



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

**Longevidad de las viviendas de
ocupación muisca de Suta, Valle de
Leiva (Colombia):
Datación de cerámica por
Resonancia Paramagnética
Electrónica**

Ali D. Öcal, M.Sc.

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

2019

Longevidad de las viviendas de ocupación muisca de Suta, Valle de Leiva (Colombia): Datación de cerámica por Resonancia Paramagnética Electrónica

Ali D. Öcal, M. Sc.

Tesis de investigación presentada como requisito parcial para optar al título de:

Doctor en Arqueología

Directora:

Ph.D., Hope Henderson

Codirector:

Ph.D., Ovidio Almanza

Línea de Investigación: Arqueología, Arqueometría

Grupo de Investigación: Desafíos Arqueológicos; Memoria, Patrimonio y Poder

Grupos de investigación: Física Aplicada

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias Humanas, Departamento de Antropología

Bogotá, Colombia

2019

A mi esposa

Por su apoyo constante

Agradecimientos

Gracias, especialmente, a mis directores de tesis, la Dra. Hope Henderson y Dr. Ovidio Almanza, a los que les agradezco toda la confianza que me mostraron durante todo este proceso. Gracias a su apoyo incondicional, a los ánimos que me infundieron en momentos críticos, a sus sabios consejos y sobre todo a su amistad, esta tesis se ha hecho realidad.

El Dr. Hans-Albrecht Krug Von Nidda, del Institut für Physik, Universität Augsburg quien además de compartir sus conocimientos acerca del manejo del equipo de EPR, me brindó la oportunidad de realizar las mediciones en su laboratorio bajo su supervisión. Durante todo el proceso en el Institut für Physik hago extensivo mi agradecimiento al Dr. Mamoun Hemmida y Dr. Dieter Ehlers, Físicos, quienes siempre me brindaron un enorme apoyo durante la realización de las mediciones.

También quiero expresar mi agradecimiento al profesor Dr. Cesar Sierra, por abrirme las puertas del Laboratorio de Macromoléculas, en el que realicé los tratamientos químicos de las muestras. Un especial, agradecimiento a mi compañero de doctorado Javier Gutiérrez, quien me acompañó y me apoyo durante todo el proceso, aportando valiosas ideas y ayudándome con la redacción del texto. Agradezco al Dr. Sebastian Fajardo, de quien recibí comentarios y sugerencias oportunos. Al profesor Dr. Rer. nat. Thomas Cramer por facilitarme las herramientas durante el proceso de preparación de las muestras. Una especial gratitud al físico Dr. Eduar Carvajal y al químico Dr. Manuel Acosta, por su invaluable apoyo y solidaridad. Quiero reconocer el trabajo de los Señores Azarías De Jesús Moreno Machado, Jormagn Israel Abril Murillo y Guillermo Abel Parrado, del Servicio Geológico Colombiano, quienes me colaboraron con el proceso de irradiación de las muestras y el análisis de los sedimentos. También quiero expresar un agradecimiento a Samuel Currea Cepeda por su colaboración en la corrección y mejora de la redacción del documento final.

Para concluir quiero agradecer de manera muy especial a mi esposa Adriana Eslava Cerón por siempre apoyarme, dándome aliento para seguir adelante en todo lo que me he propuesto, por eso sé que sin ella no hubiera sido posible, lograr terminar este estudio.

Resumen

En este proyecto exploratorio, se ha centrado en la posibilidad de proveer información detallada sobre el material arqueológico incorporado a Unidades Domesticas de la comunidad Muisca del sitio arqueológico de Suta en Valle de Leyva en el Departamento de Boyacá de Colombia y las discusiones antropológicas acerca de longevidad. Para cumplir este enfoque, se estableció un protocolo estándar de datación de cerámica, utilizando el equipo de la Resonancia Paramagnética Electrónica - EPR para revelar la cronoestratigrafía del sitio de Suta, y así, fortaleciendo aspectos cronológicos de la sociedad Muisca en Colombia. En un total de nueve fragmentos de cerámica fueron analizados con el equipo de EPR y se consiguieron un total de seis fechas acertadas que corresponden a los periodos de Muisca Temprano y Muisca Tardío. Los resultados de datación de los fragmentos guardan consistencia entre sí y muestran coherencia con los fechas radiocarbónicos de otros sitios de Muisca. Al finalizar esta investigación transdisciplinario, se estableció un exitoso protocolo estándar de datación de cerámica muisca que promueve la utilidad del equipo de EPR como una meritoria herramienta cronométrica para construir y refinar las cronologías en la arqueología colombiana. Al mismo tiempo se logro calcular la longevidad de uno de las cuatro unidades residenciales del sitio de Suta.

Palabras clave: unidades domésticas, longevidad, muisca, datación de cerámica, EPR.

Abstract

In this exploratory project, it has focused on the possibility of providing detailed information on the archaeological material incorporated into the Domestic Units of the Muisca community of the archaeological site of Suta in Valle de Leyva in the Department of Boyacá of Colombia and the anthropological discussions about longevity. To fulfill this approach, a standard ceramic dating protocol was established, using the Electronic Paramagnetic Resonance - EPR equipment to reveal the chronostratigraphy of the Suta site, and thus, strengthening chronological aspects of the Muisca society in Colombia. A total of nine ceramic fragments were analyzed with the EPR equipment and a total of six successful dates were obtained corresponding to the Early Muisca and Late Muisca periods. The dating results of the fragments are consistent with each other and show coherence with the radiocarbon dates of other Muisca sites. At the end of this transdisciplinary research, a successful standard Muisca ceramic dating protocol was established that promotes the usefulness of the EPR equipment as a worthy chronometric tool to construct and refine chronologies in Colombian archeology. At the same time it was possible to calculate the longevity of one of the four residential units of the Suta site.

Keywords: domestic units, longevidad, muisca, ceramic dating, EPR.

Contenido

	Pág.
Resumen	VII
Lista de figuras	XI
Lista de tablas	XIV
1 Capítulo 1: Introducción	1
2 Capítulo 2: Aproximaciones Conceptuales	6
2.1 Concepto de las unidades domésticas.....	6
2.2 Concepto de longevidad	11
2.3 Arqueometría: un análisis holístico y contextual.....	12
2.4 Métodos de datación en arqueología.....	16
2.4.1 Datación de registros de ciclos anuales.....	18
2.4.2 Datación radiocarbonica.....	19
2.4.3 Métodos de dosimetría de radiactividad.....	20
2.4.4 Métodos relativos calibrados	25
2.5 Datación por Resonancia Paramagnética Electrónica	27
2.5.1 Historia del uso del EPR para la datación	28
2.5.2 Fundamentos de la datación por EPR.....	30
3 Capítulo 3: Contexto de la Investigación	41
3.1 De la arqueología regional a la local.....	42
3.2 Obtención y selección de muestras.....	51
4 Capítulo 4: Metodología.....	61
4.1 Excavaciones y extracción de las cerámicas	61
4.2 Preparacion físico-química de las ceramicas	74
4.3 Irradiación artificial de las muestras de ceramica.....	79
4.4 Procesos analíticos con Resonancia Paramagnética Electrónica	82
4.4.1 Preparación de las muestras para la mediciones de EPR	84
4.4.2 Espectros paramagnéticos de EPR.....	88
4.4.3 Medida de la tasa de dosis anual	90

4.5	Analisis de identificacion de radionuclidos de sedimentos	92
5	Capítulo 5: Resultados	109
5.1	Cálculo de Dosis Equivalente.....	110
5.2	Estimación de la Tasa de Dosis Media Anual	110
5.3	Resultados de la Espectrometría Gamma	113
5.4	Cálculo de edad	114
6	Capítulo 6: Conclusiones.....	121
6.1	Incertidumbre asociada a la datación.....	126
6.2	El potencial de la Resonancia Paramagnética Electrónica	128
	Anexo: Recomendación para la datación de cerámica con EPR	135
	Bibliografía	141

Lista de figuras

Pág.

Figura 1-1: Ubicación del sitio arqueológico de Suta, Valle de Leiva, en el Departamento de Boyacá, Colombia (Fuente: Wikipedia).....	2
Figura 2-1: Rango de validez para la datación con EPR y su comparación con otros métodos. De Termoluminescencia (TL), Luminencia Optica Estimulada y Carbono-14. .	21
Figura 2-2: Los campos de aplicación y los materiales que pueden utilizarse para la datación por EPR (Grün, 1989; Ikeya, 1993).....	28
Figura 2-3: Contribución de las radiaciones alfa, beta y gamma en los materiales arqueológicos. Las partículas alfa, al incidir sobre la cerámica, recorren una distancia del orden de micras (μm) a través de este material; las partículas beta, en cambio, tienen un rango de actuación del orden de milímetros (mm), y la radiación gamma es capaz de atravesar varios centímetros (cm) de la cerámica.	31
Figura 2-4: El principio de datación por EPR: (a) los electrones pareados están girando en direcciones opuestas; (b) la ionización por rayos alfa, beta y gamma derriba uno de los electrones pareados (niña) y deja al otro (niño) en un agujero; (c) el electrón no apareado (niña) queda atrapado por una impureza (<i>gangster</i>); (d) la dirección de giro de los electrones no pareados se carga por absorción de microondas. La concentración de electrones no pareados en proporción a la TD (<i>natural radiation</i>) o ED (<i>equivalent dose</i>) se determina con EPR (Ikeya, 1993).	33
Figura 2-5: Esquema del proceso de ionización por irradiación y la trampa de electrones en minerales (Grün, 1989).	34
Figura 2-6: Intensidad de la señal EPR en cerámica arqueológica y su altura pico a pico.	36
Figura 2-7: Método de Dosis Aditiva. La intensidad de la señal EPR incrementa como una función de la dosis de radiación artificial. La dosis equivalente puede obtenerse por extrapolación al cero de la ordenada. a) Ajuste lineal (izquierda) También puede darse un ajuste exponencial (derecha) por la saturación de la señal EPR con la dosis.	37
Figura 3-1: Suta durante el periodo de Muisca Tardío (Fuente: Henderson 2012:172). 44	
Figura 3-2: Mapa de distribución de las unidades domesticas en el sitio de Suta para los periodos de Muisca Temprano (izq.) y Muisca Tardío (Fuente: Henderson & Ostler, 2005:170).....	45
Figura 3-3: Ubicación de las 10 unidades domesticas en el sitio de Suta que fueron ocupadas durante los dos períodos referidos a la sociedad Muisca. Las dos unidades desaparecidas por la erosión (señaladas con flechas) estaban localizadas en el norte del	

