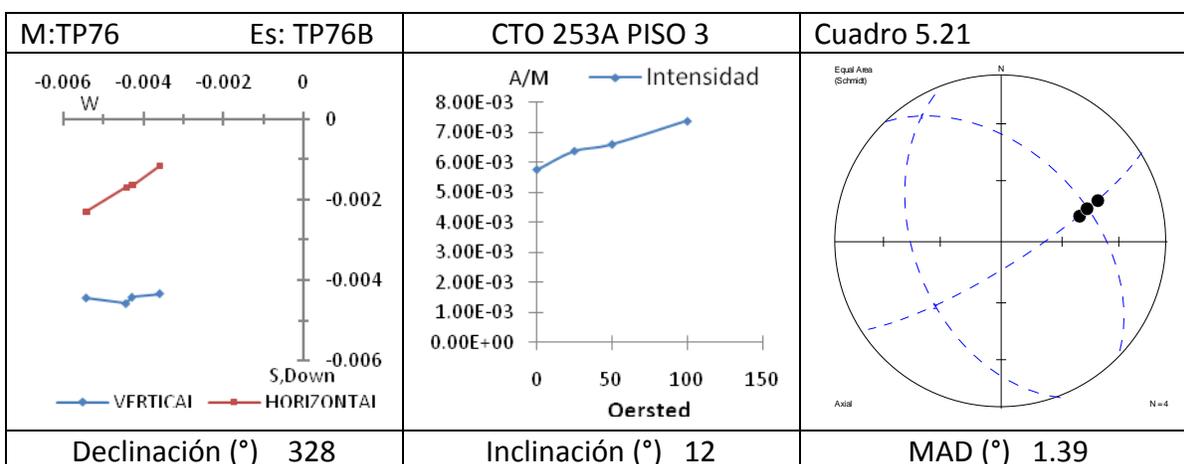
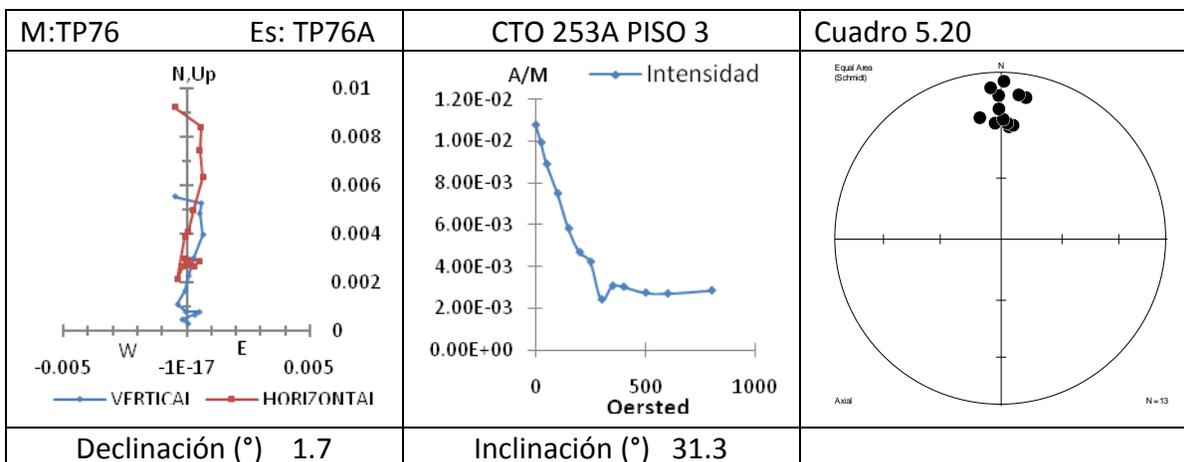
¹⁵ Este término será discutido más adelante.



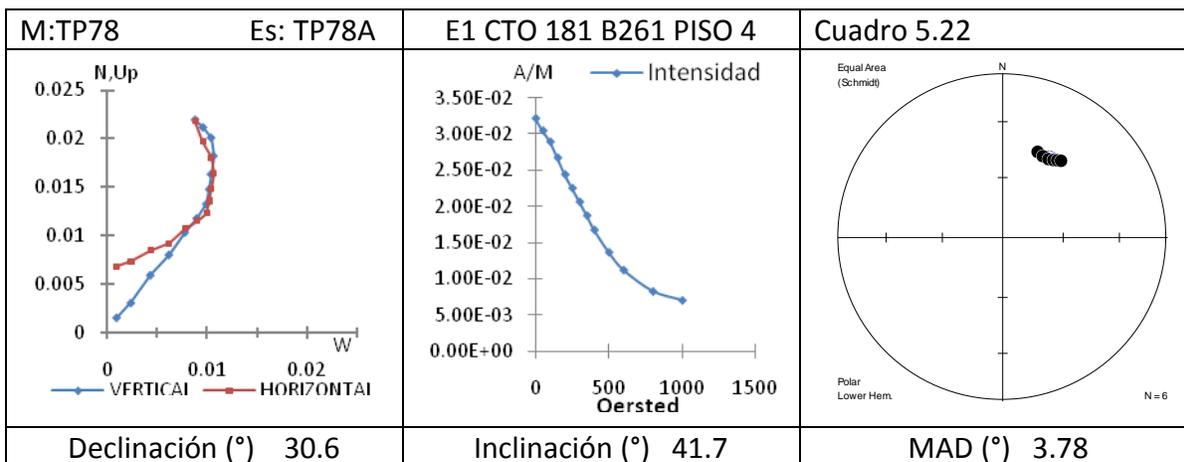
Esta muestra presenta gran dispersión y está relacionada con TP35-37.

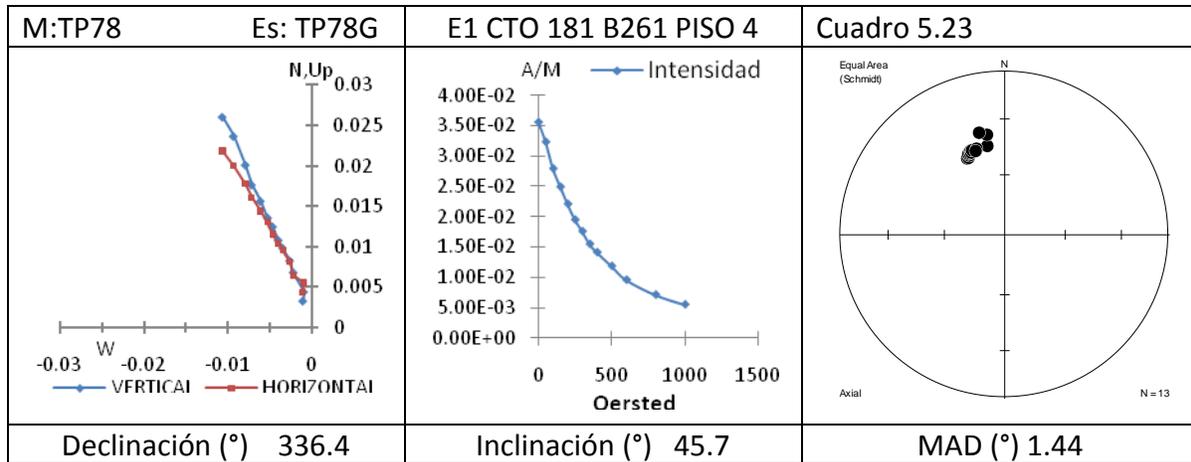


TP73B presenta inclinaciones negativas, situación que es anómala.

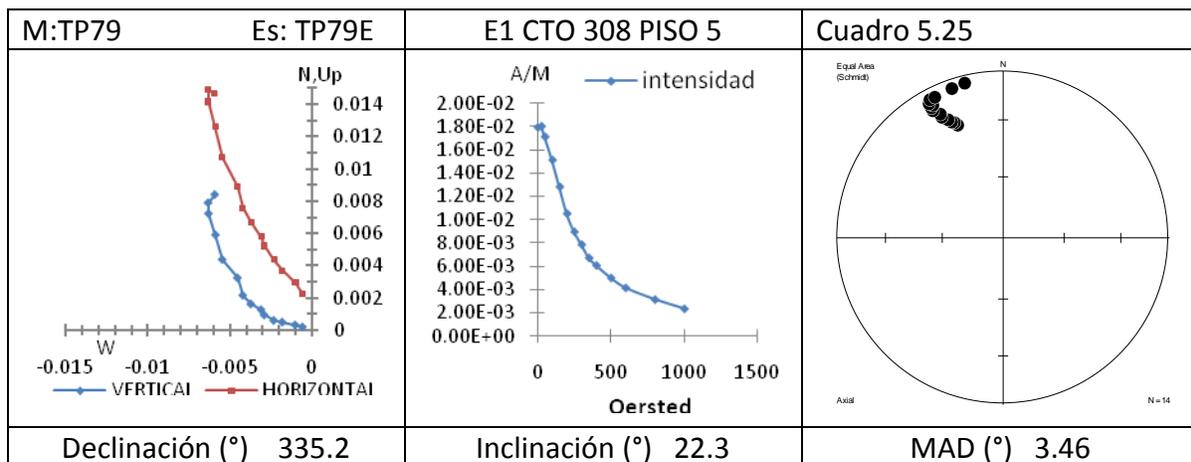
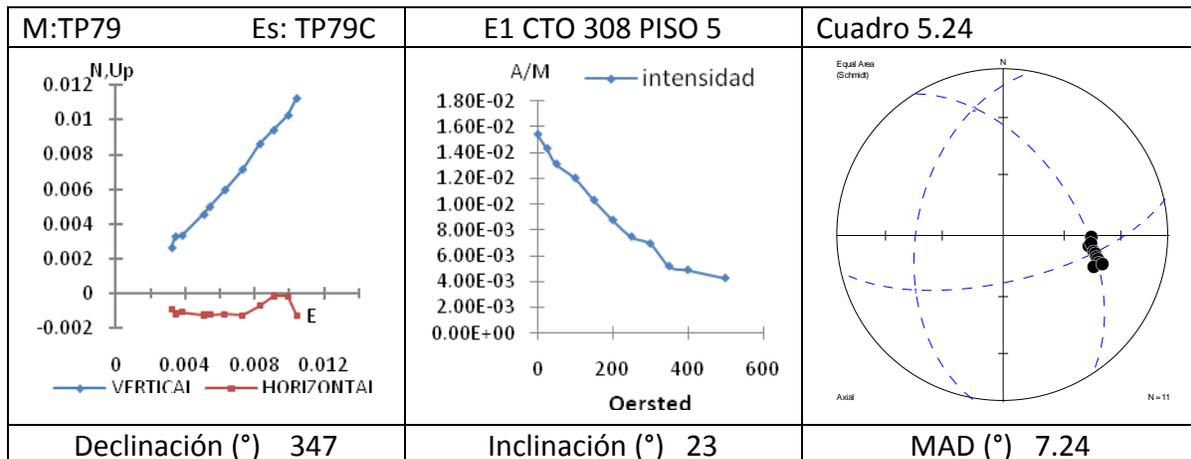


TP76B presenta una grafica de intensidad muy inusual.

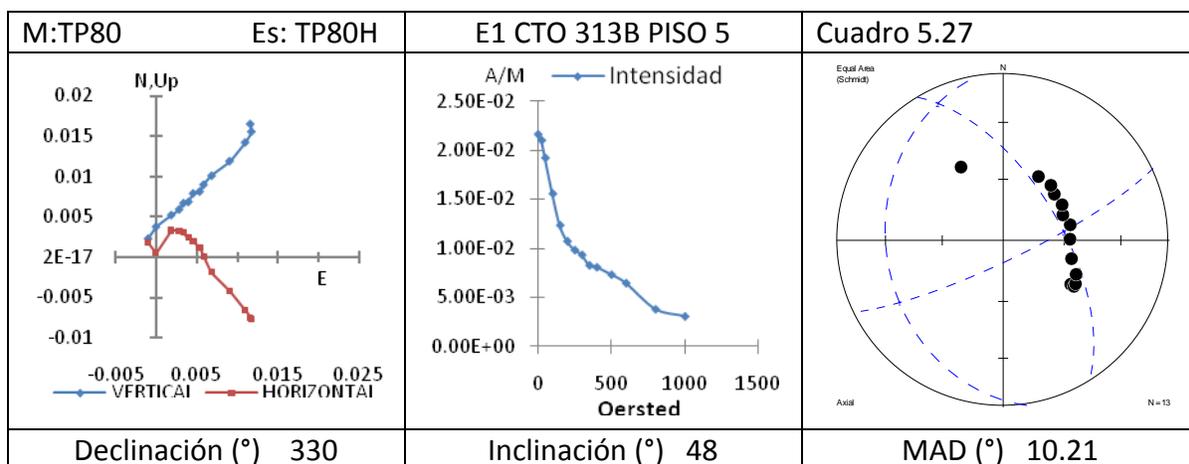
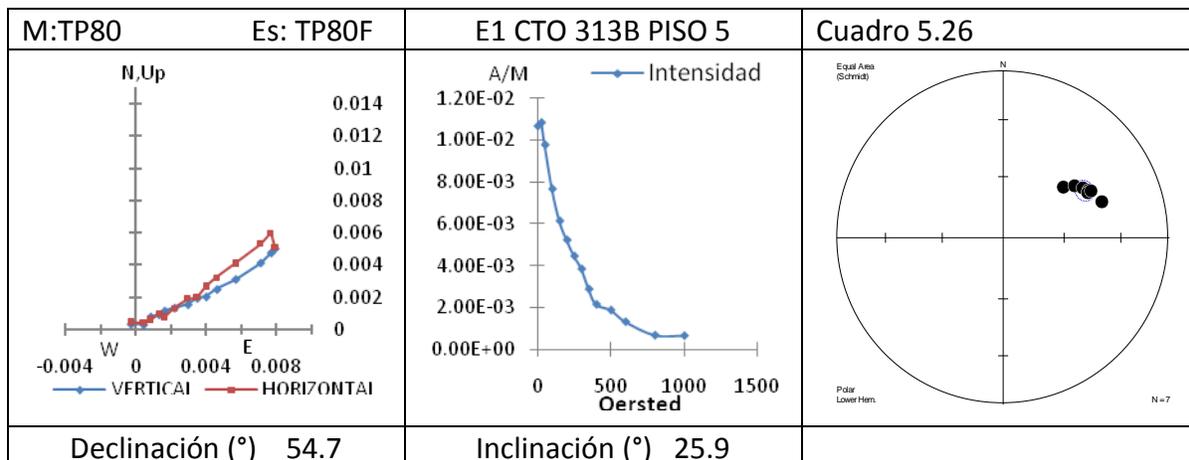




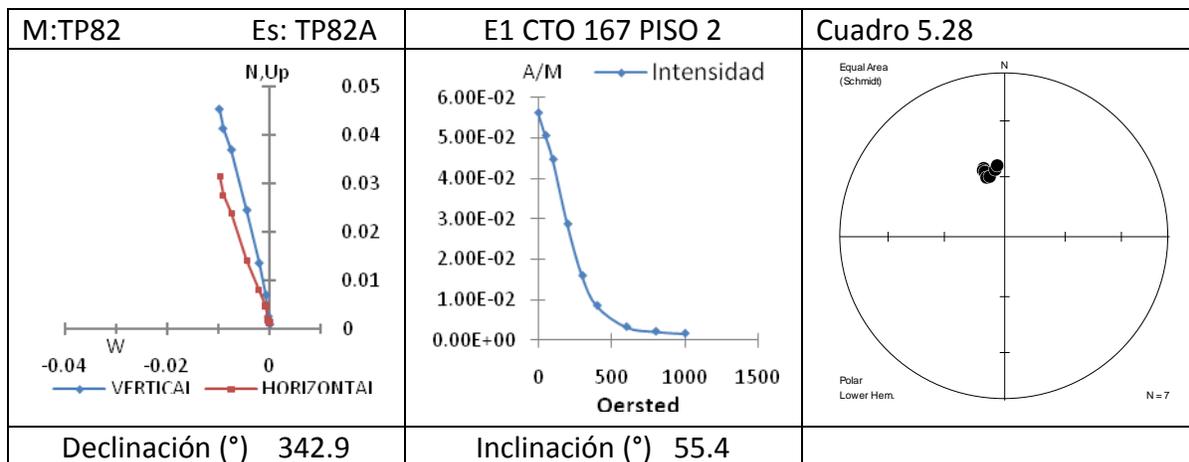
TP78 es una de las pocas muestras en la cual sus especímenes presentan un comportamiento de agrupación con excepción de TP78A.

