

EL POTENCIAL DEL ESTUDIO DE RESIDUOS QUÍMICOS PARA EL ANÁLISIS DE CONTEXTOS FORENSES

THE POTENTIAL OF CHEMICAL RESIDUE STUDIES FOR FORENSIC CONTEXT
ANALYSIS

O POTENCIAL DOS ESTUDOS DE RESÍDUOS QUÍMICOS PARA A ANÁLISE DO
CONTEXTO FORENSE

Agustín Ortiz Butrón¹

Universidad Nacional Autónoma de México

DOI: <https://doi.org/10.59842/18.2.2760>

Recibido: 04/10/2025

Aceptado: 01/12/2025

Resumen

A lo largo de más de cuarenta años de trayectoria, el Laboratorio de Prospección Arqueológica de la UNAM ha integrado de manera progresiva nuevas metodologías orientadas al estudio de residuos químicos aplicado a la investigación arqueológica. Este tipo de análisis, realizado mediante pruebas de *spot test*, inició como una herramienta de prospección para la delimitación de sitios arqueológicos a partir del análisis de fosfatos en muestras de superficie. Posteriormente, la metodología se amplió al estudio de unidades habitacionales tanto etnoarqueológicas como arqueológicas, con la incorporación de indicadores químicos para la identificación de residuos orgánicos, incluidos compuestos proteicos, ácidos grasos y carbohidratos, lo que permitió una aproximación más integral al uso y funcionamiento de los espacios excavados.

La consolidación de estos métodos favoreció la expansión de sus campos de aplicación hacia el análisis de contextos rituales, áreas productivas y materiales cerámicos arqueológicos, con el fin de determinar su funcionalidad y contenido. Más recientemente, el laboratorio ha incursionado en el estudio de los procesos de descomposición de restos humanos y ha demostrado que tanto las actividades realizadas en vida como los procesos postmortem generan alteraciones químicas detectables en los suelos. En este sentido, las técnicas de *spot test* han resultado eficaces para la identificación de áreas de

¹ Dr. en Antropología. Laboratorio de Prospección Arqueológica, Instituto de Investigaciones Antropológicas, Universidad Nacional Autónoma de México. ortizbutron@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3837-6949>

descomposición y contextos de enterramiento, y han ampliado la utilidad y el potencial interpretativo del análisis de residuos químicos, no solo en el contexto arqueológico, sino también en el ámbito forense.

Palabras clave: residuos químicos, análisis de *spot test*, descomposición, contexto de enterramiento, forense.

Abstract

For over forty years, the Archaeological Prospecting Laboratory at UNAM has progressively integrated new methodologies for the study of chemical residues in archaeological research. This type of analysis, performed using spot tests, began as a prospecting tool for delimiting archaeological sites by analyzing phosphates in surface samples. Subsequently, the methodology was expanded to the study of both ethnoarchaeological and archaeological residential units, incorporating chemical indicators for the identification of organic residues, including protein compounds, fatty acids, and carbohydrates. This allowed for a more comprehensive approach to the use and function of the excavated spaces. The consolidation of these methods facilitated the expansion of their applications to the analysis of ritual contexts, production areas, and archaeological ceramic materials, in order to determine their function and composition. More recently, the Laboratory has ventured into the study of the decomposition processes of human remains, demonstrating that both activities performed during life and postmortem processes generate detectable chemical alterations in soils. In this regard, spot test techniques have proven effective for identifying areas of decomposition and burial contexts, expanding the utility and interpretive potential of chemical residue analysis, not only in the archaeological context but also in the forensic field.

Keywords: chemical residues, spot test analysis, decomposition, burial context, forensics.

Resumo

Há mais de quarenta anos, o Laboratório de Prospecção Arqueológica da UNAM vem integrando progressivamente novas metodologias para o estudo de resíduos químicos em pesquisas arqueológicas. Esse tipo de análise, realizada por meio de testes pontuais, começou como uma ferramenta de prospecção para delimitar sítios arqueológicos através da análise de fosfatos em amostras de superfície. Posteriormente, a metodologia foi expandida para o estudo de unidades residenciais etnoarqueológicas e arqueológicas, incorporando indicadores químicos para a identificação de resíduos orgânicos, incluindo compostos proteicos, ácidos graxos e carboidratos. Isso permitiu uma abordagem mais abrangente do uso e da função dos espaços escavados.

A consolidação desses métodos facilitou a expansão de suas aplicações para a análise de contextos rituais, áreas de produção e materiais cerâmicos arqueológicos, a fim de determinar sua função e composição. Mais recentemente, o Laboratório se aventurou no estudo dos processos de decomposição de restos humanos, demonstrando que tanto as atividades realizadas em vida quanto os processos post-mortem geram alterações químicas detectáveis nos solos. Nesse sentido, as técnicas de teste pontual têm se mostrado eficazes na identificação de áreas de decomposição e contextos de sepultamento, ampliando a utilidade e o potencial interpretativo da análise de resíduos químicos, não apenas no contexto arqueológico, mas também na área forense.

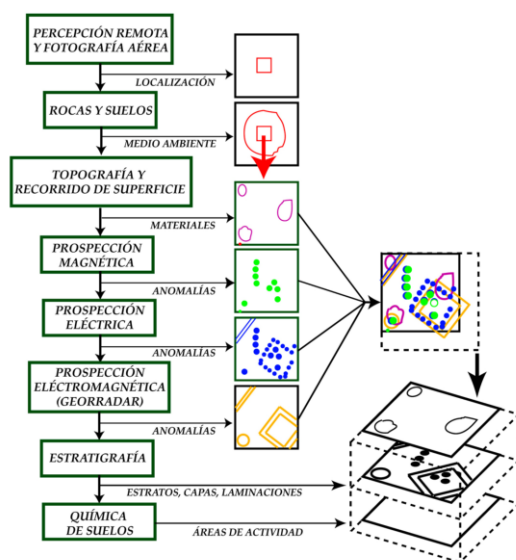
Palavras-chave: resíduos químicos, análise pontual, decomposição, contexto de sepultamento, ciência forense.

Introducción

El Laboratorio de Prospección Arqueológica del Instituto de Investigaciones Antropológicas (IIA) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) fue fundado en 1983 por el Dr. Luis Barba Pingarrón. Una de las características de este

laboratorio, es que es de los pocos en el mundo que utilizan no solo técnicas geofísicas, sino también análisis de residuos químicos para el estudio del contexto arqueológico a través de una propuesta que integra de manera ordenada cada una de las técnicas para hacerlas más eficientes y económicas en tiempo y dinero, con el objetivo de recuperar más información útil para la arqueología (Barba Pingarrón, 1990) (Figura 1).

Figura 1. Metodología de análisis del Laboratorio de Prospección Arqueológica



En el área de residuos químicos, los análisis se denominan técnicas de *spot test*, es decir, son pruebas semicuantitativas que, pese a su sencillez, han demostrado su utilidad para la arqueología, debido a un principio fundamental: para que se pueda estudiar químicamente una actividad, es necesaria la existencia de fluidos o líquidos que se derramen sobre una superficie, la saturen y la enriquezcan (Ortiz Butrón, 2015, p. 69) y dependiendo del tipo de actividad realizada, será susceptible de ser interpretada o no (Ortiz et al., 2018, p. 83).

Una ventaja importante en el estudio de los residuos químicos es que las sustancias derramadas se mantienen en el lugar original donde las actividades humanas se llevaron a cabo y que, a diferencia de la mayoría de los materiales arqueológicos, los residuos permanecen *in situ*, y por tanto pueden ser considerados como un marcador confiable para el estudio de la distribución espacial de las actividades, así como buenos indicadores de la función de los espacios estudiados (Barba Pingarrón, 1986, 2007; Barba y Lazos, 2000; Ortiz y Barba, 1993; Ortiz et al., 2018, p. 83).

Los análisis no son cuantitativos, es decir no brindan información cuantificable de cuantas partes por millón (ppm) presenta una muestra, sino que únicamente informan si una muestra contiene o no algún elemento o residuo susceptible de estudiarse. Su principal virtud es que son pruebas sencillas, pudiéndose analizar una gran cantidad de muestras de manera rápida y a bajo costo (Barba et al., 1991).

La sencillez de las pruebas no demerita su valía para la interpretación arqueológica. Ya que como dijo Gastón Charlot, fundador de la química analítica moderna en Francia: «El problema no es identificar qué es la muestra, sino la pregunta que ella genera» (Gómez-Moliné et al., 2009, p. 192). Por tanto, ya sea que se utilicen análisis de *spot test* o instrumentales (como fluorescencia de rayos X o cromatografía), ambos tipos de análisis son necesarios en diferentes momentos de la investigación, ambos requieren una interpretación multidisciplinaria, y [esta](#) depende de la experiencia que normalmente se adquiere mediante ensayo y error (Córdova Frunz, 2023; Ortiz Butrón, 2025, p. 110).

Metodología

Desde antes del desarrollo tecnológico de los estudios geofísicos, la química ha venido ofreciendo una alternativa de bajo costo como herramienta de prospección y como tal tuvo sus orígenes en la agronomía con Olof Arrhenius (1928), y posteriormente en la arqueología como parte de los estudios de unidades habitacionales con S. F. Cook y R. F. Heizer en sitios de México (1965).

A partir de 1978 se inicia el estudio de residuos químicos en pisos en el Laboratorio de Prospección Arqueológica del Instituto de Investigaciones Antropológicas de la UNAM, lo que más tarde se constituye en una línea de trabajo pionera a nivel internacional que se ha mantenido vigente con la publicación de numerosos trabajos (Barba et al., 2014; Barba y Lazos, 2000).

Por su poca solubilidad y excelente fijación en el registro arqueológico, los fosfatos fueron los primeros marcadores de actividades humanas, de tal manera que su distribución en el suelo ofreció información sobre el tamaño y densidad de un asentamiento, usándose como herramienta de prospección (Mejía y Barba, 1988). Posteriormente utilizándolos como indicadores de áreas de actividad, los fosfatos están relacionados con la preparación y consumo de alimentos, la concentración de basura, zonas de evacuación (baños), así como la descomposición de alimentos (Barba et al., 2014).

Más adelante se fueron incorporando otros indicadores químicos que formaron un total de seis pruebas que son las que se aplican normalmente en el Laboratorio de Prospección Arqueológica.

Un ejemplo de ello fueron los carbonatos, los cuales jugaron un papel importante en la vida cotidiana de los pueblos prehispánicos, como puede ser evitar la dureza del agua, la elaboración del nixtamal (para la preparación de las tortillas, tamales y atoles) y para la elaboración del estuco, para pisos y aplanados en muros (Barba y Córdova, 1988, p. 97; Ortiz Butrón; 2021, p. 48; Ortiz y Barba, 2023, p. 58).

La utilidad principal de la tabla Munsell, usada para la determinación de color, ha sido para muestras de superficie donde parece haber una estrecha relación entre los mapas de color, los mapas de distribución de carbonatos y las manchas de las fotografías aéreas (Barba Pingarrón, 1989, p. 106), aunque en lugares de preparación de alimentos también se ha visto su utilidad al demarcar zonas enrojecidas u oscuras por la acción del fuego y carbón (Ortiz Butrón, 1990, p. 53).

La prueba de potencial de hidrógeno ha sido muy útil en la arqueología, ya que se ha encontrado que las cenizas desechadas sobre la superficie de ocupación producen un aumento del contenido de iones hidroxilo, lo que ocasiona que los valores de pH se incrementen, por lo que el estudio del pH estaría revelando zonas de combustión y de calentamiento (Barba y Córdova, 1991, p. 88).

Es importante mencionar que, para entender los patrones de distribución química de algunas actividades del contexto arqueológico, ha sido necesario realizar estudios etnoarqueológicos en casas habitadas para observar las actividades que tienen lugar en ellas, cómo se producen los desechos y cómo y porqué se enriquecen los pisos de ocupación. Estos estudios etnoarqueológicos tienen la finalidad de crear un corpus de datos de comparación con los valores químicos obtenidos arqueológicamente. Tienen la ventaja de poder observar las actividades de los moradores, así como los desechos derivados de tales actividades. De esta forma, la interpretación de concentraciones químicas presentes en los pisos arqueológicos se apoya fundamentalmente en datos proporcionados por investigaciones de tipo etnoarqueológico y experimental. Tales investigaciones están dirigidas a determinar la relación entre los residuos químicos impregnados en los poros de los pisos y las actividades realizadas y observadas en ciertos espacios (Barba et al., 2014, p. 206; Barba y Bello, 1978; Barba y Ortiz, 1992; Middleton, 2004; Middleton et al., 2010; Ortiz y Barba, 1993; Pecci et al., 2013, 2017; Wells y Moreno Cortés, 2010).

Como ejemplos de estos estudios etnoarqueológicos tenemos San Vicente Xiloxochitla en Tlaxcala (Barba y Bello, 1978; Barba y Ortiz, 1992), Cobá, Quintana Roo (Barba y Manzanilla, 1987), Muxucucab, Yucatán (Barba et al., 1995; Middleton et al., 2010; Pierrebough et al., 2001) y en Caltimacán, Morelos (López et al., 2005; Pecci et al., 2011).

