

Nuevo instructivo

SUBDIRECCIÓN DE LABORATORIOS Y
APOYO ACADÉMICO, INAH



INSTITUTO NACIONAL DE ANTROPOLOGÍA E HISTORIA

Nuevo instructivo

Subdirección de Laboratorios y
Apoyo Académico, INAH
(Moneda 16, Centro Histórico, México, DF)

Primera edición, 2011

© INSTITUTO NACIONAL DE ANTROPOLOGÍA E HISTORIA
© Fotografía de la portada: Óscar Solís

Córdoba 45, colonia Roma
Delegación Cuauhtémoc
CP 06700, México, DF

www.inah.gob.mx
coordinacion.cnd@inah.gob.mx



Queda prohibida la reproducción parcial o total, directa o indirecta del contenido de la presente obra, sin contar previamente con la autorización expresa y por escrito de los editores, en términos de la Ley Federal del Derecho de Autor, y en su caso de los tratados internacionales aplicables, la persona que infrinja esta disposición se hará acreedora a las sanciones legales correspondientes.

Impreso y hecho en México
Printed and made in Mexico

INSTITUTO NACIONAL DE ANTROPOLOGÍA E HISTORIA

Nuevo instructivo

INSTITUTO NACIONAL DE ANTROPOLOGÍA E HISTORIA

Nuevo instructivo

SUBDIRECCIÓN DE LABORATORIOS Y
APOYO ACADÉMICO, INAH

Presentación

En el umbral del siglo XXI, es imposible concebir un estudio de investigación antropológica, particularmente arqueológica, sin el apoyo de las ciencias de la tierra y de la vida. El objetivo principal de este instructivo es mostrar a los integrantes del Instituto Nacional de Antropología e Historia que requieren de la colaboración de investigadores especialistas, las posibilidades y los alcances de los estudios que se realizan en cada laboratorio de la Subdirección de Laboratorios y Apoyo Académico (SLAA); además de explicar los tipos de colaboración y los pasos y requisitos que se deben seguir para solicitar estudios de laboratorio y apoyo de los investigadores. Este nuevo instructivo concentra el esfuerzo de los integrantes de la SLAA, quienes esperan sea un instrumento informativo y de consulta, de utilidad tanto para los que requieran la colaboración de los laboratorios como para quienes deseen ampliar sus horizontes de investigación y de conservación del patrimonio cultural de México.

1. Introducción

En 1961, el profesor José Luis Lorenzo Bautista fue nombrado jefe del Departamento de Prehistoria del Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH). Con su visión futurista y la experiencia adquirida durante su estancia en la Universidad de Londres, donde estudió bajo la tutela de Frederick Zeuner y Vere Gordon Childe, comenzó a integrar un grupo de laboratorios especializados. Para entonces, la idea era desarrollar investigaciones sobre el entorno ambiental, fundamentales para la arqueología prehistórica. Así, en principio, crea dos laboratorios enfocados directamente a la relación hombre-ambiente natural, los llama laboratorios de Paleozoología y Paleobotánica; posteriormente, instaura otros dos laboratorios: el de Geología y petrografía, y el de Análisis de suelos, sedimentos y química.

Varios años más tarde, el ingeniero Joaquín García Bárcena, nuevo jefe del Departamento de Prehistoria, se encarga de continuar la tarea; en 1980 conforma, primero, el Laboratorio de Fechamiento y, después, el

Laboratorio de Rayos X. En éste se realizaban análisis de difracción y de fluorescencia de material arqueológico, a partir de un equipo donado por el Gobierno de Japón, en 1982.

Tiempo después, y aun cuando en 1989 desaparece el Departamento de Prehistoria y se crea la actual Subdirección de Laboratorios y Apoyo Académico (SLAA), continúa la apertura hacia nuevas disciplinas con el fin de entender con mayor detalle las circunstancias ambientales en las cuales vivieron las antiguas sociedades. Es entonces cuando, a partir de otra serie de donaciones también del gobierno japonés, se inician los estudios de prospección geofísica gracias a un equipo de radar de penetración terrestre, recibido en 1996. Igualmente comienzan los análisis puntuales de muestras arqueológicas realizados con un microscopio electrónico de barrido, que se recibió en 2001. De esta manera, se forman los laboratorios de Geofísica y de Microscopía electrónica de bajo vacío; a éste se agregó, en 2008, equipo nuevo de Rayos X y Raman. Recientemente, en 2009, se crea el Laboratorio de Geomorfología, cuyo objetivo es realizar investigaciones sobre el paisaje natural por medio de sistemas de información geográfica e interpretación de imágenes diversas. En la actualidad, la SLAA cuenta con los siguientes laboratorios: Arqueobotánica, Arqueozoología, Fechamiento, Geofísica, Geología, Geomorfología, Microscopía electrónica de bajo vacío, Química y suelos, y Rayos X.

1.1 FINALIDAD DEL INSTRUCTIVO

En 1982, aparece la primera edición de un instructivo generado por la entonces Sección de Laboratorios del Departamento de Prehistoria; su objetivo era dar a conocer los laboratorios que conformaban la Sección e informar respecto a las características de las muestras que se podían recibir, los rubros cubiertos en los informes que se entregarían y las aplicaciones arqueológicas de los análisis realizados. Asimismo, se señalaba la manera como debían entregarse las muestras para su estudio y la documentación que debía acompañarla.

Ahora, a casi 30 años de la publicación de ese primer instructivo, ante

la reestructuración académica de los laboratorios y considerando la aplicación de técnicas novedosas, resulta indispensable dar a conocer a la comunidad de investigadores, tanto interna como externa del INAH, el *Nuevo instructivo* de los laboratorios de la Subdirección de Laboratorios y Apoyo Académico, del Instituto Nacional de Antropología e Historia. Por ello, se ofrece la presente adición, en la cual se precisan los nuevos y diferentes tipos de estudios, así como las necesidades y características de los materiales sujetos a investigación para, con ello, garantizar resultados científicos confiables y de aplicación real. Es conveniente señalar que, mediante estos estudios, los investigadores adecuan los procedimientos de análisis existentes y pueden, además, modificarlos según los avances tecnológicos e incluso establecer nuevas técnicas y parámetros de referencia.

Una parte muy importante de las actividades realizadas en los laboratorios es la conformación de las Colecciones de Referencia, las cuales se integran con materiales tanto arqueológicos como actuales. Estas colecciones se han ido formando con los restos biológicos y geológicos obtenidos en las investigaciones arqueológicas y no arqueológicas de los últimos 60 años, y han servido como material de comparación para respaldar diversas investigaciones en el ámbito arqueológico o propio de cada disciplina.

Las colecciones se han conformado por medio de dos procedimientos: con las colectas realizadas específicamente para aumentar los acervos, y con la integración, al final de su análisis, de los materiales arqueológicos que han sido estudiados e identificados, siempre y cuando el solicitante del estudio no pida su devolución. El crecimiento, el mantenimiento y el cuidado de las colecciones son procesos continuos y fundamentales para la investigación científica, que demandan una buena parte del tiempo del personal técnico y científico de la SLAA.

El instructivo está organizado de la forma siguiente: primero se presentan los requisitos generales para que la Subdirección acepte tanto muestras para un estudio específico como solicitudes de apoyo de los investigadores, para planear un proyecto de investigación específica. En segundo término, se presenta cada laboratorio, en orden

alfabético, con información sobre los siguientes temas generales: 1) Funciones; 2) Equipo y tipos de estudios; 3) Técnicas aplicadas; 4) Materiales a los que se aplican; 5) Características de las muestras y notas sobre su procesamiento; 6) Aplicaciones arqueológicas e informes de resultados; 7) Si es el caso, formato de solicitud obligatorio y específico de cada laboratorio, y 8) Perfil académico de los investigadores.

Finalmente, cabe mencionar que los investigadores pertenecientes a cada laboratorio son responsables del contenido de los textos que a continuación se exponen.

1.2 SOLICITUDES DE COLABORACIÓN PARA INVESTIGACIONES Y REQUISITOS DE INGRESO Y RECEPCIÓN DE MUESTRAS

Con el propósito de aprovechar al máximo los recursos de cada laboratorio, es necesario que el director del proyecto o el investigador interesados en un análisis cumplan con los siguientes requisitos, además de acordar la colaboración de los especialistas respectivos:

1. Oficio de solicitud, en papelería oficial, del director del proyecto, dirigido a la Subdirección de Laboratorios y Apoyo Académico con copia al laboratorio en cuestión. En caso de tesis será necesario que el director de la tesis firme la carta-solicitud y se responsabilice por el tesista. Para solicitar la colaboración directa de alguno de los especialistas (por ejemplo en el caso de una prospección geofísica o de una asesoría de campo), sólo debe entregarse el oficio.
2. Un escrito, de 1 a 2 cuartillas, en el que se expongan los objetivos del proyecto de investigación y la contribución que se espera obtener con el estudio o los aná-

lisis solicitados. Asimismo, se debe incluir el apoyo financiero que se daría a la investigación específica, y la duración esperada de la investigación en corto y largo plazo. Si el solicitante desconoce qué tipo de análisis es el más factible para responder a sus preguntas de investigación, se le puede asesorar antes de que entregue las muestras.

3. Una lista de las muestras entregadas, incluyendo la información básica (véanse formatos anexos) de las investigaciones arqueológicas (e.g. número de bolsa o muestra, unidad de excavación, nivel, fecha, etcétera). En caso de bolsas con huesos, se requiere una lista por cada bolsa; pero si se trata de muestras para radiocarbono o rocas/minerales, debe entregarse una lista por muestra.
4. Solicitud de entrada (incluir formato anexo). El investigador solicitante del estudio debe llenar y firmar el formato de entrada, proporcionar su dirección de correo electrónico y un número telefónico adonde pueda ser contactado. A esta solicitud de entrada se le asignará una clave para ser identificada. No se revisarán solicitudes sin clave de entrada.
5. No se aceptarán muestras sin la documentación de entrada correspondiente y tampoco sin el llenado de las formas de entrada particulares de cada laboratorio.
6. Además de los documentos indicados en los puntos 1-4, cada laboratorio requiere información específica para realizar el estudio solicitado; por ello, el investigador debe entrevistarse con el personal del laboratorio respectivo para saber si es necesario cumplir con algún requisito adicional.
7. En caso de que la Subdirección conjuntamente con el jefe del laboratorio en cuestión determinen que las

muestras no cumplen con los requisitos establecidos o bien, sin no está claro el objetivo de la investigación, las muestras serán devueltas (sin ser estudiadas) al responsable del proyecto. Por lo mismo, es necesario cumplir con el punto anterior para que, como resultado de esa entrevista, sea posible definir los alcances, tiempo de ejecución y forma de colaboración.

8. Las investigaciones que se llevan a cabo en los laboratorios son regularmente para proyectos y personal del INAH; si un proyecto o investigador externo a este instituto requieren de un estudio o análisis particular, deberá pactarse por medio de un Convenio de Colaboración.
9. Las conclusiones y los resultados obtenidos por el investigador son propiedad intelectual del mismo, por lo que en caso de utilizarlos en publicaciones, primero se deberá solicitar un permiso oficial de uso para ser citados con las atribuciones pertinentes.
10. Las publicaciones, ponencias y tesis que utilicen los datos derivados de las investigaciones realizadas en los laboratorios deberán agradecer el apoyo de los mismos. En el caso de libros, capítulos de libros y tesis, deberán donar una copia original a la biblioteca *José Luis Lorenzo Bautista* de la Subdirección de Laboratorios y Apoyo Académico.

SOLICITUD GENERAL DE ENTRADA



INAH

INSTITUTO NACIONAL DE ANTROPOLOGÍA E HISTORIA
SUBDIRECCIÓN DE LABORATORIOS Y APOYO ACÁDEMICO

NÚMERO DE ENTRADA: _____

Laboratorio de: _____ Núm. de informe: _____

Descripción del material:

Tipo de estudio o trabajo que solicita:

Número de muestras o bolsas de materiales:

Obtención:

Procedencia:

Institución o propietario:

Entregado por: _____ Fecha: _____

Informe recibido por: _____ Fecha: _____

Material devuelto a: _____

Vo. Bo. Subdirector

Vo. Bo. Jefe de Laboratorio

FORMATO PARA LA SOLICITUD DE ANÁLISIS DE MATERIALES

NO ESCRIBIR EN ESTE ESPACIO

Laboratorio: _____ Núm. de orden _____

Tipo de estudio: _____

Fecha de entrada: _____ Recibió: _____

Núm. de muestra del laboratorio: _____

Núm. de informe: _____ Fecha: _____ Autor: _____

Recibió informe: _____ Recibió materiales: _____

SOLICITANTE

Dependencia o institución: _____ Director o jefe: _____

Proyecto: _____ Encargado: _____

Colector: _____ Fecha de colecta: _____

Fecha de solicitud: _____ Recibió solicitud y muestras: _____

Devolución de las muestras al terminar su estudio: SÍ () NO ()

LOCALIDAD

Sitio: _____ Municipio y estado: _____

Latitud (UTM norte) _____ Longitud (UTM este): _____ Altitud en MSNM: _____

Clase de sitio: _____

(abierto, cueva, centro ceremonial, etcétera)

Descripción topográfica: _____

(cima, ladera, costa, valle, cuenca, laguna, río, etcétera)

Vegetación natural o cultivada que cubre el sitio: _____

(bosque, matorral, pradera, cultivo, etcétera)

ANEXAR

a) Plano del sitio o área, con la cuadrícula de excavación o la nomenclatura indicativa de la situación espacial de los materiales o muestras.

b) Cortes o secciones a escala donde se indique la localización de los materiales o muestras.

MUESTRAS

Núm. _____ Descripción: * _____

Localización espacial: * _____

(cuadro, coordenadas X,Y, etcétera)

Localización estratigráfica: * _____

(capa, coordenada Z, etcétera)

Contexto del que proviene(n) la(s) muestra(s): * _____

(entierro, ofrenda, hogar, núcleo, edificio, etcétera)

Materiales arqueológicos, geológicos, pedológicos, botánicos o zoológicos a los que la(s) muestra(s) esté(n) asociada(s): *

Posición cronológica aproximada* (si se conoce):

Información específica que se desea obtener de la(s) muestra(s): _____

Importancia arqueológica de esta información: _____

Observaciones: _____

* En solicitudes que incluyan más de una muestra, proporcionar esta información para cada una, siempre que las muestras difieran de una a otra, en una relación anexa. Si las muestras son de materiales arqueológicos, se indicará en la descripción su clasificación arqueológica y se anexará copia del informe de la clasificación empleada.

2. Laboratorio de Arqueobotánica

2.1 FUNCIONES

El Laboratorio de Arqueobotánica se encarga de la identificación e interpretación de materiales botánicos recuperados en los proyectos de investigaciones arqueológicas, aprobadas por el Consejo de Arqueología del INAH.

Este tipo de trabajos aportan datos complementarios a los proyectos arqueológicos, cuando es posible recuperar material de origen vegetal. Los restos orgánicos que se recuperan en estos lugares pueden ser útiles en la reconstrucción de paleoambientes, y para dar una perspectiva acerca de cómo el hombre ha utilizado los recursos de su entorno en épocas pasadas.

Con fines comparativos y de referencia, en el Laboratorio de Arqueobotánica también se llevan a cabo inves-

tigaciones sobre la flora y vegetación actuales, así como diagnósticos fitoecológicos de las zonas de interés arqueológico. En este marco es posible desarrollar proyectos relacionados con el estudio específico de plantas que han sido o son importantes para las poblaciones humanas, ya sea como fuente de materia prima, como alimento o bien como elemento medicinal o ritual.

El análisis arqueobotánico se realiza en el laboratorio, pero se recomienda tomar en cuenta la participación de alguno(s) de los integrantes de esta área, desde la presentación del proyecto arqueológico al Consejo de Arqueología. De esta manera, el botánico podrá proponer el lugar de toma de muestras y la metodología a seguir. En este aspecto resulta de suma importancia la comunicación entre biólogos y arqueólogos.

Los académicos del Laboratorio de Arqueobotánica intervienen en las investigaciones de las siguientes maneras:

Informe interno de investigación. Documento inédito que se entrega con los datos resultantes, producto del análisis de los materiales enviados al laboratorio, procedentes de diferentes sitios arqueológicos.

Apoyo a proyectos arqueológicos realizados fuera del país, para los cuales se solicita la participación de algún integrante del laboratorio.

Realización de proyectos internos del laboratorio, concernientes al estudio arqueobotánico de alguna(s) planta(s) en particular, de cierta área o bien mediante la formación de colecciones de referencia o catálogos relacionados con la investigación arqueobotánica.

Artículo científico. Documento producto del trabajo individual o colectivo, que se publica en revistas del INAH o en revistas nacionales e internacionales, fuera del INAH.

Artículos de divulgación. Documento que da a conocer, de manera general, parte de las actividades realizadas por los investigadores del laboratorio en diversos proyectos.

2.2 EQUIPO Y TIPOS DE ESTUDIOS

Equipo

El Laboratorio de Arqueobotánica cuenta con microscopios estereoscópicos y ópticos, además de materiales de laboratorio pertinentes (mallas de diferente graduación, reactivos, cristalería, equipo de cómputo, entre otros), suficientes para cubrir las necesidades de trabajo de las investigaciones arqueológicas del INAH.

