

*Aplicación de la termoluminiscencia
a la autenticación de piezas de museo:
un ejemplo sobre supuestos materiales nazcas
y tiahuanacotas del «Museo de América»
(Madrid)*

ARRIBAS, J. G. *; P. BENÉITEZ **; A. MILLÁN *; T. CALDERÓN *;
C. BLASCO *** y L. RAMOS ****

(* Dpto. de Química Agrícola, Geología y Geoquímica de la Universidad Autónoma de Madrid; ** Dpto. de Química Física de la U.A.M.; *** Dpto. de Prehistoria y Arqueología de la U.A.M., y **** Dpto. de Historia de América II de la Universidad Complutense, Madrid)

ABSTRACT

This paper offers the results of physical thermoluminescence processes applied to five prehispanic vessels guarded in the America's Museum of Madrid, three of them are nazca and two tiahuanaco. The nazca pottery is authentic while the Tiahuanaco is made around sixty years ago, just when the Larrea collection, to which they belong, was joined.

I. INTRODUCCION

La Universidad Autónoma de Madrid cuenta en la actualidad con un laboratorio de datación absoluta por termoluminiscencia (TL) aplicado a la datación de materiales cerámicos arqueológicos, el cual viene a rellenar el gran hueco que

existía en este campo de investigación. Su montaje y puesta a punto ha sido posible gracias a la concesión por parte de la D.G.I.C.Y.T. del proyecto coordinado número PB-87-0091-C02-00/02, el cual pretendía tres objetivos básicos:

1. Diseño del equipo experimental.
2. Construcción y puesta a punto de una cadena de TL.
3. Datación absoluta de materiales cerámicos de yacimientos arqueológicos seleccionados en la Comunidad de Madrid (Calderón y otros, 1988).

La puesta en marcha de este laboratorio nos ha permitido realizar ya algunas fechaciones absolutas sobre fragmentos de vasijas de yacimientos arqueológicos españoles en curso de excavación, pero si bien este trabajo es de una indudable importancia, sin embargo, es sólo una de las posibilidades de este método de datación; así, y en paralelo, hemos comenzado la experimentación de la aplicación de esta técnica a otros campos, como es el de la averiguación del comportamiento de las arcillas según sus componentes y grado de cocción; el de la fechación de estructuras arquitectónicas a través de los ladrillos empleados en su construcción y el de autenticación de piezas de museos cuya procedencia no está correctamente documentada.

Esta última vía —de la cual tratamos precisamente en este trabajo— se desarrolla en colaboración con el «Departamento de información e investigación» del Instituto de Conservación y Restauración de Bienes Culturales (ICRBC).

II. METODOLOGIA DE LA AUTENTICACION POR TL DE PIEZAS DE COLECCIONES DE MUSEOS

Una de las aplicaciones más espectaculares de la Termoluminiscencia (TL) al campo de la Arqueología es quizá la detección de posibles falsificaciones de objetos de arte. En efecto, partiendo de la conocida expresión (Aitken, 1974):

$$\text{Edad} = \frac{\text{DE} + \text{I}}{\text{K} \cdot \text{D}_{\alpha\text{int.}} + \text{D}_{\beta\text{int.}} + \text{D}_{\gamma\text{int.}} + \text{D}_{\gamma\text{ext.}} + \text{RC}} \quad (1)$$

donde: DE + I = Representa la *Dosis total* (Dt) absorbida por la muestra desde la última cocción hasta su lectura en laboratorio, siendo la misma proporción a la TL natural.

$\text{K} \cdot \text{D}_{\alpha\text{int.}} + \text{D}_{\beta\text{int.}} + \text{D}_{\gamma\text{int.}}$ = *Dosis Anual Interna* ($\text{D}_{\text{a.int.}}$), debida a la contribución de elementos radiactivos presentes en la muestra.

$\text{D}_{\gamma\text{ext.}} + \text{RC}$ = Es la contribución gamma a la *Dosis Anual Externa* ($\text{D}_{\text{a.ext.}}$) del terreno circundante a una muestra, más aquella debida a la radiación cósmica. es posible escribir (1) de la forma:

$$\begin{aligned} \text{Edad} &= \frac{\text{Dosis Total}}{(\text{Dosis Anual Interna}) + (\text{Dosis Anual Externa})} = \\ &= \frac{\text{Dt}}{(\text{D}_{\text{a.int.}}) + (\text{D}_{\text{a.ext.}})} \quad (2) \end{aligned}$$

Dicha expresión permite el fechado de cualquier objeto cerámico situado en su contexto arqueológico, según el método «fine grain» (Zimmerman, 1971).

Para el cálculo de la Dt es necesario medir las intensidades de la emisión de TL, tanto en muestras naturales como irradiadas con diversas dosis de radiación beta procedentes de una fuente calibrada, obteniéndose así la variación de la intensidad con la dosis de irradiación y por extrapolación la correspondiente Dosis equivalente (o Dt).

La determinación de las Dosis Anuales externa e interna (Arribas y otros, 1989) lleva consigo una serie de dificultades importantes, que en el caso de una autentificación merecen ser destacadas. En primer lugar, la Dosis Anual Externa ($D_{a\text{ ext.}}$) no puede, normalmente, ser medida, ya que el objeto a estudiar no ha sido recogido en su propio ambiente arqueológico controlado (yacimiento), sino, en la mayoría de los casos, de las dependencias de un museo. De esta forma, a menos que la historia del mismo pueda ser reconstruida con exactitud y se conozca el lugar exacto de su extracción, la $D_{a\text{ ext.}}$ se presenta siempre como una gran incógnita a evaluar.