asentamiento y la unidad residencial cacical UR-31 estaba ubicada en el centro del asentamiento (Fuente: Henderson, 2012:170).	46
Figura 3-4: Mapa de distribución de ocupación en el Valle de Leyva para los periodos de Muisca Temprano y Muisca Tardío. (Fuente: Henderson, 2012:165).	48
Figura 3-5: Ubicación del sitio arqueológico de Suta y de las cuatro unidades residenciales, donde se extrajeron los fragmentos de cerámica para el proceso de datación (Elaboración propia).	52
Figura 3-6: Ubicación del sitio arqueológico de Suta, ubicado en el Valle de Leyva, en el Departamento de Boyacá, Colombia (Fuente: Wikipedia) y la localización de las áreas de cada unidad domestica y la localización de los 10 cortes de muestreo arqueologico.....	53
Figura 3-7: Zonas de densidad de cerámicas en el sitio de Suta encontrados para el periodos de Muisca Temprano (izq.) y Muisca Tardío (Fuente: Henderson & Ostler, 2005:167-168).	54
Figura 3-8: Las excavaciones en el sitio de Suta, Boyacá, se realizaron durante el mes de noviembre de 2016.	55
Figura 3-9: Los fragmentos recuperados en las excavaciones de los cuatro unidades residenciales del sitio Suta, fueron lavados y clasificados en el Laboratorio de Arqueología del Departamento de Antropología de la Universidad Nacional, Sede Bogotá.	57
Figura 4-1: Las mediciones fueron tomados en los Laboratorios de Resonancia Paramagnetica Electronica, y posteriormente los análisis de los espectros y las primeras evaluaciones de los resultados fueron realizados en el Instituto de Física de la Universidad de Augsburg, Alemania.	87
Figura 4-2: Los espectros obtenidos por EPR de las muestras de cerámica en polvo: desde la natural, sin irradiación artificial (imagen superior izquierda) hasta la muestra irradiada por 900Gy. Se observa el aumento de la intensidad EPR con la dosis.	89
Figura 4-3: La interacción de la cerámica bajo tierra con la radiación (Aitken, 1990). ...	91
Figura 4-4: Los sedimentos circundantes de los materiales arqueológicos se preparan - <i>moliendo y tamizando</i> - para la determinación de radioisótopos naturales para la cuantificación de Uranio (^{238}U), Torio (^{232}Th) y Potasio (^{40}K).	93
Figura 5-1: Valores de F , J y H , en función de la latitud geomagnética (λ) (Prescott & Hutton, 1994).	113
Figura 5-2: El calculo de edad del material cerámico se obtiene dividiendo el valor de la dosis arqueológica por la tasa de dosis media anual.	115
Figura 5-3: El protocolo establecido después de los trabajos realizados para la datación de cerámica Muisca por el uso del equipo de Resonancia Paramagnetica Electronica.	119
Figura 6-1: El protocolo establecido después de los trabajos realizados para la datación de cerámica Muisca por el uso del equipo de Resonancia Paramagnetica Electronica.	122
Figura 6-2: El protocolo establecido después de los trabajos realizados para la datación de cerámica Muisca por el uso del equipo de Resonancia Paramagnetica Electronica.	123
Figura 0-1: La selección de la ubicación óptima para el muestreo es importante para la datacion con ESR. La mejor posición es desde el centro del relleno, donde el material que rodea la muestra es homogéneo. Una consideración es la complejidad del entorno	

de tasa de dosis gamma: la tasa de dosis habrá cambiado a lo largo del tiempo cerca de las superficies del suelo anterior, lo que causará dificultades en la evaluación. La roca en la base de este foso puede tener una concentración de radionúclidos diferente de su entorno, por lo que calcular la tasa de dosis gamma para las muestras recolectadas cerca de ella también puede ser difícil (rediseñado de Aitken, 1990). 138

Lista de tablas

Pág.

Tabla 3-1: Cantidades de fragmentos encontrados en las cuatro Unidades Residenciales del sitio Suta.	56
Tabla 4-1: Las observaciones de las condiciones ambientales del suelo concluidos durante el proceso de excavaciones en los 10 pozos de sondeo de las unidades residenciales de UR-31, UR-33, UR42 y UR-52.....	66
Tabla 5-1: Los valores de dosis equivalente de las muestras correspondientes del sitio Suta.	110
Tabla 5-2: Las profundidad de los fragmentos excavados y sus valores correspondientes, según Prescott y Hutton (1994) y el resultado de la tasa de dosis cósmica.....	111
Tabla 5-3: El cálculo de latitud geomagnética del sitio de Suta, Valle de Leiva, Boyacá, Colombia.....	112
Tabla 5-4: Los resultados de las concentraciones de U, Th y K de los sedimentos de las unidades domesticas del sitio de Suta, Valle de Leiva, Boyacá.....	114
Tabla 5-5: Resultados de la tasa de dosis media anual obtenida por ROSY para las 9 muestras de cerámicas arqueológicas del sitio Suta.....	116
Tabla 5-6: Las fechas han sido obtenidas para las cerámicas analizadas por EPR. ...	118

1 Capítulo 1: Introducción

Con regularidad, la arqueología ha observado las trayectorias históricas y de cambio cultural de las de las sociedades humanas como episódica, en defensa de la unidireccionalidad, un legado aún vigente de la escuela histórico-cultural y un paso necesario para organizar la evidencia cultural en un marco temporal. Este es, sin lugar a dudas, el principio de la periodización y el establecimiento de momentos más o menos discretos dentro de las secuencias de ocupación humana en cualesquiera espacios geográficos en concreto. No obstante ello, el estudio de los seres humanos debe ser abordado de forma continua y sin hiatos, esto es a partir del estudio de la prehistoria como un flujo continuo en espacio y tiempo.

De acuerdo con lo anterior, esta disertación busca comprender dicha direccionalidad, por cuanto cobra especial relevancia el concepto de longevidad en un sentido antropológico, aplicable -para el caso materia del presente estudio-, a las sociedades muisca y en un sentido particular a las unidades domésticas en términos de continuidad y/o su permanencia. Específicamente, este proyecto se enfoca en la posibilidad de desarrollar técnicas alternativas para abordar la evidencia cerámica desde la cronología y proveer información más precisa sobre la persistencia no episódica del registro material, y por su mediación al estudio de las trayectorias de larga duración.

Para cumplir este objetivo, el presente estudio retoma los resultados obtenidos en la última década de las investigaciones desarrolladas sobre las sociedades muisca del Valle de Leyva; tomando como caso particular de estudio los contextos domésticos del sitio de Suta (Figura 1-1), por constituirse en un área para la cual se ha reconocido la existencia de ocupaciones continuas desde el periodo Muisca Temprano (1000-1200 d.C.) al periodo Muisca Tardío (1200-1600 d.C.) (Langebaek, 2001; Henderson & Ostler, 2005; Fajardo, 2015), y por ende resultan de especial interés para la presente investigación, y por su mediación, para el estudio de la longevidad.

Figura 1-1: Ubicación del sitio arqueológico de Suta, Valle de Leiva, en el Departamento de Boyacá, Colombia (Fuente: Wikipedia)



Dicho sitio, ha sido previamente investigado por Henderson & Ostler (2005) y parcialmente excavado por Fajardo (2009). Suta constituye uno de los dos centros demográficos que, junto con El Infiernito, se consolidaron durante el Muisca Temprano y continuaron hasta el Muisca Tardío. Existen no obstante, manifiestas diferencias entre los dos asentamientos, mientras que El Infiernito presentaba más de 40 columnas monolíticas y una tumba dolménica, Suta no estaba asociada a monumentos de piedra, pero incluye los dos periodos relativos a la sociedad Muisca, siendo allí donde se han identificado las mayores concentraciones de restos de actividades domésticas (Henderson y Ostler 2005) y ubicándose sobre un terreno elevado de forma rectangular (Henderson, 2008:51) que presenta similitudes con los unidades residenciales de las élites referidas por los cronistas en el siglo XVI (González, 2013).

Siguiendo con el objetivo anteriormente mencionado, este trabajo aborda el estudio de la datación absoluta de la cerámica para cuatro unidades domesticas del sitio de Suta, tomándolas como eje de muestreo para fines comparativos. La selección de dichas unidades se ciñe a dos criterios principales: el primero atiende al hecho de que, acorde a los resultados de los mencionados autores, en las cuatro se registra la presencia de evidencias alfareras que dan cuenta de los dos periodos de tiempo referidos. La

segunda, por su parte, y para efectos de contar con una muestra representativa para efectos del análisis, deriva de la frecuencia y cantidad de materiales cerámicos que podrían ser recuperados en dichos sitios.

Como consecuencia de lo expuesto, esta investigación busca recabar información para responder la siguiente pregunta: ¿Se puede determinar la longevidad de las unidades domesticas muiscas del sitio de Suta a partir de fechas absolutas obtenidas directamente de la cerámica en términos de continuidad?. Cabe resaltar que en términos generales, los sitios arqueológicos referidos para las comunidades muiscas no solo del Valle de Leyva, sino para el altiplano en general, se presentan palimpsestos arqueológicos consistentes en la presencia de depósitos altamente perturbados y alterados donde los contextos arqueológicos no presentan una clara estratigrafía, como translocación de las evidencias al interior de las ocupaciones.

Por consiguiente, y para abordar dicho interrogante, se exploraron las siguientes preguntas como objetivos especiales del estudio: ¿Se puede utilizar el equipo de Resonancia Paramagnética Electrónica (EPR) para datar la cerámica directamente y, por tanto, obtener fechas concretas de ocupación del sitio?, y en consecuencia ¿se puede aplicar esta dicha técnica para datar materiales procedentes de contextos arqueológicos perturbados? La investigación presentada aquí utilizo entonces una metodología creada particularmente para responder a dichas preguntas de investigación y a su vez una refinación de la técnica gracias a la elaboración de un nuevo protocolo de datación absoluta para material cerámico mediante el uso de Resonancia Paramagnética Electrónica (EPR), también conocida como Resonancia de Espín del Electrón (Felber & Hille, 1982; Aitken, 1990; Ikeya, 1993; Rink, 1997; Alonso Gascón, 2002)¹.