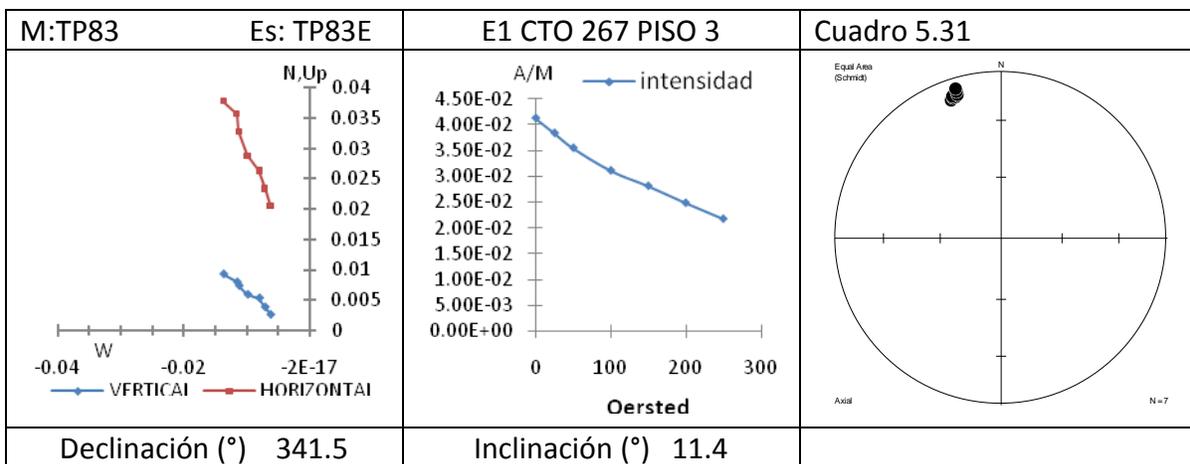
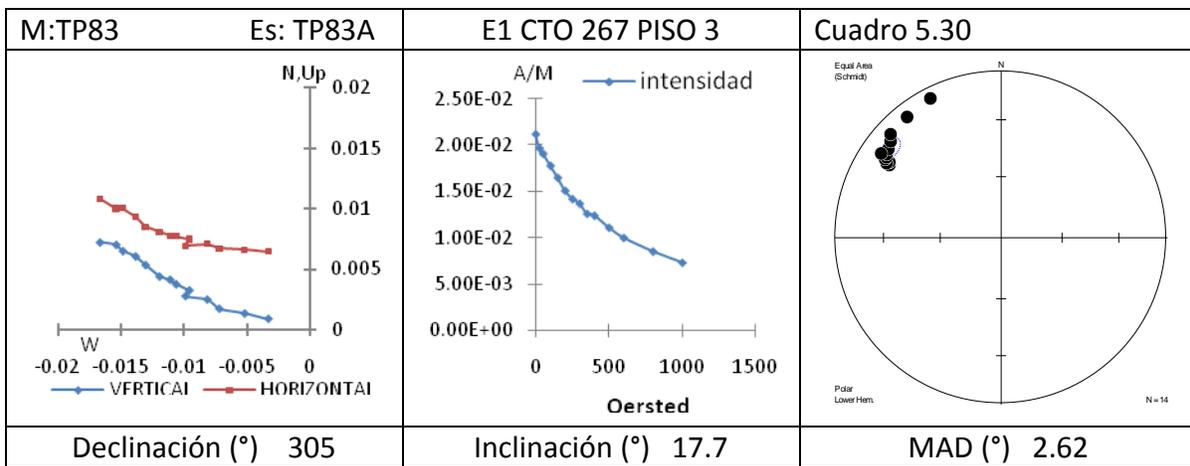
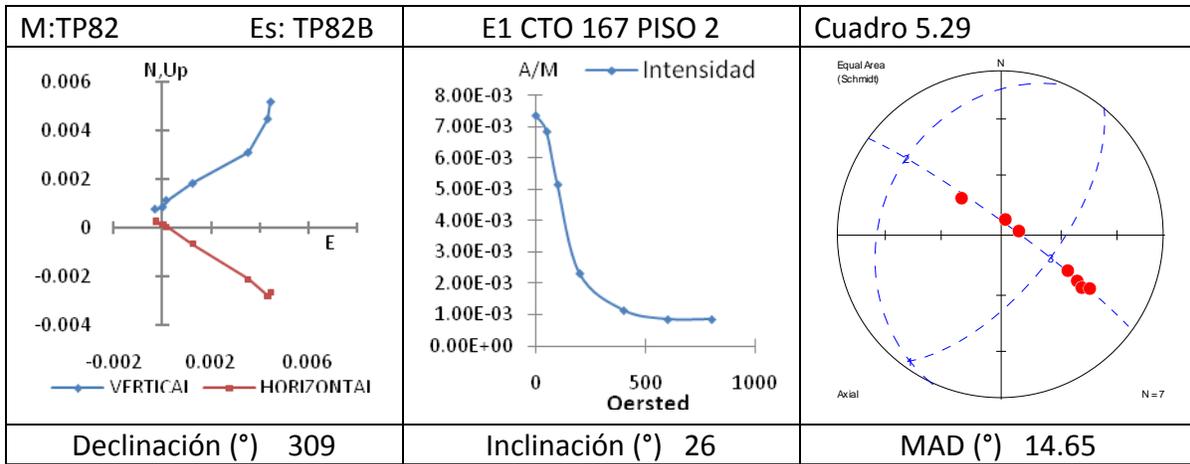


Todos los especímenes de TP79 presentan un comportamiento migratorio.

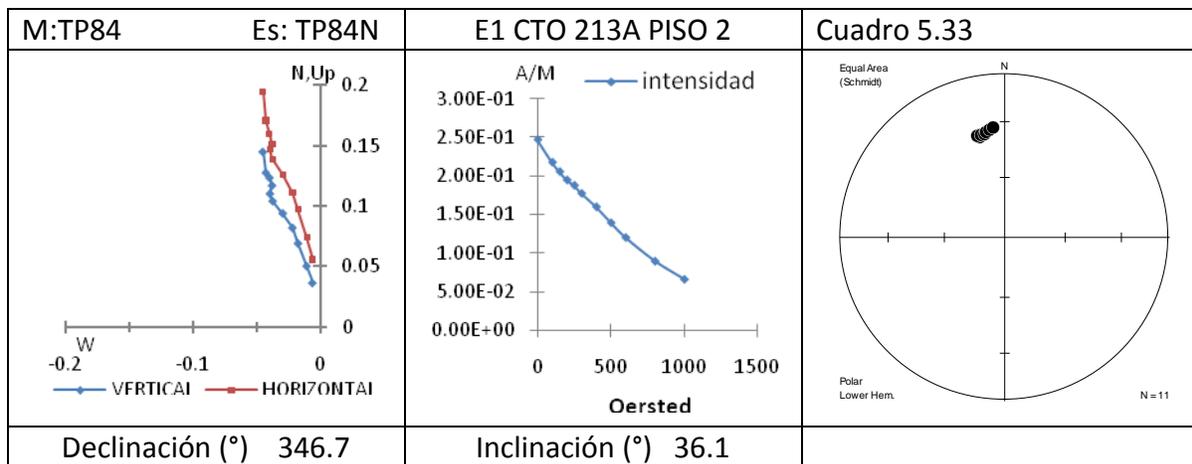
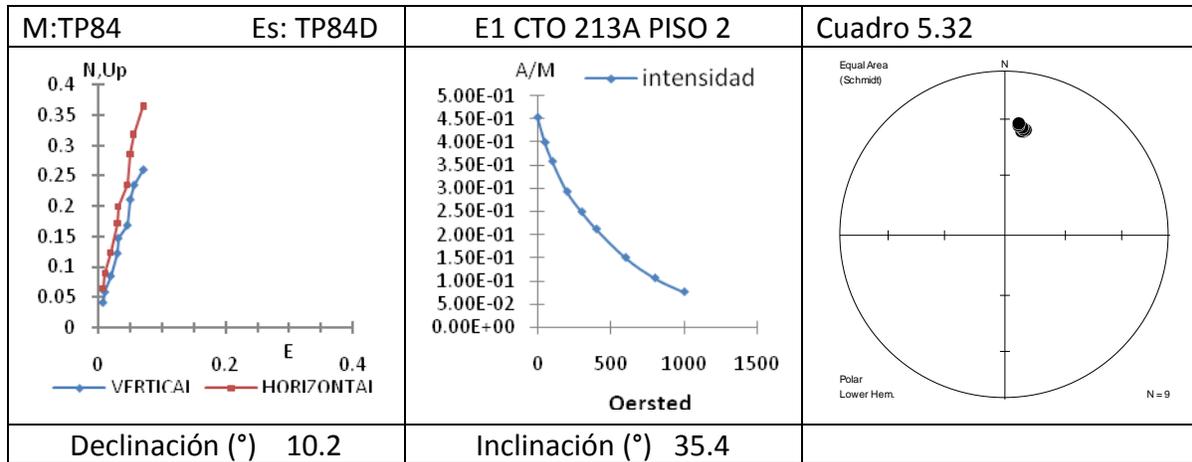


Todos los especímenes de TP80 presentan un comportamiento migratorio, ésta muestra está relacionada con TP81.

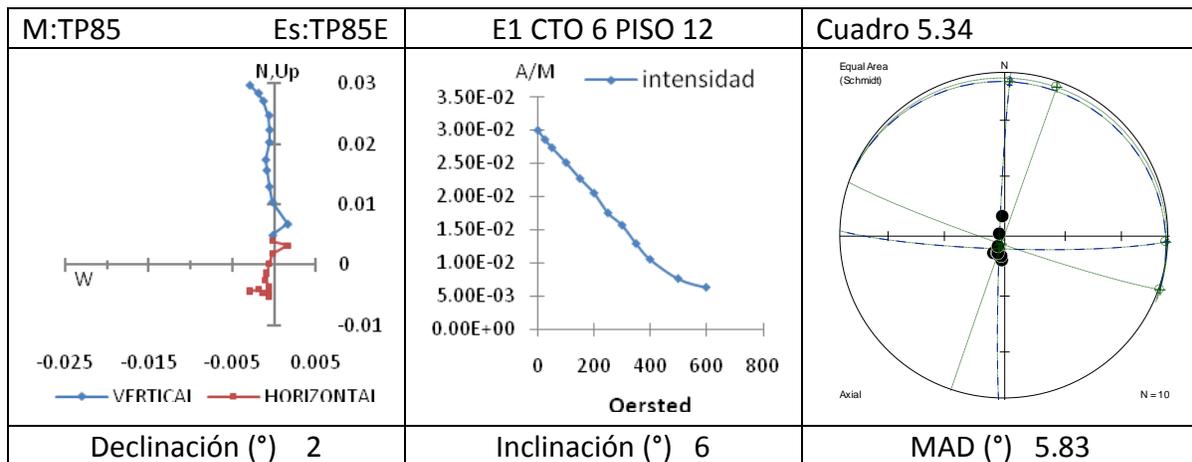


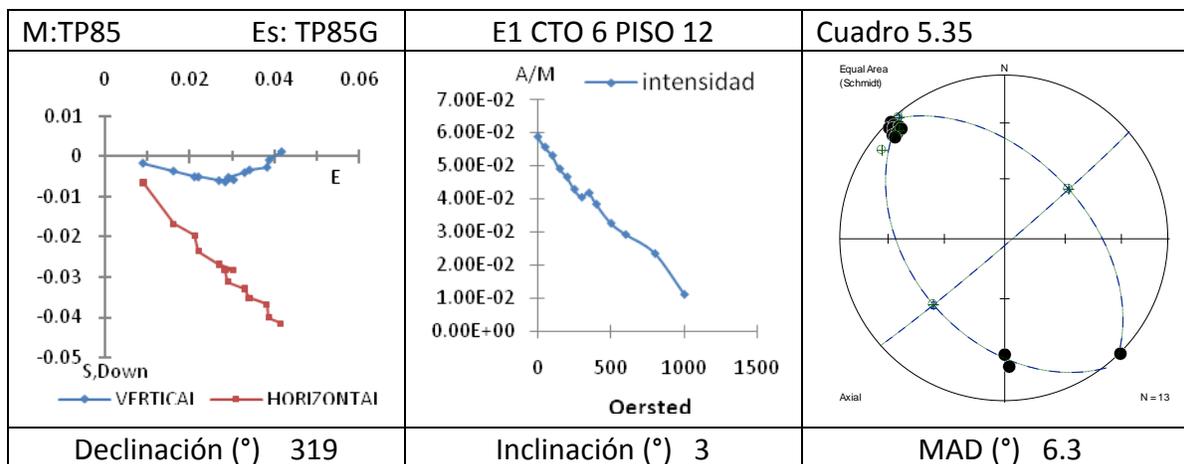


TP83 guarda relación con TP57-59.



