

RESEARCH ARTICLE

DATACIÓN POR RESONANCIA PARAMAGNÉTICA ELECTRÓNICA (RPE) DE CERÁMICAS DEL SITIO ARQUEOLÓGICO DE SUTA, COLOMBIA

Electron Paramagnetic Resonance (EPR) Dating of Pottery from the Suta Archaeological Site, Colombia

Ali D. Öcal,¹ Mamoun Hemmida,² Ovidio Almanza³

¹ Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá, Facultad de Ciencias Humanas, Departamento de Antropología, Colombia

² Experimentalphysik V, Elektronische Korrelationen und Magnetismus, Institut für Physik, Universität Augsburg, Alemania

³ Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá, Facultad de Ciencias, Departamento de Física, Colombia
(✉ adocal@unal.edu.co)

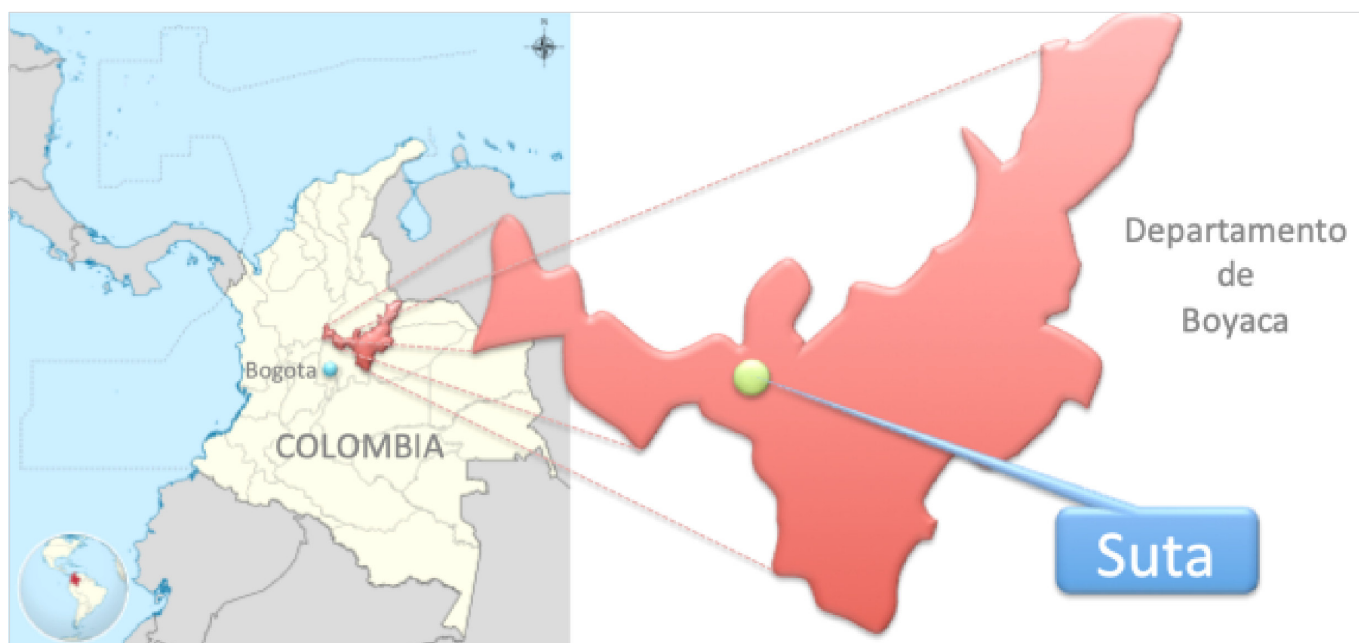


Figura 1. Mapa que muestra la ubicación del sitio arqueológico de Suta en el valle de Leyva, departamento de Boyacá, Colombia (5.6165° N, 73.5970° O).

RESUMEN. Los fragmentos de cerámica del sitio arqueológico de Suta, valle de Leyva, Colombia, han sido datados por resonancia paramagnética electrónica (RPE). El centro $Ti-H$, generado por la radiación en el cuarzo, fue detectado por RPE y usado para determinar la edad de los fragmentos cerámicos aquí estudiados. La tasa de dosis anual (DA) recibida por la cerámica se evaluó a partir de las contribuciones de fuentes de radiación externas e internas. A partir de los datos cronológicos absolutos de las muestras tomadas en las unidades arqueológicas excavadas, se obtuvieron dos fechas: $665,3 \pm 130$ y $1048,8 \pm 110$ DC. Lo anterior indica un extenso periodo de asentamiento de 380 años para los dos sitios excavados.