Este trabajo doctoral aporta una línea de información precisa y concreta que puede permitir las contribuciones a las discusiones sobre la cronología y su función e integración a la arqueología. Del mismo modo, y para futuras investigaciones, es muy viable usar las fechas obtenidas en este estudio, como los parámetros del mismo, no solo

¹ Cabe aclarar que este estudio no es, en modo alguno, la meta de este tipo de investigación; mejor debe considerarse como el comienzo de una posible y más estrecha colaboración entre la Facultad de Ciencias y la Facultad de Ciencias Humanas de la Universidad Nacional de Bogotá.

para poder lograr una mayor precisión cronológica a partir de dichas evidencias para el entendimiento de la persistencia y longevidad de distintas unidades domésticas de la comunidad Muisca, como lo constituyen las unidades muestreadas del sitio de Suta (materia del presente estudio); sino también, por su aplicación a materiales de otras zonas del país. En el mismo sentido, también puede servir como una guía de referencia para los investigadores académicos y los arqueólogos de gestión de recursos culturales interesados en emplear las técnicas de datación, particularmente el equipo de EPR.

Para efectos del desarrollo del estudio, el documento se divide en cuatro partes: contexto de la investigación (Capítulos 2 y 3), protocolo de datación por EPR (Capítulo 4), resultados (Capítulo 5) y conclusiones (Capítulo 6). En el siguiente capítulo, se introduce al lector en el marco conceptual de referencia y en las técnicas de datación más comunes empleadas en arqueología, para finalmente mostrar los beneficios de la técnica de Resonancia Paramagnética Electrónica, en lo sucesivo “EPR”, como alternativa para la datación cerámica. En el capítulo tres, se presenta una breve reseña de los estudios desarrollados en el Valle de Leyva, como de la sociedad Muisca en general, para finalmente introducir al lector a la arqueología del sitio de Suta, además del proceso de selección de las muestras para la datación, proporcionando una evaluación que establecerá un fondo y un contexto para la cronología en arqueología de la zona de estudio.

En el capítulo 4, por su parte, se detalla el protocolo que se estableció con los métodos y técnicas requeridos para la datación referidos al presente estudio. En esta sección, se proporciona una descripción más técnica y detallada de cada uno de los pasos del procedimiento de la metodología sobre la datación por EPR que se considera como clave sobre las metodologías propuestas. Se ha tratado de evitar el uso de fórmulas matemáticas complejas, aunque se hace necesario mostrar el proceso, según los parámetros empleados en la física aplicada, para determinar la cronología absoluta mediante la datación con EPR. En el capítulo 5 se analizan los resultados y las implicaciones de la técnica de EPR, y se comparan los resultados obtenidos con las fechas indicadas por la técnica de radiocarbono y las edades relativas del sitio. Esto conlleva discutir ciertos alcances de esta investigación para la interpretación arqueológica, haciendo especial referencia a factores poco explorados en estudios de

cerámica, más específicamente, a la antigüedad y la longevidad de las unidades domésticas.

Finalmente, en el capítulo 6 se reorienta al lector hacia las preguntas de investigación originales, se brindan recomendaciones para el uso futuro de la técnica analítica y se considera la contribución de la misma en la arqueología colombiana y latinoamericana. Algunos lectores pueden valerse de esta tesis como un manual científico para comprender completamente la razón y la teoría detrás de la selección, el procesamiento y el análisis de las muestras. Por esta razón se añadió un anexo sobre las recomendaciones óptimas para la recolección y toma de muestras, para su replicación, en un yacimiento arqueológico².

² Para la aplicación del protocolo de datación cronométrica que fue desarrollado en este proyecto, no se necesita tener una formación en ciencias de los materiales ni en física o química para comprender la premisa básica de este trabajo.

2 Capítulo 2: Aproximaciones Conceptuales

Como una tradición popularizada en toda América Latina, la arqueología pretende conocer el comportamiento de las sociedades prehispánicas, utilizando los elementos conceptuales proporcionados por la antropología. La arqueología contemporánea es una disciplina que involucra a grupos enfocados en diferentes periodos, regiones, perspectivas teóricas y técnicas metodológicas. Aunque esta diversidad representa un desarrollo positivo, podría llevar a problemas de comunicación; por eso, todas las disciplinas tienen una terminología específica y componentes propios (Schiffer, 1996). Acorde a ello, y para no entrar en polémicas a este último respecto, se hace necesario clarificar los principales conceptos, aproximaciones, métodos y técnicas del presente estudio.

2.1 Concepto de las unidades domésticas

La organización y el desarrollo de las poblaciones prehistóricas son temas centrales en la investigación arqueológica. Los arqueólogos han tratado de describir los patrones de interacción humana dentro de las comunidades prehistóricas y entre ellas, además de determinar los factores sociales, económicos y ambientales que influyeron y condicionaron los cambios en su organización. Desde inicios del periodo neolítico —hace unos 10.000 años—, las unidades residenciales³ se han considerado una institución orgánica y de larga tradición, que da estructura a la vida diaria y al trabajo de los individuos y grupos que la componen. Junto con la familia, la unidad doméstica se entiende como la más perdurable unidad de asentamiento humano y organización social (Williams, 2005).

³ Las unidades residenciales son una de las unidades básicas (domésticas) de la sociedad humana.

Desde el punto de vista sociológico, una unidad doméstica es una entidad reconocible, en la que se realizan varias actividades compartidas en un momento determinado y que se compone de los elementos sociales, materiales y conductuales de un grupo humano (Wilk & Rathje, 1982, p. 618; Wilk & Netting, 1984; Ashmore & Wilk, 1988). Estas actividades no tienen por qué tener algún tipo de coherencia o parentesco social. Sin embargo, a veces, puede tratarse de diversos momentos que atraviesa una misma familia que sigue ocupando la misma residencia. Por lo tanto, las definiciones de las unidades domésticas se han focalizado como lugar de referencia a relaciones de parentesco, más que en la presencia de los objetos, por las características particulares del registro arqueológico (Cabrera, 2015).

La unidad doméstica como grupo socio-cultural se define por sus múltiples áreas de actividades, las cuales son definidas como el complejo de estructuras y rasgos, ejemplo de ello lo constituirían los pozos de almacenamiento, fogones, hornos, entierros y basureros (Gillespies, 2012). Se plantea, como premisa más o menos asumida, que estas unidades domésticas se constituyen en una entidad analíticamente diferenciable por sus contextos espaciales y por las áreas específicas de actividad (Devillard, 1990; Gillespie, 2012). La forma más común de identificar espacios domésticos es estudiar directamente su registro material, esto es, las evidencias asociadas a las labores diarias y los espacios involucrados por parte de los grupos humanos. Indirectamente, dichos espacios y sus áreas de actividad, también pueden ser identificadas a partir del análisis de elementos traza (e.g. P, Mg, Ca, Na, K, MO) mediante la realización de pruebas físico-químicas de sedimentos aun cuando la evidencia material no este disponible (Gutiérrez y Martin, 2001).

Durante bastante tiempo, las investigaciones sobre las identidades de las unidades domésticas se consideraron como algo sin importancia; con mucha frecuencia, se trataron como unidades sociales estáticas y, por tanto, como entidades universalizadas y despersonalizadas (Allison, 1999). No obstante, las unidades domésticas son unidades sociales fundamentales y reconocibles. El enfoque sobre la vida y las actividades habituales en las unidades domésticas surgió a partir de inquietudes procesales sobre la acomodación de los sistemas demográficos (Gillespie, 2012). Los primeros investigadores que enfocaron su atención en las unidades domésticas fueron los

etnógrafos, al tratar de clasificar el parentesco y la residencia en términos de reglas (Yanagisako, 1979).

La arqueología comportamental tuvo una importancia considerable a la hora de investigar las unidades domésticas en los años setenta (Steadman, 2015). Este enfoque toma como referente los estudios etnográficos y etnoarqueológicos, en los cuales se hacen visibles las relaciones existentes entre la conducta humana y la cultura material. Según algunos de los estudios etnoarqueológicos (Deal, 1983; Nielsen, 2000; Menacho, 2001), los diversos aspectos de la cultura material —como los conjuntos cerámicos y la arquitectura doméstica— afectan de un modo decisivo las etapas de formación de las unidades domésticas según su ciclo de desarrollo, así como el tiempo de ocupación de las áreas de residencia. Para la identificación de las unidades domésticas a través de varias culturas, fue necesario registrar sus funciones universales: la producción, el consumo y la transmisión de derechos y propiedades por varias generaciones, así como la residencia compartida y la reproducción. Este enfoque en las unidades domésticas fue conveniente para la arqueología, porque dirigía la atención a lo que la gente hacía en su vida cotidiana, la cual es el fundamento de un individuo. Paulatinamente, se abordó lo rutinario y repetitivo de la vida doméstica dentro del grupo social en sí mismo.

Hasta la actualidad, el análisis de las unidades domésticas se ha abordado desde diversas ópticas. La gran mayoría de las teorías contemporáneas de la “household archaeology” están basadas en el análisis funcional de los espacios residenciales (Douglass & Gonlin, 2012). Algunos factores que se dan en la arqueología requieren que el concepto de unidad doméstica se tome con precaución, dadas las dificultades que se presentan para trazar lazos que permitan sujetar las relaciones sociales involucradas. Por consiguiente, hay múltiples perspectivas y modos de abordar las problemáticas asociadas a estos factores como foco del trabajo arqueológico y a sus vinculaciones con la evidencia material (Allison, 1999; Gillespie, 2012). Estas consideraciones pueden depender de un extenso y variable rango de elementos socioeconómicos de la misma comunidad, lo cual posibilita analizar las unidades domésticas desde varias escalas y perspectivas, que involucran al individuo, a la familia, al grupo doméstico y a la comunidad. Por esta razón, han surgido diferentes estrategias en los procesos de investigación de las unidades domésticas.

Las investigaciones sobre espacios domésticos y los grupos que los habitaron son fundamentales en el conocimiento de las dinámicas sociales en América. En el estudio del pasado, en arqueología, las unidades domésticas (household archaeology) conforman la mayor parte de la estructura de la población de las sociedades precolombinas. Probablemente por esta razón, en los años ochenta, aumentó el interés teórico de arqueólogos y antropólogos sobre los fenómenos locales, a través de las unidades domésticas como unidad de análisis para los estudios arqueológicos (Wilk & Rathje, 1982; Douglass & Gonlin, 2012). Particularmente, en la arqueología mesoamericana, la perspectiva de las unidades domésticas se extendió a partir de la arqueología de los patrones de asentamiento (Ashmore & Wilk, 1988). Con el aporte de otros autores (Flannery, 1976), se extendió la jerarquía de patrones de asentamiento a varias escalas, usando un marco teórico de procedimientos. Dicha jerarquía estaba basada en el área de actividad: la unidad espacial de un tamaño pequeño perceptible y con significado de comportamiento. Según los autores, las unidades domésticas no eran puramente descriptivas, sino que también adquirirían un significado particular: eran bloques de comportamiento dentro del contexto arqueológico y ayudaban a reconstruir la sociedad (Gillespie, 2012).