Otra cuestión importante en el cálculo de la Dosis Anual Interna ($D_{a\text{ int.}}$) en la expresión (2) es el tamaño de muestra. Dado que normalmente la abundancia de material disponible es escasa, ya que se trata de objetos cerámicos irrepetibles de gran valor, o bien de objetos metálicos (estatuas, elementos decorativos, etc.), donde la toma de muestra viene efectuada en los restos de material arcilloso que aún permanece en su interior, las cantidades obtenidas son insuficientes para determinar las correspondientes concentraciones de $U^{235, 238}$, Th^{232} y K^{40} mediante las conocidas técnicas de contaje alfa y beta, con lo cual el término $D_{a\text{ int.}}$ de la ecuación (2) puede representar otra incógnita.

La imposibilidad de evaluar correctamente los términos $D_{a\text{ int.}}$ y $D_{a\text{ ext.}}$ de la ecuación (2) hace que la misma deba ser expresada de la forma siguiente:

$$D_{a\text{ ext.}} = \frac{Dt}{\text{Edad}} - D_{a\text{ int.}} \quad (3)$$

o bien,

$$D_{a\text{ ext.}} \times \text{Edad} = Dt - D_{a\text{ int.}} \times \text{Edad} \quad (4)$$

en el caso de no disponerse de muestra suficiente, el término $D_{a\text{ int.}}$ puede ser despreciado quedando (4):

$$D_{a\text{ ext.}} \times \text{Edad} = Dt \quad (5)$$

Es decir, una autentificación no representa en la mayoría de los casos el cálculo de una edad absoluta (datación), sino la compatibilidad de la $D_{a\text{ ext.}}$ recibida en un período de tiempo supuesto (edad presunta del objeto) con la Dosis Beta Equivalente (Dt), hallada experimentalmente en el laboratorio.

Si el término a la derecha de la igualdad (5) fuese menor al producto de $D_{a\text{ ext.}} \times \text{Edad}$, esto implicaría que el objeto en cuestión tiene una edad inferior

a la supuesta, o lo que es lo mismo, se trata de una falsificación. En efecto, si multiplicamos la edad supuesta de un objeto, que normalmente viene expresada dentro de un intervalo de tiempo $E1 - E2$ (años), por los valores de $D_{a\ ext.}$ correspondientes a cerámicas estándar (0,3 a 0,9 rads/año), los cuales representan una media estadística de valores de $D_{a\ ext.}$ conocidos, obtendríamos una dosis mínima absorbida por la muestra, la cual estaría comprendida entre 0,3 rads/año x $E1$ (años) — 0,3 rads/año x $E2$ (años). Esto es, si se verifica que:

$$E1 \times D_{a\ ext.} \text{ mínima o } E2 \times D_{a\ ext.} \text{ mínima} \gg Dt$$

implicaría que el objeto en cuestión no ha absorbido la dosis mínima teórica en el período de tiempo arqueológico supuesto, de donde se deduce que el mismo es una reproducción posterior.

No obstante lo anteriormente expuesto, es posible en ocasiones, y bajo condiciones de las cuales hablaremos más adelante, efectuar una datación absoluta de aquellos objetos cerámicos fuera de su contexto arqueológico natural, si bien en estos casos el error cometido en el cálculo de la misma puede llegar en ocasiones hasta el 20 % (Aitken, 1984). Dicho error puede en principio parecer demasiado elevado, pero se comprenderá mejor si tenemos en cuenta la complejidad del cálculo y, en la mayor parte de los casos, el número de incógnitas con el que nos enfrentamos. En efecto, tal y como ha sido puesto de manifiesto anteriormente, la fechación de un objeto parte de la conocida expresión (2):

$$\text{Edad} = \frac{Dt}{(D_{a\ int.} + D_{a\ ext.})} \quad (2)$$

El problema más grave para la resolución correcta de esta ecuación lo representa sin duda el cálculo de la $D_{a\ ext.}$, dado que en la mayoría de los casos resulta imposible reconstruir exactamente la historia del objeto que ahora observamos en el museo. Para salvar este obstáculo se puede recurrir a diversos modelos, entre los que merece la pena destacar los siguientes:

Cálculo de $D_{a\ ext.}$

- i) Estándar.
- ii) Extrapolación.
- iii) Fraccionamiento.
- iv) Inclusión.
- v) Predosis.
- vi) Sustracción.

i) Estándar

En este caso la $D_{a\ ext.}$ viene representada por los valores medios estadísticos de cerámicas estándar conocidas. Es el modelo utilizado en este trabajo y

representa quizá el caso de una autentificación típica. Como ya ha sido puesto de manifiesto, los resultados no deben interpretarse en un sentido absoluto de datación.

ii) *Extrapolación*

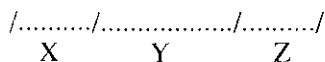
Este modelo ha sido aplicado con éxito al estudio de terracotas del período Renacentista procedentes de Florencia, Italia (Flemint, 1975). En resumen, y partiendo de la base de que se conoce el lugar exacto de procedencia del objeto a estudio, la $D_{a\ ext}$ puede ser evaluada directamente en el yacimiento (en el mismo nivel arqueológico o en otro igualmente significativo) con técnicas dosimétricas, mediante contador de centelleo o mediante la determinación en el laboratorio de las respectivas concentraciones de U, Th y K^{40} de muestras representativas del mismo. En este supuesto se asume que:

$$D_{a\ ext} = D'_{a\ ext} \tag{6}$$

siendo $D'_{a\ ext}$, la Dosis gamma externa medida experimentalmente para el yacimiento y $D_{a\ ext}$ aquella que le correspondería en condiciones normales de absoluto control. Esto equivale a decir que la Dosis anual externa medida en la actualidad para un objeto o yacimiento particular puede ser extrapolada para nuestro objeto en cuestión. Dicho valor representaría un valor aproximado, pero *característico del yacimiento y, por tanto, de la época a estudio, y sólo tendría un ámbito de aplicación geográficamente restringido al mismo.*

iii) *Fraccionamiento*

Este modelo refleja el intento de una aproximación matemática al problema. Como sabemos, el cálculo de $D_{a\ ext}$ representa la contribución de la radiación gamma externa a la Dosis Anual más aquella debida a la radiación cósmica (siendo esta última una constante de 16 mrads/año). En condiciones normales, la determinación de la $D_{a\ ext}$ representaría la contribución del contenido en U^{235} , U^{238} , Th^{232} y K^{40} del terreno circundante a la muestra, siendo la misma constante en el tiempo. Ahora bien, en nuestro caso en la historia arqueológica de una muestra podemos distinguir, al menos, tres períodos desde su fabricación (fig. 1):



- X = utilización
- Y = enterramiento
- Z = exposición en el museo

Resulta evidente que las condiciones ambientales para una muestra tipo cambian en estos tres períodos. En condiciones normales se verifica:

$$\begin{aligned} X &\ll Y \\ Z &\ll Y \\ X + Z &\ll Y \end{aligned}$$

Es decir, los períodos de tiempo transcurridos desde la fabricación de una pieza hasta su enterramiento y aquellos transcurridos durante su exposición en un museo suelen ser menores que aquellos en los que el objeto ha estado enterrado. Los dos primeros (X, Z) suelen ser el orden de la vida humana o a lo sumo del orden de dos o tres generaciones (de cero a doscientos años) frente al período de enterramiento que suele ser superior a los mil años. En estas condiciones, X representa la contribución de la dosis externa debida a RC en el período de tiempo considerado (16 mrads/año), Z representa la contribución de la dosis externa medida en el museo (la cual no tiene por qué coincidir con la RC anteriormente considerada) e Y representaría la Dosis Anual externa, tal y como la hemos venido considerando hasta estos momentos, por lo que el cálculo de la misma podría efectuarse mediante los modelos anteriormente comentados, i) y ii).

En resumen, la aplicación de este supuesto requiere:

a) Medida de la Dosis gamma externa en el lugar de procedencia de la muestra (o en su defecto se aplicaría la correspondiente RC como una constante). Este valor representaría el período de uso (X).

b) Cálculo de la Dosis gamma externa ($D_{a\ est.}$), que defina el período denominado Y.

c) Medida de la Dosis gamma externa en el museo o lugar de exposición de la muestra.

En cualquier caso, la medida de estas tres variables no deja de ser una aproximación al problema, ya que, como ha sido puesto de manifiesto por Megdal (1979), la eficiencia de las radiaciones ionizantes en la producción de TL depende de varios factores, tales como el tamaño de grano, humedad, etc. Es decir, no toda la dosis medida tiene que haber sido totalmente absorbida.

iv) *Inclusión*

Comprende una serie de técnicas que tienen en común la utilización para medidas de TL de componentes minerales específicos o minoritarios de una cerámica (cuarzo, feldespato potásico, circón, etc.). Los principios generales de estas técnicas fueron establecidos por Fleming (1966, 1970). Su principal problema radica en el tamaño de muestra requerida, así como en la sensibilidad de los equipos requeridos para la medición de la TL.

A modo de ejemplo citaremos las ecuaciones para el fechado propuestas para:

a) inclusión de cuarzo

$$\text{Edad} = \frac{Dt\ \text{incl.}}{0,9 D_{\beta} + D_{\gamma} + RC} \quad (7)$$

b) inclusión de circón

$$\text{Edad} = \frac{D_t \text{ circón}}{D_{a \text{ int.}}} \quad (8)$$

Este último caso representa la posibilidad de datar un objeto fuera de su contexto arqueológico.

v) *Predosis*

Este método se basa en el cambio de sensibilidad de la emisión a 110°C del cuarzo posteriormente a un calentamiento a 500°C. Esta variación de la intensidad de emisión para una misma irradiación posteriormente a un tratamiento térmico se vio que era proporcional a la irradiación recibida por el cuarzo previamente al primer calentamiento, en nuestro caso la dosis arqueológica, por lo que se ha desarrollado como técnica de datación. Su alcance, dada la rápida saturación del pico, se reduce a los últimos 1.000 a 2.000 años. Su alta sensibilidad, pues pueden medirse dosis arqueológicas de hasta 0,1 Gy, le da gran importancia en la datación de muestras modernas, así como en la autenticación de cerámicas antiguas que presenten TL espúrea.

vi) *Sustracción*

La ecuación (1) para el cálculo de la edad según el método «fine grain» puede ser escrita:

$$D_t = \text{Edad} (K D_\alpha + D_\beta + D_\gamma + RC) \quad (9)$$

de la misma forma, para el método de inclusión (Ec. 7), tenemos:

$$D_{t \text{ incl.}} = \text{Edad} (0,90 D_\beta + D_\gamma + RC) \quad (10)$$

restando (9) de (10), queda:

$$\text{Edad} = \frac{D_t - D_t \text{ inclusión}}{K \cdot D_\alpha + 0,1 D_\beta} \quad (11)$$

Esto es, la edad es independiente de la Dosis externa procedente de la radiación gamma del terreno y la radiación cósmica, y en principio la misma puede ser calculada de las medidas efectuadas sobre la muestra u objeto cerámico. Esto significa que una cerámica para la cual no disponemos de ninguna información acerca de su lugar de procedencia o condiciones de enterramiento, puede ser datada. El único problema radica en la rara oportunidad de encontrar materiales

capaces de ser datados por ambas técnicas —«fine grain» (i) e inclusión (iv)— y adicionalmente en el tamaño de muestra requerida.