A lo largo de más de 40 años de existencia del Laboratorio de Prospección Arqueológica, se han incorporado nuevos equipos y nuevas metodologías de análisis.

En lo que respecta al estudio de residuos químicos, su uso comenzó para el análisis de muestras de superficie como una herramienta de prospección química para la delimitación de sitios a partir del análisis de fosfatos (Barba Pingarrón, 1980). Posteriormente su aplicación se amplió al estudio de unidades habitacionales etnoarqueológicas (Barba et al., 1995; Barba y Ortiz, 1992; López et al., 2005) y arqueológicas, y para su interpretación se utilizaron cuatro indicadores químicos: fosfatos, carbonatos, pH y color (Barba Pingarrón, 1986, 2007; Ortiz Butrón, 1991; Pecci y Ortiz, 2001), a los que luego se agregaron las pruebas orgánicas: residuos proteicos, ácidos grasos y carbohidratos (Barba et al., 1991; Barba et al., 2014; Ortiz et al., 2018), y se incorporaron además nuevos campos de aplicación, como los estudios en áreas rituales (Barba et al., 1997; Getino y Ortiz, 1998; Ortiz et al., 2017, 2019), áreas productivas (Pecci et al., 2017), el análisis de cerámicas arqueológicas (Barba et al., 2014; Ceballos et al., 2023; Jiménez González et al., 2021; Méndez et al., 2011; Novillo Verdugo y Esparza López, 2016; Núñez Cortés y Barba Pingarrón, 2023; Obregón y Barba, 2021; Obregón et al., 2020; Ortiz Butrón, 2021; Pérez Ortiz de Montellano et al., 2021; Zacarías Salcedo et al., 2024).

Por último, de una manera u otra el Laboratorio de Prospección Arqueológica se ha visto involucrado en el estudio de la descomposición de restos humanos y de animales que, en el proceso de putrefacción del cadáver, al igual que las actividades «en vida» tienden a alterar la superficie donde quedaron depositados. De este modo, las técnicas de *spot test* son susceptible de identificar áreas de descomposición de cadáveres, así como sus lugares de enterramiento (Barba et al., 1991; Barba et al., 2015; Ortiz Butrón, 2025, p. 108; Pascual Soto et al., 2023).

A continuación, se describe cada una de las técnicas de *spot test*.

Técnicas analíticas

A partir de 1978, cuando se realizó la primera aplicación, el Laboratorio de Prospección Arqueológica ha ido formando de manera paulatina un grupo de pruebas químicas para detectar residuos orgánicos e inorgánicos, primero en suelos y pisos y más recientemente en cerámica (Barba, 2007; Barba et al., 1991). Estas pruebas tienen la ventaja de poder procesar grandes cantidades de muestras en forma rápida, confiable y económica, lo que produce patrones de enriquecimiento químico para superficies de pisos o tendencias de enriquecimiento en grupos de cerámica tras analizar cientos de muestras (Barba et al., 2014, p. 204).

Las técnicas analíticas son sencillas y semicuantitativas, para las que no es posible identificar las sustancias químicas presentes y su cantidad (*i. e.* determinar si las grasas son de origen animal o vegetal), pero han demostrado ser una de las mejores formas de detectar la presencia de residuos orgánicos. Permiten apreciar la

abundancia relativa de los residuos químicos estudiados y proporcionan datos importantes sobre el uso del espacio. Además, sus resultados han probado que también pueden ser una buena forma de seleccionar las muestras susceptibles de ser analizadas con técnicas analíticas instrumentales y cuantitativas en etapas posteriores (Barba et al., 2014, p. 205; Middleton et al., 2010). Estas pruebas ya publicadas (Barba Pingarrón, 2007; Barba et al., 1991) se describen brevemente a continuación:

Determinación de fosfatos

Se trata de una prueba colorimétrica semicuantitativa desarrollada por Robert Eidt (1973, 1977). En esta prueba, se extrae el fosfato de la muestra por una reacción con ácido, mientras el molibdato disuelto reacciona y produce un fosfomolibdato amarillo. Finalmente se reduce con ácido ascórbico para formar compuestos de azul de molibdeno. La cantidad de fosfatos contenidos en la muestra se relaciona con la intensidad del color azul que aparece en la superficie de un papel filtro. Una vez que el color ha quedado fijo en el papel ya seco, se clasifica y se le asigna un valor entero entre 0 y 6 (Figura 2).

Figura 2. Determinación de fosfatos



Cortesía del Laboratorio de Prospección Arqueológica

Determinación de residuos proteicos

Los grupos amino de las proteínas se identifican mediante el calentamiento de la muestra con óxido de calcio, con la correspondiente liberación de amoníaco detectable con papel indicador de pH húmedo. Los valores que corresponden a 8 en la

escala de colores del papel indicador ya indican presencia de residuos proteicos, pero en ocasiones pueden alcanzarse valores de 11 (Figura 3).

Figura 3. Determinación de residuos proteicos



Cortesía del Laboratorio de Prospección Arqueológica

Determinación de ácidos grasos

En esta prueba se extraen los ácidos grasos al agregar cloroformo a la muestra, calentándola, concentrándola y haciéndola reaccionar con hidróxido de amonio (25 %) para producir un jabón, y con peróxido de hidrógeno que al liberar oxígeno produzca espuma. Se atribuyen valores entre 0 y 4, según la cantidad de espuma producida que a su vez está directamente relacionada con la cantidad de ácidos grasos presentes en la muestra (Figura 4).

Figura 4. Determinación de ácidos grasos

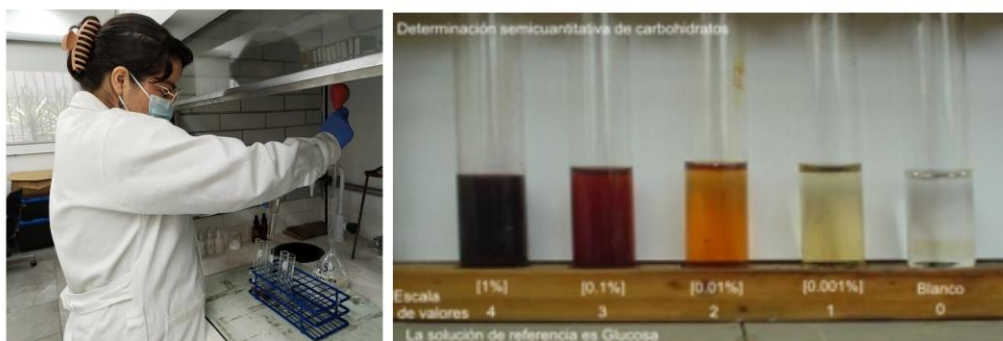


Cortesía del Laboratorio de Prospección Arqueológica

Determinación de carbohidratos

En general los residuos de carbohidratos producen compuestos coloridos al reaccionar con fenoles en un medio ácido. En esta prueba, los carbohidratos se hidrolizan a furfural o hidroximetilfurfural por la acción deshidratante del ácido sulfúrico concentrado y simultáneamente, gracias a una reacción de condensación con resorcinol, se generan compuestos coloridos. La cantidad de carbohidratos contenidos en la muestra se relaciona de manera directa con la intensidad del color rojizo generado y se le asigna un valor que va desde 0 a 4 (Figura 5).

Figura 5. Determinación de carbohidratos



Cortesía del Laboratorio de Prospección Arqueológica

Determinación de carbonatos

La reacción de efervescencia de los carbonatos con los ácidos permite estimar la cantidad de espuma que produce una cantidad constante de polvo y de ácido que reaccionan en un tubo de ensayo. Esto permite nuevamente establecer una escala numérica entre 0 y 6 que indica la cantidad de carbonatos presentes en la muestra (Figura 6).

Figura 6. Determinación de carbonatos



Cortesía del Laboratorio de Prospección Arqueológica

Determinación del potencial de hidrógeno (pH)

Los valores de pH muestran la concentración de iones hidronio en solución y corresponden al valor que da el medidor de pH manteniendo una relación constante de muestra pulverizada y agua (Figura 7).

Figura 7. Determinación de pH



Cortesía del Laboratorio de Prospección Arqueológica

Casos de estudio

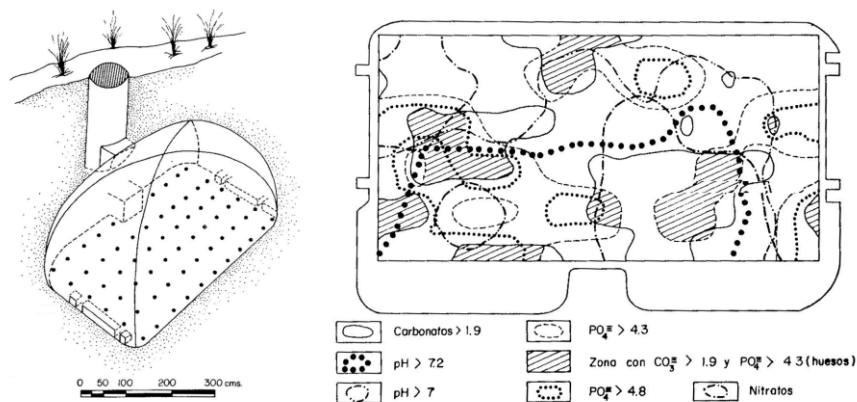
Los casos con los cuales se ejemplifica este artículo forman parte de algunos de los trabajos que se han desarrollado en el Laboratorio de Prospección Arqueológica del IIA, UNAM, a lo largo de 40 años de estudios, tomando en cuenta únicamente los relacionados con la descomposición de cuerpos y el enriquecimiento químico de su contexto de deposición.

Tumba 5 de La Florida, Zacatecas

La primera vez que se utilizaron los análisis de *spot test* en un contexto funerario fue en una tumba de tiro excavada en toba volcánica localizada en La Florida Zacatecas, con la idea de experimentar y tratar de reconocer la disposición y orientación de un cadáver (Barba et al., 1991). Dado que habitantes del poblado ya sabían la existencia de una tumba saqueada, la idea fue muestrearla con la finalidad de tratar de reconocer si alguna vez existieron cuerpos u ofrendas en su interior. Se tomaron un total de 64 muestras cada 05,0 m que cubrieron la totalidad del piso de la tumba. Desafortunadamente los resultados no fueron concluyentes, ya que, en aquella época el Laboratorio de Prospección Arqueológica aún no incluía las pruebas orgánicas en su batería de análisis y solo se realizaron análisis inorgánicos como fosfatos, carbonatos, pH, nitratos y color.

Además, la interpretación de los resultados se vio afectada por la circunstancia de que las personas de la localidad, una vez descubierta la tumba, la utilizaron como depósito de basura. De cualquier modo, se elaboraron los mapas de interpretación de la tumba y se encontraron tres zonas probables que sugirieron la posibilidad de haber sido enriquecidas por la descomposición de cuerpos, en particular por el alza en los valores de carbonatos y de fosfatos (Barba et al., 1991; Barba et al., 2015) (Figura 8).

Figura 8. Estudio químico de la tumba 5 de la Florida Zacatecas que muestra los valores de residuos químicos de PO_4 , CO_3 , pH y NO_3



Dibujo isométrico y de interpretación de E. Linares (modificado de Barba et al., 1991, pp. 22-25)

Oxkintok, Yucatán

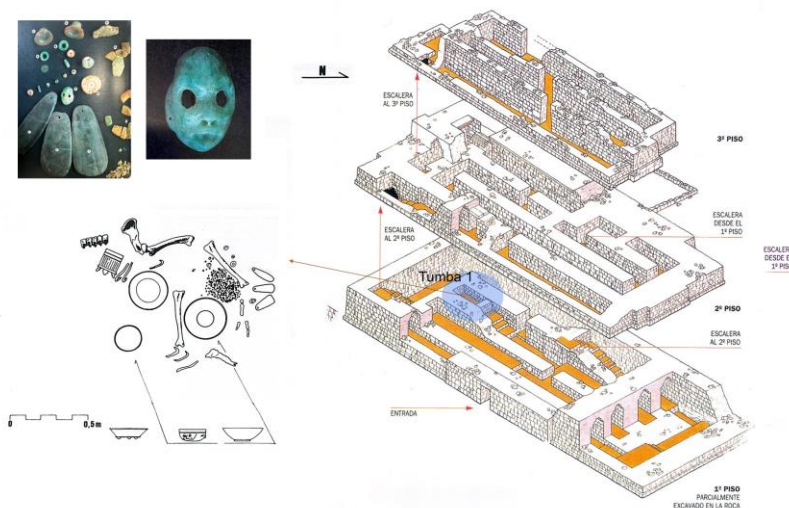
La siguiente oportunidad de estudiar un caso relacionado con la descomposición de un cuerpo humano fue de manera fortuita, ya que se estaban tomando muestras del piso de una estructura laberíntica denominada El Satunsat en Oxkintok Yucatán, para reconocer áreas de actividad y reconocer su función. El estudio formó parte del Proyecto Arqueológico Oxkintok, de la Misión Arqueológica de España en México, bajo la dirección del Dr. Miguel Rivera Dorado de la Universidad Complutense de Madrid (1986-1992).