PALABRAS CLAVE. Datación, RPE, cerámicas, cuarzo, muisca, Suta, Colombia.

Recibido: 13/12/2023. Modificado: 27/12/2023. Aceptado: 8/1/2024. Publicado: 16/1/2024.

Edited & Published by Pascual Izquierdo-Egea [P. I. Egea]. Arqueol. Iberoam. Open Access Journal.
Creative Commons License (CC BY 4.0). <https://n2t.net/ark:/49934/323>. <https://purl.org/aia/5302>.

ABSTRACT. Ceramic sherds from the archaeological site of Suta, Leyva Valley, Colombia, have been dated by the electron paramagnetic resonance (EPR). The Ti–H center, generated by radiation in quartz, was detected by EPR and used to determine the age of the ceramic sherds studied here. The annual dose rate (AD) received by the pottery was evaluated from the contributions of external and internal radiation sources. Two dates were obtained from the absolute chronological data of the samples taken from the excavated archaeological units: 665.3 ± 130 and 1048.8 ± 110 AD years. This indicates an extended settlement period of 380 years for the two excavated sites.

KEYWORDS. EPR, dating, pottery, quartz, Muisca, Suta, Colombia.

INTRODUCCIÓN

En la década de 1970, la resonancia paramagnética electrónica (RPE) era considerada, a efectos de datación, equivalente a la termoluminiscencia (TL) y a la luminiscencia ópticamente estimulada (OSL), con la diferencia de que con la RPE era posible medir las muestras varias veces sin el temor de borrar la historia de estas.

Desde entonces, la datación por RPE ha encontrado un interés creciente en arqueometría y áreas como la geología, la geomorfología y la arqueología. Maurer *et al.* (1981) y Bartoll e Ikeya (1997) demostraron, en un experimento modelo, que debería ser posible la datación de cerámicas arqueológicas por RPE, porque la aniquilación de los centros de defectos paramagnéticos se produce por la cocción de aquellas. La acumulación de defectos generados por radiación es posterior a la cocción y, por ende, es posible datar la cerámica contando el tiempo a partir del instante de su fabricación como pieza arqueológica. Sin embargo, hasta ahora no se ha popularizado la aplicación de esta técnica a la datación de cerámicas arqueológicas.

La fechación de las cerámicas encontradas en territorio colombiano, concretamente en el sitio denominado Suta (figura 1) del valle de Leyva, es de especial interés ya que su vinculación a un periodo particular de la historia establecerá una cronología precisa para las muestras pertenecientes a la cultura muisca. Aun cuando se ha comprobado la existencia de ocupaciones continuas en el sitio del hallazgo, desde el periodo Muisca Temprano (800-1200 DC) hasta el Muisca Tardío (1200-1600 DC) (Langebaek 2001; Henderson y Ostler 2005; Fajardo 2015) en el ámbito cultural del altiplano cundiboyacense de Colombia, el estudio del periodo Muisca sigue dando lugar a múltiples discusiones sobre la cronología.

Por la anterior razón, este trabajo busca aportar información importante de la sociedad muisca evaluando el periodo de asentamiento de las comunidades que habitaron en el lugar denominado Suta. Las unidades

domésticas, encontradas a diferentes profundidades de excavación, sugieren la existencia de distintas generaciones de individuos que cumplían con el ritual de enterrar a sus muertos junto con sus cerámicas; por lo que en este sitio se han identificado las mayores concentraciones de cerámicas y evidencias de actividades domésticas halladas en Colombia (Henderson y Ostler 2005).

MATERIALES Y MÉTODOS

Se estudiaron dos fragmentos cerámicos precolombinos (figura 2) del sitio arqueológico muisca excavado en Suta (figura 1), valle de Leyva, departamento de Boyacá, Colombia, con coordenadas geográficas de $5^{\circ} 61'$ de latitud norte y $73^{\circ} 59'$ de longitud oeste.