III. JUSTIFICACION DE LAS PIEZAS SELECCIONADAS

La primera etapa de esta línea de experimentación la hemos iniciado en el Museo de América, sito en Madrid, un centro que custodia piezas totalmente ajenas al mundo de la arqueología española. Las razones que nos han impulsado a elegir este centro son esencialmente dos; la primera es la especial problemática que presentan sus fondos, ya que proceden en su totalidad de colecciones antiguas, donaciones o compras, y la segunda es la convicción de que Iberoamérica y España tienen entre sí una relación tan profunda y comprometida que a nosotros nos parece perfectamente legítimo que piezas allí realizadas encabezen la experimentación de esta técnica en nuestro país.

Para llevar a cabo esta primera autenticación de objetos de colecciones de museos hemos seleccionado cinco ejemplares, de los que tres creíamos que eran piezas auténticas, y dos falsificaciones. Las tres vasijas auténticas pertenecían a la «cultura nazca», y como tales dos de nosotros las habían publicado (Blasco y Ramos, 1991, piezas 505, 577 y 629) y las dos que suponíamos falsas se atribuían a una cultura coetánea, la «tiahuanaco».

Desde el punto de vista arqueológico, las piezas nazcas no presentaban, a nuestro entender, ninguna duda sobre su autenticidad, ya que sus características formales, técnicas y artísticas correspondían a las de las vasijas de esta cultura. Esta apreciación nuestra, basada en la comparación de estas piezas con otras de la «cultura mazca», se ha visto confirmada —como veremos en el apartado IVa de este artículo— por el análisis de TL, donde decimos que estas vasijas «presentan una Dosis Arqueológica Total (DT) compatible con la edad supuesta para las mismas, lo que implica que pueden considerarse como auténticas».

Caso muy distinto era el de las dos piezas «tiahuanacoides» de la «Colección Larrea», que nos parecían dos claras falsificaciones «autenticadas», tanto por su pertenencia a la «Colección Larrea» —números 186 y 187 del catálogo editado por Trimborn y Vega en 1935— como por su publicación por Mariano Cuesta Domingo, en *Arqueología Andina: Perú*, con los números «184, p. 110», y «187, p. 112», donde se reproducen fotográficamente y se clasifican, respectivamente, como del «Horizonte Medio. Tiahuanacoide» y «Horizonte Medio. Tiahuanaco» (Cuesta Domingo, 1980, pp. 161, 162 y 173).

Esta sospecha nuestra de que nos encontrábamos ante piezas falsas ha sido confirmada por la datación por TL —vid. apartado IVb de este artículo—, siendo importante señalar que en uno de los casos la analítica ha dado una antigüedad de unos sesenta años, fecha que concuerda perfectamente con la correspondiente a la formación de la colección «Juan Larrea».

IIIa: Las piezas de la «cultura nazca» (lámina I)

Las tres piezas nazcas seleccionadas tienen los números de inventario siguientes: 5785, 5800 y 5829, que corresponden, respectivamente, a las vasijas números 505, 577 y 629 del segundo tomo del *Catálogo de la cerámica Nazca del Museo de América* (Blasco y Ramos, 1991). Aunque pueda resultar extraño, no tenemos ningún dato sobre su lugar de procedencia, contexto del hallazgo o colección de la que formaban parte, por lo que son un perfecto ejemplo de muchos de los materiales que atesoran nuestros museos.

Con respecto a la fecha de su incorporación al patrimonio español, tampoco tenemos ninguna referencia concreta, si bien sí que sabemos que debió producirse entre 1935 y 1959, pues, como dos de nosotros señalábamos en 1980, «aunque en *La cerámica peruana del Museo Arqueológico de Madrid* (Trimborn y otros, 1935), se hace referencia a la existencia de sólo cinco vasijas nazcas en los fondos del Museo, en 1959 R. Naville y M. Paranhos (p. 15) consideraban la colección nazca del Museo Arqueológico de Madrid como una de las mejores del mundo. Por supuesto, R. Naville y M. Paranhos no se estaban refiriendo sólo a esas cinco vasijas, sino a un conjunto formado por más de un millar de piezas, de las que, por desgracia, desconocemos tanto su procedencia como las circunstancias de su hallazgo» (Blasco y Ramos, 1980, p. 9). Desafortunadamente, hoy en día seguimos en esta misma situación, y así, publicaciones posteriores a la de Ramos y Blasco no nos ofrecen ningún dato nuevo (Cuesta, 1980, p. 89, y Cabello, 1987, p. 111).

IIIb: Las piezas «tiahuanacotas» (lámina II)

Las otras dos piezas analizadas y también pertenecientes a los fondos del Museo de América proceden de la denominada «Colección Larrea», que formó don Carlos Larrea, en Bolivia y Perú, en los años 30, y que, tras pasar a Europa en 1934 y ser expuesta en diversas ciudades —París, Madrid, Valencia y Sevilla— fue donada al estado español en 1936, ya comenzada la «Guerra Civil». Aunque en este caso conocemos el momento de la formación de la colección y el de la incorporación al patrimonio nacional de las piezas de las que ahora nos ocupamos, sin embargo, casi nada sabemos de ellas individualmente, ya que en el *Catálogo de la exposición Arte Inca (colección J. L.)* sólo se nos dice que proceden de la «región de Tiahuanaco» (Trimborn y Vega, 1935, p. 66).