El edificio presenta tres niveles (uno subterráneo, uno a nivel del suelo y otro superior, el cual desciende a una gran plaza posterior). Se tomaron muestras de cada uno de los tres niveles con la finalidad de interpretar la funcionalidad del edificio, ya que su interior es totalmente oscuro y laberíntico, con pasillos estrechos que pueden llevar a un nivel superior o bien regresar a un nivel más bajo. Fue justamente durante el proceso de excavación de la estructura que se localizó un tapiaje en la sección norte del cuarto 6 que al desmontarlo dejó al descubierto una cámara funeraria a la que se denominó Tumba 1. En ella se encontraron los restos de un cuerpo humano colocado directamente sobre el piso, aunque los huesos no se encontraron en posición anatómica (Rivera Dorado y Ferrándiz Martín, 1989, p. 69). El entierro presentó como ajuar funerario una serie de objetos de jade, que incluía dos orejeras, dos tapones de orejera, una máscara miniatura, una cabeza de cocodrilo tallada, una placa cortada con inscripción jeroglífica, así como collares y brazaletes, además de cuatro vasos cerámicos completos y una uña de felino, lo que revelaba la importancia del personaje.

Como parte del análisis del piso del cuarto 6 también se tomaron muestras alrededor del cadáver y para nuestra sorpresa, al analizarlas, los resultados

mostraron bajos valores en general, particularmente de fosfatos. Esto indicaba claramente que los restos encontrados en la tumba ya no contaban con sus partes blandas cuando fueron inhumados, ya que no se descompusieron en la zona donde fueron depositados (Barba et al., 2015; Ortiz y Barba, 1992, p. 124; Rivera Dorado y Ferrándiz Martín, 1989, p. 69) (Figura 9).

Figura 9. Localización de la tumba 1 dentro del Satunsat y ofrenda asociada



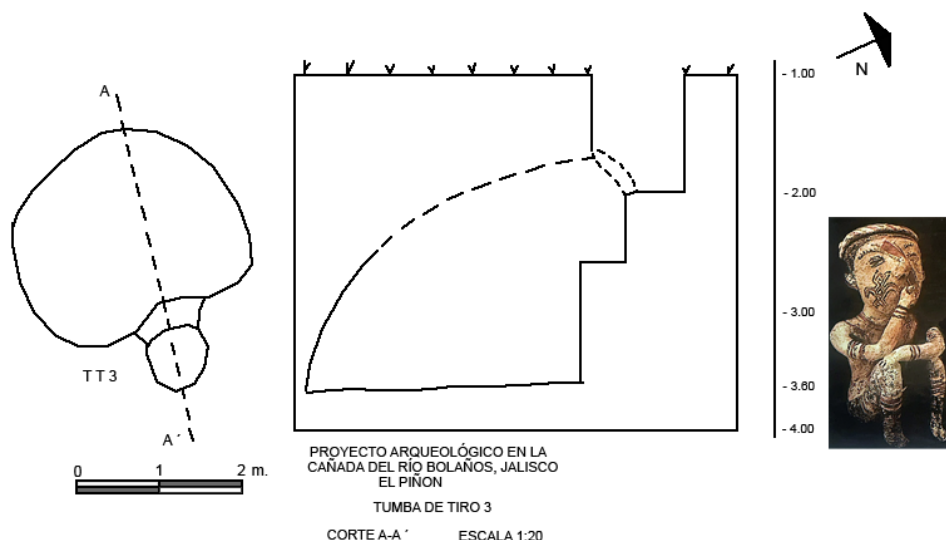
Tomado de Rivera Dorado y Ferrándiz Martín (1989, p. 70) y Palomero Sánchez (1988, p. 97).

Composición Ortiz Butrón (2025)

Cerro del Piñón, San Martín de Bolaños, Jalisco

En 1993 la Dra. Ma. Teresa Cabrero junto con el Arqueol. Carlos López Cruz^(†) excavaron una tumba de tiro intacta en el Cerro del Piñón a la que denominaron Tumba 3 (Figura 10). Dentro de ella se localizaron varias figurillas antropomorfas huecas en posición tanto sedente como de pie, distribuidas en los extremos laterales de la cámara entremezclándose con cuencos trípodes y ápodos. En la parte posterior de la cámara, se encontraron 8 puntas de proyectil, 4 de obsidiana y 4 de sílex, así como un cuchillo hecho de pedernal. El total de las vasijas fue de 15 cuencos trípodes, 11 cuencos ápodos, 2 platos, 6 ollas miniatura, una olla de cuello corto y un tecomate (Cabrero, 1995). Además, se recuperaron fragmentos de textil, un fragmento de red hecha con fibras vegetales, probablemente lechuguilla, y restos de varitas delgadas, posiblemente astiles que sostenían las puntas de proyectil, así como dos fragmentos de madera que presentan una acanaladura y un extremo cerrado que representan posiblemente parte del cuerpo de un *atlatl* y un malacate asociado a un objeto de piedra que posiblemente sirvió de apoyo en la tarea de hilado del algodón (Cabrero, 1995).

Figura 10. Tumba 3 de Bolaños y figurilla hueca de fumador



Tomado de Cabrero y López (1997). Composición de Ortiz Butrón (2025)

Es muy probable que la tumba 3 haya sido reutilizada y reabierta varias veces ya que los restos óseos se encontraban muy deteriorados y fragmentados, sin embargo, se logró contar 21 cráneos, cuatro de los cuales posiblemente fueron colocados en línea en la parte posterior de la cámara. Se logró identificar dos individuos que estaban en posición extendida en el piso de la cámara (límite sureste) con los pies hacia el centro (hacia el oeste) a ambos lados del acceso, y ellos posiblemente fueron los personajes principales depositados en la tumba ya que, aunque las ofrendas estaban distribuidas en toda la cámara, la concentración mayor se localizó alrededor de ellos (Cabrero y López, 1993).

Por otra parte, según los informes osteológicos, la tumba 3 contuvo restos de diversos grupos de edad y sexo y además se localizaron restos cremados dispersos tanto en el piso de la cámara como dentro de contenedores (ollas) (Cabrero, 1995).

No obstante, la cantidad de información presente, al momento de la toma de muestra y por la saturado de materiales dentro de la tumba de tiro, solo pudieron tomarse nueve muestras de la parte NE de la tumba, justo donde se localizaba la mayor parte de los materiales cerámicos, y se pensaba que, una vez terminada la excavación, se regresaría a continuar con el muestreo, sin embargo, lamentablemente eso ya no sucedió.

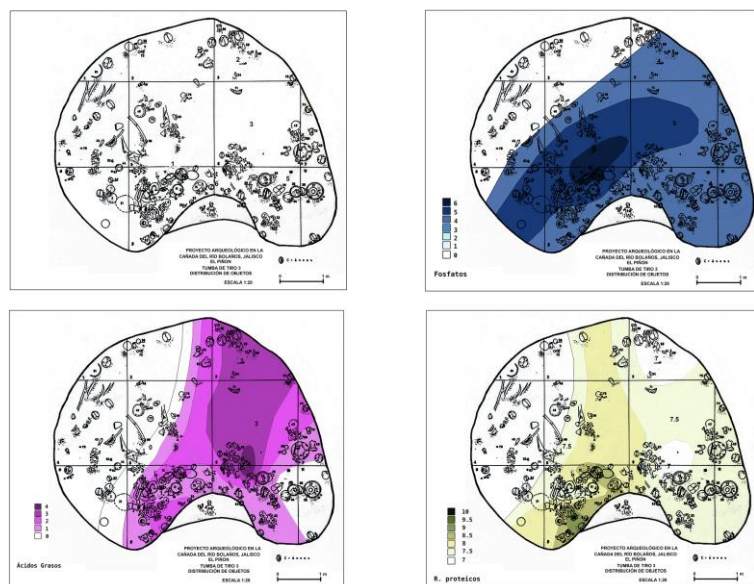
A diferencia de la Tumba 5 de la Florida Zacatecas, en este estudio además de los análisis de fosfatos, carbonatos, pH y color, se incluyeron los análisis de residuos proteicos y ácidos grasos (Ortiz Butrón, 1996).

Los análisis de fosfatos evidenciaron dos zonas principales que coincidieron directamente con la localización de los dos entierros en posición anatómica, principalmente con el del sur (Figura 11).

Los ácidos grasos presentaron una correspondencia con la prueba de fosfatos, principalmente al norte del acceso donde se localizó uno de los entierros primarios en posición anatómica y fue evidente su disminución en el piso del acceso. Lo mismo sucedió con los residuos proteicos, los cuales mostraron bajos valores en general con excepción en la parte central y sur del acceso donde se apreció un aumento en los valores, que corresponde con la localización de uno de los entierros primarios en posición anatómica. Sin embargo, el máximo valor se encontró al sur del acceso de la tumba muy cerca de uno de los cuencos que posiblemente contuvo material orgánico rico en proteínas como ofrenda (Ortiz Butrón, 1996).

Este segundo intento por estudiar químicamente una tumba de tiro y tratándose de un contexto sellado, raro en el contexto mesoamericano, se podría decir que fue un éxito, pese a la poca densidad de muestreo ya que los enriquecimientos coincidieron con la localización de los dos entierros del acceso, así como del contenido de alguna de las ofrendas. Sin embargo, hay que tomar en cuenta que para los años 90's el estudio de residuos químicos orgánicos, llevados al laboratorio por el Dr. Roberto Rodríguez Suarez de la Universidad de la Habana, apenas comenzaba a implementarse como herramienta de apoyo en los estudios de *spot test* en diversos contextos arqueológicos mesoamericanos como parte de la batería de análisis del Laboratorio de Prospección Arqueológica de la UNAM.

Figura 11. Comparativo de resultados de fosfatos, ácidos grasos y residuos proteicos y la distribución de los entierros y objetos arqueológicos asociados en la tumba de tiro n.º 3 de Bolaños



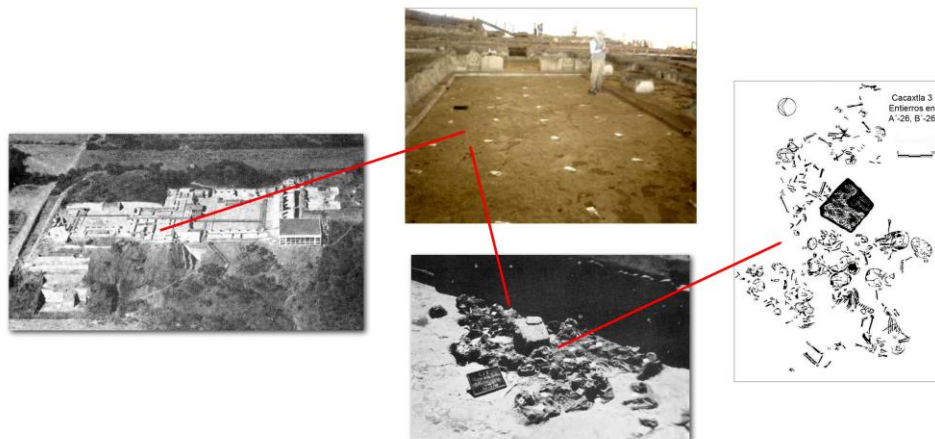
Composición Ortiz Butrón (2025)

Cacaxtla, Tlaxcala

Otro estudio importante fue la invitación que nos hizo en el 2005 la Mtra. Beatriz Palaviccini Beltrán^(†), coordinadora del Proyecto Especial de Conservación Cacaxtla-Xochitécatl, a participar con los estudios geofísicos y químicos en el Gran Basamento.

En lo que respecta al estudio de residuos químicos, era especialmente interesante analizar los pisos del Subconjunto Este del Gran Basamento en la estructura conocida como El Palacio, ya que durante las excavaciones efectuadas de 1976 a 1977 por Daniel Molina y Diana López fueron localizados 40 entierros de niños de entre 4 y 11 años directamente colocados sobre el piso del Patio de los Rombos, todos ellos sin un patrón de enterramiento definido, y aparentemente arrojados de manera precipitada. Algunos presentaban huellas de decapitación, desmembramiento y cremación (Delgadillo Torres y Santana, 1995, p. 60) (Figura 12).

