



---

# TESIS

## “Nuevas aportaciones a la cronología absoluta de Monte Albán, Oaxaca y fuentes de proveniencia de los materiales cerámicos”

Para obtener el título de:

*Maestro en Geociencias y Planificación del Territorio*

P R E S E N T A:

*Ing. Marco Thulio Rodríguez Tokutaira.*

Asesor: *Dra. Isabel Israde Alcántara.*

*CONAHCYT Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Tierra, UMSNH, Morelia, México.*

Coasesor: *Dr. Avtandil Gogichaishvili.*

*Laboratorio Interinstitucional de Magnetismo Natural, IGUM-UNAM, Morelia, México.*

**Morelia, Michoacán**

**Junio, 2025**

## **DEDICATORIA.**

A mis padres, Norberto Rodríguez Lastra y Rosaura Tokutaira Mata, por su amor incondicional, su apoyo constante y las innumerables lecciones de vida que me han dado a lo largo de los años. Su esfuerzo y dedicación han sido mi mayor inspiración para alcanzar este logro.

A mi pareja, Marlene, por su cariño, paciencia y apoyo incondicional durante este proceso. Tu presencia y aliento me fortalecieron en los momentos más difíciles.

A mis hermanos, Beto y Ferni, por su comprensión y respaldo constante. Su confianza en mí me motiva mi camino.

Esta tesis es un reconocimiento a todos aquellos que han creído en mí y me han motivado a perseverar.

## **AGRADECIMIENTOS.**

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a todas las personas e instituciones que hicieron posible la realización de esta tesis.

A mis asesores, el Dr. Avto Gogichaishvili y la Dra. Isabel Israde, por su guía invaluable, paciencia y dedicación a lo largo de este proceso. Su experiencia y consejos fueron fundamentales para el desarrollo de este trabajo.

A los miembros de mi comité, Dr. Alejandro Avila, Dr. Ángel Figueroa y Dr Boris Chako, por sus valiosas observaciones y sugerencias que enriquecieron esta investigación. En especial, para el Dr. Rubén Cejudo, un gran mentor y también un buen amigo.

A el Instituto de Geofísica Unidad Michoacán, por brindarme las herramientas, recursos y el espacio necesario para llevar a cabo este proyecto. En especial, agradezco al Laboratorio Interinstitucional de Magnetismo Natural, por facilitar el acceso a los equipos y materiales utilizados.

A mis compañeros de Paleomagnetismo, por su apoyo, colaboración y las largas horas de trabajo compartidas, que hicieron de esta experiencia un aprendizaje colectivo.

A Dr. David Andrade Olvera, director de la zona arqueológica de Monte Albán, Arqlgo. Jesús Eduardo Media Villalobos y Arqlga. Claudia Jael Jiménez Mu, coordinadores del salvamento arqueológico. A UNAM-DGAPA-PAPIIT n° IN100224 por financiar este proyecto. LI Instituto de Metalurgia y Ciencias de los materiales de la UMSNH por el apoyo en los análisis de Fluorescencia de rayos X.

A todos, mi más sincero agradecimiento.

## **RESUMEN.**

En la investigación de Monte Albán, se llevaron a cabo análisis de mineralogía magnética, arqueomagnetismo y geoquímica en relación con los hornos de cerámica encontrados en el sitio. Las muestras incluyen cuatro artefactos de combustión con una o dos cámaras y un fogón en el área periférica del sitio. Los análisis de las curvas de susceptibilidad en función de la temperatura revelan cierta inestabilidad térmica. Los granos de magnetitas o titanomagnetitas pobres en titanio, con dominio pseudo-sencillo, parecen ser responsables de la mayor parte de la remanencia de la muestra del horno. Por otro lado, las muestras del fogón están compuestas principalmente por hematita como mineral portador de la magnetización termorremanente. La componente característica del vector magnético de las muestras de hornos de Monte Albán fue obtenida mediante un proceso de desmagnetización por campos alternos.

Las dataciones obtenidas mediante direcciones arqueomagnéticas, en combinación con modelos globales y locales del campo magnético terrestre, permiten establecer un intervalo de edad entre: 165 a.C a 370 d.C. Este nuevo aporte contribuye a un mejor conocimiento de la historia temprana de Monte Albán.

Palabras Clave: Oaxaca, Monte Albán, Arqueomagnetismo, Geoquímica, Mineralogía Magnética, Cronología absoluta.

## **ABSTRACT**

A detailed magnetic mineralogy, archaeomagnetism and geochemistry survey was carried out on samples belonging to the ceramic kilns. The samples came from four combustion structures and a stove in the peripheral area of the site. The susceptibility vs temperature curve analyses show thermal instability. Pseudo-single-domain structure titanomagnetite or magnetite grains appear to be responsible for most of the remanence in the studied units. On the other hand, stove samples are mainly composed of hematite grains as the main thermoremanence carrier. The characteristic component of the magnetic vector of the Monte Albán sites were obtained through a process of alternative field demagnetization.

The dating obtained through archaeomagnetic directions, using global and local models of the Earth's magnetic field, allow setting up an age interval between 165 BC to 370 AD. This new contribution allows a better understanding of the early history of the Monte Albán.

ÍNDICE.	Pág
DEDICATORIA.	2.
RESUMEN.	3.
<b>1. INTRODUCCIÓN.</b>	5.
1.1. Planteamiento del Problema.	5.
1.2. Relevancia de la Investigación.	5.
<b>2. JUSTIFICACIÓN.</b>	6.
<b>3. HIPÓTESIS.</b>	7.
<b>4. OBJETIVOS.</b>	7.
4.1. Objetivo General.	7.
4.2. Objetivos Específicos.	7.
<b>5. MARCO TEÓRICO.</b>	8.
5.1. Campo magnético terrestre (CMT).	8.
5.2. Componentes del CMT.	9.
5.3. Modelo dipolar axial geocéntrico (GAD).	10.
5.4. Variación secular.	11.
5.5. Susceptibilidad magnética.	14.
5.6. Diamagnetismo.	17.
5.7. Paramagnetismo.	17.
5.8. Ferromagnetismo.	17.
5.9. Ferrimagnetismo.	18.
5.10. Temperatura de Curie.	19.
5.11. Tipos de magnetización.	19.
5.12. Fluorescencia de rayos x.	20.
<b>6. CONTEXTO GEOLÓGICO, ARQUEOLÓGICO E HIDROLÓGICO.</b>	21.
6.1. Geología del entorno de Monte Albán.	21.
6.2. Contexto Arqueológico.	24.
6.3. Contexto Hidrológico.	37.
<b>7. EXPERIMENTOS DE LABORATORIO.</b>	40.
7.1. Preparación de muestras.	41.
7.2. Preparación de especímenes para desmagnetización por campos alternos.	42.
7.3. Estimación de la estabilidad del vector magnético.	42.
7.4. Desmagnetización por campos alternos.	44.
7.5. Curvas Termomagnéticas.	45.
7.6. Estudios de Paleointensidad.	46.
7.7. Datación de objetos arqueológicos por método arqueomagnético.	47.
7.8. Paleoambientes.	49.
<b>8. RESULTADOS.</b>	51.
<b>9. DISCUSIÓN.</b>	74.
<b>10. CONCLUSIONES.</b>	79.
<b>11. BIBLIOGRAFÍA.</b>	80.

## **INTRODUCCIÓN.**

El arqueomagnetismo constituye una línea de investigación relevante, ya que los materiales arqueológicos pueden registrar las condiciones del campo magnético terrestre en el momento de su elaboración o su última exposición a altas temperaturas. Este método permite obtener información sobre las características y variaciones del campo geomagnético mediante el análisis detallado de dichos materiales. Al conocer las fluctuaciones del campo magnético terrestre en el pasado, es posible construir un registro de variación temporal, conocido como curva de variación secular, que facilita el fechamiento magnético. En algunos casos, este procedimiento ofrece una precisión comparable a la de los métodos de datación radiométrica (Tauxe, 2010).

Las curvas maestras, elaboradas para áreas con un radio inferior a 1000 km, se emplean para datar artefactos arqueológicos mediante la comparación de datos de dirección e intensidad con una curva de referencia (Goguitchaichvili, 1999). Además, a partir del análisis de armónicos esféricos, se han desarrollado modelos regionales y globales del campo magnético terrestre (CMT) utilizando datos arqueomagnéticos de objetos arqueológicos (Pavón-Carrasco et al., 2010, 2014) y registros de sedimentos lacustres (e.g., Korte et al., 2009). Estos modelos, complementados con indicadores paleoambientales como las diatomeas presentes en sedimentos, permiten reconstruir las condiciones ambientales asociadas a los sitios arqueológicos y fortalecer la correlación entre fechados y paleoambientes.

La localidad arqueológica de Monte Albán, situada en una posición geográficamente privilegiada en los Valles Centrales de Oaxaca (Mapa 1), fue la capital cívico-administrativa de la sociedad zapoteca durante aproximadamente 1300 años, desde su fundación en el 500 a.C. hasta su declive como entidad política dominante a finales del período Clásico, entre los años 800 y 850 d.C. (Blanton et al., 1999; Marcus & Flannery, 2001). En su apogeo, Monte Albán albergó una población estimada de 30,000 habitantes, distribuidos en diversos barrios periféricos en las elevaciones adyacentes a la Plaza Principal (Blanton, 2004).

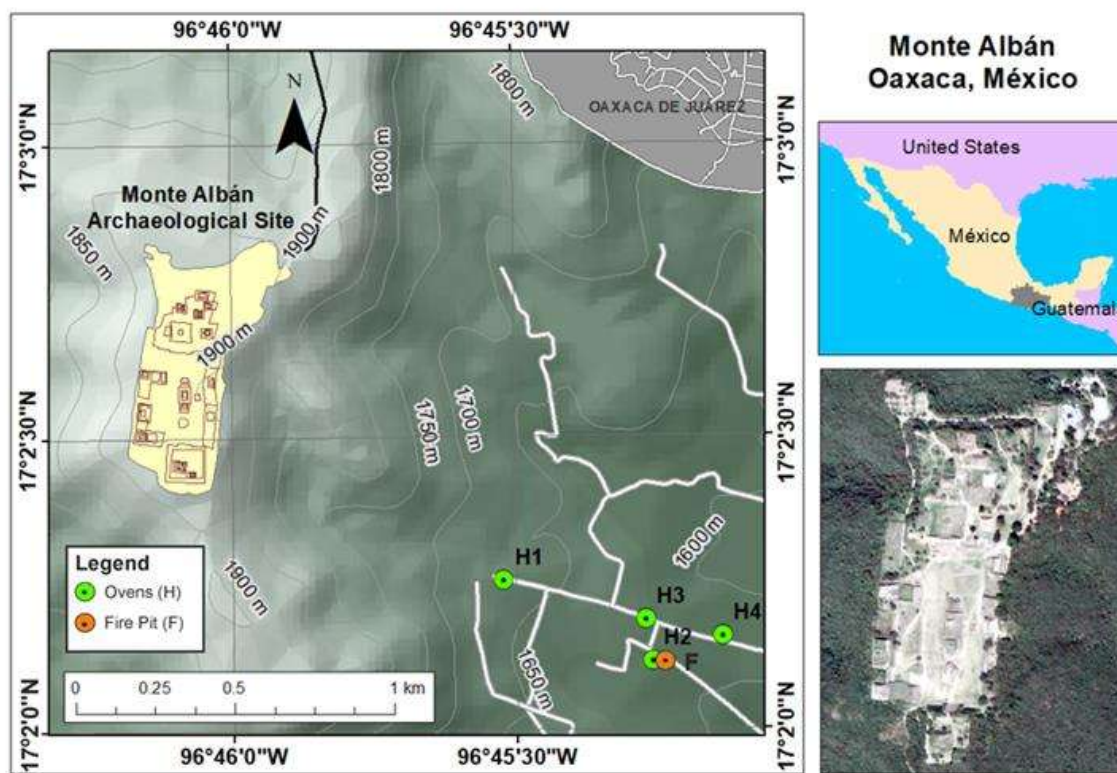
### **Planteamiento del problema.**

La zona periférica, en particular Xoxocotlán, ha recibido escasa atención arqueológica, pese a evidenciar una actividad cultural significativa. Estudios previos sugieren que esta área estuvo ocupada durante los períodos I y II (500 a.C. - 200 d.C.), según similitudes cerámicas con la cronología establecida por Caso et al. (2006). Sin embargo, aún no se cuentan con datos cronológicos absolutos sistemáticos y confiables.

### **Relevancia de la investigación.**

Recientemente, el Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH) realizó un rescate arqueológico en Xoxocotlán, donde se recuperaron diversos artefactos, incluyendo muros, terrazas, plataformas enyesadas, sistemas de drenaje, entierros humanos, hornos para la producción cerámica, herramientas de piedra tallada y pulida, vasijas cerámicas y adornos de concha. La edad del sitio se estimó mediante un análisis tipológico de la cerámica (O'Brien et al., 1982), aunque carece de una datación absoluta. Por ello, se propuso un estudio arqueomagnético para determinar el período de ocupación y establecer la relación entre la morfología y la temporalidad de los hornos (Goguitchaichvili et al., 2023). En dicho estudio, se analizaron cuatro hornos y un fogón en el área

de Xoxocotlán con el fin de obtener características cronológicas absolutas asociadas al período temprano de Monte Albán.



Mapa 1. Mapa esquemático de los yacimientos arqueológicos de Monte Albán y de la zona del piedemonte en el que se indica la ubicación de los hornos de cerámica estudiados.

## JUSTIFICACIÓN.

El método del arqueomagnetismo ofrece una alternativa eficiente para datar artefactos arqueológicos quemados de los últimos 14,000 años, superando algunas limitaciones de los métodos radiométricos más comunes, como el K/Ar y el  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ , aplicables a períodos más antiguos (>50ka), y el  $^{14}\text{C}$ , ampliamente utilizado en datación arqueológica. Mientras que el  $^{14}\text{C}$  depende del carbono presente en materia orgánica asociada a los objetos y no en el material mismo, el arqueomagnetismo determina una edad directamente relacionada con el momento de fabricación del artefacto o su última exposición a una fuente térmica (superior a 500 °C) (Goguitchaichvili et al., 2016). Estudios previos han demostrado la eficacia del arqueomagnetismo, aunque la precisión de las dataciones está condicionada por el modelo de estimación del campo magnético terrestre (CMT) y la calidad de las curvas de referencia empleadas (Mark et al., 2010; Urrutia-Fucugauchi et al., 2016; Pérez-Rodríguez, 2017).

Actualmente, los datos disponibles para construir curvas de variación secular en Mesoamérica son limitados y, en algunos casos, no cumplen con los criterios de calidad necesarios para su inclusión en curvas de variación secular regionales (Hervé et al., 2019; Mahgoub et al., 2019). Este estudio busca contribuir a la generación de datos arqueomagnéticos confiables para la región,

específicamente en Monte Albán y sus alrededores. Además, la información paleoambiental y los datos geoquímicos obtenidos del análisis de sedimentos se integrarán para identificar fuentes hídricas naturales, como escurrimientos, arroyos y manantiales, que se originan en el cerro y desembocan en el río Atoyac, en la base del valle. Estas fuentes pudieron influir en la disponibilidad de agua para la producción cerámica y el desarrollo urbano de Monte Albán, fortaleciendo la correlación entre los fechados arqueomagnéticos y los paleoambientes asociados.

## **HIPÓTESIS.**

Se plantea que en el valle de Oaxaca y las zonas adyacentes al río Atoyac existió una ocupación humana desde el 1600 a.C. hasta el 1521 d.C., caracterizada por el uso de materiales con minerales magnéticos para la elaboración de cerámicas en hornos. La abundancia de estos minerales en los materiales permite registrar la dirección e intensidad del campo magnético terrestre en el momento de su fabricación o última exposición a altas temperaturas. La determinación cronológica de los hornos mediante la técnica arqueomagnética mejora la precisión en la identificación de las fases culturales asociadas a su uso, aportando datos absolutos que complementan las cronologías relativas existentes.

Los estudios arqueomagnéticos de los hornos prehispánicos hallados en Monte Albán contribuyen a comprender el desarrollo de las culturas en el valle de Oaxaca, facilitando la identificación de patrones de migración, ocupación o abandono de sitios en la región. Además, se propone que las variaciones en el campo magnético registradas en los hornos reflejan cambios temporales que pueden correlacionarse con eventos culturales y ambientales significativos, como el auge y declive de Monte Albán como centro político y económico. Un análisis geoquímico de los tiestos cerámicos, complementado con la identificación de diatomeas en los sedimentos asociados, podría proporcionar indicios sobre las condiciones ambientales y la procedencia de las arcillas utilizadas en la elaboración de vasijas y hornos.

## **OBJETIVOS.**

### **Objetivo general.**

El objetivo general de esta investigación es emplear las aplicaciones del geomagnetismo y el contexto arqueológico para analizar las variaciones del campo magnético terrestre registradas en materiales arqueológicos quemados de Mesoamérica, con el propósito de determinar las edades de fabricación o última utilización de estos. La correlación entre las dataciones arqueomagnéticas y la identificación de diatomeas en sedimentos asociados a tiestos arqueológicos busca caracterizar las fuentes hídricas y la procedencia de los materiales utilizados en la elaboración de cerámicas. Este enfoque multidisciplinario contribuirá a comprender las interacciones entre las culturas mesoamericanas y su entorno.

### **Objetivos específicos.**

- Identificar las propiedades magnéticas de los hornos prehispánicos de Monte Albán para caracterizar los principales portadores magnéticos de la magnetización remanente.

- Evaluar la estabilidad del vector magnético en los hornos de Monte Albán mediante un proceso de desmagnetización por campos alternos, con el fin de determinar las direcciones primarias (declinación e inclinación) características.
- Establecer la edad de los hornos mediante la comparación de los elementos del campo magnético terrestre con curvas de variación secular disponibles para Mesoamérica.
- Contrastar la información arqueológica de los materiales cerámicos y hornos con las dataciones arqueomagnéticas para de obtener registros cronológicos más precisos de la ocupación en el área de estudio.
- Establecer una relación entre las dataciones arqueomagnéticas y los análisis de fluorescencia de rayos X en los materiales arqueológicos, con el objetivo de delimitar las fases culturales en la región de Monte Albán, Oaxaca.
- Determinar la procedencia de los materiales cerámicos presentes en los hornos de Monte Albán mediante la identificación de tipos de roca y diatomeas en sedimentos asociados, para mejorar la comprensión del contexto ambiental.

## **MARCO TEÓRICO.**

### **Campo magnético terrestre (CMT).**

La Tierra es un sistema complejo compuesto por varios componentes dinámicos que interactúan y se correlacionan entre sí. Uno de estos componentes es el Campo Magnético Terrestre (CMT), el cual envuelve el planeta y cuyo origen se cree que se encuentra en la parte interior del planeta: entre el núcleo interno y el núcleo externo. Las corrientes de convección que se producen en esta zona son fundamentales para generar el CMT, y se ha propuesto un modelo de geodínamo autoexcitado para explicar el proceso (Meloni, 2006).

El interior de la Tierra tiene diferentes características (cambios de densidad, presión, temperatura...etc.) que permiten inferir la presencia de un núcleo interno sólido compuesto principalmente de hierro y níquel, rodeado por un núcleo externo líquido a altas temperaturas (>45,000 °C) y presiones. Estas condiciones pueden generar procesos electrodinámicos, lo que significa que el núcleo podría asumirse como un conductor eléctrico por el cual circula una corriente eléctrica, produciendo un campo magnético (Tauxe, 2005).

Para estudiar el Campo Magnético Terrestre, se estableció un marco de referencia que considera el CMT como un campo dipolar, geocéntrico y axial. El análisis numérico del CMT fue llevado a cabo por Carl F. Gauss, quien aplicó un análisis de armónicos esféricos y determinó que la principal influencia en el campo magnético proviene de fuentes internas en la Tierra (Murray, 1990). Sin embargo, existe una variabilidad de la intensidad y dirección del campo magnético terrestre asociado a las fuentes externas (Blackely, 1996).



### Componentes del CMT.

El Campo Magnético Terrestre (CMT) puede analizarse mediante sus componentes, ya que es un campo vectorial. En cualquier ubicación de la superficie de la Tierra, el CMT se representa como un vector con tres componentes: la declinación (D), la inclinación (I) y la intensidad del campo magnético (H) (Figura 1). La declinación, que varía de 0° a 360°, es el ángulo entre el norte magnético (indicado por la brújula) y el norte geográfico. La inclinación, que va de -90° a 90°, se refiere al ángulo de inclinación de H con respecto al plano horizontal. La intensidad del campo magnético se mide en nanoTeslas (nT) en el Sistema Internacional de Unidades (SI), y se refiere a la magnitud del vector del campo magnético en ese punto.

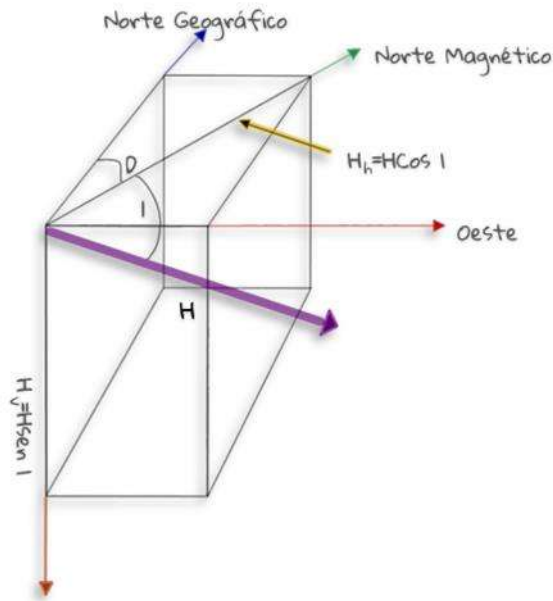


Figura 1. Descripción de la dirección del campo magnético (Modificado de Butler, 2004).

En un sistema cartesiano, las componentes vectoriales del campo magnético superficial (H) se analizan a través de descomponer su componente vertical ( $H_v$ ) y horizontal ( $H_h$ );

Su  $H_v$  se precisa positiva hacia abajo y se expresa como:

$$H_v = \|H\| \operatorname{sen} I \text{ Ec. (1).}$$

donde  $\|H\|$ , representa la magnitud del vector H y  $I$  es la inclinación de H desde el plano perpendicular sobre la superficie. Esto permite describir la dirección y magnitud del campo magnético en un punto determinado.

Su  $H_h$  se define como la multiplicación de la magnitud del vector H por el coseno de la inclinación  $I$ , es decir:

$$H_h = \|H\| \cos I \text{ Ec. (2).}$$

Además, el campo magnético superficial también puede ser descompuesto en sus componentes Este ( $H_E$ ) y Norte ( $H_N$ ) geográfico.

$H_E$  se obtiene de calcular el producto de  $\|H\|$ , el coseno de la inclinación  $I$  y el seno de la declinación  $D$ .

$$H_E = \|H\| \cos I \sin D \quad \text{Ec. (3)}$$

$H_N$ , por otro lado, se consigue calcular como el producto de  $\|H\|$ , el coseno de la inclinación  $I$  y el coseno de la declinación  $D$ .

$$H_N = \|H\| \cos I \cos D \quad \text{Ec. (4)}$$

La dirección del campo magnético está determinada por los valores de la declinación y la inclinación. Si se conocen las componentes  $H_N$ ,  $H_E$  y  $H_V$ , se logra calcular la intensidad del campo magnético ( $H$ ) con la ecuación:

$$H = \sqrt{H_N^2 + H_E^2 + H_V^2} \quad \text{Ec. (5)}$$

#### **Modelo Dipolar Axial Geocéntrico (GAD).**

El dipolo axial geocéntrico (GAD) es un concepto esencial en varios principios del paleomagnetismo. Las componentes vectoriales del GAD se pueden expresar en función de la latitud geográfica del sitio de estudio ( $\lambda$ ) y la distancia del dipolo al centro de la Tierra ( $r_e$ ) (Butler, 2004).

$$H_h = \frac{M \cos \lambda}{r_e^3} \quad \text{Ec. (6)}$$

$$H_v = \frac{2M \sin \lambda}{r_e^3} \quad \text{Ec. (7)}$$

$$H = \frac{M}{r_e^3} \sqrt{1 + 3 \sin^2 \lambda} \quad \text{Ec. (8)}$$

Donde, la latitud geográfica es  $\lambda$ , el radio medio de la Tierra es  $r_e$  y  $M$  es la magnetización.

La inclinación del campo magnético se define como la relación entre las componentes vertical y horizontal del campo magnético [Ec. (9)].

$$\tan I = \left( \frac{H_v}{H_h} \right) = \left( \frac{2 \sin \lambda}{\cos \lambda} \right) = 2 \tan \lambda \quad \text{Ec. (9)}$$

Existe una relación directa entre la inclinación y la latitud geográfica, que se expresa como dos veces la tangente de la latitud.

La inclinación se considera positiva hacia abajo en el hemisferio norte y negativa hacia arriba en el hemisferio sur (Figura 2).

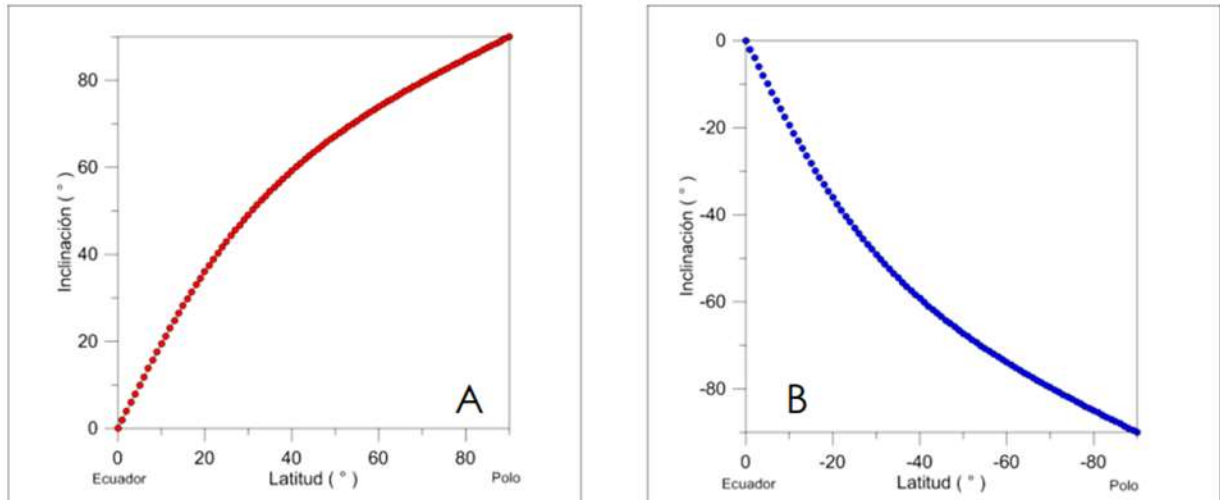


Figura 2. Relación entre la latitud y la inclinación para el hemisferio norte (a) y el hemisferio sur (b).

### Variación secular.

La variación secular del CMT es una fluctuación que abarca distintas escalas temporales, desde milisegundos hasta millones de años, y se calcula tanto en el campo interno como en el campo externo en relación con la superficie terrestre. La variación del campo externo, que dura desde milisegundos a algunas décadas, está relacionada con el campo magnético solar. (Gubbins y Herrero-Bervera, 2007). La variación del campo interno, que va desde unos pocos años hasta millones de años, es causada por efectos de inducción magnética en el núcleo externo y difusión magnética en el núcleo-manto (Gubbins y Herrero-Bervera, 2007). Estos campos temporales permiten diferenciar entre la variación secular geomagnética y la variación secular paleomagnética.

El campo magnético terrestre se modela mediante armónicos esféricos vectoriales independientes, los cuales comprenden el campo interno y el externo. Estos campos son ortogonales bajo integración sobre la superficie de una esfera. Además, existe un tercer armónico esférico vectorial independiente, denominado campo "no potencial", que puede utilizarse para resolver las diferencias residuales entre los componentes horizontales del campo magnético que no pueden ser representados por los campos interno y externo.