Tipo de estudios

Análisis palinológicos

La palinología es la rama de la botánica encargada del estudio de los granos de polen, esporas y otras estructuras microscópicas englobadas en el término de palinomorfos. Tomando en cuenta que la vegetación representa uno de los mejores parámetros para determinar las condiciones ecológicas de un lugar, el análisis polínico constituye un método de registro, descripción y representación de la misma, que auxilia en la reconstrucción y en el establecimiento de ella (la vegetación) y de la flora pasadas.

Los resultados que aporta el método serán útiles en la medida que el análisis haya sido concebido, programado y ejecutado con el debido rigor científico. El punto de partida es la adecuada elección del sitio de toma de muestras. El análisis tiene como meta la reconstrucción de un ambiente natural, por ello debe ponerse especial atención en seleccionar una zona de captación y acumulación de materiales terrígenos, sensible a las modificaciones climatológicas, con sedimentación continua, estratificada, de baja energía, preferiblemente de textura arcillo limosa, pH perineutro y sobre todo sin perturbación humana, animal (por ejemplo tuceros o galerías de insectos y anélidos) o vegetal (raíces).

Los sedimentos lacustres obtenidos en depósitos de agua funcionales o bien en cuencas desecadas, pero inalteradas, y los sedimentos turbosos constituyen la mejor elección para obtener las muestras. Debido a que esta primera etapa es fundamental para el éxito del análisis, sin excepción ni excusa, la elección del sitio de muestreo debe determinarse, decidirse y acordarse de manera conjunta, entre el arqueobotánico y el responsable titular del proyecto arqueológico. No se dará trámite a solicitud alguna que no cumpla con este requisito elemental.

Identificación de semillas, frutos, maderas y textiles

Como se mencionó líneas atrás, el estudio de este tipo de materiales arroja información de carácter etnobotánico que facilita la comprensión de algunos fenómenos de interés social, mediante el planteamiento de hipótesis sobre prácticas rituales, intercambios y desarrollo comerciales y hasta formas de organización social.

En vista de que el objetivo es esclarecer las relaciones hombre-planta, estas muestras, a diferencia de las destinadas al análisis polínico, deben proceder de sedimentos relacionados directamente con sitios de ocupación humana y, por lo mismo, las inhabilitan para intentar establecer inferencias arqueocológicas confiables.

2.3 TÉCNICAS APLICADAS

Los materiales trabajados en el Laboratorio de Arqueobotánica, en su mayor parte, requieren de la aplicación de técnicas de recuperación, cuyas características dependerán del tipo de muestra y del estado de conservación de la misma. Generalmente, para el estudio de macrorrestos (semillas, frutos, flores), una vez que los materiales se reciben en el laboratorio, se someten

a “flotación”, para llevar a cabo la separación e identificación. Sin embargo, en el caso del análisis de polen, de madera o de fibras, se requiere de una preparación previa de los mismos, para su posterior montaje en laminillas y su estudio e identificación bajo el microscopio.

La flotación se aplica a muestras de sedimentos y puede considerarse como un procedimiento no destructivo, pues no lesiona ninguna pieza de naturaleza cultural. En el mismo sentido se encuentran las técnicas para el estudio de los granos de polen y madera. En el caso de las fibras, la muestra que se requiere para el estudio puede considerarse mínima y su toma no dañaría una pieza cultural.

2.4 MATERIALES A LOS QUE SE APLICA

Las muestras por analizar, que generalmente son sedimentos (para análisis de macrorrestos), madera (normal o carbonizada), fibras (cestería, cordelería o textiles) y polen, deberán estar acompañadas necesariamente por la correspondiente solicitud de estudio (formato anexo), en la cual se proporcione toda la información solicitada; además de la copia de un plano del sitio de procedencia de las muestras, donde se aprecie la posición espacial de los materiales, y cortes estratigráficos a escala donde se indique su localización.

2.5 CARACTERÍSTICAS DE LAS MUESTRAS Y NOTAS SOBRE SU PROCESAMIENTO

Para realizar el estudio y manejo de material de la mejor manera posible, es necesario que las muestras por analizar, cumplan con una serie de características de tamaño y cantidad, de acuerdo con el tipo de material de que se trate y el análisis solicitado.

Sedimentos

Las muestras de sedimentos para flotación no deberán tener un peso mayor a mil gramos. En ciertos casos, cuando se solicita el análisis del contenido de vasijas, se debe extraer el sedimento que contienen y guardarse en bolsas de plástico, evitando la mezcla con materiales ajenos. La bolsa deberá entregarse sellada y con todos los datos escritos fuera de ella con un plumón de tinta indeleble.

Madera

Si el análisis requerido es la identificación de madera (normal o carbonizada), el tamaño de la muestra deberá ser, mínimo, de un centímetro cúbico y máximo, de ocho centímetros cúbicos.

Fibras

En el caso de análisis de fibras, bastará con enviar fragmentos de diez milímetros de longitud si se trata de textiles, y de 20 milímetros si la muestra es de cestería o cordelería.

Polen

Con relación al análisis palinológico, las muestras requieren un control más estricto. En primer lugar, es muy importante que el muestreo se realice adecuadamente, por ello debe solicitarse la asesoría y el apoyo de un integrante del laboratorio. Las muestras deben estar bien etiquetadas, selladas y tener un peso no mayor de 50 gramos cada una. Si están húmedas, es preciso agregar algunos cristales de fenol, para evitar el desarrollo de hongos. No todas las muestras de sedimentos provenientes de sitios arqueológicos son apropiadas para llevar a cabo un análisis polínico. Al respecto, es fundamental tener claro el objetivo de un estudio de este tipo y tomar en cuenta lo manifestado líneas atrás.

2.6. APLICACIONES ARQUEOLÓGICAS E INFORMES DE RESULTADOS

En términos generales, las investigaciones arqueobotánicas tienen dos vertientes. Por un lado, la determinación y reconstrucción de los arqueoaambientes o arqueopaisajes donde se desarrollaron los asentamientos humanos del pasado; por otro lado, la vertiente que se enfoca a esclarecer el uso que los antiguos pobladores dieron a ciertos vegetales, actividad englobada dentro del campo de acción de la arqueobotánica.

Para el primer caso, el análisis palinológico representa la herramienta fundamental; mientras que para los aspectos encaminados a esclarecer las interacciones hombre-planta, se privilegia el estudio de semillas, frutos, maderas y fibras, ya sean textiles, cordelería o cestería.

Los resultados de los análisis hechos en el Laboratorio de Arqueobotánica se entregan, mediante un informe, al titular de la Subdirección de Laboratorios, quien a su vez lo envía al investigador solicitante; una copia del informe se queda en el archivo correspondiente.

La intervención del personal del Laboratorio de Arqueobotánica en proyectos arqueológicos se sujeta a los siguientes aspectos:

Si se desea un análisis de materiales arqueobotánicos, el requisito es, sin excepción, que cumpla con los requerimientos antes mencionados.

Si se presenta una invitación para que uno de los integrantes del laboratorio en particular participe en un proyecto, será necesaria una solicitud por escrito dirigida al titular de la Subdirección de Laboratorios y Apoyo Académico, en la cual se expongan los objetivos y fundamentos del proyecto. Esta solicitud se hará llegar al Laboratorio de Arqueobotánica. La participación o imposibilidad de colaborar en el trabajo planteado se hará del co-

nocimiento del solicitante. En caso de que algún integrante del laboratorio participara en el proyecto en cuestión, los interesados definirán la estrategia apropiada para realizar el trabajo.

Los integrantes del laboratorio de Arqueobotánica tienen la libertad de participar o no en los proyectos arqueológicos, siempre y cuando los responsables de los mismos lo solicitan.

2.7 FORMATOS DE SOLICITUD

Los formatos que deberán llenarse son: “Solicitud General de Entrada” y “Formato para la Solicitud de Análisis de Materiales”, incluidos al principio del presente instructivo.

2.8 PERFIL ACADÉMICO DE LOS INVESTIGADORES

Aurora Montúfar López

Maestra en Ciencias por la UNAM. Se dedica al estudio de los restos de plantas hallados en contextos arqueológicos (arqueobotánica), gracias a los cuales obtiene datos botánicos que hablan del aprovechamiento de los vegetales por el hombre (en alimentos, medicina, abrigo, etcétera), en un tiempo y un lugar determinados; además de aportar información florística y paleoambiental muy valiosa. Ha escrito importantes artículos sobre la arqueobotánica de México; coordinó la publicación de tres libros sobre investigaciones etnobiológicas del pasado y el presente de México, y es autora de otros libros sobre arqueobotánica, etnobotánica y paleoambiente de Babícora, Chihuahua; el Bolsón de Mapimí, Coahuila, y Labná, Yucatán; en el ámbito de la etnografía, la biología y la historia, suscribe la obra *Los copales mexicanos y la resina sagrada del Templo Mayor de Tenochtitlan*, entre otros títulos.

María Susana Xelhuantzi López

Investigadora titular “C”. Es licenciada en Biología por la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del IPN, y maestra en Ciencias, con especialidad en Biología por la Facultad de Ciencias de la UNAM. Obtuvo el título de licenciatura en abril de 1983, defendiendo la tesis *Análisis palinológico del contenido gastrointestinal de los murciélagos Glossophaga soricina y Leptonycteris yerbabuena* de las *Grutas de Juxtlahuaca, Guerrero*, y el grado de maestría en febrero de 1991, sustentando la tesis *Estudio palinológico y reconstrucción paleoambiental del ex lago de Zacapu, Michoacán*. En mayo de 1982 ingresó al INAH, al entonces Departamento de Prehistoria, actual Subdirección de Laboratorios y Apoyo Académico. Su campo de investigación es la arqueobotánica, donde ha participado en más de 50 proyectos arqueológicos institucionales. De manera individual o en coautoría con otros especialistas, ha publicado más de 30 trabajos. En el terreno docente, ha impartido cursos de palinología y socioclimatología a nivel licenciatura y posgrado, y en el ámbito administrativo fungió como Subdirectora de Laboratorios y Apoyo Académico de 1995 a 1997. Su participación en reuniones científico-académicas, tanto en México como en el extranjero, rebasa el medio centenar.

José Luis Alvarado

Investigador titular “C”. Licenciado en Biología y maestro en Ciencias por la Facultad de Ciencias de la UNAM. Su línea de investigación es la arqueobotánica, con énfasis en el análisis de semillas, fibras textiles, madera y granos de polen. Fungió como Jefe del Laboratorio de Paleobotánica de la SLAA de 1998 a 2005. Ha realizado investigaciones relacionadas particularmente con elementos del género *Cucurbita* (calabazas) y *Helianthus* (girasol). Los resultados de sus investigaciones se han publicado en diversos artículos científicos y de divulgación. Ha impartido cursos de palinología y de análisis de materiales arqueobotánicos.

3. Laboratorio de Arqueozoología

Ticul Álvarez Solórzano

En el Laboratorio de Arqueozoología se realiza el estudio de los restos y las representaciones animales, tanto arqueológicos como paleontológicos, asociados a su contexto. El objetivo de los estudios es tratar de explicar la relación que existió entre el hombre, la fauna y el ambiente, en un espacio y un tiempo determinados.

Los materiales que se encuentran con mayor frecuencia, debido a su resistencia, son huesos y dientes; además de materiales calcáreos (concha, corales, equinodermos), quitinosos (artrópodos) o queratinosos (pelo, plumas), entre otros. La presencia de estos elementos, junto con sus características, frecuencia, abundancia y la asociación que guarden, en el sitio de depósito, con los demás elementos son aspectos que permiten inferir su historia, desde que formaban parte de organismos vivos hasta que fueron recuperados nuevamente (tafonomía).

3.1 FUNCIONES

La función primordial es estudiar los restos de fauna y sus representaciones culturales, para tratar de deducir cómo fue la relación entre los animales y los grupos humanos, en una temporalidad que va desde que el hombre parece en México hasta nuestros días. Este tipo de estudios parte, invariablemente, de la identificación taxonómica de las especies presentes, lo cual se logra con base en el conocimiento del especialista apoyado en bibliografía especializada y en las colecciones osteológica, malacológica, paleontológica y arqueozoológica del laboratorio.

A partir de la identificación positiva de la fauna, es posible tener acceso a información bibliográfica respecto de las especies: su biología, distribución, etología, usos, etcétera; aspectos útiles para los estudios arqueológicos y biológicos, en campos de estudio de disciplinas como la arqueozoología, la paleontología, la etnozoológica, la taxonomía y la paleoecología. Asimismo, se puede recabar información de aspectos culturales en que la especie en particular se reconoce.

Cuando la información disponible es insuficiente para responder los cuestionamientos que el material plantea, se generan investigaciones (proyectos) que permiten resolver las interrogantes. Con frecuencia, estas investigaciones requieren de trabajo de campo, bibliográfico o de laboratorio, lo cual incluye visitas a bibliotecas y colecciones de otras instituciones nacionales e internacionales.

Una de las tareas sustantivas es difundir las investigaciones arqueozoológicas, paleontológicas y biológicas generadas en el laboratorio, mediante la participación en congresos, impartición de conferencias y la producción y publicación de documentos diversos. No menos importantes son la asesoría y la dirección de investigaciones arqueozoológicas, como parte de la formación de personal.

Para cumplir con sus funciones, el Laboratorio de Arqueozoología cuenta con seis secciones: Área de gabinete, Cuarto de preparación central, Cuarto de preparación de megafauna, Co-

lecciones Osteológica y Malacológica de Referencia, Colección Arqueozoológica y Colección Paleontológica. A continuación se describen, someramente, las funciones de cada sección:

1. Área de gabinete

En el Área de gabinete se localiza el acervo bibliográfico de las colecciones, el archivo del laboratorio y el equipo de cómputo. Es el sitio donde se lleva a cabo, como su nombre lo indica, el trabajo de gabinete y la consulta bibliográfica, por parte tanto del personal como de personas ajenas al laboratorio.

2. Cuarto de preparación central

En esta sección se realizan actividades que involucran la utilización tanto de agua y sustancias químicas, como de material de disección y herramientas. Las tareas incluyen: identificación y preparación de ejemplares vertebrados diversos, con el fin de obtener su esqueleto (el cual formará parte de la Colección Osteológica de Referencia); la limpieza de conchas y caracoles (pasarán a la Colección Malacológica); limpieza, consolidación y restauración de los restos arqueológicos y paleontológicos pequeños y medianos, así como el cernido de muestras de suelo.

3. Cuarto de preparación de megafauna

En el Cuarto de preparación de megafauna tiene lugar la limpieza, la consolidación y la restauración de restos fósiles que, por su tamaño, requieren un espacio amplio para trabajar en ellos.

4. Colecciones Osteológica y Malacológica de Referencia

La función primordial de esta sección es albergar los ejemplares recientes de vertebrados y moluscos, principalmente mexicanos, que representan un apoyo

invaluable como referencia en la identificación final del material arqueológico o paleontológico. El área consta de dos sectores: el sitio que aloja las colecciones y un salón para su consulta, en donde también se realiza la curación de los ejemplares.

5. Colección Arqueozoológica

Esta colección alberga el material arqueozoológico que ha sido estudiado y quedó bajo resguardo del laboratorio, al no solicitarse su devolución. Como material de referencia, conforma un acervo muy valioso para llevar a cabo revisiones y plantear proyectos arqueozoológicos nuevos.

6. Colección Paleontológica

En esta colección se encuentra el material de fauna localizado en sedimentos del Pleistoceno final u Holoceno temprano, tanto de microfauna como de megafauna, entre los que se encuentran ejemplares tipo. También es utilizada como referencia en el estudio de material paleontológico. Es la única colección en México dedicada al Cuaternario y permite conocer la fauna que fue contemporánea al hombre prehistórico en México, aun cuando no se encuentre en contexto arqueológico.

3.2 EQUIPO Y TIPOS DE ESTUDIOS

Equipo

Para cumplir con las funciones descritas, el Laboratorio de Arqueozoología cuenta con el siguiente equipo:

1. Acervo bibliográfico

El laboratorio cuenta con un acervo bibliográfico es-

pecializado en osteología, malacología, arqueozoología, paleontología y etnozoología, principalmente de especies mexicanas, o estrechamente relacionadas con ellas, y del Pleistoceno temprano hasta el Holoceno. Se cuenta con tarjetero y con una base de datos.

2. Archivo

El archivo es el sitio donde se guardan las órdenes de entrada y los informes generados por el laboratorio desde sus inicios; también cuenta con un registro electrónico tanto de Órdenes de estudio como de material atendido en denuncias.

3. Colecciones Osteológica y Malacológica de Referencia

Además de las colecciones de referencia, esta sección cuenta con mobiliario diseñado de acuerdo con las necesidades: ficheros, archiveros, catálogos, mesas de trabajo, lámparas, instrumental para curar el material y manipular los ejemplares, microscopios estereoscópicos –uno de ellos cuenta con tubo de dibujo y otro, con cámara fotográfica mecánica es de uso exclusivo para el personal de investigación–, y dos lámparas con lupa, calibradores y una cámara digital para microscopio. La Colección Osteológica cuenta con base de datos.

4. Colección Arqueozoológica

Además de la colección, cuenta con una mesa para consulta y allí se almacena el equipo para colecta de campo, lo que incluye trampas, redes, hieleras, etcétera.

5. Colección Paleontológica

A la Colección Paleontológica como material de consulta, se suma una serie de literatura especializada; así como una mesa de trabajo y escaleras industriales.

6. Equipo de disección

Es el equipo necesario de disección para la preparación de ejemplares recientes, para su limpieza y etiquetado; incluye parrillas eléctricas, todo tipo de utensilios de cocina, frascos, cepillos, pinceles y charolas, así como etiquetas y estilógrafos.