TP84 es una de las muestras mejor comportadas, es decir, por lo general sus especímenes presentan una sola dirección, y eso es reflejado en un agrupamiento en la red estereográfica.





Es importante poder observar que en general el comportamiento de los especímenes, al ser sometidos al proceso de desmagnetización, presenta un comportamiento normal, es decir, la intensidad del vector disminuye; esto lo podemos observar en las graficas de intensidad. Aunque existen muestras que presentan un comportamiento contrario, a éstas las podemos dividir en dos tipos: las que presentan pequeñas magnetizaciones al inicio del proceso y las que lo presentan al final; para las primeras es importante decir que es un comportamiento aceptable y se prosigue con el estudio, mientras para las segundas el proceso se detiene y sólo se utilizan los datos previos obtenidos.

El comportamiento de los especímenes es variado y esto lo podemos observar en los diagramas de Zijderveld, en los que algunas muestras presentan una única dirección, la cual corresponde con la dirección primaria (ej. TP78G cuadro 5.23), mientras que otras presentan direcciones secundarias; estas direcciones secundarias pueden presentar nulo traslape (ej. TP72A cuadro 5.16), un traslape parcial (ej. TP78A cuadro 5.22) o un traslape pleno (ej. TP79E cuadro 5.25). Este tipo de comportamiento también es observable en los diferentes diagramas estereográficos, los cuales presentan agrupación o desplazamientos de puntos, hablamos de traslape en los límites de desmagnetización de los espectros de coercitividad.

5.1.- Fechamiento Arqueomagnético

Para realizar el fechamiento de las muestras es necesario introducir la curva de variación secular de Mesoamérica, debido a que es la curva de referencia para el sitio de estudio. La curva de variación secular para Mesoamérica cuenta con datos de Wolfman (1990); además se incorporaron a la curva datos de una estalagmita en San Luis Potosí (Latham *et al.*, 1989) y el dato de la erupción del Xitle (Urrutia-Fucugauchi, 1996).

Hasta el momento se han incorporado más de 100 nuevos fechamientos de sitios como: Xalla y Templo Mayor (temporada de excavación 2001; Rodríguez, 2003), Tlatelolco y Xajay (Guerrero, 2003), Xalla y Teopancazco (temporada de excavación 2003; Sánchez, 2005), Teopancazco 1ª etapa de 2005 (Romero, 2008) y Chapultepec (temporada de excavación 2005-2006; López, 2008).

La curva se construye mediante estadística Fisher con media móvil de una ventana de 100 años y con un valor medio cada 50 años, dependiendo de la cantidad de datos disponibles.

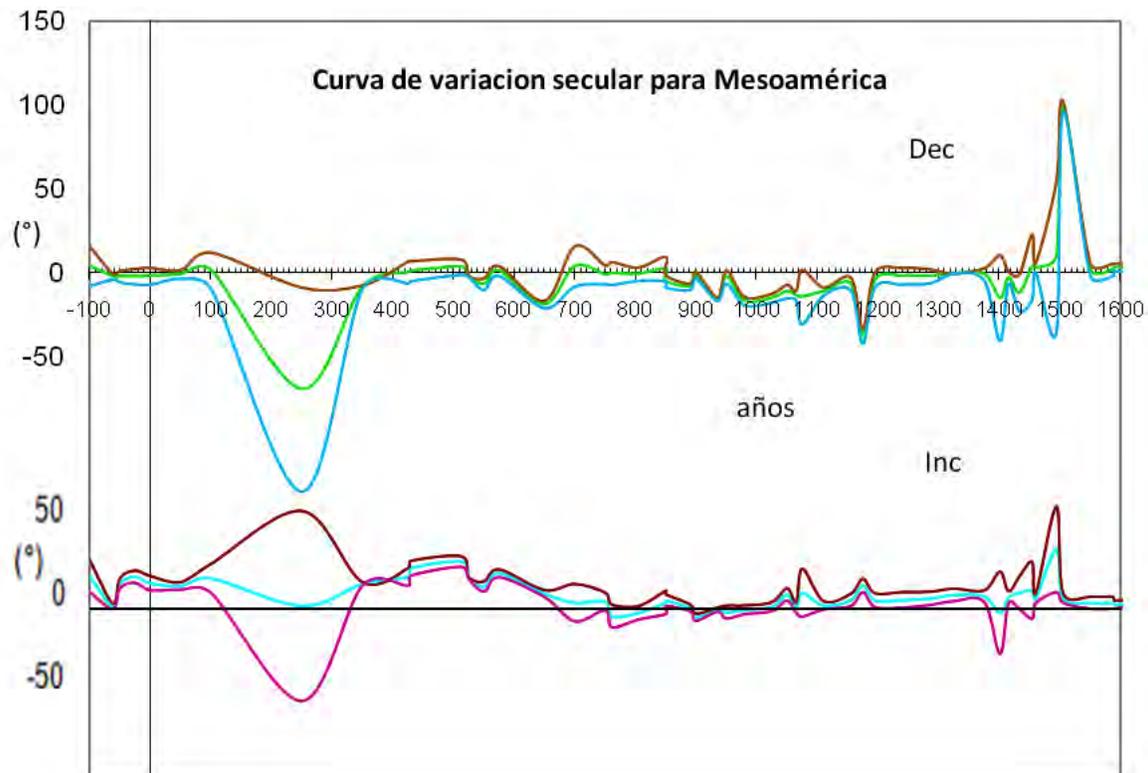
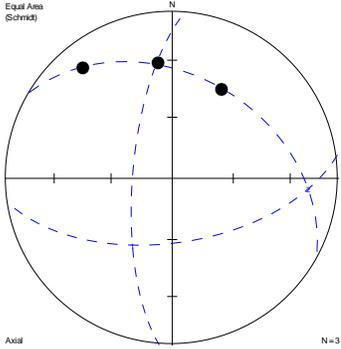
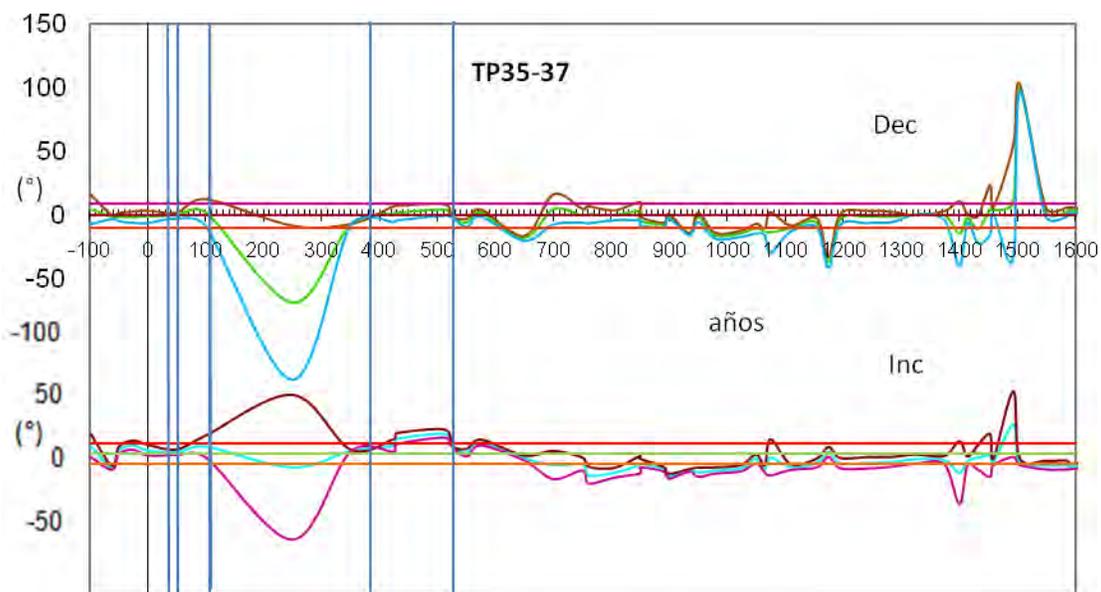


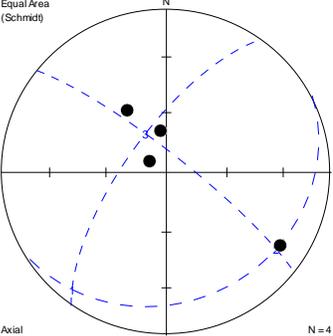
Figura 5.1 Curva de variación secular para Mesoamérica (Modificada de Soler et al, 2006)

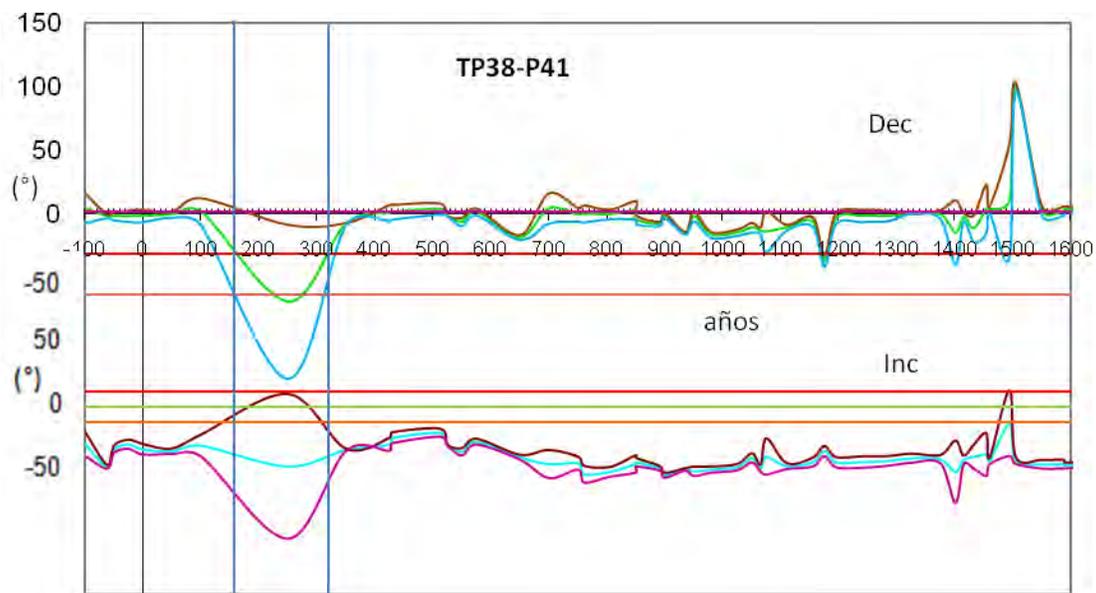
Tras el análisis de todos y cada uno de los especímenes, en la obtención de las declinaciones e inclinaciones características, es posible hacer el estudio estadístico de la muestra. En los siguientes cuadros se muestran las direcciones de cada espécimen y la media con sus parámetros estadísticos, así como las posibles fechas obtenidas, se aplicó la corrección de Demarest (Demarest, 1983). También se presentan las curvas de variación secular con las líneas de declinación e inclinación de cada muestra, así como las líneas que permiten establecer las bandadas de error, una en la parte superior y la otra en la parte inferior de cada línea de declinación e inclinación y se resalta las intersecciones con la curva de variación secular con líneas perpendiculares (líneas verticales).

TP35-37	Cuadro 5.36	
Piso 3 CTO 313A	Declinación (°)	Inclinación (°)
TP35	206	55
TP36	191	57
TP37	57	20
Media	359.5	32
Intersección de planos MAD (°) 13.74		
		
Fechas Probables 55 ± 20 dC 42 ± 20 dC 108 ± 20 dC 398 ± 20 dC 540 ± 30 dC		

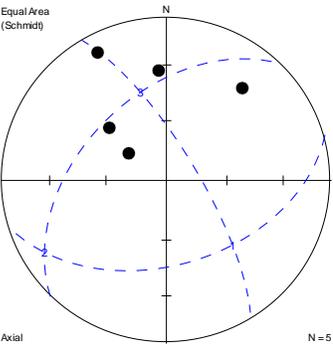


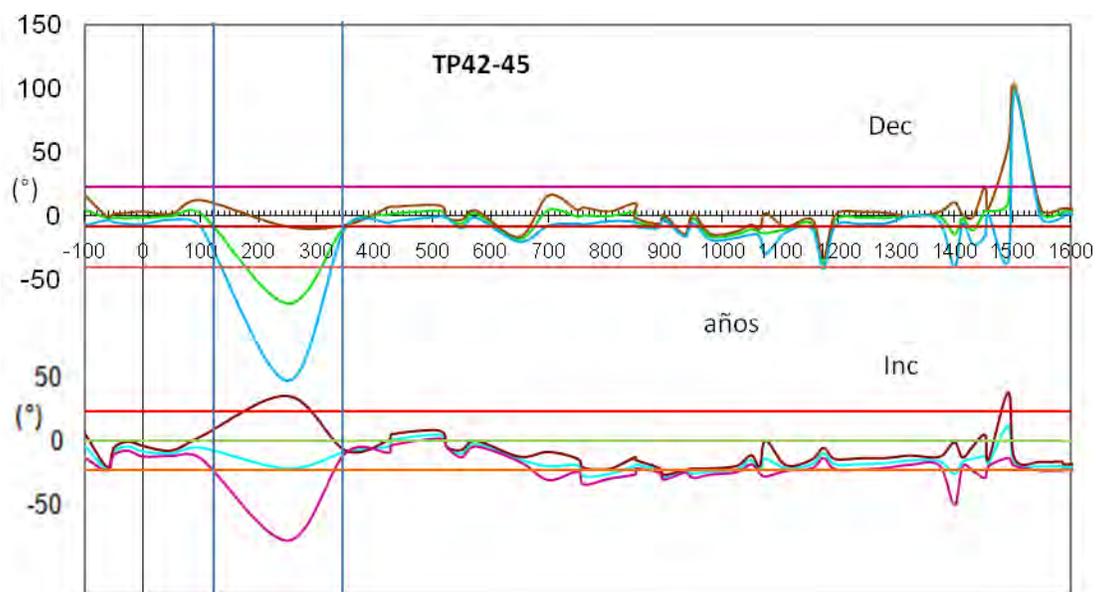
Grafica 5.1 Fechamiento de la muestra TP35-37