Los armónicos esféricos son soluciones de la ecuación de Laplace, que es una ecuación diferencial que describe cómo se comporta una función en tres dimensiones con variables reales. Los armónicos esféricos básicos corresponden a las coordenadas cartesianas x, y, z.

$$\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} = 0 \quad \text{Ec. (10).}$$

La variación secular geomagnética fue notada por primera vez por "Gunter" y "Gellibrand". Un registro de mediciones de la declinación magnética en Limehouse, cerca de Londres, desde 1580 hasta 1820, reveló un cambio gradual de 11° E a 24° W en 1820, antes de girar de nuevo hacia el este (Figura 3).

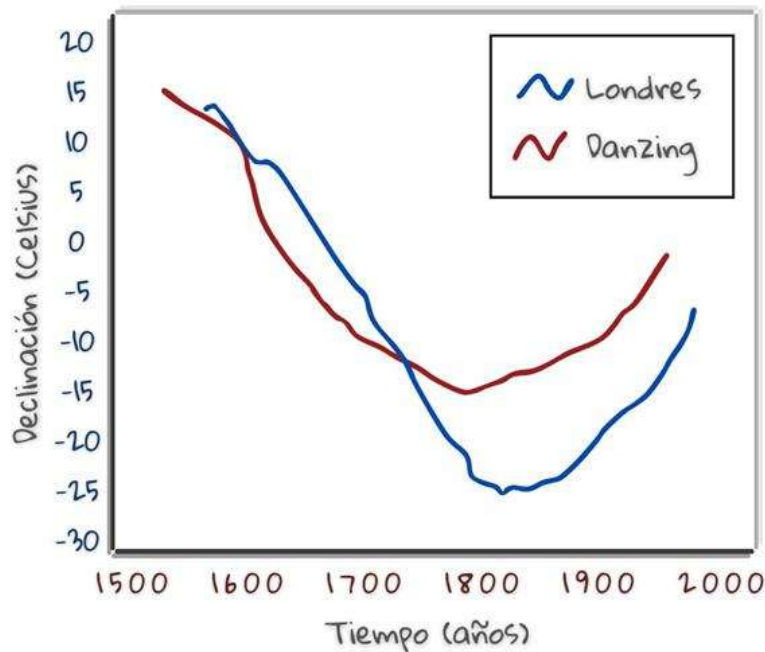


Figura 3. Recopilación de mediciones de la declinación magnética entre 1580 y 1820 por Gunter y Gellibrand (Modificado de Gubbins y Herrero-Bervera, 2007)

Se ha observado que la variación secular geomagnética es una característica del campo principal y no del campo local. Se determinó que el campo principal está dominado por su naturaleza dipolar, mientras que la variación secular es claramente no polar y muestra diferentes magnitudes en distintas regiones. En la región del Pacífico, la variación secular parece no tener cresta. Además, una característica destacada de la variación secular es la tendencia de los focos isopóricos (áreas de máxima variación secular) a desplazarse hacia el oeste.

Durante la variación secular, se producen cambios de signo en la pendiente de la variación secular conocidos como "jerks geomagnéticos". Estos jerks aparecen como una discontinuidad en la segunda derivada del campo geomagnético, especialmente en el componente Este (Y). Durante los últimos 100 años, se han reportado al menos siete jerks, algunos de ellos con alcance mundial, y su ocurrencia ha sido vinculada a los máximos de manchas solares. El evento de 1969 fue ampliamente investigado (Courtillot, Ducruix, y LeMouel, 1978) y se discutió ampliamente en la década de 1980 (Aldredge, 1984), (McLeod, 1985), (Backus, Estes, & Langel, 1987). Se cree que los jerks son de origen interno y no están relacionados con el ciclo solar, ya que la contribución del ciclo solar al componente Este del campo geomagnético sería pequeña. Además, la fuerza de los máximos solares adyacentes al jerk de 1969 y otros no parece estar correlacionada de manera clara con la ocurrencia de jerks en esas épocas.

Estos *jerks* se observan más fácilmente en la primera derivada del componente este (w) en los observatorios europeos (Figura 4).

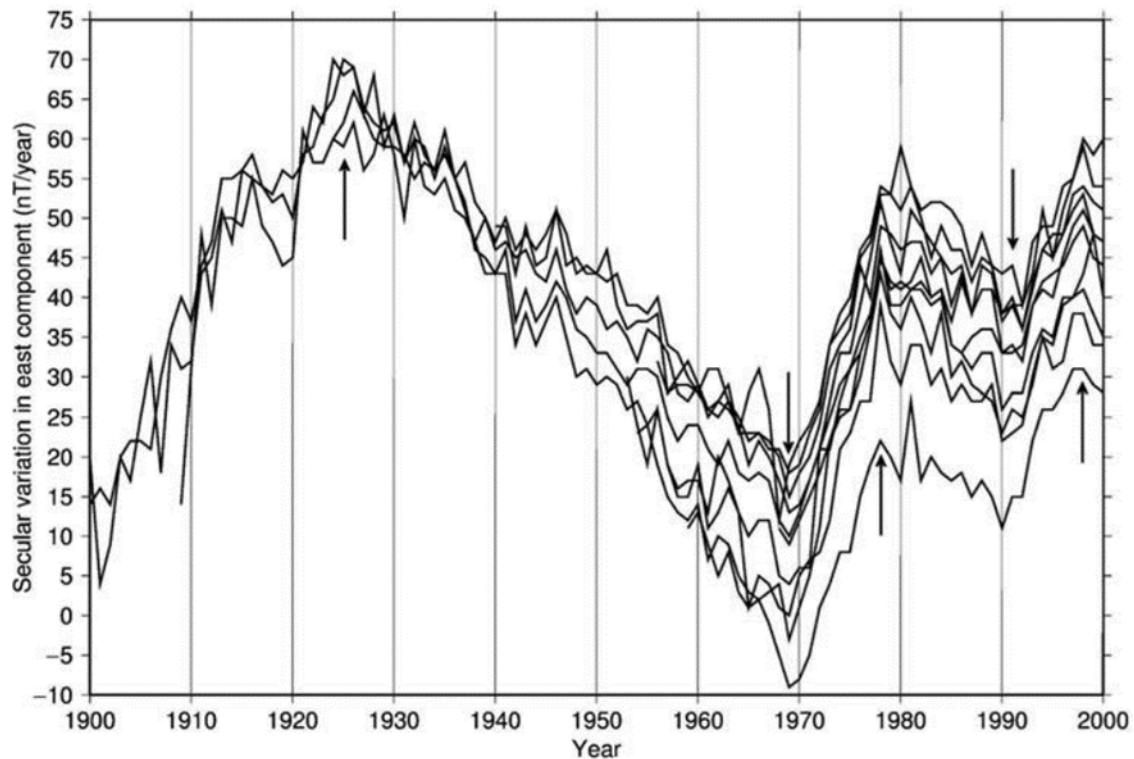
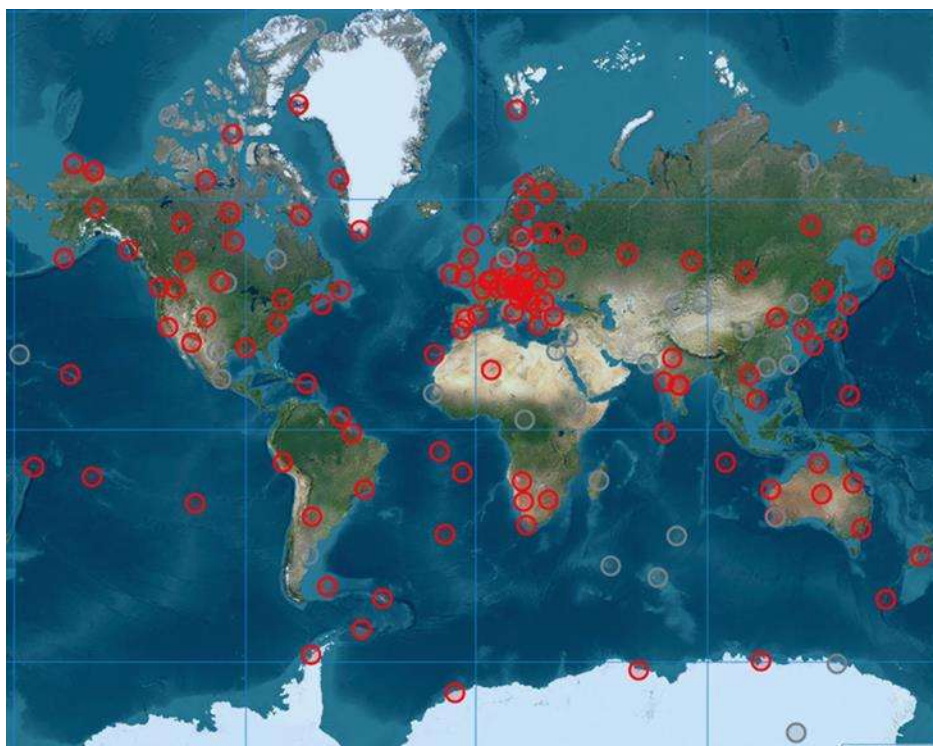


Figura 4. Jerks geomagnéticos como se ve en la variación secular del componente este (W) del campo magnético de la Tierra observada en observatorios europeos. El tiempo de los jerks se muestra con flecha. (Gubbins y Herrero-Bervera, 2007).

El método Thellier-Thellier, modificado por Coe, posibilita la determinación de la intensidad magnética de una muestra, incluso cuando no está orientada, como es el caso de los fragmentos de cerámica. La hipótesis del campo dipolar, geocéntrico y axial sugiere que las mediciones de la intensidad del campo geomagnético pasado están influenciadas solamente por la latitud y la magnitud del momento dipolar de la Tierra. Por lo tanto, las mediciones de paleointensidad pueden ser normalizadas a nivel global mediante el cálculo del momento dipolar equivalente o momento dipolar virtual (VDM).

### Observatorios magnéticos.

La distribución global de observatorios magnéticos permanentes, tal como se presenta en la Mapa 2, es insuficiente. Hay una distribución adecuada sólo en Europa y algunas partes de América del Norte, y una cobertura deficiente en gran parte del hemisferio sur y en países subdesarrollados. Esta distribución desigual tiene un efecto importante en la precisión tanto del campo principal como de los modelos de variación secular en gran parte del mundo.



*Mapa 2. La distribución de observatorios magnéticos en la superficie de la Tierra que se utilizan para determinar la descripción armónica esférica del campo geomagnético. (Intermagnet, 2023).*

Para abordar este problema, Langel, Baldwin y Green han propuesto el diseño de una red global permanente que cubra los fenómenos geomagnéticos con escalas de aproximadamente 1000 km en Europa y más de 4000 km a nivel mundial. Langel propuso una distribución ideal de 92 observatorios en todo el mundo que sea económico y optimice la determinación de los modelos de campo globales. Su plan incluye la colocación de ocho observatorios del fondo marino para cubrir regiones oceánicas donde no es posible realizar mediciones de campo magnético de otra manera. La información sobre el campo magnético de la Tierra y su variación en el tiempo se encuentra en los coeficientes armónicos esféricos. (Langel, Baldwin y Green, 1995).

### **Susceptibilidad magnética (K).**

La susceptibilidad magnética se define como la magnetización adquirida por unidad de campo aplicado (Evans y Heller, 2003) y puede expresarse como un escalar si K es paralela a H (Butler, 2004).

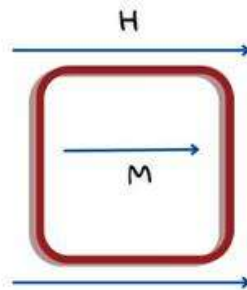
$$K = \frac{M}{H}$$

En unidades del Sistema Internacional (SI), tanto M como H se miden en amperios por metro (A/m), lo que hace que K sea adimensional. K se conoce como susceptibilidad de volumen, pero para obtener la susceptibilidad de masa (X), se debe dividir K por la densidad del material (ρ) (Evans y Heller, 2003), es decir:

$$X = \frac{K}{p}$$

Como K es adimensional, X tiene unidades de densidad recíproca, m<sup>3</sup>/kg. En ciertos casos, resulta más práctico emplear el momento magnético total del objeto, el cual se obtiene al multiplicar la magnetización (M) por el volumen total (v), y se mide en unidades de amperios metro cuadrados (Am<sup>2</sup>).

## SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA



H = Campo magnético [A/m]

M = Magnetización / Volumen [A/m]

V = Volumen [m<sup>3</sup>]

P = Densidad [kg/m<sup>3</sup>]

Susceptibilidad volumétrica

$K = M/H$  [dimensionales]

Susceptibilidad específica

$X = K/p$  [m<sup>3</sup>/kg]

Momento magnético

$= MV$  [Am<sup>2</sup>]

Figura 6. Susceptibilidad magnética y factores relacionados (Modificado de Evans & Heller, 2003).

La susceptibilidad magnética es un parámetro importante que proporciona información sobre la concentración de minerales magnéticos en el material (Gómez-Paccard et al., 2016). Con este parámetro se pueden clasificar los minerales en tres categorías diferentes: diamagnéticos, paramagnéticos y ferromagnéticos, lo que permite una evaluación preliminar de las propiedades magnéticas de los artefactos arqueológicos. Los valores numéricos obtenidos a partir de diversas fuentes (Tabla 1) se utilizan principalmente para proporcionar una idea general del rango y la variabilidad de la susceptibilidad magnética (Lanza, R. y Meloni, A., 2006).

Tabla 1. Susceptibilidad magnética de algunos minerales comunes (Lanza, R. y Meloni, A., 2006).

Mineral	$\chi$ ( $\mu\text{SI}$ ) <sup>a</sup>
<b>Diamagnetic</b>	
Dolomite	-40
Calcite	-15
Quartz	-15
K-feldspars	-15
Gypsum	-15
Ice	-10
<b>Paramagnetic</b>	
Clinopyroxenes	20 - 600
Orthopyroxenes	1 000 - 3 000
Amphiboles	100 - 1 000
Biotite	800 - 3 000
Muscovite	40 - 700
Chlorite	70 - 1 550
Olivine	-13 - 5 000
Garnets	500 - 6 000
Ilmenite	300 - 3 500
<b>Ferromagnetic</b>	
Goethite	2 000
Hematite	$1\,000 - 5 \times 10^4$
Pyrrhotite	$5 \times 10^4 - 3 \times 10^5$
Magnetite	$10^6 - 10^7$

<sup>a</sup>  $1\, \mu\text{SI} = 10^{-6}\, \text{SI}$ .



### **Diamagnetismo.**

El diamagnetismo es una propiedad presente en todos los materiales debido a la interacción entre el movimiento de los electrones que orbitan alrededor del núcleo y un campo magnético aplicado. Los electrones experimentan una fuerza lateral de Lorentz (Hendrik Lorentz, 1853-1928) cuando se mueven a través de un campo magnético, lo que resulta en una precesión de Larmor (Joseph Larmor, 1857-1942) que da lugar a un momento magnético en dirección opuesta al campo aplicado. Sin embargo, este efecto es muy pequeño en comparación con el paramagnetismo y el ferromagnetismo. Los materiales diamagnéticos incluyen el cuarzo, minerales naturales que se encuentran en sedimentos, rocas y suelos, al igual que el agua. En algunos casos, la señal diamagnética de estas sustancias puede ser apreciable, como en sedimentos débilmente magnetizados saturados de agua en estudios lacustres. Es importante destacar que el diamagnetismo es independiente de la temperatura, mientras que el paramagnetismo y el ferromagnetismo disminuyen a medida que se calienta la muestra (Evans y Heller, 2003).

### **Paramagnetismo.**

El paramagnetismo se refiere a la capacidad de ciertos materiales de ser atraídos por un campo magnético externo, pero su magnetización es débil y temporal debido a la presencia de electrones desapareados en los átomos del material, lo que hace que estos electrones se alineen con el campo magnético externo y produzcan una magnetización neta en la dirección del campo. Sin embargo, cuando se retira el campo magnético externo, los electrones vuelven a su estado original y la magnetización desaparece. Los materiales paramagnéticos son comunes en la naturaleza y se encuentran en minerales, como: la biotita y la pirita, así como en algunos metales, como: el aluminio y el titanio. (Dearing, 1999). Aunque a temperatura ambiente, los momentos magnéticos individuales tienen una orientación aleatoria, si se aplica un campo magnético externo, los momentos magnéticos tienden a alinearse paralelos a dicho campo, lo que aumenta la susceptibilidad del material (Perez-Rodriguez, 2017). Sin embargo, la alineación de los momentos magnéticos de una sustancia paramagnética bajo un campo magnético aplicado se opone al movimiento térmico de los iones magnéticos, lo que tiende a volver aleatorios los momentos (Teweldemedhin et al., 2007).

### **Ferromagnetismo.**

El ferromagnetismo es una propiedad de ciertos materiales que se caracterizan por tener una alta susceptibilidad magnética y una magnetización permanente. En los materiales ferromagnéticos, los momentos magnéticos de los átomos individuales están fuertemente acoplados y alineados en la misma dirección, lo que produce una magnetización neta en el material (Dearing, 1999). Esta propiedad se presenta en materiales que tienen momentos magnéticos permanentes, como resultado de que los átomos que los conforman tienen un momento magnético intrínseco. En una sustancia ferromagnética, los momentos magnéticos de los átomos adyacentes se alinean paralelamente unos con otros bajo una cierta temperatura

crítica (temperatura de Curie) (Teweldemedhin et al., 2007). Los minerales ferromagnéticos más importantes son los óxidos de Fe y algunos sulfuros de Fe. (Pérez-Rodríguez, 2017).

Cuando se aplica un campo magnético externo a un material ferromagnético, los dominios magnéticos pueden alinearse con el campo y aumentar la magnetización del material. La temperatura es un factor importante en el ferromagnetismo y a bajas temperaturas, los materiales ferromagnéticos pueden exhibir una magnetización espontánea sin necesidad de un campo magnético externo. A medida que se aumenta la temperatura, la agitación térmica puede desordenar los dominios magnéticos y reducir la magnetización del material. El ferromagnetismo también puede ser inducido en algunos materiales no magnéticos mediante la exposición a un campo magnético externo. (Tauxe, 2005).

### **Ferrimagnetismo.**

El ferrimagnetismo es un tipo de magnetismo en el que los espines de algunos cristales están alineados en dirección antiparalela, pero aun así, hay una magnetización neta. Esto puede surgir del hecho de que, no todos los cationes tienen el mismo número de espines desapareados. En contraste con el ferromagnetismo, donde todos los espines están alineados en la misma dirección, en el ferrimagnetismo hay dos subredes magnéticas diferentes con momentos magnéticos opuestos. La magnetización neta resultante se debe a la diferencia entre los momentos magnéticos de las dos subredes. Un ejemplo común de ferrimagnetismo es la magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), que tiene cationes ferrosos y férricos en su estructura cristalina. En la magnetita, los iones férricos se sientan en sitios de red tetraédricos (A) y hay igual número de iones ferrosos y férricos sentados en sitios de red octaédricos (B). Debido a que los momentos magnéticos del hierro ferroso y férrico son diferentes, esto da lugar a una magnetización neta. En resumen, el ferrimagnetismo es un tipo de magnetismo donde hay dos subredes magnéticas diferentes con momentos magnéticos opuestos, lo que resulta en una magnetización neta debido a la diferencia entre los momentos magnéticos de las dos subredes. (Tauxe, 2005).

### **Diferencias entre Ferrimagnetismo y Ferromagnetismo.**

La principal diferencia entre el ferrimagnetismo y el ferromagnetismo radica en cómo los momentos magnéticos de los átomos individuales están alineados en el material. En los materiales ferromagnéticos, los momentos magnéticos están fuertemente acoplados y alineados en la misma dirección, mientras que en los materiales ferrimagnéticos, los momentos magnéticos están alineados en dos conjuntos opuestos pero desiguales, resultando en una magnetización neta más débil (Dearing, 1999). Además, los materiales ferromagnéticos tienen una mayor susceptibilidad magnética y una mayor coercitividad (la fuerza necesaria para desmagnetizar el material) que los materiales ferrimagnéticos. En el caso del ferrimagnetismo, hay dos tipos de átomos con momentos magnéticos diferentes que no se cancelan mutuamente, lo que produce una magnetización neta del material incluso en ausencia de un campo magnético externo (Butler, 2004). Así mismo, el ferromagnetismo es más abundante y se encuentra en muchos materiales comunes, como: hierro, níquel y cobalto, mientras que el

ferrimagnetismo es menos común y se encuentra en algunos minerales como la magnetita. (Tauxe, 2005).

### **Temperatura de Curie.**

La Temperatura de Curie representa un aspecto esencial en el comportamiento magnético de materiales ferromagnéticos, marcando el punto en el que pierden su magnetización permanente al ser sometidos al calor. Al aumentar la temperatura, estos materiales alcanzan un punto crítico, donde la energía térmica supera la capacidad de alineación magnética de sus dominios, pasando de un estado ferromagnético, con dipolos magnéticos alineados, a un estado paramagnético, donde la alineación se pierde y la magnetización desaparece.

Este punto crítico, conocido como temperatura o punto de Curie, implica la pérdida de las propiedades ferromagnéticas de un mineral ferromagnético. A temperaturas más elevadas, la agitación térmica desordena los dominios magnéticos, transformando el mineral ferromagnético en uno paramagnético. La Temperatura de Curie se determina indirectamente a través del análisis de anomalías magnéticas (Gubbins & Herrero-Bervera, 2007).

Estos descubrimientos han resultado altamente valiosos al proporcionar datos sobre la corteza terrestre más allá del alcance directo de la exploración humana. Es esencial considerar que la Temperatura de Curie varía para cada mineral magnético.

Aunque tanto el paramagnetismo como el diamagnetismo contribuyen al magnetismo de las rocas, los minerales ferromagnéticos son los principales contribuyentes al magnetismo general de estas (Langel y Hinze, 1998).

### **Tipos de magnetización.**

La magnetización remanente natural (MRN) representa la magnetización inicial medida en rocas, influenciada por factores como la formación y la historia subsiguiente de estas, y las propiedades de los minerales magnéticos. La MRN puede dividirse en magnetización primaria, adquirida durante la formación de la roca, y magnetizaciones secundarias, que pueden surgir posteriormente debido a diversos procesos como la alteración térmica o química. Estas últimas se refieren a magnetizaciones secundarias generadas por cambios en la roca, como eventos hidrotermales o descargas eléctricas, siendo referidas como secundarias.

La magnetización remanente isotérmica (MRI) se produce al exponer un material magnético a un campo magnético fuerte, usualmente a temperatura ambiente, por un tiempo breve, generando una magnetización inducida. Esta MRI puede ser generada en laboratorio, por ejemplo, durante mediciones de histéresis magnética, y también puede inducirse por un impacto de relámpago. Las curvas de MRI permiten identificar la concentración relativa de minerales ferro-ferrimagnéticos y antiferromagnéticos en función de su coercitividad magnética.

La magnetización remanente térmica (MRT), conocida también como magnetización termorremanente, se refiere a la magnetización remanente adquirida por un material ferromagnético mientras se enfría desde temperaturas superiores a la temperatura de Curie. Esta MRT, característica en rocas volcánicas, se produce cuando los dominios ferromagnéticos se alinean con el campo magnético ambiental durante el enfriamiento, volviéndose casi permanente hasta que se altera por recalentamiento o cambios químicos. La MRT varía según la composición, tamaño y forma de los granos magnéticos y el tipo de mineral. Por ejemplo, para granos de titanomagnetita, el diámetro puede oscilar entre 0.7 y 0.08 micras (Stacey y Banerjee, 2012).

### **Fluorescencia de rayos X.**

La técnica que combina la fluorescencia de rayos X con el análisis de difracción de rayos X es ampliamente utilizada en la investigación y caracterización de materiales debido a su capacidad para proporcionar información completa sobre la composición elemental y estructura cristalina de la muestra. Según Büchner, Menzel y Henning (2017), la fluorescencia de rayos X se basa en la excitación de átomos mediante rayos X de alta energía, lo que resulta en la emisión de radiación fluorescente característica, mientras que la difracción de rayos X aprovecha la interacción de los rayos X con la estructura cristalina de la muestra para determinar su composición y organización atómica.

La fluorescencia de rayos X es un fenómeno en el cual los átomos de una muestra son excitados por radiación de rayos X de alta energía y luego emiten radiación fluorescente al caer sus electrones de niveles de energía superiores a niveles más bajos. Cada elemento químico presenta un conjunto único de líneas de fluorescencia, lo que permite identificar los elementos presentes en la muestra. La intensidad y posición de estas líneas de fluorescencia pueden ser medidas y utilizadas para determinar las concentraciones de los elementos presentes (Gualtieri, A. F., 2000).

La fluorescencia de rayos X, como se señala en el mismo estudio, es una técnica que proporciona información detallada sobre la composición elemental de la muestra. Al irradiar la muestra con rayos X, los átomos se excitan y emiten radiación fluorescente que puede ser analizada para identificar los elementos presentes y determinar sus concentraciones. Por otro lado, la difracción de rayos X permite investigar la estructura cristalina de la muestra y determinar los parámetros cristalográficos que son esenciales para comprender la estructura y propiedades del material (Cullity y Stock, 2001).

La fluorescencia de rayos X es una poderosa herramienta para el estudio de materiales. Inicialmente, la fluorescencia de rayos X se utiliza para determinar la composición elemental de la muestra, identificando los elementos presentes y sus concentraciones y es especialmente útil en campos como la ciencia de materiales, la geología, la arqueología y la metalurgia, donde se busca comprender las propiedades y características de los materiales, siendo una herramienta importante en la investigación y caracterización de una amplia gama de muestras.

## **CONTEXTO GEOLÓGICO, ARQUEOLÓGICO E HIDROLÓGICO DEL VALLE DE OAXACA.**

### **Geología del entorno de monte albán.**

La región de Oaxaca forma parte de dos terrenos tectonoestratigráficos principales: el Terreno Mixteco, representado por el Complejo Acatlán, y el Terreno Oaxaqueño, correspondiente al Complejo Oaxaqueño. Ambos conforman el basamento de la zona central de Oaxaca y están limitados por una serie de fallas de orientación NW-SE. Estas fallas se transforman en cabalgaduras hacia el sur de Oaxaca, mientras que en el oeste se convierten en fallas transgresivas de desplazamiento derecho.

Los complejos Acatlán y Oaxaqueño, que constituyen la porción meridional de Oaxaca, son terrenos alóctonos que colisionaron durante el post-Pérmico, presentando un desplazamiento lateral derecho (Elías-Herrera y Ortega-Gutiérrez, 2002).

El Terreno Mixteco incluye un basamento que data del Cámbrico Superior (Ortega-Gutiérrez, 1993) y está compuesto por esquistos, metaconglomerados y metacalizas. En cuanto al Valle Central de Oaxaca y la zona de Monte Albán, estas áreas están limitadas por la falla Caltepec al oeste y la falla Oaxaca al este. Este sistema de fallas marca la frontera entre los terrenos Mixteco al oeste y Cuicateco al este, mientras que el Terreno Zapoteco domina la planicie central de los Valles de Oaxaca (Mapa 3).