7. Dermestario con puerta de seguridad

Los derméstidos son escarabajos cuyas larvas limpian los esqueletos de los restos de tejidos blandos que el preparador no puede retirar sin dañar el hueso.

8. Equipo para la limpieza, la consolidación y la restauración de restos arqueológicos y paleontológicos

Todo tipo de pinzas, espátulas, punzones, palillos, martillos para joyeros, taladros, rotomartillo, baño ultrasónico, cernidores, herramientas, recipientes, químicos y mesas de trabajo, necesarios.

9. Equipo de seguridad

Extractor, ventilador y equipo personal (mascarillas, guantes, goggles).

10. Congelador

En él se almacenan los ejemplares recientes que serán preparados como esqueleto.

11. Equipo de colecta de campo

Trampas de varios tipos, redes, postes, hieleras, cuerdas, bolsas de lona, etcétera.

Tipos de estudio

Entre los principales estudios que se realizan a los materiales están los siguientes:

Identificación de la fauna presente en el sitio

La posibilidad identificar los restos depende de las características diagnósticas que conservan, ya que hay piezas fuertemente intemperizadas o culturalmente alteradas, que han perdido todo rasgo morfológico con carácter taxonómico. En otros casos, hay piezas que, aun cuando pertenecen a grupos faunísticos distintos, son tan semejantes que tampoco es posible identificarlos, pese a estar bien conservados.

Contar con un nombre científico confiable es básico e indispensable, para desarrollar cualquier tipo de estudio, ya que permite el acceso a información respecto a tal especie, en la literatura especializada, por ejemplo el hábitat, la distribución actual, la apariencia en vida, si posee atributos que se consideren especiales, su etología, etcétera. Partiendo de esta información es posible conocer, entre otros aspectos, la procedencia de cada especie, si se capturó en los alrededores del sitio o si fue importada. En el caso de los organismos marinos puede definirse el océano o mar de procedencia. El conjunto faunístico indicará los ambientes a los que tuvo acceso la población y el grado de conocimiento que sobre él tenían, pues la proporción en que se aprovecha un recurso indica el nivel de conocimiento que se tiene del mismo.

Aun cuando los restos no puedan ser identificados, es posible observar características en el material que permitan determinar si hay marcas de destazamiento, cocción, exposición al fuego y otros procesos tafonómicos y diagenéticos.

Número mínimo de individuos presentes en el sitio

Este indicador en los grupos taxonómicos identificados permite conocer las especies más utilizadas y da idea de la accesibilidad y preferencia hacia cada una por parte del hombre. Además de la información etológica, es posible inferir la tecnología empleada en su obtención.

Sucesiones faunísticas

Si se tienen muestras de estratos culturales claramente definidos, es posible obtener sucesiones faunísticas, y con ello observar los cambios ocurridos en la abundancia y diversidad de la fauna, el posible acceso al recurso y los cambios en el gusto o uso de algunas de ellas.

Determinación del sexo, talla y edad relativa de los individuos

El sexo se puede determinar siempre que exista dimorfismo sexual en las especies y sólo cuando se cuente con los elementos óseos que así lo permitan. La edad puede estimarse con base en la dentición y grado de osificación, y la talla, por el tamaño de los huesos. La frecuencia de la presencia de ejemplares con alguno de estos atributos también ayuda a definir las preferencias de los pobladores por los grupos faunísticos, y muestra indicios de domesticación y manejo de rebaños.

Reconstrucciones paleoambientales

Los organismos tienen requerimientos ambientales, algunos más específicos que otros; en general, las especies indican el posible ambiente donde vivieron y, de acuerdo con lo específico de sus requerimientos, pueden dar información incluso en un nivel regional o local.

Los organismos con requerimientos ambientales muy específicos son excelentes indicadores de condiciones ambientales para áreas reducidas; entre ellos se encuentran los moluscos te-

rrestres, los roedores y, en general, los pequeños vertebrados. Este análisis da oportunidad de percatarse de la estabilidad del ambiente y de sus cambios que, con frecuencia, provocan modificaciones en la existencia, la composición y la distribución de las comunidades animales.

Por otra parte, si la fauna ha sido obtenida de columnas estratigráficas sedimentológicamente controladas, es posible registrar los cambios a lo largo del tiempo y hacer inferencias paleoecológicas confiables.

Marcas en los materiales

Las marcas culturales y naturales que presenten los restos son indicativas de eventos que ha sufrido la pieza y permiten determinar si fue o no utilizada y el posible fin utilitario. Además, el grado de conocimiento que el grupo humano tenía de la anatomía y características de la fauna, así como su avance tecnológico, puede evaluarse por la forma de destazar y trabajar los huesos y conchas.

Entre las evidencias posibles de observar están las huellas de corte, pulido, percusión, marcas de dientes de roedores o carnívoros, huellas de raíces o de la acción de larvas de insectos; pueden estar quemados, pintados, grabados, erosionados, etcétera.

3.3 TÉCNICAS APLICADAS (DESTRUCTIVAS Y NO DESTRUCTIVAS)

Limpieza

La limpieza del material varía de acuerdo con las condiciones en que se encuentren los restos. En ocasiones es suficiente el uso de pinceles y brocha, pero cuando el sedimento está adherido al material es necesario emplear agua, el baño ultrasónico e incluso pequeñas pulidoras, técnicas que no dañan el material. En caso de que se pretenda utilizar los restos para obtener ADN

o fechamiento, no deben tener contacto con materia orgánica –la piel de las manos, papel, etcétera– ni lavarse; en general, se deben tratar en condiciones estériles.

Consolidación

En el laboratorio se aplican básicamente dos técnicas de consolidación para hueso, ambas reversibles: una cuyo diluyente es el agua y la otra, la acetona. Para concha se usa otro consolidante.

Restauración

En el caso del material óseo, la restauración se realiza básicamente con el uso de acetato de polivinil y yeso para dentista.

Análisis

En general, las técnicas aplicadas en los estudios mencionados se basan en la observación, medición y cuantificación. Cuando es pertinente, se realiza algún otro estudio en un laboratorio o institución diferente; en estos casos, el material se destruye, tal es el caso del ADN o de los isótopos estables, en donde se requiere de un fragmento del elemento, por lo que se dice parcialmente destructiva. Por otra parte, si se utiliza hueso o concha para fechamiento, la muestra se destruye.

3.4 MATERIALES A LOS QUE SE APLICAN

Las técnicas de limpieza, consolidación y restauración se aplican sólo a los materiales de fauna que lo necesitan.

3.5 CARACTERÍSTICAS DE LAS MUESTRAS Y NOTAS SOBRE SU PROCESAMIENTO

Para efectuar los análisis mencionados, se requiere cumplir las normas que permiten manejar el material de forma sistemática, lo que facilita su estudio y su conservación; además de cumplir las ya citadas en manera general. Obtener la mayor cantidad de información a partir de los restos y el grado de especificidad que se logre dependerá de varios factores, entre ellos los siguientes:

De acuerdo con los objetivos del proyecto, será necesario que el especialista esté presente en algunos momentos de la excavación, para tomar personalmente las muestras o para brindar orientación en la toma de datos y en la recuperación de los materiales.

El total de restos deberá enviarse al finalizar la excavación, en orden y bien empacados, piezas completas y fragmentos trabajados y no trabajados. Debe evitarse enviar muestras que se consideren “representativas”, ya que no serán recibidas pues el análisis podría resultar parcial y conducir a conclusiones erróneas.

Cada paquete o bolsa, aun cuando esté dentro de otra que tenga etiqueta, debe contar con los datos completos de excavación; además, se debe tener cuidado al empacar la muestra, para evitar su deterioro.

Cuando se tengan fragmentos de hueso o concha que provengan de un mismo ejemplar o esqueleto completo, deberán empacarse juntos y llevar una nota que lo indique. Si el material no está en condiciones de levantarse, debe ser consolidado *in situ* antes de enviarlo.

El material debe acompañarse con los planos de excavación del lugar de donde fueron extraídos; en los planos debe ubicarse el sitio que ocupaba el material, la forma como se encontró, si presentaban alguna orientación especial y la relación que guardaban con los demás objetos y su entorno. Esta información per-

mitirá detectar si su presencia se debe a fines subsistenciales, si tiene un significado espiritual o si es accidental (intrusiva).

En los casos en que se determine tomar muestras de sedimento, será de 500 gramos de cada estrato, ya que en éste se buscará indicios de microfauna que permitan utilizarla como indicadora de condiciones ambientales.

Para ingresar los materiales al Laboratorio de Arqueozoología, el arqueólogo responsable del proyecto o estudio deberá elaborar sólo una orden de entrada para el material completo de un sitio, sin importar el número de muestras a entregar. De manera anexa presentará una relación de las muestras; en ésta puede agregar los comentarios específicos que estime convenientes para cada una de ellas.

Los materiales se separan para realizar el estudio, pero siempre conservan sus datos de excavación, pues se elaboran tantas etiquetas como sea necesario. Al término del análisis, el material se ingresa a la Colección Arqueozoológica del laboratorio, a menos que se solicite su devolución.

Cuando algún material sea de interés para incorporarlo a las colecciones, se solicitará el consentimiento de quien envía la muestra y, hasta contar con su anuencia, se integrará a la colección.

La identificación y el número de los restos se registra de acuerdo con los datos de excavación, en tarjetas que se emplean en la elaboración del informe y que se conservan y archivan para futuras consultas.

3.6 FORMATOS DE SOLICITUD

A continuación se presenta el formato complementario para la solicitud de análisis y el control de muestras de los estudios que se realizan en el Laboratorio de Arqueozoología.

SUBDIRECCIÓN DE LABORATORIOS Y APOYO ACADÉMICO, INAH
LABORATORIO DE ARQUEOZOOLOGÍA TICUL ÁLVAREZ SOLÓRZANO

DATOS DE LA LOCALIDAD

Proyecto: _____

Sitio: _____

Municipio y estado: _____

Latitud: _____ N, longitud: _____ W, altitud: _____ m

Clase de sitio: _____

(abierto, cueva, ceremonial, subacuático, otro)

Localización topográfica: _____

(cima, ladera, costa, valle, cuenca, laguna, río, otro)

Vegetación que cubre el sitio: _____

(bosque, matorral, pradera, cultivo, otro)

Cultura o área cultural: _____

INFORMACIÓN ESPECÍFICA QUE DESEA OBTENERSE DEL MATERIAL DE ESTUDIO:

Importancia y aplicación arqueológica del estudio solicitado: _____

Observaciones: _____

**RELACIÓN DE DATOS SOBRE LAS MUESTRAS
(DEBE ENTREGARSE EN RELACIÓN ANEXA)**

Número de muestra, elemento o bolsa.

Localización horizontal (cuadro, edificio, pozo, entierro, ofrenda, coordenadas X y Y, etcétera).

Localización estratigráfica (capa, nivel y coordenada Z [profundidad], etcétera).

Contexto de donde proviene la muestra (entierro, ofrenda, hogar, núcleo, edificio, etcétera).

Materiales arqueológicos, geológicos, pedológicos, botánicos y zoológicos a los que está asociada la muestra.

Posición cronológica aproximada.

Fecha de excavación.

Excavó.

Muestra			
Cuadro, edificio pozo, otro			
Coordenadas X, Y			
Capa y nivel			
Profundidad			
Contexto			
Materiales asociados			
Posición cronológica			
Fecha de excavación			
Excavó			

NOTA: La información debe proporcionarse completa a la entrega del material.

3.7 PERFIL ACADÉMICO DE LOS INVESTIGADORES

Joaquín Arroyo Cabrales

Profesor investigador titular “C” e investigador nacional nivel II. Licenciado en Biología por la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del Instituto Politécnico Nacional; obtuvo los grados de maestro en Museología y doctor en Ciencias (Zoología) por Texas Tech University. Sus principales líneas de investigación abarcan la taxonomía y la sistemática de los mamíferos del Cuaternario de México, así como estudios taxonómicos y paleoecológicos de los depósitos pleistocénicos en el país. Colabora activamente con el Programa para la Conservación de los Mamíferos Mexicanos. En su carrera académica ha impartido 27 conferencias nacionales y siete internacionales; 142 ponencias orales y carteles en 33 congresos nacionales y 47 internacionales. Ha obtenido financiamiento para proyectos de investigación de 20 agencias nacionales e internacionales. Es miembro de cinco sociedades científicas –unas nacionales y otras extranjeras–; ha fungido como evaluador académico en doce agencias y como árbitro en 22 revistas científicas; es editor asociado de cuatro revistas. Tiene 221 publicaciones académicas nacionales e internacionales, incluyendo 35 revistas indizadas.

Ana Fabiola Guzmán Camacho

Licenciada en Biología y maestra en Ciencias (Biología) por la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del Instituto Politécnico Nacional. Es doctora en Biología Evolutiva y Biodiversidad por la Universidad Autónoma de Madrid. Sus líneas de investigación se enfocan principalmente al estudio de los vertebrados, en particular los peces, con énfasis en la osteología, sistemática, arqueozoología y paleontología.

María Teresa Olivera Carrasco

Licenciada en Biología, egresada de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del Instituto Politécnico Nacional. Su trabajo como investigadora se ha desarrollado, principalmente, en el

estudio de vertebrados y moluscos, en particular en la taxonomía, osteología, arqueozoología y paleontología, con especial énfasis en los moluscos terrestres y dulceacuícolas actuales y del Pleistoceno final, como indicadores paleoambientales.

Norma Valentín Maldonado

Licenciada en Biología, egresada de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del Instituto Politécnico Nacional. Su principal línea de investigación tiene como eje temático a los moluscos, anfibios y reptiles actuales y arqueozoológicos. En los últimos años se ha especializado en el estudio de huellas de manufactura en artefactos de concha.

Fabiola Monserrat Morales Mejía

Licenciada en Biología, egresada de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del Instituto Politécnico Nacional. Su principal línea de investigación es la de los vertebrados, en particular la osteología de carnívoros del Cuaternario, presentes en contextos arqueozoológicos y paleontológicos.

4. Laboratorio de Fechamiento

Los arqueólogos utilizan diversos procedimientos para determinar la edad de un artefacto o de un contexto arqueológico. Existen dos categorías de técnicas cronométricas: las absolutas y las relativas. Durante mucho tiempo, el radiocarbono ha sido la técnica absoluta preferida; pero cuando en el contexto arqueológico no es posible encontrar material aceptable para obtener una fecha por radiocarbono, se utilizan otras técnicas más o menos precisas, por ejemplo: el arqueomagnetismo, la hidratación de obsidiana y la termoluminiscencia, que pueden dar la información requerida. Para que de una muestra se obtengan los resultados deseados, los investigadores deben evaluar no solamente la integridad del contexto arqueológico y de qué parte de él proviene la muestra, sino también por qué razón la encontraron ahí y si pudo sufrir algún proceso contaminante.

4.1 FUNCIÓN DEL LABORATORIO Y SECCIONES ADJUNTAS

El Laboratorio de Fechamiento tiene como función sustentable la datación para aplicaciones arqueológicas y geológicas, de acuerdo con dos técnicas: radiocarbono y termoluminiscencia. También es posible determinar edades relativas de ciertos materiales, con propósitos de seriación y autenticación.

4.2 EQUIPO Y TIPOS DE ESTUDIOS

Equipo de laboratorio

Este laboratorio cuenta con dos secciones, cada una dedicada a una de las técnicas de fechamiento que aquí se realizan:

Sección de Radiocarbono

Esta sección cuenta con dos espectrómetros de centelleo líquido, Packard 2700TR/XL y Packard 3170TR/SL, y una línea de vacío equipada con manómetros y elementos de calefacción que se emplean en la transformación del carbón existente en los materiales arqueológicos en benceno. Dado que el laboratorio se encuentra enclavado en un edificio colonial, el manejo de las muestras se lleva a cabo en el interior de dos campanas de flujo laminar.

Sección de Termoluminiscencia

Esta sección cuenta con un lector de termoluminiscencia, un contador alfa, un irradiador alfa y un irradiador beta, marca Elsec; un espectrómetro gama portátil, marca Target, modelo Fiel Spec-N y una lámpara de luz ultravioleta, marca Ultraviolet Products Inc. Todos estos equipos se utilizan para cuantificar la termoluminiscencia emitida por los materiales en estudio y las radiaciones que la originan.

Tipo de estudios

En el Laboratorio de Fechamiento se llevan a cabo los siguientes estudios: Fechamiento por radiocarbono, Fechamiento por termoluminiscencia, Seriación por termoluminiscencia, Autenticación por termoluminiscencia y Seriación por contenido de uranio en dientes

4.3 TÉCNICAS APLICADAS

Fechamiento por radiocarbono por centelleo líquido

El ^{14}C es un isótopo inestable del carbón que se forma en la parte alta de la atmósfera debido a la interacción del nitrógeno con los rayos cósmicos, y cuya inestabilidad le permite descomponerse al paso del tiempo, a una velocidad que depende de la vida media del ^{14}C ; esto da lugar a nitrógeno y a electrones con energías variables. La vida media de 5 730 años es la que hoy se considera correcta para el ^{14}C .

El ^{14}C producido en la parte superior de la atmósfera terrestre se esparce en ella y reacciona con el oxígeno, para formar CO_2 , el cual se difunde en los océanos al disolverse con el agua. Por medio de análisis aproximados, se encontró que el flujo de rayos cósmicos es constante, de lo cual se concluye que el ^{14}C se produce ininterrumpidamente a una velocidad dada, por lo que la relación entre el carbón radiactivo y el no radiactivo en la atmósfera y los océanos, es constante.