Dentro de los estudios arqueológicos, las viviendas no pueden considerarse simplemente como un elemento para distinguir técnicas de construcción o delimitar áreas de actividad, sino que también son un componente esencial para acceder a dimensiones sociales super-estructurales. En este sentido, nuevos enfoques han profundizado en algunas de las líneas desarrolladas por investigadores que realizan trabajos en el área de arqueología histórica (Funari, 2001). Generalmente, la vida cotidiana se estudia como parte de un contexto espacial de las unidades domésticas, dentro de la categoría de arqueología de la unidad habitacional —que es una arqueología a pequeña escala—, para obtener información de la vida rutinaria. Los restos arqueológicos son el punto focal y el centro de la interpretación. Sin embargo, también se considera pertinente apoyarse en información etnoarqueológica, etnohistórica y epigráfica con el objetivo de poseer una perspectiva más desarrollada (Allison, 1999; Manzanilla & Barba, 1990; Conkey & Spector, 1998).

Desde dicha perspectiva, la cuestión central en la “household archaeology” se orienta a identificar cuáles son las estrategias más adecuadas para acercarse a los grupos

domésticos a través de sus vestigios materiales. La metodología que aplicaron Wilk y Rathje (1982) ayudó a establecer las relaciones entre la cultura material que se encuentra en las excavaciones arqueológicas y aspectos como la demografía, la organización social y las actividades económicas. Hay que tener en cuenta que los arqueólogos no solo están excavando unidades domésticas, sino que hacen su trabajo sobre estas unidades ocupacionales, donde se ubican las evidencias. Por ello, es posible aplicar varias herramientas teórico-metodológicas a fin de obtener toda la información posible del registro arqueológico. Consecuentemente, los objetos recuperados y su disposición espacial pueden llevar a hipótesis sobre la organización de las actividades en las unidades domésticas (Taboada & Angiorama, 2003).

El estudio de la vida cotidiana es un tópico que tiene solo unas pocas décadas de existencia, pero es algo común en la arqueología americana (Gillespie, 2012). Kent (1990) en sus casos de estudio, realizó investigaciones basándose en los enfoques teóricos y metodológicos desde el ámbito de la arquitectura, la arqueología y la etnografía. Como resultado, presentó un volumen sobre arquitectura doméstica y el uso del espacio, donde proponía una metodología para el espacio doméstico, en la que mencionaba los diferentes elementos que hay que tener en cuenta cuando se investigan estos perímetros. Manzanilla (2007), por su parte, propuso una metodología interdisciplinaria para estudiar las actividades en los espacios domésticos y sus transformaciones en el tiempo. Esta metodología se aplicó tanto en Teotihuacán como en Cobá, Quintana Roo, México. La misma autora mostró el enorme potencial de las excavaciones extensivas controladas para comprender asociaciones de artefactos en superficie. Gracias al estudio químico de pisos, se pudo entender el uso de espacios domésticos en un conjunto habitacional, como se comprobó en la periferia noroeste de la ciudad de Teotihuacán (Manzanilla, 2007).

En Colombia, se han realizado varios trabajos sobre la importancia de la “household archaeology” a nivel de las unidades domésticas como unidad analítica. Esto posibilita un marco productivo para entender las relaciones sociales y políticas (Castaño & Dávila, 1984; Romano, 2003; Henderson&Ostler, 2005; Boada, 2007; González, 2007; Jaramillo, 2008; Fajardo, 2011). Particularmente, las investigaciones se concentran más que todo en dos zonas en Colombia: el valle del Río de la Plata, en San Agustín, área en donde se han realizado numerosas investigaciones (Duque Gomez, 1966; Reichel-Dolmatoff, 1972;

Jaramillo, 1996; Quattrin, 2001; González, 2007), y la meseta cundiboyacense, donde floreció la sociedad muisca a la que hoy se le atribuye un alto nivel de complejidad (Broadbendt, 1970; Enciso, 1989, 1993; Langebaek, 1995, 2001; Boada, 1999, 2006, 2007; Romano, 2003; Henderson & Ostler, 2005; Fajardo, 2011 entre otros).

Este acercamiento ha progresado en el conocimiento de la vida doméstica de la gente que ocupaba las unidades domésticas, en la forma en que las relaciones sociales se agregan a través de prácticas habituales y en el carácter en el que esas prácticas registran las relaciones de familia y su diferenciación en el tiempo (Hendon, 1996; Browser & Patton, 2004; Hodder & Cessford, 2004; Salazar, 2007). En la “household archaeology”, es posible ofrecer una gran variedad de información respecto a las características socioeconómicas de los grupos humanos, analizando áreas domésticas de clases sociales desiguales. A causa de que un gran número de organismos sociales y políticos tiene un extenso impacto sobre el crecimiento y desarrollo de las unidades domésticas, los investigadores pueden abordar el estudio de los procesos prehistóricos gracias a este enfoque (Voss, 2008).

En el área materia de estudio de la presente investigación (Valle de Leiva, Colombia), para el sitio de Suta, los investigadores Henderson y Ostler (2005) propusieron una perspectiva distinta para abordar el estudio de los espacios domésticos y las casas, a través del análisis histórico, lingüístico y arqueológico. Dicho estudio, utiliza el concepto de casa de la comunidad muisca, como unidad analítica para interpretar patrones arqueológicos de asentamiento y ampliar los modelos de sociedad compleja que distinguen entre las fuentes individuales y las institucionales de autoridad política (Henderson & Ostler, 2005). Así mismo, han evaluado el grado en que los jefes muiscas controlaron ideológicamente la organización interna del espacio en el sitio arqueológico de Suta.

2.2 Concepto de longevidad

Una de las limitaciones reconocidas del modelo del grupo doméstico es su falta de capacidad para tratar con procesos históricos, es decir su longevidad. No obstante, se ha observado con frecuencia que los restos de las unidades residenciales pueden abarcan varios siglos de ocupación casi continua en una misma localidad. Usualmente los

miembros de una unidad domestica van y vienen a lo largo de múltiples generaciones reproduciendo y manteniendo la casa dentro de sus acciones cotidianas.

La problemática del ciclo de vida doméstico ha despertado el interés de varios Investigadores desde mucho tiempo atrás (Fortes, 1958; Archetti y Stolen, 1975; Arizpe, 1980; Chayanov, 1985; Benencia y Forni, 1991), quienes han reconocido que es importante ubicar la trayectoria de las unidades domésticas en el tiempo histórico del espacio social global. De igual forma, hay que considerar la dimensión temporal al interior del grupo y analizar qué sucede a medida que transcurren los diferentes momentos del ciclo cotidiano. Básicamente, estos estudios implicaban observar la modificación de la estructura y la organización de las prácticas durante el desarrollo de la unidad hasta su desaparición (Cragolino, 1997). Todos los asentamientos pueden definirse dentro de un periodo arqueológico, a partir del inicio de su ocupación hasta el momento de su abandono. Es decir, el lapso ocupacional de los sitios o “longevidad” (fundación y desocupación) indica qué asentamientos fueron ocupados por múltiples generaciones; esta área ha sido uno de los ámbitos de exploración más complejos de aclarar.

Este proceso se hace evidente a través del registro de mayores densidades del material cerámico, indicando en general mas actividad dentro de estas áreas. A partir de estos datos se podría asumir que un gran número de integrantes habitaron la unidad o bien que la unidad fue ocupada durante un prolongado tiempo. El tamaño (determinado por la cantidad de la cerámica), la composición (proporción del tipo de piezas) y la distribución espacial de la cerámica pueden variar dependiendo de la antigüedad de la unidad doméstica y la longevidad del asentamiento según lo propuesto por Menacho (2001).

2.3 Arqueometría: un análisis holístico y contextual

Las áreas de diferentes campos tienden a ser particularmente fructíferas a la hora de la interpretación arqueológica. En cuanto disciplina independiente, la arqueología siempre ha tratado con artefactos y ha desarrollado sus propios métodos para interpretar el pasado, en ocasiones, con elementos tomados de otras disciplinas tales como: lenguajes complejos para describir objetos, métodos estadísticos para entender el cambio de su función y técnicas sofisticadas de análisis. Hoy en día, varios métodos científicos —cuya

calidad y cantidad aumentan constantemente— están hoy a disposición de los arqueólogos bajo el término de arqueometría.

La primer referencia del termino, fue incluida en el año de 1958 gracias a una publicación monográfica sobre análisis físico-químicos aplicados a la arqueología del Research Laboratory for Archaeology and the History of Art de la Universidad de Oxford. Donde se acuño el término de “Archaeometry”, y la cual se enfoco en tres aspectos: (1) Localización de yacimientos; (2) Dataciones absolutas, y (3) Caracterización y procedencia de materiales. Posteriormente, se fueron diversificando los artículos que componían esta revista, pero mantuvieron siempre una base técnica-analítica.

A partir de los años 70, las escuelas francesa, suiza, alemana, holandesa, italiana y sueca siguieron los pasos de la escuela británica, instituyendo publicaciones especializadas en estos temas, en revistas como la *Rèvue d'Archéometrie* o la *Newsletter* nederlandesa (Seva Roman, 1995). El campo de aplicación estaba limitado y apenas sobrepasaba la identificación de materias primas y la procedencia de los materiales arqueológicos, circunscrita a las interpretaciones dadas por los geólogos o químicos que estuvieron colaborando con los equipos de arqueólogos de sus respectivos países (Ikeya, 1975; Skinner et al., 1997).