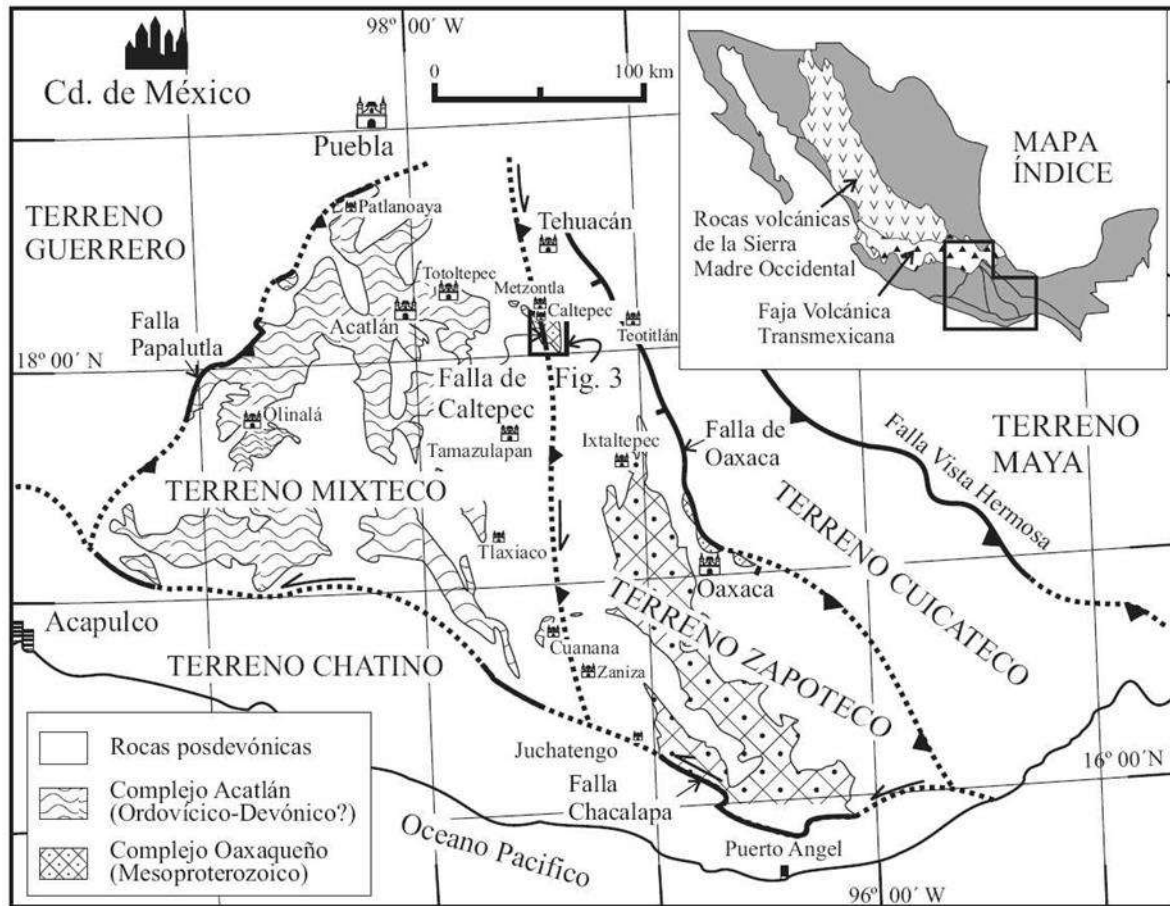
El contacto entre ambas fallas se formó durante el Devónico, cuando ocurrió un cabalgamiento entre el Complejo Oaxaqueño y el Complejo Acatlán (Ortega, 1993).

La zona de estudio incluye una variedad de litologías que abarcan desde gneises y esquistos hasta rocas magmáticas y lacustres continentales, con edades que van desde el Precámbrico hasta el Triásico Tardío y el Jurásico Temprano-Cretácico Inferior.

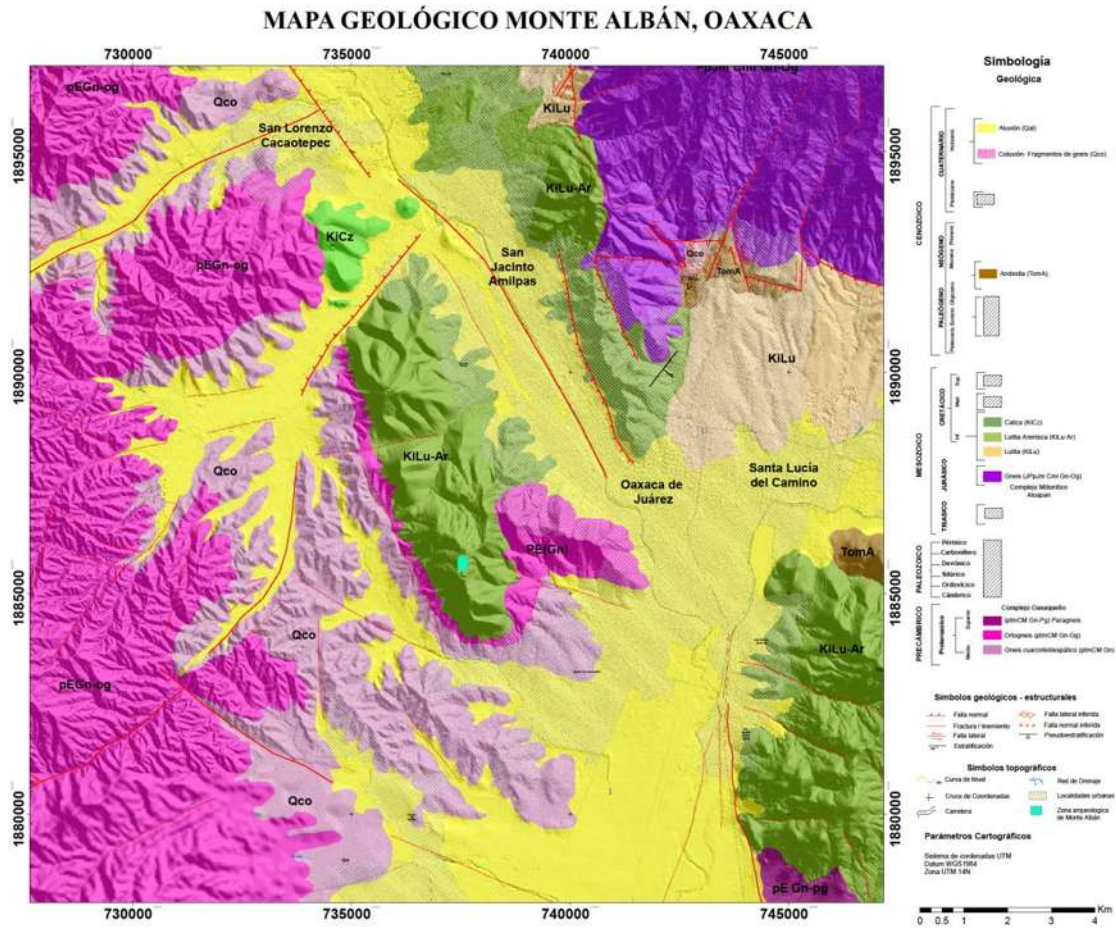
El Complejo Oaxaqueño, que aflora en el entorno de Monte Albán (Mapa 4), está compuesto principalmente por gneises de origen gabroico-diorítico, alternados con bandas de gneises graníticos, en los que es común encontrar biotita y anfíboles titaníferos, además de una asociación de cuarzo-ilmenita. Este complejo está cubierto por capas rojas del Cretácico y por rocas andesíticas y sedimentarias carbonáticas, aunque también se identifican algunas de origen lacustre, asignadas al Cenozoico.

Es notable que los esquistos intemperizados en esta zona tienden a adquirir un color rojizo, lo que da lugar a suelos lateríticos que, hasta la fecha, se utilizan para la fabricación de ladrillos.

Estos materiales geológicos han sido históricamente una fuente de provisión para la elaboración de la cerámica de Monte Albán, conocida por su variada gama de colores y composiciones químicas (ver Fig. 40 y tablas 2-10).



Mapa 3. Mapa de la región sur de México donde se muestra el contexto tectónico de la falla de Caltepec. Elias-Herrera et al., (2005).



Mapa 4. Mapa geológico de la zona de Monte Albán, Oaxaca. Israde-Alcántara. Este trabajo

### Contexto Arqueológico.

Monte Albán forma parte del complejo de sitios arqueológicos localizados dentro de los valles centrales de Oaxaca (Figura 7), el cual ha sido considerado como una de las primeras organizaciones estatales de Mesoamérica y la capital cívico-administrativa de la sociedad zapoteca durante un periodo aproximado de 1,300 años, desde su fundación en el 500 a.C., hasta su declive a finales del Clásico entre 800 - 850 d.C. (Blanton *et al.*, 1999; Marcus & Flannery, 2001).

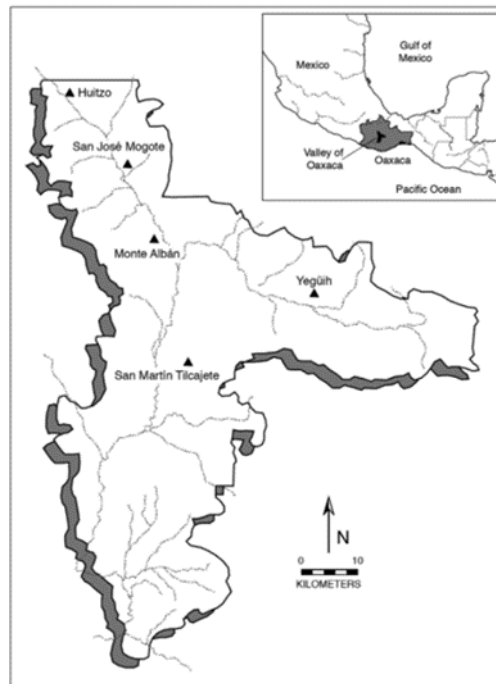


Figura 7. Ubicación del valle de Oaxaca.

Como parte de las acciones de salvaguarda, el Polígono de Protección elabora múltiples actividades con el objetivo de garantizar la preservación y el estudio de remanentes culturales arqueológicos.

Con la puesta en marcha del “*Salvamento arqueológico red de distribución de agua potable en 7 colonias de Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca*”, se han identificado una serie de elementos y objetos arqueológicos, como: muros de contención asociados a terrazas y unidades habitacionales, plataformas estucadas, sistemas de drenaje, enterramientos humanos, hornos para la producción alfarera, espacios de desecho, instrumentos de lítica tallada o pulida, vasijas de cerámica, ornamentos de concha, entre otros.

En este proyecto, se hizo un estudio arqueomagnético, con fines de datación en materiales arqueológicos descubiertos en las exploraciones realizadas durante el proyecto de salvamento “*Salvamento arqueológico red de distribución de agua potable en 7 colonias de Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca*”, provenientes de sitios arqueológicos localizados en piedemonte de Monte Albán, Oaxaca. De acuerdo con investigaciones arqueológicas previas, el área donde se tenía proyectada la obra cuenta con evidencias de asentamientos arqueológicos correspondientes a la Época I (500 - 100 a.C.) y V (900 - 1,521 d.C.) de Monte Albán. En este sentido, se llevó a cabo un



recorrido en conjunto con personal del municipio por las calles y colonias descritas, identificándose *grosso modo* diversos vestigios como tiestos de recipientes cerámicos, figurillas de barro, implementos líticos, alineamientos de bloques careados, rellenos constructivos de adobe, pisos de estuco, entre otros (Andrade *et al.*, 2020).

#### Rescates Arqueológicos.

A lo largo de los últimos años, se han elaborado diversos rescates arqueológicos en el área de interés por parte de la subdirección de la Zona Arqueológica de Monte Albán.

En 2014, trabajadores del Polígono de Protección efectuaron un rescate arqueológico en la calle Ignacio Aldama de la colonia Ignacio Zaragoza. (González *et al.*, 2014).

En 2016, se exploró un predio ubicado en la colonia Los Ángeles, a un costado del Camino Viejo a Monte Albán. El trabajo de campo permitió identificar un sistema de cajoneo compuesto por bloques amorfos de piedra mezclados con mortero de barro. Al interior de los rellenos constructivos, se rescataron algunas piezas completas asociadas a la época I (Zúñiga *et al.*, 2016).

Durante el 2018, se efectuaron dos rescates al interior de la colonia Los Ángeles. En el primero, se identificaron alineamientos de roca careada, cerámica de la época I y un entierro primario en decúbito dorsal extendido. El segundo rescate se realizó en un área situada en la esquina de la calle Palenque con el Camino Viejo a Monte Albán, en el cual se identificaron los cimientos de una casa habitación, del cual extrajeron de su interior material cerámico proveniente del Preclásico Tardío (Lara, 2018).

#### Excavaciones del proyecto de salvamento arqueológico.

Se llevó a cabo un recorrido por las colonias contempladas para la introducción de agua potable, con el objetivo de valorar los efectos de la obra sobre los vestigios arqueológicos que pudieran encontrarse en el Valle de Oaxaca. El procedimiento radicó en registrar por medio de fotografías y coordenadas UTM los diferentes artefactos antiguos *in situ*, tales como: muros, alineamientos, pisos de estuco y rellenos arqueológicos, así como concentraciones de material cerámico y/o líticos, donde se consideró la densidad para su georreferenciación. Se seleccionaron muestras representativas para su recolección y documentación fotográfica con el fin de ampliar el conocimiento sobre los contextos excavados y mejorar la comprensión del área estudiada. A continuación, se expondrán aquellas unidades en las que se han presenciado artefactos arqueológicos que fueron datados a través de arqueomagnetismo. (Figura 8, Figura 9a, Figura 9b y Figura 10).



Figura 8. Horno de planta rectangular para la producción cerámica identificado durante el proceso de excavación de la U. Ex. 1. Camino antiguo a Monte Albán. Fuente: Archivo ZAMA, 2020.



Figura 9a. Horno semicircular de doble cámara. En primer plano se observa una capa de tepalcates, gravas y sedimento de color rojizo, los elementos fueron desechados y reutilizados constantemente para sellar las cámaras; al fondo de la Figura se observa el horno y como es seccionado por los cimientos de una vivienda. Proceso de excavación de la U. Ex. 1. Calle 15 de Enero. Fuente: Archivo ZAMA, 2020.



*Figura 9b. Vista cenital del horno donde se muestra de forma detallada la disposición y colocación de los distintos elementos estructurales que se registraron al interior de la cámara. En el interior se recuperó una importante cantidad de materiales arqueológicos. Proceso de excavación de la U. Ex. 1. Calle 15 de Enero. Fuente: Archivo ZAMA, 2020.*



*Figura 10. Vista general del conjunto doméstico, donde destacan los diferentes elementos que lo conforman. Proceso de excavación de la U. Ex. 2. Calle 3 de Mayo. Fuente: Archivo ZAMA, 2020.*



### Fases de Monte Albán (500 a.C-1521 d.C).

Este trabajo se enfoca en una de las primeras urbes mesoamericanas, Monte Albán. Esta ciudad marca el inicio de la revolución urbana en Oaxaca y es adecuada para investigar los inicios de la vida urbana porque se conocen los contextos temporales y espaciales. Se cuenta con una sólida secuencia cronológica en la región, lo que permite describir la secuencia de crecimiento y cambio a lo largo del tiempo (Figura 11).

Years	Period	Valley of Oaxaca	Monte Albán
1521	Postclassic	Chila	V
1400			
1200		Liobaa	
1000	Classic		III B-IV
800		Xoo	
600		Pече	
400	Preclassic	Pitao ( Dxu'Complex)	III A
200		Tani	
100		Nisa	
200	Preclassic	Pe	I
400		Danibaa	
600		Rosario	
800	Preclassic	Guadalupe	
1000		San José	
1200		Hacienda Blanca Complex	
1400	Preclassic	Tierras Largas	
1600		Espiridión Complex	

Figura 11. Cuadro cronológico del Valle de Oaxaca comenzando con el periodo de las aldeas sedentarias (Winter, 2011).

#### -Fase Rosario (Preclásico Medio 700-500 a.C).

Durante la fase Rosario, existieron tres regiones que estaban pobladas por unidades políticas distintas, organizadas como señoríos, separadas por una zona vacía hacia el centro del valle. Las unidades políticas de la fase Rosario manifestaban una jerarquía de los tamaños de asentamientos de tres niveles, de mayor a menor jerarquía; San José Mogote era la entidad mayor en la subregión de Etla. San Martín Tilcajete era la aldea principal de la subregión de Ocotlán-Zimatlán, mientras que Yegüih correspondía al centro principal de la subregión de Tlacolula (Blanton et al., 1999; Marcus y Flannery, 2001).

-Fase Danibaaan (500-300 a.C) (Preclásico Medio 400 a.C) (Monte Albán I).

Hacia la fundación de Monte Albán en 500 a.C. en el Valle de Oaxaca, los zapotecos ya contaban con calendarios solares y adivinatorios en donde se realizaban prácticas relacionadas con la predicción del futuro o interpretación de señales, los cuales muestran considerable continuidad hasta finales del clásico tardío o fase Xoo. Monte Albán creció rápidamente y se transformó en el primer centro urbano de las tierras altas del sur de México. También fungió como asiento político y centro sagrado de la religión central de Oaxaca hasta su colapso alrededor del año 800 d.C. (Blanton, 1987; Marcus y Flannery 1996; Joyce, 2010; Winter, 2001).

Una de las primeras actividades realizadas en Monte Albán fue la construcción de la Plaza Principal, recinto que albergaba las instituciones políticas co-religiosas y proporcionaba un escenario para las ceremonias públicas. Durante la Fase Danibaaan, con base en los materiales cerámicos encontrados en el relleno constructivo de la plataforma y por la atribución estilística de los monolitos grabados (Caso, 1947) comienza la primera fase constructiva del edificio L-Sub. (García et al., 2011), (Figura 12a).

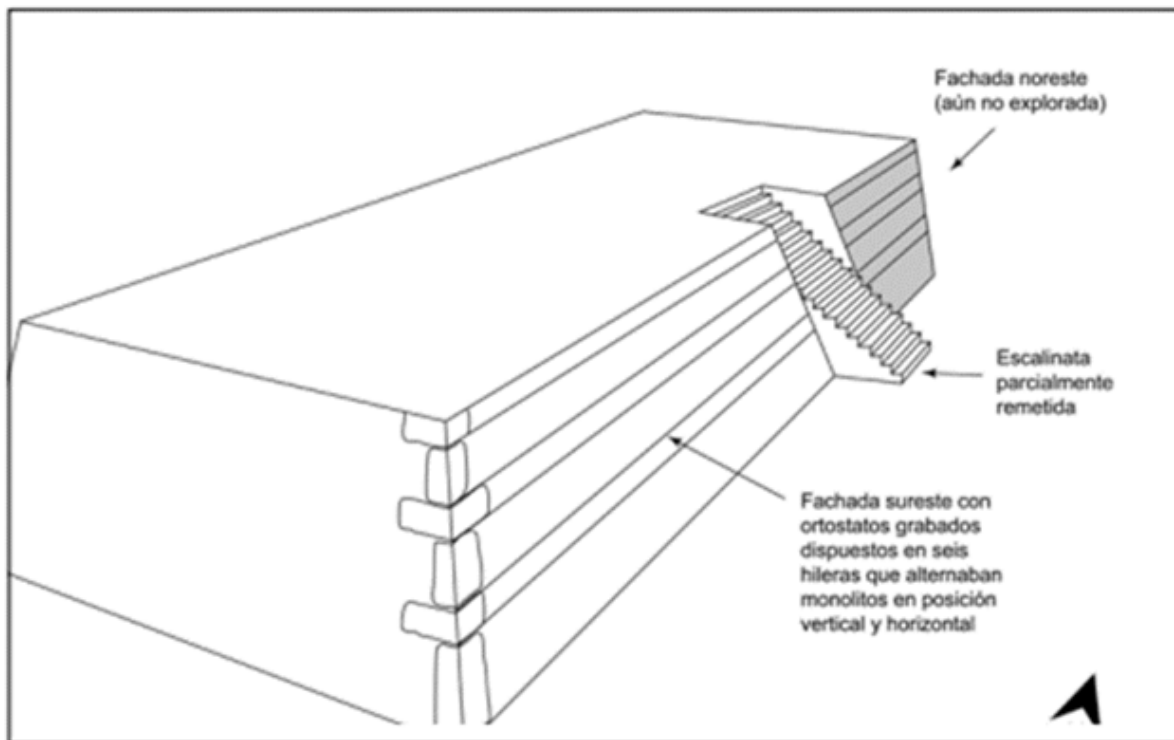
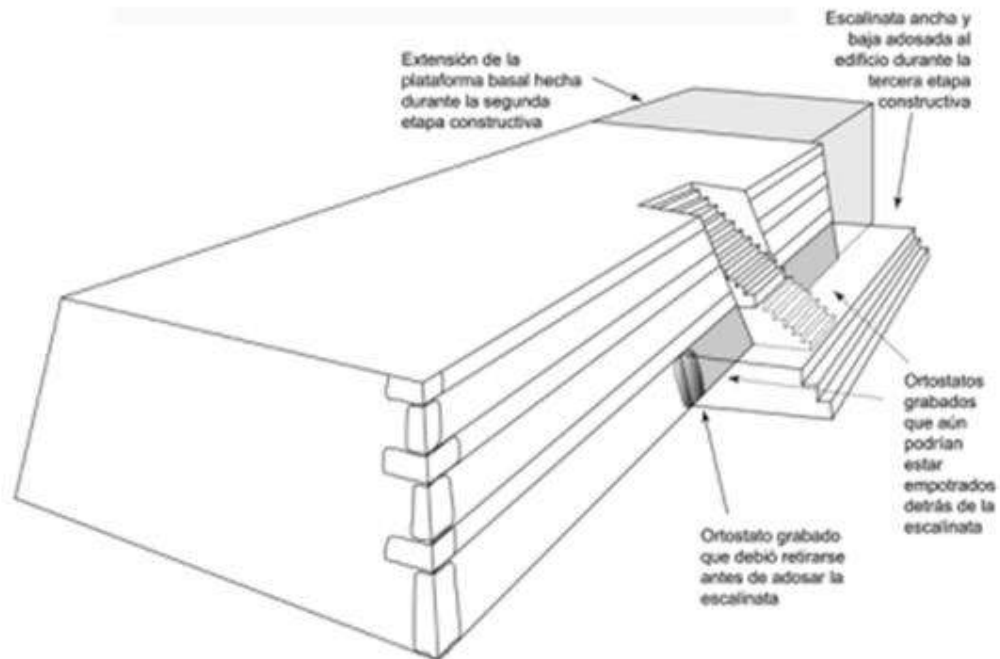


Figura 12a. Primera etapa constructiva del Edificio L-sub, Monte Albán.

-Fase Pe (300-100 a.C) (Preclásico tardío 200 a.C) (Monte Albán I).

En esta fase, con base a la técnica constructiva, se hizo la segunda fase constructiva del Edificio L-sub; en esta modificación la plataforma original se agrandó hacia el norte (Figura 12b). A diferencia de la plataforma original, las partes del muro expuesto no fueron construidas con megalitos, sino con pequeñas piedras rectangulares dispuestas en hileras.



**Figura 4 B. Edificio L-sub de Monte Albán, segunda y tercera etapas constructivas.**

*Figura 12b. Edificio L-sub de Monte Albán, segunda y tercera etapas constructivas.*

Entre las fases Danibaán y Pe hay una continuidad de tradiciones funerarias que se plasman en el registro arqueológico. Entre ellas, la construcción de tumbas con paredes de adobe, de tamaño pequeño no mayor de 50 centímetros y que, no son exclusivas de adultos, como lo muestra una tumba encontrada en Santo Domingo Tomaltepec, la tumba contuvo un entierro femenino de 40 años, un adulto de la misma edad con sexo indeterminado y un niño de 12 años, acompañados de 37 vasijas con una cantidad indeterminada de cuentas de jade (Whalen, 1981). Durante la fase Pe, se registra por primera vez el fundamento básico de los sepulcros: las tumbas se instalaban bajo el cuarto este de una residencia. Además, los grupos de alto rango practicaban la costumbre de reabrir las tumbas para celebrar a sus ancestros, pintando sus huesos y ofrendas de rojo. (García et al., 2011).

-Fase Nisa (Preclásico Tardío 100 a.C- 200 d.C) (Monte Albán II).

La ubicación de Monte Albán en la cima de la colina también provee una ventaja defensiva durante este periodo de conflictos. Las preocupaciones por tener un sitio defendible son sugeridas por la construcción de un muro alrededor de las partes más vulnerables del sitio durante la Fase Nisa.

La parte sur de la Plaza Principal contuvo iconografía que hacía referencia a sacrificios, guerras, ancestros y al inframundo. El edificio L-sub fue la ubicación de una galería de piedras grabadas, tradicionalmente conocida como “*Los Danzantes*”, la cual incluyó más de 350 monumentos que hacían referencia a guerras, sacrificios humanos, autosacrificios e invocaciones a los ancestros. (Scott, 1978a; Urcid, 2008), (Figura 13).

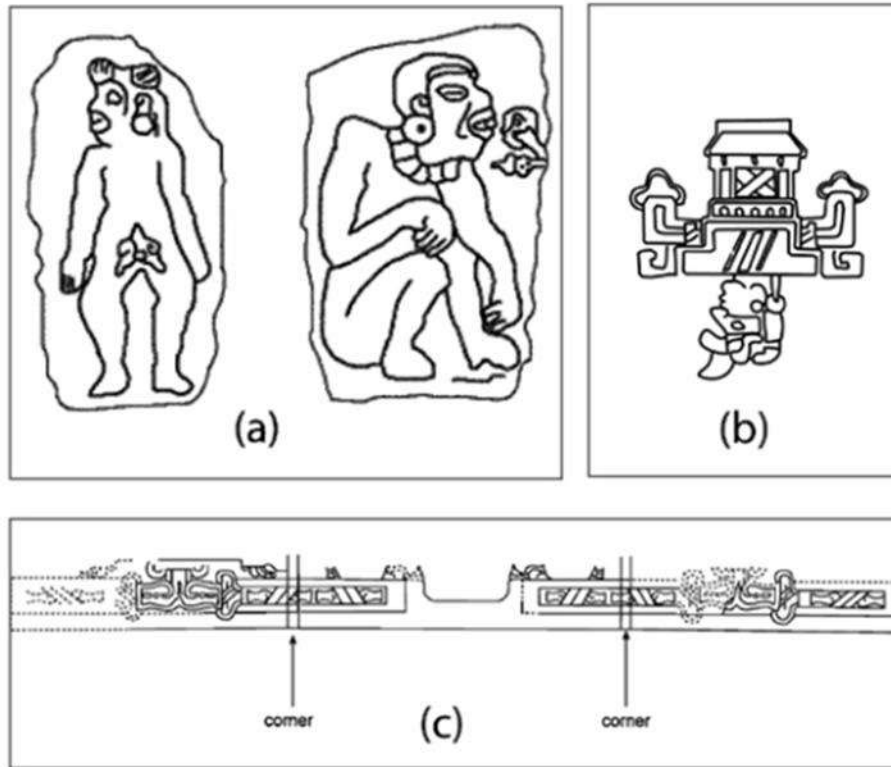


Figura 13. Arte monumental de la época formativa de Monte Albán: a) Piedras grabadas provenientes del edificio L-sub (basado en Scott, 1978b); b) Lápida de conquista proveniente del edificio J (basado en Caso, 1947); c) El friso de "El Viborón" (basado en Urcid, 1994b).

-Fase Tani (Preclásico Terminal 200 d.C- 350 d.C) (transición II-III A).

Las tumbas de la fase Tani, muestran un desarrollo consolidado de las costumbres funerarias zapotecas, con una clara evidencia de estratificación social. Las tumbas y sus contenidos, asociadas con las residencias, reflejan la existencia de una sociedad organizada jerárquicamente. Se han registrado nueve tumbas para este periodo asociadas a residencias de rango medio. Las tumbas como la 185, 190 y 191, muestran una evolución en la construcción y diseño, incluyendo tumbas con bóvedas angulares y ofrendas con tocados elaborados cubiertos de polvo rojo como las vasijas efigie, que es una figura humana con una capa que representa ancestros personificando a dioses. (Urcid, 2009), (Figura 14).

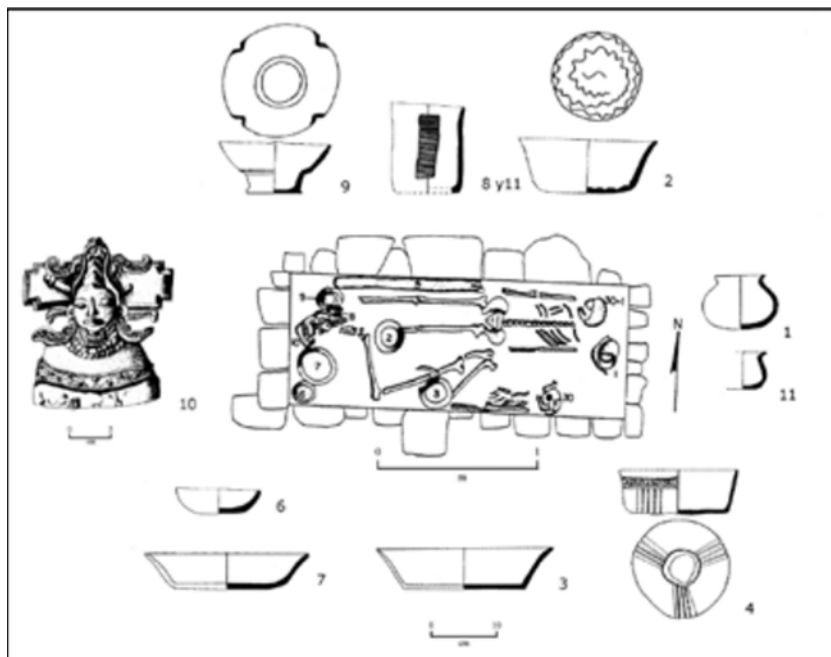


Figura 14. Planta y ofrenda de la tumba 185 (Urcid, 2009).