Algunos animales se alimentan de las plantas que incorporan bióxido de carbono por la fotosíntesis, de manera que todo ser viviente intercambia ^{14}C con su medio ambiente. Cuando los seres vivientes mueren, se interrumpe el mecanismo por el cual adquieren ^{14}C ; entonces, éste disminuye a una velocidad conocida determinada por la vida media del ^{14}C .

En el Laboratorio de Fechamiento, la determinación del ^{14}C remanente en las muestras arqueológicas, con objeto de identificar su edad, se efectúa a través de dos espectrómetros de centelleo líquido que miden la actividad del benceno al que se transformaron por métodos químicos. Este análisis es, obviamente, destructivo.

Actualmente, se ha comprobado que la radiación cósmica varía a través del tiempo; por ello, a las fechas radiocarbono convencionales se les aplica el proceso de calibración para convertirlas en fechas calendáricas.

Fechamiento por termoluminiscencia

Los sólidos no conductores de la electricidad son capaces de almacenar energía de radiación durante largos periodos y emitirla como luz, en el momento que se les calienta. Si un sólido no conductor no pierde energía, en el caso más simple, el tiempo de almacenamiento es directamente proporcional a la energía almacenada e inversamente proporcional a la velocidad a la que la absorbe. De manera que si se determina el equivalente en energía de radiación, de la energía emitida como luz por un sólido no conductor y se divide entre la velocidad a la que ese sólido acumula energía de radiación, se obtiene el tiempo en que el sólido ha acumulado energía desde la última ocasión en que la energía fue eliminada. La eliminación puede darse por calentamiento a temperaturas mayores a 500°C o por la acción de la luz sobre el sólido a manera de partículas finas. La prueba puede o no ser destructiva; esto depende del tamaño y calidad de la pieza en estudio.

Seriación de cerámica por termoluminiscencia

La seriación cerámica es un proceso que consiste en organizar tuestos por orden de antigüedad, a partir de la comparación de sus dosis arqueológicas (cantidad de energía de radiación absor-

bida por unidad de masa, desde su última cocción hasta nuestros días). Para que la seriación sea válida y se cumpla la premisa “a mayor dosis arqueológica, mayor edad”, se debe probar que los tiestos en estudio fueron capaces de conservar su termoluminiscencia a través del tiempo y estuvieron sometidos a razones de dosis (energías de radiación absorbidas por unidad de masa y tiempo) semejantes. La prueba puede o no ser destructiva, lo cual depende del tamaño y calidad de la pieza en estudio.

Autentificación de objetos cerámicos por termoluminiscencia

El proceso de autentificación consiste en determinar, por termoluminiscencia, una fecha aproximada y compararla con la fecha esperada para la cerámica. Durante la determinación de la fecha aproximada, se mide la dosis arqueológica de la cerámica y se le divide entre una constante “R”, que es el promedio de las razones de dosis determinadas para gran cantidad de sitios en el globo terráqueo. En caso de que las fechas esperada y aproximada coincidan, se concluye que la pieza es auténtica. Desde luego, ante todo, se debe corroborar que la cerámica en estudio posee las características del sitio arqueológico del que proviene y conservó su termoluminiscencia a través del tiempo.

Normalmente, la técnica se aplica a piezas completas; el estudio se realiza sobre el material obtenido de un punto restaurable de la pieza de por lo menos seis milímetros de espesor, a ello se debe la afirmación de que la técnica no es destructiva.

Seriación de dientes

La seriación de dientes se realiza mediante la determinación de uranio en combinación con la seriación por flúor. Aquí, se deben cumplir las premisas: “a mayor contenido de uranio, mayor edad” y “a menor cantidad de flúor, mayor edad”. Para que

la comparación de las concentraciones de uranio y flúor en los dientes permita ordenar por edades, las condiciones de intercambio tierra-diente deben ser semejantes en todos los especímenes a comparar. Esta técnica es destructiva.

En la actualidad, los dientes pueden fecharse directa y exitosamente por radiocarbono vía AMS, siempre y cuando contengan por lo menos 10% del colágeno y se utilicen pretratamientos químicos adecuados para aislar y purificar la proteína.

4.4 MATERIALES A LOS QUE SE APLICAN

Por radiocarbono

Carbón vegetal, semillas y otras partes de plantas, madera, sedimentos con contenido orgánico, turba y concha de origen marino.

Por termoluminiscencia

Cerámica, piedras y sedimentos.

4.5 CARACTERÍSTICAS DE LAS MUESTRAS Y NOTAS SOBRE SU PROCESAMIENTO

Toma de muestras para la técnica de radiocarbono: materiales, tamaño y empaque

- a) La toma de muestras es un proceso delicado pues repercute drásticamente en los resultados del fechamiento. Las premisas básicas de un buen colector, no importa qué tan eficaces sean los procesos de purificación, son: redu-

cir al mínimo la contaminación y evitar que materiales de naturaleza similar al de la muestra tengan contacto con ella. En la siguiente tabla se muestran algunos materiales que, sin lugar a duda, permiten cumplir ambas premisas.

Instrumentos o materiales	Condiciones	Observaciones
Pinza metálica	Limpia, sin flamear	Usar agua. No usar jabón, detergentes, cartón, papel, alcohol, acetona, gasolina, solventes, desgrasantes, entre otras
Cucharilla		
Bolsas de polietileno de baja densidad	Transparentes, incoloras, con sello	Deben ser nuevas

b) En la siguiente tabla se observa la cantidad de material necesaria para fechar por radiocarbono los diversos tipos de muestras, utilizando espectrómetros de centelleo líquido. El fechamiento de hueso no aparece en la lista, ya que la cantidad de hueso requerida para obtener el colágeno puro necesario para el fechamiento por la técnica instalada en el Laboratorio de Radiocarbono del INAH, es muy grande. Además, deben considerarse los siguientes aspectos: el proceso de extracción y purificación es caro, largo, y complicado; a mayor edad, menor cantidad de colágeno en los huesos, y los resultados publicados del fechamiento de hueso por radiocarbono, vía centelleo líquido, muy rara vez se consideran correctos.

Material	Beta/INAH (cantidad en gramos)
Carbón	20
Madera	50
Heces	20
Turba / Gyttja	100
Sedimento orgánico	< 1000
Plantas	20
Insectos	20
Concha / Coral / CaCO ₃	50

El empaque de una muestra debe garantizar su integridad y pureza desde el punto de colecta hasta el laboratorio. Importantes laboratorios de radiocarbono en el mundo, y el del INAH no es la excepción, recomiendan empaquetar en papel aluminio y colocar los paquetes en contenedores susceptibles de ser sellados y etiquetados. La etiqueta nunca debe entrar en contacto con la muestra, especialmente si es de celulosa y la muestra contiene celulosa. Los contenedores pueden ser simplemente bolsas ziploc, bolsas de polietileno transparentes e incoloras, botes metálicos o frascos de vidrio.

El colector

El colector debe ser un profesional de la arqueología o alguna otra persona altamente calificada, pues debe realizar varias acciones en el momento de la recolección:

Observar y describir el contexto del que se rescata la muestra.

Formarse una idea de para qué emplearon los antepasados el material que constituye la muestra.

Juzgar sobre la asociación de la muestra al evento que se desea fechar.

Tomar y sellar la muestra adecuadamente.

Observar y anotar todas las situaciones del contexto y de la zona, que puedan ser causa de contaminación.

Describir de manera precisa la muestra.

Observar los procesos de contaminación postdeposicional.

Tipos de muestras y procesos que se realizan en los materiales, para fechamiento por radiocarbono

Carbón, madera y partes de plantas

El material vegetal carbonizado es el mejor para fechar por radiocarbono; pero es necesario garantizar que ningún proceso contaminante modificó su contenido de ^{14}C y que existe una asociación real entre el material y el evento que se desea fechar.

El método empleado para eliminar contaminantes es el ácido-base-ácido, ABA. Después de remover físicamente las raicillas, la muestra se lava en ácido clorhídrico diluido al 10% por una hora, o hasta que la reacción termine. Enseguida se lava con agua bidestilada para modificar el pH hacia la neutralidad. A continuación se trata la muestra con una solución en ebullición de hidróxido de sodio al 5% y se mantiene así durante una hora; después se lava con agua bidestilada acidulada, hasta que el agua de lavado sea transparente e incolora. Se deja pernoctar en agua bidestilada y si el agua se mantiene transparente e incolora, se seca y se transforma en benceno. Cuando se trata de madera, se somete a carbonización en corriente de nitrógeno a 600°C y se transforma en benceno.

Turba, sedimentos orgánicos, heces

Estos materiales son altamente susceptibles a la contaminación por ácidos húmicos. Por eso se recomienda tratar y analizar las dos fracciones: A (el residuo orgánico) y B (el ácido húmico), para obtener un promedio del valor de residencia que será la edad mínima.

En los suelos, sólo es posible obtener valores aproximados del promedio de tiempo de residencia del carbón. Si las fracciones A y la B tienen una edad radiocarbono dentro de 1 o 2 sigma, se asume que la más vieja se acerca más a la edad verdadera.

Para tomar muestras de sedimentos orgánicos en un perfil estratigráfico expuesto, se recomienda eliminar por lo menos 30 centímetros para evitar la contaminación producida por ^{14}C de las explosiones nucleares. Debe evitarse, por otra parte, tomar muestras de capas contiguas a capas impermeables, pues en ellas se acumula materia orgánica transportada por el agua.

El pretratamiento consiste en dispersar la muestra en agua bidestilada. Hecho lo anterior se somete a la acción de ácido clorhídrico hasta la eliminación completa de carbonatos; se lava la muestra con agua bidestilada hasta que desaparezca la coloración amarilla y enseguida se somete a combustión. El bióxido de carbono resultante se transforma en carbonatos, los cuales se filtran, se secan y se convierten en benceno.

Concha

Las conchas de los caracoles y los bivalvos están formadas de carbonato de calcio, capas de conchiolina, aminoácidos y otros materiales orgánicos. La fracción carbonatada es la que se fecha.

Los moluscos obtienen el carbón para su concha de dos fuentes: carbón orgánico o metabólico, que proviene de plantas terrestres y marinas, entre otras: diatomeas, algas y protozoarios, y de

humus y turba adheridos a estuarios y ríos; segunda fuente: carbón inorgánico procedente de bicarbonatos del agua del océano, dióxido de carbono atmosférico y bicarbonato de agua dulce.

El origen del ^{14}C de las conchas genera la necesidad de introducir factores de corrección para cada hábitat. Es pues indispensable, al enviar conchas para fechamiento, indicar la especie, la profundidad a la que habitaron y el punto del mar de procedencia. Si se trata de conchas terrestres, la determinación del factor de corrección necesario es prácticamente imposible, por lo que no se acepta su ingreso al laboratorio.

Se reciben conchas relativamente gruesas, no porosas y fuertes, de animales que vivan en aguas someras. Se elimina la mitad en peso por disolución en ácido clorhídrico, se seca y se transforma en benceno.

Toma de muestras de los materiales entregados para termoluminiscencia: tamaño, cuidados y empaque

En la siguiente tabla se presentan los tamaños que deben tener las muestras para ser fechadas por termoluminiscencia.

Material	Cantidad
Tepalcates bien cocidos	Tres tepalcates de la misma temporalidad, de por lo menos 4 x 4 cm, y espesor no menor a 6 mm
Piezas de cerámica completas bien cocidas	Una pieza cerámica con espesor no menor a 6 mm
Piedras quemadas	Una

Durante la recolección de la muestra deben considerarse los “factores contaminantes” para este tipo de datado: el cambio de humedad, el calor, el fuego y la luz. Por lo cual, inmediatamente después de recolectar una cerámica, debe introducirse junto con la tierra en la que yacía, en una bolsa negra, sellarla y mantenerla en lugar fresco y seco hasta que empiece el proceso de fechado. Por ningún motivo debe lavarse, secarse ni fotografiarse la muestra.

Puesta en cero del reloj: tipos de muestras y procesos en los materiales entregados para termoluminiscencia (TL)

Cerámica y piedras

La cerámica, al ser fechada por TL, puede dar como resultado tres tipos de fechas:

- a) la de su cocción, cuando haya sido bien cocida y posteriormente no se le haya sometido a calentamiento;
- b) la de su último uso, en caso de que durante éste se le haya llevado a temperaturas mayores a 500°C;
- c) una fecha intermedia entre la formación del barro de que está hecha y la de su cocción o la de su último calentamiento, si la termoluminiscencia fue drenada por calentamiento pero nunca en su totalidad.

Por otra parte, de la piedra quemada fechada por TL también pueden resultar tres fechas:

- a) la de la quema de la piedra, si la piedra fue llevada a temperaturas iguales o mayores a 500°C, al menos en el punto del que se obtuvo la muestra;
- b) la de la formación de los minerales que la conforman, en caso de que se tome una muestra de un punto que

no haya sufrido calentamiento alguno o a lo más, un calentamiento de unos cuantos minutos a temperaturas no mayores de 200°C;

- c) una fecha intermedia entre la de la formación de los minerales que la conforman y la de su último calentamiento, si la termoluminiscencia fue drenada por calentamiento pero nunca en su totalidad.

Sea cual fuere el material, se solicita al Laboratorio de Geología el análisis cuantitativo de los minerales presentes en la cerámica o en la piedra, se devastan los dos milímetros superficiales de cada pieza en luz roja de baja intensidad, se desmorona el material por medio de una prensa o una broca, se eliminan los minerales que sufren decaimiento anormal o que presentan quimioluminiscencia, se separan partículas de tamaño definido, se preparan planchetas, se determina la dosis arqueológica y se realizan pruebas de decaimiento anormal.

Para que el fechamiento sea lo más preciso posible es indispensable determinar no sólo la dosis arqueológica y la humedad, sino también la razón de dosis recibida por la cerámica durante su entierro. De acuerdo con esto, el responsable del fechamiento deberá hacer la medición de la radiación en el punto donde fue extraída la cerámica; en caso de que no sea posible, realizará la medición en otro punto de estratigrafía y características semejantes. La tierra colectada alrededor de la muestra también puede servir para determinar la razón de dosis, siempre y cuando se cumplan ciertas condiciones.

Sedimentos de partícula fina

Para que los sedimentos de partícula fina sean susceptibles de datar, deben haber sido acarreados por el viento y expuestos a la luz y al calor del sol. Esta es la forma como el reloj de los sedimentos se lleva a cero. En lo que toca al procedimiento de fechado, es semejante al de la cerámica y las piedras.

4.6 APLICACIONES ARQUEOLÓGICAS E INFORMES DE RESULTADOS

El fechamiento se emplea para ubicar en el tiempo cualquier evento arqueológico, por ejemplo: la etapa constructiva de un centro ceremonial, el periodo en que se ocupó una ciudad prehispánica, el periodo de uso de un tipo cerámico específico, el momento de abandono de un sitio arqueológico, la obtención de la cronología cerámica, entre otros.

En la siguiente tabla se especifican los aspectos que contienen el informe de resultados:

Laboratorio de Radiocarbono	Laboratorio de Termoluminiscencia
Fecha de expedición	Fecha de expedición
Nombre del investigador al que va dirigido	Nombre del investigador al que va dirigido
Institución o dependencia a la que pertenece	Institución o dependencia a la que pertenece
Número de entrada	Resultados obtenidos
Fecha de entrada	Estabilidad TL del material
Procedencia	Curva TL-Temperatura
Número de laboratorio	Sensibilidad
Clasificación de la muestra dada por el investigador	Curva TL-Dosis
Material	Razón de dosis
Edad convencional	Edad
Observaciones	Interpretación de los resultados
Calibración	
Intervalos de validez de la fecha calibrada y la probabilidad de cada uno de ellos	
El nombre y la bibliografía de la curva de calibración empleada	
El nombre del programa empleado en la calibración	

4.7 FORMATOS DE SOLICITUD

Respecto a los formatos de solicitud de trabajo, a continuación se muestra exclusivamente el que corresponde al Laboratorio de Radiocarbono, pues el que se utiliza para solicitar el fechamiento por termoluminiscencia coincide con el formato “Solicitud General de Entrada” de todos los laboratorios de la SLAA.

