

Propiedades magnéticas de cerámicas y arcillas de Teotihuacan y Veracruz, Mesoamérica – caracterización y proveniencia

J. Urrutia Fucugauchi¹, Linda Manzanilla² y L. Barba Pingarrón²

¹ Laboratorio de Paleomagnetismo y Geofísica Nuclear, Instituto de Geofísica, UNAM, México, D.F., México.

² Instituto de Investigaciones Antropológicas, UNAM, México, D.F., México.

Recibido: 19 de marzo, 1993; aceptado: 28 de julio 1993.

RESUMEN

Los estudios de propiedades magnéticas de cerámicas y arcillas permiten caracterizar y diferenciar muestras provenientes de diversas fuentes, investigar sobre las técnicas de manufactura y proporcionar datos para correlación y fechamiento. Como parte de un programa conjunto Arqueología-Geofísica en arqueomagnetismo, se han estudiado muestras de cerámica y de arcillas, provenientes de excavaciones en Teotihuacan y en la costa central de Veracruz (Manzanilla *et al.*, 1991). Los conjuntos cerámicos de estas dos localidades son aparentemente muy similares en sus estilos, acabados, etc, así como en las propiedades macroscópicas de los materiales. Las propiedades magnéticas permiten caracterizar las piezas de cerámica y las muestras de arcilla y establecer relaciones entre las diferentes muestras. Estos resultados, combinados con análisis macroscópico y con mediciones de propiedades mecánicas, espectro Mossbauer y datos arqueológicos, proveen restricciones en cuanto a las posibles fuentes de arcilla empleadas para las cerámicas y enfatizan las aparentes similitudes entre los dos conjuntos cerámicos analizados. Se analizan varias hipótesis sobre relaciones comerciales, inmigración de artesanos de Teotihuacan a Veracruz, importación de tecnología sobre fabricación de cerámicas, similitudes de técnicas de manufactura y otras.

PALABRAS CLAVE: Arqueomagnetismo, proveniencia y caracterización, cerámicas, arcillas, Teotihuacan, Veracruz, México.

ABSTRACT

Rock magnetic properties on pottery and clay provide information on source and characterization studies, on manufacturing techniques and for correlation and dating. As part of a joint archaeomagnetic program we have investigated samples from two apparently very similar contemporaneous pottery sets: an excavation site at Teotihuacan and several excavation sites in the Gulf Coast of Mexico, Veracruz State (and also from several potential clay sources in the two areas). The similarities extend to styles, surface finish, macroscopic properties and certain physical and chemical properties (Manzanilla *et al.*, 1991). Rock magnetic data allow correlation among samples from the two pottery sets and for the potential sources of raw material (clay samples), and when combined with information from the macroscopic analyses, Mossbauer spectra, physical and chemical studies and archaeological data, results restrict potential clay sources and emphasize the similarities between the Teotihuacan and Veracruz pottery sets. Several hypotheses are examined in terms of trade relationships, manufacturing technique, exchange, and immigration of pottery makers from Teotihuacan to Veracruz.

KEY WORDS: Archaeomagnetism, provenance, characterization and sourcing, pottery, clay, Teotihuacan, Veracruz, Mexico.

INTRODUCCION

Los estudios de caracterización y proveniencia de materiales arqueológicos aprovechan las variaciones de propiedades químicas y físicas para 'identificación', lo que permite posteriormente el establecer correlaciones, fuentes 'geológicas' de los materiales originales y documentar las técnicas de manufactura (Rapp y Gifford, 1985; Coey *et al.*, 1979). Entre las metodologías utilizadas se tienen aquellas relacionadas a la concentración de elementos trazas e isótopos, tales como la activación por neutrones y espectrometría de masas (Perlman y Asaro, 1969; Friedman y Lerner, 1977; Gordus *et al.*, 1968; Shackleton y Renfrew, 1970; Wilson, 1978; Rapp *et al.*, 1980). Estos estudios han tenido éxito en una amplia variedad de materiales incluyendo cerámicas, objetos de metal, de roca y vidrios volcánicos (Coey *et al.*, 1979; Cobean *et al.*, 1971; Gale, 1981).

En este trabajo se presenta una revisión y discusión de los estudios de propiedades magnéticas de materiales ar-

queológicos, en particular de aquellos relacionados a la caracterización y proveniencia. El otro campo de aplicación de los estudios magnéticos, mejor documentado y más conocido en arqueología, es el relacionado con los estudios estratigráficos de correlación y fechamiento. El amplio desarrollo de estos estudios ha dado lugar a la interdisciplina de arqueomagnetismo (Aitken, 1974; Tarling, 1983, 1985; Wolfman, 1984). No obstante el amplio campo de aplicación de estas técnicas en el estudio de las culturas de Mesoamérica, se han realizado pocas investigaciones arqueomagnéticas (Urrutia, 1975; Wolfman, 1984; Urrutia *et al.*, 1985). Estudios preliminares, por otro lado, sugieren que las culturas mesoamericanas, en particular los olmecas y teotihuacanos, posiblemente conocían las propiedades magnéticas de materiales naturales (minerales de hierro y titanio y rocas volcánicas) y las propiedades direccionales del campo magnético terrestre (Carlson, 1975; Malmstrom, 1976; Urrutia *et al.*, 1985). Los estudios son aún preliminares, sin embargo, estos incluyen diversas líneas de investigación sobre orientación de construcciones y centros mayores

ceremoniales por medios magnéticos, sobre esculturas en materiales magnéticos en que aparentemente se aprovechan sus propiedades direccionales y sobre diseño y fabricación de instrumentos.

Los datos de propiedades magnéticas de materiales arqueológicos y de rocas son potencialmente útiles en el modelado e interpretación de estudios magnetométricos (Urrutia, 1977; Sternberg, 1987; Barba, 1990). Los métodos geofísicos de exploración permiten investigar la estructura y características del subsuelo y se han aprovechado en la prospección de sitios arqueológicos en muy diversos ambientes (p. ej. Del Castillo y Urrutia, 1974; Barba, 1990).

En este artículo, la discusión se centra alrededor de estudios recientes de materiales arqueológicos y geológicos de diversas partes del centro de México, provenientes de Teotihuacan y de la costa del Golfo en Veracruz (Figura 1). Para ilustrar las posibilidades y limitaciones de los estudios de propiedades magnéticas, se hace referencia a los datos de Teotihuacan y Veracruz reportados previamente en Manzanilla *et al.*, (1991), así como a datos nuevos obtenidos posteriormente sobre las muestras de arcillas y cerámicas. Estos estudios sobre cerámicas y arcillas forman parte de un proyecto mayor del Instituto de Investigaciones Antropológicas, UNAM, con la colaboración de la Facultad de Ciencias y del Instituto de Geofísica, UNAM (Manzanilla *et al.*, 1991; Jurado *et al.*, 1989). Adicionalmente, se reporta información sobre mediciones de propiedades adicionales en los materiales previamente analizados y también sobre experimentos en piezas de cerámicas contemporáneas y de arcillas.

ARQUEOMAGNETISMO

En estudios anteriores de identificación y caracterización de materiales arqueológicos, particularmente de fragmentos de cerámica, se ha empleado con aparente éxito una serie de relaciones entre varios parámetros químicos y físicos. Entre los parámetros 'magnéticos' cuyo uso presenta un potencial alto, se tienen aquellos que dependen principalmente de: (1) cantidad y tipo de minerales magnéticos, tales como la susceptibilidad; (2) además de la concentración y tipo de minerales, de la intensidad del campo geomagnético, tales como la intensidad de magnetización remanente natural (NRM); (3) del tipo y tamaño de grano de los minerales, tales como la coercitividad; y (4) del tipo de dominio magnético de los minerales portadores del registro, tales como la diferencia de coercitividades de magnetizaciones de laboratorio (p. ej. magnetización isoterma) y naturales (p. ej. magnetización térmica). Es decir, algunos de los parámetros magnéticos están más relacionados al tipo de material empleado en la cerámica, mientras que otros dependen además del tiempo en que se preparó la cerámica, y de las condiciones locales y método de preparación. En el Apéndice 1 se incluye una descripción y discusión sobre las propiedades magnéticas, magnetización remanente, técnicas de laboratorio y parámetros utilizados en este estudio. En la primera fase de la investigación se han examinado múltiples especímenes de 10 fragmentos de cerámica, 5 de Teotihuacan y 5 de Veracruz y cuatro muestras de arcilla, 1 de Teotihuacan y 3 de Veracruz (Figuras 1, 2, 3). Algunas de sus características, loca-

lidad, edad, etc. se enlistan en Manzanilla *et al.* (1991). Las muestras provenientes de los sitios en Veracruz han sido proporcionados por el proyecto de Plaza de Toros y Colonia Ejidal entre los ríos Cotaxtla y Jamapa (Daneels, 1988). Las muestras de Teotihuacan provienen del proyecto de excavación de una unidad habitacional de la época Xolapan (alrededor del 550 DC) en el noroeste de Teotihuacan (Manzanilla, 1993; Barba *et al.* 1987; Barba y Manzanilla, 1987). Estos materiales de Teotihuacan y Veracruz se seleccionaron debido a la aparente similitud en sus características macroscópicas (estilo, colores, acabados, etc) y en sus propiedades físicas y químicas (composición, dureza, textura, etc). El estudio arqueomagnético, de aquí, fue orientado a caracterizar las cerámicas y arcillas e investigar sobre la proveniencia del material inicial, métodos de manufactura, alteraciones subsecuentes, etc (Manzanilla *et al.*, 1991).