Este sitio se encuentra a una altura de 2100 m sobre el nivel del mar. Las muestras arqueológicas utilizadas en este estudio son fragmentos de cerámica considerados como no aprovechables para ser expuestos en museos. Se escogieron dos tiestos de unidades domésticas muisca con el fin de evaluar su edad usando la resonancia paramagnética electrónica (RPE). Cada uno de los fragmentos representa dos fases diferentes de ocupación (Falchetti 1975). Las muestras utilizadas se denominaron UR-31 y UR-33.

Para la datación por RPE es necesario determinar dos magnitudes básicas: la dosis acumulada (paleodosis), o dosis de radiación recibida por la muestra en su periodo de enterramiento (DE), y la tasa de dosis media anual (DA) a la que ha estado expuesta la muestra en ese mismo tiempo (Aitken 1990; Grün 1997).

La primera es evaluada directamente a partir de los espectros de RPE, graficando la intensidad de las señales obtenidas versus la dosis suministrada. Es un método de dosis aditiva que consiste en suministrar radiación externa a las muestras y medir la intensidad de la señal obtenida por RPE.

La tasa de dosis media anual se deriva del análisis de los elementos radiactivos (U, Th y K) y de la radiación



Figura 2. Fotografías de los fragmentos cerámicos analizados, obtenidos en las excavaciones del sitio arqueológico de Suta.

cósmica. Así pues, la estimación de la edad (E) de los materiales, obtenida por RPE, se realiza mediante la siguiente fórmula (Ikeya 1993; Grün 1989; Aitken 1990; Rink 1997), donde DE es la paleodosis y DA la tasa de dosis media anual:

$$E = DE/DA \quad (1)$$

PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

Los fragmentos de cerámica (cada uno de 25-30 g aproximadamente) fueron sometidos al siguiente protocolo: se les retiraron 2 mm de la superficie, por ambas caras de la muestra, con el objeto de eliminar la posible contribución a la generación de radicales libres por parte de las radiaciones externa alfa y beta. Estas radiaciones son producto del decaimiento de los radioisótopos ^{238}U , ^{232}Th y ^{40}K presentes en el suelo, pero su penetración en las arcillas no va más allá de los 2 mm (Ikeya 1993).

Después del paso anterior, los fragmentos se trituraron cuidadosamente en un mortero de ágata y la molienda se hizo pasar por un tamiz para tener una distribución de granos menores de 250 μm . Las muestras tamizadas se lavaron con HCl al 36 % de concentra-

ción, durante la noche, con el fin de eliminar los carbonatos presentes en ellas. Después del proceso anterior, las muestras se introdujeron durante 30 min en agua con HF al 48 % con el fin de eliminar los feldspatos. Al final, las muestras se lavaron en agua destilada y H_2O_2 que ayuda a eliminar los posibles restos de material orgánico. Finalmente, las muestras fueron secadas a 50 °C y los componentes magnéticos se depuraron con ayuda de un imán.

El diagrama de la figura 3 resume el procedimiento realizado para el lavado y tratamiento de las muestras arcillosas. 40 partes alícuotas de muestras de arcilla de aproximadamente 100 mg, 20 por cada unidad doméstica arqueológica, se irradiaron con una fuente de ^{60}Co (2,3 Gy/h) del Servicio Geológico Colombiano. El rango de dosis de irradiación estuvo entre 100 y 900 Gy.

Los experimentos de RPE se midieron en un espectrómetro *Bruker* ELEXSYS E500, banda X, de onda continua, a una frecuencia de 9,75 GHz, en el *Institut für Physik* de la *Universität Augsburg* en Alemania. Las muestras en polvo (30 mg) se introdujeron en tubos de *Suprasil* (cuarzo de 3 mm).

Los espectros RPE de las cerámicas irradiadas con ^{60}Co se tomaron dos semanas después de haber sido irradiadas. Esto se hizo con el fin de asegurar la estabilidad de la señal.