Formato de entrada de muestras al Laboratorio de Radiocarbono

INAH (Dado por el laboratorio)	
Catalogada por el investigador como	
Descripción del material	
Si se trata de carbón o madera, de qué vegetal proviene	
Tiempo de vida del vegetal del que proviene	
Factores que pueden disminuir la bondad de la fecha obtenida	
Cantidad	
Fecha de colección	
Enviada por (especifique su profesión y grado académico)	

Tiempo entre colección y envío	
Características del envase donde estuvo almacenada	
Institución	
Jefe	
Proyecto	
Responsable del proyecto (especifique su profesión y grado académico)	
Colector (especifique su profesión u oficio)	
Sitio	
Municipio	
Estado	
Latitud	
Longitud	
UTM, n	
UTM, e	
Altitud	
Clase de sitio	
Localización topográfica	
Vegetación	
Localización espacial	
Localización estratigráfica	
Descripción del contexto de donde proviene	
Materiales asociados (especifique su tipo y características)	

Posición cronológica aproximada (si se conoce)	
¿Qué evento desea fechar?	
¿Qué relación guarda esta fecha con la del sitio que estudia?	
¿Qué relación guarda esta fecha con la de los sitios cercanos?	
Favor de anexar planos y cortes de excavación y ubicar en ellos las muestras que envía	
Historia de la muestra durante su entierro	
Sobre la superficie actual	
Parcialmente expuesta	
Enterrada	
Re-enterrada	
Profundidad	
Historia de exposición al agua	
Corta exposición	
Humedecimiento periódico	
En aguas freáticas	
En aguas superficiales	
En agua de mar	
Detalles adicionales	
Indique la posible presencia de contaminantes sobre o en la muestra	
Incrustaciones	
Crecimiento microbiano	
Penetración de raíces	
Actividad animal	

Olores inusuales	
Otros posibles contaminantes	
Material del lugar del que fue rescatada (suelo, arena, barro, tierra con alto contenido de materia orgánica, etcétera)	
Indique la presencia de materiales que contengan carbón alrededor de la muestra	
Vegetación	
Materiales húmicos	
Carbón	
Carbonatos	
Aceite	
Carbón mineral	
Otros materiales que puedan afectar el análisis	
Indique la presencia de posibles fuentes de contaminación cerca del sitio	
Volcanes	
Geiser	
Alta contaminación	
Uso de pesticidas	
Depósitos de uranio	
Otras posibles fuentes de contaminación	
Historia de la muestra después de su colección	
Describa cualquier proceso de lavado o limpieza al que haya sido sometida la muestra	

1. Si tenía contaminantes (raíces u otros), cómo y cuándo se eliminaron	
2. Si la muestra fue secada, indique el método, la temperatura y la duración	
3. Liste cualquier agente químico aplicado a la muestra (conservantes, consolidantes, etcétera)	
4. Describa el almacenaje de la muestra (lugar, duración, condiciones de la muestra y empaque)	
5. Añada cualquier información relevante	
Describa lo mejor posible el clima del lugar	
OBSERVACIONES	

4.8 PERFIL ACADÉMICO DE LA INVESTIGADORA

María Magdalena de los Ríos Paredes

Es encargada del Laboratorio de Fechamiento. Ingeniera Química por la Universidad La Salle, cuando su Escuela de Química estaba incorporada a la UNAM (1980); es pasante de la Maestría en Ciencias Nucleares en la especialidad de Radioquímica por la Universidad Nacional Autónoma de México. En febrero de 1979 ingresó al INAH y con motivo de la instalación del Laboratorio de Termoluminiscencia, publicó el libro *La termoluminiscencia en el fechamiento de sitios arqueológicos* (Colección Científica, 1989). Durante sus estudios de maestría, cursó la materia Física del Estado Sólido, con la finalidad de comprender el origen

de la termoluminiscencia y mejorar en el manejo de la técnica; también resultado de este curso fue la ponencia *Origen de la termoluminiscencia en el TLD-100*, la cual se presentó en uno de los primeros congresos de termoluminiscencia en México. En 1980, durante el montaje del Laboratorio de Radiocarbono del INAH, fue entrenada para dirigirlo por el doctor Murry A. Tamers; desde entonces y hasta la fecha, ha trabajado en el datado de 2 700 muestras cuyos resultados ha concentrado en una base de datos que pretende poner al servicio de la comunidad arqueológica. Desarrolla actualmente el proyecto *Fechaamiento por radiocarbono por medio de termoluminiscencia*.

5. Laboratorio de Geofísica

5.1 INTRODUCCIÓN

La geofísica es una técnica que de manera remota investiga y define un objeto o material en el subsuelo, sin contacto directo. Es posible utilizarla para realizar observaciones del subsuelo, por medio de medidas en la superficie y para fines diversos: estudios de estructuras someras, investigaciones de ingeniería de sitios, exploraciones de aguas subterráneas, minerales y otros recursos de rendimiento económico; así como para la detección de cavidades, mapeo de restos arqueológicos (perturbaciones de suelos sepultados, estructuras y fundaciones de piedras enterradas), localización de cables y tuberías enterradas.

En efecto, la táctica o estrategia para la localización y mapeo de vestigios arqueológicos enterrados con muy poca o ninguna indicación en superficie, representan para los

arqueólogos un problema, sobre todo considerando los tiempos y costos que serían invertidos en la excavación de pozos de exploración aleatorios, con la consecuente alteración del contexto natural y la inevitable destrucción de vestigios preservados. Como lo describió J.W. Weymouth en 1985: “La arqueología es una disciplina que destruye su propio laboratorio sin repetir sus experimentos... y puede hacerlo bien la primera vez o ninguna”. Por otra parte, se requiere también del conocimiento del subsuelo en los trabajos de salvamento arqueológico, en donde la falta de información rápida y precisa hace que el rescate se limite a la colecta de materiales o residuos en superficie fuera de contexto; asimismo, en litigios de afectación o liberación de predios con pocas o nulas evidencias superficiales de materiales arqueológicos, la información del subsuelo es igualmente importante; por último, para planificar la restauración de estructuras, como los monumentos prehispánicos y los edificios coloniales, es fundamental el conocimiento de fracturas, del espesor de acabados, de los arreglos estructurales, texturales y la disposición de los materiales de construcción. Estos ejemplos evidencian la necesidad de contar con métodos de prospección geofísica rápidos, de alta resolución y no destructivos.

En geofísica aplicada, los métodos se clasifican en pasivos y activos; los primeros son el magnetométrico, el gravimétrico y el potencial espontáneo; los segundos, la resistividad eléctrica, el radar de penetración y los sísmicos. Los métodos más utilizados en las prospecciones arqueológicas y de restauración de monumentos son la resistividad eléctrica, la magnetometría y el radar de penetración o Georadar; los menos utilizados son el potencial espontáneo, la microgravimetría y la sísmica. Como los métodos responden a las propiedades físicas de los objetos y materiales bajo la superficie (rocas, oquedades, suelos, agua), es posible combinar diferentes para obtener resultados más precisos.

5.2 FUNCIONES DEL LABORATORIO

El laboratorio se encarga de llevar a cabo trabajos de prospección geofísica aplicados a la investigación arqueológica, la an-

tropología física y la restauración de monumentos; esto mediante tres acciones sustantivas:

1. La participación en los diversos proyectos, tanto nacionales como internacionales, de exploración arqueológica que requieren de un conocimiento preciso del subsuelo o del interior de superficies inclinadas (muros), para localizar tumbas, estructuras y objetos manufacturados por el Hombre.
2. La colaboración en proyectos de restauración de monumentos, detectando y precisando por medio de modelos electromagnéticos en 3-D, profundidades y sistemas de fracturas, huecos y espesores de materiales constructivos, rellenos y acabados.
3. La investigación propia de esta disciplina, indispensable para profundizar en el conocimiento sobre el funcionamiento de los equipos, los alcances y limitaciones de cada uno de los métodos y la elaboración de estándares; todo ello para lograr una mayor eficiencia en la precisión de los resultados, un procesado y representación gráfica de mayor calidad y una mayor rapidez en la entrega de resultados.

5.3 EQUIPO

El laboratorio cuenta con cuatro equipos de prospección geofísica, donados al INAH en 1996 por el Gobierno de Japón, y la paquetería de programas de cómputo apropiados para el procesamiento de la información magnética, electromagnética y de resistividad eléctrica. Se trata de un resistivímetro eléctrico modelo McOhm 21, un magnetómetro gradiómetro marca Scintrex ENVI-MAP, un equipo electromagnético (VLF: Very low Frequency) Apex, modelo Max-Min I-8S y un sistema de Georadar de la GSSI con cuatro antenas de 1 500, 900, 450 y 300 megahertz, para sondeos de alta definición desde ff 5 centímetros hasta ff 5 metros de profundidad.

Para el procesamiento digital se cuenta con diversos *software*: una versión de Geosoft en modo DOS para los datos magnéticos; Radan for Windows V. 6.5 para el procesamiento en 3-D, 2-D y “cortes de tiempo” de datos de georadar, y el GEOTOMO para el procesamiento en 2-D y 3-D de datos geoelectrónicos.

5.4 TIPOS DE ESTUDIOS Y MÉTODOS APLICADOS

Los posibles tipos de estudio dependen de los objetivos arqueológicos y de restauración de los proyectos, ya que pueden variar desde la limitación de un sitio arqueológico hasta la búsqueda y localización de entierros, ofrendas, detección de huecos o cavidades, fracturas, fallas estructurales en paredes, conocimiento del relleno y distribución textural y estructural de muros, etcétera.

En relación con los métodos que se aplican, en geofísica no existe un método universal ni único para determinado tipo de problema; sin embargo, es posible aplicar los siguientes:

1. Para identificar construcciones enterradas, muros o materiales cocidos (ladrillos), se puede utilizar la resistividad o su inversa, la conductividad, que presentan los materiales al paso de una corriente eléctrica en el subsuelo; se aplica, por lo tanto, el método geoelectrónico.
2. Para la detección de áreas que fueron utilizadas por el hombre, por ejemplo zonas de cultivo, áreas habitacionales, hogueras y hornos de cerámica, se puede utilizar el método geomagnético, apoyado en la medida de la susceptibilidad magnética, la cual depende de la cantidad de hierro presente en el objeto y artefacto, producido ya sea por la acción del fuego o por la actividad bacteriana;
3. Para la detección de estructuras arqueológicas, como los muros enterrados y las estructuras de relleno, el

método electromagnético es el más indicado ya que se basa en las medidas de la susceptibilidad magnética y la conductividad eléctrica de los materiales en el subsuelo; es decir, sobre la capacidad de un cuerpo de imantarse cuando es sometido a un campo magnético, y la facilidad con que una corriente eléctrica circula en el mismo.

4. Para identificar muros enterrados, huecos, fracturas, estratigrafías y arreglos estructurales en muros o paredes, es viable el método de georadar o radar de penetración, el cual se basa en el estudio de la propagación y reflexión de las impulsiones electromagnéticas emitidos dentro de una banda de frecuencia de 10 a 1 500 megahertz, con longitudes de onda de varios metros a centímetros.

En la mayoría de los casos, y en función de los objetivos, es deseable emplear al menos dos métodos. Todos son de alta resolución, no invasivos ni destructivos y se pueden aplicar sobre materiales diversos con características físicas y químicas variadas; las únicas limitaciones serían las impuestas por los equipos y accesorios, ya sea en cuanto a la profundidad de prospección deseada o por las características físicas del entorno del sitio por prospectar, como son los ruidos eléctricos (líneas de alta tensión), magnéticos (cables con energía eléctrica) y electromagnéticos (celulares, ondas de radio y de televisión).

5.5 FORMATOS DE SOLICITUD

1. Los responsables o directores de los proyectos arqueológico, antropológico o de restauración de monumentos, deben enviar una solicitud acompañada con el manuscrito del proyecto, en donde: a) se justifique la colaboración del Laboratorio de Geofísica,

b) se especifiquen las superficies de interés para la prospección y c), se planteen las hipótesis de trabajo con los objetivos y metas esperados. Todo esto con el propósito de determinar la factibilidad de llevarlos a cabo de acuerdo con la disponibilidad recursos. Esta información se complementará con una visita al sitio, para conocer las características físicas del mismo y definir el método y métodos de campo que se aplicarán; así como para especificar el tipo de preparación previa del terreno. Dicha visita será calendarizada de mutuo acuerdo y los gastos que ésta ocasión serán cubiertos por el solicitante.

2. El Laboratorio de Geofísica elaborará y entregará al interesado un proyecto en el que se especifiquen los costos, calendario de actividades y tiempos para la entrega de resultados.

3. Con el propósito de verificar y corroborar los resultados electromagnéticos (anomalías), el interesado deberá presentar por escrito el compromiso de llevar a cabo al menos una excavación de los sitios que se le señalen en el informe.

4. Respecto a los resultados del estudio, se entregará al solicitante un informe que contendrá únicamente las impresiones de las secciones con los resultados más sobresalientes. En éstas se indicará, de manera gráfica, la localización y profundidad de las anomalías o reflectores en el subsuelo que podrían corresponder a los materiales y estructuras buscados. Las impresiones completas de los radargramas y los archivos electromagnéticos correspondientes, se almacenarán como documentos y archivos de propiedad intelectual del Laboratorio de Geofísica del INAH y podrán ser consultados previa justificación.

5.6 USO DE LA INFORMACIÓN GEOFÍSICA

1. Si el solicitante utiliza en forma total o parcial el informe de resultados para la elaboración de un artículo, tesis y como material gráfico, el autor deberá dar los créditos correspondientes

al investigador(es) del Laboratorio de Geofísica.

2. El Laboratorio de Geofísica se reserva el derecho de utilizar la información generada por el mismo, para su publicación correspondiente.

3. De existir un interés común entre el Laboratorio de Geofísica y el responsable del proyecto para utilizar la información en algún artículo científico, la autoría o coautoría del mismo será de mutuo acuerdo.

5.7 PERFIL ACADÉMICO DEL INVESTIGADOR

José Ortega Ramírez:

Investigador titular “C”. SNI nivel I. Doctorado con mención honorífica en Geología de Cuaternario (Geomorfología) por la Universidad Louis Pasteur de Estrasburgo, Francia. Especializado en informática y en métodos geofísicos someros: georadar, magnetometría, resistividad eléctrica y electromagnéticos.

6. Laboratorio de Geología

6.1 OBJETIVO

El objetivo general del Laboratorio de Geología es realizar estudios geológicos en función de los requerimientos específicos de proyectos de investigación arqueológica, antropológica y de conservación, así como a partir de problemas geoarqueológicos generales propios del área mesoamericana.

6.2 FUNCIONES

Respecto a su función sustantiva, el Laboratorio de Geología se encarga de realizar investigación aplicada a la arqueología, la conservación y la restauración, por medio de estudios petrográficos, mineralógicos y de prospección de yacimientos de rocas y minerales. El desarrollo de estos estudios implica, por una parte,

actividades de gabinete, como la recopilación bibliográfica, el procesamiento de datos, la interpretación fotogeológica y la cartográfica; por otra parte, conlleva actividades de laboratorio como análisis petrográficos y determinaciones mineralógicas; además de las labores de campo para el reconocimiento de unidades litológicas y muestreo sistemático y análisis de materiales como elementos de comparación.

Esta serie de actividades aporta información sumamente valiosa para las investigaciones arqueológicas y las labores de restauración y conservación, en aspectos diversos, entre ellos los siguientes:

Determinación precisa de los tipos de rocas o minerales de los objetos líticos arqueológicos y materiales constructivos.

Identificación de los pigmentos minerales aplicados sobre diferentes soportes.

Determinación del tipo de alteración en rocas y materiales de construcción, ya sea en piezas arqueológicas o en materiales de edificios prehispánicos y coloniales.

Caracterización mineralógica y petrográfica de cerámica arqueológica.

Conocimiento de los procesos y técnicas lapidarias prehispánicas.

Localización de yacimientos fuente de la materia prima de rocas y minerales de piezas arqueológicas y materiales de construcción.

Como apoyo en las labores de autenticación de piezas líticas arqueológicas y ejemplares paleontológicos sujetos a peritajes.

6.3 TÉCNICAS APLICADAS

Petrografía y mineralogía

Por medio de las técnicas propias de estas disciplinas se analizan diversos materiales arqueológicos: líticos, cerámicos, sedimenta-

rios, pigmentos y materiales de construcción, e incluso algunos de origen orgánico. Esto se lleva a cabo mediante estudios petrográficos y determinaciones mineralógicas. La técnica petrográfica consiste en determinar los tipos de minerales y rocas, para lo cual se utiliza el microscopio de polarización o petrográfico, con base en secciones delgadas representativas de los materiales. Por su parte, con los estudios mineralógicos determinan las propiedades físicas y la respuesta a pruebas microquímicas específicas, para lograr la clasificación de los materiales. En cierta medida, estos análisis son destructivos, ya que para su ejecución se requiere tomar una muestra o fragmento del ejemplar o material de estudio.

Investigación de campo

Una actividad complementaria a las labores de identificación mineralógica y petrográfica consiste en investigar acerca de fuentes de materia prima lítica de interés arqueológico. Esto implica un exhaustivo trabajo de campo para localizar yacimientos de rocas y minerales específicos, donde se realizará una sistemática colecta de muestras representativas para su caracterización mineralógica y geoquímica, lo cual permitirá contar con elementos precisos para comparar con los materiales de las piezas arqueológicas. Los yacimientos pueden ubicarse en cualquier provincia geológica de México o Centroamérica, dentro del área cultural conocida como Mesoamérica. Con los elementos obtenidos será posible proporcionar información significativa sobre las probables fuentes geológicas de materia prima empleada en el pasado, para diferentes fines, lo cual representa un aporte al estudio de las redes de intercambio, comercio y tributo de la época prehispánica en Mesoamérica.

6.4 MODALIDADES DE INVESTIGACIÓN

El Laboratorio de Geología participa de dos formas distintas en la investigación:

- a) Por medio de proyectos individuales o de grupo, con la posibilidad de incluir a investigadores de otros laboratorios de la Subdirección de Laboratorios y Apoyo Académico, de otras dependencias del INAH o bien, de otras instituciones con disciplinas afines.
- b) La segunda forma de participar es colaborando con proyectos arqueológicos o de conservación, cuyo objetivo se centre en estudios o determinaciones específicas a corto plazo, sobre aspectos fundamentalmente arqueológicos y geológicos, ya sea de proyectos de investigación del INAH o de otras instituciones.

6.5 NORMAS PARA LA PARTICIPACIÓN EN PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN.

La participación del Laboratorio de Geología en proyectos arqueológicos, en cualquiera de las modalidades enunciadas, se sujetará a las siguientes normas:

1. Toda propuesta o solicitud de participación deberá presentarse por escrito, dirigida al jefe del laboratorio y con copia a la Subdirección de Laboratorios y Apoyo Académico. En esta solicitud se planteará claramente el problema a resolver y se fundamentará la participación del Laboratorio de Geología.
2. En caso de que se considere viable la participación del laboratorio, se hará del conocimiento del interesado, con quien además se definirá la modalidad de participación y se establecerán los requerimientos de tipo material, informativo, presupuestal, temporal, etcétera, necesarios para concretar el proyecto.
3. En caso de que la colaboración requerida consista en el análisis de materiales, el único requisito será que los materiales cumplan con las características mencionadas en el inciso 6.8 del presente instructivo.