La realización de proyectos de mano de obra a gran escala, los rituales públicos, prácticas económicas y políticas atrajeron grupos que convirtieron a Monte Albán en un poderoso centro religioso y político. Las tensiones entre las formas de autoridad comunitaria y las de una élite regional emergente aumentaban. Estas tensiones debieron haber culminado en la ascensión de una dinastía gobernante alrededor del año 300 d.C., a costa de las antiguas formas de autoridad corporativa (Joyce, 2010), inclusive es posible que estas tensiones hayan contribuido al colapso de la ciudad en el año 800 d.C.

En la fase Tani, el modelo propuesto por Urcid (Urcid, 2009) para el clásico, ya está totalmente consolidado, y los datos expuestos manifiestan que, los grupos domésticos de medio rango ya compartían un conjunto común de ideas y valores centrados en la conmemoración de ancestros.

-Fase Pitao (Clásico Temprano 350 d.C.-500 d.C.) (Monte Albán III A).

El nombre de esta fase tiene una traducción compuesta, donde, Joyce Marcus (1983) señala que *pi* es igual a *pèe*. Cita el concepto zapoteco de *pèe* (viento, aliento, o espíritu) como principio central en la religión y creencia zapoteca que atribuye a los objetos con una fuerza vital o aura, y que *táo* significa “grande”; así *pitào* debe traducirse como “gran espíritu” o “gran aliento”, por lo que no debería considerarse como un dios específico, sino a la gran y sagrada fuerza vital dentro de los seres sobrenaturales. López Austin (1998) distingue “dos grandes categorías de entes sobrenaturales: las fuerzas sobrenaturales y los dioses. Las fuerzas sobrenaturales son entidades impersonales”, como propone Marcus.

Durante la fase Pitao la existencia de diferentes contextos mortuorios como tumbas, fosas rectangulares, entierros directos, donde cada uno de los miembros del grupo doméstico ocupó su lugar con respecto a la pareja fundadora, señalan la existencia de una sociedad jerárquica donde el traspaso del poder y viene entre generaciones fue básico. Además de reflejar el tamaño del grupo



doméstico como una familia núcleo extendida conformada por abuelos, hijos y nietos mismo patrón existente en las comunidades del Valle de Oaxaca del presente.

-Fase Peche (Clásico 600 d.C) (transición III A – III B).

El colapso de Teotihuacan, durante la transición IIIA-IIIB, disminuyó el papel de los líderes de Monte Albán en las negociaciones con esta poderosa unidad política. Sin la potencial amenaza de Teotihuacan, los líderes de otras comunidades pudieron haber reafirmado una mayor independencia, distanciándose de Monte Albán. En el caso de Copalita, experimentó un desarrollo favorable como consecuencia de un cambio gradual en sus estructuras sociales, políticas y religiosas. Este sitio tuvo un crecimiento basado en su caracterización como centro cívico-ceremonial que, durante la fase Peche, ya contaba con una plaza rodeada de edificios que incluían un Juego de pelota.

-Fase Xoo (Clásico Tardío 650-850 d.C) (III B - IV).

-Xoo del zapoteco, que significa “temblor”.

La religión zapoteca y el calendario zapoteco tienen sus raíces en Monte Albán en el Clásico tardío. Durante el clásico tardío, y desde antes de este tiempo, los gobernantes tenían nombres calendáricos. Por esta razón, el calendario posclásico y todo lo que implica para la religión, tiene sus raíces más directas en el Clásico tardío.

Winter (1986) identificó un tipo de estructura religiosa característica de la Fase Xoo que se llama templo-plaza-altar o TPA. Consiste en un templo con una plaza enfrente. La plaza tiene muros o plataformas bajas a los lados con una plataforma grande en el lado opuesto al templo. Los TPA se encuentran en muchos sitios principales de la Fase Xoo en el Valle de Oaxaca. Al parecer, son recintos ceremoniales formales de la religión estatal de Monte Albán.

Cira Martínez (2002) hizo un análisis de los objetos y señala que “los objetos más frecuentes asociados a los templos son las urnas de Cociyo y acompañantes, principalmente durante la Fase Xoo”. Por otro lado, Urcid (2008) mostró que los acompañantes son ayudantes de Cociyo semejantes a los tlaloques de Tláloc.

Cociyo es el dios de los rayos, los truenos y las lluvias (Figura 15). Su presencia con acompañantes refleja que es un dios poderoso con ejército de servidores.



*Figura 15. Urna de Cociyo y acompañantes, Tumba 6, Lambityeco (Paddock, 1966).*

Durante la Fase Xoo, Cociyo fue el dios más importante del panteón zapoteco en lo que corresponde al Clásico Tardío, ya que existen urnas, vasos y floreros efigies de Cociyo en todas partes del Valle de Oaxaca, y al parecer los TPA fueron recintos ceremoniales, donde se realizaron sus fiestas y rituales. El segundo dios más representado es Pitáo Cozóbi, el dios del maíz o de las cosechas (Figura 16).

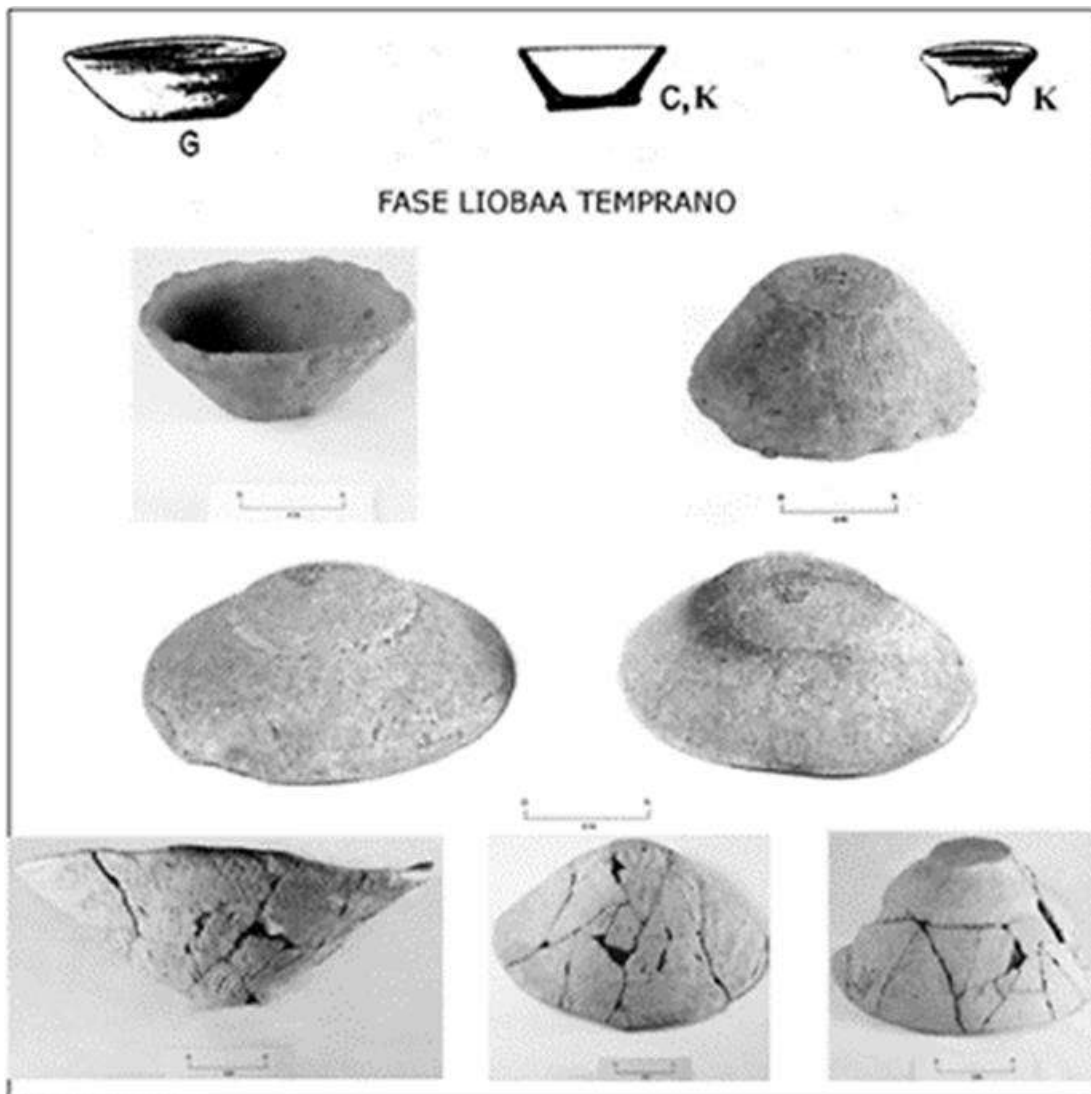


*Figura 16. Pitao Cozobi, dios del maíz, tumba 3, Lambityeco.*

-Fase Liobaa (Postclásico temprano 850-1200 d.C) (M.A. V).

El método de clasificación de cerámica para la fase Liobaa sigue el mismo procedimiento que la fase Xoo, toma en cuenta atributos de forma, pasta, tamaño, tratamiento, acabado de superficie y decoración. Lo que es notorio del ajuar cerámico del Postclásico Temprano es su escasez, su hechura casual y apariencia rústica.

Entre los cerámicos distinguidos de esta fase tenemos al cajete cónico; sigue desde clásico en la fase Pe y aparece como parte del ajuar doméstico de la sub-fase Liobaa Temprano (850-1000 d.C). Fueron modelados de pasta gris y café, de textura de mediada a burda y también aparecen ejemplares en pasta crema burda cerca del pueblo de Villa de Etla (Figura 17). Parece que el cajete cónico es escaso si no es que desaparece por completo para la sub-fase Liobaa Tardío.



*Figura 17. Cajete cónico del Postclásico Temprano procedentes de la sub-fase Liobaa Temprano. Las letras G, C y K indican pasta crema, gris y café, respectivamente.*

Otro ejemplar cerámico distinguido de esta sub-fase Liobaa Temprano es el cajete semiesférico; la forma se presenta con base semiesférica, paredes bajas y borde directo en tamaños pequeños, medianos y grandes. Lo más distinguido de los cajetes semiesféricos de la fase Liobaa Temprano es su hechura y acabado. Por lo general, las vasijas son pesadas puesto que las paredes no son bien adelgazadas, el borde es frecuentemente ondulado y no presentan soportes sino hasta la sub-fase Liobaa Tardío (Figura 18).

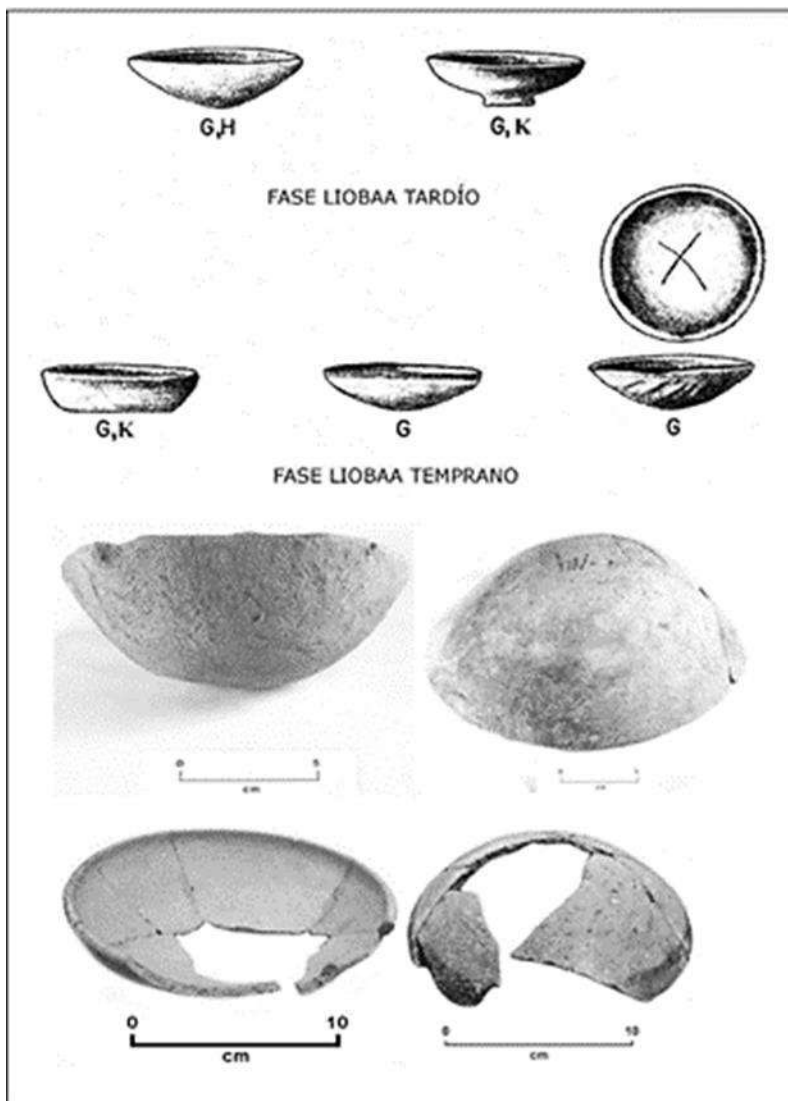


Figura 18. Cajete semiesférico del Postclásico Temprano. Las letras C, G, K y H indican pasta crema, gris, café y Huitzo Polished Cream. Paddock (1966).

Por lo antes mencionado, se nota que el Postclásico Temprano fue una época de transición significativa en la tradición alfarera zapoteca en el Valle de Oaxaca. Un gran ejemplo es el cajete cónico, el cual sirvió como recipiente básico al servicio de la comida durante la Fase Pe y que fue desplazado por el cajete semiesférico.

-Fase Chila (Postclásico Tardío 1200 d.C) (M.A. V).

La evolución alfarera continúa durante la fase Chila. Se registran vasos garra con pata de pasta gris y café que se relacionan con la sub-fase Liobaa Tardía y con el inicio de la fase Chila, encontrados en las tumbas de El Sabino, Zimatlán (Herrera Muzgo y Winter, 2003) (Figura 19).



*Figura 19. Vasos garra con pata relacionados a la sub-fase Liobaa Tardía y fase Chila. Las letras G y K indican pasta gris y café, respectivamente.*

Existen muchos estilos diferentes de alfarería provenientes de fases pasadas y que perduraron hasta la fase Chila por ejemplo: Cajetes de silueta compuesta, ollas medianas de silueta compuesta sin soportes y con soportes, sahumeros, y vasijas miniatura. Por su parte, Martínez et al. (2000: 308) hace referencia que los cerámicos con soportes lisos y figuras de animal es característica distintiva de la fase Chila (1250 d.C.-1521 d.C.).

### **Contexto Hidrológico.**

La idea de Monte Albán como el <<cerro sin agua>> es una Figura instaurada en la historia del estudio del sitio. Algunas menciones sobre que el cerro carece de fuentes nativas de agua, y que sus terrenos sinuosos lo hacen en general un área insalubre, no apropiada para la agricultura (Blanton 1978; Flannery y Marcus 1983; Wolf 1959). Para Richard Blanton (1978) esta nueva capital neutral fue estratégicamente establecida es un terreno marginal, sinuoso, insalubre para la agricultura, lejos de fuentes naturales de agua, dado que desde la cima del Monte Albán al Río Atoyac, hay aproximadamente 4 km de distancia (Blanton *et al.* 1999), situación contrastada con otros sitios contemporáneos como el Valle de Etla, donde ya había un largo desarrollo en sistemas hidráulicos. Sin embargo, existen registros de la presencia de pequeños asentamientos en el piedemonte de Xoxocotlán, que se establecieron en esta zona a finales de la época I (300-100 a.C., a causa de la fertilidad del suelo y su cercanía con Monte Albán. No obstante, algunos de los riesgos para la producción agrícola en piedemonte pueden reducirse mediante la implementación de sistemas de riego que aprovechen las redes hidrológicas del terreno. En el estudio de patrón de asentamiento de Monte Albán (Blanton, 2004), Neely identificó un sistema para el control de agua sobre la ladera este de Monte Albán en 1977, conformado por un dique de mampostería y múltiples canales de riego, de los cuales el canal principal corre a lo largo de 2km, desde el cerro hasta consumir en un arroyo situado en el fondo del valle (Mason et al., 1977).



Por otro lado, el mayor generador de agua en Monte Albán es su deidad principal: *Cociyo* del zapoteca <<rayo>> (Balsalobre, 1953; Córdova, 1987). Se caracteriza por su máscara de nariz alargada parecida a la boca de una serpiente, a veces una lengua bífida, los ojos enmarcados por placas y constantes asociaciones con el agua y el maíz (Caso y Bernal, 2003; Marcus, 2008; Sellen, 2007: 2011; Urcid, 2009). (Figura 20). Para otros autores es mejor llamarlo *Pitao Cociyo*, del zapoteca <<gran espíritu del rayo>>, quién tiene el poder de contener o liberar el agua con ayuda de su arma, la serpiente de fuego, símbolo del relámpago que alumbra, penetra y rompe las nubes (Marcus 1983c: 2008; Marcus y Flannery, 1994). Las representaciones de *Cociyo* en vasijas son las más cuantiosas dentro del sitio y en los Valles Centrales (desde Danibaán a Xoo), fungiendo, así como el arquetipo de la cultura zapoteca del Clásico y del apogeo de Monte Albán. (Caso y Bernal, 2003; Marcus 1983b: 2008; Sellen, 2007).

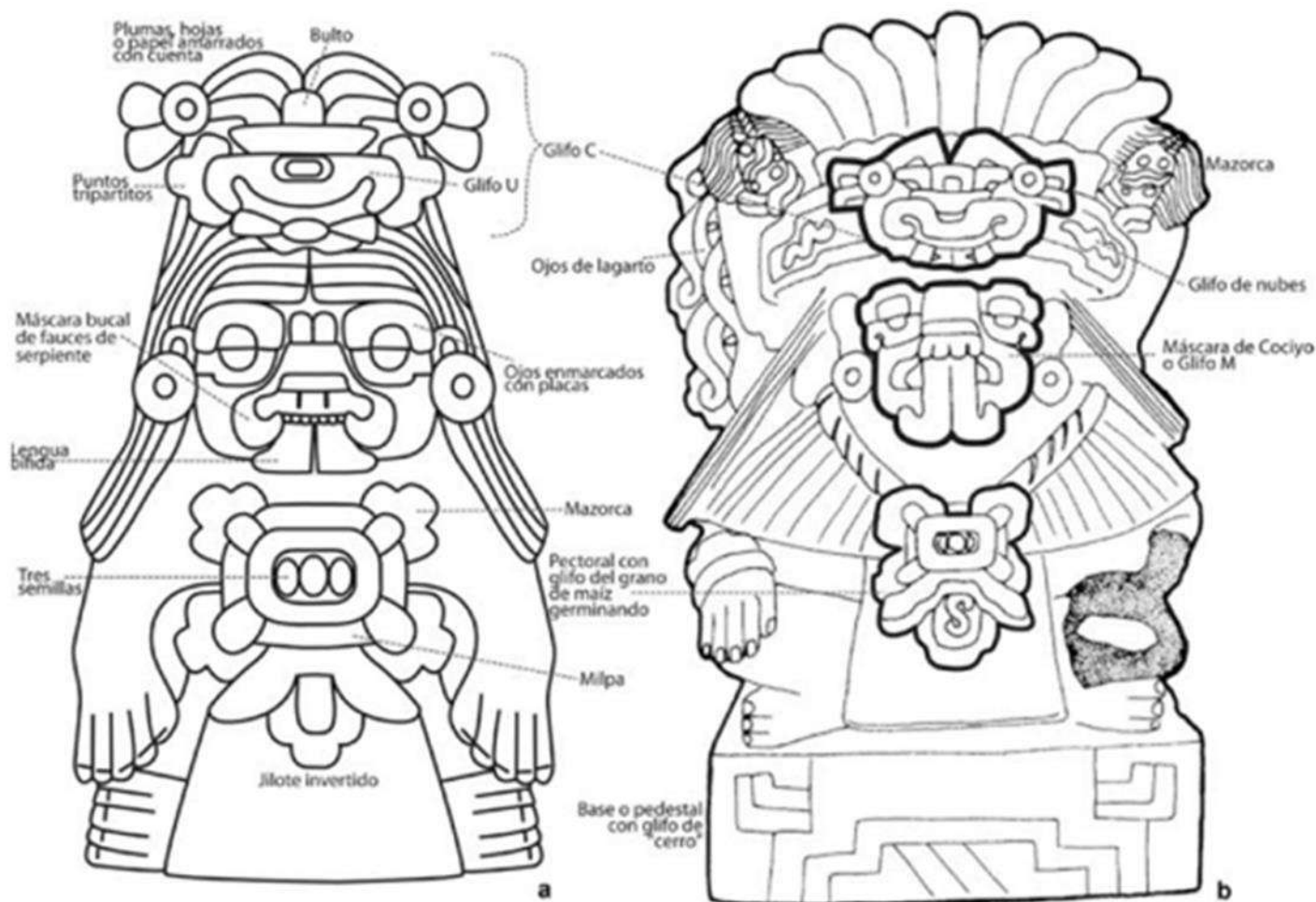
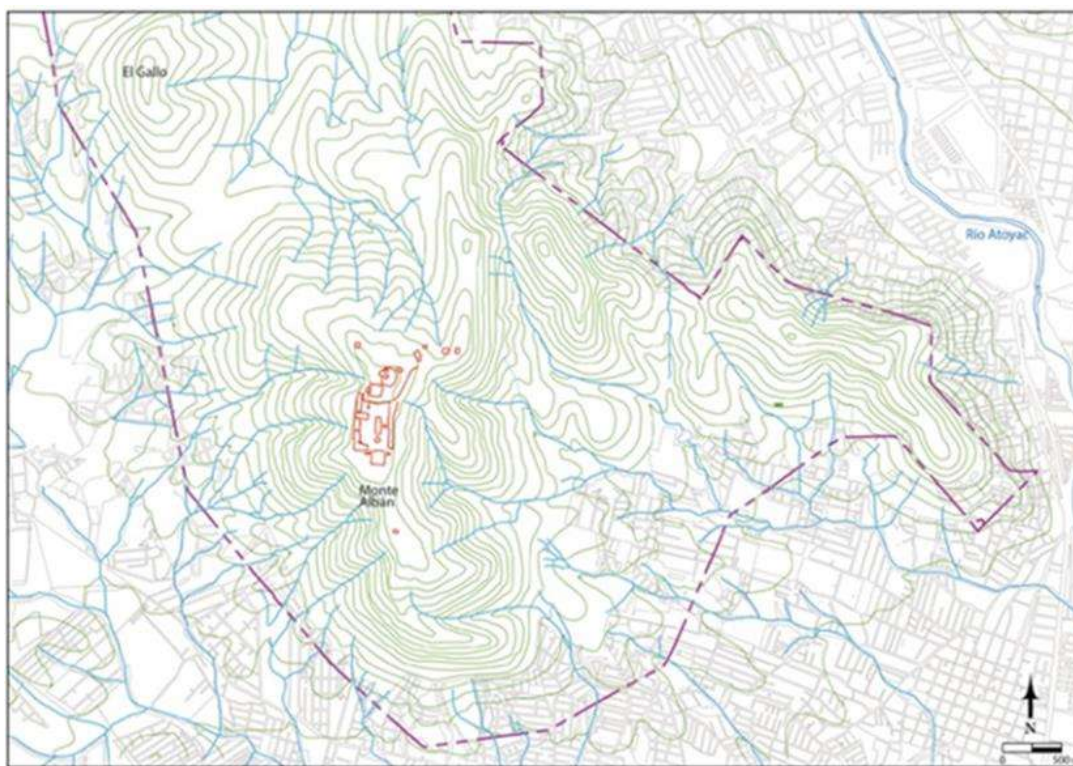


Figura 20. Vasijas efigie con máscaras y atributos de Cociyo, de fase Xoo (iconografía en Sellen, 2007 y Urcid, 2009): a) Ejemplo sencillo (dibujo basado en Paddock, 1966); b) Ejemplo sobre la base o pedestal con diseño piramidal que simboliza <<cerro>> (dibujo cortesía de Sellen, 2005).

Rojas (2015) realizó un breve recorrido de zona, con duración de 5 días de trabajo en las cuevas oriente y norte de Monte Albán, donde se pudo corroborar que en el Monte nace y fluye de él agua, así como técnicas que se usaron para administrar el agente fluvial que escurre.

Recientemente, un estudio hidrológico de los acuíferos de los Valles Centrales demostró gráficamente, la existencia de numerosos arroyos y manantiales, que fluyen y escurren hasta conectar con el río Atoyac, a partir de imágenes satelitales e información cartográfica (Duurzaam Stedelijk Waterbeheer Oaxaca 2013-2014) (Figura 21).



*Figura 21. Arroyos y escurrimientos de agua que corren por Monte Albán (mapa cortesía de MAP Urban Strategies).*

En 2016, se identificó en campo cuatro arroyos (A, B, C y D) que originan dentro del polígono de protección de la zona de Monte Albán, los cuales siguen su curso por las colonias de Mexicapam y Montoya (Rojas, 2017). Además, comprueba que tienen origen en la cima del cerro en forma de múltiples escurrimientos, mismos que se unen pendiente abajo en arroyos. Lamentablemente, estos arroyos se encuentran obstruidos por vialidades, viviendas e incluso se encuentran ya entubados en desagües de concreto.

Hay evidencia de excavaciones en el curso del escurrimiento formando pozos al interior, algunos tienen muros contruidos con piedras careadas, lajas, lodo y gravillas en el lado río arriba del escurrimiento. Destaca un muro de más de 15 m de largo y 0,6 m de alto, el cual corre transversalmente y atraviesa por uno de los arroyos, con dirección norte. El muro fue biselado para nivelar el terreno. En el punto donde el muro intercepta el arroyo, se encuentra una estructura de piedras con un arreglo escalonado en forma de <<V>> creador de un pozo con 1 m de profundidad. En conjunto del muro con el pozo se forma una presa que bloquea el agua del escurrimiento, lo contiene en su interior y lo distribuye a terrenos aledaños, probablemente para el cultivo (Rojas, 2017). El manantial registrado en ese recorrido es un dato importante ya que representa la evidencia que objeta la carencia de fuentes naturales de agua en Monte Albán a 1 km de distancia de la Plaza

Principal. Monte Albán cuenta con la existencia de estructuras arqueológicas de tecnología hidráulica dentro y cerca de fuentes naturales de agua, los cuales demuestran, la presencia de sistemas de control que se usó en el pasado, y que nos podrían servir para propiciar soluciones en el presente ante inundaciones y escases de agua.

Cabe mencionar que los impulsores del proyecto hídrico, urbano y de protección del patrimonio cultural, tienen especial interés por evitar la imposición de tecnologías extranjeras y en su lugar, recuperar técnicas para el control del agua que funcionaron en el pasado y mejorarlas con conocimiento moderno local o foráneo. Llevar a cabo esta metodología de trabajo sería lo más coherente dado el entorno tan rico en historia, cultura y arqueología.