En todo este proceso constaba una adaptación por parte de los arqueólogos a las disciplinas exactas, siendo materia obligatoria en las universidades europeas, llegando a diferenciar la analítica de restos arqueológicos y generando líneas de investigación diferentes en lo que concierne al medioambiente y la caracterización de materiales. A inicios del siglo XX, se amplio el espectro de los estudios analíticos a otras evidencias como lo fueron los metales, la cerámica, el vidrio o el ámbar entre otros (Ikeya, 1975; Maurer et al., 1981; Bartoll & Ikeya, 1997; Taylor & Aitken, 1997; Westfall, 2006). Desde de los años noventa, la arqueometría, se fue extendiendo al resto del mundo. En cuanto a la arqueología social latinoamericana, se han realizado varios trabajos en la profundización de la teoría y la metodología arqueométrica, aplicándolos también al trabajo práctico. No obstante, aunque existen excepciones, todavía falta transformar la adaptación de estas técnicas a la metodología de investigación en arqueología (Abelleira-Duran, 2014).

La aplicación de instrumentación y técnicas analíticas procedentes de las ciencias experimentales constituye un componente esencial, en gran parte, de la investigación científica que se lleva a cabo en la actualidad. Muchos autores están de acuerdo en que los mayores descubrimientos se harán en el laboratorio y no en el campo, como había venido ocurriendo hasta ahora. Así, la arqueometría no puede considerarse como una disciplina separada de la propia arqueología, sino que, más bien, constituye una herramienta fundamental en el estudio inter- y multidisciplinar.

Los estudios arqueométricos componen un espacio de investigación transdisciplinario, en el cual cooperan arqueólogos, físicos, geólogos, mineralógicos, conservadores, químicos, biólogos e ingenieros, entre otros, a través del uso de técnicas instrumentales, con el fin de obtener la máxima información tecnológica y cultural acerca de los distintos materiales que componen el registro arqueológico (Westfall, 2006). Tal vez por dicha razón, en los últimos años, un número cada vez mayor de arqueólogos apoyados por otras disciplinas han planteado que es analíticamente más productivo abordar conjuntamente las otras fuentes de información con el fin de aprovechar la variedad de referencias que proporcionan cada una de ellas (Funari, 2001; Montero, 2007; Vidal, 2007). Luego, se contrastan las distintas perspectivas para así conseguir un panorama más holística. Tal es el fundamento de la arqueometría (Bartel & Reiche, 2018).

La física y la arqueología ahora forman parte de un campo más amplio, generalmente descrito como ciencia arqueológica y, a veces, como arqueometría, una palabra derivada del griego que significa la 'medición de cosas antiguas'. Este campo más amplio incorpora la astronomía, la química, la geología y la biología, junto con todas sus sub-disciplinas. Desde la botánica, por ejemplo, la arqueología cuenta con la poderosa técnica de datación simple del conteo de anillos del tronco de un árbol y sus derivados, que puede remontar al investigador hasta el final de la última era glacial, hace unos 10.000 años. Los anillos no solo son una base para la datación, sino que también proporcionan un registro climático. Desde la química orgánica, se cuenta con un análisis de los residuos de alimentos en los recipientes de cocina y, por lo tanto, con información sobre la dieta antigua. Esto también es provisto por el análisis de isótopos de los huesos, que puede, por ejemplo, indicar si la fuente principal de alimento fue el mar o la tierra.

Así lo expuesto, la arqueometría ha generado una plataforma para ofrecer, a través de sus métodos y tecnologías, una herramienta alternativa para la resolución de muchos interrogantes de la arqueología básica. En muchas ocasiones, la información no es fácilmente alcanzable por la metodología y tecnología que se utilizan convencionalmente en ese campo. La metodología desarrollada por las ciencias naturales permite obtener información complementaria a este respecto. Esta posibilidad de ampliar la información arqueológica favorece la interconexión entre las ciencias exactas y la arqueología. Por esta razón, en los últimos años, ha habido mucho interés en las aplicaciones de las técnicas científicas en arqueología.

Mediante la variada gama de análisis que se puede aplicar a las cerámicas arqueológicas, es posible resolver multitud de problemas a la hora de interpretar un yacimiento. Estas técnicas analíticas pueden informar sobre aspectos relevantes tanto en la tecnología de la manufactura y naturaleza de la materia prima (arcillas) como en la procedencia y los intercambios comerciales (Seva Roman, 1995). Uno de los campos más activos de esta innovación ha sido la datación. Las técnicas de datación de cerámicas arqueológicas se comprenden básicamente en datación relativa y datación absoluta⁴. Los métodos de datación relativa de la cerámica⁵ están unidos a la metodología arqueológica y se establecen en base a la asignación de un cuerpo cerámico a un determinado periodo de tiempo⁶. Sin embargo, los procesos de formación del registro arqueológico condicionan la asignación de cerámica a un periodo específico de tiempo cuando no se cuenta con un contexto arqueológico, lo cual genera incertidumbre en el análisis y la interpretación de los datos.

La relación entre la cerámica del contexto arqueológico y la del contexto-momento no es directa ni simple, sino indirecta y compleja, es decir, dialéctica. Los conjuntos cerámicos en un yacimiento arqueológico constituyen una porción esencial del inventario de materiales arqueológicos; por este motivo, pueden usarse como importantes líneas de

⁴ Por métodos físicos como termoluminiscencia o resonancia de paramagnética electrónica (Tite, 1972).

⁵ Marcadores cronológicos, datación cruzada, de secuencias o seriaciones.

⁶ La cerámica encontrada en una excavación arqueológica puede proporcionar información como evidencia para la datación (Orton et al., 1997), a causa de que cada vasija fue hecha en un momento y lugar determinado.

evidencia en varios aspectos de la cronología (Rice, 1987). Por estas razones, gran parte de la actividad arqueológica se ha enfocado en la descripción de la cerámica, en investigar la dispersión de horizontes cerámicos y en su marco temporal.

Los arqueólogos utilizaron la datación relativa hasta la primera mitad del siglo XX, cuando comenzaron a practicar las técnicas de datación absoluta, algunas de las cuales son especialmente aplicadas a las cerámicas, como la termoluminiscencia y la espectroscopia de resonancia paramagnética electrónica (ESR). También es posible aplicar el método del Carbono-14 a la cerámica, solo si esta tiene materia orgánica asociada (Spaulding, 1978; Taylor & Aitken, 1979; Rice, 1989; Orton, 1997). No obstante, para obtener cronologías confiables, es necesario combinar las dos tipos de técnicas, ya que los métodos de datación absoluta pueden presentar también un margen de error amplio.

2.4 Métodos de datación en arqueología

El objetivo de este apartado es describir y evaluar las diferentes técnicas de datación que son aplicables en el campo de la ciencia arqueológica dentro del período geológico cuaternario y está escrito desde la perspectiva de la comunidad de usuarios y no del experto en laboratorio.

Probablemente la parte mas importante de una investigación arqueológica es ordenar las cosas en secuencias. Para esto, distintos métodos de datación se utilizan para situar objetos o eventos, dentro de una escala de tiempo. Así, los restos arqueológicos acumulados en un yacimiento, obtienen su valor cronológico de su situación en los estratos arqueológicos. Para este fin, desde en el siglo XX, en una amplia gama de disciplinas han desarrollado una gran cantidad de métodos para determinar las edades de objetos arqueológicos. El concepto de datación busca que la interpretación arqueológica o histórica concurren situadas en un tiempo determinado de forma coherente; y para esto, se utilizan los fenómenos químicos, físicos y geológicos que pueden dar la oportunidad para fechar materiales (Ikeya, 1993). El avance más significativo en la cronología absoluta del periodo cuaternario se produjo después de la

Segunda Guerra Mundial, con la revelación sobre la descomposición de los elementos radiactivos con cuales se podría constituir una base para la datación.

Se reconocen básicamente dos diferentes tipos de métodos de datación: datación relativa y absoluta. La datación relativa se refiere a metodologías que producen una seriación basada en la comparación estratigráficas. Por otro lado, los métodos de datación absoluta se basan en técnicas analíticas que producen una edad cronométrica para un fenómeno, en relación física directa o indirecta con los objetos arqueológicos. A pesar de la gran utilidad de los métodos de datación relativa, en muchas ocasiones, es necesario saber, cuantos años calendáricos tienen las secuencias, eventos, artefactos y yacimientos arqueológicos. Para conseguirlo hay que utilizar los métodos de datación absoluta que se basan en la gran diversidad de técnicas analíticas que están disponibles actualmente. La datación absoluta hace que la reconstrucción arqueológica sea más precisa, proporciona información sobre la duración de los períodos culturales y permite el cálculo de las épocas en las que ocurrieron los desarrollos culturales.

Aunque se usen técnicas interdisciplinarias, la cronología debe estar determinada fundamentalmente por la secuencia de los objetos procedentes de los distintos niveles estratigráficos excavados. Es decir, la datación relativa forma la base de todas las técnicas de datación absoluta. Sin embargo, las fechas cronométricas son estimaciones numéricas de edad, y generalmente se expresan como un rango de fechas calificadas por una indicación de la incertidumbre de las fechas obtenidas.

Los métodos de datación absoluta⁷ indican la cantidad de tiempo que pasó entre cada par de eventos, así como una fecha calendárica, indicando cuándo ocurrió cada evento o quizá también la duración de cada evento. Estos métodos son preferidos debido a que ellos producen más detalladamente, una alta resolución, información cronológica que permite vislumbrar razones de cambio y duraciones de períodos con una alta precisión (Murray, 1999).

⁷ Algunas veces referidos como métodos cronométricos.

Se pueden ver a las dataciones absolutas como aquellas que han podido ser determinadas gracias a alguna propiedad natural de la materia prima, prescindiendo del contexto cultural donde han sido encontrados los artefactos elaborados con ella (Butzer, 1989). Su importancia, evidentemente es notable, ya que permite comparar entre sí cronologías efectuadas con métodos completamente autónomos, y atribuir dataciones seguras, dentro de un margen de error aceptable (Renfrew y Bahn, 1993). En la búsqueda de este “tiempo real”, el progreso tecnológico en los últimos 50 años ha sido enorme, y ha alcanzado las más avanzadas y diversas técnicas, que van desde las basadas en ciclos anuales a las que se basan en el fenómeno regular de la desintegración radiactiva⁸ (Gutiérrez, 1997).

2.4.1 Datación de registros de ciclos anuales

Tras la Segunda Guerra Mundial, de los métodos radioactivos, el análisis de varvas⁹ y de los anillos de crecimiento de los árboles (dendrocronología) consistían los métodos de datación absoluta más precisos. En las regiones de alta latitud y gran altitud, las variaciones estacionales en las nevadas producen capas anuales en el hielo del glaciar, y éstas también forman una base para la datación. Otros contextos donde se pueden usar adiciones regulares de material para fechar son sitios de cuevas, donde espeleotemas pueden mostrar evidencia de bandas anuales y ambientes marinos, donde se han encontrado cronologías a corto plazo.