Para las muestras de cerámica se han realizado las siguientes mediciones: (1) susceptibilidad magnética a campo bajo (0.7 mT), (2) intensidad de magnetización remanente natural (NRM), (3) dirección de la MRN referida a una orientación arbitraria (quizá en algunos casos se pueda referir a las coordenadas verticales y estimarse la inclinación. La polaridad debe ser normal, lo que sirve de prueba de orientación). (4) desmagnetización por campos magnéticos alternos decrecientes (CMAD), lo que permite estimar: (a) coercitividad (estimada aquí por el campo destructivo medio (MDF), que es el campo alterno necesario para reducir la intensidad inicial a la mitad de su valor). (b) composición vectorial de la MRN. (c) estabilidad magnética. (5) parámetros del ciclo de histeresis magnética, por medio de adquisición de magnetización remanente isoterma (IRM). Estimación de la coercitividad de saturación (Hc) y de magnetización de saturación (Js). Para las diferentes muestras se analizaron tres especímenes de cada fragmento de cerámica y los resultados se promediaron. Las diferencias entre los especímenes son pequeñas, dentro de la precisión y repetibilidad de las mediciones de laboratorio. En los casos de diferencias mayores, están relacionadas a efectos de los materiales de decoración de las piezas de cerámica. Este aspecto está bajo investigación (tintes y materiales empleados en la elaboración (cocinado) y decoración de las cerámicas) y los resultados se reportarán posteriormente. En este trabajo se reportan los resultados sobre la cerámica y los materiales iniciales (arcillas cocinadas y arcillas naturales) y sobre las diferencias y similitudes en sus propiedades como conjuntos cerámicos globales.

Para las muestras de arcilla se dispone de mediciones de: (1) susceptibilidad magnética y (2) adquisición de magnetización remanente isoterma (IRM). Se midieron de tres a cinco especímenes de arcilla y los resultados se promediaron. Las diferencias son más pequeñas que en el caso de las cerámicas. El material presenta propiedades homogéneas.

En la segunda fase del estudio se investigaron algunas propiedades magnéticas adicionales, utilizando las mismas muestras (analizando especímenes adicionales, con objeto de evaluar la variación en un mismo fragmento y realizar pruebas estadísticas) del estudio anterior y se incluyeron materiales contemporáneos y de arcillas. En esta fase no se

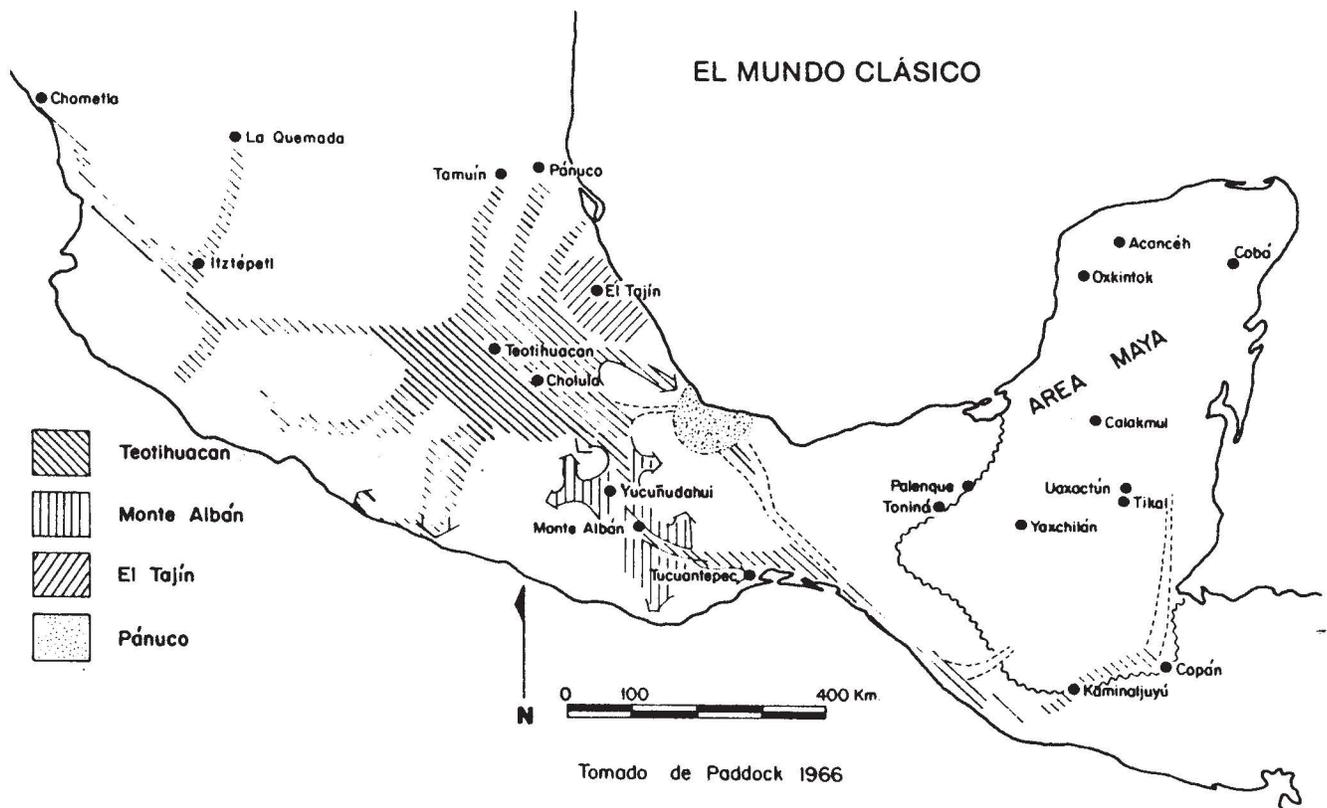


Fig. 1. Representación simplificada de los grupos en Mesoamérica durante el periodo Clásico (tomado de Paddock, 1966; Manzanilla, 1990). Las muestras examinadas en este trabajo provienen de Teotihuacan y de la costa de Veracruz en el Golfo de México.

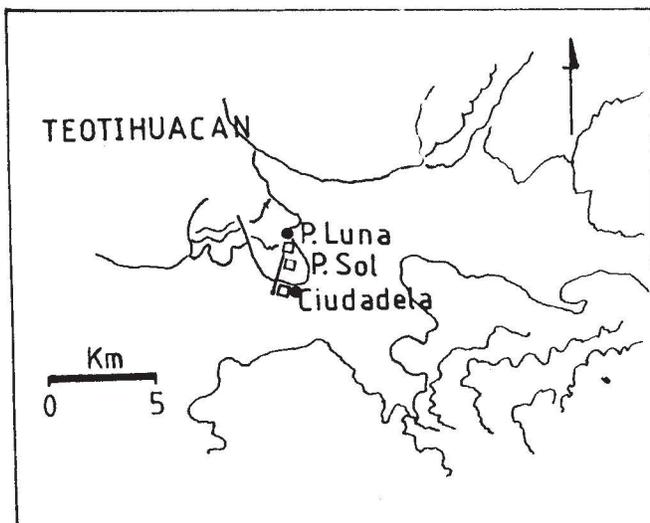


Fig. 2. Mapa del centro urbano de Teotihuacan (adaptado de Mooser, 1968) y localización de las localidades de arcilla en la Ciudadela y la Pirámide de la Luna (círculos). Las muestras de cerámicas provienen de una excavación en una unidad habitacional de Teotihuacan del sector noroeste del valle (Barba *et al.* 1987; Barba y Manzanilla, 1987).

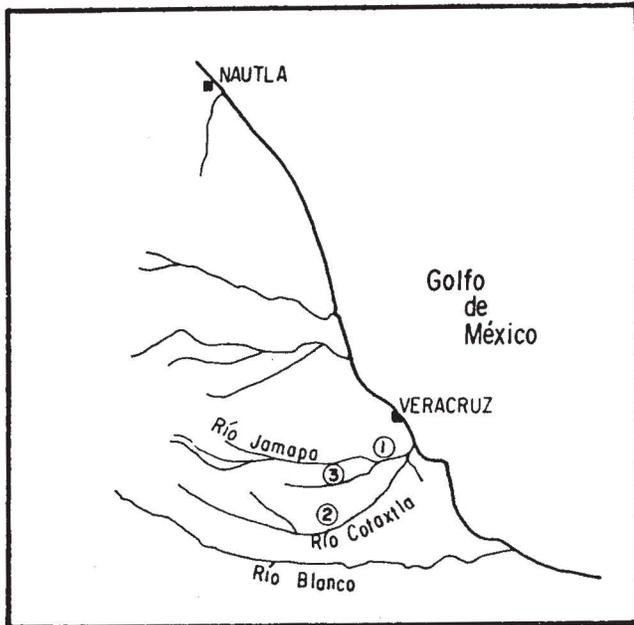
ha intentado realizar una correlación estrecha con el contexto geológico de las arcillas, para lo que se requiere información de mayor detalle de la disponible en esta etapa, la cual es limitada (Ordoñez, 1922; Mooser, 1968; mapas y fotografías aéreas de diversas escalas de INEGI e imágenes de MT Landsat). Ello se restringe a las inferencias sobre proveniencia de la materia prima a los sitios de arcilla muestreados para este trabajo. Una discusión más amplia debe involucrar un trabajo regional de identificación de fuentes potenciales de arcilla susceptibles de emplearse en la elaboración de los diferentes tipos de cerámica.

Adicionalmente, en las cerámicas y arcillas, se realizaron experimentos de adquisición de magnetización viscosa (VRM) y de magnetización remanente anisterética (ARM). Los espectros de coercitividad correspondientes se estudiaron por medio de desmagnetización con campos magnéticos alternos (hasta de 100 mT); ello en particular para las ARM dado que la VRM presentó magnitudes pequeñas en la mayoría de las muestras estudiadas.

RESULTADOS

Cerámicas

Los valores de susceptibilidad magnética de las cerámicas de Teotihuacan (T) varían entre 127 a 1945 (10^{-6} SI) y las



- ① Rancho del Padre
- ② Cotaxtla
- ③ Matamba

Fig. 3. Localización de las muestras de arcilla provenientes de la costa del Golfo en Veracruz. Las muestras de cerámica provienen del proyecto de A. Daneels concentrado entre las cuencas de los ríos Cotaxtla y Jamapa (Daneels, 1988).

de Veracruz (V) varían entre 750 a 1155 (10^{-6} SI). Las cerámicas de Teotihuacan presentan un rango más amplio de variación, lo que sugiere una mayor variación en la concentración o el tipo de minerales magnéticos.

Los valores de intensidad de NRM de las cerámicas de Teotihuacan varían entre 17 y 472 (10^{-3} A/m) y las de Veracruz varían entre 128 y 452 (10^{-3} A/m). Se observa un menor rango de variación en las muestras provenientes de Veracruz.