TP38-41	Cuadro 5.37	
Piso 4 CTO 284	Declinación (°)	Inclinación (°)
TP38	352	69
TP39	304	80
TP40	123	19
TP41	328	53
Media	332	68
Intersección de planos Mad (°) 9.52		
		
Fechas Probables Únicamente por declinación pues la inclinación es anómalamente alta 160 ± 20 dC 320 ± 20 dC		

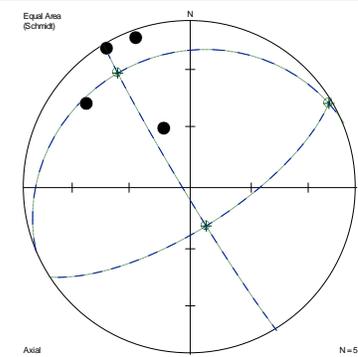


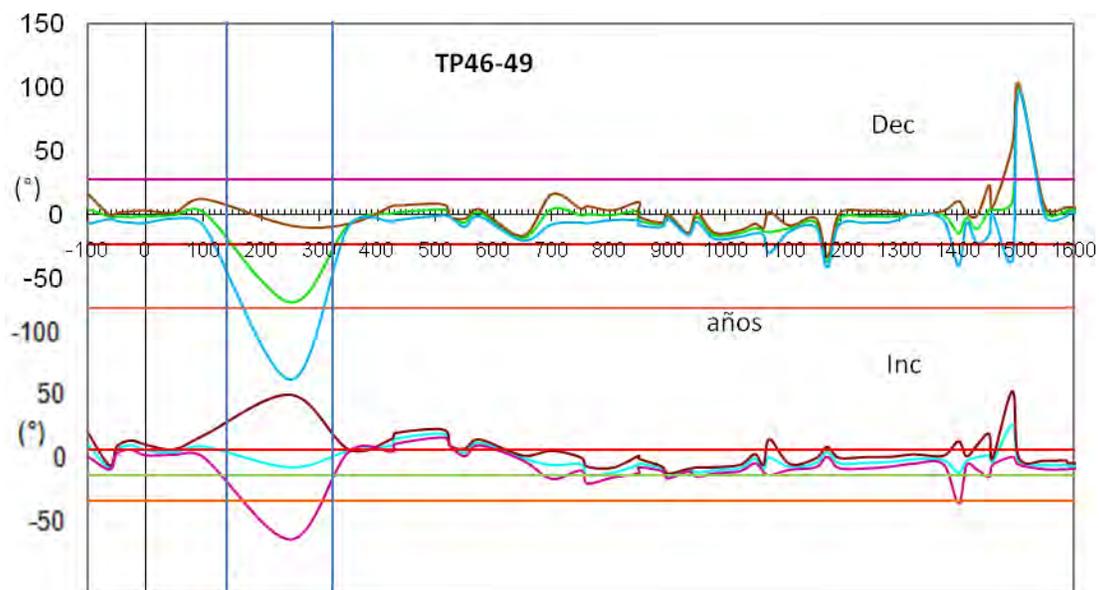
Grafica 5.2 Fechamiento de la muestra TP38-41

TP42-45	Cuadro 5.38	
Piso 3 E1 CTO 262 F	Declinación (°)	Inclinación (°)
TP42	313	51
TP43A	356	33
TP43B	306.2	66.8
TP44	39.1	27.7
TP45	332	12.3
Media	351	43
Intersección de planos MAD (°) 23.28		
		
Fechas Probables 125 ± 20 dC 345 ± 20 dC		

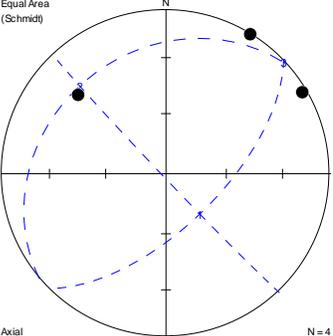


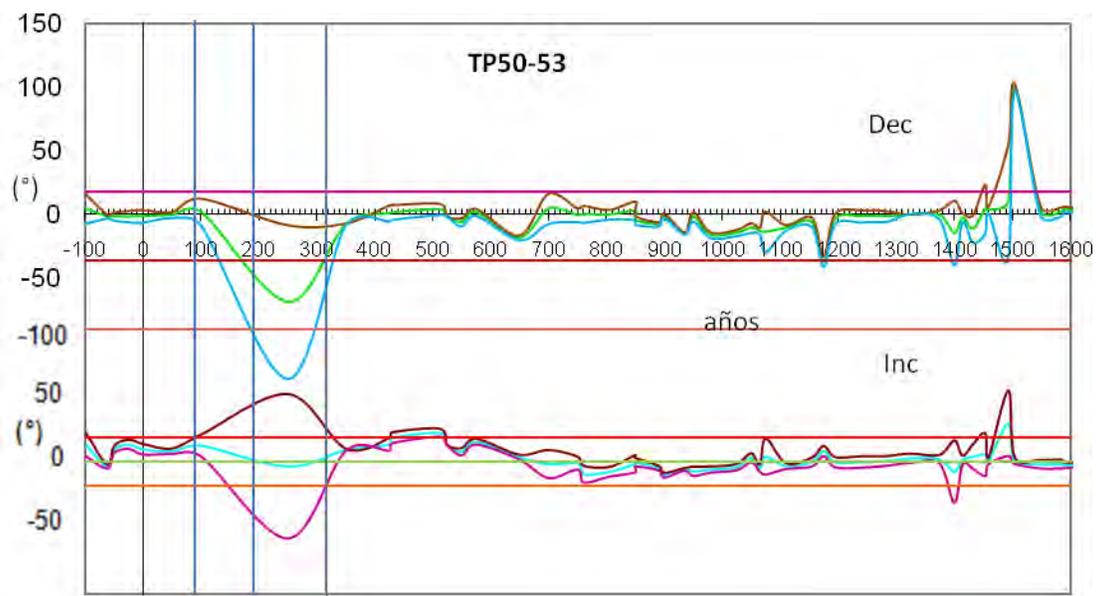
Grafica 5.3 Fechamiento de la muestra TP42-45

TP46-49	Cuadro 5.39	
Piso 4 E1 CTO 362 c	Declinación (°)	Inclinación (°)
TP46	16	6
TP47	309	21
TP48A	340	5
TP48B	329	3
TP49	336	32 ud
Media	336.5	15
Intersección de planos MAD (°) 20.0		
		
Fechas Probables 150 ± 40 dC 325 ± 20 dC		

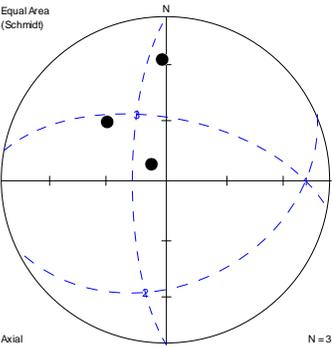


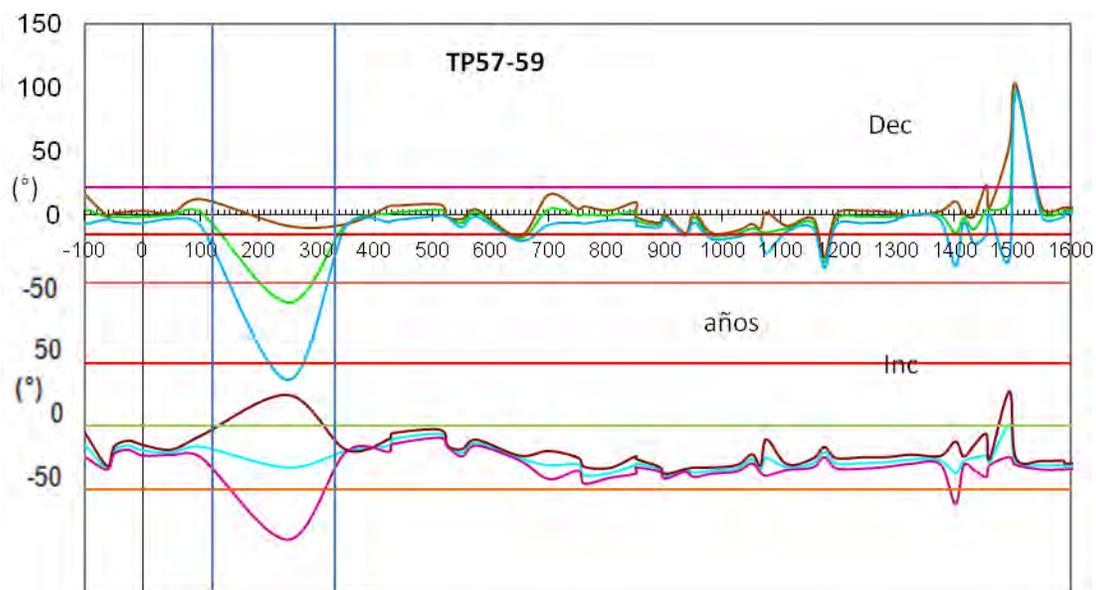
Grafica 5.4 Fechamiento de la muestra TP46-49

TP50-53	Cuadro 5.40	
Piso 4A E1 CTO 362 G	Declinación (°)	Inclinación (°)
TP50	20	79 NRM
TP51	31	1
TP52	312	29
TP53	59	4
Media sin Tp50	323.5	26
Intersección de planos MAD (°) 48.9		
		
Fechas Probables 175 ± 25 dC 310 ± 20 dC		

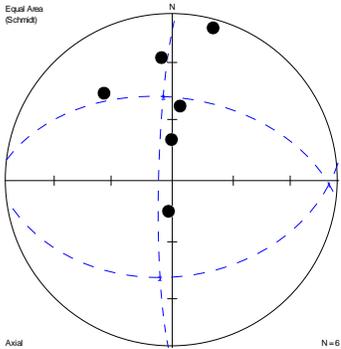


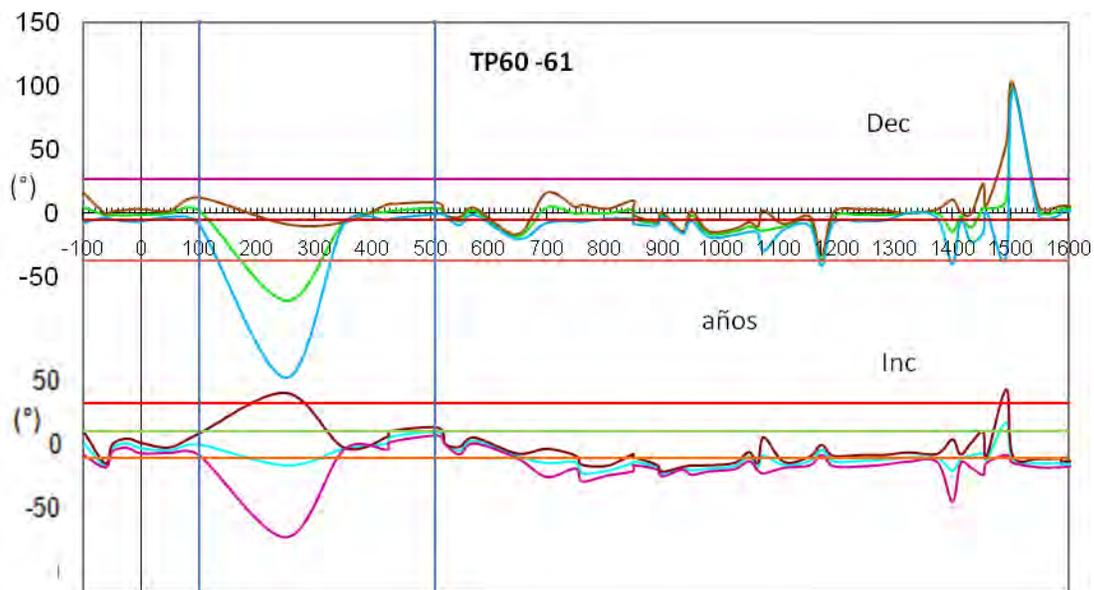
Grafica 5.5 Fecharamiento de la muestra TP50-53

TP57-59	Cuadro 5.41	
PISO 3 Cuarto 267	Declinación (°)	Inclinación (°)
TP57	318	79
TP58	315	49
TP59	358	27
Media	342.5	55
Intersección de planos MAD (°) 49.4		
		
Fechas Probables 120 ± 30 dC 330 ± 30 dC inclinación anómalamente alta		

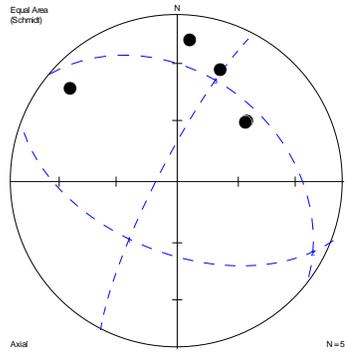


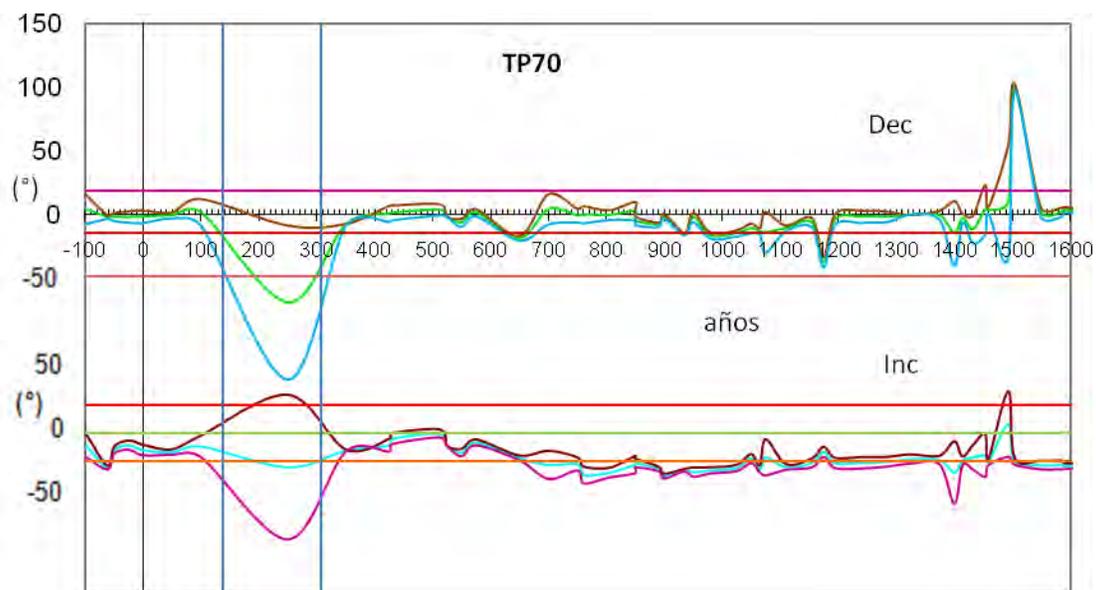
Grafica 5.6 Fechamiento de la muestra TP57-59