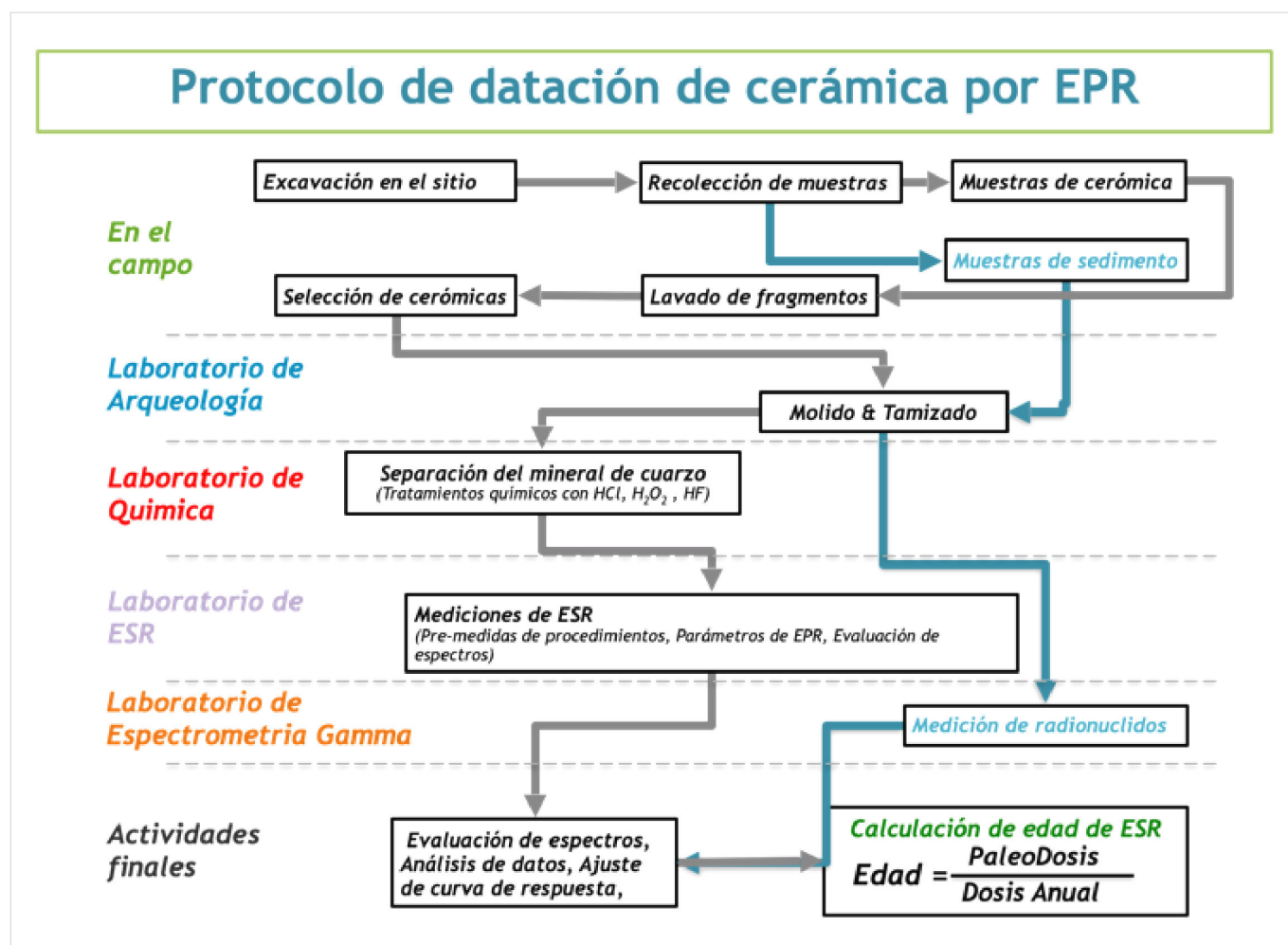


Figura 3. Protocolo para la datación de cerámica muisca por RPE, establecido como resultado de la presente investigación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La figura 4a muestra los espectros de RPE registrados para muestras de arcilla obtenidas en la unidad doméstica UR-31. La señal ancha está asociada a pequeños *clústeres* de hierro presentes en las muestras y que no pudieron extraerse completamente después de la remoción con el imán.

Es precisamente el hierro existente en las muestras arcillosas lo que podría identificar la procedencia del material utilizado en su fabricación, pero esto será objeto de un estudio posterior. La presencia de hierro dentro de la estructura arcillosa es la mayor dificultad para registrar la señal de RPE asociada a los defectos generados por radiación dentro del cuarzo.