En general, las variaciones en intensidad correlacionan con las de susceptibilidad, lo que sugiere que la intensidad depende también de la concentración y tipo de minerales magnéticos (véase Figura 4). Una excepción es la muestra T-12A, que presenta la más baja intensidad y una susceptibilidad alta. Ello podría deberse a varios factores como una intensidad del campo geomagnético local mayor al tiempo del calentamiento de la cerámica, o bien a una magnetización multivectorial del NRM (ello parece ser el caso, como se discute más adelante). En el diagrama es posible distinguir tres grupos:

- 1) T-12B
- 2) T-10, V-18, V-15A, V-11 y V-9
- 3) T-8, V-15B y T-12C

Las inclinaciones de la NRM son todas positivas, lo que concuerda con una polaridad normal esperada y varían entre 5 y 56 grados para las muestras de Teotihuacan y en-

tre 9 y 40 grados para las muestras de Veracruz. Nuevamente, los valores para Teotihuacan presentan mayor variación. Tres de las cerámicas de Veracruz tienen valores cercanos a los esperados para el campo magnético local y su variación secular (V-18, V-15B y V-9) (Tabla 1).

Con el tratamiento de desmagnetización CMAD, la mayoría de las muestras indican composiciones de NRM univectoriales y alta estabilidad magnética. Una excepción es la muestra T-12A, que indica una composición multivectorial, que explica su baja intensidad de NRM y que puede deberse a efectos de remagnetización. Esta remagnetización podría deberse a efectos de recalentamiento o efectos de alteraciones químicas. Dado que el mineral portador del registro pertenece a la serie de las titanomagnetitas (véase los datos de adquisición de magnetización isoterma más adelante), entonces la posibilidad de recalentamientos aparece mejor fundamentada.

Los valores de MDF varían entre 16 y 38 mTeslas para Teotihuacan y entre 25 y 36 miliTeslas (mT) para Veracruz. Nuevamente los datos de Teotihuacan muestran mayor rango de variación que los de Veracruz.

Las curvas de intensidad normalizada (J_i/J_0) de desmagnetización para las diferentes muestras, indican minerales portadores de baja coercitividad (100 mT) con cantidades variables de mayor coercitividad y que podrían corresponder a titanomagnetitas (TM) y titanohematitas (TH). Miembros de la primera serie, al parecer dominan la respuesta magnética de acuerdo con los datos de magnetización isoterma.

Las curvas de adquisición de magnetización isoterma (IRM) indican saturación en campos magnéticos bajos (120 mT), lo que apoya la presencia de minerales de la serie de titanomagnetitas. Los valores de la magnetización de saturación varían entre 3200 y 21210 (10^{-3} A/m) para las muestras de Teotihuacan y entre 9200 y 30400 (10^{-3} A/m) para Veracruz. En este caso los rangos de variación son igualmente altos. Las variaciones podrían deberse a cambios en el tamaño de grano y comportamiento de dominio, o a la concentración de minerales magnéticos presentes en las muestras. Para investigar estas dos posibilidades, en la Figura 5 se grafican los datos contra la susceptibilidad. Puede observarse que en general se tiene una relación entre J_s y k para las diferentes muestras, lo que apoya la segunda posibilidad, si bien en detalle, la dispersión de los datos respecto a una relación aproximadamente lineal indica la ocurrencia de otros factores.

En la Figura 5 pueden distinguirse tres muestras con valores distintos a la mayoría: T-12B con valores bajos y V-15B (y un poco T-12C) con valores altos.

En el caso de que la intensidad de NRM dependa sólo de la concentración y tipo de minerales magnéticos, entonces se esperaría una relación similar a la de J_s - k (magnetización isoterma de saturación - susceptibilidad) (Figura 5), lo cual en general parece ser que ocurre (Figura 4). Sin embargo, en esta primera relación se observan varias muestras fuera de la tendencia general (Figura 4), que indican otros factores.

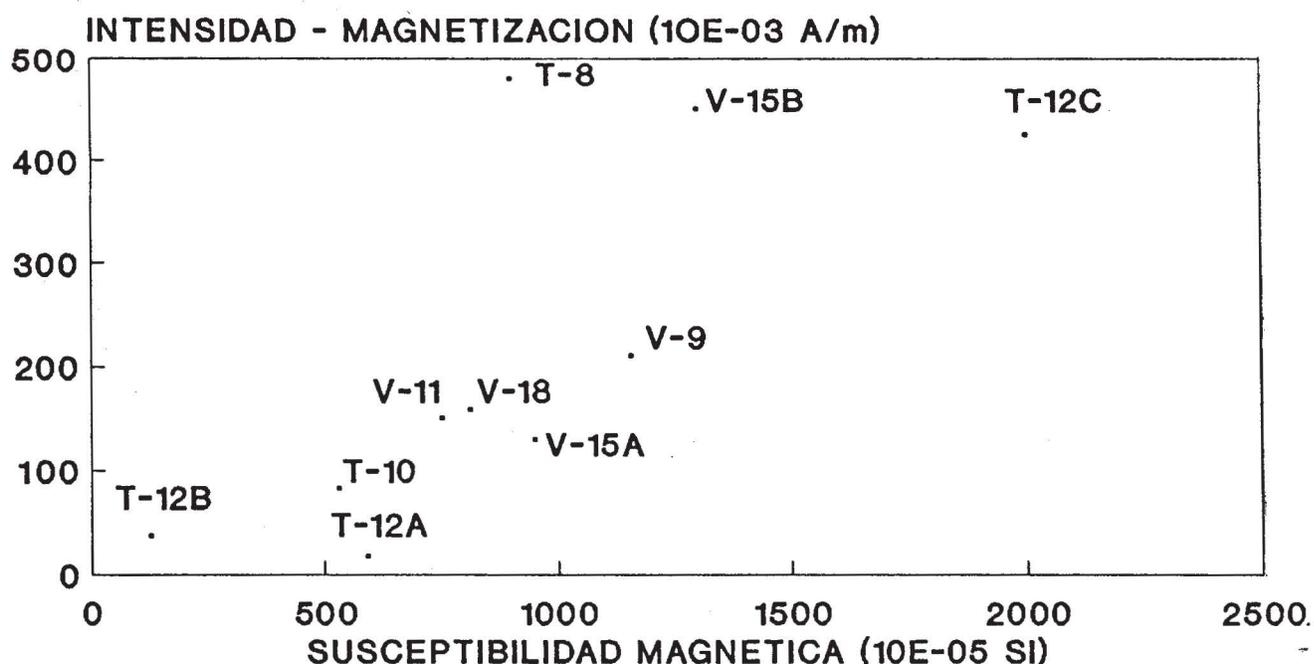


Fig. 4. Gráfica de valores medios de intensidad de magnetización remanente natural en función de la susceptibilidad para las muestras de cerámica estudiadas. Las muestras de Teotihuacan están identificadas por T y un número y las de Veracruz por V y su número correspondiente (véase texto y Tabla 1).

Tabla 1

Propiedades magnéticas de las cerámicas

Muestra	INT (10 ⁻³ A/M)	DEC*	INC	MDF(mT)	Minerales portadores	Susceptibilidad	J _s	Q
T 12A	16.5	122.3	56.3			592.1	8700	2
T 12B	37.3	237.1	21.0	16	TM+TH	126.4	3200	12
T 10	82.0	56.8	9.2	38	TM	527.0	8600	10
T 12C	425.5	143.7	40.9	20	TM+TH	1944.6	21,210	20
T 8	472.3	148.3	5.4	26	TM+TH	897.3	18,160	26
V 18	158.2	225.0	38.1	27	TM+TH	813.6	14,000	11
V 15a	128.2	4.3	9.1	31	TM+TH	954.5	13,600	7
V 11	147.4	263.2	15.1	28	TM+TH	749.9	9200	16
V 15b	452.2	186.9	39.6	36	TM+TH	1311.8	30,400	14
V 9	205.8	82.7	37.8	25	TM+TH	1155.5	14,300	14

* Declinación referida a marca arbitraria

Examen de los datos de intensidad normalizados, en términos de NRM/J_s con k, con lo cual los datos de intensidad de NRM se normalizan con la intensidad máxima (J_s), muestra una dispersión alta. Ello indica la ocurrencia de varios factores que influyen la relación y no se han considerado, entre ellos: magnetizaciones multivectoriales, variaciones de tamaño de grano y relajación de la magnetización en granos de dominio múltiple.

En la Figura 6 se grafican los datos de NRM con una medida de coercitividad (campo medio destructivo, MDF). En ella puede observarse que los datos para T-12C, T-8 y V-15B presentan los valores más altos, el resto de las demás muestras forman un grupo algo alargado. En la Figura 7 se ilustran los datos J_s-MDF, y puede observarse que los valores de J_s presentan un rango de variación mayor y que permite la separación de varios grupos, entre ellos se tienen