## **EXPERIMENTOS DE LABORATORIO.**

El proyecto combina trabajo de campo y de laboratorio, abarcando la elaboración de cartografía geológica, la recopilación de información y la redacción de resultados. En el laboratorio, se prepararon muestras para determinar la intensidad magnética inicial de la magnetización remanente natural (MRN) y medir la susceptibilidad magnética a diferentes frecuencias. Se realizaron procesos de desmagnetización en muestras piloto y complementarias mediante campos alternos de hasta 95 mT y calentamientos de hasta 600 °C. Asimismo, se llevaron a cabo experimentos de histéresis magnética y, finalmente, se intentó determinar la paleointensidad absoluta en muestras previamente seleccionadas que cumplieran con criterios de estabilidad del vector magnético y mineralógico, utilizando el método de doble calentamiento tipo Thellier-Thellier (Thellier & Thellier, 1959), modificado por Coe (Coe et al., 1978). Sin embargo, no se obtuvieron determinaciones técnicamente aceptables, por lo que se optó por realizar dataciones basadas en arqueodirecciones.

Con el objetivo de identificar los minerales magnéticos responsables de la remanencia y verificar su estabilidad, se midió la susceptibilidad magnética en función de la temperatura (curvas termomagnéticas k-T) hasta 650 °C (Dearing, 1999). Estas curvas permiten detectar las fases ferromagnéticas presentes en las muestras durante los procesos de calentamiento y enfriamiento. En este estudio, se aplicó la metodología descrita para establecer la edad de materiales y elementos localizados en la periferia de Monte Albán, que se detallan a continuación:

1. Horno de planta rectangular (U. Ex. 1 - Camino Antiguo a Monte Albán).
2. Horno cilíndrico (U. Ex. 1 - Calle 15 de enero).
3. Horno de planta ovalada (U. Ex. 7 - Camino Antiguo a Monte Albán).
4. Piso de estuco (U. Ex. 2 - Calle 3 de mayo).
5. Brasero asociado a plataforma (U. Ex. 2 - Camino Antiguo a Monte Albán).
6. Tiestos cerámicos diagnósticos (Colección del Laboratorio de Materiales Arqueológicos de la Zona Arqueológica de Monte Albán).



Se trituraron fragmentos de cerámica de distintos sectores para explorar posibles correlaciones entre su composición mineralógica y su lugar de procedencia. Asimismo, se buscaron evidencias de algas microscópicas, como diatomeas, que indicaran la presencia y naturaleza de cuerpos de agua en el sitio; sin embargo, no se encontraron diatomeas, lo que podría sugerir que no existían cuerpos de agua permanentes que favorecieran su preservación. Además, se pulverizaron esquirlas de tiestos y se prepararon pastillas para análisis de fluorescencia de rayos X (XRF), con el fin de obtener información sobre las fuentes de aprovechamiento de las cerámicas, sus características geoquímicas y los ambientes sedimentarios de procedencia, así como su temporalidad asociada.

### **Preparación de muestras.**

Tras realizar un inventario fotográfico de los artefactos arqueológicos, se extrajo una muestra de 20 cm<sup>2</sup> de cada uno. Estas muestras se fragmentaron en especímenes más pequeños de 1 cm<sup>2</sup>. De cada muestra se obtuvieron al menos siete especímenes, destinados a pruebas de desmagnetización por campos alternos, curvas termomagnéticas (k-T) y paleointensidad. Los especímenes se dividieron en dos grupos: el primero, compuesto por un espécimen por muestra, se empleó para desmagnetización por campos alternos y curvas k-T; el segundo, con seis especímenes por muestra, se destinó a experimentos de paleointensidad. Para cada artefacto, se estableció una orientación específica (véase Figura 22A) y se cortaron muestras cuadradas con una sierra eléctrica (Figura 23), las cuales se subdividieron en especímenes menores (Figura 22B).



*Figura 22. Orientación (A) y extracción de especímenes (B) de piezas arqueológicas.*



*Figura 23. Sierra eléctrica utilizada para corte de alfarería.*

### **Preparación de especímenes para Desmagnetización por Campos Alternos.**

Se seleccionaron ocho especímenes por muestra y se colocaron en cubos de acrílico de 8 cm<sup>3</sup>, garantizando precisión y control en las condiciones experimentales.

#### **-Método Archeomagnético.**

Para identificar los artefactos aptos para datación archeomagnética, se realizó un experimento de desmagnetización por campos alternos, evaluando la estabilidad del vector magnético de cada muestra. Además, se emplearon curvas termomagnéticas para determinar la mineralogía magnética y su estabilidad durante el calentamiento. Los especímenes que cumplieran con estos criterios fueron seleccionados como candidatos para obtener la intensidad magnética necesaria para la datación, la cual se comparó con una curva de referencia mediante la herramienta *archeo\_dating* (Pavón-Carrasco et al., 2011).

### **Estimación de la Estabilidad del Vector Magnético.**

#### **-Medición de Magnetización Remanente Natural.**

En el Laboratorio del Servicio Archeomagnético Nacional del Instituto de Geofísica, Unidad Michoacán, se evaluaron la dirección y la intensidad del vector magnético de la magnetización remanente natural (MRN) de los especímenes encapsulados. Este procedimiento se llevó a cabo con un magnetómetro de giro JR-6 (AGICO), calibrado en A/m, midiendo la MRN a temperatura ambiente en cuatro posiciones distintas (Figura 24). La interfaz del JR-6 permitió supervisar los resultados en tiempo real (Figura 25).

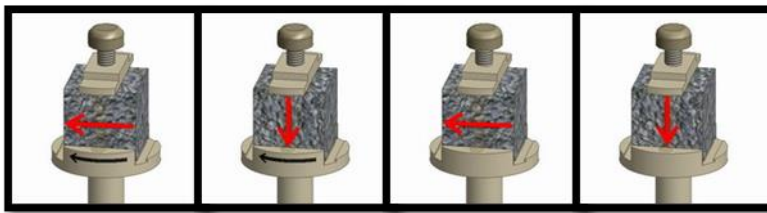


Figura 24. Magnetómetro de giro JR6 (Agico) y cuatro posiciones de medición.

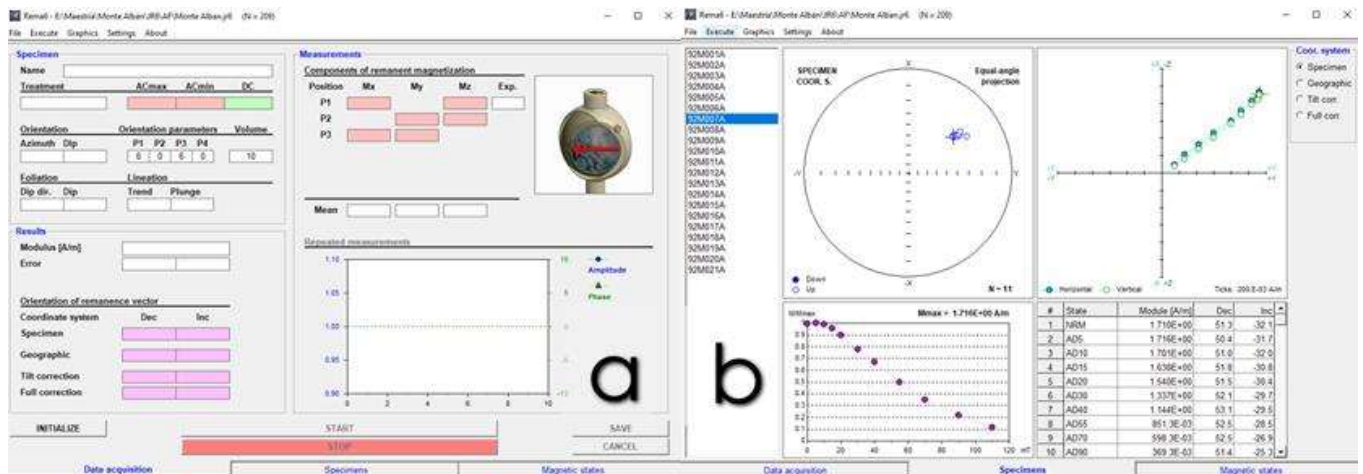


Figura 25. (a) La pantalla del REMA6 presenta una interfaz que despliega los valores de declinación, inclinación, intensidad magnética y precisión de la medición magnética del espécimen en cuestión. (b) Durante un experimento magnético, se puede observar la evolución de las componentes magnéticas que permiten determinar la calidad de las mediciones magnéticas realizadas.

### Desmagnetización por Campos Alternos.

El proceso de desmagnetización por campos alternos (AF) tuvo como objetivo evaluar la estabilidad del vector magnético de cada muestra. Se aplicaron campos magnéticos alternantes de forma progresiva, incrementando la intensidad desde 5 mT hasta un máximo de 70-90 mT, con una duración de 10 segundos por etapa y una disminución lineal rápida del campo. Entre cada etapa, se midió la magnetización remanente con el magnetómetro JR-6 (Figura 26b), utilizando una unidad de desmagnetización LDA5 (AGICO) (Figura 26a). Durante el proceso, las muestras se rotaron para desorientar las componentes influenciadas por los campos alternos, esperando una reducción en la intensidad magnética mientras la dirección del vector permanecía estable (Figura 26c).

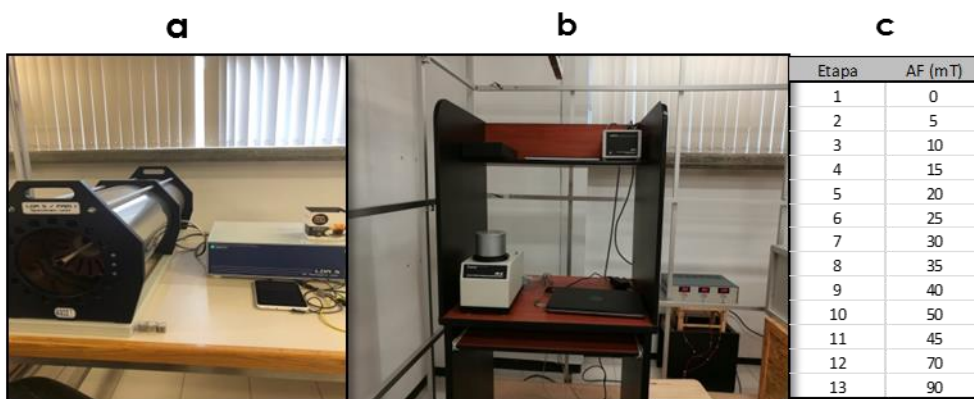


Figura 26 (a) Equipo de desmagnetización LDA5, (b) magnetómetro JR6 ubicado en un recinto de blindaje magnético para reducir el impacto del campo magnético terrestre en las mediciones, y (c) registro de valores de los campos magnéticos alternos empleados en un experimento de desmagnetización estándar.

Este procedimiento sirvió como primer filtro para clasificar las muestras según las características de su vector magnético. Aquellas con una componente primaria estable, sin alteraciones en dirección o inclinación, se consideraron aptas para experimentos de paleointensidad, siempre que también presentaran estabilidad mineralógica (Figura 27a). Las muestras con componentes secundarias eliminables por campos bajos (<20 mT) y una intensidad superior al 50 % también fueron viables. En contraste, las muestras con múltiples componentes secundarias, sin agrupación en su orientación



o con pérdida rápida de magnetización, se descartaron por su inexactitud en la datación arqueomagnética (Figura 27b).

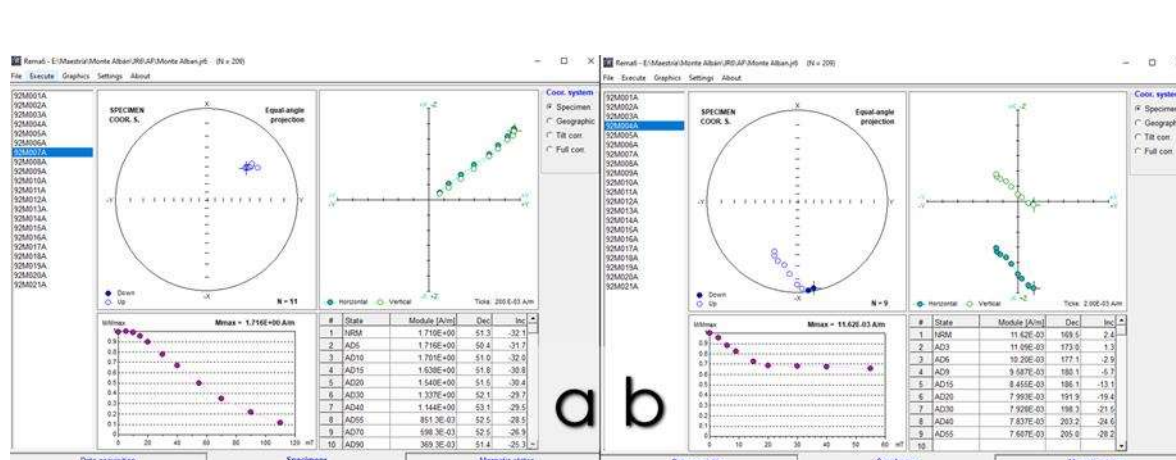


Figura 27 (a) El patrón previsto para un espécimen con vector magnético estable, que posibilita investigaciones fiables en cuanto a paleointensidad y datación, contrasta con el patrón indeseado (b), el cual es excluido en los procesos de obtención de paleointensidad y determinación de datación debido a perturbaciones en su vector magnético.

## Curvas Termomagnéticas.

La estructura mineral de las muestras se analizó mediante curvas de susceptibilidad magnética en función de la temperatura (curvas k-T), realizadas en el Laboratorio de Paleoambientes y Paleoclimas de la Escuela Nacional de Estudios Superiores, Campus Morelia (ENES-Morelia), UNAM. Se pulverizó 1 g de cada muestra con un mortero de ágata y se tamizó (ASTM No. 30, 0.589 mm). El material se colocó en un portamuestras de cuarzo y se midió con un equipo MFK1-FA (AGICO) equipado con horno, incrementando la temperatura desde 24 °C hasta 600 °C a 11 °C por minuto, con enfriamiento a la misma tasa (Figura 28). Los datos se corrigieron y graficaron con el software Cureval8, determinando los puntos de Curie mediante la segunda derivada (Tauxe, 2019).



Figura 28. La muestra tamizada ubicada en el portamuestras (izquierda), y el dispositivo medidor de susceptibilidad MFK1-FA utilizado para generar las curvas termomagnéticas (derecha).

En este estudio, se examinó el desarrollo de la curva de susceptibilidad con el fin de evaluar la estabilidad de los componentes magnéticos presentes en la muestra. Aquellas muestras que muestran un comportamiento reversible y carecen de fases de alta intensidad en su perfil magnético, indicativas de cambios en su mineralogía, se consideran adecuadas para proceder con el proceso de datación arqueomagnética (Figura 29a).

En contraste, las curvas que presentan un comportamiento irreversible durante el calentamiento y enfriamiento, o aquellas que revelan fases magnéticas de alta intensidad, son descartadas, ya que estas señales sugieren alteraciones en la composición mineral. Esto podría conducir a interpretaciones inexactas en términos de la paleointensidad (Figura 29b). Por lo tanto, la datación arqueomagnética no puede realizarse con precisión en tales casos.

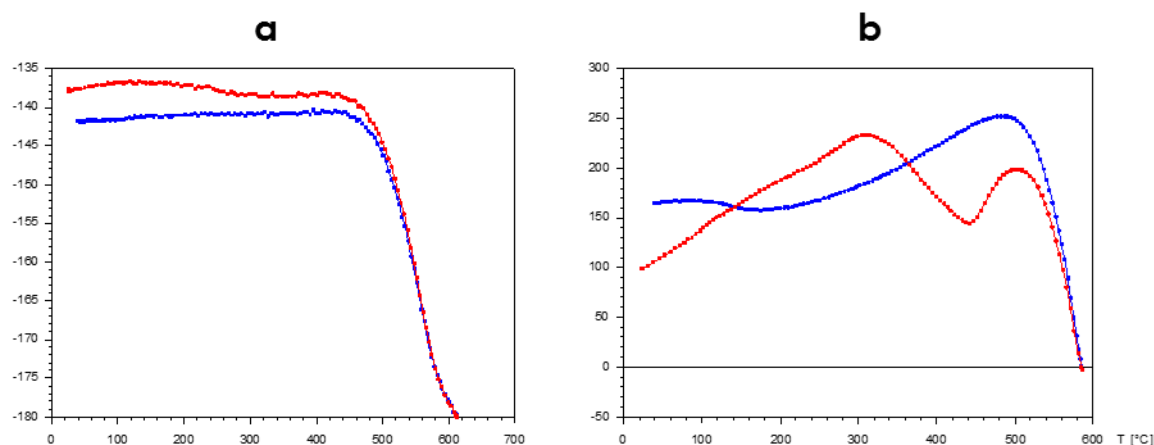


Figura 29 Representación gráfica de la susceptibilidad magnética en función de la temperatura; curva de calentamiento en color rojo y curva de enfriamiento en azul. a) Caso de curva reversible con una sola fase magnética que exhibe estabilidad mineralógica, se considera aceptable (Figura 29a). b) En contraste, la curva irreversible que revela múltiples fases magnéticas indicativas de cambios en la mineralogía durante el calentamiento se rechaza. (Figura 29b).

### Estudios de Paleointensidad.

Estos experimentos se basan en los especímenes que cumplen con dos criterios esenciales: estabilidad del vector magnético y mineralógico.

La preparación de las muestras para la paleointensidad involucra la selección de al menos seis especímenes de cada pieza elegida. Estos se colocan en una cápsula de NaCl, un material amagnético que no influye significativamente en las mediciones de intensidad magnética. La confección de cada cápsula implica un proceso de apastillado en frío, utilizando un montaje con una cavidad cilíndrica de 2.5 cm de diámetro y 2.2 cm de longitud. Dentro de esta cápsula se dispone de 20 g de NaCl junto al espécimen orientado. El apastillado se realiza ejerciendo una presión de 20 toneladas durante 5 minutos. Para asegurar la diversidad de orientaciones, se encapsulan los especímenes en seis direcciones diferentes: +X, -X, +Y, -Y, +Z, -Z (Figura 30).



*Figura 30. Preparación de capsulas de NaCl con especímenes orientados para estudios de paleointensidad.*

El método utilizado para determinar la paleointensidad de cada espécimen es una versión comúnmente usado de doble calentamiento de tipo Thellier. Este procedimiento implica la medición de la magnetización remanente con el magnetómetro JR6 después de someter al espécimen a calentamiento con y sin campo magnético.

#### **Datación de objetos arqueológicos por método arqueomagnético.**

En los estudios arqueomagnéticos, se emplean los valores de los principales elementos del campo magnético para determinar la edad de la estructura (artefacto) quemada, comparándola con la Curva de Variación Paleosecular (PSVC en inglés) mediante el empleo del software MatLab y la herramienta “Archeo\_dating” (Pavón Carrasco, Rodríguez González, Juan & María, Luis &, & Osete & Torta, 2011); (Pavón-Carrasco, F., Osete, Torta, & Santis, 2014).

El modelo empleado en este estudio se basa en datos recopilados de GEOMAGIA50v3, que abarcan información tanto arqueológica e arqueomagnética como datos derivados de flujos de lava y artefactos arqueológicos (Pavón-Carrasco, F., Osete, Torta, & Santis, 2014) (Figura 31).

**Archaeomagnetic Dating by Palaeosecular Variation Curves**

**Archaeomagnetic Data**

Declination (decimal degree) ☐ Value

Inclination (decimal degree) ☐ Value

Alpha 95 (decimal) ☐ Value

Intensity (microTesla) ☐ Value

Intensity uncertainty (microTesla) ☐ Value

**Location Data**

Longitude (decimal degree) Value

Latitude (decimal degree) Value

'Site Name' Name

**Choose your master PSVC**

Regional PSVC Global Models

Regional Models New PSVC

**Parameters**

**Time Interval**

☐ Defined Interval Initial Time Final Time

☒ Entire Interval

**Probability**

☐ 65% ☒ 95%

Pavón-Carrasco et al. (2011). A Matlab tool for archaeomagnetic dating.  
Visit [http://pc213fis.fis.ucm.es/archaeo\\_dating/index.html](http://pc213fis.fis.ucm.es/archaeo_dating/index.html) for updates  
New version v6.0 (May 2015)

Help

Figura 31. Interfaz de programa *archeo\_dating* para datación de material arqueológico.

La interfaz se divide en tres secciones destinadas a configurar los parámetros necesarios para la datación del material arqueológico.

En la sección "Archeomagnetic Data" se ingresan los datos del vector magnético: declinación, inclinación, ángulo de confianza  $\alpha_{95}$ , intensidad del vector magnético y su incertidumbre. Aquí, se puede optar por introducir datos direccionales, de intensidad o ambos para mejorar la precisión.

La sección "Location Data" requiere la introducción de la latitud y longitud en grados decimales, además del nombre del sitio (Figura 31).

En la sección "Choose your master PSVC", se elige la curva de referencia que se utilizará para comparar los datos del vector magnético. En este estudio, se empleó el modelo de curva SHA.DIF.14k, obtenido mediante modelación de armónicos esféricos (Spherical Harmonic - SH en inglés) para el campo magnético, representado por declinación (D), inclinación (I) e intensidad magnética (K) en un lapso de 14 años (Pavón Carrasco, Rodríguez González, Juan & María, Luis & & Osete & Torta, 2011).

La sección "Parameters" se usa para definir el intervalo de tiempo en el que se compararán los datos del vector magnético con la curva seleccionada. Mientras que la sección "Probability" se utiliza para estimar la función entre el 65% y el 95%.

Si se emplea el vector completo (declinación, inclinación e intensidad), el software proporcionará información que se muestra en la Figura 32.



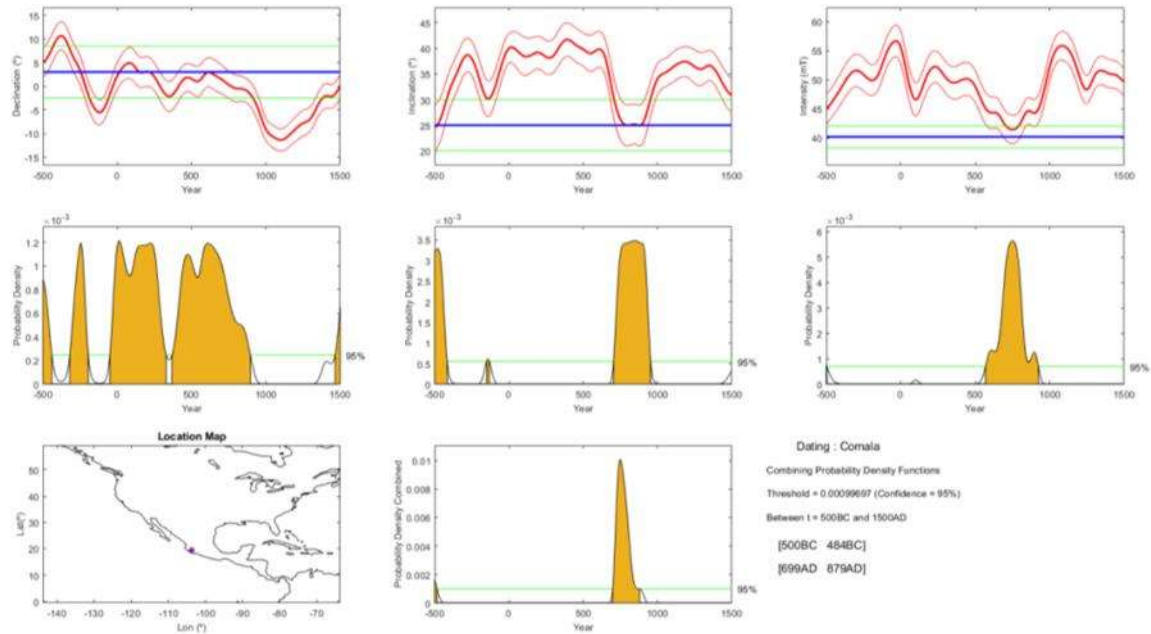


Figura 32. Resultado mostrado por *archeo\_dating* cuando se usa el vector magnético completo.

La primera línea de la Figura 32 exhibe las distintas componentes del vector magnético del espécimen. En esta línea, el valor medio se visualiza en una línea de color azul, mientras que la incertidumbre se representa mediante líneas de color verde. La curva roja corresponde a la curva de referencia de la variación secular, basada en la curva seleccionada (SHA.DIF.14K).

La segunda línea muestra la función de probabilidad para cada componente magnética respecto a la curva de referencia. En la tercera línea, la primera figura representa gráficamente el lugar de estudio, la segunda figura ilustra la densidad de probabilidad acumulada de las componentes magnéticas introducidas y, por último, en la sección inferior derecha se presentan los límites de confianza y los intervalos probables de datación del sitio analizado.

### Paleoambientes.

Para realizar el procesamiento de 40 muestras de cerámicos, se pesó medio gramo y, con ayuda de un mortero de ágata, se trituraron las muestras. Posteriormente, se humedecieron en un poco de agua destilada.

Las muestras fueron procesadas calentándose en un vaso de precipitado, agregando 100 mililitros de peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ) para eliminar la materia orgánica. Las muestras se coloraron en una parrilla (Figura 33), procurando que no se elevaran las temperaturas a más de  $100^\circ C$ . Una vez realizada la digestión y evaporado el peróxido, las muestras se diluyeron en agua destilada. Sucesivamente se procedió agregar 50 mililitros de ácido clorhídrico (HCl) y se calentó el *Baker* para disolver los remanentes de carbonato de calcio (Figura 34). Las muestras fueron lavadas al menos seis veces con agua destilada hasta alcanzar un PH neutro.



Figura 33. Calentamiento en parrilla de muestras procesadas.



Figura 34. Eliminación de remanentes de carbonato de calcio.

Se colocaron los sedimentos procesados en un *Baker* de 250 mililitros, se dispersaron para poder tomar de la solución bien distribuida con sedimento, después, se extrajeron 3 microlitros de la solución con una micropipeta y se vertió la solución en un cubreobjetos dejándose secar sin mover la solución por un día completo.

Por último, se montó sobre un portaobjeto debidamente marcado con Nafrax para observación microscópica a 1000X (Figura 35). No se hallaron diatomeas. Las muestras también se analizaron por XRF para caracterizar fuentes y ambientes sedimentarios.



*Figura 35. Montaje del portaobjetos para identificación de algas en sedimentos asociados a cerámicos.*

Estos métodos combinados permitieron caracterizar las propiedades magnéticas y mineralógicas de los materiales arqueológicos, establecer dataciones mediante arqueodirecciones y analizar el contexto geoquímico y ambiental de Monte Albán. Aunque las determinaciones de paleointensidad no fueron viables, las arqueodirecciones obtenidas, junto con los datos geoquímicos y paleoambientales, proporcionaron una base sólida para correlacionar la cronología absoluta con las condiciones paleoambientales de la región.

## **RESULTADOS.**

### **Propiedades Magnéticas**

Los experimentos termomagnéticos revelaron un comportamiento irreversible en las curvas de susceptibilidad magnética durante los ciclos de calentamiento y enfriamiento (Figura 36). Los valores elevados en las curvas de enfriamiento sugieren la neoformación de minerales magnéticos durante la exposición a temperaturas cercanas a 600 °C, posiblemente a partir de una matriz no magnética, como material orgánico. En todas las muestras se identificó la presencia de magnetita o soluciones sólidas de titanomagnetitas, determinadas por las temperaturas de Curie. Una fase de baja temperatura, alrededor de los 250 °C, podría atribuirse a titanomagnetitas con bajo contenido de titanio o titanomaghemitas. Sin embargo, no fue posible obtener curvas de susceptibilidad en función a la temperatura para las muestras del fogón F1 debido a valores iniciales extremadamente bajos, lo que indica una baja concentración de minerales magnéticos o una señal magnética débil.