IV. EXPERIMENTAL: LOS RESULTADOS OBTENIDOS CON LAS PIEZAS DEL MUSEO DE AMERICA

Como ya hemos señalado en el anterior capítulo, se han seleccionado para este trabajo cinco muestras de vasijas pertenecientes a los fondos del Museo de América, de Madrid, las cuales fueron tomadas *in situ*, el 4 de junio de 1990.

Las piezas nazcas están inventariadas con los números 5785, 5800, 5829, y las consideradas como tiahuanacotas con los números 8443 y 8444, las cuales,

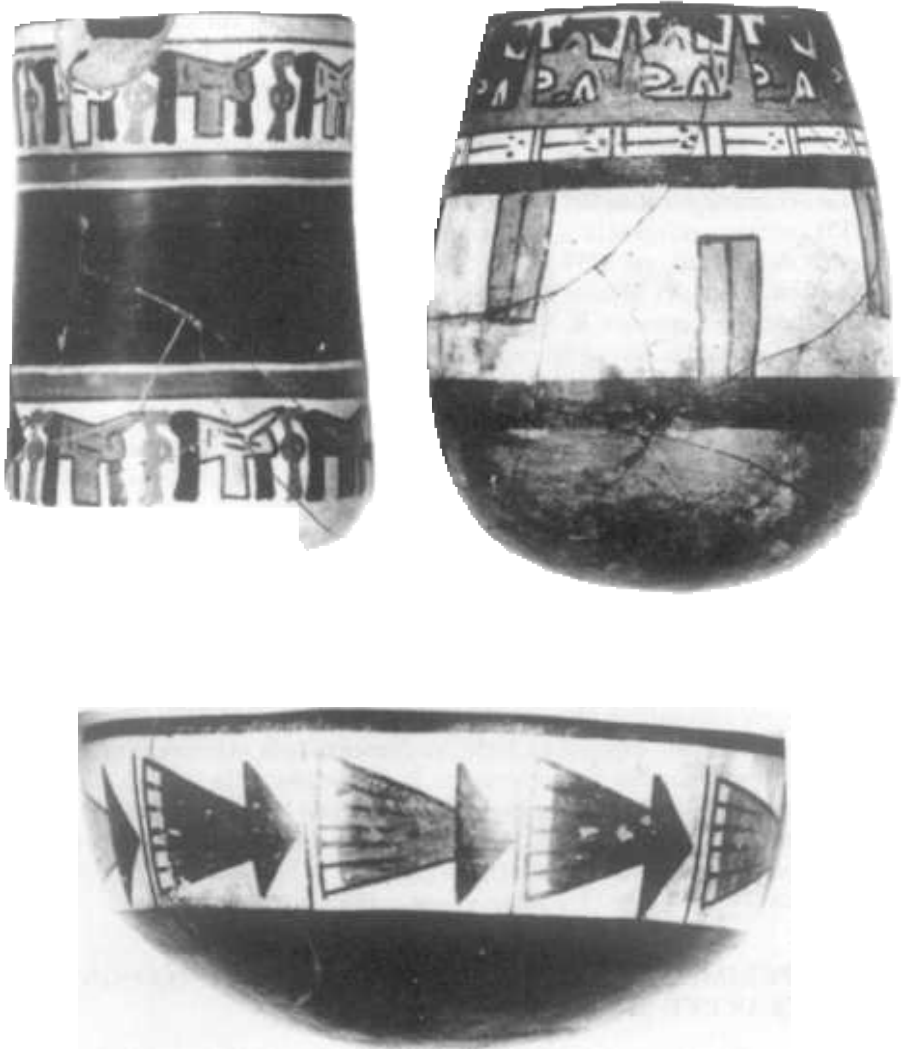


LÁMINA I.



LÁMINA II.

y a partir de este momento, vendrán denominadas, respectivamente, como A3, A4, A5, A1 y A2, de acuerdo con la nomenclatura utilizada en el «Laboratorio de Datación Absoluta» de la Universidad Autónoma de Madrid.

El equipo experimental utilizado para la realización de este estudio ya ha sido descrito en un trabajo previo (Calderón y otros, 1988), utilizándose para la preparación de la muestra el método conocido como «fine grain» (Zimmerman, 1971).

IVa: Resultados del análisis efectuado con las supuestas piezas de la «cultura nazca»

El primer grupo de muestras estudiado corresponde a las denominadas como A3, A4 y A5, supuestamente pertenecientes a la cultura nazca (200-600 d.C.).

La respuesta de TL para la muestra A4, tanto natural (TLn) como aquella obtenida frente a la radiación beta (TLn + n beta), efectuada para la determinación de la Dt, puede observarse en la figura 2A. Resultados similares han sido obtenidos para el resto de las muestras componentes de este primer grupo, es decir, A3 y A5. Las correspondientes Dt (D beta equivalente) obtenidas por extrapolación (fig. 2B) y el coeficiente de correlación hallado en el ajuste por mínimos cuadrados de los pares de valores I vs Dosis beta, aparecen en la tabla I. Dichos pares fueron determinados, en cada caso, para el intervalo de temperatura donde se cumplía el «Test Plateau» (Aitken, 1974), que, como puede observarse en la fig. 2C, es óptimo para el rango 350-400°C.