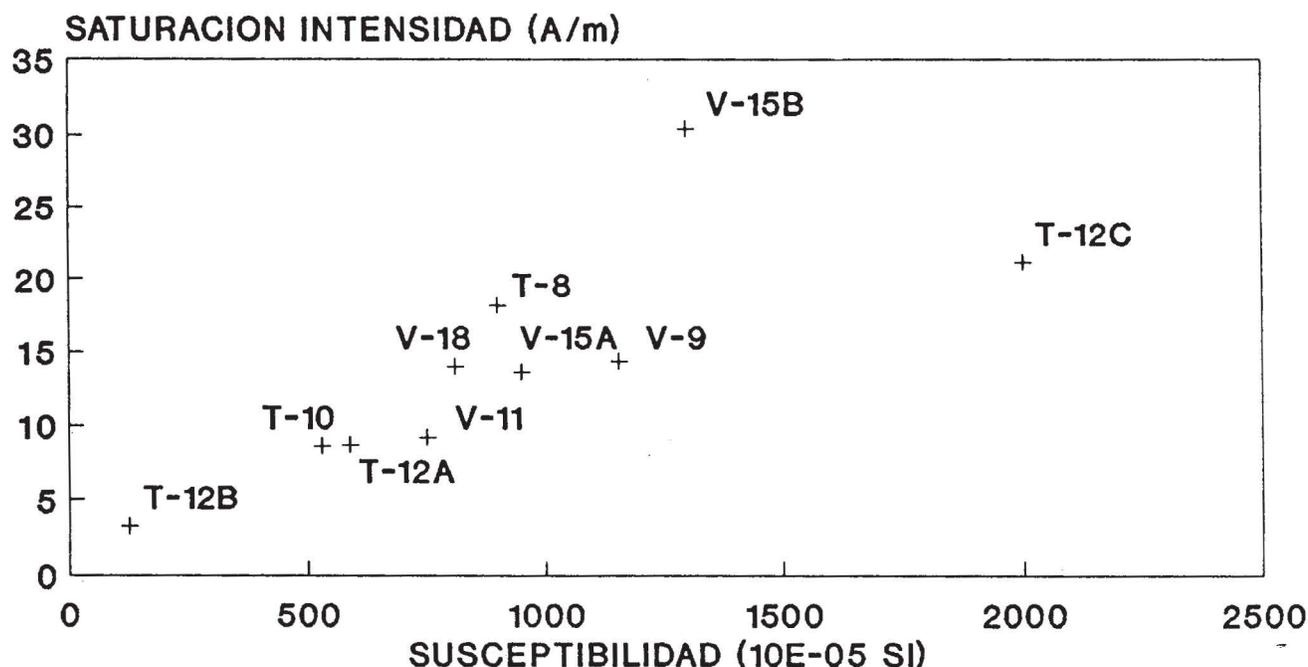


Fig. 5. Gráfica de valores medios de intensidad de magnetización remanente isotermal (IRM) (valores de saturación) en función de la susceptibilidad. Gráfica para las muestras de cerámica de Teotihuacan (T) y Veracruz (V).

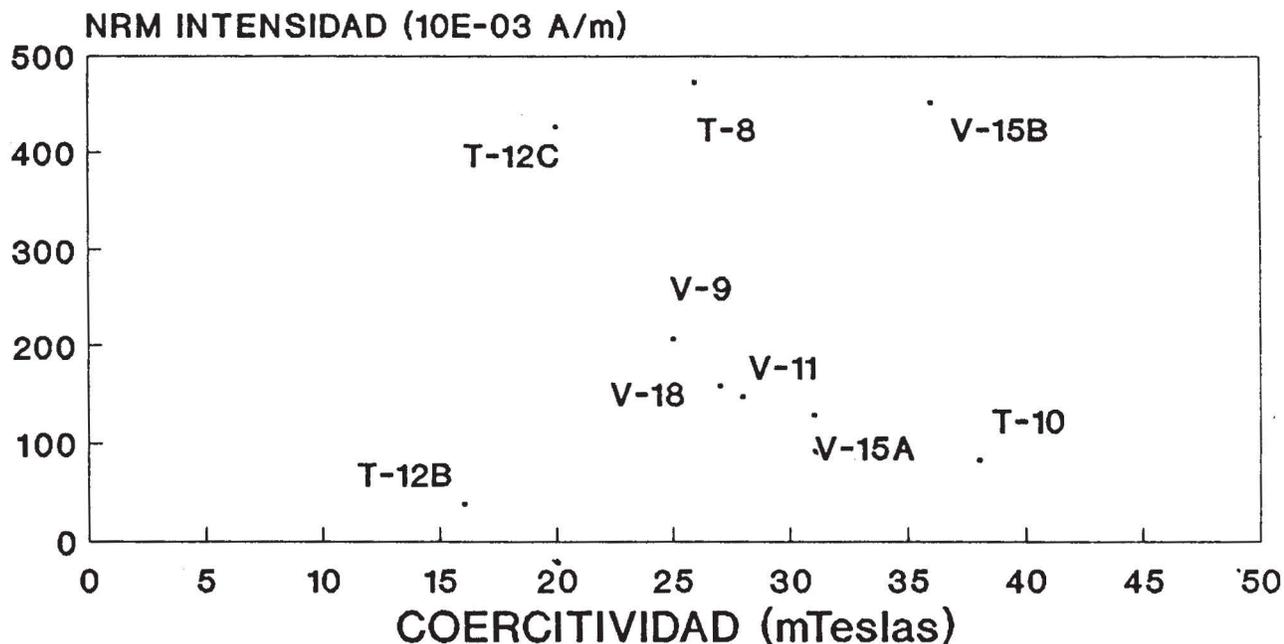


Fig. 6. Gráfica de valores medios de intensidad de NRM en función de una medida de coercitividad (campo destructivo medio, MDF). Gráfica para las muestras de cerámica de Teotihuacan (T) y Veracruz (V).

a la mayoría de las muestras de Veracruz (V-18, V-15A, V-11 y V-9) con la muestra T-10 y las muestras T-12C y T-8. Las muestras T-10 y V-15B presentan valores bajos y altos respectivamente.

La alta intensidad J_s de la muestra V-15B no se debe a un mayor contenido de minerales (incluyendo de titanomagnetitas) ya que sus valores de susceptibilidad son comparables a V-9 y T-12C y probablemente refleje variaciones

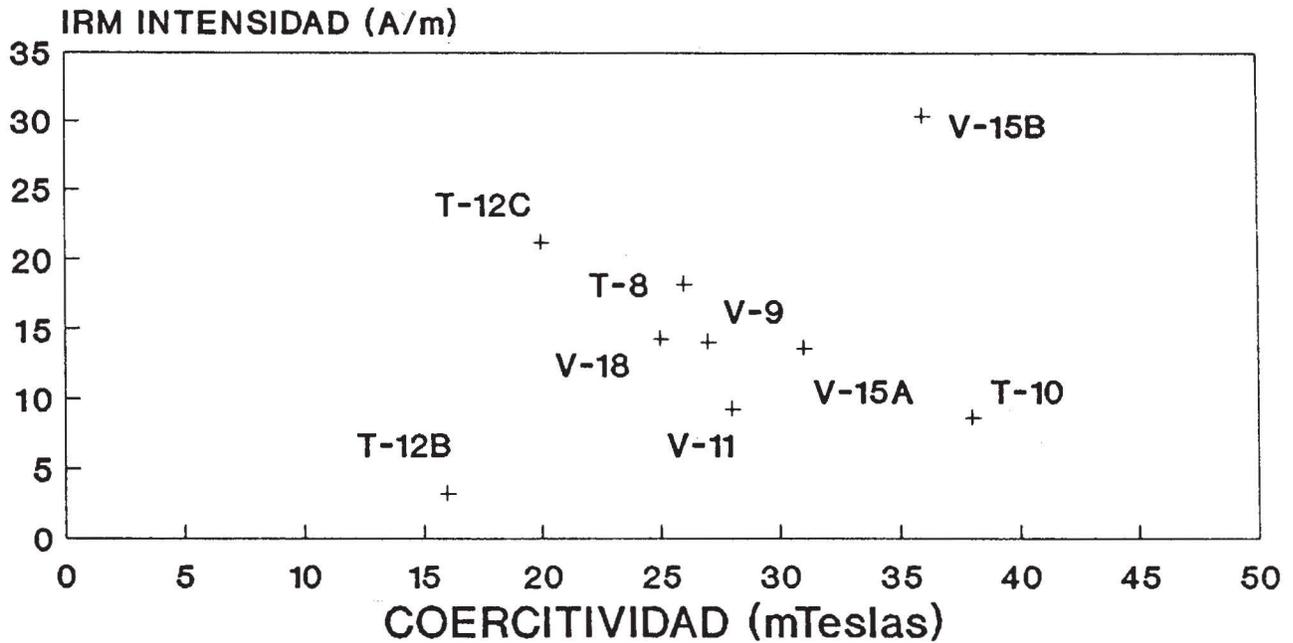


Fig. 7. Gráfica de valores de saturación de magnetización IRM en función del campo destructivo medio (coercitividad). Gráfica para las muestras de cerámica de Teotihuacan (T) y Veracruz (V).

en dominio magnético. Las intensidades de NRM son altas (comparables a T-12C y T-8) y reflejan posiblemente tamaños de grano finos con dominios magnéticos sencillos.

Arcillas

Las muestras de arcillas de Veracruz presentan valores de susceptibilidad altos, entre 3585 y 5582 (10⁻⁶SI), mientras que los de la Piramide de la Luna, Teotihuacan, presentan valores bajos, 1335 (10⁻⁶SI).

Los datos de adquisición de IRM indican la presencia de minerales de la serie de titanomagnetitas, para las 4 muestras. Respecto a los valores de saturación (Js), se tienen diferencias ya que Teotihuacan tiene valores bajos (Js = 9.4 A/m), mientras que las de Veracruz tienen valores altos (Js = 29, 45, 40 A/m). Los espectros de coercitividad son muy similares para todas las muestras de arcilla examinadas (Figura 8). Los campos destructivos medios son bajos, en el orden de 13 a 17 mT.

En la Figura 9 se ilustran los resultados, junto a los datos correspondientes a los fragmentos de cerámica. Puede observarse que los datos de arcillas de Veracruz son mayores que los de cerámica (Tabla 2). Los datos de la arcilla de Teotihuacan (CT-2) son comparables a los de las cerámicas. Los datos para las arcillas provenientes de Veracruz presentan valores más altos. En la Figura 10 se ilustran los datos de magnetización de saturación en función de la coercitividad. Los datos de las arcillas de Veracruz nuevamente forman un grupo aparte, comparado con los datos para las cerámicas. Estos están caracterizados por bajas coercitividades y altos valores de intensidad de saturación. La muestra proveniente de Teotihuacan también presenta un bajo

valor de campo destructivo medio (como medida de coercitividad), similar a los observados en Veracruz, pero un bajo valor de magnetización de saturación.

Las arcillas presentan espectrogramas muy similares, en donde el mineral arcilloso dominante es la ilita (Figura 11). En los espectrogramas se puede documentar la ocurrencia de feldespatos y cuarzo y un ion ferroso bien definido.

Las observaciones al microscopio con 30 aumentos revelaron otras similitudes en los materiales, con la presencia de hornblenda. Las observaciones indican una afinidad con las arcillas estudiadas. Las semejanzas globales pueden ser explicadas por el origen común de las arcillas, derivadas de suelos aluviales en terrenos volcánicos.