Dado que estos defectos se registran en la RPE con un valor g aproximado de 2,0023, cercano al del electrón libre, se chequearon posibles señales próximas a esa cantidad. La figura en recuadro dentro de la figura 4a es una ampliación de la zona donde posiblemente

estaba la señal asociada al defecto generado por radiación. Se nota un pequeño pico que aumenta en intensidad cuando la dosis de radiación aumenta. Esta señal, con $g = 1,9883$, se atribuye al centro Ti-H en el cuarzo y será la utilizada para la datación de las cerámicas.

La figura 4b es el espectro RPE obtenido en las muestras pertenecientes a la unidad doméstica UR-33. La apreciación es la misma que la esbozada en la figura 4a. Las intensidades de las señales calculadas (doble integración de los picos en el recuadro) aumentan linealmente con la dosis de radiación suministrada. Esto se observa en las figuras 5a y 5b para las muestras pertenecientes a las unidades domésticas UR-31 y UR-33, respectivamente.

La denominada paleodosis (DE), calculada a partir de la extrapolación a intensidad cero de las figuras 4a y 4b, fue de $133,2 \pm 13$ y $449,0 \pm 40$ Gy para las unidades UR-31 y UR-33, respectivamente. La tasa de dosis media anual (DA) es producto de dos contribuciones. La primera es la que hacen los radionucleidos presen-