6.6 PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LAS INVESTIGACIONES

Los resultados de las investigaciones que desarrollen o en las que participen los investigadores del Laboratorio de Geología se darán a conocer por medio de alguna de las siguientes opciones:

Publicación formal

Esta modalidad incluye ensayos y artículos, los cuales se publicarán en alguna de las instancias del INAH en alguna publicación periódica o bien, como libro de carácter nacional o internacional.

Informe o reporte interno

Aunque de carácter inédito, los informes o reportes internos tendrán una estructura acorde a los formatos tradicionales de los trabajos de investigación; respecto a su contenido, presentarán la información obtenida gracias a los trabajos de colaboración en proyectos arqueológicos, la cual podrá ser resultado lo mismo de análisis de materiales o peritajes, que se asesorías o prospecciones, entre otros recursos.

6.7 ANÁLISIS DE MATERIALES

Entre las principales actividades analíticas del Laboratorio de Geología, en apoyo a la arqueología, se cuentan los estudios petrográficos y mineralógicos de materiales líticos y cerámicos, sedimentos, pigmentos, materiales de construcción y algunas sustancias de origen orgánico. Estos análisis son destructivos en cierta medida, ya que para ejecutarlos se requiere una muestra o fragmento del ejemplar o material de estudio que, dependiendo

de las dimensiones y el tipo de material, se tomará cortando, perforando, raspando o percutiendo. Para realizar estos análisis es necesario cumplir con una serie de requisitos que ayudan en el control, manejo y conservación de los materiales arqueológicos.

6.8 REQUISITOS QUE DEBEN CUMPLIR LAS MUESTRAS

Las muestras de las cuales se requiera un análisis, deberán cumplir con los siguientes aspectos:

1. Cuando se trate de lítica, cerámica y materiales de construcción, los ejemplares deberán medir cuando menos, 3 x 3 cm de área o superficie, para que sea posible elaborar una lámina o sección delgada de tamaño adecuado y disponer de un fragmento de la muestra como referencia. Cuando se trate de piezas de menor dimensión, se deberá consultar si es posible el análisis.
2. Si se trata de pigmentos, se requiere una muestra de cuando menos 0.5 gramos, para que sea posible tanto el análisis al microscopio como las pruebas microquímicas complementarias.
3. Los ejemplares se entregarán debidamente identificados, ordenados y empacados, y se acompañarán con los formatos “Solicitud de Estudio” y el correspondiente de “Control de Muestra”, debidamente requisitados. Las muestras no deben enviarse en recipientes metálicos, pues son susceptibles de sufrir corrosión y provocar contaminación.
4. Los ejemplares que se entregarán deben corresponder, únicamente, a “muestras Tipo” y no a “grupos de muestras sin clasificación”.
5. La selección de artefactos y muestras líticas debe realizarse considerando características físicas como el color, textura, tamaño del grano, dureza, porosidad, etcétera, observables a simple vista.

6. Si se trata de muestras de cerámica, deben entregarse ejemplares representativos de la clasificación tipológica realizada por el arqueólogo; se informará la denominación del tipo cerámico de cada muestra.
7. Si se requiere que la muestra para análisis sea tomada de un punto específico del ejemplar, deberá marcarse directamente sobre él y, además, se mencionará en el formato “Control de Muestra”.
8. Si la muestra entregada para análisis fue sometida a algún procedimiento especial (*e. g.* consolidación), que haya implicado adición de alguna sustancia, deberá informarlo mediante el formato “Control de Muestra”.
9. La solicitud de análisis deberá acompañarse con el plano del sitio o lugar de estudio, que presente tanto la cuadrícula de excavación o nomenclatura indicativa de la situación espacial de las muestras o materiales entregados, como los cortes estratigráficos a escala donde se indique la localización de los mismos.
10. Las solicitudes de análisis de materiales que sean aceptadas por el Laboratorio de Geología recibirán un número de entrada de acuerdo con el cual se prepararán y estudiarán. Cuando se requiera la devolución de los materiales sobrantes de un estudio, el interesado deberá recogerlos personalmente en el laboratorio.

6.9 PERFIL ACADÉMICO DEL INVESTIGADOR

Ricardo Sánchez Hernández

Ingeniero geólogo egresado del Instituto Politécnico Nacional, es profesor investigador titular “C.” Se ha especializado en los estudios petrográfico y mineralógico de materiales arqueológicos y de restauración; ha participado en diferentes proyectos del INAH y en estudios conjuntos con otras instituciones. Su principal

línea de investigación es la caracterización mineralógica y petrográfica de materiales líticos de interés arqueológico, y la búsqueda de los yacimientos fuente de materia prima.

7. Laboratorio de Geomorfología

7.1 FUNCIONES

La función principal es realizar investigación geomorfológica local y regional, dentro del contexto evolutivo del relieve terrestre en sectores relacionados con escenarios arqueológicos. El propósito de las investigaciones es observar, describir, explicar e interpretar tanto el desarrollo como los productos de las diferentes formas del terreno, en contextos espaciales y temporales donde existen preguntas arqueológicas, antropológicas e históricas que requieren solución. Otra de las funciones importantes es divulgar los resultados de las distintas investigaciones.

De particular interés son los procesos geomorfológicos cuaternarios desarrollados en sitios y regiones donde se han asentado poblaciones prehispánicas. El objetivo de estos estudios es conocer las causas y efectos de

las modificaciones del relieve superficial, a partir de evidencias de procesos antropógenos y naturales. Se trata de contribuir a la reconstrucción del entorno paleoambiental, con base en modelos de interpretación que asocien los fenómenos naturales con los humanos, los cuales suceden actualmente o han prevalecido en el pasado reciente.

7.2 EQUIPO Y TIPOS DE ESTUDIOS

Equipo

En el Laboratorio de Geomorfología se utilizan materiales cartográficos fundamentales: mapas topográficos y temáticos, fotografías aéreas e imágenes de satélite, entre otros. Se cuenta con instrumentos portátiles para la ubicación geográfica (GPS) y colecta directa de datos de campo (PDA); también con equipo de cómputo y programas especiales para el procesamiento digital del material cartográfico, en sus diferentes tipos y escalas. Además, el laboratorio dispone de aparatos tales como molino, mufla, horno, tamices y potenciómetro, entre otros, para determinar propiedades químicas (pH, contenido de carbonatos, materia orgánica) y físicas (tamaño de partículas, fábrica, solubilidad, contenido de fósiles) de suelos, sedimentos y rocas.

Tipos de estudios

Los estudios que se efectúan para contextos arqueológicos son diversos: la definición y constatación de rasgos geomorfológicos, la identificación de procesos geológico-superficiales, la descripción de eventos sedimentológicos y la determinación de sistemas morfosedimentarios; también se realiza muestreo sistemático y excavación estratigráfica en sitios y zonas arqueológicas. Algunos ejemplos de los temas que se estudian son: las formas de disección del terreno, la degradación y destrucción

del relieve, la génesis y el modelado de geoformas, y el desarrollo de formaciones superficiales específicas (concreciones, alteraciones, suelos antiguos y fósiles, entre otros).

Igualmente, se estudian sitios o áreas particulares que, desde el punto de vista antropológico, fueron escogidas por las sociedades prehispánicas para asentamientos, enterramientos, rituales, construcciones particulares o, simplemente, aprovechamiento de lugares naturales específicos. Las modificaciones de un sitio o su entorno debidas a la actividad humana, una vez caracterizadas, ayudan a determinar su antigüedad relativa, el lugar y la clase de yacimientos de materia prima utilizada, así como las modalidades de aprovechamiento del paisaje natural; también orientan respecto a la predicción de nuevos sitios arqueológicos.

Por último, y debido a la destrucción del patrimonio cultural natural causado por la actividad humana reciente y antigua, otro tipo de estudio es la delimitación geográfica de áreas de protección cultural, donde existen elementos heredados del pasado antropológico y geológico que es necesario conservar.

7.3 TÉCNICAS APLICADAS

Dado que el paisaje está sujeto a una dinámica geomorfológica, similar o no a la que se desarrolla actualmente, resulta imprescindible realizar en forma paralela un análisis de los materiales superficiales y del subsuelo, los cuales se encuentran ligados de manera dinámica a la expresión geológica de un determinado lugar. En consecuencia, las técnicas aplicadas se basan en actividades de campo mediante las cuales se obtienen, principalmente, datos empíricos que después serán analizados y procesados en el gabinete y en el laboratorio.

Las técnicas principales consisten en análisis morfoestructurales, morfométricos y morfoestratigráficos, conjuntamente con la interpretación fotogeológica y de imágenes de satélite. Como

apoyo a estos análisis se realizan determinaciones geoquímicas que aportan información sobre la evolución y configuración del paisaje natural y antrópico. Las técnicas aplicadas permiten reconstruir la dinámica del paisaje como un componente del ecosistema humano, para explicar el cambio o la estabilidad cultural en un sitio o una región dada.

En el trabajo de campo, la metodología consiste en la observación directa y la descripción de las geoformas del terreno, la interpretación de formaciones superficiales y sus alteraciones, además del eventual muestreo sistemático de suelos, sedimentos y rocas; en consecuencia, esto conlleva tanto a la cartografía de formas y de sucesiones estratigráficas, como a la confección de perfiles toposecuenciales característicos. La observación, el registro y la cartografía detallada permitan distinguir las transformaciones de orden natural de aquellas generadas por procesos culturales, así como su evaluación, para proponer medidas que eviten su deterioro y contribuyan a su conservación.

En lo que respecta al análisis instrumental, se solicita la colaboración de los laboratorios anexos para obtener información mineralógica, petrográfica, cronológica y de difracción de rayos x, entre otros datos. Todo ello bajo un esquema interdisciplinario y con el fin de caracterizar la evolución del relieve tanto en el nivel local como en el regional.

En el gabinete se utilizan bases de datos y se realizan análisis de documentos geográfico-históricos y de imágenes procedentes de archivos históricos y acervos cartográficos actuales. También se combinan los datos obtenidos en el campo con las técnicas de percepción remota (fotogeología, modelos digitales del terreno y, tratamiento informático de imágenes satelitales, por ejemplo filtrados, realces y clasificaciones), y se despliegan en sistemas de información geográfica mediante programas de computación especializados.

7.4 MATERIALES A LOS QUE SE APLICAN

El material de estudio, por así decirlo, corresponde específicamente al paisaje o área geográfica de ocupación humana antigua y sus sectores de influencia. Sin embargo, al estar el paisaje o relieve terrestre sujeto a modificaciones debidas a fenómenos geológicos internos y externos, así como a transformaciones culturales, implica también ocuparse de los productos resultantes y expuestos en el paisaje, los cuales se convierten en la evidencia de la interacción entre el hombre y su entorno ambiental a través del tiempo. El relieve y los productos de su evolución representan el substrato al cual las interpretaciones arqueológicas y antropológicas deben ser referidas.

7.5 APLICACIONES ARQUEOLÓGICAS E INFORMES DE RESULTADOS

De acuerdo con los puntos anteriores, la información que se obtiene con las investigaciones del laboratorio es de carácter natural y cultural, de aplicación arqueológica, antropológica e histórica. De esta manera es posible llevar a cabo: cartografía geomorfológica de sitios y zonas arqueológicas; correlación de suelos, sedimentos y formas del terreno; modelos de ambientes geológicos favorables para los asentamientos prehispánicos; asociación de procesos de erosión y depósito, y su influencia en la ubicación de vestigios arqueológicos; determinación de tipos de drenaje y su importancia en el desarrollo de asentamientos humanos antiguos; determinación de ambientes y subambientes sedimentarios de depósito; clasificación y análisis espacial de áreas con evidencias arqueológicas y paleontológicas; estratigrafía geológica de excavaciones arqueológicas; caracterización de rasgos naturales que influyen en la ubicación y desarrollo de zonas arqueológicas; identificación de lugares de explotación de materia prima y de rutas favorables de comunicación; delimitación de zonas de patrimonio cultural, entre otros.

Los resultados obtenidos se informan al interesado por medio de un documento, el cual contiene los datos e interpretaciones realizadas. En tal sentido, son tres los tipos de colaboración que entran en las modalidades de participación siguientes:

a) Proyecto individual

Se realiza en el Laboratorio de Geomorfología. En esta modalidad se trabaja sobre un proyecto geomorfológico específico o de aplicación arqueológica. Se caracteriza por tener como base una propuesta aceptada y financiada por alguna institución o por el INAH.

b) Proyecto de coautoría

Consiste en efectuar parte de un estudio o proyecto general de investigación en el que haya varios investigadores trabajando y cuyos resultados sean complementarios y necesarios para el proyecto total. En esta modalidad es posible la participación de los investigadores de los laboratorios de la SLAA y de otras dependencias del INAH; asimismo, puede haber una labor conjunta con investigadores de otras instituciones y universidades, donde se realicen labores en cualquier disciplina afín a la geomorfología o a la arqueología. En este caso deben asentarse por escrito las responsabilidades de cada participante.

c) Proyecto de colaboración

Esta tercera modalidad es la opción para investigaciones arqueológicas, antropológicas o históricas, cuyos objetivos requieren de análisis específicos o estudios sobre algún aspecto en concreto; puede tratarse de un proyecto del INAH o de uno externo.

7.6 FORMATO DE SOLICITUD

El formato que deberá presentarse obligatoriamente es el que se encuentra al inicio de este instructivo.

7.7 PERFIL ACADÉMICO DEL INVESTIGADOR

Óscar Hugo Jiménez

Profesor investigador titular “B”. Realizó la Licenciatura en Geología en el Instituto Politécnico Nacional, México, y la Maestría en Ciencias en la Universidad de Texas, Estados Unidos. Diplomado en Sensores Remotos, Arqueología Mexicana, Cultura Nohispana y, Química y Filosofía e Historia de la Ciencia. Entre sus líneas de investigación se cuentan: geología y geomorfología de sitios y zonas arqueológicas, geología del Cuaternario y patrimonio geológico.

8. Laboratorio de Microscopía Electrónica de Bajo Vacío

La Microscopía Electrónica de Barrido de Bajo Vacío (MEB-BV) es una técnica de análisis que, en la actualidad, ocupa un papel importante en el estudio de los materiales arqueológicos. La técnica ofrece condiciones muy ventajosas en esta área; en principio, no existe restricción acerca del tipo de material que se desea estudiar y no es necesario contar con equipos especiales para la preparación de las muestras. Gracias a esta nueva modalidad se incrementan el rango, el número y el tipo de muestras posibles de analizar, como muestras no conductoras e incluso húmedas; materiales arqueológicos como: rocas, huesos, conchas, muestras de sue-

lo, materiales empleados en construcción, pigmentos, cerámica, metales y madera, se pueden estudiar sin ningún problema.

8.1 TÉCNICAS APLICADAS

La MEB-BV proporciona información sobre la estructura del material, la morfología y el tamaño de partícula, la topografía y detalles de la superficie del material; asimismo se determina la composición química elemental mediante microanálisis químico, por medio de la técnica de espectroscopía por dispersión de energía de rayos X (EDS).

8.2 CARACTERÍSTICAS DE LAS MUESTRAS

Con el Microscopio Electrónico de Barrido de Bajo Vacío (MEB-BV) se van a observar aquellas muestras cuyas características microscópicas no se pueden resolver por medio de un microscopio óptico (MO).

Es necesario tener presente el objetivo del análisis y el tipo de información que éste proporciona.

La cantidad de material requerido para el análisis varía desde 0.1 gramo hasta muestras voluminosas con las siguientes dimensiones: ocho centímetros de largo por ocho de ancho por siete de alto; muestras de mayor tamaño no se podrán analizar, salvo obteniendo sus réplicas y, de éstas sólo se logra información morfológica o de su superficie.

Las muestras pueden ser polvos, piezas que no excedan las dimensiones antes señaladas, o réplicas.

Los diferentes materiales se deben agrupar según el tipo (cerámicos, hueso, piezas metálicas, etcétera), se analizará una muestra por tipo.

En el análisis químico elemental es posible identificar elementos a partir del boro y hasta el uranio.

El análisis químico se obtiene de la zona que está en observación, éste puede ser de pantalla completa en forma generalizada o en zonas localizadas de manera puntual; es decir, en áreas específicas del material, como las morfologías y otras estructuras características.

8.3 PROCESAMIENTO DE LAS MUESTRAS

La técnica de MEB-BV es una técnica no destructiva, por lo tanto las muestras son recuperables en la mayoría de los casos, excepto cuando la muestra debe recubrirse con oro.

De acuerdo con su organización, este laboratorio programa sesiones de microscopio, generalmente de dos horas una vez a la semana, a las cuales asisten el investigador a cargo y el solicitante del estudio; el número de sesiones dependerá de la cantidad de muestras registradas en la orden de entrada. El investigador encargado no procesará muestras de manera individual, pues el interesado del estudio debe estar presente y colaborar con el investigador.

8.4 CARACTERÍSTICAS DEL INFORME

Los resultados de los estudios o análisis solicitados se presentan en informes cuyas características son las siguientes:

Incluye las imágenes obtenidas de cada muestra, abarca tanto imágenes de superficie y morfología general, como de estructuras presentes.

