

# DETERMINACIÓN DE ELEMENTOS TRAZA EN OBSIDIANAS ARQUEOLÓGICAS DE SAN MIGUEL IXTAPAN, ESTADO DE MÉXICO

**M.G. Almazán Torres<sup>(1,2)</sup>, D. Tenorio Castelleros<sup>(1)</sup>, F. Monroy Guzmán<sup>(1)</sup>**

<sup>(1)</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, carretera México-Toluca km. 36.5, Ocoyoacac, Edo de México, Tel. 53-29-72-00, Fax 53-29-73-01, correo electrónico: sb@nuclear.inin.mx.

<sup>(2)</sup>Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma del Estado de México, Instituto Literario no. 100 Col. Centro, C.P. 50000

## 1. INTRODUCCIÓN

El sitio arqueológico de San Miguel Ixtapan se localiza al sur del Estado de México, en el municipio de Tejupilco. Su descubrimiento, que data del año de 1958, ha venido a ser una pieza clave para la reconstrucción del pasado del México antiguo, ya que pudo ser un punto estratégico de intercambio comercial entre dos importantes zonas culturales, la Azteca situada en el altiplano central y la Tarasca hacia la costa del pacífico [1]. Hasta el momento, la Subdirección de Rescate y Conservación del Instituto Mexiquense de Cultura ha llevado a cabo dos temporadas de excavaciones de espacios ceremoniales y habitacionales, donde se han recuperado una gran diversidad de materiales pertenecientes a diferentes tradiciones culturales, lo cual refleja las diversas etapas ocupacionales que pudo haber tenido ese sitio. Entre los materiales recuperados, los artefactos de obsidiana son de especial interés debido a la importancia que tuvo este material entre los pueblos prehispánicos, no solo como un objeto de uso cotidiano, sino por la importancia religiosa y política que llegó a alcanzar. Motivo por el cual fue intensamente explotada y comercializada en mercados regionales y redes de comercio a larga distancia, lo que contribuyó en gran medida al fortalecimiento de las sociedades y al intercambio cultural entre pueblos [2].

En la búsqueda de rutas de comercio de la obsidiana, entre los pueblos prehispánicos, la caracterización de los más importantes yacimientos en México y la determinación de la procedencia de los artefactos encontrados en los diferentes sitios arqueológicos ha sido esencial, lo que ha generado diversos estudios. Entre los primeros trabajos que se reportan sobre la caracterización de yacimientos de obsidiana en México, el realizado por la Universidad de Missouri es de los más completos [3]. Más recientemente los trabajos realizados por el grupo de Arqueometría del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, han reportado nuevos datos de distintos yacimientos de obsidiana en México [2,4].

En los últimos años, diversos estudios han demostrado que mediante el análisis de elementos traza es posible la diferenciación y clasificación de materiales arqueológicos de acuerdo con su lugar de origen (procedencia) [5-7]. En este sentido el método de Análisis por Activación Neutrónica ha jugado un papel importante en el estudio de material arqueológico [8,9,11]. Este método permite la determinación de numerosos elementos en forma simultánea con alta sensibilidad, exactitud y precisión, siendo además, la preparación de la muestra relativamente fácil y rápida.

El método de AAN se basa en las propiedades del núcleo atómico. El proceso consiste en la producción artificial de isótopos radiactivos mediante el bombardeo con neutrones térmicos, generados en un reactor nuclear, al núcleo estable. Durante el bombardeo de una muestra, el núcleo de los elementos constituyentes será transformado, por la captura de un neutrón, a un isótopo radiactivo inestable que decae a una configuración más estable por distintos caminos, los cuales usualmente son la emisión de partículas y la emisión de rayos gamma. Los rayos gamma emitidos por esos isótopos presentan energías discretas que son características de cada elemento. La medición de esos rayos gamma permite determinar la concentración de los diferentes elementos presentes en la muestra [10].

En el presente trabajo utilizamos la técnica de Análisis por Activación Neutrónica para determinar elementos traza en obsidianas arqueológicas provenientes de San Miguel Ixtapan, Estado de México. A partir de estos datos y tomando como base los estudios previos realizados por la Universidad de Missouri y el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, se infiere su

procedencia. Esta información será útil para los Arqueólogos e Historiadores en su búsqueda de rutas de comercio en esa región.

Este trabajo forma parte del proyecto “Estudio Multidisciplinario para la conservación e investigación de la zona arqueológica de San Miguel Ixtapan” financiado por la UNESCO, y se desarrolla en el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares en colaboración con el Instituto Mexiquense de Cultura.