La dendrocronología es la técnica que emplea incrementos anuales de crecimiento en los troncos de los árboles como base para una cronología. El árbol puede estar parado o derribado, puede formar parte de un edificio o puede estar enterrado en un sitio arqueológico o en un depósito natural como la turba. Sin embargo existen problemas asociados con la dendrocronología. Debido a que el crecimiento de los árboles es más rápido en los árboles jóvenes, tiende a haber una reducción en el ancho del anillo con la edad. En algunas localidades, donde los árboles crecen en situaciones donde hay poca variación en el clima, o donde las fluctuaciones climáticas pueden haber sido de una

⁸ Los llamados “relojes atómicos”.

⁹ La cronología de varvas está basada en la acumulación anual de sedimentos en lagos o en el mar.

amplitud tan baja que imponen niveles mínimos de estrés en los árboles. En algunas situaciones, pueden surgir dificultades porque si el estrés es demasiado extremo, el árbol puede simplemente no producir un anillo en un año determinado. Por otro lado, cuando el período de crecimiento de primavera se interrumpe por, p. ej. severas heladas tardías, es posible que más de un conjunto de estructuras celulares se desarrollen en un año¹⁰. La dendrocronología se aplica más fácilmente a los árboles que crecen o han crecido previamente en áreas donde algún grado de estrés climático (bajas temperaturas, escasez de humedad, etc.).

Actualmente, la dendrocronología ha llegado a competir con el radiocarbono como el método de datación más significativa en diversas zonas de Norteamérica, Japón y Europa mientras la cronología de varvas¹¹ siguen siendo con un uso restringido. Posiblemente la mayor contribución de la dendrocronología es contrastar y calibrar las fechas radiocarbónicas.

2.4.2 Datación radiocarbónica

El más conocido y convencional de los métodos de relojes radioactivos es el de datación por Carbono-14 (¹⁴C). Este es un método que permite calcular la edad de cualquier material que contenga carbono y que se haya formado aproximadamente durante los últimos 50.000 años. Todos los seres vivos absorben varios tipos de isótopos de carbono provenientes de la atmósfera en diferentes tasas. Cerca del 1% de este carbono es un isótopo inestable conocido como Carbono-14 (¹⁴C) el cual decae a un ritmo conocido. Comparando la cantidad de “¹⁴C” remanente, con la cantidad de los otros isótopos de carbono en una muestra orgánica, es posible determinar que tanto ¹⁴C ha decaído. Esto indica que tanto tiempo ha pasado desde que empezó a decaer, y por lo tanto la edad del organismo. El ¹⁴C es principalmente utilizado para fechar materiales orgánicos como hueso, concha y restos vegetales¹². Hasta hace poco tiempo 10 gramos de carbón o 200 gramos de hueso eran necesarios para obtener resultados. Sin embargo, el desarrollo de

¹⁰ Estos se conocen como anillos falsos o bandas de crecimiento intraanuales, y pueden no ser fáciles de reconocer en series individuales de anillos de árboles.

¹¹ Las varvas son pares de estratos producidos anualmente en relación con los cambios estacionales en los lagos que están localizados en frente de un glaciar.

¹² Es más preciso con la madera.

un proceso conocido como Acelerador de Espectrometría de Masas (AMS) ha permitido muestras mucho más pequeñas de material para datar; hasta un grano de cereal es fechable actualmente. Con este método se hace necesario un delicado proceso de recolección de muestras para evitar la contaminación (Taylor, 1997). Los estándares de datación por radiocarbono también tienen otras limitaciones, causadas por la diferenciación en la concentración del isótopo y las variaciones en el campo magnético (Báez & Fernández, 2004).

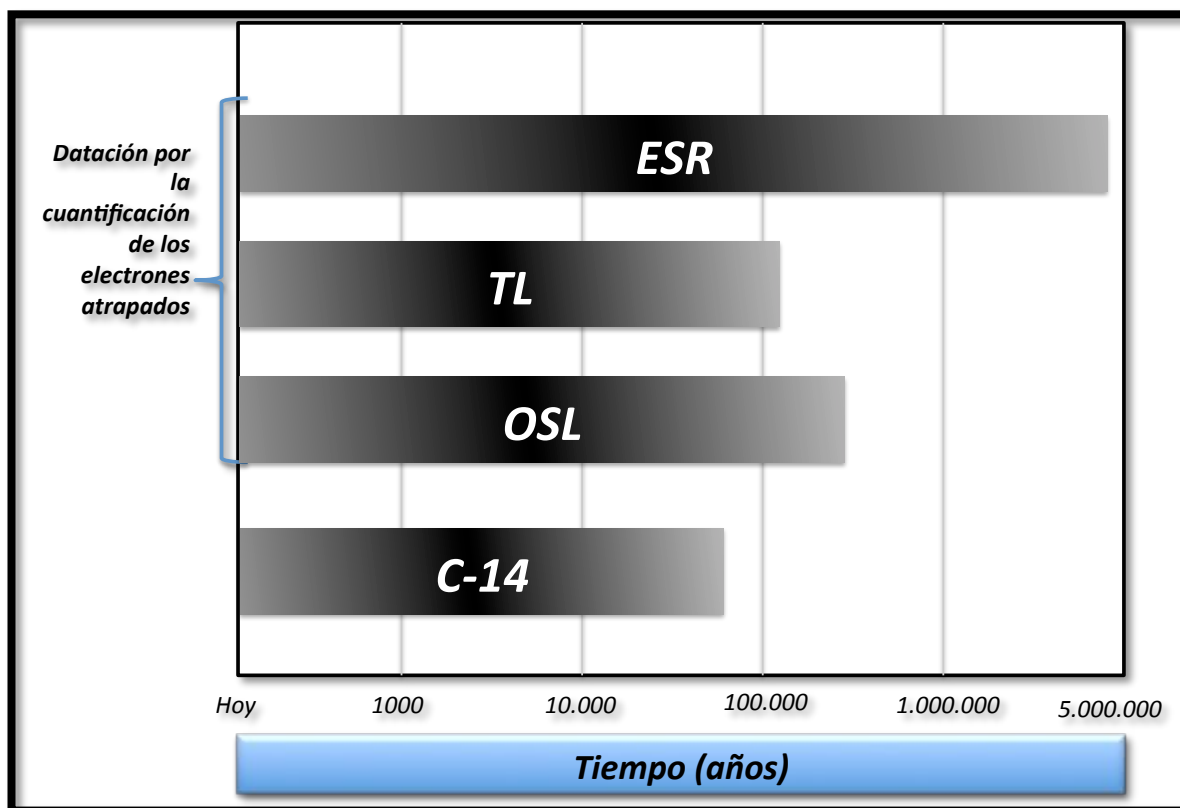
2.4.3 Métodos de dosimetría de radiactividad

Los datación de la exposición a la radiación¹³ están basados en calcular los efectos de la radiactividad natural sobre los materiales arqueológicos. Con este grupo de métodos de datación, se obtiene una cronología midiendo el efecto acumulativo de la radiación nuclear sobre la estructura cristalina de los materiales arqueológicos (Walker, 2005). Se consideran cuatro técnicas, tres de las cuales derivan estimaciones de la edad al liberar y contar electrones atrapados en defectos estructurales o impurezas (trampas de electrones) dentro de redes cristalinas después de la exposición a la radiación (Figura 2-1); mientras que la cuarta técnica mide la cantidad de daño causado a las estructuras de cristal irradiadas y lo utiliza como base para determinar la edad. Todos funcionan según el mismo principio, a saber, que cuanto mayor sea el número de electrones atrapados o la cantidad de daño del cristal, mayor será el tiempo de exposición a la radiación y, por lo tanto, mayor será la edad del material. Estos electrones pueden liberarse de las trampas por calentamiento (termoluminiscencia) o por exposición a una fuente de luz (datación óptica)¹⁴. Juntas, estas dos técnicas son conocidas como la datación por luminiscencia. El tercer técnica para la medición de electrones atrapados implica el uso de un campo magnético para "excitar" y detectar los electrones, y esto se denomina datación por Resonancia de Espín de Electrones.

¹³ Se conoce también como datación por métodos paleodosimétricos.

¹⁴ Luminiscencia Ópticamente Estimulada.

Figura 2-1: Rango de validez para la datación con EPR y su comparación con otros métodos. De Termoluminiscencia (TL), Luminencia Optica Estimulada y Carbono-14.



Estos tres métodos utilizan el número de electrones libres (o partículas cargadas) atrapados dentro de una red cristalina como base para determinar la edad de los objetos, se los denomina colectivamente como técnicas de datación de carga atrapada (Grün, 2001). En el cuarto método, el grado de daño inducido por la radiación se reflejará en el número de "pistas de daños" o "rastros" dentro de una estructura de cristal, y esto constituye la base para el método de datación de Trazas de fisión (Fission Track). Estas técnicas pueden proporcionar edades en una amplia variedad de materiales que van desde rocas, granos de sedimento o calcita espeleotema, hasta esmalte dental, artefactos de piedra y cerámica.

La **Termoluminiscencia** (TL) fue la primera de las técnicas de luminiscencia que se desarrollaron y se aplicó originalmente a la datación de la cerámica. Desde entonces, se ha utilizado para la datación en una amplia gama de materiales, incluidos los artefactos

de sílex quemados, piedras quemadas y productos de origen volcánico, así como espeleotemas de carbonato en las cuevas y sedimentos del fondo del océano profundo (Aitken, 1985; Berger, 1988 y 1995). La intensidad de TL liberada al calentar una pieza de cerámica es proporcional a la cantidad de radiación natural que ha sido absorbida por minerales particulares desde el momento de la cocción. Las mediciones de TL se llevan a cabo en una muestra de material mineral, generalmente una fracción separada de cuarzo o feldespatos. Esto se calienta a temperaturas superiores a 500 ° C, y cuando los centros de luminiscencia emiten luz (fotones), los fotones se convierten en impulsos eléctricos utilizando un tubo fotomultiplicador, un instrumento que es un detector de luz muy sensible. La TL es útil para fechar cerámicas principalmente, aunque también se ha aplicado con éxito a vidrios, ladrillos y escorias de fundición, siendo también una técnica habitual en la autenticación de piezas cerámicas pertenecientes a colecciones de museos. El límite práctico de utilización es de unos 200.000 años (Renfrew y Bahn, 1993).