TP60-61		Cuadro 5.42
PISO 12 Cuarto 6	Declinación (°)	Inclinación (°)
TP60A	322	34
TP60B	187	75
TP60C	6	53
TP60D	359	70
TP61A	355	27
TP61B	15	6
Media sin A	1.5	48
Intersección de planos MAD (°) 21.50		
		
Fechas Probables 100 ± 20 dC 510 ± 30 dC		

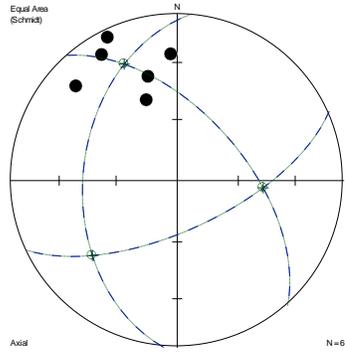


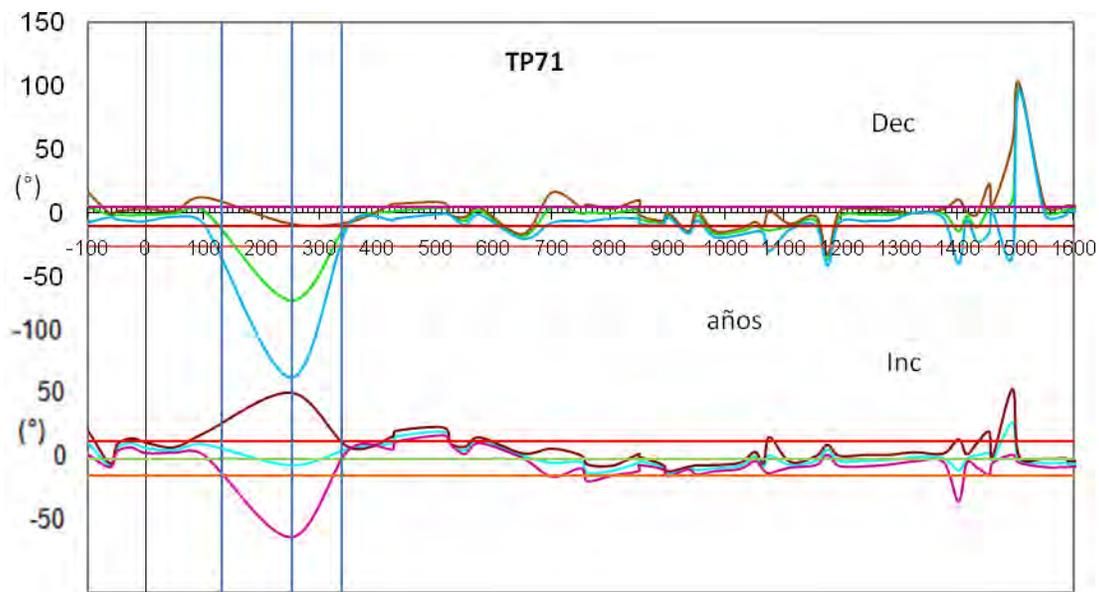
Grafica 5.7 Fechamiento de la muestra TP60-61

TP70		Cuadro 5.43
PISO 3 E1 Cuarto 254a	Declinación (°)	Inclinación (°)
TP70B	16.8	38.1
TP70D	48.8	44
TP70E	48.7	44.6
TP70G	5	16
TP70I	311	16
Media	318	37
Intersección de planos MAD (°) 22.4		
		
Fechas Probables 140 ± 30 dC 310 ± 40 dC		

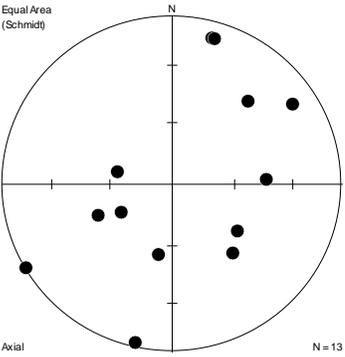


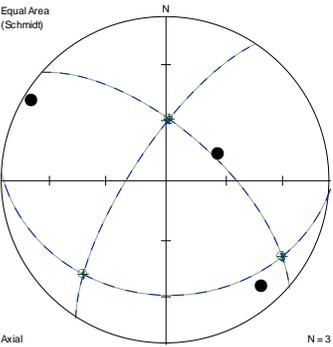
Grafica 5.8 Fechamiento de la muestra TP70

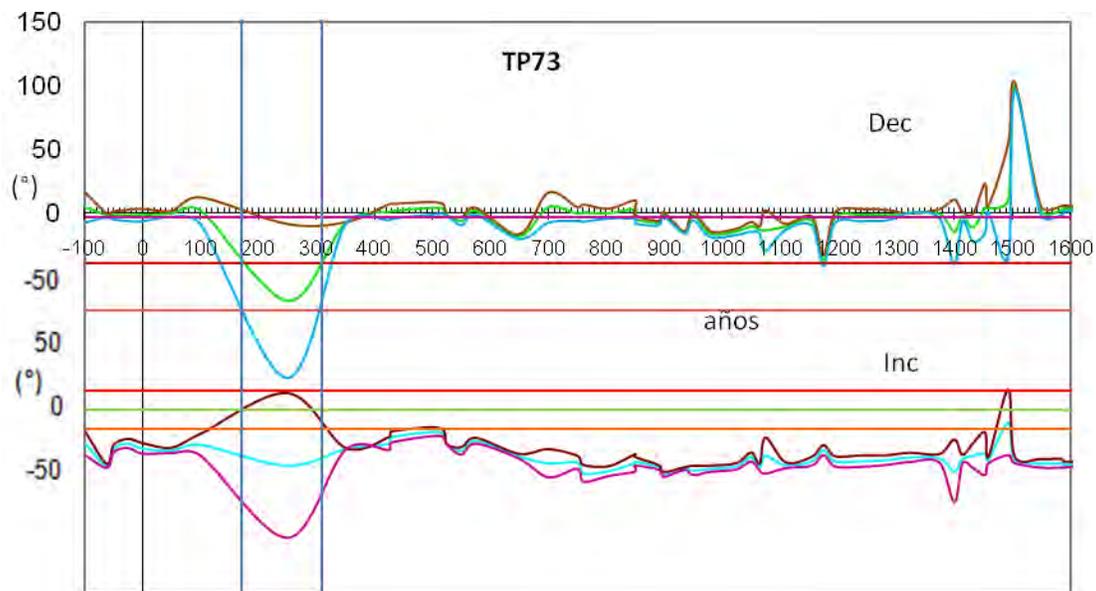
TP71		Cuadro 5.44
PISO 3 E1 Cuarto 262F	Declinación (°)	Inclinación (°)
TP71A	344.3	35.4
TP71B	329	13 ud
TP71C	357	25
TP71D	313	18
TP71E	339	47
TP71G	334	5
Media	343.5	24
Intersección de planos MAD (°) 13.65		
		
Fechas Probables 140 ± 20 250 ± 50 340 ± 20		



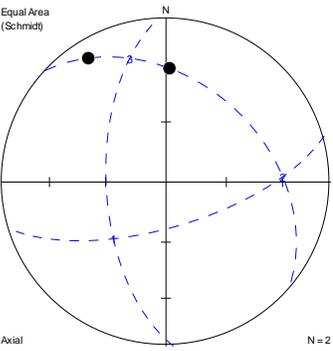
Grafica 5.9 Fechamiento de la muestra TP71

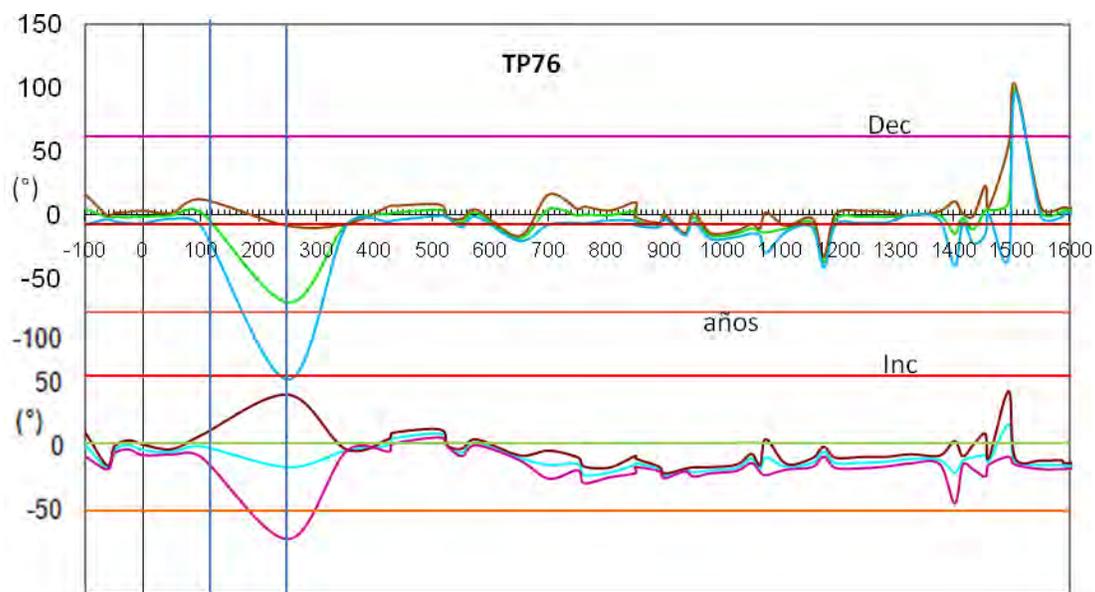
TP72		Cuadro 5.45
PISO 3 E1 Cuarto 313A	Declinación (°)	Inclinación (°)
TP72A	15	10.7
TP72B	56	16
TP72C	319	-45
TP72D	222	-34
TP72E	247	51
TP72F	61	-62
TP72G	283	63
TP72H	13	-4
TP72I	306	-51
TP72J	87	44
TP72K	16	11
TP72L	240	1
TP72M	11	-55
Media		
	No fue posible determinar una media	

TP73		Cuadro 5.46
PISO 6 E1 Cuarto 408F	Declinación (°)	Inclinación (°)
TP73A	301	5
TP73B	318	-14.7
TP73C	61.6	60.6
Media	3	59
Intersección de planos MAD (°) 15.37		
		
Fechas Probables 180 ± 20 dC 310 ± 20 dC		

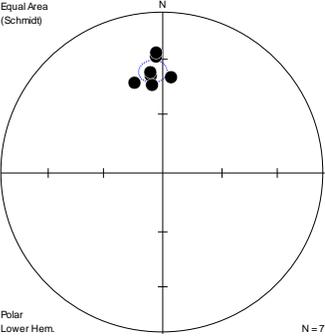


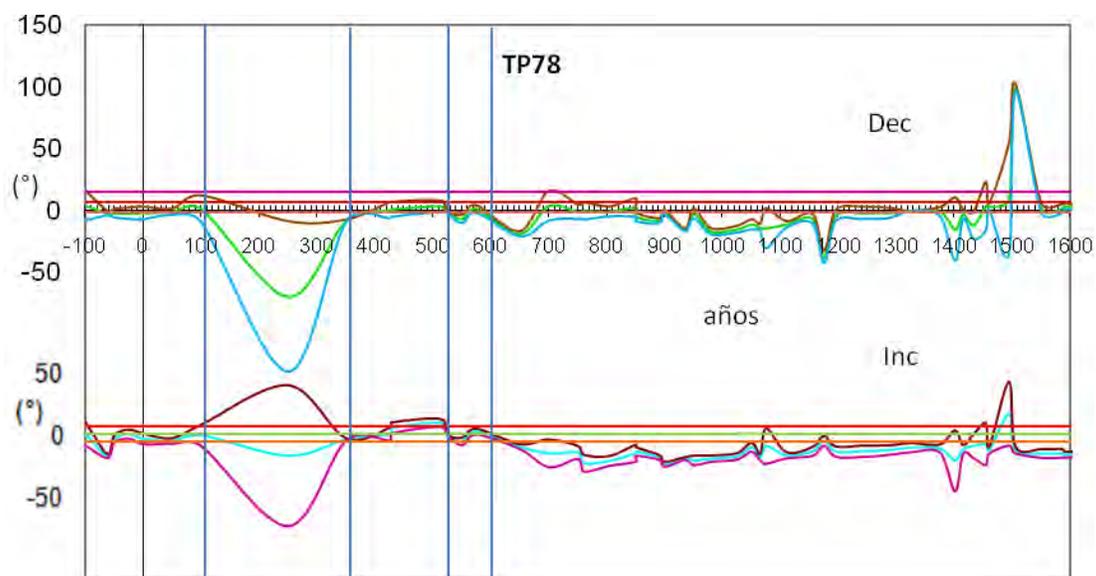
Grafica 5.10 Fechamiento de la muestra TP73

TP76		Cuadro 5.47
PISO3 C253C	Declinación (°)	Inclinación (°)
TP76A	1.7	31.3
TP76B	328	12
Media	352.5	23
Intersección de planos MAD (°) 53.06		
		