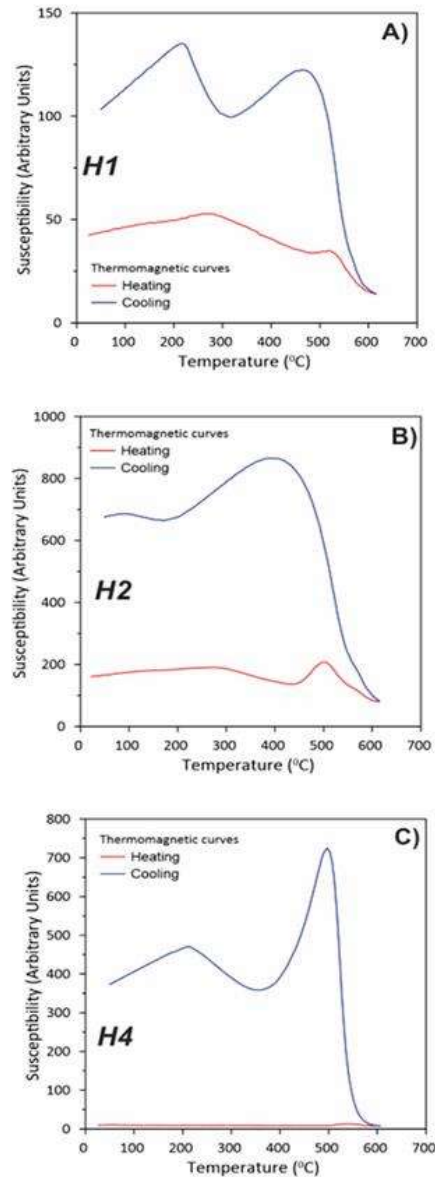


Figura 36. Curvas termomagnéticas continuas (susceptibilidad magnética frente a temperatura). Las ramas rojas y azules corresponden a la etapa de calentamiento y enfriamiento, respectivamente.

### Desmagnetización por Campos Alternos (AF)

El análisis paleomagnético de las muestras, realizado mediante desmagnetización por campos alternos (AF), mostró que una proporción significativa generó segmentos lineales bien definidos en los diagramas ortogonales, indicando un componente magnético principal que apunta al origen (Figura 37). La magnetización viscosa se eliminó fácilmente con campos alternos bajos, entre 5 y 15 mT. La componente característica se observó al aplicar campos entre 22 y 55 mT, eliminándose la mayoría de la magnetización remanente natural (MRN) con campos medios destructivos (CMD) de 22-25 mT en el horno H1 (Figura 37). En los hornos H2 y H3, un campo de 25mT fue suficiente para remover una parte sustancial de la MRN (Figura 37). Las muestras del fogón F1 no respondieron a

la desmagnetización, incluso con campos máximos de 110 mT, sugiriendo la presencia de granos antiferromagnéticos, probablemente hematita, con alta coercitividad. A pesar de esto, las paleodirecciones asociadas se mantuvieron estables, como se observa en el diagrama de áreas iguales (Figura 38).

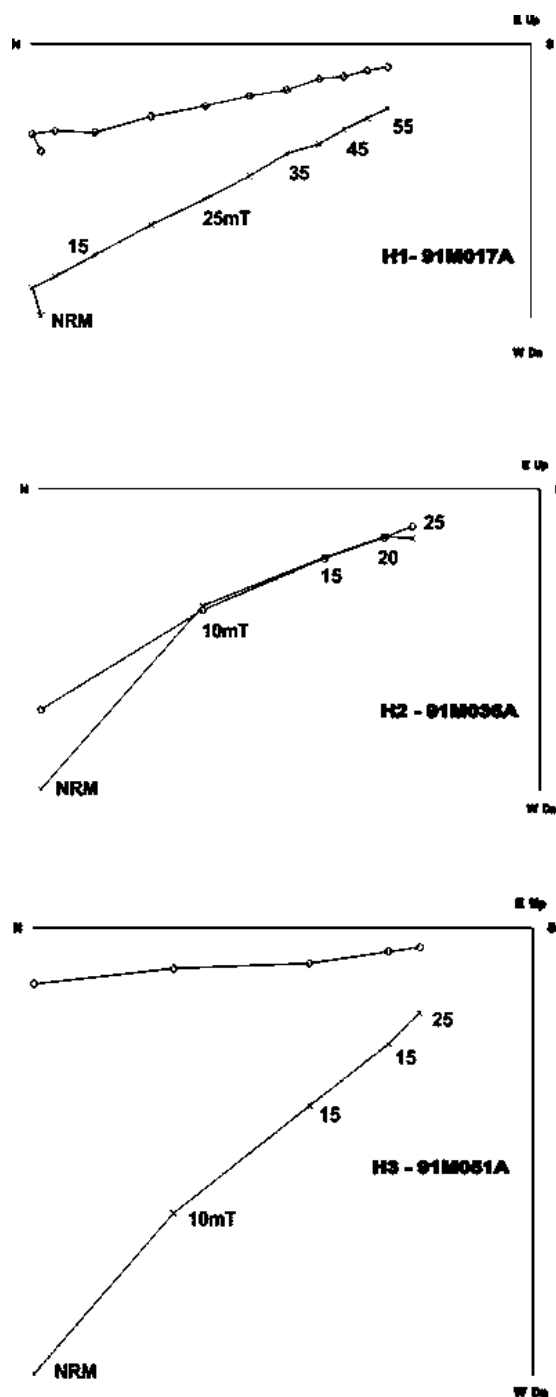


Figura 37. Diagramas vectoriales (Zijderveld) correspondientes al proceso de desmagnetización por campo alterno. Estos diagramas representan de manera clara y precisa las determinaciones correctas obtenidas en el proceso de desmagnetización por campo alterno.

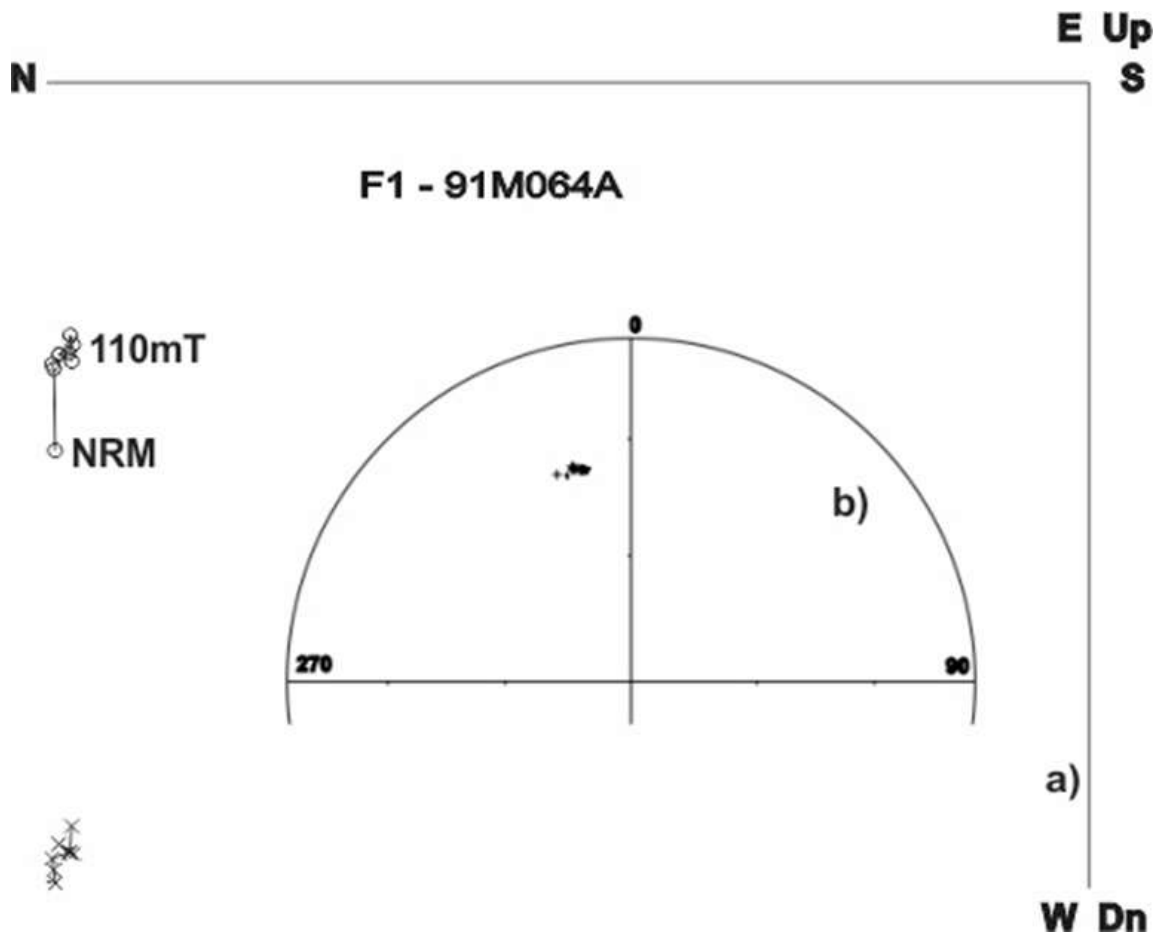


Figura 38. Ejemplo del proceso de desmagnetización por campo alterno de muestras de la hoguera.

El análisis paleomagnético del sitio arqueológico de Monte Albán, arrojó direcciones primarias confiables, basadas en un mínimo de cuatro puntos alineados con una desviación angular máxima (MAD) inferior a  $3^\circ$ , y en la mayoría de los casos, menor a  $1.5^\circ$ . Las direcciones arqueomagnéticas promedio de cuatro de las cinco estructuras quemadas analizadas son bien definidas (Figura 39), con conos de confianza de ( $\alpha_{95}$ ) entre  $1.5^\circ$  y  $3.5^\circ$  (H1, H3 y F1). Solo el horno H2 presentó un  $\alpha_{95}$  más elevado, de  $6.2^\circ$ . No se determinaron paleodirecciones para el horno H4 debido a la dispersión de los valores de declinación e inclinación. Las direcciones promedio de Fisher se consideraron como paleodirecciones características para las muestras del fogón.

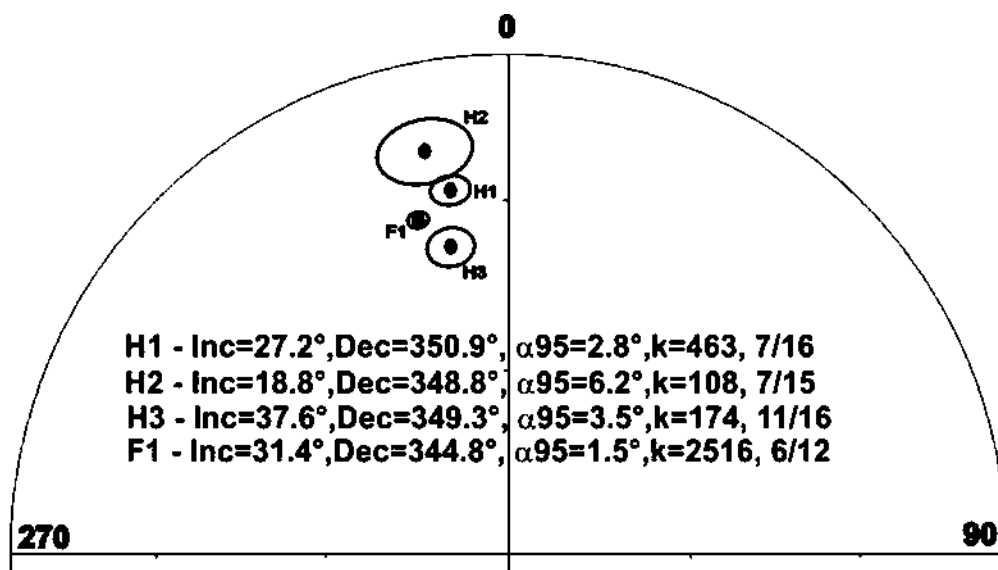


Figura 39. La Figura muestra una proyección de área igual de las direcciones arqueomagnéticas medias para varios hornos de cerámica y un fogón en el sitio arqueológico de Monte Albán en Oaxaca, México.

### Arqueointensidad

No se lograron determinaciones de paleointensidad aceptables debido al comportamiento termomagnético inestable de las muestras, como se evidenció en las curvas de susceptibilidad irreversibles y la neoformación de minerales magnéticos (Figura 36). Por ello, se optó por utilizar el tratamiento de campos alternos para obtener las paleodirecciones características en lugar de intentar experimentos de paleointensidad. Los resultados magnetomineralógicos, aunque no respaldados por ciclos de histéresis en este análisis, sugieren que la remanencia magnética podría estar soportada por granos multidominio o grandes granos de pseudo-dominio sencillo (Dunlop y Özdemir, 1997), inferido a partir de la estabilidad direccional y las temperaturas de Curie observadas.

### Diatomeas

No se observaron diatomeas en las preparaciones microscópicas obtenidas tras la digestión de las muestras, lo que indica que los cuerpos de agua asociados no eran perennes, impidiendo su preservación.

### Análisis de Fluorescencia de Rayos X (XRF)

Se prepararon pastillas con un gramo de muestra pulverizada a grano limoso para análisis de fluorescencia de rayos X (XRF). Los resultados muestran concentraciones variables de elementos químicos que generan tonalidades distintas, reflejando diferencias en la composición mineralógica (Figura 40). Estas variaciones indican fuentes de procedencia diversas para los materiales cerámicos, sugiriendo que las arcillas utilizadas provienen de distintos sitios de extracción en la región de Monte Albán. No se realizó colorimetría, sino un análisis elemental cuantitativo mediante XRF.



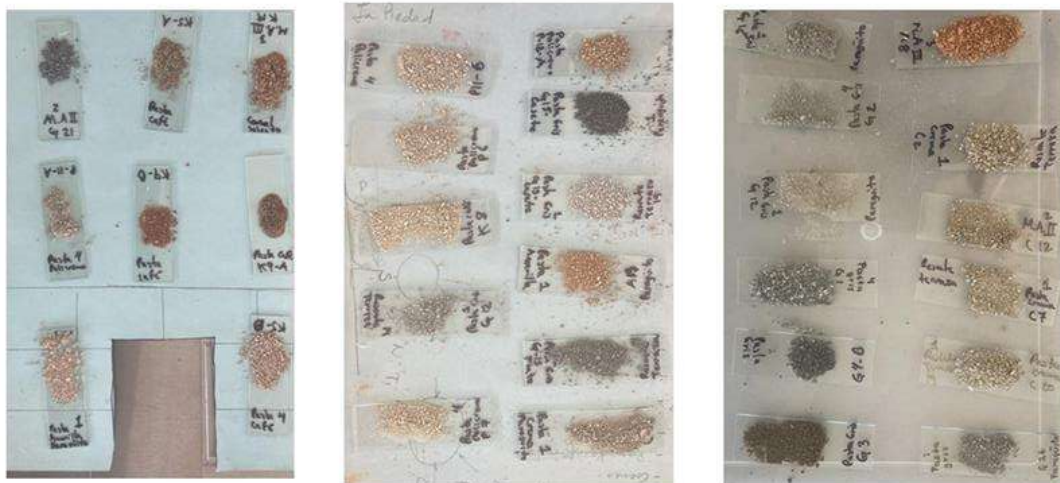


Figura 40. Muestras preparadas para análisis de fluorescencia de rayos x.

Figura 41. Muestra 1: P12b.

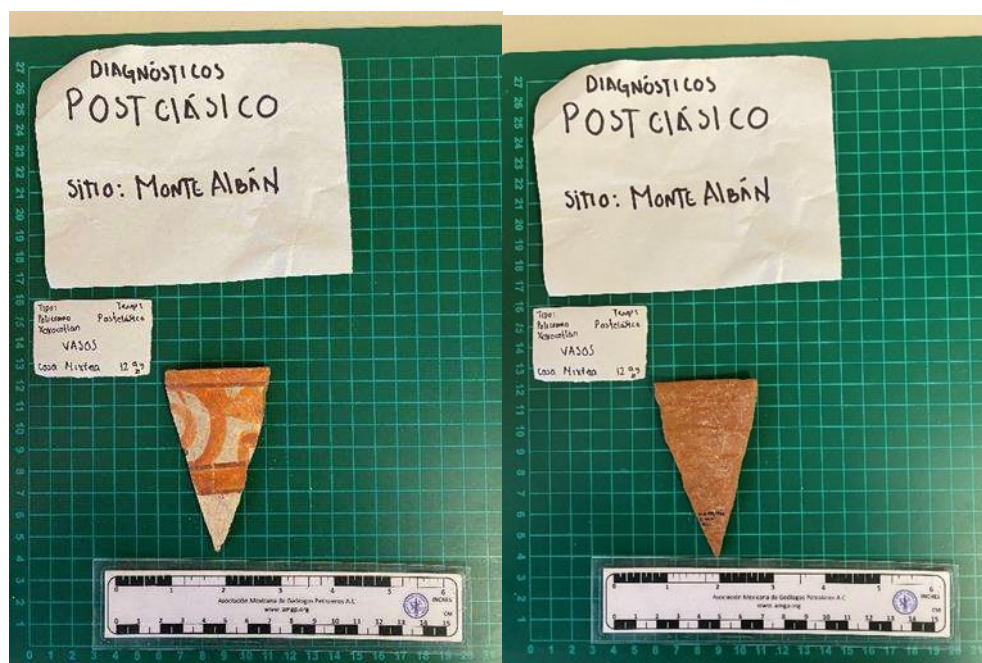


Tabla 2. Muestra 1: P12b.

Formula	Z	Concentration (%)	Status	Line 1	Net int.	Calc. concentration	Stat. error (%)	LLD (ppm)	Analyzed layer
SiO <sub>2</sub>	14	18.1	XRF 1	Si KA1-HR-Tr	2.962	-	3.29	-	35 µm
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	26	2.82	XRF 1	Fe KA1-HR-Tr	2.957	-	3.33	380	380 µm
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13	1.45	XRF 1	Al KA1-HR-Tr	0.2522	-	11.3	-	24.8 µm
CaO	20	0.939	XRF 1	Ca KA1-HR-Tr	0.3696	-	9.31	-	104 µm
K <sub>2</sub> O	19	0.89	XRF 1	K KA1-HR-Tr	0.4251	-	8.68	-	86 µm
TiO <sub>2</sub>	22	0.666	XRF 1	Ti KA1-HR-Tr	0.2404	-	11.5	-	162 µm
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	15	0.354	XRF 1	P KA1-HR-Tr	0.06166	-	22.8	-	23.5 µm
In <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	49	0.121	XRF 1	In KA1-HR-Tr	0.03318	-	31.1	-	11000 µm
SrO	38	0.108	XRF 1	Sr KA1-HR-Tr	0.4437	-	11.8	2520	2520 µm
Si	14	8.54	XRF 1	Si KA1-HR-Tr	2.962	8.54	3.29	-	32 µm
Fe	26	2.2	XRF 1	Fe KA1-HR-Tr	2.957	2.2	3.33	9500	213 µm
K	19	0.783	XRF 1	K KA1-HR-Tr	0.4251	0.78	8.68	-	54 µm
Al	13	0.729	XRF 1	Al KA1-HR-Tr	0.2522	0.73	11.3	-	24.9 µm
Ca	20	0.725	XRF 1	Ca KA1-HR-Tr	0.3696	0.73	9.31	-	64 µm
Ti	22	0.437	XRF 1	Ti KA1-HR-Tr	0.2404	0.44	11.5	-	96 µm
P	15	0.159	XRF 1	P KA1-HR-Tr	0.06166	0.16	22.8	-	15.3 µm
In	49	0.105	XRF 1	In KA1-HR-Tr	0.03318	0.1	31.1	-	5700 µm
Sr	38	0.105	XRF 1	Sr KA1-HR-Tr	0.4437	0.1	11.8	3800	1320 µm

Figura 42. Muestra 2: K17.



Tabla 3. Muestra 2: K17.

Formula	Z	Concentration (%)	Status	Line 1	Net int.	Calc. concentration	Stat. error (%)	LLD (ppm)	Analyzed layer
SiO <sub>2</sub>	14	18.9	XRF 1	Si KA1-HR-Tr	3.103	18.9	3.21	-	38 µm
K <sub>2</sub> O	19	1.94	XRF 1	K KA1-HR-Tr	0.8891	1.9	6	-	91 µm
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	26	1.81	XRF 1	Fe KA1-HR-Tr	1.91	1.81	4.18	16100	390 µm
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13	1.68	XRF 1	Al KA1-HR-Tr	0.2972	1.7	25.9	-	27.8 µm
TiO <sub>2</sub>	22	1.03	XRF 1	Ti KA1-HR-Tr	0.3702	1	9.3	-	172 µm
BaO	56	0.291	XRF 1	Ba LA1-HR-Tr	0.03342	0.29	30.9	-	167 µm
CaO	20	0.234	XRF 1	Ca KA1-HR-Tr	0.09267	0.23	18.6	-	102 µm
ZrO <sub>2</sub>	40	0.197	XRF 1	Zr KA1-HR-Tr	0.7974	0.2	8.21	4900	4000 µm
Ru	44	0.144	XRF 1	Ru KA1-HR-Tr	0.03512	0.14	30.2	-	6800 µm

Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	24	0.0672	XRF 1	Cr KA1-HR-Tr	0.04533	0.067	26.6	-	255 µm
Si	14	8.87	XRF 1	Si KA1-HR-Tr	3.103	8.87	3.21	-	37 µm
K	19	1.73	XRF 1	K KA1-HR-Tr	0.8891	1.7	6	-	57 µm
Fe	26	1.42	XRF 1	Fe KA1-HR-Tr	1.91	1.42	4.18	10600	221 µm
Al	13	0.846	XRF 1	Al KA1-HR-Tr	0.2972	0.85	25.9	-	29.9 µm
Ti	22	0.675	XRF 1	Ti KA1-HR-Tr	0.3702	0.68	9.3	-	102 µm
Ba	56	0.279	XRF 1	Ba LA1-HR-Tr	0.03342	0.28	30.9	-	99 µm
Ca	20	0.179	XRF 1	Ca KA1-HR-Tr	0.09267	0.18	18.6	-	61 µm
Zr	40	0.166	XRF 1	Zr KA1-HR-Tr	0.7974	0.17	8.21	3600	2160 µm
Ru	44	0.166	XRF 1	Ru KA1-HR-Tr	0.03512	0.17	30.2	-	3600 µm
Cr	24	0.0528	XRF 1	Cr KA1-HR-Tr	0.04533	0.053	26.6	-	147 µm



Figura 43. Muestra 3: K10.



Tabla 4. Muestra 3: K10.

Formula	Z	Concentration (%)	Status	Line 1	Net int.	Calc. concentration	Stat. error (%)	LLD (ppm)	Analyzed layer
SiO <sub>2</sub>	14	16.3	XRF 1	Si KA1-HR-Tr	2.656	16.3	3.47	-	35 µm
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	26	3.09	XRF 1	Fe KA1-HR-Tr	3.205	3.09	3.19	13100	370 µm
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13	1.17	XRF 1	Al KA1-HR-Tr	0.2048	1.2	31.3	-	24.5 µm
K <sub>2</sub> O	19	1.06	XRF 1	K KA1-HR-Tr	0.4949	1.1	8.04	-	90 µm
TiO <sub>2</sub>	22	0.985	XRF 1	Ti KA1-HR-Tr	0.3547	0.98	9.5	-	166 µm
CaO	20	0.928	XRF 1	Ca KA1-HR-Tr	0.3659	0.93	23.4	-	107 µm
SrO	38	0.108	XRF 1	Sr KA1-HR-Tr	0.4334	0.11	11.5	4200	2380 µm
Si	14	7.64	XRF 1	Si KA1-HR-Tr	2.656	7.64	3.47	-	32 µm
Fe	26	2.39	XRF 1	Fe KA1-HR-Tr	3.205	2.39	3.19	8700	217 µm

K	19	0.934	XRF 1	K KA1-HR-Tr	0.4949	0.93	8.04	-	58 µm
Ca	20	0.712	XRF 1	Ca KA1-HR-Tr	0.3659	0.71	23.4	-	67 µm
Ti	22	0.641	XRF 1	Ti KA1-HR-Tr	0.3547	0.64	9.5	-	101 µm
Al	13	0.594	XRF 1	Al KA1-HR-Tr	0.2048	0.59	31.3	-	24.0 µm
Sr	38	0.103	XRF 1	Sr KA1-HR-Tr	0.4334	0.1	11.5	3600	1280 µm
Zr	40	0	XRF 1	Zr KA1-HR-Tr	0.5206	0	10.8	4300	1740 µm

Figura 44. Muestra 4: A6.



Tabla 5. Muestra 4: A6.

Formula	Z	Concentration (%)	Status	Line 1	Net int.	Calc. concentration	Stat. error (%)	LLD (ppm)	Analyzed layer
SiO <sub>2</sub>	14	16.6	XRF 1	Si KA1-HR-Tr	2.659	16.6	3.47	-	25.8 µm
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	26	4.43	XRF 1	Fe KA1-HR-Tr	4.606	4.43	2.66	17400	288 µm
K <sub>2</sub> O	19	1.93	XRF 1	K KA1-HR-Tr	0.9552	1.93	5.79	-	70 µm
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13	1.49	XRF 1	Al KA1-HR-Tr	0.2515	1.5	11.3	-	18.3 µm
CaO	20	1.15	XRF 1	Ca KA1-HR-Tr	0.4477	1.2	8.45	-	79 µm
TiO <sub>2</sub>	22	0.551	XRF 1	Ti KA1-HR-Tr	0.1955	0.55	32	-	120 µm
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	15	0.45	XRF 1	P KA1-HR-Tr	0.07884	0.45	20.1	-	19.6 µm
In <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	49	0.274	XRF 1	In KA1-HR-Tr	0.06189	0.27	22.7	-	7000 µm



MgO	12	0.189	XRF 1	Mg KA1-HR-Tr	0.05159	0.19	24.9	-	11.9 µm
Rh	45	0.152	XRF 1	Rh KA1-HR-Tr	0.03714	0.15	29.4	-	4600 µm
SrO	38	0.0951	XRF 1	Sr KA1-HR-Tr	0.3889	0.095	12.8	5600	1680 µm
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	24	0.0915	XRF 1	Cr KA1-HR-Tr	0.06228	0.092	22.7	-	189 µm
ZrO <sub>2</sub>	40	0.000218	XRF 1	Zr KA1-HR-Tr	0.3296	0	15.3	6900	2280 µm
Si	14	7.8	XRF 1	Si KA1-HR-Tr	2.659	7.8	3.47	-	22.4 µm
Fe	26	3.47	XRF 1	Fe KA1-HR-Tr	4.606	3.47	2.66	11900	166 µm
K	19	1.85	XRF 1	K KA1-HR-Tr	0.9552	1.85	5.79	-	45 µm
Ca	20	0.894	XRF 1	Ca KA1-HR-Tr	0.4477	0.89	8.45	-	48 µm
Al	13	0.754	XRF 1	Al KA1-HR-Tr	0.2515	0.75	11.3	-	16.8 µm
Ti	22	0.363	XRF 1	Ti KA1-HR-Tr	0.1955	0.36	32	-	71 µm
In	49	0.253	XRF 1	In KA1-HR-Tr	0.06189	0.25	22.7	-	3700 µm
P	15	0.202	XRF 1	P KA1-HR-Tr	0.07884	0.2	20.1	-	13.2 µm
Rh	45	0.174	XRF 1	Rh KA1-HR-Tr	0.03714	0.17	29.4	-	2420 µm
Mg	12	0.104	XRF 1	Mg KA1-HR-Tr	0.05159	0.1	24.9	-	11.2 µm
Sr	38	0.092	XRF 1	Sr KA1-HR-Tr	0.3889	0.092	12.8	4900	890 µm
Cr	24	0.069	XRF 1	Cr KA1-HR-Tr	0.06228	0.069	22.7	-	110 µm

Figura 45. Muestra 5: C4.



Tabla 6. Muestra 5: C4.