Muchos de los principios de la datación TL subyacen a la datación **Luminiscencia Ópticamente Estimulada (OSL)**, pero la principal diferencia es que durante la medición los electrones atrapados son liberados por la luz y no por el calor. La idea de que la luz visible podría usarse para estimular electrones y que este enfoque podría usarse para establecer el tiempo de deposición de sedimentos, se demostró por primera vez hace 35 años (Huntley et al., 1985). En ese estudio, se empleó un haz de luz verde proveniente de un láser de ión argón, pero posteriormente se usaron fuentes de luz distintas de los láseres, que incluyen lámparas halógenas filtradas y diodos emisores de luz (LED) de alta potencia. La técnica de OSL se utiliza para fechar sedimentos de menos de 500.000 años. Una desventaja de esta técnica es que para conseguir resultados exactos, el sedimento a ser fechado no puede ser expuesto a luz externa¹⁵ haciendo el muestreo bastante difícil (Renfrew y Bahn, 1993).

La datación usando **Resonancia Paramagnética Electrónica - EPR** está basada en la determinación de la dosis natural de radiación a la cual ha estado expuesta una muestra

¹⁵ Lo cual reinicializaría "el reloj".

durante su período de enterramiento¹⁶. Su aplicación a la datación radica en que la radiación ionizante, por ejemplo la radiación gamma, genera radicales libres con un largo tiempo de vida en ciertos materiales. La concentración de estos radicales en una muestra dada es una medida de la dosis de radiación total a la cual la muestra ha estado expuesta. Este efecto puede ser usado para determinar el tiempo de exposición de la muestra a la radiación y por ende su período de enterramiento. El método de EPR posee ventajas sobre otros dos métodos de datación paleodosimétricos¹⁷, pues no es destructiva y necesita muestras muy pequeñas, de menos de 1gr y, la muestra puede ser en pieza o en forma de polvo. El proceso de medición de ESR no se destruye el material así las mediciones pueden realizarse repetidamente en la misma muestra. Las condiciones de la preparación de la muestra se realiza a temperatura ambiente y la medición de ESR subsiguiente es bastante simple y rápida. Es así como, a través de este proyecto, se planteó la creación de un modelo alternativo de datación con uso de tecnología moderna, que sea capaz de sustituir / completar las técnicas de datación como por ejemplo la Termoluminiscencia.

El método de las **Huellas de Fisión** (Fission Track) tiene como principio físico la desintegración (decaimiento) radiactiva de un isótopo del uranio-238 (²³⁸U). La desintegración radiactiva es un proceso natural el cual puede ocurrir de varias formas como de descomposición α que envuelve partículas β y fisión espontánea. Este último proceso, el de fisión espontánea, es el utilizado para la datación por Huellas o Trazas de Fisión. El Uranio-238 está presente en ciertas rocas y minerales y se puede usar como método de datación debido al proceso espontáneo de fisión de este isótopo. Esta fisión se produce de manera constante lo cual permite usarlo para datar restos arqueológicos a los que estén asociados materiales con este isótopo. En Uranio-238 en estos restos, en su proceso de fisión, deja una serie de huellas en el material, que en un laboratorio y tras el tratamiento adecuado pueden ser contadas. Así, conociendo el ritmo de fusión, nos indica el tiempo transcurrido desde que se fabricó, como en el caso del vidrio artificial.

¹⁶ En el caso de los seres vivos, entiéndase el período "burial" como el tiempo que ha transcurrido desde que el espécimen fallece hasta que es encontrado por el arqueólogo.

¹⁷ Termoluminiscencia y Luminiscencia Ópticamente Estimulada.

Otro método que utiliza la descomposición radiactiva como fundamento es el llamado **Potasio-Argón** (^{40}K - ^{40}Ar), el cual es empleado para fechar rocas con una antigüedad de incluso miles de millones de años, si bien se limita a materiales volcánicos de no menos de 100.000 años aproximadamente. El potasio (K) es principal constituyente de rocas y minerales y por lo tanto es uno de los elementos más abundantes en la corteza terrestre. El ^{40}K , elemento radiactivo decae a ^{40}Ar estable a través del tiempo y se acumula linealmente con el tiempo transcurrido y esta concentración de ^{40}Ar puede detectarse usando Espectrometría de Masas. Como la vida media del ^{40}K es extremadamente grande, el límite inferior de este método de datación es cerca de 500.000 de años en casos ordinarios. Por esta razón usualmente se ha utilizado para datar yacimientos de homínidos primitivos en África (Renfrew y Bahn, 1993). Sin embargo, los estudios actuales han permitido bajar este límite para algunos materiales. La fecha obtenida por el método de ^{40}K - ^{40}Ar puede tener un margen de error amplia si el argón no es inmovilizado en la roca. Otra problemática de esta técnica de ^{40}K - ^{40}Ar es que la muestra debe dividirse en alícuotas y esto podría llevar a un error grande en la fecha si la muestra es muy heterogénea. Por esta razón es recomendable utilizar esta técnica con una sola muestra.

La datación de **Uranio-Torio** (^{234}U / ^{230}Th) es probablemente la técnica de datación radiométrica más usada después de la datación radiocarbónica. Esta técnica se basa en la desintegración radiactiva de los isótopos de este elemento. Ha demostrado ser especialmente útil para períodos de más de 50.000 años de antigüedad, superando el alcance temporal del radiocarbono (Renfrew y Bahn, 1993). Esta técnica de datación radiométrica fue desarrollado después de la Segunda Guerra Mundial y es posiblemente la más frecuentemente usada después de la datación radiocarbónica. La datación de Uranio-Torio fue inicialmente aplicada a los sedimentos de las profundidades oceánicas, pero en los años sesenta se ha utilizado también a los carbonatos marinos y también terrestres, convirtiéndose cada vez en una técnica de alta precisión. El método se basa en la actividad debida al desequilibrio radioactivo de la desintegración del ^{238}U y puede determinar edades cerca de 10.000 hasta los 400.000 (Ivanovich & Harmon, 1982). El ^{230}Th que esta inicialmente ausente en la muestra, empieza acumularse gradualmente desde cero y se aproxima al equilibrio de radiación.

2.4.4 Métodos relativos calibrados

Los métodos de la desintegración radiactiva es la técnica muy confiable por lo que las condiciones medioambientales no tiene una influencia. Actualmente se utilizan también otros procesos naturales que son bastante estables en el tiempo para la datación de los objetos arqueológicos. Estos procesos, aunque no se calibran en años de forma natural, se pueden obtener fechas absolutas si se puede lograr calcular independientemente el ritmo de cambio por medio de algunos de los métodos absolutos. La hidratación de la obsidiana, la racemización de aminoácidos, tasa de cationes y datación arqueomagnética son ejemplos de este tipo de datación.

La datación por **hidratación de la obsidiana**¹⁸ se basa en el principio de que cuando la obsidiana se rompe o se golpea para elaborar útiles, comienza a absorber el agua por las superficies externas formando una capa de hidratación y como las moléculas de agua se difunden hacia interior de la obsidiana con el tiempo, el espesor del anillo de hidratación aumenta. Si se conoce el ritmo de esta hidratación, este grosor de la capa puede utilizarse para obtener una fecha absoluta (Friedman et al., 1959; Renfrew y Bahn, 1993). Por tanto, es necesario establecer una tasa de hidratación en el área donde la obsidiana fue encontrada, teniendo en cuenta el factor temperatura. Porque desafortunadamente no hay un ritmo de hidratación uniforme y la temperatura y la luz solar pueden incrementar la hidratación con el tiempo. Con la técnica de hidratación de la obsidiana se pueden obtener fechas hasta los últimos 12.000 años.

La **racemización de aminoácidos** ha sido utilizada comúnmente para la datación de huesos de humanos y también de animales. Los aminoácidos forman las proteínas en los seres vivos¹⁹ y pueden existir en dos formas idénticas. Estos dos isómeros son llamados L-enantiómeros y D-enantiómeros que tienen el mismo tipo de átomos -pero se diferencian en su estructura química- en la misma proporción pero rotan en direcciones opuestas con la presencia de luz. Los aminoácidos de los organismos vivos contienen solo L-aminoácidos pero después de su muerte, estos se racemizan y transforman en D-aminoácidos a un ritmo constante hasta alcanzar el equilibrio entre los dos aminoácidos.

¹⁸ La obsidiana es un vidrio volcánico de forma bastante similar al sílex para la fabricación de útiles en la prehistoria.

¹⁹ Los aminoácidos están presentes en conchas, huesos y dientes.

Por tanto la cantidad de D-aminoácidos está vinculada a la edad biológica después de la muerte del organismo. Su rasgo más significativo es que, con una pequeña muestra (10 g), se puede aplicar a materiales con una antigüedad de 100.000 años, es decir, más allá del alcance temporal de la datación radiocarbónica (Renfrew y Bahn, 1993).

La datación de **Tasa de cationes** se ha desarrollado en los últimos años como una técnica nueva que permite la datación directa de los grabados en la roca; también es aplicable a los artefactos arqueológicos que tengan una patina gruesa. La datación de la relación de cationes se basa en el principio de que la tasa de cationes ($K^+ + Ca^{2+}$) / Ti^{4+} disminuye a medida que aumenta la edad de una muestra. El método requiere simplemente de la medición de la tasa de los cationes móviles, por lo general de potasio (K) y calcio (Ca), respecto a los cationes más estables del titanio (Ti).

La datación de **Tasa de cationes** se ha desarrollado en los últimos años como una técnica nueva que permite la datación directa de los grabados en la roca; también es aplicable a los artefactos arqueológicos que tengan una patina gruesa. La datación de la relación de cationes se basa en el principio de que la tasa de cationes ($K^+ + Ca^{2+}$) / Ti^{4+} disminuye a medida que aumenta la edad de una muestra. El método requiere simplemente de la medición de la tasa de los cationes móviles, por lo general de potasio (K) y calcio (Ca), respecto a los cationes más estables del titanio (Ti).