DISCUSION Y CONCLUSIONES

El presente estudio ha sido diseñado para (1) investigar sobre las propiedades magnéticas de cerámicas y arcillas;

Tabla 2

Algunas propiedades magnéticas de las arcillas

Arcillas	Susceptibilidad	A/m J _s
A3: Río Cotaxtla	5582	40
A5: Matamba	4770	45
A4: Rancho del Padre	3585	29
A2: Pirámide de la Luna, Teotihuacan	1335	9

ARCILLAS TEOTIHUACAN Y VERACRUZ

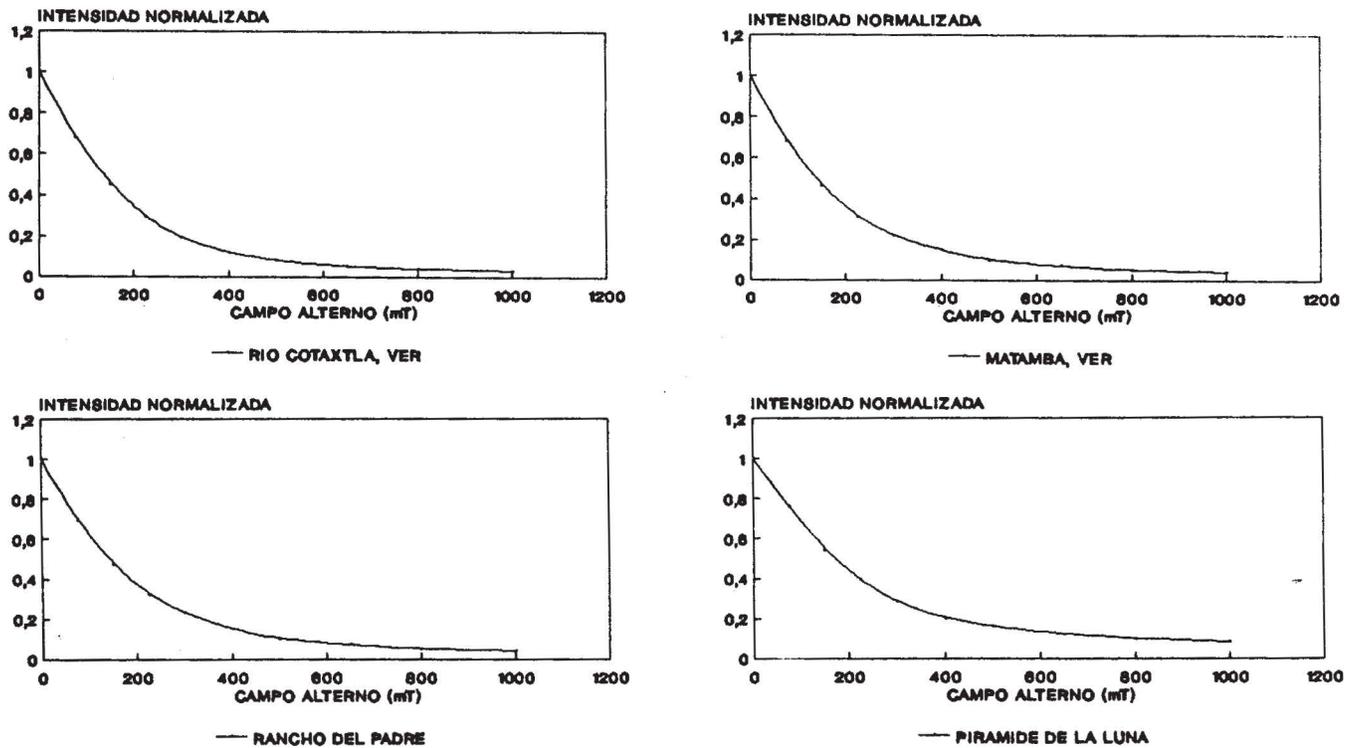


Fig. 8 Ejemplos de gráficas de intensidad normalizada en función del campo alterno empleado en la desmagnetización para las muestras de arcillas. Obsérvese la similitud de las curvas, lo que indica espectros de coercitividad similares.

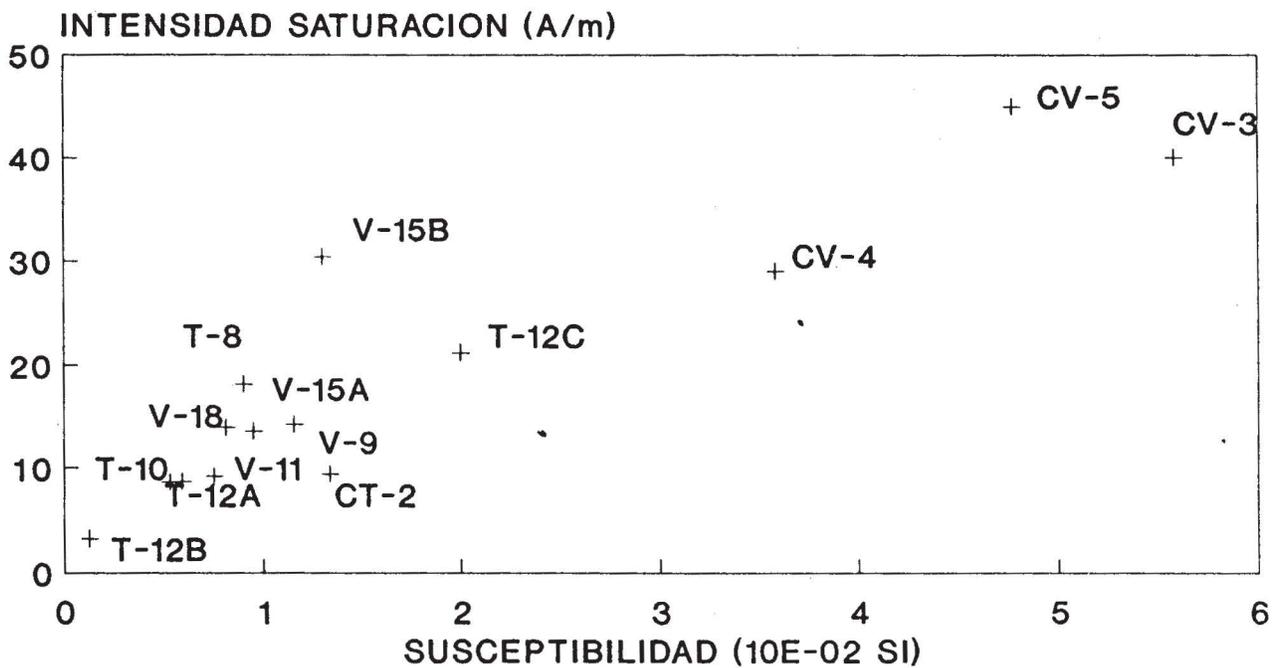


Fig. 9. Gráfica de intensidad de (IRM) (saturación) en función de susceptibilidad para cerámicas y arcillas. Las muestras de arcilla se identifican como CT y CV, para Teotihuacan y Veracruz. Las muestras de cerámica se marcan como T (Teotihuacan) y V (Veracruz).

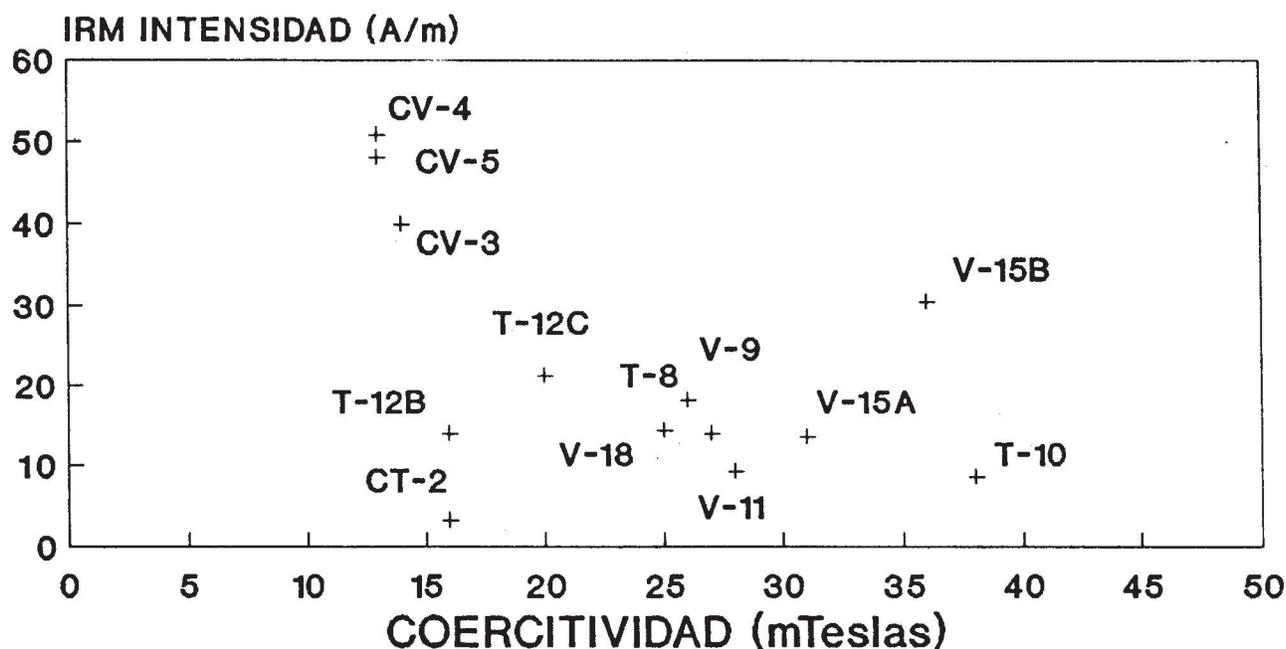


Fig. 10. Gráfica de intensidad de (IRM) (saturación) en función de la coercitividad para cerámicas y arcillas de Teotihuacan y Veracruz. Las muestras de arcilla se identifican como CT y CV y las muestras de cerámica se identifican sólo con la inicial T (Teotihuacan) y V (Veracruz).

materiales sobre los cuales se dispone de poca información. En el contexto arqueológico, el estudio es motivado por la aparente similitud entre las características macroscópicas y de propiedades físicas y químicas de los conjuntos de cerámica (Manzanilla *et al.*, 1991) y se intentó (2) investigar sobre posibles similitudes y diferencias entre las diferentes piezas de cerámica. De aquí, los objetivos particulares del estudio arqueomagnético son: (a) caracterización de los materiales a partir de sus propiedades magnéticas, (b) obtener información sobre modificaciones de los materiales asociadas al manejo y tratamiento (técnicas de manufactura de cerámica), y (c) estudio de proveniencia (identificación de las fuentes de arcilla empleados como materia prima para la elaboración de las cerámicas).