TABLA I
RESULTADOS DE TL

Muestra	T ^a Plateau °C	Dt (rads)	r
A1	260-270	242	0,99
A2	260-270	222	0,98
A3	350-400	4.896	0,99
A4	350-400	5.150	0,99
A5	250-400	4.577	0,99

Siguiendo la metodología propuesta anteriormente (modelo estándar), para el intervalo de edades supuestas E1 = 200; E2 = 600 d.C., la ecuación (5) para la muestra A4, vendría ahora:

$$1.790 - 1.390 \text{ años a } 0,3 \text{ rads/año} \ll 5.133 \text{ rads} \\ 537 - 417 \ll 5.133$$

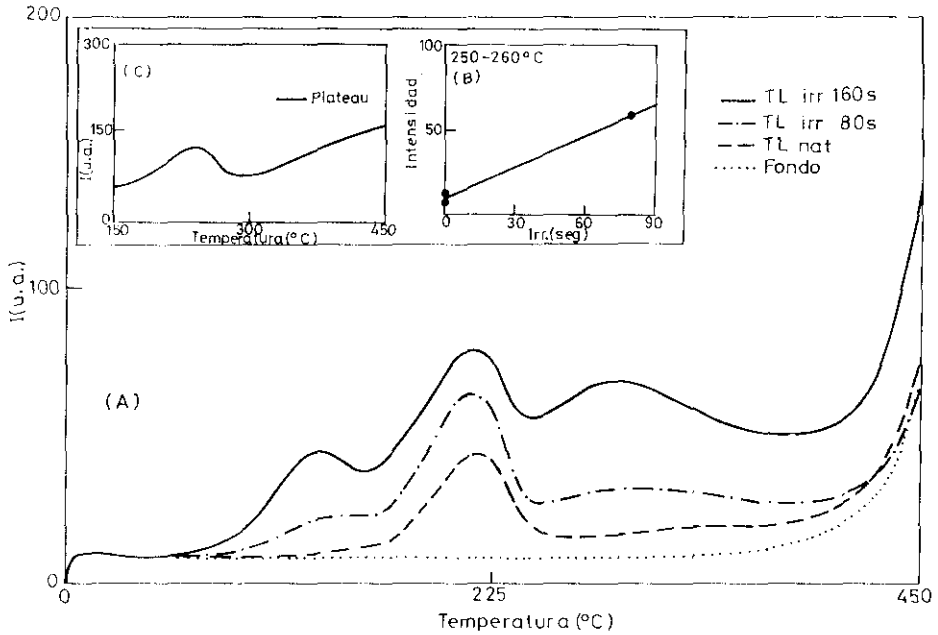


FIGURA 2.—A) Termoluminiscencia natural (TLn) e irradiada detectada en la muestra A-4. B) Intensidad de TL frente a tiempo de irradiación beta. C) «Test Plateau».

Esto equivale a decir que la muestra A-4 ha absorbido al menos más dosis que aquella considerada como mínima teórica, luego en principio la Dosis Arqueológica es compatible, al menos, con la edad supuesta.

El otro límite viene impuesto por el valor máximo estándar (0,9 rads/año), quedando ahora (5) de la forma:

$$1.790 - 1.390 \text{ años a } 0,9 \text{ rads/año} < 5.133 \text{ rads}$$

$$1.611 - 1.251 < 5.133$$

Estos resultados, lejos de alarmar por su diferencia en magnitud, deben interpretarse bajo la perspectiva de, al menos, uno de los siguientes factores:

- i) Las muestras son más antiguas de lo que se supone (en cualquier caso son auténticas).
- ii) La dosis externa anual en sus respectivos yacimientos presenta valores mayores a los considerados estándar.
- iii) Una mezcla de ambos.

Resumiendo, y en función de los resultados de TL obtenidos, podemos concluir que las muestras A3, A4 y A5 presentan una Dosis Arqueológica Total (Dt) compatible con la edad supuesta para las mismas, lo que implica que pueden considerarse como auténticas.

IVb: Resultados del análisis efectuado con las supuestas piezas de la «cultura tiahuanaco»

En relación con el segundo grupo de muestras (A1 y A2), supuestamente pertenecientes a la denominada cultura Tiahuanaco (200-600 DC) los resultados para la muestra A1 obtenidos por TL pueden observarse en la fig. 3 y tabla I. Comparando esta figura con la correspondiente fig. 2, vemos que existen diferencias significativas, que pueden resumirse en los siguientes puntos:

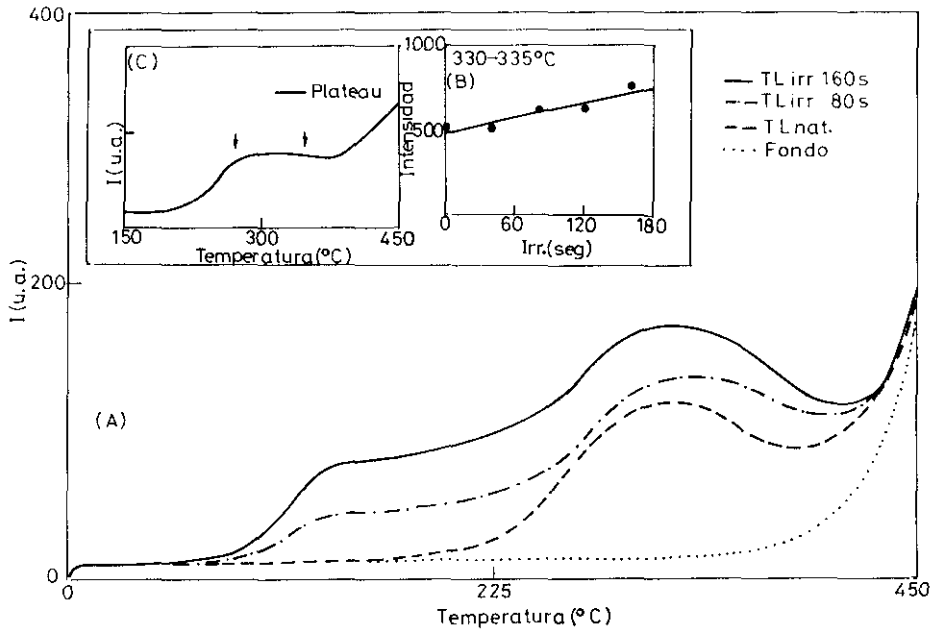


FIGURA 3.—A) Termoluminiscencia natural (TLn) e irradiada (TL + n beta) correspondiente a la muestra A-1. B) Intensidad de TL frente tiempo de irradiación beta. C) «Test Plateau».