Fechas probables 120 ± 15 dC 250 ± 50 dC por inclinación		

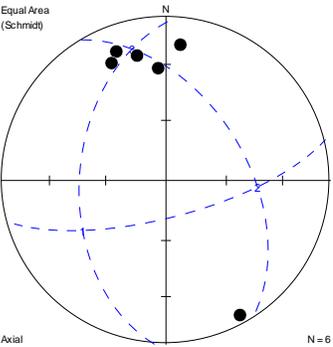


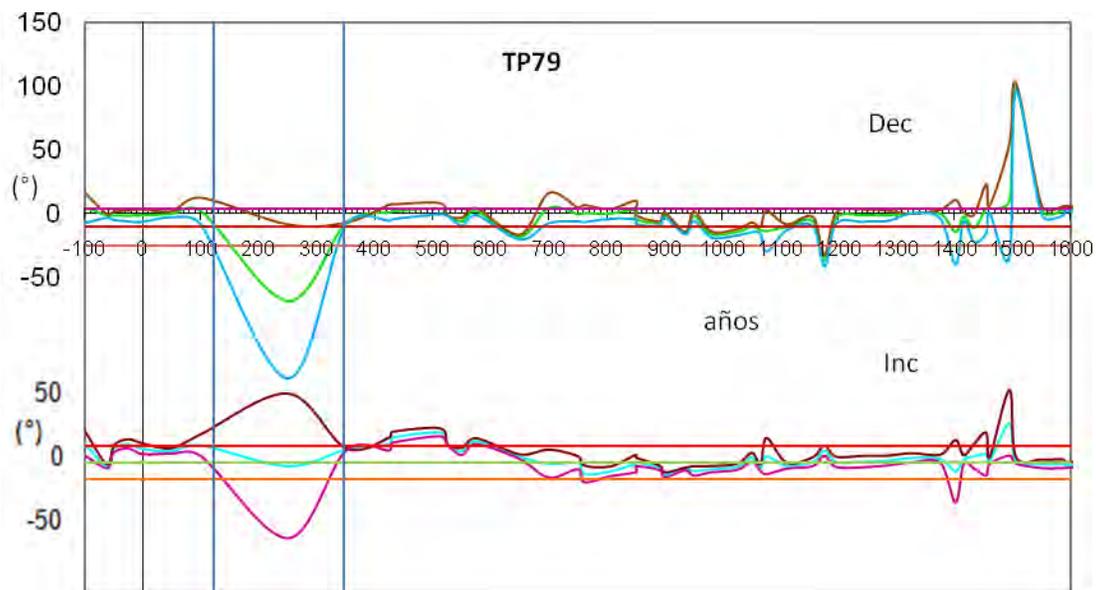
Grafica 5.11 Fechamiento de la muestra TP76

TP78		Cuadro 5.48
Piso4 E1 C181 B261	Declinación (°)	Inclinación (°)
TP78A*	30.6	41.7
TP78B	352.8	39.1
TP78C	356.7	28.3
TP78D	4.9	40.0
TP78F*	354.9	53.4
TP78G*	336.4	45.7
TP78H*	343.9	22.1
TP78I	342.7	40.9
TP78K	356.9	26
TP78M	353.1	44.1
TP78L	353	37
Media sin A,F,G,H	355.3	37.0
R=6.934 k=90.91 $\alpha 95=6.4$		
		
Fechas probables 110 ± 35 dC 360 ± 25 dC 565 ± 35 dC		

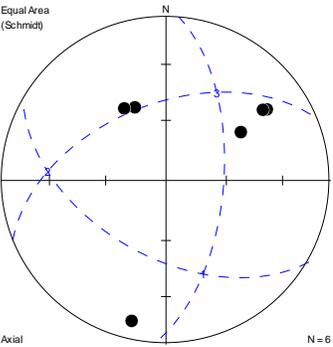


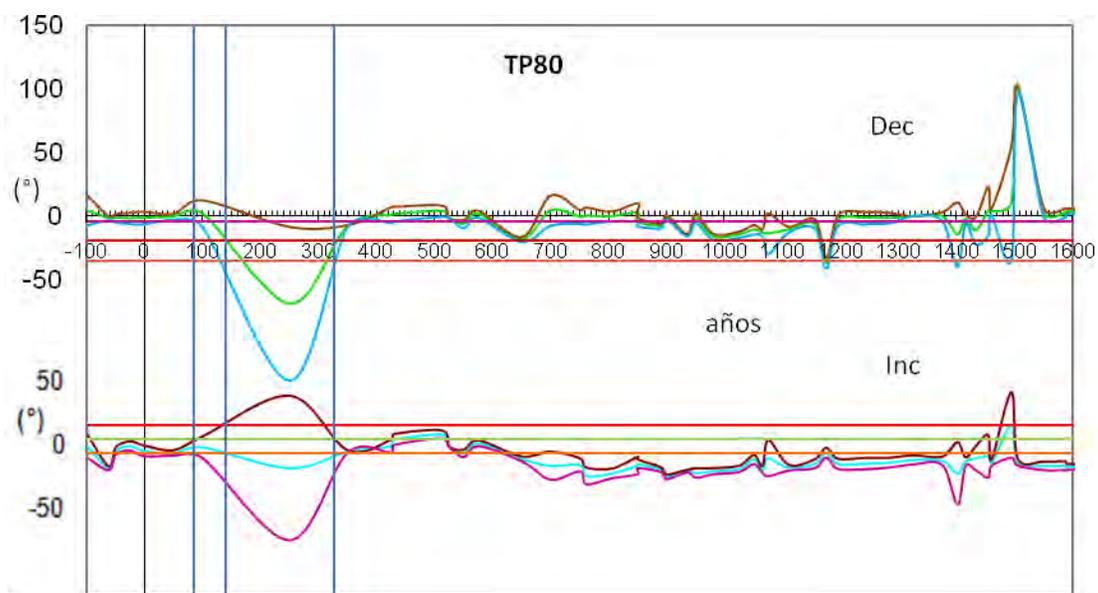
Grafica 5.12 Fechamiento de la muestra TP78

TP79		Cuadro 5.49
Piso5 E1 C308	Declinación (°)	Inclinación (°)
TP79B	339	17
TP79C	347	23
TP79D	331.3	-7.3
TP79E	335.2	22.3
TP79G	6	18
TP79H	356	42
Media sin D	354.5	13
Intersección de planos MAD (°) 13.26		
		
Fechas probables 125 ± 25 dC 350 ± 40 dC		



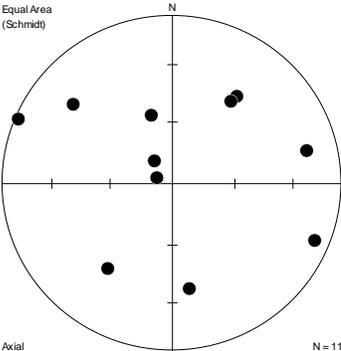
Grafica 5.13 Fechamiento de la muestra TP79

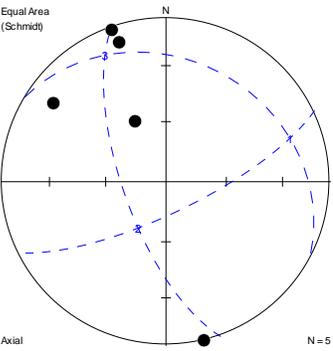
TP80		Cuadro 5.50
Piso5 E1 C313B	Declinación (°)	Inclinación (°)
TP80A	13.7	-13
TP80B	337	50
TP80D	57.4	44.7
TP80F	54.7	25.9
TP80G	233.8	-28
TP80H	330	48
Media	30	38
Intersección de planos MAD (°) 11.175		
		
Fechas probables 90 ± 20 dC 140 ± 20 dC 330 ± 20 dC		

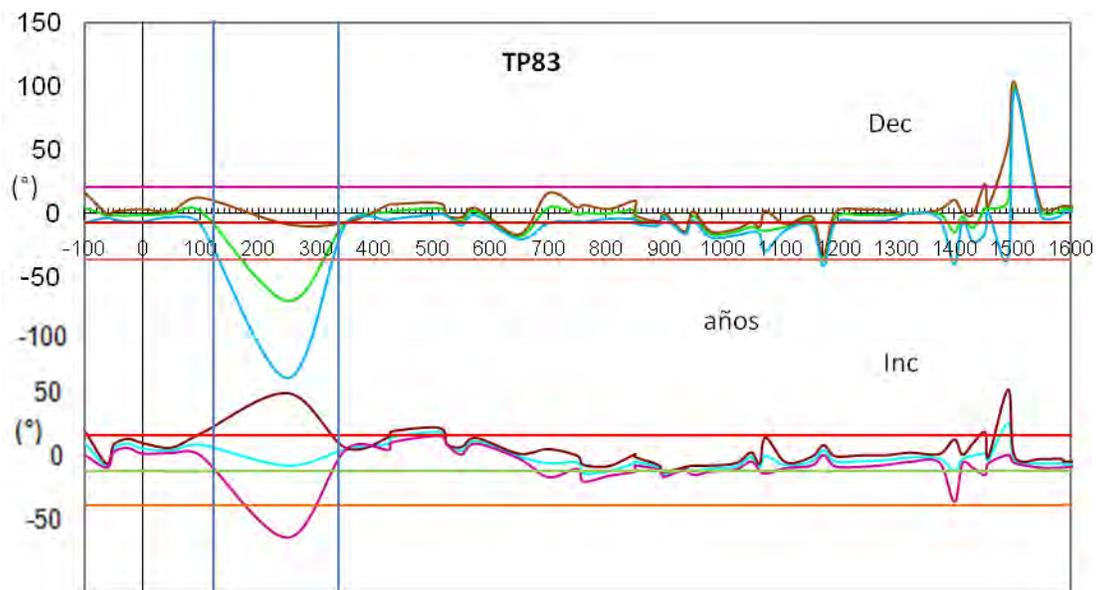


Grafica 5.14 Fechamiento de la muestra TP80

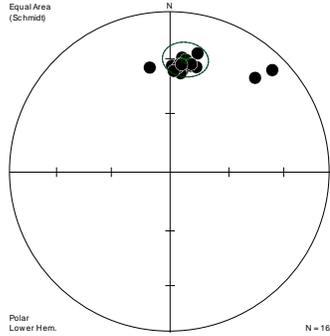
TP81		Cuadro 5.51
Piso5 E1 C313B	Declinación (°)	Inclinación (°)
MUESTRA SIN NORTE		

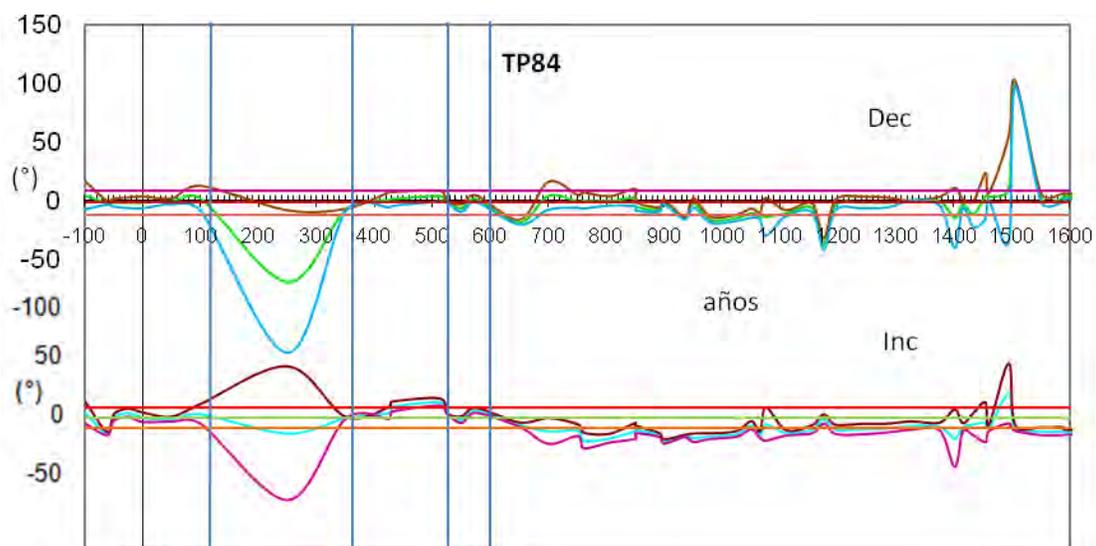
TP82		Cuadro 5.52
Piso2 E1 C167	Declinación (°)	Inclinación (°)
TP82A	342.9	55.4
TP82B	309	26
TP82C	112	10.8
TP82E	292.8	1.8
TP82F	36	35.5
TP82G	171.1	36.7
TP82J	217	36.7
TP82K	291.1	81.7
TP82L	76.1	19.7
TP82M	35.3	39.8
TP82O	322.2	76.1
Media		
<p>Equal Area (Schmidt)</p>  <p>Axial</p> <p>N = 11</p>	No fue posible determinar media	

TP83		Cuadro 5.53
Piso3 E1 C267	Declinación (°)	Inclinación (°)
TP83A	305	17.7
TP83B	346.6	-0.8
TP83C	333	56
TP83E	341.5	11.4
TP83F	340.4	2.1
Media	342.5	16
Intersección de planos MAD (°) 27.48		
		
Fechas probables 120 ± 30 dC 335 ± 20 dC		inclinación anómalamente baja

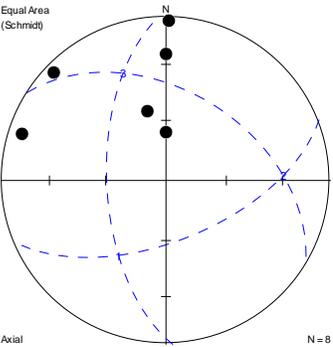


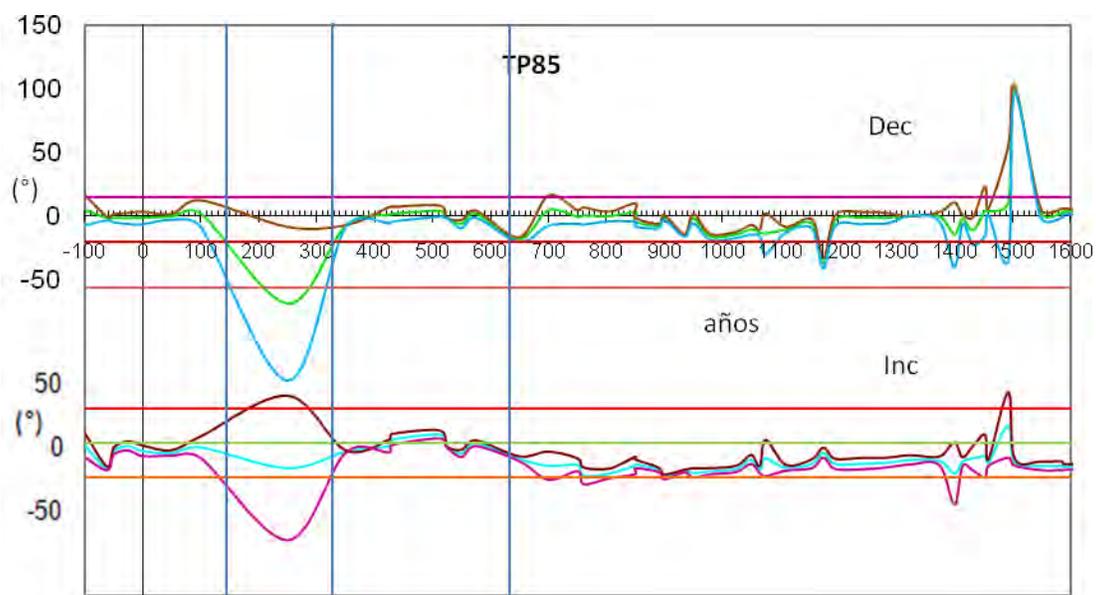
Grafica 5.15 Fechamiento de la muestra TP83