Las arcillas 'cocinadas' provenientes de hornos y otras zonas quemadas (por ejemplo en incendios o por contacto con magma) han provisto un considerable número de datos arqueomagnéticos (Aitken, 1974; Tarling, 1983) y de datos de paleointensidades del campo geomagnético (Thellier, 1981). Las propiedades magnéticas de estos materiales han sido en contraste poco estudiadas, por lo que la información reportada en este trabajo para las arcillas y los fragmentos de cerámica son de interés, y en particular indican la ocurrencia de un rango significativo de variación (magnetización remanente, susceptibilidad, magnetización isothermal y de saturación, coercitividad, etc).

Los resultados de propiedades magnéticas apoyan la presencia de óxidos de Fe (y Ti), en los cuales se debe tener un cierto porcentaje del hierro presente en las muestras (dicho

porcentaje puede ser bajo relativo al Fe en otras formas como en silicatos, etc.). Los óxidos al parecer son predominantemente de las series de titanomagnetitas, y en menor proporción, de titanohematitas. Los nombres son genéricos ya, que se puede tener sustitución de cationes en ambas fases (Al, Mg, Ca, etc.).

Comparación entre arcillas y cerámicas

A partir de los datos de propiedades magnéticas y mecánicas y las similitudes macroscópicas se pueden documentar ciertas asociaciones posibles entre las arcillas y los fragmentos de cerámica estudiados. Por ejemplo, una de las conclusiones principales es respecto a las arcillas tipo Matamba que pudieron ser empleadas para las cerámicas T-14 y V-16, mientras que las cerámicas T-6, V-7, T-8 y V-9 requieren del uso de arcillas, como las de Cotaxtla y Pirámide de la Luna. Para las cerámicas T-12 y T-10 se requiere arcilla tipo de la Pirámide de la Luna.

La porosidad de los materiales proporciona datos interesantes. Por ejemplo, las cerámicas de Teotihuacan son casi el doble de porosas que las de Veracruz. Después de recolectarlas en el laboratorio, estas diferencias se atenúan debido a la pérdida adicional de humedad y materia orgánica.

En los datos de susceptibilidad y de coercitividad se tienen semejanzas entre las cerámicas V-18 y V-11 (Veracruz) y T-12A y T-10 (Teotihuacan). En la gráfica de susceptibilidad contra intensidad se tienen grupos como T-12A, T-12B, T-10, V-18, V-15A, V-11 y V-9. Al separarlos se tienen T-8 y V-15B.

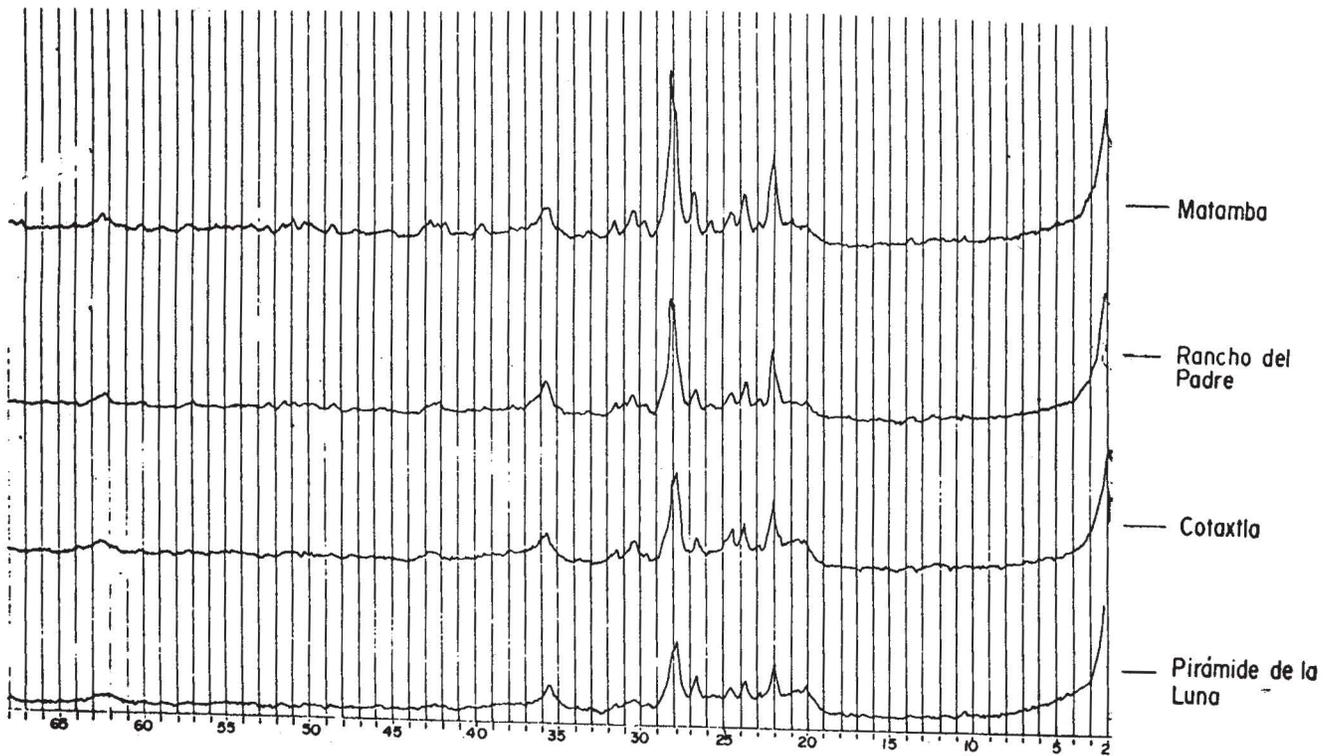


Fig. 11. Ejemplos de espectrogramas para las muestras de arcillas. Las muestras están caracterizadas por la ocurrencia de ilita como mineral arcilloso dominante. Se tiene la presencia de un ion ferroso bien definido (Manzanilla *et al.*, 1991).

Implicaciones Arqueológicas

El contexto arqueológico ha sido discutido en Manzanilla *et al.* (1991). Básicamente, la similitud de los conjuntos cerámicos plantea:

- (1) Cerámica elaborada en un sitio único y llevada al otro, ya sea por (a) intercambio o 'comercio', asociado a la gran área de influencia de Teotihuacan y (b) migración de un grupo relativamente numeroso de Teotihuacan a la costa (llevando no sólo formas domésticas, sino cerámica 'fina').
- (2) Cerámica elaborada en Teotihuacan y en la costa del Golfo. Ello plantea además: (a) transferencia de tecnología, en donde por ejemplo artesanos teotihuacanos llevaron las técnicas y estas se aplicaron (por los mismos teotihuacanos y/o la gente local) con materiales principalmente del lugar y (b) imitaciones. Grupos de la costa del Golfo copiaron formas, acabados y parcialmente técnicas de Teotihuacan y por razones de prestigio, religiosas, etc las emplearon en la costa del Golfo.

La similitud en las propiedades magnéticas y otras propiedades físicas y químicas (Manzanilla *et al.*, 1991: resistencia mecánica, composición, espectros Mossbauer, etc) indica semejanzas generales en las técnicas de manufactura de las cerámicas (condiciones de cocción, método de preparación y materiales añadidos, etc). Ello, junto a la aparente similitud macroscópica (forma, acabado, etc) de los con-

juntos cerámicos apoya la ocurrencia de relaciones estrechas entre Teotihuacan y la costa del Golfo y la adopción de técnicas alfareras semejantes por grupos del Clásico, apoyando observaciones sobre el prestigio de la cerámica teotihuacana en Mesoamérica (Rattray, 1973; Manzanilla *et al.*, 1991).

En Veracruz, particularmente en la región de los Tuxtlas, ha sido estudiada una colonia teotihuacana. El sitio de Maticapan cuenta con zonas de elaboración cerámica para hacer imitaciones de las formas teotihuacanas más populares: vasos copa, candeleros, figurillas, braseros, incensarios y floreros. La existencia de conjuntos habitacionales semejantes a los de Teotihuacan, la arquitectura de tablero-talud y los entierros a la usanza teotihuacana han llevado a suponer a Ortíz *et al.*, (1988) la presencia de gente teotihuacana conviviendo con los grupos locales, quizá incluso transmitiendo las técnicas alfareras de Teotihuacan.

Es probable que este proselitismo de la tecnología teotihuacana haya llegado a la zona del actual puerto de Veracruz, de donde provienen nuestras muestras. A favor de la interpretación para esta zona se tiene la gran similitud del escenario geológico de la región: tobas y depósitos piroclastos similares a los del valle de Teotihuacan. Ello explica la similitud en los materiales empleados y en los productos.

En un contexto regional, la influencia de Teotihuacan puede observarse en la distribución de otros materiales de empleo intensivo en Mesoamérica tales como la obsidiana

(Cobean *et al.*, 1971). Teotihuacan constituyó un centro con un notable desarrollo urbanístico (Millón, 1967, 1970), una numerosa población y gran actividad artesanal y de intercambio, lo que debe haber fomentado y facilitado la influencia de este centro sobre toda Mesoamérica.