Figura 12. Ubicación y muestreo de *El Palacio* en cuyo patio denominado *Patio de los Rombos* se localizaron varios entierros

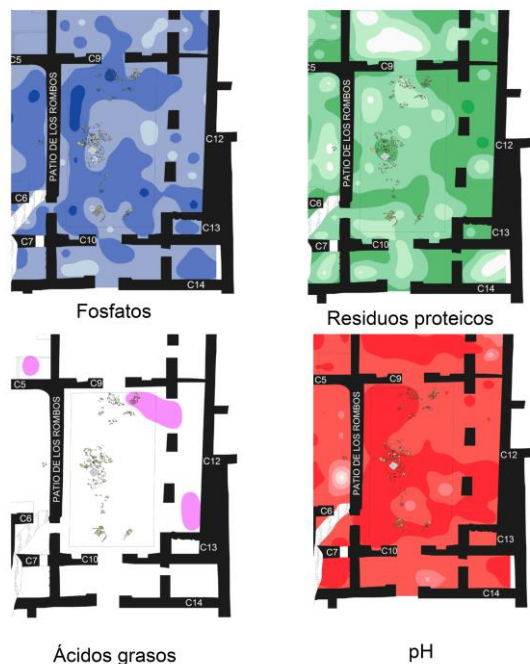


Tomado de Delgadillo Torres y Santana (1995, p. 74). Composición Ortiz Butrón (2025)

A consideración de los antropólogos físicos que realizaron el estudio de los restos óseos del Patio de los Rombos, por la abundancia de enterramientos situados sobre el piso, al parecer los niños fueron sacrificados en el mismo lugar y en el momento previo a la clausura y relleno de determinadas unidades arquitectónicas (Delgadillo Torres y Santana, 1991, p. 700).

Dadas estas características descritas por los antropólogos físicos, si efectivamente los sacrificios se ejecutaron en el lugar del hallazgo, era de esperarse encontrar altos valores en los residuos químicos del piso del Patio de los Rombos, en particular de residuos proteicos y ácidos grasos. Sin embargo, al realizar el estudio, se pudo notar que los valores en los indicadores de fosfatos, proteína y ácidos grasos no coincidían con la ubicación de los entierros, sino únicamente el de pH (Figura 13). Por tanto, los resultados parecían indicar que los acontecimientos (bien fuera sacrificio, cremación o desmembramiento) fueron en otro lugar del Gran Basamento, y el piso del Patio de los Rombos fue el lugar de depósito final de los restos. No obstante, la inhumación de los individuos sobre el piso, quizá aún con partes blandas, fue suficiente para enriquecer el área de clausura de la fase 4 del Patio de los Rombos, pero no tanto como si el desmembramiento, decapitación y muerte de los infantes hubiera sido en el lugar del hallazgo (Ortiz Butrón, 2012; Ortiz y Terreros, 2007).

Figura 13. Mapa de residuos químicos de fosfatos, residuos proteicos, ácidos grasos y pH en relación con la localización de los restos óseos en el Patio de los Rombos



Es importante mencionar que del total de excavaciones en el Gran Conjunto de 1975 a 1979 se hallaron 208 conjuntos óseos, de los cuales 199 pertenecieron a niños de muy corta edad y cuando menos 114 presentaban mutilaciones que dejaron incompletos los cuerpos además de presentar huellas de exposición al fuego (Delgadillo Torres y Santana, 1991, p. 697).

La abundante presencia de entierros en estas condiciones parece indicar que esta práctica fue un ritual común en Cacaxtla. Por tanto, quedaría aún por descubrir la zona donde se llevaron a cabo estos rituales de decapitación, desmembramiento y cremación en el Gran Conjunto de Cacaxtla.

San Pietro en Grosseto, Italia

Para el 2007, mientras se excavaba el interior de una iglesia de San Pietro en Grosseto, Italia, fueron localizadas varias fosas de enterramiento, las cuales a insistencia del Dr. Luis Barba fueron muestreadas en su interior cada 10 cm, y cuyo análisis correspondió a la Dra. Alessandra Pecci (Figura 14).

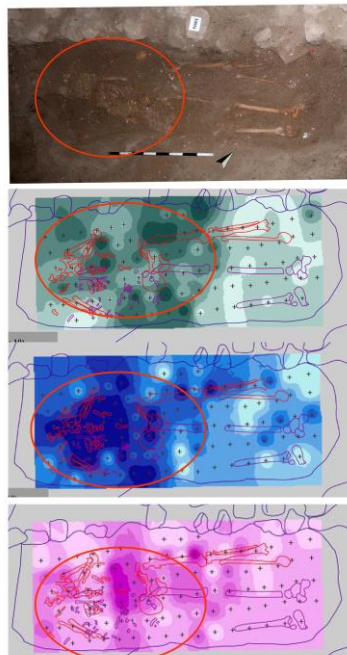
Figura 14. Excavaciones en el interior de la Iglesia de San Pedro en Grosseto, Italia



Cortesía de la Dra. Alessandra Pecci. Composición Ortiz Butrón (2025)

Los mapas obtenidos mostraron una gran correspondencia de los valores de residuos proteicos, fosfatos y carbohidratos, indicando que los mayores enriquecimientos estaban relacionados a la descomposición de las vísceras (pulmones, corazón y aparato digestivo) y cerebro en comparación con los bajos enriquecimientos observado para las piernas (Barba et al., 2015; Pecci et al., 2007). Este estudio marcó un hito en la comprensión del análisis de restos óseos relacionados con su descomposición mediante análisis de *spot test* donde también la alta densidad de muestreo jugó un papel importante (Figura 15).

Figura 15. Mapas de distribución de residuos químicos en el fondo de la fosa excavada en el piso de la Iglesia de San Pedro en Grosseto, Italia



Cortesía de la Dra. Alessandra Pecci. Composición Ortiz Butrón, 2025

Tajín, Veracruz

Estructura 40

Tiempo después se tuvo la oportunidad de realizar un estudio parecido en un contexto mesoamericano, cuando en el 2015 el Dr. Arturo Pascual Soto, del Instituto de Investigaciones Estéticas de la UNAM nos invitó a participar en su proyecto «Divinos señores del Tajín» para estudiar mediante estudios geofísicos la Estructura 40 ubicada en el Conjunto Arquitectónico del Edificio de las Columnas en el Tajín (Figura 16). En dicho estudio se localizó con la ayuda de un georradar, una cista de enterramiento que al excavarla resultó estar completamente vacía, como muchas de las cistas del período Epiclásico para El Tajín.

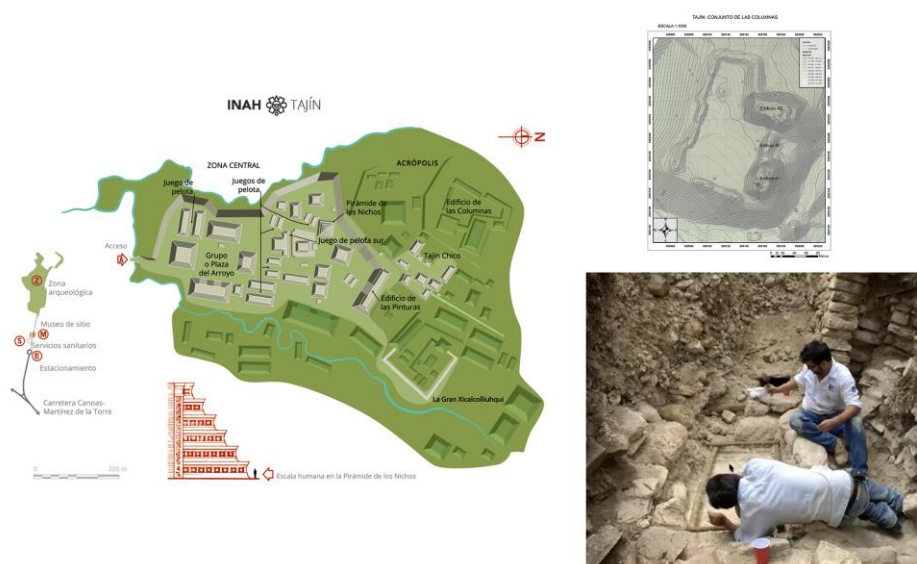
Figura 16. Estudio de georradar sobre la Estructura 40



Fotografía cortesía del Laboratorio de Prospección Arqueológica

Esto brindaba la oportunidad de verificar a partir del análisis de residuos químicos de sus sedimentos si la cista presentaba un enriquecimiento que revelara la descomposición de un cuerpo en su interior. Para ello, al igual que en el caso de Italia, se tomaron muestras cada 10 cm de su piso y los análisis se realizaron en el Laboratorio de Prospección Arqueológica de la UNAM (Figura 17).

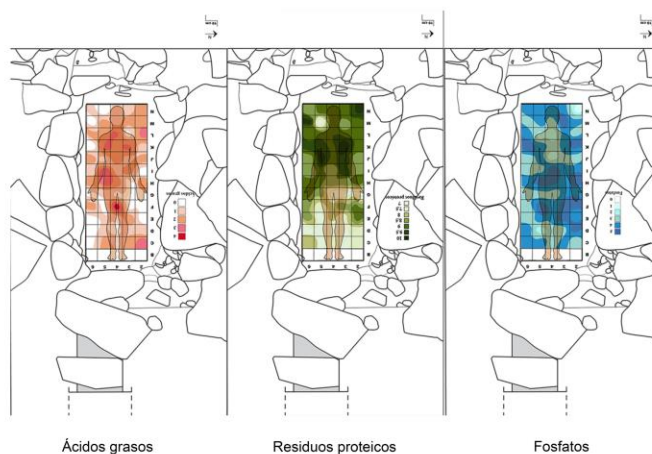
Figura 17. Muestreo cada 10 cm de la cista localizada de la Estructura 40 del Conjunto Arquitectónico del Edificio de las Columnas en el Tajín



Fotografía cortesía del Dr. Arturo Pascual Soto y levantamiento topográfico de Diego de Santiago, 2019 (Figura 1) tomado de Pascual et al. (2023, p. 10). Composición Ortiz Butrón (2025)

Al realizar los mapas de distribución con los resultados de los análisis de *spot test* se pudo verificar, sin lugar a dudas, un enriquecimiento químico coincidente con la descomposición de un cuerpo humano en su interior (Figura 18).

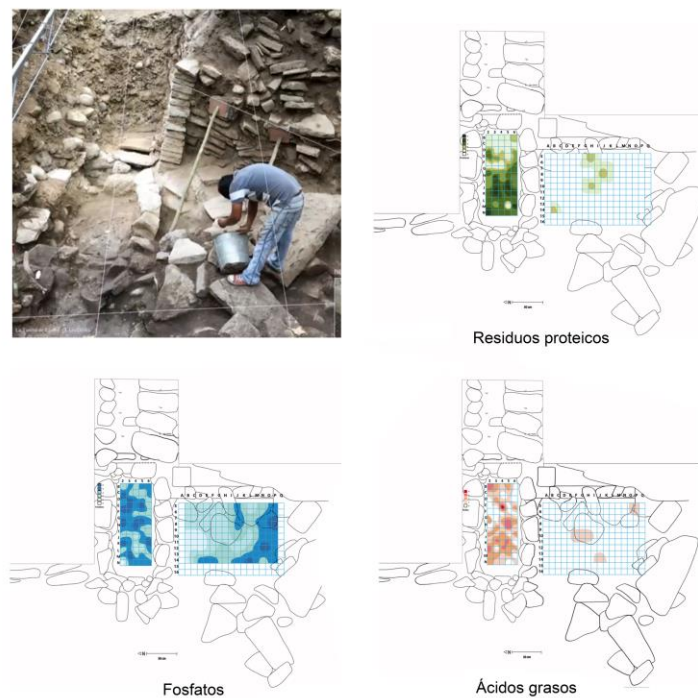
Figura 18. Mapas de distribución de ácidos grasos, residuos proteicos y fosfatos de la cista de la Estructura 40 en el Tajín



Composición Ortiz Butrón (2025)

Sin embargo, dado que la cista fue localizada entre dos etapas constructivas y que antes de su construcción dicho espacio formó parte de una plaza, era importante verificar si los residuos químicos encontrados se relacionaban verdaderamente con la descomposición de un cuerpo humano y no con las actividades llevadas a cabo durante el uso de la plaza. Para tal efecto el Dr. Arturo Pascual excavó una cala que llevó hasta la plaza principal y ese espacio también fue muestreado para verificar si los enriquecimientos eran parecidos a los obtenidos en el interior de la cista. Tras los estudios de residuos químicos se pudo verificar con claridad que las actividades de la plaza no tuvieron nada que ver con el enriquecimiento de la cista (Figura 19).

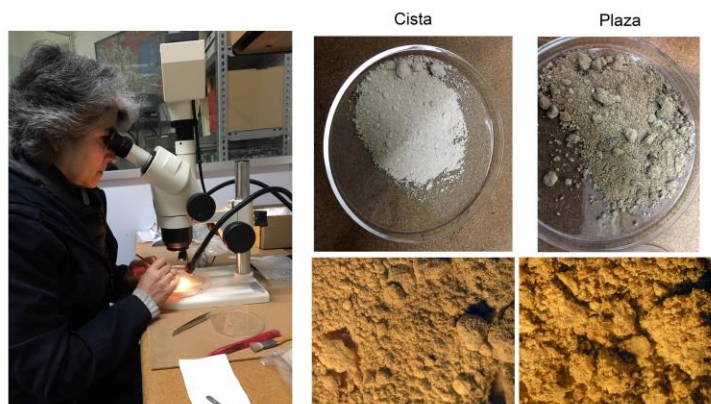
Figura 19. Comparación de análisis de residuos de la cista de enterramiento con el piso de la plaza.