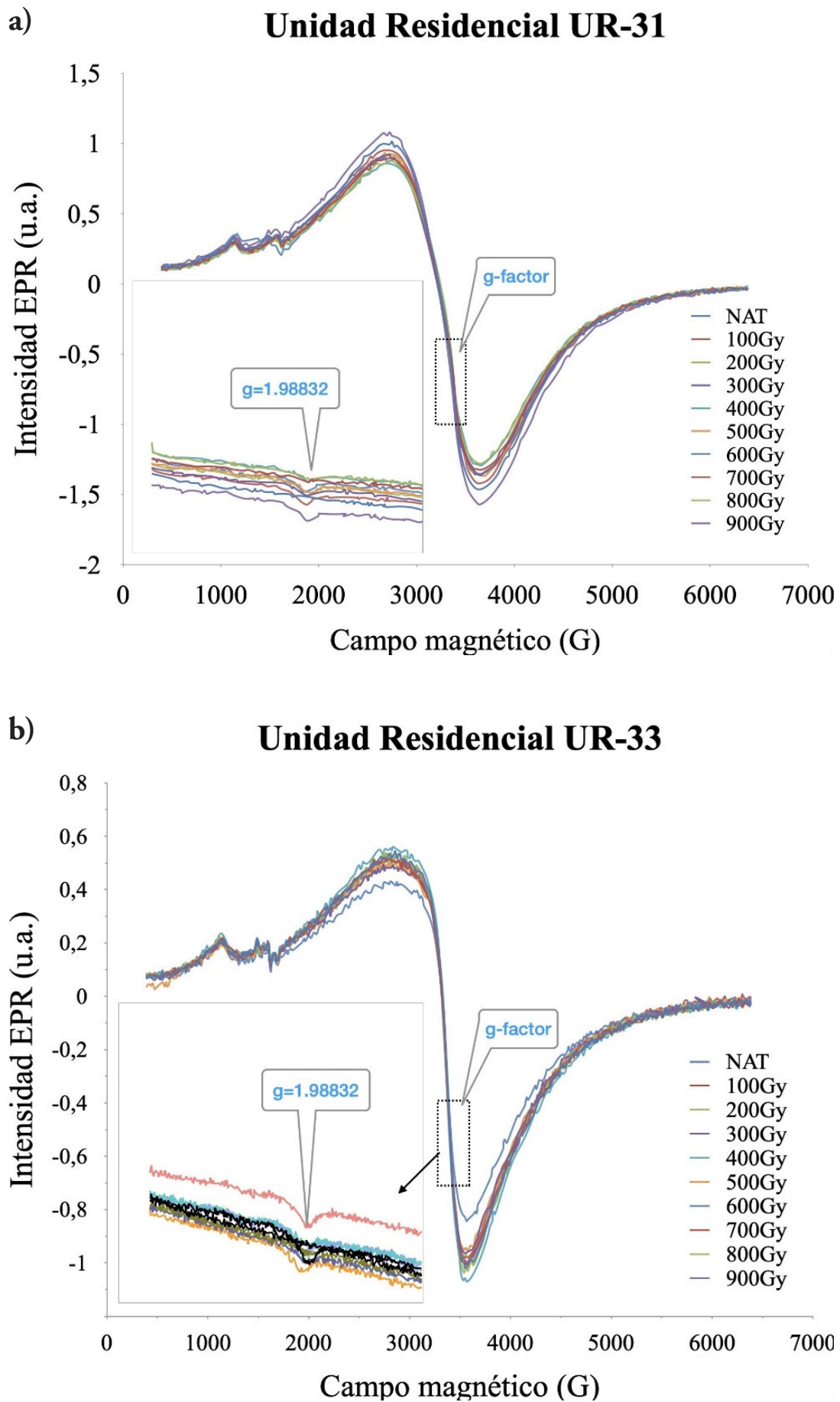


Figura 4. Espectro RPE completo de las muestras encontradas en las unidades UR-31 (a) y UR-33 (b). Los recuadros de estas figuras corresponden a la zona ampliada en la región de campo cercana a $g = 2$.