## **METODOLOGÍA**

### **1. Obtención de Muestras**

La Subdirección de Rescate y Conservación del Instituto Mexiquense de Cultura nos proporcionó 46 muestras de obsidiana (15 verdes, 15 negras y 16 grises) provenientes de las excavaciones realizadas en el sitio arqueológico de San Miguel Ixtapan, Estado de México. En la Figura 1 se muestran algunas de las piezas de obsidiana verde que nos fueron proporcionadas para este estudio.

### **2. Análisis por Activación Neutrónica Instrumental, AANI**

Decidimos utilizar el método AANI porque con éste método es posible medir mas de 30 elementos a la vez, con la ventaja de que no es necesario realizar separaciones radioquímicas, utilizando solamente un detector de estado-sólido y un sistema computarizado de procesamiento de datos para la medición de los espectros gamma. Por otra parte, el método analítico que elegimos para nuestro estudio es el *Método del Comparador*, que consiste en la irradiación simultánea de la muestra problema con un estándar que contiene cantidades conocidas de los elementos a determinar. Después de la irradiación, ambos, la muestra y el estándar, son medidos bajo condiciones geométricas idénticas y con un mismo detector. Con este proceso se elimina la incertidumbre en los parámetros nucleares, eficiencia del detector, etc [10].



*Figura 1. Navajillas prismáticas provenientes del sitio arqueológico de San Miguel Ixtapan, Estado de México.*

Las condiciones de trabajo, tales como: tamaño de muestra, elementos a determinar, tiempos de irradiación, decaimiento y conteo, que se usaron en este estudio son las mismas que se utilizaron en los trabajos previos realizados en el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares [2,3,4], para la caracterización de algunos yacimientos de obsidiana en México; ya que los datos que se reportan en esos estudios conforman una importante base de datos que será útil para la interpretación de nuestros resultados.

A continuación se describen los pasos que se siguieron para la determinación de elementos traza en las muestras de obsidiana arqueológica provenientes de San Miguel Ixtapan, Estado de México, con el método de AANI.

### 2.1. Preparación e identificación de muestras

Todas las muestras fueron limpiadas cuidadosamente para eliminar la suciedad. Primeramente se lavaron con una solución de Extran al 10% en agua destilada y agitación ultrasónica. Después de este tratamiento se encontró que algunas muestras aun presentaban incrustaciones de tierra, por lo que fue necesario sumergirlas en una solución de HFI a muy baja concentración. Finalmente todas las muestras se enjuagaron con agua destilada y se dejaron secar a temperatura ambiente. Una vez secas, las muestras fueron molidas en un mortero de ágata hasta obtener un polvo fino. Se pesaron muestras por duplicado de 200 mg y una cantidad igual del material de referencia, SRM-278 obsidian rock del National Institute of Standards and Technology (NIST). Por último, las muestras fueron empaquetadas e identificadas.

### 2.2. Irradiación de muestras

La irradiación de las muestras se realizó en el reactor nuclear TRIGA MARK III del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, en el Sistema Fijo para la irradiación de Cápsulas (SIFCA), en este sistema el flujo de neutrones es de  $1 \times 10^{13}$  n/cm<sup>2</sup>s. El tiempo de irradiación establecido fue de dos 2 horas y se dejaron decaer por un lapso de 8-12 días.

### 2.3. Conteo de las muestras

Las muestras irradiadas fueron contadas por 1 hora en un detector de Germanio-Hiperpuro GEM 40190, ORTEC. El análisis de los espectros gamma se realizó con el programa Nucleus. En la Tabla 1 se muestran los datos nucleares de los isótopos identificados en el espectro de rayos gamma.

Tabla 1. Datos Nucleares para la Identificación de Isótopos  
(a: año, d: día, h: hora)

Elemento	Isótopo	Vida media	Energía gamma (KeV)
Ce	Ce-141	32.5 d	143
Lu	Lu-177	6.7 d	208
U (Np)	Np-239	2.3 d	228
Th(Pa)	Pa-233	27 d	312
Yb	Yb-175	101 h	396
Sb	Sb-122	2.8 d	564
Cs	Cs-134	2 a	604
Sc	Sc-46	84 d	889
Rb	Rb-86	18.7 d	1078
Fe	Fe-59	45.6 d	1099
Co	Co-60	5.2 a	1177
La	La-140	40 h	1596