Fotografía cortesía del Dr. Arturo Pascual Soto. Composición Ortiz Butrón (2025)

Para concluir el estudio, todo el sedimento del piso de la cista fue trasladado al Instituto de Investigaciones Antropológicas con la finalidad de estudiarlo en detalle al microscopio y verificar si se podía localizar algún tipo de evidencia física relacionada con el entierro. Se usó un microscopio estereoscópico Zeiss (STEMI 2000-C) y una cámara Olympus C5060 en el Laboratorio de Paleoetnobotánica y Paleoambiente del IIA, UNAM, con resultados negativos (Figura 20).

Figura 20. Estudio al microscopio del sedimento de la cista realizado en el Laboratorio de Paleoetnobotánica y Paleoambiente de IIA, UNAM



Composición Ortiz Butrón (2025)

Al no localizar ningún fragmento óseo ni astillas de hueso en el sedimento de la cista, el estudio al microscopio sugirió que posiblemente el cuerpo del difunto fue removido tres o cinco años luego de su muerte, cuando el cuerpo carecía de tejidos, pero cuando los huesos aún se encontraban en buenas condiciones para su remoción.

Al respecto habría que considerar varios puntos a tomar en cuenta en la descomposición de un cuerpo humano, ya que este dependería de varios factores como la temperatura, humedad, disposición de oxígeno, causas de la muerte, carroñeo, existencia de insectos, profundidad del entierro, humedad, la superficie sobre la cual yace el cuerpo, así como el tamaño y peso del difunto.

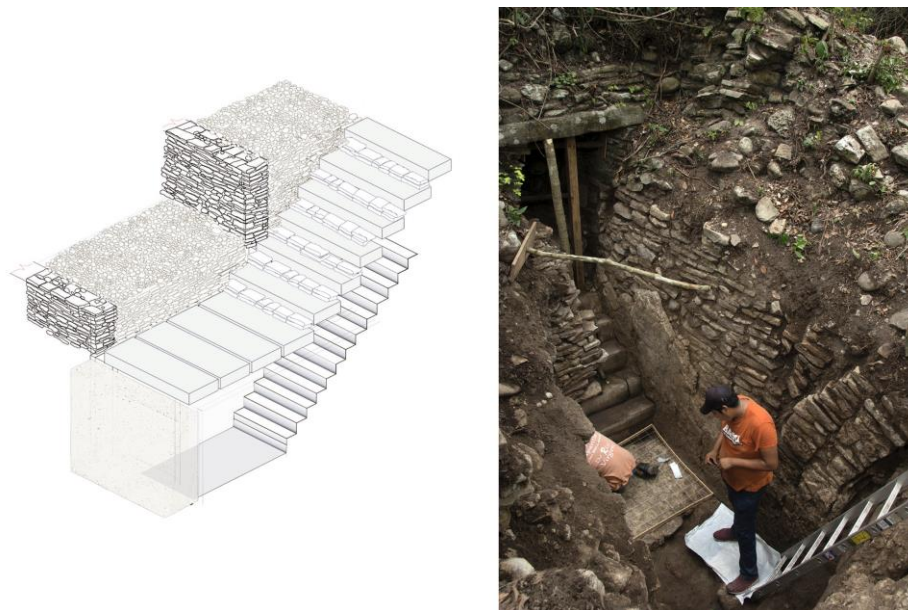
Para el caso de la cista de la estructura 40 de El Tajín, el cadáver fue depositado debajo de la escalinata de una estructura piramidal de piedra y tierra 4 m de profundidad, lo que pudo retardar su descomposición, aunque la temperatura y humedad del sitio fueron muy altas.

Estructura 41

Posterior al hallazgo y muestreo de la cista de la Estructura 40, se encontró otra tumba en la Estructura 41 cuya impresionante arquitectura funeraria mostró su importancia. Al igual que la Estructura 40, la Estructura 41 pertenece al Conjunto Arquitectónico del Edificio de Las Columnas sede de las más importantes ceremonias religiosas del Epiclásico en la Costa del Golfo (Pascual et al., 2023, p. 13). La Tumba T-M50 constó de una cámara de 26,0 metros de largo por 13,0 de ancho, formada por paredes de piedra que alcanzaron más de dos metros de altura en promedio y que fueron revestidas, al igual que el piso, con aplanados de cal. En el extremo oriente se encontró un túnel provisto de una escalera de piedra que llevaba al interior del templo. Tanto la cámara como la escalera contaban con una cubierta formada por

grandes lajas de piedra arenisca, encontrándose la entrada del túnel hacia el oriente (Pascual et al., 2023) (Figura 21).

Figura 21. Dibujo reconstructivo de Said Rico (2022) de la Tumba M50 del Edificio 41 del Conjunto Arquitectónico del Edificio de las Columnas, ca. 1000-1100 d. C.

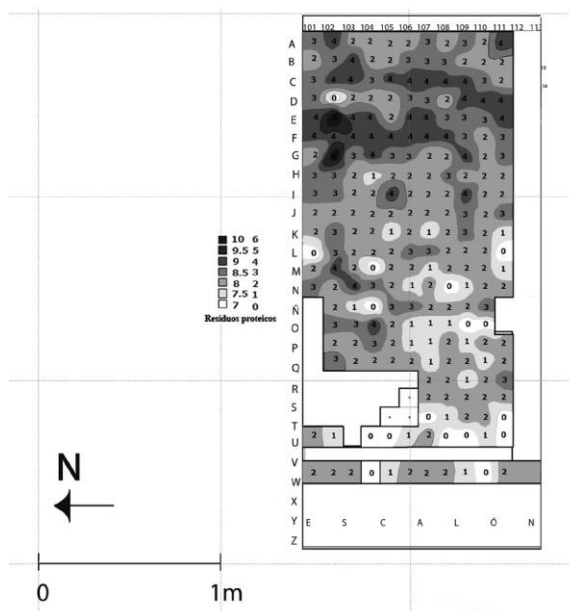


Fotografía de Arturo Pascual, 2018. (Figuras 8 y 9 tomadas de Pascual et al., 2023, p. 14). Composición Ortiz Butrón (2025)

La tumba presentó tres etapas distintas (la primera para la segunda mitad del siglo IX d. C., la segunda para el 916 y 967 d. C. y la tercera 1000-1100 d. C.), y fue destruida entre los años 1205 y 1259 d. C., con el propósito de acceder a la cámara funeraria. Las lajas del techo fueron arrancadas y, una vez dentro, posiblemente sustrajeron los restos del cadáver, rompiendo y arrojando la ofrenda al exterior. En consecuencia, el interior de la tumba quedó prácticamente vacío, con muy pocos elementos para inferir su función, así que se procedió a analizarla mediante el análisis de residuos químicos mediante pruebas de *spot test* (Pascual et al., 2023, p. 15).

Al igual que la cista de la Estructura 40, la tumba T-M50 se muestreó cada 10 cm para someterlas a la batería de análisis de *spot test* y los resultados mostraron al igual que la cista de la Estructura 40, una apreciable cantidad de residuos orgánicos, cuya distribución probablemente se asocian con el lugar donde se produjo la descomposición del cuerpo (Pascual et al., 2023, p. 15) (Figura 22).

Figura 22. Mapa de la distribución de residuos proteicos dentro de la Tumba M50 [Piso 1] en el Edificio 41 del Conjunto Arquitectónico del Edificio de las Columnas

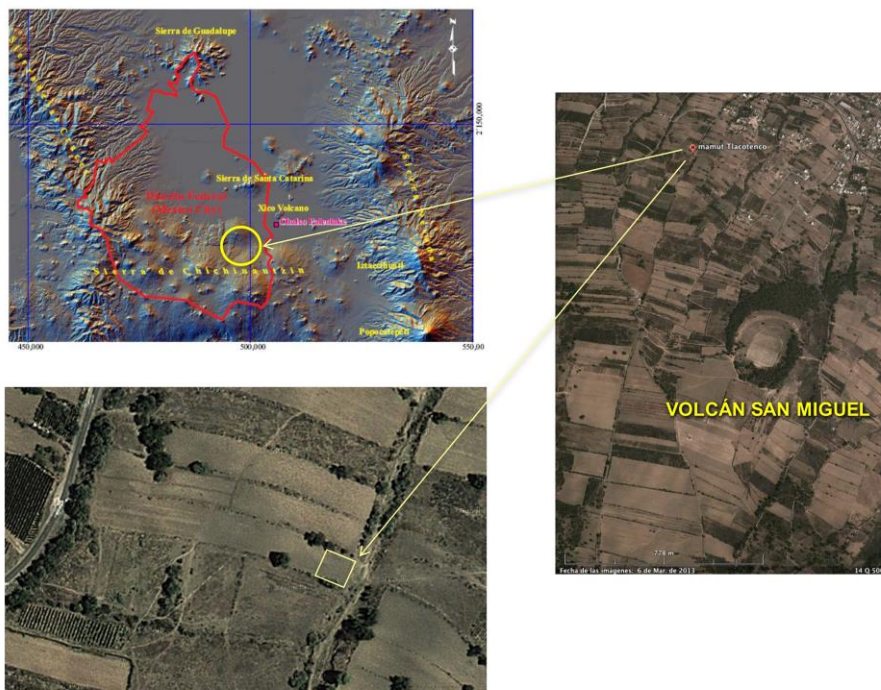


Dibujo de Said Rico que incluye el mapa de Agustín Ortiz y Meztli Hernández (2019). Tomado de Pascual et al. (2023, p. 16)

Santa Ana Tlacotenco, Milpa Alta. Cd. de México

Posterior al estudio de varios casos arqueológicos en el 2015 se tuvo la oportunidad de excavar un mamut en el poblado de Santa Ana Tlacotenco, en la alcaldía Milpa Alta, y fue hasta el momento el mamut más sureño localizado en la Cuenca de México. Dicho mamut presentó la particularidad de que, a diferencia de la mayoría de los mamuts que se han encontrado empantanados en el lecho lacustre a 2300 msnm, el de Milpa Alta fue localizado a 2800 msnm muy cercano al Volcán San Miguel y cubierto totalmente por ceniza volcánica (Ortiz et al., 2015, p. 12) (Figura 23).

Figura 23. Localización de la zona donde se encontraron los restos del mamut de Santa Ana Tlacotenco en la Alcaldía Milpa Alta de la Ciudad de México



Como la mayoría de los casos de estudio de fauna pleistocénica, el hallazgo en Santa Ana Tlacotenco fue de manera fortuita al encontrarse uno de los molares del mamut en un sembradío de maíz, por tal motivo, se tuvieron que realizar estudios geofísicos detallados, en un primer momento para saber si el cuerpo del mamut se encontraba completo y si esto era afirmativo, conocer el tamaño y localización exacta del cuerpo del mamut para proponer posteriormente el área de excavación. Los estudios incluyeron gradiente magnético, tomografía eléctrica, estudios de georradar con antenas de 400 y 800 MHz, resistividad eléctrica, topografía con GPS y vuelos de dron para fotogrametría (Blancas et al., 2015) (Figura 24).

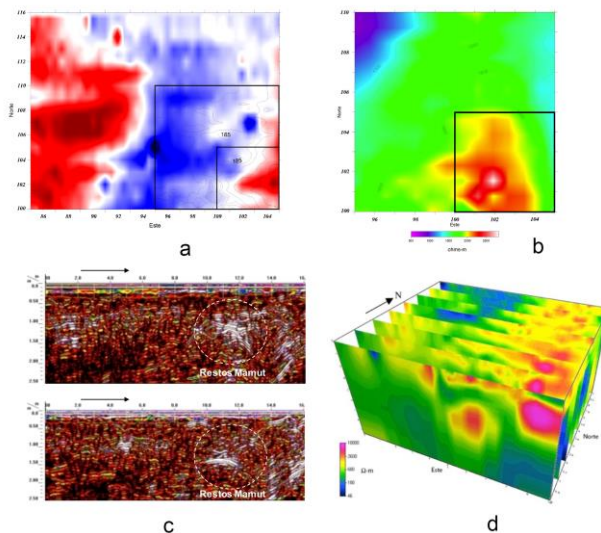
Figura 24. Estudios geofísicos para la búsqueda de la osamenta del mamut de Santa Ana Tlacotenco en la Alcaldía Milpa Alta de la Ciudad de México (GPS, gradiente magnético, resistividad eléctrica, georradar con antena de 400MHz, tomografía eléctrica y georradar con antena de 800 MHz)



Fotografías cortesía del Laboratorio de Prospección Arqueológica. Composición Ortiz Butrón (2025)

Los resultados de las pruebas geofísicas fueron concluyentes de que en efecto el cuerpo del mamut se encontraba en su mayoría enterrado en el campo de cultivo y se definió un área de 5 x 5 metros para la excavación (Figura 25).