Formula	Z	Concentration (%)	Status	Line 1	Net int.	Calc. concentration	Stat. error (%)	LLD (ppm)	Analyzed layer
SiO <sub>2</sub>	14	11.3	XRF 1	Si KA1-HR-Tr	1.812	11.3	4.2	-	32 µm
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	26	3.13	XRF 1	Fe KA1-HR-Tr	3.134	3.13	3.23	13500	340 µm
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13	1.83	XRF 1	Al KA1-HR-Tr	0.3181	1.8	25.1	-	23.8 µm
CaO	20	1.55	XRF 1	Ca KA1-HR-Tr	0.6014	1.5	7.29	-	107 µm
K <sub>2</sub> O	19	1.11	XRF 1	K KA1-HR-Tr	0.5408	1.1	7.69	-	92 µm
TiO <sub>2</sub>	22	0.592	XRF 1	Ti KA1-HR-Tr	0.2074	0.59	12.4	-	156 µm
SrO	38	0.471	XRF 1	Sr KA1-HR-Tr	1.814	0.471	4.64	4800	2120 µm
Cs <sub>2</sub> O	55	0.379	XRF 1	Cs LA1-HR-Tr	0.03512	0.38	30.2	-	136 µm
Cl	17	0.121	XRF 1	Cl KA1-HR-Tr	0.04233	0.12	27.5	-	50 µm

Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	24	0.0779	XRF 1	Cr KA1-HR-Tr	0.04476	0.078	26.7	-	229 µm
Pr <sub>6</sub> O <sub>11</sub>	59	0.000034	XRF 1	Pr LA1-HR-Tr	0.03235	0	31.4	-	192 µm
Si	14	5.29	XRF 1	Si KA1-HR-Tr	1.812	5.29	4.2	-	27.9 µm
Fe	26	2.37	XRF 1	Fe KA1-HR-Tr	3.134	2.37	3.23	9100	206 µm
Ca	20	1.2	XRF 1	Ca KA1-HR-Tr	0.6014	1.2	7.29	-	70 µm
K	19	0.954	XRF 1	K KA1-HR-Tr	0.5408	0.95	7.69	-	62 µm
Al	13	0.936	XRF 1	Al KA1-HR-Tr	0.3181	0.94	25.1	-	22.1 µm
Sr	38	0.438	XRF 1	Sr KA1-HR-Tr	1.814	0.438	4.64	4100	1220 µm
Ti	22	0.379	XRF 1	Ti KA1-HR-Tr	0.2074	0.38	12.4	-	98 µm
Cs	55	0.375	XRF 1	Cs LA1-HR-Tr	0.03512	0.37	30.2	-	86 µm
Cl	17	0.127	XRF 1	Cl KA1-HR-Tr	0.04233	0.13	27.5	-	34 µm
Cr	24	0.0574	XRF 1	Cr KA1-HR-Tr	0.04476	0.057	26.7	-	141 µm

Figura 46. Muestra 6: G4a.



Tabla 7. Muestra 6: G4a.

Formula	Z	Concentration (%)	Status	Line 1	Net int.	Calc. concentration	Stat. error (%)	LLD (ppm)	Analyzed layer
SiO <sub>2</sub>	14	14.2	XRF 1	Si KA1-HR-Tr	2.233	14.2	3.79	-	20.0 µm
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	26	7.36	XRF 1	Fe KA1-HR-Tr	7.642	7.36	2.06	19500	251 µm
CaO	20	2.22	XRF 1	Ca KA1-HR-Tr	0.9582	2.22	5.78	-	71 µm
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13	2.12	XRF 1	Al KA1-HR-Tr	0.3467	2.1	9.61	-	14.4 µm
K <sub>2</sub> O	19	2.01	XRF 1	K KA1-HR-Tr	1.023	2.01	5.59	-	64 µm
TiO <sub>2</sub>	22	0.717	XRF 1	Ti KA1-HR-Tr	0.2564	0.72	11.2	-	103 µm
SO <sub>3</sub>	16	0.215	XRF 1	S KA1-HR-Tr	0.05405	0.21	24.3	-	24.2 µm
Cl	17	0.126	XRF 1	Cl KA1-HR-Tr	0.04476	0.13	26.7	-	34 µm
Rb <sub>2</sub> O	37	0.0647	XRF 1	Rb KA1-HR-Tr	0.2976	0.065	13.5	5200	1020 µm

SrO	38	0.0566	XRF 1	Sr KA1-HR-Tr	0.2298	0.057	17.1	5700	1200 µm
Si	14	6.72	XRF 1	Si KA1-HR-Tr	2.233	6.72	3.79	-	16.4 µm
Fe	26	5.77	XRF 1	Fe KA1-HR-Tr	7.642	5.77	2.06	13800	148 µm
K	19	1.93	XRF 1	K KA1-HR-Tr	1.023	1.93	5.59	-	43 µm
Ca	20	1.89	XRF 1	Ca KA1-HR-Tr	0.9582	1.89	5.78	-	45 µm
Al	13	1.1	XRF 1	Al KA1-HR-Tr	0.3467	1.1	9.61	-	12.4 µm
Ti	22	0.474	XRF 1	Ti KA1-HR-Tr	0.2564	0.47	11.2	-	62 µm
Cl	17	0.134	XRF 1	Cl KA1-HR-Tr	0.04476	0.13	26.7	-	23.2 µm
S	16	0.0911	XRF 1	S KA1-HR-Tr	0.05405	0.091	24.3	-	16.6 µm
Rb	37	0.0675	XRF 1	Rb KA1-HR-Tr	0.2976	0.067	13.5	5100	560 µm
Sr	38	0.0547	XRF 1	Sr KA1-HR-Tr	0.2298	0.055	17.1	5100	650 µm

Figura 47. Muestra 7: G23.



Tabla 8. Muestra 7: G23.

Formula	Z	Concentration (%)	Status	Line 1	Net int.	Calc. concentration	Stat. error (%)	LLD (ppm)	Analyzed layer
SiO <sub>2</sub>	14	15.5	XRF 1	Si KA1-HR-Tr	2.455	15.5	3.61	-	23.5 µm
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	26	5.68	XRF 1	Fe KA1-HR-Tr	5.916	5.68	2.34	18800	286 µm
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13	1.9	XRF 1	Al KA1-HR-Tr	0.317	1.9	10	-	17.0 µm
K <sub>2</sub> O	19	1.61	XRF 1	K KA1-HR-Tr	0.8009	1.6	6.32	-	70 µm
CaO	20	1.08	XRF 1	Ca KA1-HR-Tr	0.4252	1.1	8.68	-	80 µm
TiO <sub>2</sub>	22	0.914	XRF 1	Ti KA1-HR-Tr	0.3308	0.91	9.84	-	124 µm
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	15	0.472	XRF 1	P KA1-HR-Tr	0.08285	0.47	19.7	-	19.0 µm
CdO	48	0.196	XRF 1	Cd KA1-HR-Tr	0.04074	0.2	28	-	6100 µm
MgO	12	0.173	XRF 1	Mg KA1-HR-Tr	0.04609	0.17	26.3	-	11.0 µm



SrO	38	0.0902	XRF 1	Sr KA1-HR-Tr	0.367	0.09	13.5	6100	1510 µm
Si	14	7.3	XRF 1	Si KA1-HR-Tr	2.455	7.3	3.61	-	19.8 µm
Fe	26	4.44	XRF 1	Fe KA1-HR-Tr	5.916	4.44	2.34	12700	168 µm
K	19	1.4	XRF 1	K KA1-HR-Tr	0.8009	1.4	6.32	-	46 µm
Al	13	0.964	XRF 1	Al KA1-HR-Tr	0.317	0.96	10	-	15.1 µm
Ca	20	0.833	XRF 1	Ca KA1-HR-Tr	0.4252	0.83	8.68	-	50 µm
Ti	22	0.601	XRF 1	Ti KA1-HR-Tr	0.3308	0.6	9.84	-	76 µm
P	15	0.212	XRF 1	P KA1-HR-Tr	0.08285	0.21	19.7	-	12.8 µm
Cd	48	0.198	XRF 1	Cd KA1-HR-Tr	0.04074	0.2	28	-	3200 µm
Mg	12	0.0945	XRF 1	Mg KA1-HR-Tr	0.04609	0.095	26.3	-	10.0 µm
Sr	38	0.0873	XRF 1	Sr KA1-HR-Tr	0.367	0.087	13.5	5300	810 µm



Figura 48. Muestra 8: C11.



Tabla 9. Muestra 8: C11.

Formula	Z	Concentration (%)	Status	Line 1	Net int.	Calc. concentration	Stat. error (%)	LLD (ppm)	Analyzed layer
SiO <sub>2</sub>	14	13.4	XRF 1	Si KA1-HR-Tr	2.158	13.4	3.85	-	32 µm
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	26	3.37	XRF 1	Fe KA1-HR-Tr	3.461	3.37	3.07	14500	360 µm
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13	1.91	XRF 1	Al KA1-HR-Tr	0.333	1.9	9.8	-	23.4 µm
CaO	20	1.17	XRF 1	Ca KA1-HR-Tr	0.4579	1.2	8.36	-	104 µm
K <sub>2</sub> O	19	0.942	XRF 1	K KA1-HR-Tr	0.436	0.94	8.57	-	88 µm
TiO <sub>2</sub>	22	0.826	XRF 1	Ti KA1-HR-Tr	0.2953	0.83	10.4	-	159 µm
SrO	38	0.482	XRF 1	Sr KA1-HR-Tr	1.898	0.482	4.53	4700	2210 µm
Ag	47	0.166	XRF 1	Ag KA1-HR-Tr	0.04302	0.17	27.3	-	6800 µm
Si	14	6.29	XRF 1	Si KA1-HR-Tr	2.158	6.29	3.85	-	28.0 µm

Fe	26	2.58	XRF 1	Fe KA1-HR-Tr	3.461	2.58	3.07	9700	218 µm
Al	13	0.975	XRF 1	Al KA1-HR-Tr	0.333	0.97	9.8	-	22.4 µm
Ca	20	0.891	XRF 1	Ca KA1-HR-Tr	0.4579	0.89	8.36	-	66 µm
K	19	0.827	XRF 1	K KA1-HR-Tr	0.436	0.83	8.57	-	58 µm
Ti	22	0.534	XRF 1	Ti KA1-HR-Tr	0.2953	0.53	10.4	-	98 µm
Sr	38	0.454	XRF 1	Sr KA1-HR-Tr	1.898	0.454	4.53	4000	1230 µm
Ag	47	0.184	XRF 1	Ag KA1-HR-Tr	0.04302	0.18	27.3	-	3700 µm

Figura 49. Muestra 9: G35. GRIS



Tabla 10. Muestra 9: G35. GRIS

Formula	Z	Concentration (%)	Status	Line 1	Net int.	Calc. concentration	Stat. error (%)	LLD (ppm)	Analyzed layer
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	26	12.8	XRF 1	Fe KA1-HR-Tr	13.28	12.8	1.56	18900	187 µm
SiO <sub>2</sub>	14	11.3	XRF 1	Si KA1-HR-Tr	1.678	11.3	4.37	-	11.8 µm
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13	2.5	XRF 1	Al KA1-HR-Tr	0.3789	2.5	9.19	-	8.5 µm
K <sub>2</sub> O	19	1.52	XRF 1	K KA1-HR-Tr	0.7657	1.5	6.46	-	45 µm
CaO	20	1.41	XRF 1	Ca KA1-HR-Tr	0.6247	1.4	7.16	-	53 µm
TiO <sub>2</sub>	22	1.12	XRF 1	Ti KA1-HR-Tr	0.4169	1.1	8.76	-	81 µm
BaO	56	0.276	XRF 1	Ba LA1-HR-Tr	0.03333	0.28	31	-	79 µm
MnO	25	0.217	XRF 1	Mn KA1-HR-Tr	0.2067	0.22	13.8	19100	151 µm
SrO	38	0.136	XRF 1	Sr KA1-HR-Tr	0.5407	0.14	9.97	9600	640 µm

ZnO	30	0.0334	XRF 1	Zn KA1-HR-Tr	0.1042	0.033	24.4	15300	165 µm
Fe	26	10	XRF 1	Fe KA1-HR-Tr	13.28	10	1.56	13500	115 µm
Si	14	5.36	XRF 1	Si KA1-HR-Tr	1.678	5.36	4.37	-	9.1 µm
K	19	1.4	XRF 1	K KA1-HR-Tr	0.7657	1.4	6.46	-	31 µm
Al	13	1.3	XRF 1	Al KA1-HR-Tr	0.3789	1.3	9.19	-	6.7 µm
Ca	20	1.2	XRF 1	Ca KA1-HR-Tr	0.6247	1.2	7.16	-	35 µm
Ti	22	0.739	XRF 1	Ti KA1-HR-Tr	0.4169	0.74	8.76	-	52 µm
Ba	56	0.268	XRF 1	Ba LA1-HR-Tr	0.03333	0.27	31	-	50 µm
Mn	25	0.187	XRF 1	Mn KA1-HR-Tr	0.2067	0.19	13.8	14900	93 µm
Sr	38	0.132	XRF 1	Sr KA1-HR-Tr	0.5407	0.13	9.97	8800	360 µm
Zn	30	0.0308	XRF 1	Zn KA1-HR-Tr	0.1042	0.031	24.4	13200	93 µm

## **DISCUSIÓN.**

Los análisis de fluorescencia de rayos X (XRF) y los ensayos termomagnéticos realizados en las muestras de cerámicas y hornos de Monte Albán, de diferentes sitios mixtecos cercanos, ofrecen una visión integral sobre la composición mineralógica, la tecnología cerámica y la cronología de las ocupaciones en la región. A continuación, se discuten los resultados en el contexto de los objetivos del estudio, comparándolos con investigaciones previas y analizando sus implicaciones.

### **Composición Mineralógica y Procedencia de Materiales.**

Los resultados de XRF (Tablas 2-10) muestran que el óxido predominante en todas las muestras es el  $\text{SiO}_2$  (11.3%-18.9%), seguido por  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (1.81%-12.8%), lo que refleja la composición típica de arcillas ricas en cuarzo y óxidos de hierro. Las concentraciones de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , asociadas con hematita, y  $\text{TiO}_2$ , vinculadas a rutilo, indican un ambiente oxidante durante la cocción y la presencia de materiales detríticos ricos en titanio. Por ejemplo, en la muestra P12B (2.82%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , 0.67%  $\text{TiO}_2$ ), el rutilo sugiere condiciones de alta temperatura durante la fabricación o una procedencia de sedimentos derivados de andesitas (Lorenzo, 1960). La hematita, común en cerámicas cocidas en hornos abiertos como H1 y H4, refuerza esta interpretación.

La muestra G4A (chirmolera, 7.36%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) y G35 (cajete, 12.8%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) destacan por sus altas concentraciones de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , que explican su tonalidad grisácea, resultado de la reducción parcial de hematita a magnetita durante la cocción (Goguitchaichvili et al., 2023). Esto sugiere diferencias en las técnicas de cocción: las chirmoleras, usadas para moler semillas, pudieron ser cocidas en ambientes menos controlados que los cajetes y vasos.

Las muestras con tonalidades amarillentas o pastas crema (ej. A6, C4) presentan concentraciones de CaO más altas (1.2%-2.22%) en comparación con otras muestras (0.23%-1.41%), lo que se asocia con arcillas de planicies de desecación o inundación estacionales. Estas planicies, descritas por Flannery et al. (1977), experimentaban ciclos húmedos-secos que permitían la formación de suelos prismáticos ricos en carbonatos durante las fases húmedas, antes de secarse rápidamente en la temporada seca. Las rocas fuente, como calizas, lutitas y andesitas en la base de Monte Albán, aportaron óxidos de Si, Al, Fe, K, Ca y Ti, otorgando dureza y consistencia a los tiestos (Goguitchaichvili et al., 2023).

### **Tecnología Cerámica.**

La diversidad de hornos analizados (H1, H2, H3, H4, F1) refleja variaciones tecnológicas en la producción cerámica. Los hornos rectangulares de una sola cámara (H1, H4), similares a los reportados por Markens y Martínez (2009), son típicos del Preclásico Tardío. La datación arqueomagnética de H1 (167-71 a.C.) sugiere un uso temprano de esta tecnología. Por otro lado, H2 es un horno de doble cámara y forma ovalada, similar al identificado por Whalen (1981) en Santo Domingo Tomaltepec (300-100 a.C.). La datación de H2 (168-93 a.C.) apoya parcialmente esta temporalidad, aunque indica una adopción más temprana en Monte Albán. La configuración de H2, con una cámara para combustible y otra para cerámica, permitía un control preciso de la atmósfera de cocción (oxidante o reductora), ideal para producir cerámica gris, como sugieren Flannery y Marcus (2003). Proponemos que H2 operaba depositando combustible en ambas cámaras,

colocando la cerámica encima y controlando la cocción con una cubierta parcial, permitiendo cocciones simultáneas en ambientes variados.

### **Cronología y Ocupación.**

La datación arqueomagnética, utilizando modelos como SHADIF14k (Pavón-Carrasco et al., 2011, 2014) y SHAWQ2K/SHAWQ-Iron Age (Campuzano et al., 2019; Osete et al., 2020) (Figuras 50 y 51), ubica a H1 en 167-71 a.C., H2 en 168-93 a.C., H3 en 314-410 d.C., y F1 en 320-369 d.C. (Tablas 11 y 12). Estas fechas son coherentes con los períodos de ocupación en Monte Albán: Fase I Temprana (500-300 a.C.), Fase I Tardía (300-100 a.C.), y Fase II (100 a.C.-200 d.C.), con un pico poblacional en la Fase I Tardía (O'Brien et al., 1982). Sin embargo, H3 y F1 sugieren una ocupación cultural significativa en el Período Clásico Temprano (Fase IIIA, 200-400 d.C.), indicando que algunos sectores persistieron más allá de la despoblación reportada en la Fase II.

### **Implicaciones Económicas.**

La presencia de hornos y cerámicas especializadas sugiere que la producción cerámica fue una actividad económica clave en Monte Albán y Xoxocotlán. Aunque Pink (2014) propone un sistema de mercado centralizado en el Valle de Oaxaca, los datos apoyan la hipótesis de Mason et al. (1977) y O'Brien et al. (1982) de que el piedemonte de Monte Albán se enfocaba en el consumo local, sin excedentes agrícolas significativos. La producción cerámica continua en Xoxocotlán indica una economía parcialmente autónoma, con actividades especializadas (cerámica, agricultura, riego) complementadas por intercambios con Monte Albán para acceder a recursos como obsidiana y concha.



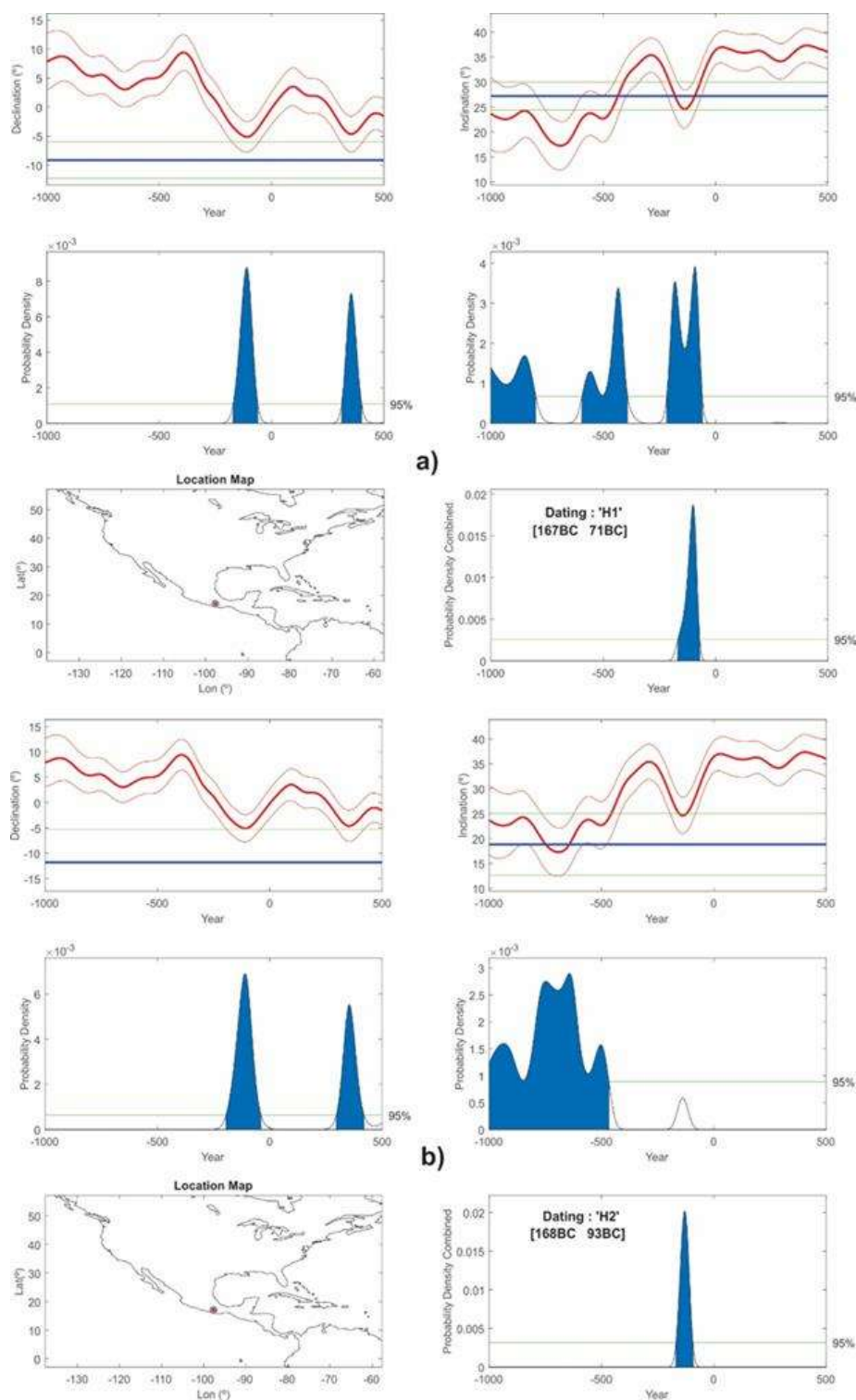


Figura 50. Determinación de la edad de los Hornos de Alfarería H1 (a) y H2 (b) mediante datación arqueomagnética utilizando el modelo geomagnético global SHA.dif.14k, que se basa en mediciones de declinación e inclinación (Pavón-Carrasco et al., 2011 and 2014).

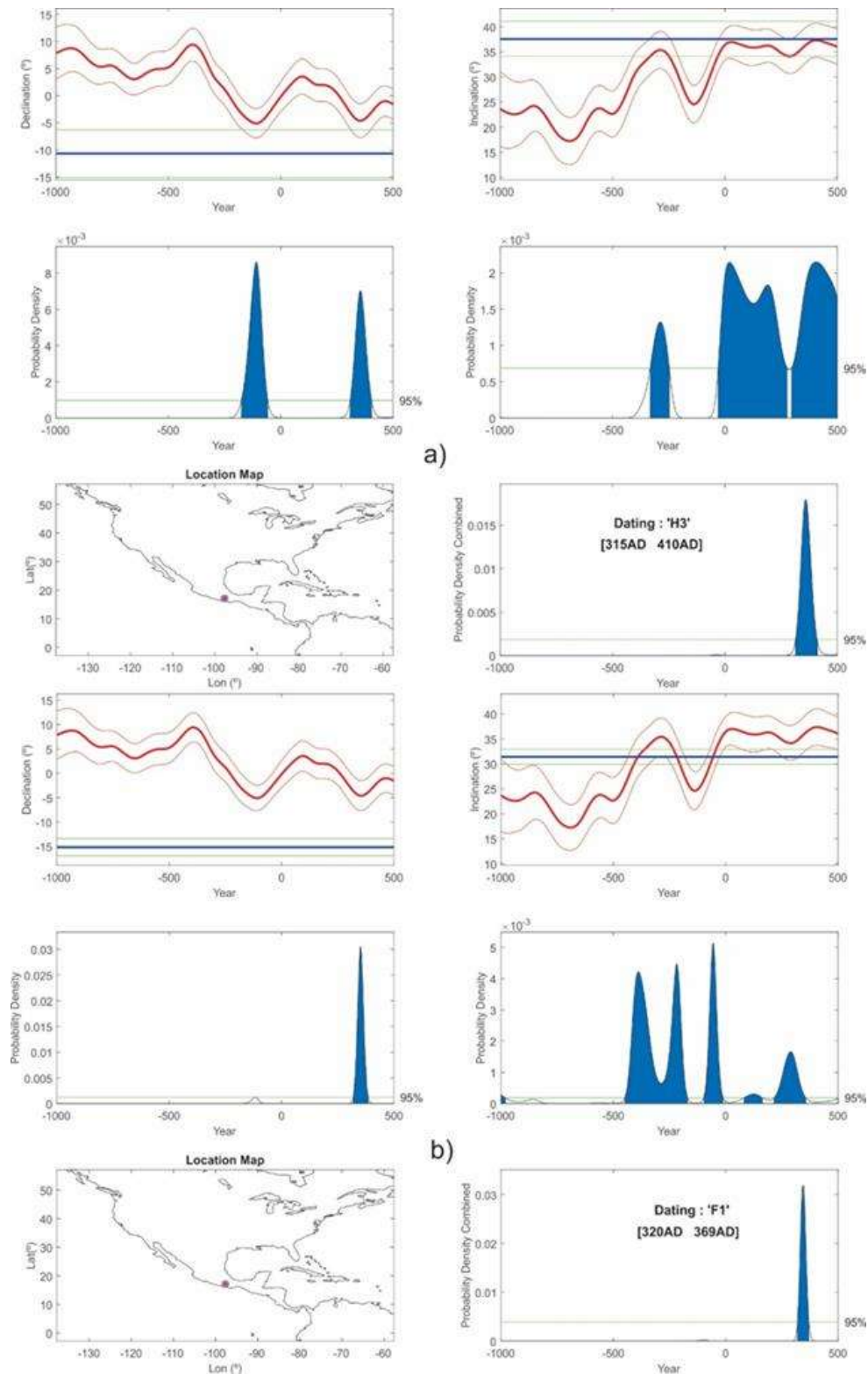


Figura 51. Determinación de la edad de los Hornos de Alfarería H3 (a) y la hoguera (b) mediante datación arqueomagnética utilizando el modelo geomagnético global SHA.dif.14k, que se basa en mediciones de declinación e inclinación (Pavón-Carrasco et al., 2011 and 2014).

Tabla 11. Intervalos de edad y fase cultural asociada asignados a cada una de las muestras a base de la datación magnética de este estudio

Muestra	SHA.DIF.14K	Valle de Oaxaca	Monte Albán
H1	167 - 71 a.C	Nisa	II
H2	168 - 93 a.C	Nisa	II
H3	315 - 410 d.C	Tani-Pitao	II - III A
H4			
F1	320 - 369 d.C	Tani-Pitao	II - III A

Tabla 12. Temporalidad y periodo de cada fase cultural en la zona de estudio.

Fecha	Periodo	Valle de Oaxaca	Monte Alban
1521 d.C	-	-	-
1200 d.C	Postclásico Tardío	Chila	V
850 d.C	Postclásico Temprano	Liobaa	V
650 d.C	Clásico Tardío	Xoo	IIIB - IV
600 d.C	Clásico	Peche	IIIA - IIIB
400 d.C	Clásico Temprano	Pitao	IIIA
200 d.C	Preclásico Terminal	Tani	II - IIIA
I	-	-	-
100 a.C	Preclásico Tardío	Nisa	II
300 a.C	Preclásico Tardío	Pe	I
500 a.C	Preclásico Medio	Danibaan	I
700 a.C	Preclásico Medio	Rosario	-

## CONCLUSIONES.

Este estudio arqueomagnético y geoquímico en Monte Albán y sitios mixtecos cercanos proporciona una comprensión más profunda de la composición, tecnología y cronología de las cerámicas en la región:

- Las cerámicas contienen principalmente  $\text{SiO}_2$  y  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , con hematita y rutilo como minerales predominantes, reflejo de ambientes de cocción oxidantes y procedencias de arcilla ricas en titanio, derivadas de calizas, lutitas y andesitas locales.
- La producción cerámica abarcó tecnologías variadas, desde hornos rectangulares de una cámara (H1, H4) hasta hornos ovalados de doble cámara (H2), que permitían cocciones controladas para cerámicas especializadas.
- La datación arqueomagnética ubica la actividad cerámica entre 167-71 a.C. (H1), 168-93 a.C. (H2), y 314-410 d.C. (H3) y 320-369 d.C. (F1), confirmando ocupaciones desde el Preclásico Tardío hasta el Clásico Temprano (Fase IIIA).
- Xoxocotlán se perfila como una comunidad económicamente autónoma, con producción cerámica y agrícola para consumo local, complementada por intercambios con Monte Albán para recursos exóticos.