Los grupos de Mesoamérica en el período Clásico mantuvieron un contacto estrecho, con relaciones de intercambio de productos naturales y manufacturados muy intensas. La difusión de tradiciones, formas de organización, teología, etc aun en lugares apartados de Mesoamérica, también indica el nivel de articulación y participación de los diferentes grupos. Las observaciones astronómicas y de climas, algunas ideas cosmogónicas, la numeración vigesimal, los calendarios ritual (de 260 días) y cívico (de 365 días) y bienes de prestigio y símbolos estaban ampliamente difundidos en Mesoamérica (Manzanilla, 1990). Entre los materiales alóctonos de mayor intercambio estaban la obsidiana y ciertos tipos de cerámica. Además se tenían la jadeita, serpentina, turquesa, plumas preciosas y pieles de felinos (Manzanilla, 1990). En el mundo mesoamericano del Clásico, las relaciones estaban coordinadas por las sociedades urbanas y la organización religiosa de los grandes centros. Durante la época de esplendor de Teotihuacan, el área de influencia fue muy extensa (Figura 1).

Los resultados de este estudio de propiedades magnéticas de muestras de cerámica y de arcillas provenientes de sitios en Teotihuacan y en la costa del Golfo en Veracruz indican que estos materiales presentan características similares y apoyan la presencia de mecanismos de intercambio entre los grupos de estos dos lugares del centro del país (Figura 1).

APENDICE 1 MAGNETISMO

1.1 Propiedades magnéticas

La magnetización inducida (J) en un material por la acción de un campo magnético (H) puede expresarse como:

$$J_i = k_{ij} H_j \quad (1)$$

donde k_{ij} representa la susceptibilidad magnética del material y N_a es el factor de desmagnetización. Esta expresión es usualmente expresada en términos de un campo magnético efectivo (H_{ef}), como:

$$J = k H_{ef} \quad (2)$$

donde $H_{ef} = H - N_a J$. Cuando este factor N_a tiene valores pequeños o cuando la magnetización inducida es de baja densidad (k pequeña), se tiene $H_{ef} \approx H$.

De acuerdo con su comportamiento en presencia de campos magnéticos bajos (del orden de 0.1 mT; militeslas), los materiales se han dividido para su estudio en: (1)

diamagnéticos, (2) paramagnéticos y (3) ferromagnéticos (Stacey y Banerjee, 1974). El diamagnetismo se debe a la precesión de las órbitas de los electrones, que resulta en la generación de un momento magnético en la dirección opuesta al campo magnético aplicado. El diamagnetismo se presenta en todos los materiales, sin embargo, cuando se tienen los efectos paramagnéticos o ferromagnéticos, estos dominan en las propiedades magnéticas.

El campo magnético terrestre en la superficie de la Tierra varía de unos 0.03mT (30 000 gamas o 0.3 Oerstedes, Oe) en el Ecuador a unos 0.06mT (60 000 gamas o 0.6 Oe) en los polos.

En los materiales diamagnéticos la susceptibilidad es menor de cero ($k \leq 0$) pequeña (del orden de 10^{-7}). En el caso de materiales, con átomos cuyos niveles orbitales están incompletos, se tiene un efecto adicional con un momento magnético del átomo, debido a la falta de compensación en los momentos de los 'spins' de los electrones. Estos materiales son conocidos como paramagnéticos, presentan susceptibilidades positivas (del orden de 10^{-5} a 10^{-6}) y en presencia de un campo magnético presentan un momento magnético en la misma dirección que el campo. En el caso de los átomos de algunos elementos (elementos de la primera serie de transición), se tiene un efecto de interacción (intercambio directo entre átomos adyacentes, o indirecto a través de aniones) que produce una magnetización espontánea aún en ausencia de un campo magnético externo. Estos materiales son los ferromagnéticos, que presentan susceptibilidades positivas y que son los materiales usualmente referidos como 'magnéticos'. Dependiendo del tipo de intercambio, se pueden tener varias clases de comportamiento: (1) ferrimagnético, (2) antiferromagnetismo y (3) antiferromagnetismo imperfecto. Debido a que en estos materiales la interacción es importante, la modificación de distancias interatómicas, debido a cambios de temperatura, modifica las propiedades. Cuando el intercambio se excede, los materiales se comportan como paramagnéticos. La temperatura arriba de la cual se tiene paramagnetismo, se conoce como temperatura de Curie para materiales ferro y ferrimagnéticos y como temperatura de Néel para antiferromagnéticos.

Los materiales ferromagnéticos son capaces de presentar una magnetización en ausencia de un campo magnético. Esta magnetización se conoce como remanente (MR) y puede generarse por diversos procesos (ver siguiente sección). En estos materiales la magnetización total es la suma vectorial de inducida (J) y remanente (MR):

$$M = J + MR \quad (3)$$

1.2 Minerales magnéticos - Óxidos de Fe y Ti

El Fe es un elemento común en las rocas y materiales de interés arqueológico y usualmente está presente como óxido o hidróxido. Los óxidos de Fe comúnmente contienen Ti (y otros elementos) y forman series de solución sólida con composiciones variables. Estos óxidos tienen temperaturas altas de solidificación de 1400°-1600° y son de los

primeros cristales en formarse en magmas. En el diagrama ternario se ilustran los minerales y series más importantes: wurstita (FeO), rutilo (TiO₂), magnetita (Fe₃O₄), hematita (αFe₂O₃), maghemita (γFe₂O₃), ilmenita FeTiO₂, (120 grados Kelvin, K).

La composición de la serie está frecuentemente desplazada hacia la serie ilmenohematitas, en la dirección de oxidación. En rocas ígneas esta oxidación ocurre a temperaturas altas, 600-1000°C, o bien a temperaturas bajas durante el intemperismo o actividad hidrotermal. La oxidación a bajas temperaturas resulta en la serie de titanomagnetitas oxidadas a titanomaghemitas. El miembro extremo maghemita (γFe₂O₃) es un mineral cúbico espinelo inverso, con dimensiones de red de 8.35 Å y con magnetización de saturación alta del orden de 450. 10⁻³ A/m. Es metaestable y se invierte irreversiblemente a hematita (αFe₂O₃) de estructura romboedral a temperaturas de 300°C a 700°C, por lo que su temperatura de Curie no se conoce (por extrapolación podría ser de 675°C).

La serie de titanohematitas forma una solución sólida a temperaturas arriba de los 900°C; a temperaturas bajas la composición se aproxima a los miembros extremos (ilmenita y hematita) por lo que composiciones intermedias sólo se tienen en rocas enfriadas muy rápidamente. La serie tiene estructura romboedral y comportamientos diversos, siendo antiferromagnética para x=0.9 (por ejem. ilmenita), ferromagnética para composiciones intermedias con 0.45 ≤ x ≤ 0.9 y antiferromagnética imperfecta (o con ferromagnetismo parásito) para x=0.4 (por ejem. hematita). Las soluciones sólidas de composiciones intermedias son raras y comúnmente se tienen intercrecimientos de ilmenita y hematita, con comportamientos dominado por la hematita ya que la ilmenita es paramagnética a temperatura ambiente (temperatura de Néel de -180°C).

La hematita es romboedral, con un tamaño de celda de 5.427 Å y una red de iones de O y cationes de Fe en dos sub-redes con magnetizaciones opuestas. La magnetización de saturación es baja, 2.2.10⁻³ A/m. La temperatura de Curie para este débil ferromagnetismo imperfecto es de 680°C; comportamiento que también se pierde a -20°C (transición de Morin). Entre los 680°C y los 725°C (temperatura de Néel) se observa otro comportamiento débil ferromagnético debido a defectos e impurezas en la red cristalina. La hematita es un constituyente común en rocas ígneas ácidas y en sedimentarias. Las propiedades dependen del tamaño de grano, impurezas y temperatura. La coercitividad por ejem., tiene valores altos de 3.5-6.5 T para partículas de dominio sencillo (de 1.3 µm en diámetro) y es no-magnética para partículas de 0.2 µm. La hematita usualmente se presenta en dos formas: como pigmento rojo muy fino (~1 µm) o como granos negros de especularita (~10 µm).

Compilaciones de propiedades magnéticas de minerales y agregados en las diversas litologías pueden encontrarse en varios libros (por ejem. Stacey y Banerjee, 1974; Tarling, 1983; Carmichael, 1983). Los minerales magnéticos están incluidos en el grupo de minerales conocidos generalmente como opacos (en referencia a sus propiedades de reflectancia y transmitividad en observaciones con microscopios) y de-

talles de estos pueden encontrarse en estudios de minerales de interés económico (Craig y Vaughan, 1981).

1.3. Magnetizaciones remanentes

La aplicación de campos magnéticos directos en materiales con minerales ferromagnéticos resulta en la generación de ciclos de histéresis. La aplicación de un campo H hasta un valor H_c resulta en una magnetización J, en un proceso lineal y reversible con una pendiente de valor inversamente proporcional a la susceptibilidad (k). Si el valor de H se incrementa, se tiene un proceso no lineal e irreversible, que resulta en una magnetización remanente (J_r) cuando H es reducido a cero. Si el valor de H se incrementa, se tienen comportamientos similares hasta que se alcanza la magnetización de saturación (J_s). Si H es reducido a cero, se tiene la magnetización remanente de saturación (J_{rs}), la cual es reducida a cero en el campo de coercitividad máxima (H_c).

Existen diversos procesos por medio de los cuales es posible generar una magnetización remanente. Uno de estos procesos es el que ocurre en las rocas ígneas y materiales sujetos a temperaturas altas tales como cerámicas, en las que el cambio de temperatura resulta en la generación y fijación de una magnetización remanente (magnetización remanente térmica, TRM). En el caso de minerales magnéticos de dominio sencillo (SD), la magnetización puede expresarse como:

$$J_t = J_o e^{-t/\tau} \quad (4)$$

donde τ es el tiempo de relajación, que puede expresarse como:

$$\tau = \frac{1}{C} e^{vH_c J_s / 2kT}$$

donde:

- t = tiempo
- J_o = magnetización
- v = volumen
- H_c = coercitividad
- J_s = magnetización de saturación
- k = constante de Boltzman
- T = temperatura (°K)
- C = factor de frecuencia (10¹⁰ seg⁻¹)

El tiempo de relajación es pequeño cuando T es grande, de tal forma que los momentos magnéticos, debido a la agitación térmica, alcanzan equilibrio con campos de baja intensidad (Urrutia, 1981). Si T disminuye, el tiempo de relajación aumenta y la magnetización de equilibrio se fija por periodos largos.

El factor de relajación puede también mostrar un incremento (o decremento) a una temperatura constante T, cuando el volumen v varía durante cambios químicos (metamorfismo, alteración hidrotermal, oxidación, etc.). Esto resulta en la formación de magnetizaciones remanentes químicas (CMR).