Figura 25. Respuestas geofísicas para la búsqueda de la osamenta del mamut (a. gradiente magnético, b. resistividad eléctrica, c. radargrama y d. tomografía eléctrica)



Composición Ortiz Butrón (2025)

Para tener un contraste de los valores de la zona superior con el de las muestras que se obtendrían cercanas a los restos óseos del mamut, desde el inicio de la excavación se tomaron muestras desde la superficie para la realización de las pruebas de *spot test* (Barba et al., 2015, p. 87) (Figura 26).

Figura 26. Muestreo de la superficie antes de la excavación del mamut en Santa Ana Tlacotenco



Fotografía Ortiz Butrón, Laboratorio de Prospección Arqueológica

Durante el proceso de excavación se observó que los restos del mamut se encontraban completamente cubiertos por material suelto de ceniza volcánica, pero al

llegar a la base se detectó una depresión que contenía la mayoría del cuerpo del mamut, el cual descansaba directamente sobre el paleosuelo, y es muy probable que el mamut haya caído dentro de la depresión y muerto en el lugar (Figura 27).

Figura 27. Excavación del mamut de Santa Ana Tlacotenco

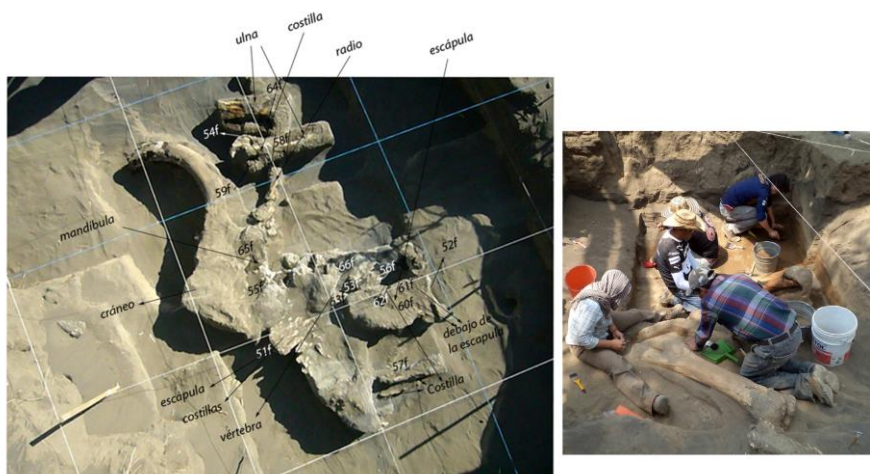


Fotomontaje Ortiz Butrón

Por tanto, dada la cercanía del volcán San Miguel, la hipótesis a verificar, mediante el análisis de residuos químicos, fue corroborar si, posterior a su muerte, el mamut fue cubierto de inmediato por la ceniza volcánica, y su descomposición ocurrió dentro de esa matriz y, por tanto, los valores de sus residuos químicos permanecieron bien conservados, o si el mamut se descompuso al aire libre, bajo el sol, lluvias, y a expensas de los depredadores y por lo tanto los valores químicos se observarían más degradados.

Para este estudio se pensó que a diferencia del muestreo de un piso o de una tumba que normalmente se representa en un solo plano, por el volumen del mamut, las muestras se tomaron desde la superficie y durante la excavación del mamut, hasta la última capa donde aparecieron sus huesos, por tanto, hubo la necesidad de realizar una matriz de tres dimensiones que incluyó coordenadas X, Y y Z de cada una de las muestras, así como cada uno de los valores de los indicadores químicos con la finalidad de crear un mapa tridimensional (Barba et al., 2015) (Figura 28).

Figura 28. Muestreo del mamut dentro de la depresión en Santa Ana Tlacotenco

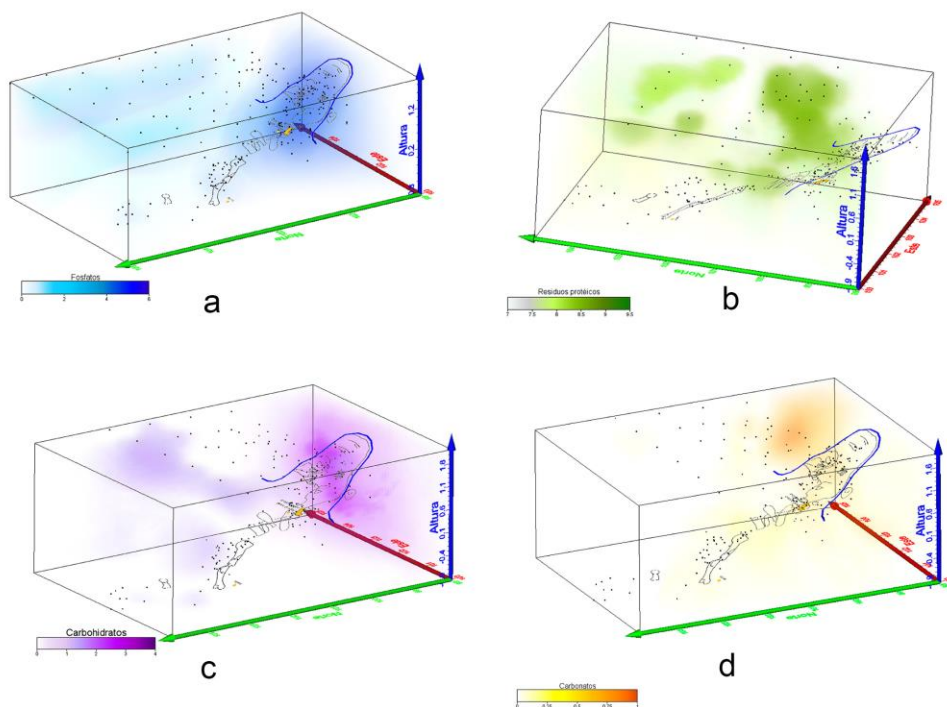


Fotografías Ortiz Butrón, Laboratorio de Prospección Arqueológica

Para ello se utilizó la aplicación *Voxler* (2012) de visualización tridimensional que permite manejar cuatro variables y ubicarlas en un espacio tridimensional que indicaría el contexto de enterramiento. Como en todos los casos observados en el artículo, la intensidad del color representa el aumento de los valores en cada uno de los residuos analizados (Barba et al., 2015, p. 93).

Para la interpretación de los resultados, se tenían pocas expectativas con el análisis de fosfatos ya que la ceniza volcánica los presenta en gran cantidad de manera natural, sin embargo, el estudio evidenció que los restos del mamut ubicados dentro de la depresión presentaron valores aún más altos, evidentemente relacionados con la descomposición de los órganos internos del mamut y la presencia del fosfato de calcio de sus huesos (Figura 29).

Figura 29. Distribución de valores de a. fosfatos, b. residuos proteicos, c. carbohidratos y d. carbonatos, la línea azul representa la depresión donde cayó el mamut



Tomado de Barba et al. (2015, pp. 94-95). Composición Ortiz Butrón (2025).

En el mapa de residuos proteicos se pueden notar enriquecimientos desde capas más superficiales, posiblemente debidas a la presencia de fertilizantes con amonio, ya que el área originalmente estuvo cubierta por cultivos de maíz. Sin embargo, fue evidente que el aumento del enriquecimiento dentro de la depresión fue provocado por la descomposición de los órganos internos del mamut (Barba et al., 2015, p. 95). El enriquecimiento de carbohidratos dentro de la zona de la depresión donde el cuerpo del mamut se descompuso parece sugerir el mismo patrón de enriquecimiento que los fosfatos. Además, es conocido que este tipo de proboscídeos, a semejanza de los elefantes actuales, podían ingerir a diario más de 200 kg de pastos, que se sumarían a la descomposición de los órganos internos del mamut por la gran cantidad de celulosa fermentada en sus vísceras. Por último, los valores de carbonatos se asocian claramente a la descomposición del carbonato de calcio presente en los huesos del mamut.

De este modo, y a pesar de la antigüedad del mamut de 18,460 BP datado según el análisis de AMS de la dentina de uno de sus molares (Beramendi Orosco y González

Hernández, 2015, p. 201), y de encontrarse en un contexto de ceniza volcánica, donde se esperaba que se hubiesen lixiviado los residuos químicos, estos se encontraron en muy buen estado de conservación. Lo cual se explica por un lado por la masividad del cuerpo del mamut y por otro que la descomposición del mamut ocurrió dentro de la matriz de ceniza volcánica y no a la intemperie (Barba et al., 2015, p. 97).

Caso Forense

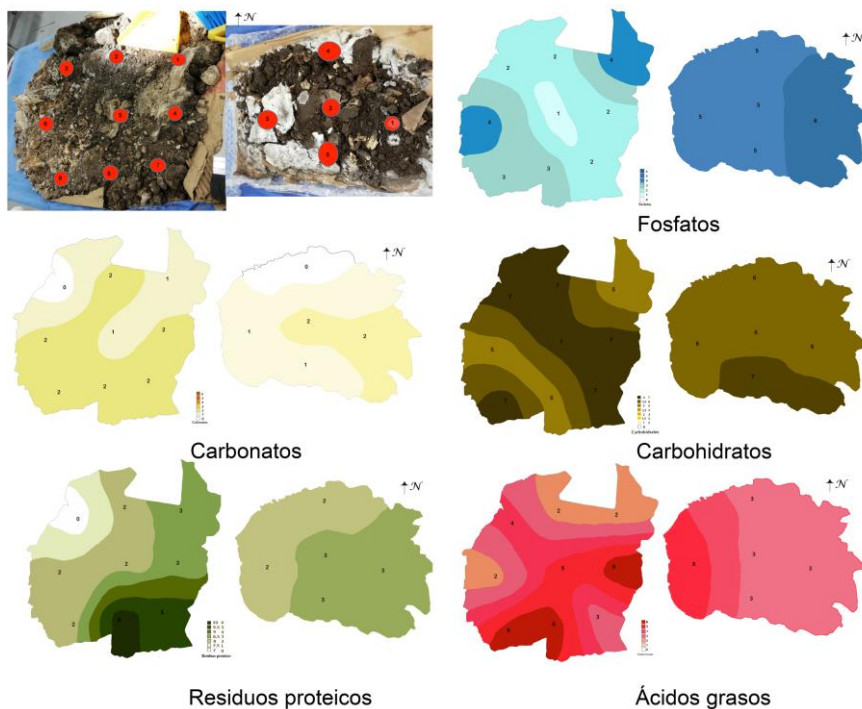
Tras colaborar en varios proyectos arqueológicos y paleontológicos y de participar de forma teórica en proyectos, cursos y diplomados para arqueólogos en contextos forenses,² finalmente en el 2015 llegó un caso forense real al Laboratorio de Prospección Arqueológica. Se trataba de una sección de un cuerpo humano localizado en un contexto alterado dentro de una zona de cultivo. En dicho espacio se logró excavar sistemáticamente un pequeño bulto segmentado en dos partes, donde aún se podían apreciar algunos fragmentos de hueso.

En este caso la pregunta de investigación fue: ¿qué tipo de información se podía sacar mediante las técnicas de *spot test* de un pequeño fragmento de evidencia? Otra pregunta era —al tratarse de un caso reciente—: ¿los valores en los residuos orgánicos estarían más concentrados que los observados para casos arqueológicos?

Se realizaron todos los análisis de rutina del laboratorio y de inmediato se observó que las dos porciones fragmentadas se comportaban de manera diferente. En general, la porción izquierda presentaba una mejor preservación de los residuos, y la porción derecha revelaba una disminución de los valores a excepción de los fosfatos (Figura 30).

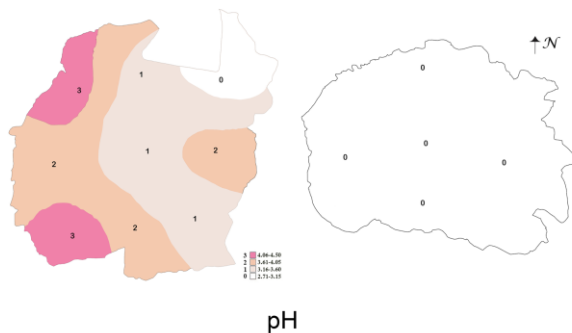
Figura 30. Resultados de los valores en los residuos químicos en ambas porciones

² Proyecto «Los restos óseos de dos templos coloniales del Estado de Hidalgo, desde una perspectiva bioantropológica y forense». Caltimacán, Tasquillo, Hidalgo (19 de abril del 2007); Curso: Diplomado en Arte Forense. Sesión Arqueología. Módulo: Antropología. Escuela de San Carlos. Escuela Nacional de Artes Plásticas, UNAM (2008); El estudio de los residuos químicos aplicados a la antropología forense. Universidad Autónoma del Estado de México Licenciatura; Primer Congreso Nacional de Seguridad Ciudadana, México. 2015; «Arqueología Forense» Universidad Veracruzana, Xalapa-Enríquez. (13 y 14 octubre del 2017).