Estos hallazgos resaltan la importancia de los estudios arqueomagnéticos y geoquímicos para reconstruir las dinámicas tecnológicas, cronológicas y económicas de las sociedades prehispánicas en el Valle de Oaxaca.

## Bibliografía.

Andrade Olvera, David, Jesús Medina Villalobos, Claudia Jiménez & Leónides Rodríguez (2020). *Proyecto de salvamento arqueológico red de distribución de agua potable en 7 colonias de Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca*. Propuesta presentada ante el Consejo de Arqueología para dictaminación, Zona Arqueológica de Monte Albán, Oaxaca.

Allredge, L. R. (1984). A discussion of impulses and jerks in the geomagnetic field. En *Solid Earth* (Vol. 89, págs. 4403-4412). *Journal of Geophysical Research*. Doi: <https://doi.org/10.1029/JB089iB06p04403>

Backus, G. E., Estes, R. H., & Langel, R. A. (1987). Comparing the jerk with other global models of the geomagnetic field from 1960-1978. En *Solid earth* (Vol. 92, págs. 3615-3622). *Journal of the Geophysical Research*. Doi: <https://doi.org/10.1029/JB092iB05p03615>

Balsalobre, Gonzalo de. (1953). << *Relación auténtica de las idolatrías, supersticiones, vanas observaciones de los indios del Obispado de Oaxaca*>> [1656], en *Tratado de las supersticiones, dioses, ritos, hechicerías y otras costumbres gentílicas de las razas aborígenes de México.*, vol. II, Francisco del Paso y Troncoso, ed., pp. 337-390. México: Fuente Cultural Navarro.

Blakely. (1996). *The geomagnetic field*. En R. J. Blakely, *Potential theory in gravity and magnetic applications* (pág. 154:437). *Cambridge University Press*. Obtenido de 126 [https://www.academia.edu/5146061/Potential\\_Theory\\_in\\_Gravity\\_and\\_Magnetic\\_Applications\\_-\\_Richard\\_J.\\_Blakely](https://www.academia.edu/5146061/Potential_Theory_in_Gravity_and_Magnetic_Applications_-_Richard_J._Blakely)

Blanton, Richard E. (1978). *Monte Albán: Settlement Patterns at the Ancient Zapotec Capital*. Nueva York: Academic Press.

Blanton, R. E., Kowalewski, S. A., Feinman, G. M, Appel, J., 1982. *Monte Albán's Hinterland, Part I: The Prehispanic Settlement Patterns of the Central and Southern Parts of the Valley of Oaxaca, Mexico*. Universidad de Michigan, Ann Arbor.

Blanton, Richard, Gary Feinman, Stephen Kowalewski & Linda Nicholas (1999). *Ancient Oaxaca: The Monte Albán State*. Cambridge University Press, Cambridge.

Blanton, R. E., 2004. *Monte Albán: Settlement Patterns at the Ancient Zapotec Capital*. Percheron Press, Nueva York.

Butler, R. F., & Butler, R. F. (2004). *Paleomagnetism: magnetic domains to geologic terranes* (Vol. 319). Boston: Blackwell Scientific Publications.

Büchner, S., Menzel, M., & Henning, T. (2017). X-ray fluorescence analysis. In *Materials Science and Technology: A Comprehensive Treatment* (pp. 561-592). Wiley-VCH.

Campuzano, S.A., Gómez-Paccard, M., Pavón-Carrasco, F.J., & Osete, M.L. 2019. Aparición y evolución de la Anomalía del Atlántico Sur revelada por la nueva reconstrucción paleomagnética SHAWQ2k. *Earth and Planetary Science Letters*, 512, 17-26.

Caso, Alfonso (1947). *Calendario y Escritura de las Antiguas Culturas de Monte Albán. Sobretiro del original que aparece en el tomo I de las obras completas de Miguel de Othón de Mendizábal, México.*

Caso, Alfonso. E Ignacio, Bernal. (2003). <<Urnas de Oaxaca>> [1952], en Obras de Alfonso Caso, vol. 3, pp. 159-222. México: El Colegio Nacional.

Caso, A., Bernal, I., Acosta, J., 2006. La Cerámica de Monte Albán. El Colegio Nacional, México D.F.

Cervantes Solano, M. Á. (2008). Inversión geomagnética en Gilbert-Gauss registrada en provincias volcánicas del cáucaso del sur. (tesis de licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México.

Coe, Gromme, S., & Mankinen, E. (1978). Geomagnetic Paleointensities from Radiocarbon-dated Lava Flows on Hawaii and the Question of the Pacific Nondipole Low. En Solid Earth (págs. 1740-1756). Journal of Geophysical Research.

Córdova, Juan de. (1987). *Vocabulario en lengua zapoteca [1578]*. México: Ediciones Toledo, INAH.

Courtillot, V., Ducruix, J., & Le Mouél, J. (1978). SUR UNE ACCELERATION RECENTE DE LA VARIATION SEULAIRE DU CHAMP MAGNETIQUE TERRESTRE. Comptes rendus des séances de l' Académie des Sciences, 1095-1098.

Courtillot, V., Gallet, Y., Le Mouél, J. L., Fluteau, F., y Genevey, A. (2007). Are there connections between the Earth's magnetic field and climate? *Earth and Planetary Science Letters*, 253(3-4), 328-339.

Cullity, B. D., & Stock, S. R. (2001). Elements of X-ray diffraction (3rd ed.). Prentice Hall.

Dearing, J. (1999). Methods of Environmental Magnetism: A Practical Guide. 6, 35-62.

Donadini, F., Korte, M., Y Constable, C. G. (2009). Geomagnetic field for 0–3 ka: 1. New data sets for global modeling. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 10(6).

Dunlop, D., & Özdemir, O. (1997). Rock Magnetism: Fundamentals and Frontiers. Cambridge University Press.

Dunlop, D.J., Özdemir, Ö., Schmidt, P.W., 1997. Paleomagnetism and paleothermometry of the Sydney Basin 2. Origin of anomalously high unblocking temperatures. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 102(B12), 27285-27295.

Duurzaam Stedelijk Waterbeheer Oaxaca. (2013-2014). Proyecto desarrollado por agencias holandesas (Deltares, Arcadis y MAP Urban Strategies) y Financiado por el gobierno del Estado, el municipio de la Ciudad de Oaxaca y Partners Voor Water. Document in archive de MAP Urban Strategies.

Elías-Herrera, M., Ortega-Gutiérrez, F., 2002, The Caltepec fault zone: an Early Permian dextral transgressional boundary between the Proterozoic Oaxacan and Paleozoic Acatlán complexes,



southern Mexico and regional tectonic implications: *Tectonics*, 21(3), 10.1029/2000TC001278, 4-1-4-19

Elías-Herrera, Ortega-Gutiérrez, Sánchez-Savala, Macías-Romo, Ortega-Rivera, Alexander Iriondo. (2005). La Falla Caltepec: raíces expuestas de una frontera tectónica de larga vida entre dos terrenos continentales del sur de México. *Boletín de la sociedad geológica mexicana volumen conmemorativo del centenario grandes fronteras tectónicas de México tomo LVII*, núm. 1, 2005, p. 83-109. DOI: <http://dx.doi.org/10.18268/BSGM2005v57n1a5>

Evans, M. E., & Heller, F. (2003). *Environmental magnetism: principles and applications of enviromagnetics*. Academic Press.

Flannery, Kent V., Anne V.T. Kirkby, Michael J. Kirkby Y Aubrey W. Williams Jr. 1967 *Farming Systems and Political Growth in Ancient Oaxaca*. *Science* 158 (3800): 445-454.

Flannery, Kent V. y Joyce Marcus (eds.) (1983). *The Cloud People*. Nueva York: Academic Press.

Flannery, K. V., Marcus, J., 2003. Monte Albán and Teotihuacán Editor's Introduction, in Flannery K. V., Marcus, J. (Eds.), *The Cloud People. Divergent Evolution of the Zapotec and Mixtec Civilization*. Percheron Press, Nueva York, pp. 161 - 166.

Fisher, R. A. (1953). Dispersion on a sphere. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A. Mathematical and Physical Sciences*, 217(1130), 295-305.

Fragoso Maldonado, M. (2015). Distribución espacial de propiedades magnéticas y su relación con el contenido de metales pesados en las zonas urbana y costera de Lázaro Cárdenas, Michoacán. Universidad Nacional Autónoma de México.

Gallet, Y., Genevey, A., y Fluteau, F. (2005). Does Earth's magnetic field secular variation control centennial climate change? *Earth and Planetary Science Letters*, 236(1-2), 339-347.

García-Ruiz, R., A. Goguitchaichvili, F. J. Pavón-Carrasco, A. M. Soler, N. Pérez-Rodríguez, M.L. Osete, J. Morales, V. Kravchinsky, 2022. Fluctuaciones de la inclinación y declinación magnéticas en México durante los últimos tres milenios, *Quaternary Geochronology*, <https://doi.org/10.1016/j.quageo.2022.101309>.

García, N. M. R., & Guzmán, A. I. R. (2011). Monte Albán en la encrucijada regional y disciplinaria.

García-Quintana, A., Goguitchaichvili, A., Morales, J., Cervantes-Solano, M., Osorio-Ocampo, S., Macías, J. L., & Urrutia-Fucugauchi, J. (2016). Datación magnética de rocas volcánicas formadas durante el Holoceno: caso de flujos de lava alrededor del Lago de Pátzcuaro (campo volcánico Michoacán-Guanajuato). *Revista mexicana de ciencias geológicas*, 33(2), 209-220. González, S., Huddart, D., Israde-Alcántara, I., Domínguez-Vázquez, G., Bischoff, J., y Felstead, N. (2015). Paleoindian sites from the Basin of Mexico: Evidence from stratigraphy, tephrochronology and dating. *Quaternary International*, 363, 4-19.

González Licón, Ernesto (Coord.) (2014). *Segundo informe semestral de actividades del Plan de Manejo de la Zona Arqueológica de Monte Albán*. Informe técnico inédito, Zona Arqueológica de Monte Albán, Oaxaca.

Goguitchaichvili, A., J. Medina Villalobos, C. Jiménez-Mu, V. Kravchinsky, R. Cejudo, M. Rodríguez Tokutaira, D. Andrade Olvera, J. Morales, Monte Alban periphery (Oaxaca, middle Mesoamerica): New evidences on the early occupation trough archaeomagnetic study of pottery kilns, *Journal of Archaeological Science: Reports*, Volume 48, <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2023.103924>, 2023.

Gualtieri, A. F. (2000). Application of the Rietveld method to quantitative phase analysis of archaeological ceramics: a critical review. *Journal of Archaeological Science*, 27(10), 951-968.

Gubbins, D., & Herrero-Bervera, E. (Eds.). (2007). *Encyclopedia of geomagnetism and paleomagnetism*. Springer Science & Business Media.

Hervé, G., Perrin, M., Alva-Valdivia, L., Tchibinda, B. M., Rodríguez-Trejo, A., Hernández-Cardona, A.,

Hose, L.D. (1993). *Geología del Área de Monte Albán*. Informe de exploración, trabajo mecanografiado. Departamento de Geología, Universidad de Colorado, EUA. INAH (1992).

Intermagnet. (2020). Obtenido de <https://intermagnet.github.io/>

Joyce, Arthur A, "Mixtecs, Zapotecs, and Chatinos: Ancient Peoples of Southern Mexico", Wiley-Blackwell, Malden, MA, 2010.

Kirschvink, J., 1980. The least-squares line and plane and the analysis of paleomagnetic data. *Geophys. J. Int.* 62, 699-718.

Lara Graniel, Guadalupe del Carmen (2018). *Rescate arqueológico Palenque 100, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca*. Informe técnico inédito, Zona Arqueológica de Monte Albán, Oaxaca.

Langel, R. A., Baldwin, R. T., & Green, A. W. (1995). Towar an improved distribution of magnetic observatories for modeling of the main geomagnetic field and its temporal change. *Journal of 128 geomagnetism and geoelectricity*, 47, 475-508. Doi: [https://ui.adsabs.harvard.edu/link\\_gateway/1995JGG....47..475L](https://ui.adsabs.harvard.edu/link_gateway/1995JGG....47..475L) doi:10.5636/jgg.47.475

Langel, R. A., & Hinze, W. J. (1998). *The magnetic field of the Earth's lithosphere: The satellite perspective*. Cambridge University Press.

Lanza, R. y Meloni, A. (2006). *The Earth's Magnetism* (Vol. 280). Springer-Verlag Berlín Heidelberg.

Lorenzo, José Luis, (1960). Aspectos físicos del Valle de Oaxaca. *Revista Mexicana de Estudios Antropológicos* XVI: 49-63.

Ma, M., Liu, X., Hesse, P. P., Guo, X., & Chen, J. (2013). Magnetic properties of loess deposits in Australia and their environmental significance. *Quaternary International*.

Mahgoub, A.N., Juárez-Arriaga, E., Böhnell, H., Siebe, C., Pavón-Carrasco, F. J., 2019. Datos de variación secular del Cuaternario tardío de volcanes mexicanos. *Earth and Planetary Science Letters*, 519, 28-39.

Mahgoub, A. N., Juárez-Arriaga, E., Böhnelt, H., Manzanilla, L. R., y Cyphers, A. (2019). Refined 3600 years palaeointensity curve for Mexico. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 296, 106328.

Marcus, Joyce. (1983b). <<Rethinking the Zapotec Urn>> in *The Cloud People*, Kent Flannery y Joyce Marcus, eds., pp. 144-152. Nueva York: Academic Press.

Marcus, Joyce. (1983c). <<Zapotec Religion>>, in *The Cloud People*, Kent Flannery y Joyce Marcus, eds., pp. 345-351. Nueva York: Academic Press.

Marcus, Joyce y Kent V. Flannery (1994). *Ancient Zapotec Ritual and Religion: An Application of the Direct Historical Approach>>*. En *The Ancient mind: Elements of Cognitive Archaeology*, Colin Renfrew y Ezra B. Zubrow, eds., pp. 55-74. Cambridge: University of Cambridge Press.

Marcus, Joyce y Kent Flannery, "Zapotec Civilization", Thames and Hudson, London, 1996.

Marcus Joyce & Kent V. Flannery (2001). *La civilización zapoteca. Cómo evolucionó la sociedad urbana en el valle de Oaxaca*. Fondo de Cultura Económica, México D.F.

Marcus, Joyce. (2008). *Monte Albán*. México: Colmex - Fideicomiso Historia de las Américas – FCE.

Mark, D. F., González, S., Huddart, D., y Böhnelt, H. (2010). Dating of the Valsequillo volcanic deposits: Resolution of an ongoing archaeological controversy in Central Mexico. *Journal of Human Evolution*, 58(5), 441.

Markens, R., Martínez, C., 2009. El sistema de producción cerámica en Monte Albán durante el Preclásico Tardío y el Clásico Tardío, en: Robles, N. M. (Ed.), Bases de la complejidad social en Oaxaca. Memoria de la Cuarta Mesa Redonda de Monte Albán. Instituto Nacional de Antropología e Historia, México D.F., pp. 123 - 152.

Markens, R., Martínez, C., Winter, Marcus., 2018. Los hornos de cerámica prehispánica a través del tiempo en el valle de Oaxaca, en: Daneels, A., Pomedio, C. (Eds.), Cerámica en México: el universo técnico, social y cognitivo del alfarero prehispánico. Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, pp. 89 - 115.

Martínez López, Cira; Robert Markens; Marcus Winter y Michael D. Lind, Cerámica de la Fase Xoo (Época Monte Albán IIIB-IV) del Valle de Oaxaca, Contribución No. 8 del Proyecto Especial Monte Albán 1992-1994, Centro INAH Oaxaca, 2000

Martínez, Cira, "La residencia de la Tumba 7 y su templo: Elementos arquitectónico-religiosos en Monte Albán", en La Religión de los Binnigul'sa, Víctor de la Cruz y Marcus Winter (comp.). Fondo Editorial, IEEPO, Oaxaca, 2002, pp. 219-272.

Martínez, P., & Erick, E. (2009). Propiedades magnéticas y sus relaciones con metales pesados y elementos mayores en suelos superficiales del Valle de México (tesis de licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México.

- Mason, Roger., Dennis, Lewarch., Michael, O'Brien y James, Neely. (1977). *An Archeological Survey of the Xoxocotlán Piedmont, Oaxaca, México*. American Antiquity Vol. 42, No. 4, pp. 567-575.
- McLeod, M. G. (1985). On the geomagnetic Jerk of 1969. En Solid earth (Vol. 90, págs. 4597-4610). Journal of Geophysical Research. Doi: <https://doi.org/10.1029/JB090iB06p04597>
- Meloni, L. (2006). The Earth's Magnetic Field. En R. Lanza, & A. Meloni, The Earth's Magnetism (pág. 1:278). Springer Nature. Obtenido de <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-540-27980-8>
- Merrill, R., McElhinny, M., & McFadden, P. (1998). *The Magnetic Field of the Earth*. San Diego, CA: Academic Press.
- Murray, T. W. (1990). Magnetic Methods. En W. M. Telford, L. P. Geldart, & R. E. Sheriff, Applied Geophysics (Segunda ed., pág. 62:751). Cambridge. 129 Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/237887389/Telford-W-M-Geldart-L-P-Sheriff-R-E-Applied-Geophysics-1990-pdf>
- O'Brien, M. J., Mason, R. D., Lewarch, D. E., Neely, J. A., 1982. A Late Formative Irrigation Settlement below Monte Albán. Survey and Excavation on the Xoxocotlán Piedmont, Oaxaca, Mexico. University of Texas Press, Austin.
- Ortega-Gutiérrez, F., 1993, Tectonostratigraphic analysis and significance of the Paleozoic Acatlán Complex of southern Mexico, in Ortega-Gutiérrez, F., Centeno-García, E., Morán-Zenteno, D.J., Gómez-Caballero, A., (eds.), First Circum-Pacific and CircumAtlantic Terrane Conference. Terrane geology of southern Mexico: Guidebook of field trip B: Guanajuato, Univesidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, 54-60
- Osete, M.L., A. Molina-Cardín, S.A. Campuzano, G. Aguilera-Arzo, A. Barrachina-Ibáñez, F. Falomir-Granell, A. Oliver Foix, M. Gómez-Paccard, F. Martín-Hernández, A. Palencia-Ortas, F.J.
- Paddock, John, "Oaxaca in Ancient Mesoamerica", en J. Paddock, Ancient Oaxaca: Discoveries in Mexican archaeology and history, J. Paddock, (ed.), 1966, Stanford, Stanford University Press, pp. 83-242.
- Paddock, John. (1966). Ancient Oaxaca, Stanford University Press, Stanford, California.
- Parsons, J., Morett, L., y Williams, E. (2005). La economía acuática en el Valle de México: perspectivas arqueológicas, históricas y etnográficas. *Etnoarqueológica en Mesoamerica: El contexto dinámico de la cultura material a través del tiempo*. Edited by E. Williams, 127-63.
- Pavón-Carrasco, F.J., Rodríguez-González, J., Osete, M.L., Torta, J.M., 2011. Una herramienta Matlab para la datación arqueomagnética. J. Archaeol. Sci. 38 (2), 408-419.
- Pavón-Carrasco, F.J., Osete, M.L., Torta, J.M., De Santis, A., 2014. Un modelo de campo geomagnético para el Holoceno basado en datos arqueomagnéticos y de flujos de lava. Earth Planet. Sci. Lett. 388, 98-109.

Pavón-Carrasco, M. Rivero-Montero, 2020. Dos máximos de intensidad arqueomagnética y rápidas tasas de variación direccional durante la Primera Edad del Hierro observados en coordenadas ibéricas. Implicaciones sobre la evolución de la Anomalía Levantina de la Edad del Hierro. *Earth and Planetary Science Letters*, 533 - 116047

Pavón-Carrasco, F. J., Osete, M. L., y Torta, J. M. (2010). Regional modeling of the geomagnetic field in Europe from 6000 to 1000 BC. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 11(11).

Pavón-Carrasco, F., J., Osete, M. L., Torta, J. M., y Santis, A. D. (2014). A geomagnetic field model for the Holocene based on archaeomagnetic and lava flow data. *Earth and Planetary Science Letters*, 98-109.

Peeler, D. E., & Winter, M. (1993). *Tiempo sagrado, espacio sagrado: astronomía, calendario y arquitectura en Monte Albán y Teotihuacán* (No. 1). Instituto Oaxaqueño de las Culturas Geológicas.

Pérez Rodríguez, N. (2017). Estudio paleomagnético del volcán El Metate (campo volcánico Michoacán Guanajuato) y su contexto arqueológico.

Pink, J., 2014. Rural Ceramic Production, Consumption, and Exchange in Late Classic Oaxaca, Mexico: Una vision desde Yaasuchi. Tesis de Maestría en Artes, Universidad Estatal de Oregón, Corvallis.

Rodriguez, C. M. (2019). Critical analysis of the Holocene palaeointensity database in Central America: Impact on geomagnetic modelling. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 289, 1-10.

Rojas Martínez Gracida, Araceli. (2015). *Informe del recorrido en escurrimientos, arroyos y manantiales de Monte Albán (Verano 2014)*. Manuscrito en archivo técnico del INAH, México.

Rojas Martínez Gracida, Araceli. (2017). *El Agua en el cerro del Rayo: nueva evidencia sobre la presencia y manejo del agua en Monte Albán*. *Revista Española de Antropología Americana*, 47, 15.

Sellen, Adam. (2007). *El cielo compartido. Deidades y ancestros en las vasijas efígie zapotecas*. México: UNAM.

Sellen, Adam. (2011). <<Sowing the Blood with Maize>>. *Ancient mesoamerica*. 22 (1): 71-89.

Stacey, F. (Ed.). (2012). *The physical principles of rock magnetism* (No. 5). Elsevier.

Tauxe, L. (2005). Lectures in Paleomagnetism. Obtenido de <http://earthref.org/MAGIC/books/Tauxe/2005/> Tauxe, L. (2005). What is a magnetic field? En Lectures in Paleomagnetism (pág. 3:341). Obtenido de <https://earthref.org/MagIC/books/Tauxe/Essentials/#x1-40001.1>

Tauxe, L. (2010). *Fundamentos del paleomagnetismo*. Editorial de la Universidad de California.

Tauxe, L. (2019). Essentials of Paleomagnetism (Quinta edición web ed.). La Jolla, CA: Scripps Institution of Oceanography. Obtenido de Essentials of Paleomagnetism: <https://earthref.org/MagIC/books/Tauxe/Essentials/>

Teweldemedhin Z. S., Fuller R. L., Greenblatt M., 2007. Susceptibility, Measurements of solids. En: Encyclopedia of Geomagnetism and Paleomagnetism, editada por Gubbins Davis y Emilio Herrero-Bervera, Springer, 933-936.

Thellier, E., y Thellier, O. (1959). Sur l'intensité du champ magnétique terrestre dans le passé historique et géologique. Annales de Geophysique.

Thompson, R., & Oldfield, F. (1986). Environmental Magnetism. London: Allen & Unwin.

Urcid, Javier. (1994b). Un Sistema de nomenclatura para los monolitos grabados y los materiales con inscripciones de Monte Albán", en escritura zapoteca prehispánica, Marcus Winter, (ed.), contribución núm. 4 del Proyecto Especial Monte Albán 1992-1994, Oaxaca, pp. 53-79.

Urcid, Javier. (2008). The writing surface as a culture code: A comparative perspective of scribal traditions from southwestern Mesoamerica, ponencia presentada en el simposio scripts and notational systems in pre-Columbian America, Dumbarton oaks, Washington D.C.

Urcid, Javier. (2009). <<Personajes enmascarados. El rayo, el trueno y la lluvia en Oaxaca>>. Arqueología Mexicana 96: 30-34.

Whalen, Michael E., Excavations at Santo Domingo Tomaltepec: Evolution of a Formative Community in the Valley of Oaxaca, México, Memoirs of Museum of Anthropology University of Michigan, núm. 12, vol. 6, Kent V: Flannery y Richard E. Blanton (eds.), University of Michigan, Ann Arbor, 1981.

Winter, Marcus, "Templo-Patio-Adoratorio: un conjunto arquitectónico no residencial en el Oaxaca prehispánico", Cuadernos de Arquitectura Mesoamericana, núm. 7, 1986, pp. 51-59.

Winter, Marcus. (2011). Social memory and the origins of Monte Albán. *Ancient Mesoamerica*, 22(2), 393-409.

Winter, Marcus. (2001). Palacios, templos y 1300 años de vida urbana en Monte Albán. In *Reconstruyendo la ciudad maya: el urbanismo en las sociedades antiguas* (pp. 277-301). Sociedad Española de Estudios Mayas.

Wolf, Eric. (1957). *Sons of the Shaking Earth*. Chicago: University of Chicago Press.

Zúñiga Núñez, Xochiquetzal & Luis Salvador Puente (2016). *Rescate arqueológico sondeo colonia Los Ángeles, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca*. Informe técnico inédito, Zona Arqueológica de Monte Albán, Oaxaca.



## NOMBRE DEL TRABAJO

Nuevas aportaciones a la cronología absoluta de Monte Albán, Oaxaca y fuentes de proveniencia de I

## AUTOR

Marco Thulio Rodríguez Tokutaira

## RECuento DE PALABRAS

22400 Words

## RECuento DE CARACTERES

116308 Characters

## RECuento DE PÁGINAS

85 Pages

## TAMAÑO DEL ARCHIVO

5.1MB

## FECHA DE ENTREGA

Oct 8, 2024 7:39 AM CST

## FECHA DEL INFORME

Oct 8, 2024 7:41 AM CST

● 29% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 28% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 0% Base de datos de trabajos entregados
- 16% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

# Formato de Declaración de Originalidad y Uso de Inteligencia Artificial

Coordinación General de Estudios de Posgrado  
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo



A quien corresponda,

Por este medio, quien abajo firma, bajo protesta de decir verdad, declara lo siguiente:

- Que presenta para revisión de originalidad el manuscrito cuyos detalles se especifican abajo.
- Que todas las fuentes consultadas para la elaboración del manuscrito están debidamente identificadas dentro del cuerpo del texto, e incluidas en la lista de referencias.
- Que, en caso de haber usado un sistema de inteligencia artificial, en cualquier etapa del desarrollo de su trabajo, lo ha especificado en la tabla que se encuentra en este documento.
- Que conoce la normativa de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, en particular los Incisos IX y XII del artículo 85, y los artículos 88 y 101 del Estatuto Universitario de la UMSNH, además del transitorio tercero del Reglamento General para los Estudios de Posgrado de la UMSNH.

Datos del manuscrito que se presenta a revisión		
<b>Programa educativo</b>	Maestría en Geociencias y Planificación de Territorio	
<b>Título del trabajo</b>	Nuevas aportaciones a la cronología absoluta de Monte Albán, Oaxaca y fuentes de proveniencia de los materiales cerámicos.	
	<b>Nombre</b>	<b>Correo electrónico</b>
<b>Autor/es</b>	Ing. Marco Thulio Rodríguez Tokutaira	
<b>Director</b>	Dra. Isabel Israde Alcántara	isabel.israde@umich.mx
<b>Codirector</b>	Dr. Avtandil Gogichaishvili	avto@igeofisica.unam.mx
<b>Coordinador del programa</b>	Dr. Boris Chako Tchamabe	boris.chako@umich.mx


Uso de Inteligencia Artificial		
Rubro	Uso (sí/no)	Descripción
Asistencia en la redacción	no	

# Formato de Declaración de Originalidad y Uso de Inteligencia Artificial

Coordinación General de Estudios de Posgrado  
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo



Uso de Inteligencia Artificial		
Rubro	Uso (sí/no)	Descripción
Traducción al español	no	
Traducción a otra lengua	no	
Revisión y corrección de estilo	no	
Análisis de datos	no	
Búsqueda y organización de información	no	
Formateo de las referencias bibliográficas	no	
Generación de contenido multimedia	no	
Otro	no	

Datos del solicitante	
Nombre y firma	Marco Thulio Rodriguez Tokutaira 
Lugar y fecha	Morelia, Michoacán a 07 de Octubre del 2024