TP84		Cuadro 5.54
Piso2 E1 C213A	Declinación (°)	Inclinación (°)
TP84A	11.2	23.4
TP84B	355.6	36.8
TP84C	5.1	38.6
TP84D	10.2	35.4
TP84E	2.0	39.5
TP84G	3.0	36.3
TP84H	306.2	-23.2
TP84J	1.5	41.6
TP84L	0.2	39.6
TP84N	346.7	36.1
TP84O	352.1	41.9
TP84P	9.7	37.7
TP84Q	9.5	35
TP84R	0.1	35.8
Media	358.3	34.3
R=13.1 k=14.49 $\alpha_{95}=8.64$		
		
Fechas probables 120 ± 20 dC 360 ± 20 dC 565 ± 35 dC		



Gráfica 5.16 Fechamiento de la muestra TP84

TP85		Cuadro 5.55
Piso12 E1 C6	Declinación (°)	Inclinación (°)
TP85A	0	24
TP85B	288	9
TP85C	345	54
TP85E	2	6
TP85G	319	3
TP85I	0	66
Media	345.5	30
Intersección de planos MAD (°) 26.78		
		
Fechas probables 150 ± 40 dC 330 ± 30 dC 640 ± 40 dC		



Grafica 5.17 Fechamiento de la muestra TP85

TP86		Cuadro 5.56
Piso3A E1 C262C	Declinación (°)	Inclinación (°)
NO FUE POSIBLE MUESTREAR		

Para realizar el fechamiento de las distintas muestras fue necesario primero realizar el análisis estadístico correspondiente a cada una de ellas, las muestras que presentaron un agrupamiento en las medias de cada uno de los especímenes que las componen, fueron sometidas a la estadística Fisher, obteniendo así una media para la declinación e inclinación de la muestra con un parámetro estadístico $\alpha 95$ (ej. TP84 cuadro 5.54), con base a este parámetro estadístico se realizó el cálculo de las bandas de error de dichas medias; mientras que para las muestras que no presentan un agrupamiento en las medias de cada espécimen (ej. TP60 y TP61 cuadro 5.42), fueron sometidas a la técnica de intersección de planos para determinar las direcciones medias, es decir, las medias de la declinación e inclinación de cada muestra, tomando en cuenta el parámetro estadístico correspondiente a esta técnica MAD (ángulo medio de dispersión), el cual es útil para calcular las bandas de error de las direcciones medias muestrales.

Es así como una vez obtenidas las direcciones medias muestrales es posible realizar la intersección de éstas con la curva de variación secular para Mesoamérica y obtener las posibles fechas, esto es precisamente lo que se realizó y se presenta en cada una de las gráficas de este capítulo. En general para cada una de las muestras medidas se presentan más de una fecha probable esto debido a la peculiar forma que toma la curva de variación secular, en la tabla 5.2 se presentan las fechas arqueomagnéticas más probables obtenidas en este trabajo con ayuda de la estratigrafía del sitio y siendo estas las más aceptadas por la Dra. Linda R. Manzanilla arqueóloga encargada de la zona de Teopancazco, Estado de México.

En la tabla 5.3 se presentan las muestras que tienen relación por ser extraídas del mismo cuarto, piso y estructura, esto con el fin de encontrar un comportamiento similar entre ambas muestras.

Tabla 5.2 Fechas Arqueomagnéticas

Muestras	Fecha arqueomagnética	Fechas carbono 14	Ubicación	Comentario
TP35-37	108 ± 20 d.C.		CTO 313A PISO 3	Piso Miccaotili
TP38-41	320 ± 20 d.C.		CTO 284 PISO 4	Tlamimilolpa
TP42-45	345 ± 20 d.C.	250 ± 40 d.C.	E1 CTO 262F PISO 3	Final Tlamimilolpa Transición Xolalpan
TP46-49	150 ± 40 d.C.		E1 CTO 362C PISO 4	Fundación del barrio No quemado
TP50-53	170 ± 25 d. C.		E1 CTO 362G PISO 4A	No quemado
TP57-59	330 ± 30 d.C.		E1 CTO 267 PISO 3	Final Tlamimilolpa No quemado
TP60-61	510 ± 30 d.C.		E1 CTO 6 PISO 12	Xolalpan tardío
TP70	310 ± 40 d.C.		E1 CTO 254A PISO 3	Tlamimilolpa No quemado
TP71	340 ± 20 d.C.	250 ± 40 d.C.	E1 CTO 262F PISO 3	Xolalpan temprano Quemado
TP72	NO FUE POSIBLE		CTO 313A PISO 3	No fue posible
TP73	180 ± 20 d.C.		E1 CTO 408F PISO 6	Inicio Tlamimilolpa No quemado
TP76	250 ± 50 d.C.		CTO 253A PISO 3	Quemado
TP78	360 ± 25 d.C.	270 ± 30 d.C. 300 ± 30 d.C.	E1 CTO 181 B261 PISO 4	No quemado
TP79	350 ± 40 d.C.		E1 CTO 308 PISO 5	Renovación Xolalpan
TP80	90 ± 20 d. C.		E1 CTO 313B PISO 5	Final Tzacualli
TP81	NO TIENE NORTE		E1 CTO 313B PISO 5	
TP82	GRAN DISPERSIÓN		E1 CTO 167 PISO 2	
TP83	335 ± 25 d. C.		E1 CTO 267 PISO 3	Final Tlamimilolpa No quemado
TP84	360 ± 20 d. C.		E1 CTO 213A PISO 2	Renovación urbana Inicio de Xolalpan
TP85	330 ± 30 d.C.		E1 CTO 6 PISO 12	
TP86			E1 CTO 262C PISO 3A	No se pudo muestrear

La tabla 5.2 muestra en los comentarios el período cronológico al que corresponden y las fechas arqueomagnéticas más aceptadas para cada muestra; cabe señalar que para las muestras TP42-45, TP 71 y TP78 existe un registro de fechas de Carbono 14 (Beramendi-Orosco *et al.*, 2009), siendo éstas de 250 d.C., 250 d.C. y 270-300 d.C. respectivamente; las dos primeras son iguales ya que ambas muestras están ubicadas en la misma estructura, cuarto y piso; la última presenta dos fechas debido a que existen dos muestras de Carbono 14. Las fechas aquí obtenidas no concuerdan con dichas fechas ya que en los tres casos las fechas por Carbono 14 son más tempranas que las obtenidas arqueomagnéticamente, estas últimas respaldadas estratigráficamente.

Para las muestras TP72, TP81, TP82 y TP86 no fue posible obtener fecha alguna, por distintos factores; en particular la muestra TP72 presentó una gran dispersión y un número considerable de los especímenes que la componían, presentaban una inclinación negativa, algo inusual para estas latitudes. La muestra TP81 no fue extraída adecuadamente, ya que no se tomó la orientación del Norte actual por lo que quedó inservible para este tipo de estudio. La muestra TP82 también presentó una gran dispersión por lo que no fue posible obtener la dirección media. Por último la muestra TP86 sólo existe en los registros ya que no fue posible extraer la muestra física; por tal motivo se reporta en este trabajo sin especímenes.

Tabla 5.3 Muestras de un mismo piso.

Muestras	Fecha arqueomagnética	Fechas carbono 14	Ubicación	Comentario
TP35-37	108 ± 20 d.C.		CTO 313A PISO 3	Piso Miccaotili
TP72	NO FUE POSIBLE		CTO 313A PISO 3	No fue posible
TP42-45	345 ± 20 d.C.	250 ± 40 d.C.	E1 CTO 262F PISO 3	Final Tlamimilolpa Transición Xolalpan
TP71	340 ± 20 d.C.	250 ± 40 d.C.	E1 CTO 262F PISO 3	Xolalpan temprano Quemado
TP57-59	330 ± 30 d.C.		E1 CTO 267 PISO 3	Final Tlamimilolpa No quemado
TP83	335 ± 25 d. C.		E1 CTO 267 PISO 3	Final Tlamimilolpa No quemado
TP60-61	510 ± 30 d.C.		E1 CTO 6 PISO 12	Xolalpan tardío
TP85	330 ± 30 d.C.		E1 CTO 6 PISO 12	
TP80	90 ± 20 d. C.		E1 CTO 313B PISO 5	Final Tzacualli
TP81	NO TIENE NORTE		E1 CTO 313B PISO 5	

De las muestras que presenta relación debido a que fueron extraídas del mismo sitio tenemos a TP35-37 con TP72, a TP42-45 con TP71, a TP57-59 con TP83, a TP60-61 con TP85 y a TP80 con TP81; podemos decir que para la primera pareja no fue posible encontrar fechas iguales, debido a que no contamos con un fecha para TP72, para la segunda pareja podemos decir que ambas fechas coincidieron con 345 ± 20 d.C. y 340 ± 20 d.C. respectivamente; caso similar para la tercer pareja con fechas de 330 ± 30 d.C. para TP57-59 y 335 ± 25 d. C. para TP83, pero caso contrario para la cuarta pareja ya que las dos fechas son distintas 510 ± 30 d.C. para TP60-61 y 330 ± 30 d.C. para TP85 la diferencia se debe a que TP60-61 es muestra quemada y TP85 no lo es, entonces podemos suponer que las dos fechas obtenidas corresponde a la de construcción del piso para la muestra TP85 y la última quema correspondiente a TP60-61; mientras que para la última pareja tampoco fue posible encontrar fechas similares debido a los problemas técnicos ya mencionado de TP81 que impidieron encontrar fecha alguna para ésta.

En la tabla 5.4 se presentan los resultados obtenidos en los trabajos previos correspondientes al sitio de interés, realizados por Y. Hueda (Hueda, 2000), M. Rodríguez (Rodríguez, 2003) y E. Romero (Romero, 2008), se presentan la fechas más aceptadas reportadas en las distintas tesis, ya sea por coincidencia con las fechas respectivas de Carbono 14 o por estratigrafía.

La tabla 5.4 presentada a continuación nos permite comparar la muestra TP78 de este trabajo, con las muestras TP30-31 y TP32-34 del trabajo realizado por Romero (2008), esto debido a que corresponden al mismo piso y cuarto; podemos darnos cuenta que la fecha obtenida para TP78 entra en el intervalo de incertidumbre de la fecha correspondiente a la muestra TP32-34 y al compararla con la TP30-31 podemos darnos cuenta que es más temprana, que concuerda con que TP30-31 es muestra quemada.

Otra muestra que coincide con las presentadas en 5.4 es la TP82 pero por los problemas de dispersión que presenta, no es posible mencionar comparación alguna.

Tabla 5.4 Resultados obtenidos en otros trabajos.

Muestras	Tesis	Fecha arqueomagnética	Ubicación	Comentario
TP30-31	TE	420 ± 20 d.C.	CTO 181B 261 PISO 4	Ritual de Terminación Xolalpan temprano
TP32-34	TE	375 ± 25 d.C.	CTO 181B 261 PISO 4	Piso no quemado
TP54- 56	TE	NO FUE POSIBLE	E1 CTO 367 PISO 4	
TP74	TE	520 ± 20 d.C.	E1 CTO 167 PISO 2	Quemado
TP75	TE	320 d. C.	E1CTO162C PISO 2	No quemado Gran dispersión
TP77	TE	425 ± 20 d.C	E1 C 262E PISO 2	Renovación de piso Xolalpan tardío
T4	TM	360 ± 20 d. C.	Piso templo Piso 1	Xolalpan Piso no quemado
TP2	TY	350 ± 40 d. C	E1C206 P13 N458E91	Piso quemado Ritual de terminación AA 37 y 37B
TP3	TY	575 ± 10 d. C.	E1C14 P3 N435E87	Piso quemado R7 y R5
TP6	TY	425 ± 40 d. C.	E1C25 P5 N440E90	No quemado Final de Xolalpan Temprano Inicio de Xolalpan tardío
TP7	TY	950 ± 50 d. C.	E1C53P1 N464E108	Posible reocupación Mazapa por material cerámico
TP8	TY	1415± 10 d. C.	E1C53 P1 N464E107	Quemado Reocupación Azteca por vasijas
T1	TM	535 ± 15 d. C.	Cto154- 160 Piso 2	Quemado
T2	TM	570 ± 20 d.C.	Cto 153 Piso 2	Quemado

TY Tesis Yuki Hueda 2000

TM Tesis María Rodríguez 2003

TE Tesis Esmeralda Romero 2008

6.-CONCLUSIONES

Las muestras arqueomagnéticas presentadas en este trabajo fueron obtenidas en Teopancazco, un centro de barrio de la zona arqueológica de Teotihuacán, ubicada en el Estado de México; las muestras presentan una gran diversificación debido a que fueron obtenidas de distintos cuartos y pisos que conforman el barrio.

En cuanto a las características de las muestras, podemos hablar de su comportamiento, dividiéndolas en dos tipos: las que presentaron agrupamiento, es decir, las que fueron sometidas a la estadística Fisher y las que no presentan agrupamiento, sometidas a la técnica de intersección de planos; de esta forma fue posible obtener para cada muestra una declinación y una inclinación medias, de tal forma que, con la ayuda de la curva de variación secular para Mesoamérica, fue posible obtener las fechas correspondientes.

Otra característica importante de las muestras es, si éstas se encuentran quemadas o no. Las muestras quemadas en general presentan un α_{95} menor a 10° o un MAD en su caso, menor a 25.7° , valor promedio de las muestras no quemadas¹⁶. Lo anterior lo podemos corroborar en los resultados correspondientes a cada espécimen (Cuadros 5.37, 5.38, 5.44 y 5.49), muestras TP38-41, TP 42-45, TP71 y TP79. La única muestra quemada que tiene un MAD anómalamente alto es TP76 cuadro 5.47, pero esta situación inusual es debida a que la muestra sólo cuenta con dos especímenes. Las muestras no quemadas presentan un MAD mayor debido a las propias características a través de las cuales la muestra obtuvo su magnetización.