La aplicación de campos magnéticos de alta intensidad (como en el proceso descrito de histéresis, resulta en magnetizaciones remanentes isotermales (IRM), las cuales se observan en rocas afectadas por rayos en tormentas eléctricas. La intensidad de la IRM es generalmente mayor que las otras magnetizaciones remanentes presentes.

La aplicación de campos magnéticos de intensidad baja (comparables al terrestre) en temperaturas bajas por periodos largos de tiempo resulta en la generación de una magnetización remanente viscosa (VRN). VRN está presente en los materiales, con una dirección cercana a la del campo geomagnético actual (o campo dipolar).

La aplicación de un campo magnético alterno decreciente de una intensidad dada, sobre-impuesto en un campo magnético directo, resulta en la formación de una magnetización remanente anisotrópica (ARM).

1.4. Desmagnetización con campos magnéticos alternos decrecientes (CMAD)

La desmagnetización CMAD de la magnetización remanente permite investigar la composición vectorial de la MR (componentes), la estabilidad de estas componentes e identificar los minerales magnéticos portadores del registro de magnetización remanente (Collinson, 1983).

La intensidad del campo alterno se va incrementando en varios pasos, midiendo la intensidad y dirección de la magnetización que permanece después de la desmagnetización. Para el análisis de los resultados de desmagnetización CMAD se dispone de varios métodos, tales como diferencias vectoriales, análisis de componentes principales, círculos de remagnetización, etc. Para la presentación y análisis gráfico se dispone de proyecciones estereográficas, diagramas vectoriales, gráficas de intensidad normalizada, gráficas de coercitividad, etc.

AGRADECIMIENTOS

El estudio de las cerámicas y arcillas de Teotihuacan y la Costa de Veracruz se ha realizado bajo la coordinación de Linda Manzanilla y en cooperación con Zinzuni Jurado del Instituto de Geofísica, UNAM, Annick Daneels de la Misión Belga en México y con Sergio Aburto y Manuel Jiménez de la Facultad de Ciencias, UNAM. Sus comentarios y discusiones en las diversas fases del proyecto han resultado de gran utilidad en el desarrollo de los estudios de propiedades magnéticas. Z. Jurado realizó las mediciones iniciales sobre propiedades magnéticas de las muestras y participó en la etapas iniciales del proyecto.

BIBLIOGRAFIA

- AITKEN, M. J., 1974. *Physics and Archaeology*. Oxford (2nd Edition), Clarendon Press, 291 pp.
- BARBA, L., 1990. Radiografía de un sitio arqueológico. Publ. Inst. Inv. Antropol., UNAM, 138 pp.
- BARBA, L., B. LUDLOW, L. MANZANILLA y R. VALADEZ, 1987. La vida doméstica en Teotihuacan. Un estudio interdisciplinario. *Ciencia y Desarrollo*, 77, 21-32.
- BARBA, L. y L. MANZANILLA, 1987. Superficie/excavación. Un ensayo de predicción de rasgos arqueológicos desde la superficie en Oztotyahualco. *Antropológicas*, 1, 19-46.
- CARLSON, J. B. 1975. Loadstone compass: Chinese or Olmec primacy? *Science*, 189, 753-760.
- COEY, J. M. D., R. BOUCHEZ y N. V. DANG, 1979. Ancient techniques. *J. Appl. Phys.*, 50 (11), 7772-7777.
- COBEAN, R. H., M. D. COE, E. A. PERRY, K. K. TUREKIAN y D. P. KHARKAR, 1971. Obsidian trade at San Lorenzo Tenochtitlan, Mexico. *Science*, 174, 666-671.
- COLLISON, D. W., 1983. *Methods in palaeomagnetism and rock magnetism*. Chapman and Hall.
- DANEELS, A., 1988. La cerámica de Plaza de Toros y Colonia Ejidal. Project report - Exploraciones en el Centro de Veracruz, col. I y II, México D. F.
- DEL CASTILLO, L. y J. URRUTIA., 1974. Microgeofísica en Arqueología e Ingeniería Civil. *Bol. Asoc. Mex. Geof. Expl.*, 15, 1-46.
- FRIEDMAN, A. M. y J. LERNER, 1977. Spark source mass spectrometry in archaeological chemistry. En: G. Carter (Ed.), *Archaeological chemistry*. *Am. Chem. Soc.*, pp. 70-78.
- GALE, N. H., 1981. Mediterranean obsidian source characterization by strontium isotope analyses. *Archaeometry*, 23, 41-51.
- GORDUS, A. A., G. A. WRIGHT y J. B. GRIFFIN, 1968. Obsidian sources characterized by neutron activation analysis. *Science*, 161, 382-384.
- JURADO, Z., J. URRUTIA, L. MANZANILLA, L. BARBA, S. ABURTO y M. JIMENEZ, 1989. Magnetic properties of pottery and clay - A characterization and provenance study. *EOS (Trans. Am. Geophys. Union)*, 70^o (33), 1066.
- MALMSTROM, V. H., 1976. Knowledge of magnetism in pre-Columbian Mesoamerica. *Nature*, 259, 390-391.
- MANZANILLA, L. 1990. El mundo clásico mesoamericano. En: Manzanilla, L. y L. López Luján, (Eds), *Atlas Histórico de Mesoamérica*, Ed. Larousse, México, p. 74-76.
- MANZANILLA, L. (ED), 1993. *Anatomía de un conjunto residencial teotihuacano en Oztotyahualco*. Inst. Inv. Antropológicas, UNAM, 2 volúmenes.
- MANZANILLA, L., L. BARBA, S. ABURTO, M. JIMENEZ y J. URRUTIA, 1991. Estudio interdiscipli-

- rario de arcillas y cerámicas de Teotihuacan y del centro de Veracruz. *Antropología y Técnica*, 4, 7-55.
- MILLON, R., 1967. Teotihuacan. *Sci. Am.*, 216, 38-48.
- MILLON, R., 1970. Teotihuacan: Completion of map of giant ancient city in the Valley of Mexico. *Science*, 170, 1077-1082.
- MOOSER, F., 1968. Geología, naturaleza y desarrollo del Valle de Teotihuacan. En: Lorenzo, J. L. (Ed), *Materiales para la Arqueología de Teotihuacan*, INAH Serie Investigaciones, México D. F., No. 17, p. 29-37.
- ORDOÑEZ, E., 1922. Geología, La población del Valle de Teotihuacan, México. Direc. Antropol., Sec. Agricultura y Fomento, Tomo 1.
- ORTIZ CEBALLOS, P., R. S. SANTLEY y C. A. POOL, 1988. Resumen de las investigaciones arqueológicas en Matacapán, San Andrés Tuxtla, Veracruz (temporada 1982-1986). *Rev. Mex. Estudios Antropol.*, 34, 325-342.
- PADDOCK, J. (Ed), 1966. Ancient Oaxaca. Stanford Univ. Press, Stanford, Calif. USA.
- PERLMAN, I. y F. ASARO, 1969. Pottery analysis by neutron activation. *Archaeometry*, 11, 21-52.
- RAPP, G. JR. y J. A. GIFFORD, (Eds.), 1985. Archaeological geology. Yale Univ. Press, New Haven, USA.
- RAPP, G., E. HENDRICKSON, M. MILLER y S. ASCHENBRENNER, 1980. Trace-element finger printing as a guide to the geographic sources of native copper. *J. Metals*, 32, 35-45.
- RATTRAY, E., 1973. The Teotihuacan ceramic chronology - Early Tzacualli to Early Tlamimilolpa Phases. Ph. D. Dissertation, Univ. Missouri, USA.
- SHACKLETON, N. y C. RENFREW, 1970. Neolithic trade routes realigned by oxygen isotope analyses. *Nature*, 228, 1062-1065.
- STACEY, F. D. y S. K. BANERJEE, 1974. The physical principles of rock magnetism. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.
- STERNBERG, R. S., 1987. Archaeomagnetism and magnetic anomalies in the American southwest. *Geophysics*, 52, 368-371.
- TARLING, D. H., 1983. Palaeomagnetism. Principles and applications in Geology, Geophysics and Archaeology. Chapman and Hall, 379 pp.
- TARLING, D. H., 1985. Archaeomagnetism. En: Rapp, G. Jr. and J. A. Gifford, (Eds.), *Archaeological Geology*, Yale Univ. Press, p. 191-235.
- THELLIER, E., 1981. Sur la direction du champ magnétique terrestre en France durant les deux derniers millénaires. *Phys. Earth Planet. Inter.* 24, 89-132.
- URRUTIA, J., 1975. Investigaciones paleomagnéticas y arqueomagnéticas en México. *Anales Inst. Geof.*, 21, 127-134.
- URRUTIA, J., 1977. Importancia de la magnetización remanente en la interpretación de anomalías magnéticas. *Bol. Asoc. Mex. Geóf. Expl.*, 38, 83-116.
- URRUTIA, J., 1979. Further reliability tests for determination of palaeointensities of the Earth's magnetic field. *Geophys. J. R. Astr. Soc.*, 61, 243-251.
- URRUTIA, J., 1981. Some observations on short-term magnetic viscosity behaviour at room temperature. *Phys. Earth Planet. Inter.*, 26, 1-5.
- URRUTIA, J., L. MAUPOME y P. J. BROSCHE, 1985. El compás magnético en China y Mesoamérica. *Geos. Gol.*, 2,
- WILSON, A. L., 1978. Elemental analysis of pottery in the study of its provenance: A review. *J. Archaeol. Sci.*, 5, 219-236.
- WOLFMAN, D., 1984. Geomagnetic dating methods in Archaeology. In: *Advances in Archaeological Method and Theory*, M. B. Schiffer (Ed), Academic Press, San Diego, USA, p. 363-458.

J. Urrutia Fucugauchi¹, Linda Manzanilla² y L. Barba Pingarrón²

¹ Laboratorio de Paleomagnetismo y Geofísica Nuclear, Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México, Coyoacán, 04510 México, D.F., México.

² Instituto de Investigaciones Antropológicas, Universidad Nacional Autónoma de México, Coyoacán, 04510 México, D.F., México.