## 2.4. Cálculo de concentraciones

La concentración de los elementos en las muestras se calculó con un programa desarrollado en el ININ que se basa en la siguiente relación:

$$\frac{A_m}{A_{std}} = \frac{C_m}{C_{std}} \quad (1)$$

donde  $A_m$  y  $A_{std}$  son las actividades relativas correspondientes a la muestra desconocida y al comparador (estándar) respectivamente. Estas actividades son corregidas por las diferencias de tiempo en la medida debido al decaimiento radiactivo. Los valores  $C_m$  y  $C_{std}$  son las concentraciones en peso del elemento en la muestra y en el estándar, respectivamente. Despejando  $C_m$  de la relación (1), se obtiene:

$$C_m = C_{std} \frac{A_m}{A_{std}} \quad (2)$$

A partir de la relación (2) podemos obtener la concentración de los elementos en la muestra problema, siempre y cuando los parámetros nucleares y de irradiación sean iguales para la muestra y el estándar, como es en nuestro caso. La concentración de los elementos se da en  $\mu\text{g/g}$ , excepto para Fe que se da en %.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos del análisis multielemental de las muestras de obsidiana son mostrados en la Tabla 2.

Las muestras del mismo color presentaron en la mayoría de los casos, similitud en las concentraciones de los elementos determinados, lo que nos llevó a inferir sobre un origen común. Esto nos dio la pauta para la agrupación y clasificación de los datos (Tabla 2), reduciéndose considerablemente el número de estos. A partir de esta clasificación fue más fácil asociar los grupos a un grupo conocido, es decir establecer su procedencia. Es importante aclarar que el color de la obsidiana no es generalmente un indicador de su composición química [2].

Para determinar la procedencia de las obsidianas comparamos nuestros datos con los que se obtuvieron en estudios previos realizados en la Universidad de Missouri y en el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, sobre algunos yacimientos de México [3,4]. Lo que encontramos fue lo siguiente:

Para el primer grupo de obsidianas *gris-claro* (Tabla 2), las concentraciones de los elementos determinados no pudieron ser asociadas con ninguno de los yacimientos que se reportan, por lo que su origen es aun desconocido.

La concentración de la mayoría de los elementos del grupo de obsidianas *gris-oscuro* (Tabla 2), son similares a los reportados para el mismo tipo de obsidiana encontrada en el sitio de Mata de Casirpes en los yacimientos de Zináparo-Varal, Michoacán [4]; con algunas diferencias en las concentraciones de cesio y cobalto que son más altos que los valores reportados (  $3.1\mu\text{g/g}$  para Cs y  $0.05\mu\text{g/g}$  para Co).

ELEMENTO	GRIS CLARO	GRIS OSCURO	VERDE BRILLANTE	VERDE-CAFÉ	NEGRA OPACA
Ce	50.0 ± 0.5	63.9 ± 3	93.9 ± 4.7	95.9 ± 5.9	62.4 ± 3
Lu	0.5 ± 0.0	0.4 ± 0.0	1.8 ± 0.3	1.9 ± 0.0	0.4 ± 0
U	5.9 ± 0.4	3.73 ± 0.2	7.6 ± 1	7.2 ± 0.1	3.88 ± 0.2
Th	17.5 ± 0.4	13.8 ± 0.1	17.5 ± 1	19.65 ± 0.6	14.2 ± 0.3
Yb	3.4 ± 0.1	2.37 ± 0.06	11.7 ± 0.6	12.45 ± 0.2	2.52 ± 0.08
Sb	0.6 ± 0.1	0.45 ± 0.05	0.2 ± 0.1	0.15 ± 0.1	0.44 ± 0.15
Cs	9.5 ± 0.1	6.17 ± 0.3	3.3 ± 0.4	3.55 ± 0.5	6.08 ± 0.7
Sc	3.1 ± 0.1	2.53 ± 0.06	3.2 ± 0.1	3.25 ± 0.1	2.5 ± 0.07
Rb	192.8 ± 4.0	142 ± 7.6	198 ± 17.1	178.55 ± 0.9	147 ± 4
Fe (%)	0.6 ± 0.0	0.57 ± 0.06	1.1 ± 0.1	1.1 ± 0.0	0.56 ± 0.05
Co	2.5 ± 0.6	1.2 ± 0.2	6.2 ± 0.8	4.1 ± 0.6	1.5 ± 0.5
La	24.6 ± 0.7	36.2 ± 2.5	38.4 ± 1.7	41.3 ± 3.1	35 ± 0.8

Tabla 2. Análisis multielemental de muestras de obsidiana provenientes de San Miguel Ixtapan, Estado de México. (concentraciones en  $\mu\text{g/g}$ )

Las concentraciones de la mayor parte de los elementos del grupo de obsidianas *verde-brillante* (Tabla 2), parecen indicar que estas corresponden al yacimiento de Sierra de Pachuca Hidalgo [4,3], sin embargo la concentración de Fe, que es uno de los elementos indicadores para este yacimiento, presenta un valor por debajo del reportado (1.4-1.5  $\mu\text{g/g}$ ). Otro de los elementos indicadores de este yacimiento es el Mn, sin embargo no se determinó en este estudio. El mismo caso se presenta para el grupo de obsidianas *verde-café* (Tabla 2).