i) No ha sido posible detectar la existencia de picos de TL en la zona de alta temperatura ($T > 300^{\circ}\text{C}$), lo que ya hace pensar que la muestra no es lo suficientemente antigua como para haber podido acumular electrones en esta zona estable.

ii) Los cálculos aproximados efectuados para la vida media del pico de TL detectado a 215°C , efectuados según la expresión (McKeever, 1984):

$$\tau_{1/2} = s^{-1} e^{(E/KT)}$$

K = Cte de Boltzman

E = Energía de activación

T = T° , absoluta

s = Factor preexponencial

revelan que la misma es del orden de sesenta años (Para $E=1,50$ eV, $s=2,32 \times 10^{19}$ seg $^{-1}$, $T=10^{\circ}\text{C}$, calculados según el método de Cheng, 1969) o de cuatro años (para $T = 20^{\circ}\text{C}$). Este resultado pone de manifiesto la inutilidad de contemplar este pico de TL para el cálculo de Dt, dada su corta vida media.

Por otra parte, el «test plateau» (fig. 3c) para esta muestra puede considerarse como negativo revelando la casi práctica inexistencia de zonas estables de TL, hecho que podría estar relacionado con la poca edad aparente de la misma. No obstante este resultado, se hizo un estudio de optimización para los intervalos de temperatura donde fuese posible obtener una mejor correlación entre la intensidad de TL (I) vs tiempo de irradiación en el intervalo próximo a 300°C (zona de plateau aparente), obteniéndose una $Dt = 242$ rads para el intervalo $260-270^{\circ}\text{C}$. De acuerdo con esto, la ecuación (5) quedaría:

$$537 \text{ rads} - 417 \text{ rads} > 242 \text{ rads muestra A1}$$

Es decir, en ningún caso la muestra ha absorbido la dosis mínima compatible con la edad supuesta.

El resultado es más dramático si se comparan estos datos de TL de la muestra A1 con los correspondientes a la muestra A2 (fig. 4). En este último caso no ha sido posible detectar picos de TL en ninguna zona del espectro, lo que indudablemente debe interpretarse como un hecho atribuible a muestras de producción reciente.

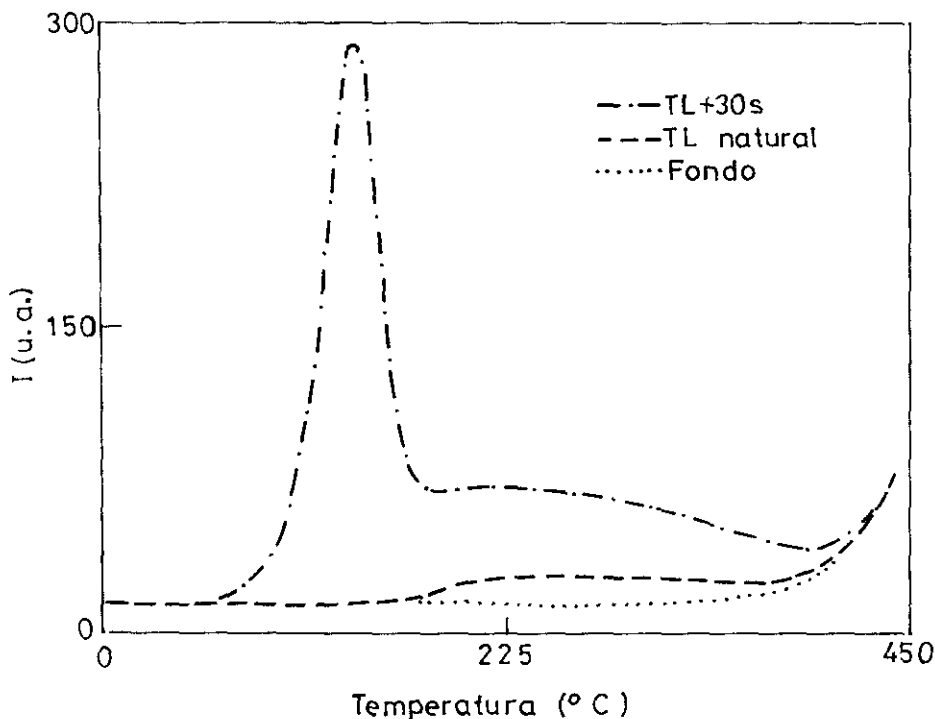


FIGURA 4.—Termoluminiscencia natural de la muestra A-2.

V. CONCLUSIONES

En función de los resultados obtenidos podemos afirmar que:

1. El grupo de nuestras constituidas por A3, A4 y A5 y correspondientes a las vasijas de la «cultura nazca» presentan una Dosis Arqueológica Total compatible con la edad supuesta y pueden considerarse como auténticas.