Las imágenes se imprimen directamente o se guardan en discos de 3 1/2", en discos Zip o en CD, y pueden contener los datos de

las condiciones en que se llevó a cabo el análisis, por ejemplo: KV, magnificación, escala, fecha, nombre de la muestra, señal, distancia de trabajo (WD) y *spot size*.

En el reporte de análisis químico elemental se enlistan los elementos químicos presentes en el material; también se presenta una lista de los análisis relacionados con estructuras específicas.

8.5 APLICACIONES ARQUEOLÓGICAS

Con la información obtenida se conocen las características físicas y químicas que presenta el material; es decir, de la relación entre la morfología, la microestructura y la composición química del material analizado, es posible determinar sus propiedades físicas y químicas, conocer el origen y el tipo de material usado, el nivel tecnológico y las técnicas de manufactura empleadas. Con estos resultados se incrementa la efectividad en los procesos de restauración, conservación y autenticación, en la intervención de materiales arqueológicos.

8.6 ORDEN DE ENTRADA DE MUESTRAS

La información presentada en el formato “Solicitud General de Entrada”, a la Subdirección de Laboratorios es suficiente para el LMEB-BV.

8.7 PERFIL ACADÉMICO DEL INVESTIGADOR

Gerardo Villa Sánchez

Es originario de Toluca, Estado de México. Obtuvo la Licenciatura en Ingeniería Química por el Instituto Tecnológico de Toluca, sustentando la tesis *Efecto de los metales nobles en la señal termoluminiscente de la ZrO₂*, y la Maestría en Ciencia de Mate-

riales por la Universidad Autónoma del Estado de México, con la tesis *Síntesis y caracterización de estructuras unidimensionales de SiO₂-Ag*. Desde el año 2005, realiza una estancia en el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, que le permitió elaborar ambas tesis; además, durante esta misma estancia ha utilizado el microscopio electrónico de barrido, que ha representado una herramienta fundamental para desarrollar sus proyectos de investigación.

9. Laboratorio de Química y Suelos

La tarea fundamental de la geoarqueología consiste en distinguir los restos de la actividad humana, de los restos de origen natural o geológico. Los de actividad humana siempre se encuentran en una matriz geológica; el origen de esta matriz y su relación con los restos de actividad humana son fundamentales para entender la formación del registro arqueológico y para poder interpretar acertadamente las actividades humanas. Los estudios de la estratigrafía de una deposición, ya sea natural o artificial, son primordiales para plantear interpretaciones de la historia de la vegetación y de la integridad de los depósitos estratigráficos de un sitio.

9.1 FUNCIONES

El Laboratorio de Química y Suelos lleva a cabo tres funciones fundamentales:

1. Su primera función es realizar estudios de suelos y sedimentos, lo cual implica reconocimiento de área, muestreo de perfiles o excavaciones, mapeo o delimitación geográfica, principales geoformas y procesos geomorfológicos observados en el lugar, hidrología y, finalmente, comprobación de la geología del área, toma de muestras de rocas y líticos asociados al material parental de los suelos.
2. La segunda función tiene por objeto los análisis físicos y químicos de todo tipo de material orgánico e inorgánico encontrado en una excavación o bien, que se le asocie con a la misma. Las determinaciones se realizan de acuerdo con los objetivos planteados por el arqueólogo o investigador que coordina el proyecto.
3. La tercera función se encuentra ligada a la difusión de los resultados de las investigaciones realizadas. Ésta se efectúa mediante la publicación de artículos científicos, de divulgación general, ponencias en congresos y reuniones de especialidad, o bien, cuando el material lo requiere, por medio de folletos o libros. En el rubro académico pueden organizarse cursos y seminarios y, si es el caso, es posible proporcionar entrenamiento individual y grupal a instituciones que lo soliciten.

9.2 TIPOS DE ESTUDIOS

Reconocimiento de área

Un aspecto de suma importancia que debe tomarse en cuenta, particularmente en los estudios de suelos y sedimentos, y que debe ser norma en todos los estudios, se refiere a la toma de muestras y debe realizarla personal del laboratorio y el investigador solicitante, en el lugar o espacio donde se encuentra el objeto de estudio. Esto aplica tanto para análisis químico, físico

y biológico, como para el de otro tipo, al cual se llama análisis especial.

Respecto a los estudios de suelos, deben apoyarse en planos, mapas, fotografías aéreas e imágenes de sensores remotos, que permiten definir rutas de reconocimiento, localizar sitios de muestreo y observar *in situ*, las condiciones de contorno, geología, afloramientos, tipos de roca, tectónica, volcanes, hidrología, ríos intermitentes o continuos, presas, lagos, deltas, topografías, montañas, sierras, lomeríos, planicies, geomorfología, etcétera, que involucran las formas del terreno y su dinámica, tipos de vegetación y finalmente la alteración humana. Todos estos elementos permiten: a) ubicar el sitio arqueológico dentro de un contexto ecológico; b) localizar los sitios para la excavación de perfiles pedológicos y de reconocimiento estratigráfico; c) definir el número mínimo de muestras por analizar y el tipo de análisis por efectuar.

En el caso de los análisis químicos, físicos y biológicos es de gran ayuda que, junto con el arqueólogo, se defina y señale el sitio adecuado para el muestreo de la pared, mural, estructura u objeto que se requiere analizar, además de determinar el tipo de análisis que responda a los objetivos o preguntas propuestas por el investigador.

Análisis químicos

En general, los materiales que requieren de un análisis químico son las materias primas o componentes de los diferentes materiales utilizados o elaborados por el hombre, tales como: pigmentos, estucos, obsidias, maderas, carbón vegetal, cerámica, restos vegetales, conchas, rocas, adobes, turbas, etcétera. Para este tipo de estudio sólo se necesitan los datos más relevantes que sitúan la muestra en su contexto arqueológico.

Por otra parte, también se estudian áreas de actividad de los asentamientos humanos y unidades habitacionales, por medio

del mapeo de iones como los fosfatos, sulfatos y carbonatos. Estos mapeos se realizan a pequeña escala y con retícula fina, dependiendo del área que se trata de zonificar de manera espacial bidimensional y tridimensional, cuando se hace a diferentes profundidades.

Análisis de suelos

Para estudiar los suelos naturales es necesario tomar en cuenta que su evolución y desarrollo dependen de varios y diversos aspectos: el material parental que los origina; el clima en que se desarrollan y forman los horizontes; la vegetación que soportan; la topografía y microrrelieve del terreno y el tiempo que ha transcurrido desde su inicio hasta el presente; a estos factores hay que agregar la actividad biológica y la humana, que altera o transforma al suelo. En el suelo se sintetizan y quedan marcadas todas las variaciones climáticas, erosivas, de alteración, de los cambios en la vegetación, de los diferentes tipos de sedimentación eólica, aluvial, coluvial, lacustre, pantano, o bien de emanaciones y erupciones volcánicas que se hayan efectuado en el transcurso del desarrollo y evolución del paisaje. El estudio de la geología regional es fundamental, ya que las montañas y rocas madre aportan los materiales parentales para el desarrollo del suelo, el vulcanismo, la tectónica y afallamiento del terreno, los cuales producen cambios en su evolución, rejuvenecimiento, erosión, acumulación y sedimentación de clásticos volcánicos.

Además, para el estudio de suelos también es preciso considerar la hidrología: los ríos, arroyos, lagunas, aguas freáticas y corrientes subterráneas y manantiales, sean de aguas dulces, mineralizadas o sulfurosas, las que transportan los materiales terrígenos, los sedimentan y acumulan, los hidrolizan e intemperizan, lavando el suelo, acumulando sales o formando nuevos minerales. Finalmente, tomando en cuenta los factores delineados, se deben observar los cambios en los procesos geomor-

fológicos y de paisaje, al igual que los procesos actuales. De acuerdo con todo lo expuesto, se concluye que el suelo es producto de una serie de factores que cambian con el tiempo y dejan su huella por los procesos a que están sometidos en cada etapa de su desarrollo, por tanto su origen es poligenético, no monogenético.

Así, los estudios de este tipo requieren de la participación directa del Laboratorio de Química y Suelos en los proyectos arqueológicos correspondientes, ya que es necesario planificar el reconocimiento del terreno, identificar en el campo los factores y procesos más importantes, así como la dinámica geomorfológica del lugar. En cada caso habrá de revisarse la estratigrafía y secuencia de horizontes presentes, definirse la presencia de paleosuelos, de facies estratigráficas o de suelos; se realizarán el muestreo y el análisis requerido, tomando nota de las condiciones regionales, ambientales, de sedimentación, erosión y meteorización; de las características mineralógicas y morfológicas de los estratos u horizontes, en su medio natural, en la excavación o perfil pedológico realizado ex profeso para su estudio.

Las aplicaciones que un análisis o estudio de suelos tienen para la arqueología son múltiples; las más importantes son las que derivan de la definición y reconstrucción del paleopaisaje, el paleoambiente y el paleoclima, que permiten tener una clara idea de los recursos naturales de una región: forestales, faunísticos e hidrológicos, así como del desarrollo de la agricultura. Con estos elementos es posible definir y separar los cambios que han sucedido, a lo largo del tiempo, de manera natural, de los que son producto del asentamiento y aprovechamiento –como parte de su ecosistema natural– por parte del hombre. De igual manera, se pueden identificar los cambios que son producto del uso intensivo de los recursos naturales y que transforman el ecosistema, lo depredan y destruyen, trayendo consigo la declinación y migración del hombre, en busca de nuevos sitios donde asentarse.

A continuación se listan las determinaciones más relevantes que se realizan en este laboratorio:

a) Análisis físicos

Color, en húmedo y seco, por medio de las tablas Munsell, las cuales definen los tres caracteres principales del color: Hue, color espectral; value, su oscurecimiento o palidez; chroma, referido a la pureza del color básico a veces mezclado o adulterado por otro.

Granulometría, referido a la composición granulométrica de arenas, limos y arcilla. Se lleva a cabo por dos métodos: a) método de Bouyoucos del hidrómetro y b) método sedimentológico, separación granulométrica por centrifugación. En ocasiones se aplica el método de la pipeta, que es similar al método de Bouyoucos, pero no tan detallado.

Estudio de las gravas. En ocasiones se realiza este estudio, pero antes hay que definir en el campo, su distribución, orientación y forma.

Análisis mineralógico de las arenas, se realiza para definir y separar las arenas cuarzosas, calcáreas, férricas, argílicas, etcétera.

Densidad aparente y densidad real: la densidad permite definir junto con la granulometría la porosidad del material terrígeno.

Estudio de minerales pesados por el método de Bromoformo, o bien por medio del separador magnético de partículas y minerales.

Estudio de secciones delgadas, se lleva a cabo después de haber impregnado una muestra de suelo con una termoresina que, al endurecer, permite devastarla hasta tener un espesor de 20 micras; este espesor que permite realizar estudios mineralógicos y micromorfológicos del suelo, por medio de la luz polarizada. Además se pueden identificar componentes biológicos (diatomeas, polen, fitolitos, raicillas, etcétera), migración de arcilla y su acumulación, cementantes, tipo de arcilla, acumulación y presencia de sales, crotovinas, espacios porosos, canales, microgrietas, poros, entre otros elementos.

Estudio de componentes biológicos: normalmente al suelo se integran un gran número de elementos biológicos, algunos visibles a la simple vista como huesecillos de la fauna menor y mayor, restos de insectos, caparazones de moluscos, ostrácos, restos vegetales y semillas; otros no se perciben a simple vista, como los fitolitos, diatomeas, espículas de esponja y polen.

El pH normal con agua en relación 2:1 (agua+suelo) o bien 5:1 (agua+suelo) o pH potencial con cloruro de potasio uno normal. La lectura se realiza en un potenciómetro.

Salinidad: por medio de la conductividad eléctrica se pueden medir la resistencia o facilidad al paso de la corriente eléctrica en el suelo y, de acuerdo con el contenido de sales, se obtendrá un valor expresado en mhos o milimhos, que indicará los miliequivalentes de sales en la muestra.

b) Análisis químicos

Se considera importante realizar el análisis cuantitativo de objetos orgánicos, inorgánicos y metálicos antiguos; pero en algunos casos, por la escasa cantidad o debido al estado de corrosión de la muestra, es necesario un análisis cualitativo que indique impurezas, productos de la corrosión, en basureros de metales o de materiales de desecho. Los principales elementos metálicos por determinar son: oro, plata, cobre, estaño, plomo y hierro.

En el caso de los análisis cuantitativos debe considerarse que la muestra será parcial o totalmente destruida, y que la cantidad utilizada debe contener una porción suficiente del elemento para ser cuantificado. Esto es necesario aun con el equipo de más alta resolución; sólo en el caso de espectrometría por rayos X o electrónica –microscopio electrónico de barrido–, la muestra no se destruye, pero debe presentar ciertas características y particularidades. En los suelos es posible determinar cationes como calcio, magnesio, sodio y potasio; o bien, aniones como cloruros, sulfatos, carbonatos, bicarbonatos y fosfatos. Todos

ellos iones importantes que señalan o indican procesos de intemperización o acumulación salina.

Los procesos de oxidación y, reducción, se miden por medio de la cantidad de hierro en forma ferrosa y férrica, además del manganeso, si es notable su presencia. La materia orgánica puede analizarse por métodos de ignición completa; vía húmeda por oxidación con ácido crómico; sus componentes, ácidos húmicos y fúlvicos, para saber su grado de alteración.

La arcilla se puede separar y definir su tipo y composición química, para conocer sus procesos de intemperización y los rasgos heredados al sufrir un cambio ambiental o de proceso. En las arcillas es posible determinar la capacidad de intercambio, saturación de bases, para saber y determinar la capacidad productiva de un suelo; así como para conocer sus propiedades físicas y su capacidad de retención de elementos como fosfatos, aluminio, nitrógeno y potasio, de ésta dependen muchos factores químicos y físicos del suelo. Los análisis químicos permiten identificar los procesos que han tenido lugar en el suelo y los nuevos a que se encuentra sujeto, considerando que los actuales materiales y condiciones ambientales en que tienen lugar los procesos dejan en solución, elementos tales como sílice, alumina y hierro, que al recombinarse producen nuevas arcillas o minerales secundarios.

Así, en el suelo pueden coexistir varios grupos de arcillas por su proceso poligénético, o bien dependiendo del aporte de nuevos materiales que rejuvenecen el proceso de neosíntesis de las arcillas. Ejemplos de estos materiales son las cenizas volcánicas, el material eólico y el de acarreo fluvial, coluvial, aluvial, o bien depósitos de tipo lacustre.

De esta manera, es posible señalar que los análisis químicos están sujetos a los objetos y necesidades planificadas por el especialista y el arqueólogo. Cabe destacar, en este sentido, que no tiene los mismos intereses, por ejemplo el agrónomo, quien requiere conocer la fertilidad del suelo y para ello, debe cuantificar el contenido de nitrógeno, fósforo y potasio, la capacidad

de intercambio, contenido de materia orgánica, capacidad de retención de humedad, entre otros factores, que un arqueólogo. Éste, al preguntarse cuál fue la productividad de una región, parte quizás de los mismos elementos analíticos que el agrónomo, pero dentro de un contexto diferente, pues toma en cuenta el asentamiento o grupo humano que habitó la región definida, con una problemática diferente y condiciones ambientales que también difieren de la situación actual y para la cual debe reconstruir el hábitat, mediante la integración de varias áreas del conocimiento: la geología, geomorfología, suelos, clima, vegetación y topografía, con un sentido paleogeográfico y de cambio que sucede en la naturaleza por catástrofe, caos o sucesión normal.

Se puede agregar a cualquier tipo de análisis cualitativo o cuantitativo de horizontes pedológicos o arqueológicos, los análisis de estratos y sedimentos en su composición química, de los variados minerales que la componen; y también el análisis químico total de rocas y minerales de origen inorgánico. Este análisis total señala la composición química elemental del objeto o roca sujeta de estudio, y con ello se determina su naturaleza y origen.

9.3 CARACTERÍSTICAS DE LAS MUESTRAS Y NOTAS SOBRE SU PROCESAMIENTO

Para un análisis completo se requiere de una muestra mínima de 500 gramos, y deberá estar lo menos alterada posible y con fragmentos o agregados (terrones) que permitan al analista reconocer elementos que no pudieron observarse o pasaron desapercibidos por el colector, tales como: raicillas, poros, microgrietas, migración de compuestos o arcillas, estratificación de capas, disposición de agregados o minerales, gravas, gravillas, color, moteado, eflorescencia salina, componentes orgánicos y biológicos.

Cuando se trata de análisis específicos, por ejemplo de fosfatos, se requiere de cantidades pequeñas. La muestra mínima es de

diez gramos de material fino, el cual se destruye al ser procesada la muestra.

En el caso de algunas determinaciones, la cantidad de muestra requerida es de un gramo o de 0.1 gramos, pero es preciso tomar en cuenta que debe ser representativa del total y es necesario hacer repeticiones para una mayor seguridad en el análisis.

Pueden realizarse análisis cualitativos con cantidades que varían entre 0.1 y 0.01 gramos para ello se realizan las determinaciones bajo microscopio óptico o utilizando reactivos específicos, a los cuales el elemento sea muy sensible.

Cuando se tiene un objeto o artefacto, el arqueólogo, colector o restaurador deberán señalar la parte de donde conviene obtener la muestra para el análisis, considerando las necesidades de restauración posterior.