Finalmente el grupo de obsidiana *negro-opaco* (Tabla 2) fue asociado con el yacimiento de Zináparo-Varal, y de igual forma que con la obsidiana *gris-oscuro*, se encontró diferencia en las concentraciones de Cesio y cobalto.

#### 4. CONCLUSIONES

Se determinó la concentración de 12 elementos en muestras de obsidiana arqueológica provenientes de San Miguel Ixtapan, Estado de México, utilizando el método de Análisis por Activación Neutrónica. Los elementos determinados fueron: 6 tierras raras (Ce, Lu, U, Th, Yb, La), 3 elementos alcalinos (Rb, Cs, Sc), un semi-metal (Sb) y 2 elementos de transición (Co, Fe).

Con el análisis de elementos traza fue posible en algunos casos determinar la procedencia de las obsidianas. Los grupos de obsidiana *gris-oscuro* y *negro-opaco* están asociadas con los yacimientos de Zináparo-Varal, Michoacán. Las obsidianas *verde-brillante* y *verde-café* parecen ser del yacimiento de la Sierra de Pachuca Hidalgo, sin embargo no podemos confirmarlo, ya que uno de los indicadores importantes de este yacimiento, el Fe, presenta un valor menor comparado con el reportado. Otro de los elementos que nos puede indicar si estas obsidianas pertenecen a este yacimiento es el Mn que desafortunadamente no se determinó en este estudio, por lo que el siguiente paso será la determinación de este elemento para confirmar o refutar la procedencia de esas obsidianas. Por último el grupo de obsidiana *gris-claro* no pudo ser asociado con ninguno de los yacimientos que se reportan.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

1. Expresión Antropológica, Revista Cultural Nueva Época, Núms. 1 y 2 "San Miguel Ixtapan", Instituto Mexiquense de Cultura, 1ª. Reimpresión, 1999.
2. J. R. Esparza-López, *Aplicación de las Técnicas Nucleares PIXE y NAA para el estudio de las Redes de Comercio de la Obsidiana en Tierra Caliente Michoacán*, Tesis ENAH, 1999.
3. R. H. Cobean, J.R. Vogt, M.D. Glascock and T.L. Stocker, *High-Precision Characterization of major mesoamerican obsidian sources and further analysis of artifacts from San Lorenzo Tenochtitlan, Mexico*, Latin American Antiquity, 2(1), 1991, pp. 69-91.
4. M. Jiménez-Reyes, D. Tenorio, J.R. Esparza, R.L. Cruz-Jiménez, *Neutron Activation análisis of obsidians from quarries of the Central Quaternary Trans- Mexican Volcanic Axis*, Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, Vol. 250, No.3 (2001), pp. 465-471.
5. C. E. de B. Pereira, N. Mückeley, G. Popeau and I. L. Küchler, *Determination of minor and trace elements in Obsidian Rock samples and Archaeological artifacts by laser ablation inductively coupled Plasma Mass Spectrometry using synthetic obsidian standards*, Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy, Vol. 56, Issue 10 (2001), pp. 1927-1940.
6. J.R. Bird, P. Duerden and D.J. Wilson, *Ion Beam Techniques in Archaeology and the Arts*, Nuclear Science Applications, 1983, Vol. Q, pp. 357-516.
7. Z. Goffer, *Archaeological Chemistry*, 1era. Edición, John Willey & sons, Inc. USA, 1977, pp. 376.
8. D. Tenorio, *Mexican Obsidian Samples Analysed by PIXE and AAS*, Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares e Institut de Physique Nucléaire, France, 1997.
9. L. Stark, L. Heller, M. D. Glascock, J. Michael Elam and H. Neff, *Obsidian-artifact analysis, south-central Veracruz, México*, Latin American Antiquity, 1992, pp. 221-239.
10. *Practical Aspects of operating a Neutron Activation Analysis Laboratory*, Documento Técnico publicado por la Agencia Internacional de Energía Atómica, Viena, 1990.
11. M.D. Glascock, *Characterization of Archaeological Ceramics at MURR by Neutron Activation Analysis and Multivariate Statistics*, Chemical Characterization of Ceramics in Archaeology, Section I. Techniques, Monographs in World Archaeology, No. 7, Edit by Hector Neff, Prehistory Press, 1992.