De todos los análisis realizados, resultaron particularmente interesantes los valores de pH, ya que un cuerpo humano puede presentar diferentes valores, por ejemplo: saliva 7-7,4, orina 4,5-8, sangre 7,35-7,45 y piel 4,5-5,75. Sin embargo, al estudiar los valores de pH de ambos segmentos se observó que la porción izquierda presentaba valores de 1-3 y la porción derecha valores de 0. Por tanto, fue evidente que quien perpetró este acto, trató de desaparecer el cuerpo arrojándole ácido (Figura 31).

Figura 31. Resultados de los valores de pH de ambas porciones



Para complementar el estudio, existía la posibilidad de tratar de averiguar qué tipo de ácido se utilizó para verterlo sobre el cuerpo del individuo. De este modo, mediante pruebas específicas se sabría que si lo que se utilizó fue ácido sulfúrico

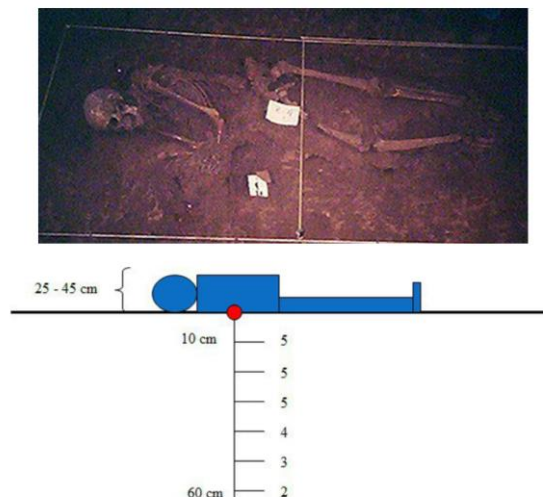
(H₂SO₄), se obtendrían sulfuros-sulfatos, si fue ácido nítrico (HNO₃), se obtendrían nitratos y finalmente si se utilizó ácido clorhídrico (HCl), se obtendrían cloruros.

Para este caso se utilizó la prueba de cloruros mediante una reacción con nitrato de plata y ácido nítrico, los cuales dieron como resultado un precipitado blanco en el fondo como respuesta positiva (Barba et al., 1991, p. 19). Restaba saber qué tipo de ácido clorhídrico fue utilizado, ya que el reactivo analítico es bastante caro, sin embargo, el ácido muriático (ácido clorhídrico industrial) es fácil de conseguir en cualquier ferretería y es relativamente barato y altamente corrosivo, por lo que se concluyó que este fue el que se vertió sobre el cuerpo, principalmente en la porción derecha ya que todos los valores de los residuos disminuyeron excepto fosfatos. Al respecto es importante recordar que el fósforo proviene de tejidos, como el óseo y una particularidad muy importante del fósforo, en su forma de fosfato, es que es muy estable químicamente, lo que significa que permanece durante mucho tiempo en el sitio en el que se depositó (Barba et al., 1991, p. 16) y, por lo tanto, al parecer los fosfatos de la muestra se mantuvieron más altos en la porción derecha posiblemente porque en dicho sector pudieron haberse localizado parte de las vísceras que enriquecieron este sector más que la porción izquierda y al ser los fosfatos muy estables posiblemente se vieron menos afectados por la acción del ácido (Ortiz Butrón, 2025, p. 135).

Recientemente varios proyectos de antropología forense han incluido la metodología de análisis del Laboratorio de Prospección Arqueológica, tal fue el caso de la tesis doctoral de María Fortuna (2022), quien analizó 12 casos forenses con cuerpos exhumados con la intención de comprender los patrones de descomposición de cuerpos enterrados en fosas comunes.

Asimismo, Roberto Rodríguez Suárez^(†) de la Universidad de la Habana realizó varios experimentos para comprender los procesos de lixiviación de los residuos químicos asociados a la descomposición de restos humanos (Figura 32).

Figura 32. Patrón de lixiviación de los residuos químicos de fosfatos, asociados a un entierro depositado en una tumba excavada en tierra



Fotografía cortesía de Roberto Rodríguez (2022). Composición Ortiz Butrón (2025)

En dicha figura puede verse claramente que a 40 cm de profundidad aún es posible reconocer la asociación de los valores de fosfatos con la descomposición del cadáver. Sin embargo, a 60 cm de profundidad puede apreciarse una disminución de estos (R. Rodríguez, comunicación personal).

Conclusiones

Es muy interesante observar que después de más de 40 años de aplicación de estas pruebas tan sencillas, rápidas y de bajo costo sigan más vigentes que nunca en la arqueología, y dada su versatilidad puedan ampliar su aplicación también al ámbito forense.

Este tipo de estudios pretende contribuir a la comprensión de los patrones de enriquecimiento provocados por la descomposición de cuerpos estén o no presentes, independientemente de su antigüedad. Para ello es importante, como ya se observó en los casos anteriores, realizar un muestreo detallado y sistemático.

El pH del suelo, sea alcalino o ácido, permitirá valorar la conservación de los restos, los procesos de saponificación y descomposición del cadáver dejarán su rastro en el suelo, que será revelado a partir de la presencia de los residuos orgánicos como las proteínas, ácidos grasos y carbohidratos, además de fosfatos y carbonatos.

Por otra parte, es importante complementar los análisis de *spot test* con análisis cuantitativos instrumentales para tener la certeza en la interpretación, pues como se mencionó al principio del artículo, ambos tipos de análisis son necesarios en

diferentes momentos de la investigación, para tener una mejor interpretación multidisciplinaria. Al respecto dado que la descomposición química de un cadáver provoca incremento de carbono y nutrientes en el suelo como: fósforo, calcio, potasio y magnesio, cambios en el pH, así como incremento de nitrógeno, es conveniente complementarlo con estudios de XRF, sin embargo, dado que esta prueba no estudia elementos orgánicos, los análisis con cromatografía son sin duda una solución al respecto.

Por último, es altamente satisfactorio que este tipo de pruebas de residuos químicos, como los análisis de *spot test*, puedan sumarse a la metodología de estudio del ámbito forense en campo o en laboratorio, junto con otras pruebas físicas como lo son los ensayos de penetración con penetrómetro y nucleadores, así como estudios geofísicos como tomografía eléctrica, georradar, detector de metales e incluso detector de gas metano, y de esta forma contribuir a una problemática que desgraciadamente cada vez es más cotidiana en los países latinoamericanos, ya que es posible mediante este tipo de pruebas reconocer enriquecimientos relacionados con la descomposición de cadáveres.

Además, como se mostró en los ejemplos anteriores, entre más recientes sea el evento de enterramiento, más clara será la huella química y como mostró en el ejemplo del mamut, no importa el tiempo transcurrido, los residuos químicos pueden perdurar a través del tiempo y ser reconocidos. Por otra parte, casos como los del Tajín para las Estructuras 40 y 41 demostraron que este tipo de análisis rápidos, sencillos y de bajo costo, pueden ayudar a reconocer la descomposición de un cuerpo, aún sin contar con la evidencia de los restos óseos.

Referencias

- Arrhenius, O. (1963). Investigation of Soil from Old Sites. *Ethnos*, (2-4), 122-136.
- Barba Pingarrón, L. (1980). El estudio de fosfatos como herramienta de prospección y delimitación. *Memorias de la XVI Mesa Redonda de la Sociedad Mexicana de Antropología, II*, 267-274.
- Barba Pingarrón, L. (1986). La química en el estudio de áreas de actividad. En L. Manzanilla (Ed.), *Unidades habitacionales mesoamericanas y sus áreas de actividad* (pp. 21-39). Instituto de Investigaciones Antropológicas, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Barba Pingarrón, L. (1989). Sugerencias para el mejor empleo de los datos de color Munsell. *Antropológicas*, (3), 98-107.
- Barba Pingarrón, L. (1990). *Radiografía de un sitio arqueológico*. Instituto de Investigaciones Antropológicas, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Barba Pingarrón, L. (2007). Chemical residues in lime-plastered archaeological floors. *Geoarchaeology*, 22(4), 439-452.
- Barba, L. y Bello, G. (1978). Análisis de fosfatos en el piso de una casa habitada actualmente. *Notas Antropológicas. Vol. I. Nota 24* (pp. 118-193). Universidad Nacional Autónoma de México.

- Barba L. y Córdova, J. L. (1988). El análisis de carbonatos en la arqueología. Una invitación a su uso. *Antropológicas*, (2), 97-105.
- Barba, L., De Pierrebourg, F., Trejo, C., Ortiz, A. y Link, K. (1995). Activités humaines reflétées dans les sols d'unités d'habitation contemporaine et préhispanique du Yucatán (Mexique): études chimiques, ethnoarchéologiques et archéologiques. *La Revue d'Archéométrie*, 19(1), 79-95.
- Barba L. y Lazos, L. (2000). Chemical analysis of floors for the identification of activity areas: a review. *Antropología y Técnica*, (6), 59-70.
- Barba, L., Linares, E. y Pérez, G. (1991). Estudio químico de tumbas saqueadas. *Revista Mexicana de Estudios Antropológicos*, 36, 9-24.
- Barba, L. y Manzanilla, L. R. (1987). Estudio de áreas de actividad. En L. Manzanilla (Ed.), *Cobá: Quintana Roo. Análisis de dos unidades habitacionales mayas del horizonte Clásico* (pp. 69-115). Instituto de Investigaciones Antropológicas, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Barba, L. y Ortiz, A. (1992). Análisis químico de pisos de ocupación un caso etnográfico en Tlaxcala, México. *Latin American Antiquity*, 3(1), 63-82.
- Barba, L., Ortiz, A., Blancas, J., Hernández, M. y Obregón, M. (2015). Residuos químicos y el contexto de enterramiento. En L. Barba Pingarrón (Ed.), *Estudios interdisciplinarios sobre un mamut y su contexto* (pp. 81-98). Red Conacyt.
- Barba, L., Ortiz, A., Link, K., Lazos, L. y López Luján, L. (1997). La arquitectura sagrada y sus dioses. Estudio geofísico y químico de la Casa de las Águilas, Tenochtitlan, México». *Revista de Arqueología Española*, XVIII, 44-53.
- Barba L., Ortiz, A. y Pecci, A. (2014). Los residuos químicos. Indicadores arqueológicos para entender la producción, preparación, consumo y almacenamiento de alimentos en Mesoamérica. *Anales de Antropología*, 48(1), 201-240.
- Barba, L., Rodríguez, R. y Córdova, J. L. (1991). *Manual de técnicas microquímicas de campo para la arqueología*. Instituto de Investigaciones Antropológicas, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Beramendi Orosco, L. E. y González Hernández, G. (2015). Apéndice. Calibración de las asociadas al mamut. En L. Barba Pingarrón (Ed.), *Estudios interdisciplinarios sobre un mamut y su contexto* (pp. 201-206). Red Conacyt.
- Blancas J., Barba, L. y Ortiz, A. (2015). Estudios geofísicos de un mamut encontrado en contexto volcánico. En L. Barba Pingarrón (Ed.), *Estudios interdisciplinarios sobre un mamut y su contexto* (pp. 29-49). Red Conacyt.
- Cabrero, M. T. (1995). *Informe técnico de la octava temporada al Consejo de Arqueología*. Archivo Técnico del Instituto Nacional de Antropología e Historia.
- Cabrero M. T. y López, C. (1993). Hallazgo de una tumba de tiro sellada en el Cañón de Bolaños. *Antropológicas*, (8), 74-78.
- Cabrero, M. T. y López, C. (1997). *Catálogo de piezas de las tumbas de tiro del Cañón de Bolaños*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Ceballos, X., Tsukamoto, K., Ortiz Butrón, A., Barba, L. y Vázquez Villegas, A. (2023). Ancient Maya Standard-Bearers Foodways: Chemical Residue Analyses of Ceramic Vessels at the Guzmán Group of El Palmar, Campeche, Mexico. *The Mayanist*, 4(2), 73-92.
- Cook, S. F. y Heizer, R. F. (1965). *Studies on the chemical analysis of archaeological sites*. University of California Press.