2. En relación al segundo grupo (muestras A1 y A2), el correspondiente a las piezas consideradas «tiahuanaco», las Dosis Arqueológicas Totales medidas revelan que las mismas son incompatibles con la edad supuesta, lo que puede implicar:

- a) Las muestras fueron recocidas en algún momento (no muy lejano).
- b) Las piezas analizadas son de época reciente.

Estas diferencias de comportamiento entre las muestras de uno y otro grupo quedan claramente reflejadas en la figura 5.

MUSEO DE AMERICA Valores de Dosis Equivalente

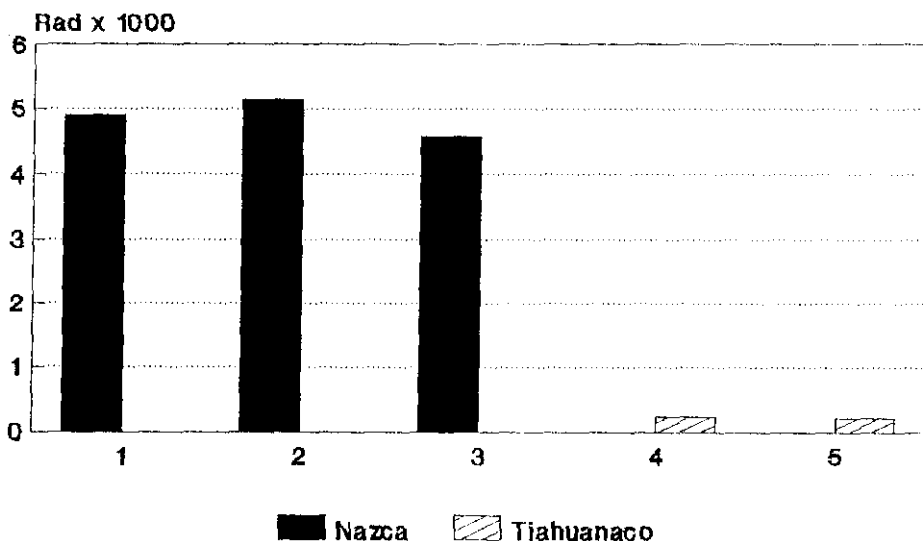


FIGURA 5.—Comparación entre valores de Dosis beta equivalente para las muestras A3, A4, A5 (1, 2, 3 en el diagrama de barras) y A1, A2 (4, 5 en el diagrama).

BIBLIOGRAFIA

AITKEN, M. J.:

1974 *Physics and Archaeology*. Clarendon Press.

1985 *Thermoluminescence Dating*. Academic Press.

- ARRIBAS, J. G.; T. CALDERÓN y C. BLASCO
 1989 «Datación absoluta por termoluminiscencia: un ejemplo de aplicación arqueológica». En *Trabajos de Prehistoria*, vol. 46, pp. 231-246. Madrid.
- BLASCO BOSQUED, C., y L. J. RAMOS GÓMEZ
 1980 *Cerámica Nazca*. Editado por el «Seminario Americanista de la Universidad de Valladolid». Valladolid.
 1986 *Catálogo de la cerámica nazca, 1: Recipientes decorados con temas relacionados con el mundo de las creencias*. Editado por el Ministerio de Cultura. Madrid.
 1991 *Catálogo de la cerámica nazca, 2: Recipientes decorados con figuras humanas de carácter ordinario o con cabezas cortadas u otras partes del cuerpo humano*. Editado por el Ministerio de Cultura. Madrid.
- CABELLO CARRO, PAZ
 1987 «Informe sobre las colecciones precolombinas del Museo de América de Madrid», publicado en *Precolumbian collections in European Museums*, editado por Hocquinghem, A. M.; P. Tamasi y Ch. Villain-Gandossi, «Akadémiai Kiadó», Budapest.
- CALDERÓN, T.; J. G. ARIBAS, A. MILLÁN y C. BLASCO
 1988 «Servicio de datación absoluta por termoluminiscencia y analítica de cerámicas arqueológicas de la U.A.M.». En *Cuadernos de prehistoria y arqueología de la UAM (CuPAUAM)*, n.º 15, pp. 385-397. Madrid.
- CUESTA DOMINGO, Mariano
 1980 *Arqueología Andina: Perú*. Editado por el «Ministerio de Cultura. Dirección General del Patrimonio Artístico, Archivos y Museos». Madrid.
- FLEMING, S. J.
 1966 «Study of thermoluminescence of crystalline extracts from pottery». *Archaeometry*, n.º 9, pp. 170-173.
 1970 «Thermoluminescence dating: refinement of the quartz inclusion method». *Archaeometry*, n.º 12, pp. 133-147.
- MEGDAHL, V.
 1979 «Thermoluminescence dating: betadose attenuation in quartz grains». *Archaeometry*, n.º 21, pp. 61-73.
- NAVILLE, R., y N. PARANHOS DA SILVA
 1959 «La ceramique du Musée d'Ethnographie de Genève», en *Bulletin de la Société Suisse des Americanistes*, número 18. Ginebra.
- TRIMBORN, H., en colaboración con M. Almagro, C. Ayala, A. Tuya y A. Bustow
 1935 «La cerámica peruana del Museo Arqueológico de Madrid». En *Actas y Memorias de la Sociedad Española de Antropología, Etnología y Prehistoria*, tomo XIV, cuadernos 2 y 3. Madrid.
- TRIMBORN, H., y P. FERNÁNDEZ VEGA
 1935 *Catálogo de la exposición Arte Inca (colección J. L.)*. Madrid.
- ZIMMERMAN, J.
 1971 «Thermoluminescent dating using fine grains from pottery». *Archaeometry*, n.º 13, pp. 29-52.