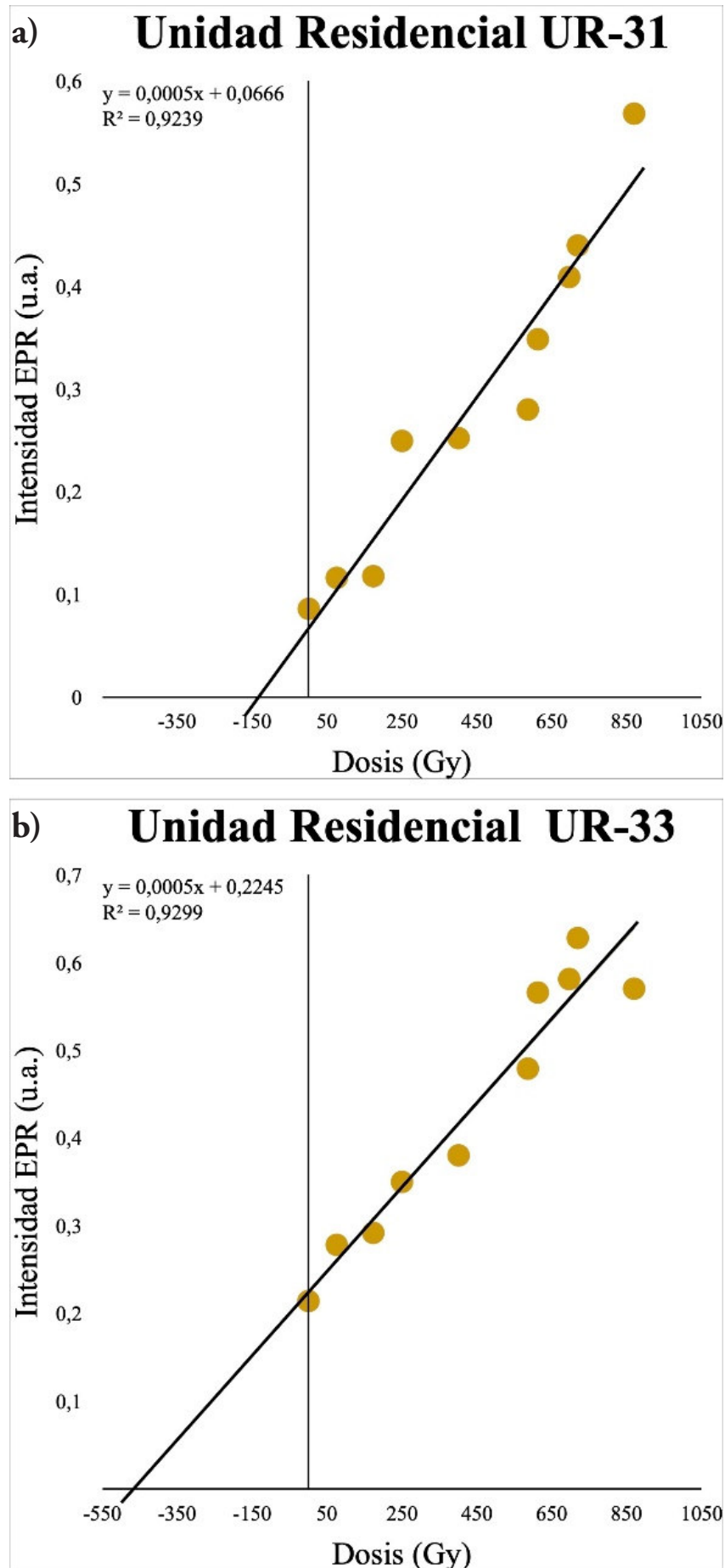


Figura 5. Intensidad de la señal RPE vs. dosis. Muestras irradiadas de las unidades UR-31 (a) y UR-33 (b).

Tabla 1. Concentración de radionucleidos y latitud geomagnética para calcular la tasa de dosis cósmica.

	Concentración (ppm)			Latitud geomagnética (λ)	Tasa de dosis cósmica ($\mu\text{Gy/año}$)	Tasa de dosis media anual (DA) ($\mu\text{Gy/año}$)
	^{238}U	^{232}Th	^{40}K			
UR-31	45,8 \pm 4	50,6 \pm 4	209 \pm 19	17° 28' 39''	197	200221,55
UR-33	79,8 \pm 4	130 \pm 11	450 \pm 44	17° 28' 45''	192	428112,08

tes en el entorno de la cerámica. En la tabla 1 se muestran los porcentajes de ^{238}U , ^{232}Th y ^{40}K evaluados en las muestras de tierra del medio donde fueron hallados los restos cerámicos. Aquí también es necesario considerar la existencia de concentraciones de estos radionucleidos en el interior de la cerámica que, en cierta forma, contribuirían a la tasa de dosis media anual recibida por los fragmentos.

Sin embargo, esta última concentración de materiales radiactivos solo es apreciable en muestras con periodos de tiempo relativamente grandes, exactamente en lapsos superiores a los 20000 años (Grün 1989; Jonnas 1997).

Los registros que se conocen del material cerámico de este estudio comprenden una época que va desde los años 800 a 1600 DC, intervalo que abarca los periodos Muisca Temprano y Muisca Tardío en Colombia. Por esa razón, pueden considerarse despreciables las concentraciones de elementos radiactivos en el interior de los fragmentos de las cerámicas. En consecuencia, solamente los radionucleidos del sedimento contribuyen de forma importante a la tasa de dosis media anual.

La segunda contribución a la tasa media viene de la radiación cósmica en el sitio arqueológico de Suta. Esta aparece en la tabla 1 y se ha calculado mediante la fórmula de Prescott y Hutton (1994). Aquí se han tenido en cuenta las coordenadas geográficas dadas en la sección de materiales y métodos y la latitud geomagnética que figura en la tabla 1. El error asociado a la determinación de la dosis cósmica no supera el 5 % (Prescott y Hutton 1994).

La tasa de dosis media anual para los datos reportados en la tabla 1 se obtuvo con ayuda del *software* ROSY (Brennan *et al.* 1999). Estos valores aparecen en la misma tabla. Así pues, la edad de las muestras analizadas es de 665,3 \pm 130 y 1048,8 \pm 110 años DC para las unidades UR-31 y UR-33, respectivamente. Esto equivale

a decir que las muestras encontradas en las unidades UR-31 y UR-33, llamadas por el mismo nombre, muy probablemente hayan sido elaboradas hacia los años 1354 y 970 antes del presente, respectivamente.

Lo anterior establece que la muestra UR-31 pertenecería probablemente al periodo Muisca Temprano (800-1200 DC), mientras que la muestra UR-33 correspondería posiblemente al periodo Muisca Tardío (1200-1600 DC).

CONCLUSIONES

En esta investigación se evaluó la posibilidad de realizar nuevas aproximaciones que pudieran aportar información más precisa sobre los materiales cerámicos —en términos de su cronología absoluta— asociados a las unidades domésticas muisca del sitio Suta (Colombia) y la problemática antropológica y arqueológica sobre la perdurabilidad de los asentamientos.

La técnica de datación por RPE se aplicó con éxito a las cerámicas del sitio precolombino de Suta. Fue posible determinar un periodo de tiempo de asentamiento, derivado de las fechas obtenidas directamente de la cerámica, que ubica la existencia de dicho sitio arqueológico entre los años 1354 \pm 130 y 970 \pm 110 AP según los datos de cronología absoluta de las muestras obtenidas de las dos unidades domésticas.