- Córdova Frunz, J. L. (2023, 6-9 de marzo). *Del análisis de campo al análisis instrumental, 40 años [Ponencia]*. Jornadas de Trabajo Interdisciplinario. 40 Años del Laboratorio de Prospección Arqueológica, Ciudad de México.
- Delgadillo Torres, R. y Santana, A. (1991). Ofrendas y prácticas funerarias. En Á. García Cook y B. L. Merino Carrión (Eds), *Tlaxcala, textos de su historia 2. Los orígenes, Arqueología* (pp. 696-700). Gobierno del Estado de Tlaxcala; Consejo Nacional para la Cultura y las Artes.
- Delgadillo Torres, R. y Santana, A. (1995). Los entierros humanos de Cacaxtla, Tlaxcala. En Á. García Cook y B. L. Merino Carrión (Eds), *Antología de Cacaxtla. Volumen II* (pp. 56-77). Instituto Nacional de Antropología e Historia.
- Eidt, R. (1973). A Rapid Chemical Field Test for Archaeological Site Surveying. *American Antiquity*, 38(2), 206-210.
- Eidt, R. (1977). Detection and Examination of Anthrosols By Phosphate Analysis. *Science*, 197(4311), 1327-1333.
- Fortuna Murillo, M. V. (2022). *Descomposición y determinación del intervalo post mortem en cuerpos exhumados de fosas comunes: estudio tafonómico forense de una serie de casos* [Tesis Doctoral de Posgrado en Antropología, Universidad Nacional Autónoma de México].
- Getino, F. y Ortiz, A. (1998). La actividad ritual a nivel de barrio: el momoztli de Palma y Venustiano Carranza. *Arqueología*, (18), segunda época, 119-138.
- Gómez-Moliné, M. R., Rojas-Hernández, A. y Ramírez-Silva, M. T. (2009). El constructivismo y la química analítica del profesor Gaston Charlot. *Educación Química*, 20(2), 192-197.
- Guilbaud M. -N., Arana-Salinas, L., Siebe, C., Barba, L. y Ortiz, A. (2015). Origen de la ceniza volcánica que sepultó los restos fósiles de un Mammuthus Columbi cerca de Santa Ana Tlacotenco, en la Sierra Chichinautzin al sur de la Cuenca de México. En L. Barba Pingarrón (Ed.), *Estudios interdisciplinarios sobre un mamut y su contexto* (pp. 145-170). Red Conacyt.
- Jiménez González, R. B., Acosta Ochoa, G., Cervantes Rosado, J., Ortiz Butrón, A. y Cruz Palma, J. E. (2021). Las jarras efígie del sur de la Cuenca de México: Un análisis sobre su contenido y su funcionalidad. *Ancient Mesoamerica*, 32, 300-315.
- López Varela, S., Ortiz, A. y Pecci, A. (2005). Ethnoarchaeological study of chemical residues in a «living» household in Mexico. En H. Kars. y E. Burke (Eds), *Geoarchaeological and Bioarchaeological Studies. Vol. 3: Proceedings of the 33rd Symposium on Archaeometry, April 2002, Amsterdam* (pp. 19-22). Vrije Universiteit.
- Mejía, E. y Barba, L. (1988). «El análisis de fosfatos en la arqueología: Historia y perspectivas». en *Anales de Antropología*, 25(1), 127-147.
- Méndez Torres, E., Acosta Ochoa, G. y Ortiz Butrón, A. (2011). Ritualidad y vida cotidiana: Análisis químicos de vasijas domésticas en depósitos cerámicos de cuevas zoques. En G. Acosta Ochoa (Ed.), *Arqueología de la vida cotidiana. Espacios domésticos y áreas de actividad en el México antiguo y otras zonas culturales. VII Coloquio Pedro Bosch Gimpera* (pp. 279-297). Instituto de Investigaciones Antropológicas, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Middleton, W. D. (2004). Identifying chemical activity residues in prehistoric house floors: a methodology and rationale for multi-elemental characterization of a mild acid extract of anthropogenic sediments. *Archaeometry*, 46(1), 47-65.
- Middleton, W., Barba, L., Pecci, A., Burton, J., Ortiz, A., Salvini, L. y Rodríguez, R. (2010). The study of archaeological floors. Methodological proposal for the analysis of anthropogenic residues by spot test, ICP-OES and GC-MS. *Journal of Archaeological Method and Theory*, 17, 183-208.

- Novillo Verdugo, M. Á. y Esparza López, R. (2016). Análisis químico y de almidones en la determinación de usos de tinajas arqueológicas en el sitio Guachimontones (México). *Arqueología Iberoamericana*, 8(29), 57-61.
- Núñez Cortés, Y. y Barba Pingarrón, L. (2023). Aproximación a las prácticas culinarias en Lomas Entierros, Costa Rica: una perspectiva desde el análisis de residuos químicos en recipientes cerámicos. *Trace*, (84), 131-161.
- Obregón, M. y Barba, L. (2021). Identificación de residuos de cenizas y sangre en cazuelas, sahumerios y braseros arqueológicos de Santa Cruz Atizapán. En Y. Sugiura Yamamoto, G. Jaimes Vences, M. del C. Pérez Ortiz y R. Nieto Hernández (Coords.), *El estudio de la cerámica cotidiana del Valle de Toluca desde una perspectiva arqueométrica* (pp. 137-150). El Colegio Mexiquense.
- Obregón M., López, F., Acosta, G., García V. H., Barba, L. y Ortiz, A. (2020). Los residuos químicos de recipientes cerámicos empleados en la producción de miel de la abeja nativa (Meliponini) En la Sierra Norte-Oriente De Puebla. Un estudio etnoarqueológico. En M. A. Castillo (Coord.), *Estudio transdisciplinario de meliponicultura en la región de Cuetzalan, Puebla. Análisis etnocientífico, etnoarqueológico y etnobiológico de la producción de miel virgen* (pp. 97-110). Instituto de Investigaciones Antropológicas, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Ortiz Butrón, A. (1990). *Oztoyahualco: Estudio químico de los pisos de un conjunto residencial Teotihuacano* [Tesis de Licenciatura, Escuela Nacional de Antropología e Historia].
- Ortiz Butrón, A. (1991). El uso de los análisis químicos en arqueología. Estudio químico en Oztoyahualco. *Cuadernos de Arquitectura Mesoamericana*, (15), 41-50.
- Ortiz Butrón, A. (1996, 5-11 de agosto). *Estudio químico del piso de la tumba 3. Bolaños, Jalisco* [Ponencia] XXIV Mesa Redonda de la Sociedad Mexicana de Antropología Tepic, Nayarit.
- Ortiz Butrón, A. (2012, 3-5 de octubre). *Estudio químico de los pisos del subconjunto Este del Gran Basamento de Cacaxtla a través de pruebas spot test y XRF para la determinación de áreas de actividad* [Ponencia]. Congreso Interno del Instituto de Investigaciones Antropológicas de la Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México.
- Ortiz Butrón, A. (2015). *Determinación de las características de un barrio teotihuacano con arqueometría. El caso de Teopancazco* [Tesis doctoral en Antropología, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional Autónoma de México].
- Ortiz Butrón, A. (2021). Las bebidas rituales en Mesoamérica. *Arqueología Mexicana*, 28(168), 40-49.
- Ortiz Butrón, A. (2025). El uso de técnicas de residuos químicos mediante pruebas de spot test como método de verificación de contextos forenses. La experiencia desde la arqueología y paleontología. *Revista Chicomoztoc*, 7(14), 108-143.
- Ortiz, A. y Barba, L. (1992). Estudio químico de los pisos del Satunsat en Oxkintok, Yucatán. *Oxkintok 4. Misión Arqueológica de España en México. Proyecto Oxkintok* (pp. 26-119). Instituto de Conservación y Restauración de Bienes Culturales.
- Ortiz, A. y Barba, L. (1993). La química en el estudio de áreas de actividad. En L. Manzanilla (Ed.), *Anatomía de un conjunto residencial teotihuacano en Oztoyahualco. Vol. II. Los estudios específicos* (pp. 617-660). Instituto de Investigaciones Antropológicas, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Ortiz A. y Terreros, M. (2007, 6-10 de agosto). *Interpretación de residuos químicos en los pisos del Palacio, Cacaxtla, Tlaxcala* [Ponencia]. XXVIII Mesa Redonda de la Sociedad Mexicana de Antropología «Derechos humanos: pueblos indígenas, cultura y nación», Ciudad de México.

- Ortiz, A., Arroyo, J., Barba, L. y Blancas, J. (2015). Problemática de excavación del contexto *mammuthuscolumbi* y su interpretación. En L. Barba (Ed.), *Estudios interdisciplinarios sobre un mamut y su contexto* (pp. 51-80). Red Conacyt.
- Ortiz A., Barba, L. y Pecci, A. (2017). Lo tangible de lo intangible: los residuos químicos como medio para estudiar las actividades rituales del pasado. En A. Ortiz (Ed.), *Las ciencias aplicadas al estudio del patrimonio cultural* (pp. 223-260). Red de Ciencias Aplicadas a la Investigación y Conservación del Patrimonio Cultural; Instituto de Investigaciones Antropológicas, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Ortiz A., Pecci, A. y Barba, L. (2018). Las actividades del centro de barrio de Teopancazco a partir de sus residuos químicos. En L. R. Manzanilla (Ed.), *Teopancazco como centro de barrio multiétnico de Teotihuacan. Los sectores funcionales y el intercambio a larga distancia*. Instituto de Investigaciones Antropológicas, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Ortiz, A., Barba, L., Terreros, M., Jiménez, B., Vázquez, L., Barrera, R. y Aguayo, E. (2019). Análisis químico de las ofrendas recuperadas en La Plaza Manuel Gamio. En L. López Luján y X. Chávez Balderas (Coords.), *Al pie del Templo Mayor en Tenochtitlan. Estudios en honor de Eduardo Matos Moctezuma. Volumen II* (pp. 85-108). El Colegio Nacional.
- Ortiz, A. y Barba, L. (2023). La Nixtamalización, importante innovación Mesoamericana y el estudio de residuos químicos en comales. En J. Zurita, A. Ortiz y D. Martínez (Eds.), *La innovación en el México prehispánico* (pp. 55-62). Instituto de Investigaciones Antropológicas, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Palomero Sánchez, M. Á. (1989). Informe sobre los objetos de Oxkintok. Temporada 1988. *Oxkintok 2. Misión Arqueológica de España en México. Proyecto Oxkintok* (pp. 93-107). Instituto de Conservación y Restauración de Bienes Culturales.
- Pascual Soto, A., Barba Pingarrón, L. y Cerritos Flores, R. (2023). Linajes y señores en El Tajín del período Epiclásico. Una tumba en el Conjunto Arquitectónico del Edificio de las Columnas. *Anales de Antropología*, 57(1), 9-17.
- Pecci, A. y Ortiz, A. (2001, 4-6 de mayo). *El estudio de estructuras arqueológicas del centro de México a través del análisis químico de sus pisos* [Ponencia]. XXIII Convegno Internazionale di Americanistica, Perugia.
- Pecci, A., Valdambrini, C. y Bellucci, V. (2007). Analisi delle sepolture di San Pietro (Grosseto) e Castel di Pietra (Gavorrano, GR): distribuzione spaziale dei residui organici. *Atti del IV Congresso Nazionale AIAR*, Pàtron, Bologna: 731-739.
- Pecci, A., Ortiz, A. y López, S. (2011). Tracce chimiche delle attività umane: distribuzione spaziale dei residui in una abitazione-laboratorio di ceramica a Cuentepec (Messico). En F. Lugli, A. Stoppiello y S. Biagetti (Eds.), *Proceedings of the 4th Congress of Ethnoarchaeology, Rome, 17-19 May 2006* (pp. 189-192). Archaeopress, British Archaeological Reports.
- Pecci, A., Cau, M. Á. y Garnier, N. (2013). Identifying wine and oil production: analysis of residues from Roman and Late Antique plastered vats. *Journal of Archaeological Science*, 40(12), 4491-4498.
- Pecci, A., Ortiz, A. y Barba, L. (2017). Los residuos químicos de la producción de pulque. Etnoarqueometría y arqueología experimental. *Anales de Antropología*, 51(1), 39-55.
- Pérez Ortiz de Montellano, M. del C., Hernández Martínez, K. y Obregón Cardona, M. (2021). Aproximación al uso cotidiano de recipientes cerámicos: El estudio sistemático de residuos químicos, Santa Cruz Atizapán en el Valle de Toluca. En Y. Sugiura Yamamoto, G. Jaimes Vences, M. del C. Pérez Ortiz y R. Nieto Hernández (Coords.), *El estudio de la cerámica cotidiana del Valle de Toluca desde una perspectiva arqueométrica* (pp. 117-133). El Colegio Mexiquense.

- Rivera Dorado, M. y Ferrándiz Martín, F. (1989). Excavaciones en el Satunsat. *Oxkintok 2. Misión Arqueológica de España en México. Proyecto Oxkintok* (pp. 63-75). Instituto de Conservación y Restauración de Bienes Culturales.
- Wells, E. C. y Moreno Cortés, J. E. (2010). Chimie du sol et activités humaines anciennes: les exemples archéologiques du Mexique et d'Amérique centrale. *Étude et Gestion des Sols*, 17(1), 67-78.
- Zacarías Salcedo, H. M., Ortiz Butrón, A., Hernández Grajales, M. y Padilla Gutiérrez, E. F. (2024). ¿Qué contenían las vasijas Capacha? Un análisis exploratorio por medio de residuos químicos. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 76(2).
<http://dx.doi.org/10.18268/BSGM2024v76n2a210324>