Las muestras TP78 y TP84 a pesar de ser descritas como no quemadas (Tabla 5.1) presentan el comportamiento de muestra quemada, por dos razones: la primera porque ambas muestras presentan agrupamiento y fueron analizadas a través de la estadística Fisher y la segunda porque ambas muestras presentan una intensidad en la magnetización mayor a las demás. Tanto al ser tomadas como al ser preparadas, no presentan evidencias de haber sido expuestas al fuego y por tanto la posible razón de dicho comportamiento es que en la preparación del estuco se haya incluido una mayor cantidad de minerales magnéticos.

Es importante mencionar que las fechas presentadas en la tabla 5.2 son las fechas más aceptadas pues corresponden con la posición estratigráfica; de un total de 21 muestras, fue posible obtener 17 fechas. Para todas las muestras fechadas fue posible encontrar una fecha dentro de la temporalidad del sitio, que va desde 90 d.C. con la muestra TP80 hasta 510 d.C. con la muestra TP60-61, pasando por los periodos Tzacualli, Miccoatlí, Tlamimilolpa, Xolalpan temprano y Xolalpan tardío, así como un periodo de transición entre Tlamimilolpa y Xolalpan temprano.

¹⁶ Sin TP78 ni TP84 que muestran un comportamiento propio de muestras quemadas.

Es importante mencionar también que no se encontraron fechas que coincidieran con las reportadas de Carbono 14, ya que en general éstas son más tempranas que las obtenidas aquí, pero sí fue posible encontrar coincidencia de fechas dentro de muestras distintas pero con la misma ubicación; tal es el caso de TP42-45 con TP71 con fechas de 345 ± 20 d.C. y 340 ± 20 d.C. respectivamente, al igual que TP57-59 con TP83 con fechas de 330 ± 30 d.C. para TP57-59 y 335 ± 25 d. C. para TP83, lo cual es un parámetro confianza a la técnica de desarrollada, una excepción es la muestra TP85 que presenta una fecha más temprana que la que presenta la muestra TP60-61, ambas del mismo piso, por lo cual podríamos pensar que deberían de tener fechas similares, lo que no sucede debido a que la muestra TP60-61 presenta signos de quema, esto nos permite entender el porqué de la diferencia en la fechas; debido a que las muestras quemadas guardan la magnetización de la última quema es correcto pensar que estas presentan fechas más tardías en comparación con muestras del mismo sitio no quemadas.

Otra comparación que pudimos realizar, fue con los resultados obtenidos por Esmeralda Romero (Romero, 2008), presentados en la tabla 5.4, permitiéndonos comparar la muestra TP78 de este trabajo, con las muestras TP30-31 y TP32-34, debido a que corresponden al mismo sitio, es decir, comparten el mismo piso y cuarto del cual fueron extraídas, así obtuvimos una fecha similar a la fecha de TP32-34 y una fecha más temprana con respecto a la fecha de TP30-31 algo consistente, debido a que esta última es muestra quemada.

Los resultados obtenidos muestran de nueva cuenta que el arqueomagnetismo es una buena técnica para el fechamiento de los sitios arqueológicos.

Los resultados obtenidos además de ser una contribución para la cronología de Teopancazco en particular y más en general de Teotihuacán, también lo son para el conocimiento del campo geomagnético en Mesoamérica ya que cuenta con el soporte de fechamientos de Carbono 14.

BIBLIOGRAFÍA

Beramendi-Orosco, L.E., et al.

2008 *High-resolution chronology for the Mesoamerican urban center of Teotihuacan derived from Bayesian statistics of radiocarbon and archaeological data*, *Quaternary Research* (2008), 9 pp. doi:10.1016/j.yqres.2008.10.003.

Butler, R..

1992 *Paleomagnetism: Magnetic Domains to Geologic terranes*, Blackwell, Boston, 319 pp.

Bucha, V., R. E. Taylor, R. Bergen y E. W. Haury

1970 Geomagnetic Intensity: Changes during the Past 3000 years in Western Hemisphere, *Science*, v. 168, pp. 111-114.

Demarest, H.

1983 “Error Analysis for the determination of tectonic rotation from paleomagnetic data” en *Journal of Geophysical Research*, v.88 pp.4321-4328.

Dunlop, D.J.,

1995 *Magnetism in Rocks*. J. Geophys. Res., 100, 2161-2174

Dunlop, D. J. y Özden Özdemir

1997 *Rock Magnetism*, Cambridge, Gran Bretaña, Cambridge University Press.

Eighmy, J. L.

1990 “Archeomagnetic Dating: Practical Problems for the Archeologist”, en Eighmy, Jeffrey L. y Robert S. Sternberg (eds.), *Archeomagnetic Dating*, Tucson, EUA, The University of Arizona Press, pp. 33-64.

Estado de México

2007 “Estado de Mexico Municipios del Estado de México”,
<http://www.estadodemexico.com.mx/turismo.item.1/teotihuacan.html>

Fisher, R.A.

1953 “Dispersion on a sphere”, en *Proceedings of the Royal Society*, v.A.217, pp. 295-305.

Gómez Chávez, Sergio

2000 *La Ventilla. Un barrio de la antigua ciudad de Teotihuacan*, tesis de licenciatura en arqueología, Escuela Nacional de Antropología e Historia, México.

Gómez Chávez, Sergio, Julie Gazzola y Jaime Núñez Hernández

2004 Nuevas ideas sobre el juego de pelota en Teotihuacan”, en María Elena Ruiz Gallut y Arturo Pascual Soto (eds.), *La costa del Golfo en tiempos teotihuacanos: propuestas y perspectivas. Memoria de la Segunda Mesa Redonda de Teotihuacan*, Instituto Nacional de Antropología e Historia, México, pp. 165-199.

Griffiths, D.

1999 *Introduction to Electrodynamics*, Prentice Hall, EUA, pp. 255-278.

Guerrero, X.

2003 Análisis arqueomagnético de estucos del Valle de México, Tesis de licenciatura en Física, Facultad de Ciencias, UNAM, México D.F., México.

Hueda, Y.

2000 *Fechamiento arqueomagnético de estuco de los sitios de Teopancazco, Teotihuacán y Templo Mayor, Tenochtitlan*. Tesis de licenciatura en Arqueología, ENAH, México D.F. México.

Hueda, Y., A.M. Soler-Arechalde, J. Urrutia-Fucugauchi, L. Barba, L. Manzanilla, M. Rebolledo-Vieyra y A. Goguitchaichvili

2004 “Arqueomagnetic studies in central Mexico – Dating of Mesoamerican limeplasters”, en *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, v. 147, pp. 269-283.

Irving, E.

1964 *Paleomagnetism and its application to geological and geophysical problems*, Nueva York, EUA, John Wiley & Sons, Inc. Cap. 2.

Latham, A.G., D.C. Ford, H.P. Schwarz y T. Birchall

1989 “Secular variation from Mexican stalagmites: their potential problems”, en *Physics of the Earth and planetary Interiors*, v.56, pp. 34-48.

López, Verónica

2008 *Fechamientos Arqueomagnéticos en Chapultepec. Evidencia de presencia Teotihuacana*, Tesis de licenciatura en Física, Facultad de Ciencias, UNAM, México D.F., México.

Manzanilla, L.

1997 “The impact of climatic change on past civilizations. A revisionist agenda for further investigation”, *Quaternary International* 43-44, Elsevier, Maryland Heights, pp.153-159.

Manzanilla, L.

2000 “Noticias. Hallazgo de dos vasijas policromas en Teopancazco, Teotihuacán”. *Arqueología Mexicana* VII, v. 80.

Manzanilla, L.

2000a “Living with the ancestors and offering to the gods: Domestic ritual at Teotihuacan”, en Plunket, P. [Editor]. *Domestic ritual in Ancient Mesoamerica*, Monograph 46. The Cotsen Institute of Archeology. Los Angeles, EUA, University of California at Los Angeles, pp. 43-52.

Manzanilla, L.

2003 “El proceso de abandono de Teotihuacán y su reocupación por grupos epiclásicos”. *Trace. Abandono de asentamientos prehispánicos*. CEMCA. México, Junio, v. 43, pp. 70-76.

Manzanilla, L.

2006 Estados corporativos arcaicos. Organizaciones de excepción en escenarios excluyentes. *Cuicuilco* 13(36)(enero-abril), ENAH, Mexico, pp. 13-45.

Manzanilla, L.

2006a “La producción artesanal en Mesoamérica”, en *Arqueología Mexicana*, núm. 80, julio-agosto, pp. 28-35.

Manzanilla, L.

2007 *Las “casas” nobles de los barrios de teotihuacan, estructuras exclusionistas en un entorno corporativo*, Memoria 2007 de El Colegio Nacional pp. 485-502.

Manzanilla, L.

2009 “Nuevos datos sobre la cronología de Teotihuacán. Correlación de técnicas de fechamiento” en *Cronología y Periodización de Mesoamérica y el Norte de México. V Coloquio Bosch Gimpera*, Annick Daneels [Editor], Instituto de Investigaciones Antropológicas, UNAM.

Manzanilla, L.

2009a “Corporate Life in Apartment and Barrio Compounds at Teotihuacan, Central. Craft Specialization, Hierarchy, and Ethnicity Mexico” en *Domestic Life in Prehispanic Capitals* Manzanilla L y C. Chapdelaine [Editores] Memorias del museo universitario de Michigan num.46 vol.VII Joyce Marcus [Editor General], Ann Arbor, Michigan.

Manzanilla, L. y L. López

2001 “Exploraciones en un posible palacio de Teotihuacán” en *El Proyecto Xalla (2000-2001)*. Mexicon, XXIII(3), Junio, 2001, pp.58-61.

McElhinny, M. W.

1973 *Paleomagnetism and Plate Tectonics*, Londres, Gran Bretaña, Cambridge University Press.

Merrill, R. T., M. W. McElhinny y P. L. McFadden

1996 *The magnetic field of the earth: paleomagnetism, the core, and the deep mantle*, San Diego, EUA, Academic Press, Inc., Caps 1-3.

Millon, R.

1973 *Urbanization at Teotihuacan, Mexico. I.1. The Teotihuacan Map*, University of Texas Press, Austin.

Nagata. T., K. Kobayashi y E. J. Schwarz

1965 Archeomagnetic intensity studies of South and Central America. *J. Geomag. and Geoelec.*, v. 17 pp. 3-4- 399-405.

Pecci, Alessandra, Agustín Ortiz, Luis Barba, and Linda Manzanilla

En prensa Distribución espacial de las actividades humanas con base en el análisis químico de los pisos de Teopancazco, Teotihuacan. In *VI Coloquio Bosch Gimpera. Lugar, Espacio y Paisaje en Arqueología: Mesoamérica y otras áreas culturales*. Instituto de Investigaciones Antropológicas, UNAM, México, D.F.

- Purcell, E. M.
1985 *Electricity and Magnetism: Berkeley Physics Course Volume 2*, 2da edición, EUA, McGraw Hill Inc., cap. 11.
- Reitz, J. et al.
1972 *Fundamentos de la Teoría electromagnética*, Argentina: México Addison-Wesley Iberoamérica 584 pp.
- Roberts, P. H. y H. D. Ursell
1960 *Random walk on a sphere and on a Riemmanian manifold*, Phil. Trans, R. Soc., London, A252, pp317-356.
- Rodríguez, M.G.
2003 *Análisis y fechamiento arqueomagnético en zonas habitacionales de Teotihuacán (Xalla) y Templo Mayor*, Tesis de licenciatura en Física, Facultad de Ciencias, UNAM, México D.F., México.
- Romero, E.
2008 *Fechamientos arqueomagnéticos de pisos con control estratigráfico de la Excavación Teopançazco 2005, Teotihuacán*, Tesis de licenciatura en Física, Facultad de Ciencias, UNAM, México D.F., México.
- Sánchez, F.
2005 *Nuevos fechamientos arqueomagnéticos de Xalla y Topançazco, zonas habitacionales de Teotihuacan*, Tesis de licenciatura en Física, Facultad de Ciencias, UNAM, México D.F., México.
- Smith, P y J. Needham
1967 Magnetic declination in medieval China. *Nature*, 214, 1213-1214
- Soler, A. M.
2006 *Investigaciones Arqueomagnéticas en México; Fundamentos, Historia y Futuro*, Monografías del Instituto de Geofísica, UNAM, n. 10, México, D.F., México.
- Soler-Arechalde, A.M., Sanchez, F., Rodriguez, M., et al.,
2006. Archaeomagnetic investigation of oriented pre-Columbian lime-plasters from Teotihuacan, Mesoamerica. *Earth Planets and Space* 58 (10), pp. 1433–1439.
- Sternberg, R. S.
1990 “The Geophysical Basis of Archeomagnetic Dating”, en Eighmy, Jeffrey L. y Robert S. Sternberg (eds.), *Archeomagnetic Dating*, Tucson, EUA, The University of Arizona Press, pp. 5-28.
- Sternberg, R. S. y R.H. Mcguire
1990 “Techniques for Constructing Secular Variation Curves and for Interpreting Archeomagnetic Dates”, en Eighmy, Jeffrey L. y Robert S. Sternberg [Editores], *Archeomagnetic Dating*, Tucson, EUA, The University of Arizona Press, pp.109-

134.

Tauxe, L.

2005 *Lectures in Paleomagnetism*, La Jolla, EUA,
<http://erda.sdsc.edu/website/MAGIC/books/Tauxe/2005/>, Caps. 1-5.

Tarling, D.

1983 *Paleomagnetism. Principles, applications y geology, physics and archeology*, Londres, UK,

Urrutia, J.

1975. "Investigaciones Paleomagneticas y arco-magnéticas en Mexico" . *Anal. Ins, Geifis*. 21, UNAM, pp. 27-34.

Urrutia, J.

1996 "Paleomagnetic study of the Xitle-Pedregal de San Angel lava flow, southern Basin of Mexico, en *Physics of the Earth and planetary Interiors*, v.97, pp. 177-196.

Wolfman, D.

1973 *A re-evaluation of Mesoamerica chronology: AD1-1200*. Tesis de Doctorado, Colorado University, 293 pp.

Wolfman, D.

1990 "Mesoamerican chronology and archeomagnetic dating, AD 1 – 2000, en Eighmy, Jeffrey L. y Robert S. Sternberg [Editores], *Archeomagnetic Dating*, Tucson, EUA, The University of Arizona Press, pp.261-391.

APÉNDICE

En este apartado se presenta las graficas restantes de cada uno de los especímenes analizados para todas las muestras tomadas, es importante resaltar que por ser un número tan grande graficas solo se consideraron, las más representativas para ser puestas en el texto, sin embargo en todas y cada una de las muestras los resultados aquí presentados se tomaron en cuenta para el análisis final. La lectura de estas graficas es de forma similar a la lectura de las graficas encontradas en el texto.