Los resultados fueron satisfactorios en cuanto a su cronología absoluta, ya que estos se aproximan a la edad asignada previamente, basada en la observación de las muestras asociadas a periodos muisca (Falchetti 1975; Langebaek 1995, 2001).

Dichos resultados también son coherentes con las fechas radiocarbónicas de otros sitios pertenecientes a los dos periodos reconocidos para la sociedad muisca.

Al final de esta investigación interdisciplinaria se estableció un exitoso protocolo para la datación de la

cerámica muisca (figura 3), que promueve la utilidad de la técnica de resonancia paramagnética electrónica (RPE) como una herramienta fiable para determinar cronologías en la arqueología colombiana. Este trabajo es el primer reporte de datación de cerámicas con RPE realizado en Colombia.

Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento a Azarías de Jesús Moreno Machado, Jormagn Israel Abril Murillo y Guillermo Abel Parrado, pertenecientes al Servicio Geológico Colombiano, por la gentileza de llevar a cabo la irradiación de las muestras; y a los doctores Hans-Albrecht Krug von Nidda y Dieter Ehlers por ayudar durante todo el proceso de medición, así como al Dr. César Sierra por facilitar el proceso de preparación química.

REFERENCIAS

- AITKEN, M. J. 1990. *Science-based dating in archaeology*. Londres: Longman.
- BARTOLL, J.; M. IKEYA. 1997. ESR dating of pottery: a trial. *Applied Radiation and Isotopes* 48, 7: 981-984.
- BRENNAN, B. J.; W. J. RINK; E. M. RULE; H. P. SCHWARCZ; W. V. PRESTWICH. 1999. The ROSY ESR dating program. *Ancient TL* 17, 2: 45-53.
- FAJARDO, S.; L. F. NAVARRO; J. D. MAHECHA. 2015. Población dispersa durante los periodos prehispánico y colonial en áreas de difícil acceso en límites de los valles de Sogamoso y Duitama. *Revista Colombiana de Antropología* 51, 2: 265-292.
- FALCHETTI, A. M. 1975. *Arqueología de Sutamarchán, Boyacá*. Bogotá: Banco Popular.
- GRÜN, R. 1989. *Die ESR-Altersbestimmungsmethode*. Berlín: Springer.
- GRÜN, R. 1997. Electron Spin Resonance Dating. En *Chronometric Dating in Archaeology = Advances in Archaeological and Museum Science* 2, eds. R. E. Taylor/M. J. Aitken, pp. 217-260. Boston: Springer.
- HENDERSON, H.; N. OSTLER. 2005. Muisca settlement organization and chiefly authority at Suta, Valle de Leyva, Colombia: A critical appraisal of native concepts of house for studies of complex societies. *Journal of Anthropological Archaeology* 24, 2: 148-178.
- IKEYA, M. 1993. *New Applications of Electron Spin Resonance: Dating, Dosimetry and Microscopy*. Singapur: World Scientific.
- JONAS, M. 1997. Concepts and methods of ESR dating. *Radiation Measurements* 27, 5-6: 943-973.
- LANGENBAEK, C. H. 1995. *Arqueología regional en el territorio muisca: estudio de los valles Fúquene y Susa*. Bogotá: Universidad de los Andes.
- LANGENBAEK, C. H. 2001. *Arqueología regional en el valle de Leiva: procesos de ocupación humana en una región de los Andes orientales de Colombia*. Informes Arqueológicos del Instituto Colombiano de Antropología e Historia 2. Bogotá.
- MAURER, C.; S. WILLIAMS; T. RILEY. 1981. ESR dating of archeological ceramics: a progress report. *MASCA Journal* 1, 7: 202-204.
- PRESCOTT, J. R.; J. T. HUTTON. 1994. Cosmic ray contributions to dose rates for luminescence and ESR dating: Large depths and long-term time variations. *Radiation Measurements* 23, 2-3: 497-500.
- RINK, W. J. 1997. Electron spin resonance (ESR) dating and ESR applications in quaternary science and archaeometry. *Radiation Measurements* 27, 5-6: 975-1025.