9.4 INFORMES DE RESULTADOS

En el informe se presentan los datos correspondientes al análisis elemental y se indica su contenido en gramos, miligramos, nanogramos, partes por millón (ppm) o, en su caso, miliequivalentes (meq). Todo esto dependerá de las proporciones que se presenten en la muestra y de si se trata de elementos mayores, menores o traza. Se agrega al mismo, las observaciones macroscópicas y microscópicas realizadas, así como las aplicaciones arqueológicas requeridas por el agrupamiento de elementos, la relación de elementos traza o bien su composición mineral.

Como ejemplo se puede señalar el origen de materiales líticos, pedernales, rocas, su distribución y yacimientos; en el caso de metales, el tipo de aleación; si se trata de cerámica, las fuentes de donde se obtuvo la materia prima y los agrupamientos que se pueden realizar, hasta llegar, finalmente, a la regionalización por fuentes de materia prima o de distribución de objetos.

Por último, debe hacerse hincapié en que los análisis, sean físicos, químicos o biológicos, deben responder a los objetivos y preguntas –hipótesis– que el arqueólogo se plantee o intuya, durante su trabajo en la búsqueda de la verdad y el conocimiento. El dato más insignificante puede tener una gran relevancia si se encuadra en el contexto arqueológico, o resultar un simple dato más, perdido en el reporte de análisis. Asimismo, es preciso recordar que la arqueología es una ciencia que obtiene mejores resultados cuando trabaja de forma inter e intradisciplinariamente con otras ciencias de las llamadas “duras”, para apoyar sus hipótesis y teorías; por lo tanto se trata de un trabajo de equipo en el cual intervienen todos los investigadores que estudian los fenómenos de la naturaleza y la actividad humana, sea técnica, científica o del espíritu.

9.5 PERFIL ACADÉMICO DEL INVESTIGADOR

Antonio Flores Díaz

Obtuvo el título de licenciado en Biología por la Facultad de Ciencias de la UNAM, el grado de maestro en Ciencias por el Colegio de Posgraduados, Montecillos, Estado de México, y el de doctor en Ciencias por la UNAM. Es especialista en génesis, morfología y clasificación de suelos. Algunos proyectos de investigación: Paleosuelos de la cuenca de México, Suelos de la península de Yucatán; Procesos de salinización de suelos y desertificación. Áreas de conocimiento: sedimentología, estratigrafía, micro-morfología de suelos y mineralogía, microfósiles, paleosuelos y paleoambientes.

10. Laboratorio de Rayos X

10.1 FUNCIONES

Entre las funciones del Laboratorio de Rayos X se cuentan:

- a) desarrollar proyectos de investigación a partir de materiales arqueológicos, geológicos e históricos; b) colaborar en proyectos arqueológicos ya establecidos, que requieran análisis de materiales específicos mediante las técnicas de Difracción de Rayos X (DRX) y Raman; c) contribuir al enriquecimiento de bases de datos sobre zonas y materiales arqueológicos estudiados; d) apoyar con bibliografía y orientación técnica a estudiantes e investigadores, y e) difundir los estudios e investigaciones realizadas.

10.2 EQUIPO Y TIPOS DE ESTUDIOS

Equipo

El Laboratorio de Rayos X cuenta con dos equipos: un difrac-

tómetro de rayos-X marca INEL, modelo Equinox 2000, y un equipo portátil Raman, marca Spectrolab, modelo R-3000.

Tipos de estudios

Los principales tipos de estudios que se realizan son: 1) caracterización de sólidos inorgánicos cristalinos, aplicando el método de Difracción de Rayos X (DRX), y 2) caracterización de material orgánico e inorgánico por medio de espectroscopía Raman.

A partir de la identificación de los materiales se pueden fundamentar los distintos tipos de estudios: a) sobre la naturaleza química y mineralógica de artefactos y materiales de interés arqueológico e histórico; b) fuentes de procedencia de materias primas empleadas para la elaboración y decoración de objetos arqueológicos; c) acerca de la caracterización de minerales arcillosos, con fines de reconstrucción paleoambiental y análisis geomorfológico del paisaje natural; d) determinación de componentes que tipifican material cerámico; e) recubrimientos y películas orgánicas; f) naturaleza de pigmentos y pinturas usadas por sociedades antiguas, entre otras.

10.3 MATERIALES A LOS QUE SE APLICAN LOS ESTUDIOS

Los principales tipos de muestras y materiales que se analizan son: cerámica, instrumentos líticos, fragmentos de monolitos, estelas, material constructivo, por ejemplo estucos, pisos, ladrillos, aplanados, cimientos, canales y piedras de construcción; así como piezas metálicas, entre otros más. Asimismo, los análisis se aplican a muestras de suelos, sedimentos y alteraciones de rocas.

10.4 TÉCNICAS EMPLEADAS

Difracción de Rayos X (DRX)

La técnica de DRX consiste en bombardear la muestra con ra-

rayos X a diferentes ángulos de incidencia, lo cual genera que los rayos sean refractados y reflejados dependiendo de la estructura cristalina del material en estudio. Dado que el arreglo de los átomos es ordenado y forman una estructura repetitiva en celdas cristalinas únicas para cada mineral, el resultado es un difractograma característico para cada uno de ellos. Así, el *difractograma* permite identificar los componentes que constituyen la muestra. Por esta misma razón, el método no funciona para materiales de naturaleza amorfa como el vidrio.

Las radiaciones emitidas son generadas con un tubo de ánodo de Cu ($\lambda = 1.54 \text{ \AA}$) y las respuestas de difracción son plasmadas en un espectro, según los valores de espaciado interplanar “d” y la posición e intensidad de picos de difracción en una escala 2θ . Estas variables son necesarias para aplicar la ley de Bragg ($n\lambda = 2d\sin\theta$), que rige el comportamiento de la difracción de los rayos X en estructuras cristalinas.

Espectroscopía Raman

La espectroscopía Raman es una técnica fotónica de alta resolución que proporciona, en pocos segundos, información química y estructural de material inorgánico y orgánico, permitiendo así su identificación. El análisis mediante espectroscopía Raman se basa en el examen de la luz dispersada por un material al incidir sobre él un haz de luz monocromático. Una pequeña porción de la luz es dispersada inelásticamente, experimentando ligeros cambios de frecuencia que son característicos del material analizado e independiente de la frecuencia de la luz incidente. Esta técnica es posible gracias al desarrollo tecnológico del láser.

En un espectro de Raman se analiza la diferencia entre la energía de la radiación incidente respecto a la emitida; por lo tanto, es necesario que la fuente sea monocromática, y los sistemas láser tienen estas propiedades. Un sistema de espectrometría Raman consta, típicamente, de las siguientes partes: *a*) fuente de radiación (láser), *b*) dispositivo colector (detector) y *c*) un es-

pectrógrafo. Al hacer la gráfica de la intensidad de la radiación dispersada como función de la diferencia de su frecuencia con la de la radiación incidente, se obtiene un espectro de Raman.

La principal ventaja de esta técnica aplicada al estudio de objetos arqueológicos reside, por un lado, en que no se precisa de una preparación de la muestra previa al registro espectral; por otro lado, en su carácter no destructivo (aunque en algunos casos es necesario tener especial cuidado con la intensidad del láser).

10.5 CARACTERÍSTICAS DE LAS MUESTRAS Y NOTAS SOBRE SU PROCESAMIENTO

Para análisis por DRX se requiere de un mínimo de 50 miligramos de muestra. En análisis de suelos y sedimentos se necesita, aproximadamente, 50 gramos de muestra. Para el caso de material orgánico, lítico, cerámico, metálico o cualquier otro artefacto arqueológico, es preferible consultar con el personal del laboratorio para saber si la cantidad disponible es suficiente, y si se puede o no destruir para su análisis.

Por otro lado, como se ha mencionado, la espectroscopía Raman es una técnica de carácter no destructivo. Para el análisis de las muestras no se requiere darles algún tratamiento previo y la naturaleza de tales muestras puede ser sólida, como polvos o piezas.

En general, se deben observar los siguientes aspectos importantes acerca de los materiales o ejemplares que se pretenden entregar para su análisis:

1. Cada muestra o pieza debe ser obtenida con utensilios limpios y de forma independiente.
2. Preferentemente, no lavar con agua ninguna muestra.
3. Al recuperar las muestras, deben ser envueltas en papel aluminio y nylon.
4. Detallar la técnica de muestreo utilizada.

5. Proporcionar información de los puntos o zonas de donde se obtuvo la muestra.
6. Localizar las muestras en coordenadas locales de las excavaciones del sitio arqueológico, así como en UTM y geográficas.
7. Cuando se trate de múltiples piezas o fragmentos, por ejemplo de cerámica, deben hacerse previamente agrupaciones de fragmentos con características arqueológicas similares y seleccionar sólo la muestra o agrupación más representativa para ser estudiada.

10.6 APLICACIONES ARQUEOLÓGICAS E INFORME DE RESULTADOS

La aplicación arqueológica más frecuente de la DRX es la caracterización de cerámica, piezas líticas, suelos y sedimentos. Esta caracterización se logra por medio de la identificación de los principales componentes, de su posible origen y de una comparación de elementos tanto arqueológicos como naturales, en la que intervienen materiales y productos similares de localidades con nexos culturales históricos. También se requiere de un análisis sistemático de los materiales naturales de las localidades de interés, considerando o estudiando, además, las características geoquímicas regionales de las mismas.

Los análisis por DRX han tenido éxito en arqueología al combinarse con el análisis petrográfico de secciones delgadas y con la determinación de elementos químicos fundamentales. De igual manera, este procedimiento analítico es muy frecuente en el estudio de cerámica, por el contenido de minerales arcillosos en asociación con minerales secundarios como feldespatos, plagioclasas, cuarzo, piroxenos y micas, entre otros, los cuales forman una matriz susceptible de ser analizada por medio de DRX.

Igualmente prioritaria ha sido la técnica de DRX, en la identificación de minerales arcillosos. Éstos, por tener una excelente

estructura cristalina, son relativamente fáciles de determinar aun cuando presentan un tamaño pequeño, usualmente menor a $2\mu\text{m}$, que los hace difíciles de identificar con sólo métodos petrográficos. El éxito se debe a que las arcillas poseen información valiosa sobre la génesis y evolución de suelos, sedimentos y rocas, así como de sus alteraciones.

En el caso de la espectroscopía Raman, una de sus principales aplicaciones en arqueología es la relacionada con las cuestiones pictóricas (pintura mural, pigmentos en materiales cerámicos, textiles, etcétera) no sólo para el conocimiento del origen de la materia prima, sino también con fines de conservación y restauración. Asimismo, la espectroscopía Raman puede ser útil para el análisis de materiales orgánicos e inorgánicos.

Respecto a los informes de resultados, éstos se entregan en formato de “reporte” o de “informe de investigación”. El primero contiene únicamente los resultados obtenidos a partir de los análisis practicados a las muestras y materiales arqueológicos, además de las condiciones técnicas del análisis. La extensión del reporte dependerá del número y tipo de muestras analizadas. En cuanto al informe de investigación, incluye además de los análisis concretos practicados a los materiales, un análisis detallado de los resultados y una investigación sistemática del contexto geológico y arqueológico, y de la posible génesis de los materiales naturales asociados al sitio o zona de estudio, todo ello ligado directamente a los objetivos generales del proyecto arqueológico. Este documento se presenta en un formato de publicación formal, aunque es de carácter inédito.

Si los solicitantes de los análisis se interesan en participar en la publicación e investigación de los materiales, se puede acordar previamente, con el personal del laboratorio, el tipo de colaboración, de acuerdo con dos modalidades: la primera, denominada “modalidad de colaboración”, consiste en llevar a cabo una investigación profunda sobre un aspecto arqueológico determinado. Por lo mismo, se requiere de la participación de otros investigadores, tanto del INAH como de otras instituciones, para resolver conjuntamente preguntas concretas de importancia

fundamental para una determinada investigación arqueológica.

La segunda es la llamada “modalidad de coautoría”, su objetivo es realizar, a corto plazo y por separado, una investigación o estudio concreto, cuyos resultados sean para completar los objetivos de un proyecto mayor. En esta modalidad pueden o no intervenir investigadores de diferentes instituciones y disciplinas afines a la arqueología. En ambas modalidades de participación, el resultado debe ser un documento de estructura formal, acorde a las normas editoriales específicas.

10.7 FORMATOS DE SOLICITUD

Para solicitar un estudio o análisis, se concertará previamente una entrevista entre el interesado y el personal del laboratorio, con la finalidad de establecer el alcance de la técnica que se pretenda aplicar, el tiempo de ejecución del trabajo y las formas de colaboración. La entrevista puede solicitarse por teléfono o correo electrónico. Una vez acordado este punto, deberá llenarse el formato de solicitud de servicio del Laboratorio de Rayos X. En caso de ser necesario, se pedirá al interesado información específica sobre el proyecto en el cual se usarán los datos obtenidos.

10.8 PERFIL ACADÉMICO DEL INVESTIGADOR

Óscar Hugo Jiménez

Profesor investigador titular “B”. Cursó la Licenciatura en Geología en el Instituto Politécnico Nacional, México, y la Maestría en Ciencias, en la Universidad de Texas, Estados Unidos. Línea de investigación: identificación de materiales arqueológicos y geológicos a través de las técnicas de DRX y espectroscopía Raman.

Índice

Presentación	7
1. Introducción	9
1.1 Finalidad del instructivo	10
1.2 Solicitudes de colaboración para investigaciones y requisitos de ingreso y recepción de muestras	12
2. Laboratorio de Arqueobotánica	19
2.1 Funciones	19
2.2 Equipo y tipos de estudios	21
2.3 Técnicas aplicadas	22
2.4 Materiales a los que se aplica	23
2.5 Características de las muestras y notas sobre su procesamiento	23
2.6 Aplicaciones arqueológicas e informes de resultados	25
2.7 Formatos de solicitud	26
2.8 Perfil académico de los investigadores	26
3. Laboratorio de Arqueozoología	29
3.1 Funciones	30
3.2 Equipo y tipos de estudios	32
3.3 Técnicas aplicadas (destructivas y no destructivas)	37
Limpieza	37
Consolidación	38
Restauración	38
Análisis	38
3.4 Materiales a los que se aplican	38
3.5 Características de las muestras y notas sobre su procesamiento	39
3.6 Formatos de solicitud	40
3.7 Perfil académico de los investigadores	43
4. Laboratorio de Fechamiento	45
4.1 Función del laboratorio y secciones adjuntas	46
4.2 Equipo y tipos de estudios	46
4.3 Técnicas aplicadas	47

4.4	Materiales a los que se aplican	50
4.5	Características de las muestras y notas sobre su procesamiento	50
4.6	Aplicaciones arqueológicas e informes de resultados	58
4.7	Formatos de solicitud	60
4.8	Perfil académico de la investigadora	64
5.	Laboratorio de Geofísica	67
5.1	Introducción	67
5.2	Funciones del laboratorio	68
5.3	Equipo	69
5.4	Tipos de estudios y métodos aplicados	70
5.5	Formatos de solicitud	71
5.6	Uso de la información geofísica	72
5.7	Perfil académico del investigador	73
6.	Laboratorio de Geología	75
6.1	Objetivo	75
6.2	Funciones	75
6.3	Técnicas aplicadas	76
6.4	Modalidades de investigación	77
6.5	Normas para la participación en proyectos de investigación	78
6.6	Presentación de los resultados de las investigaciones	79
6.7	Análisis de materiales	79
6.8	Requisitos que deben cumplir las muestras	80
6.9	Perfil académico del investigador	81
7.	Laboratorio de Geomorfología	83
7.1	Funciones	83
7.2	Equipo y tipos de estudios	84
7.3	Técnicas aplicadas	85
7.4	Materiales a los que se aplican	87
7.5	Aplicaciones arqueológicas e informes de resultados	87

7.6 Formato de solicitud	89
7.7 Perfil académico del investigador	89
8. Laboratorio de Microscopía Electrónica de Bajo Vacío	91
8.1 Técnicas aplicadas	92
8.2 Características de las muestras	92
8.3 Procesamiento de las muestras	93
8.4 Características del informe	93
8.5 Aplicaciones arqueológicas	94
8.6 Orden de entrada de muestras	94
8.7 Perfil académico del Investigador	94
9. Laboratorio de Química y Suelos	97
9.1 Funciones	97
9.2 Tipos de estudios	98
9.3 Características de las muestras y notas sobre su procesamiento	105
9.4 Informes de resultados	106
9.5 Perfil académico del Investigador	107
10. Laboratorio de Rayos X	109
10.1 Funciones	109
10.2 Equipo y tipos de estudios	109
10.3 Materiales a los que se aplican los estudios	110
10.4 Técnicas empleadas	110
10.5 Características de las muestras y notas sobre su procesamiento	112
10.6 Aplicaciones arqueológicas e informe de resultados	113
10.7 Formatos de solicitud	115
10.8 Perfil académico del investigador	115

Nuevo instructivo. Subdirección de Laboratorios y Apoyo Académico se terminó de imprimir en septiembre de 2011 en los talleres gráficos de Salinas Impresores, ubicados en Marcelino Dávalos Núm.12, Col. Algarín, Deleg. Cuauhtémoc, CP 06880, México, DF. El tiraje es de 1,000 ejemplares. La edición se realizó en la Coordinación Nacional de Difusión del INAH: Benito Taibo, coordinador nacional de Difusión; Rodolfo Palma Rojo, director de Divulgación; Catalina Miranda, subdirectora de Programas de Divulgación; Karla Cano Sámano, jefa del Departamento de Impresos; Óscar Villafañez, diseño; Silvia Lona, corrección.