Comúnmente los artefactos de piedra en el lapso del tiempo forman una patina en la superficie. Esta patina, en condiciones desérticas, es más gruesa y más estable por estar expuestas al polvo del desierto. Esta patina se compone de minerales arcillosos, óxidos e hidróxidos de manganeso y hierro que contienen cationes. Estos son átomos cargados positivamente y son solubles. En el tiempo se disuelven de la patina superficial y, por tanto su concentración disminuye con el tiempo. Esta técnica solo se puede aplicar a las rocas de las zonas desérticas, donde la patina es más estable. Se puede utilizar esta técnica para obtener fechas que no se podrían obtener con métodos más convencionales, como la datación por radiocarbono. Aunque la datación de la tasa de cationes se ha utilizado ampliamente, estudios recientes sugieren que tiene muchos problemas. Por lo tanto, el método ha de ser corregido para cada área utilizando otros métodos de datación.

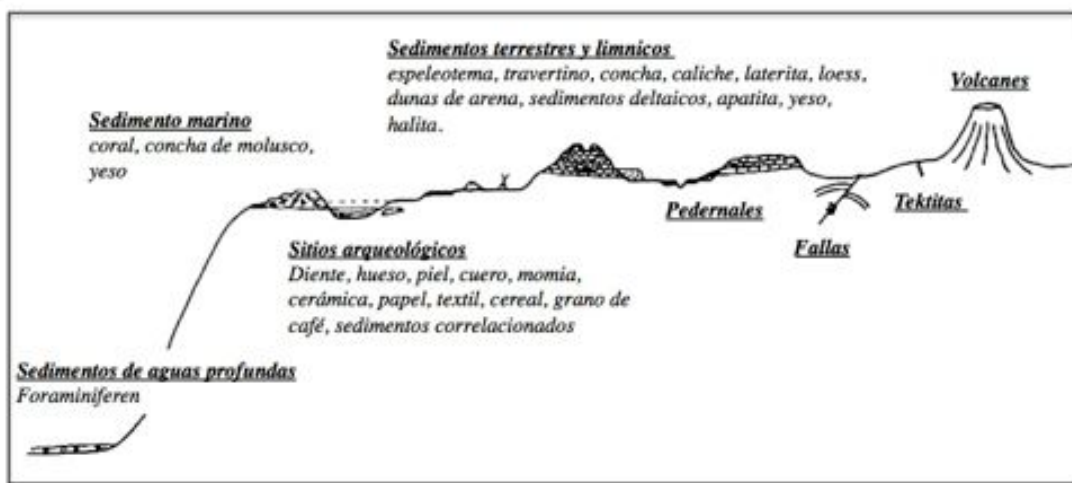
La datación **arqueomagnética**, es un método que puede correlacionar un acontecimiento arqueológico con la posición del norte magnético de la Tierra. Por lo que el campo magnético terrestre varía en el espacio y en el tiempo. Este método de datación se basa en la medición de la dirección e intensidad del arqueomagnetismo en materiales arqueológicos. Para obtener una fecha, es necesario que el yacimiento haya sufrido calentamientos templados y que el material arqueológico se encuentre in situ. Estas posiciones magnéticas pueden proveer fechas absolutas de los últimos 10.000 años. Si estos materiales magnéticos están en determinados contextos, como dentro de un horno de cocción de cerámica, la dirección del norte magnético puede ser conservada y la fecha de esa cocción, y por ende de la cerámica, puede ser determinada. Las curvas de fechamiento arqueomagnético son regionales, debido a que el campo magnético varía de acuerdo a la posición en la geografía terrestre (Renfrew y Bahn, 1993). La datación arqueomagnética (paleomagnética) ha sido hasta ahora de escasa utilidad en la arqueología, debido en parte a que no se han realizado trabajos suficientes en las distintas regiones.

2.5 Datación por Resonancia Paramagnética Electrónica

El concepto de datación por EPR se basa en la determinación de la dosis total de radiación natural recibida por la muestra desde el momento de su enterramiento hasta el momento de su hallazgo²⁰. Este método puede indicar directamente la edad del individuo o material encontrado en los sitios arqueológicos, especialmente en aquellos donde algunas técnicas radiométricas tradicionales implican mayores incertidumbres. En consecuencia, el método de datación por EPR es una técnica factible para determinar la edad de todos los materiales arqueológicos y geológicos (Figura 2-2) de entre unos pocos miles de años y unos pocos millones de años (Schwarcz, Grün & Tobias, 1994; Grün & Stringer, 1991).

²⁰ Periodo de enterramiento.

Figura 2-2: Los campos de aplicación y los materiales que pueden utilizarse para la datación por EPR (Grün, 1989; Ikeya, 1993).



2.5.1 Historia del uso del EPR para la datación

La determinación de la edad con EPR —a partir de la cuantificación de los radicales o defectos generados por la radiación circundante en un material— se usó primero con muestras de carbón (Übersfeld et al., 1954). Luego, se usó para materiales geológicos más antiguos (Zeller et al., 1967; McMorris, 1969); sin embargo, no se logró una edad significativa. La primera aplicación exitosa de la datación EPR se realizó con muestras de estalactitas de la cueva Akiyoshi, en Japón. Ikeya (1975) utilizó la Resonancia Paramagnética Electrónica, por primera vez a mediados de la década de 1970 para determinar la antigüedad de espeleotemas de la cueva Akiyoshi y es uno de los pocos métodos absolutos que hay en la actualidad para datar el Pleistoceno. Desde entonces, la EPR ha sido aplicada a una amplia variedad de otros materiales, especialmente en contextos palaeoclimatológicos y arqueológicos²¹.

Después de este trabajo pionero, los estudios en esta área se han aplicado con éxito a huesos (Ikeya & Miki, 1980), conchas, corales (Ikeya & Ohmura, 1983) y animales marinos planctónicos (Sato, 1982). De esta forma, esta técnica ha entrado en un proceso

²¹ Las aplicaciones más comunes en este marco incluyen espeleotemas, foraminíferos, y el esmalte de los dientes humanos.

de desarrollo más rápido. Los primeros estudios arqueológicos que utilizaron la técnica de EPR fueron realizados por McMorris (McMorris, 1969; 1970). A través de los estudios de datación EPR en esmalte de dientes arqueológicos, se obtuvo información sobre el desarrollo biológico y cultural humano (Grün & Stringer, 1991; Rhodes & Grün, 1991; Rink, 1997; Jonas, 1997; Ikeya, 1975; Wencka, 2005). Hasta la fecha, la metodología utilizada rutinariamente en la datación de la cerámica arqueológica ha sido la técnica de Termoluminiscencia (Aitken, 1985).

No obstante, Maurer y sus colegas han demostrado que las cerámicas sí pueden fecharse con EPR (Maurer et al., 1981). Más tarde, con el trabajo de Bartoll e Ikeya, esta situación se volvió definitiva y se logró un gran éxito con el método de datación EPR en cerámicas arqueológicas de unos 5.000 años. Bartoll e Ikeya en el año 1996 presentaron el primer informe sobre la aplicación de EPR para datar cerámica arqueológica, usando material del Neolítico, previamente fechado por Termoluminiscencia. Los mismos autores realizaron estudios de datación EPR en cerámicas, utilizando los centros de radiación natural "Al" y "Ti" en cerámica arqueológica, y encontraron un buen acuerdo con los resultados obtenidos por el método Termoluminiscencia (Bartoll & Ikeya, 1997).

En los últimos 30 años, en el campo de la arqueología, las técnicas de datación por Resonancia Paramagnética Electrónica (EPR)²² se han posicionado como una alternativa diferente a los métodos de datación usados comúnmente, como la técnica de datación por radiocarbono o termoluminiscencia, y ha sido aplicada a una variedad de problemas en geología, arqueología y paleontología, entre otros (Fig. 7). Asimismo, este método es importante por su aplicabilidad a diversos materiales: esmalte dental, estalagmita, calcita, conchas de moluscos, corales y cerámicas (Grün, 2006; Ikeya, 1993; Jonas, 1997; Renfrew & Bahn, 1993; Rink, 1997). Aunque los estudios arqueométricos de cerámica arqueológica se han intensificado en los últimos años, es sorprendente que la técnica de EPR no se haya usado con más frecuencia en el campo de arqueología (Gualtieri and Monaco 1996; Manguiera et al. 2011; Bensimon et al. 1998; Dobosz and Krzyminiwski 2007; Carvajal et al. 2011; Cano et al. 2014).

²² También llamada Resonancia Electrónica del Spin (ESR). En aras de la claridad, a lo largo de este texto se usará únicamente la sigla EPR.

2.5.2 Fundamentos de la datación por EPR

La datación de un material arqueológico por Resonancia Paramagnética Electrónica (EPR) se basa en la determinación de la concentración de centros paramagnéticos generados por la radiación ionizante en ella. Esta técnica forma parte del grupo de métodos paleodosimétricos, junto con los basados en los fenómenos de luminiscencia (Rink, 1997; Jonas, 1997; Ikeya, 1993; Ikeya, 1975; Schwarcz, Grün & Tobias, 1994; Grün & Stringer, 1991; Grün, 1997; Apaydın, 1991; Bruker, 2001; Wertz & Bolton, 1971; Atherton, 1973; Brik et al., 2000; Rosiers, 1990; Ishii & Ikeya, 1990; Lee, Rink & Schwarcz, 1997; Polyakov et al., 1995; Wieser et al., 1988; IAEA, 2002; Ikeya, 1993; Schauer et al., 1994; Romanyukha et al. 1994; Romanyukha & Regulla, 1996; Romanyukha et al., 1996; Egersdörfer, Wieser & Muller, 1996; Haskell, Hayes & Kenner, 1996; Regulla, 2000; Magdalena, Ryszard & Helena, 2000).

La radioactividad se origina a partir de la concentración de elementos radiactivos, que están presentes en el medio ambiente circundante alrededor del material enterrado, y a partir de los rayos cósmicos. Entre las fuentes de radiación ionizante, los isótopos de uranio y de torio encabezan una larga cadena de radioisótopos. Estos elementos radiactivos emiten partículas y rayos de alta energía, que alteran el material con el que interactúan estos elementos (Grün, 2006; Turney, 2007).

La radiación de los radionúclidos del uranio (^{238}U), torio (^{232}Th) y potasio (^{40}K) afecta los materiales arqueológicos que están bajo tierra, creando radicales y defectos paramagnéticos. A partir de las radiaciones alfa, beta y gamma (Figura 2-3) — suministradas por los radionúclidos presentes en los materiales arqueológicos²³ y el material circundante, así como por las radiaciones provenientes del medio exterior²⁴—, se pueden evaluar las dosis de radiación recibidas por los materiales arqueológicos. Estos pueden ser orgánicos o inorgánicos.

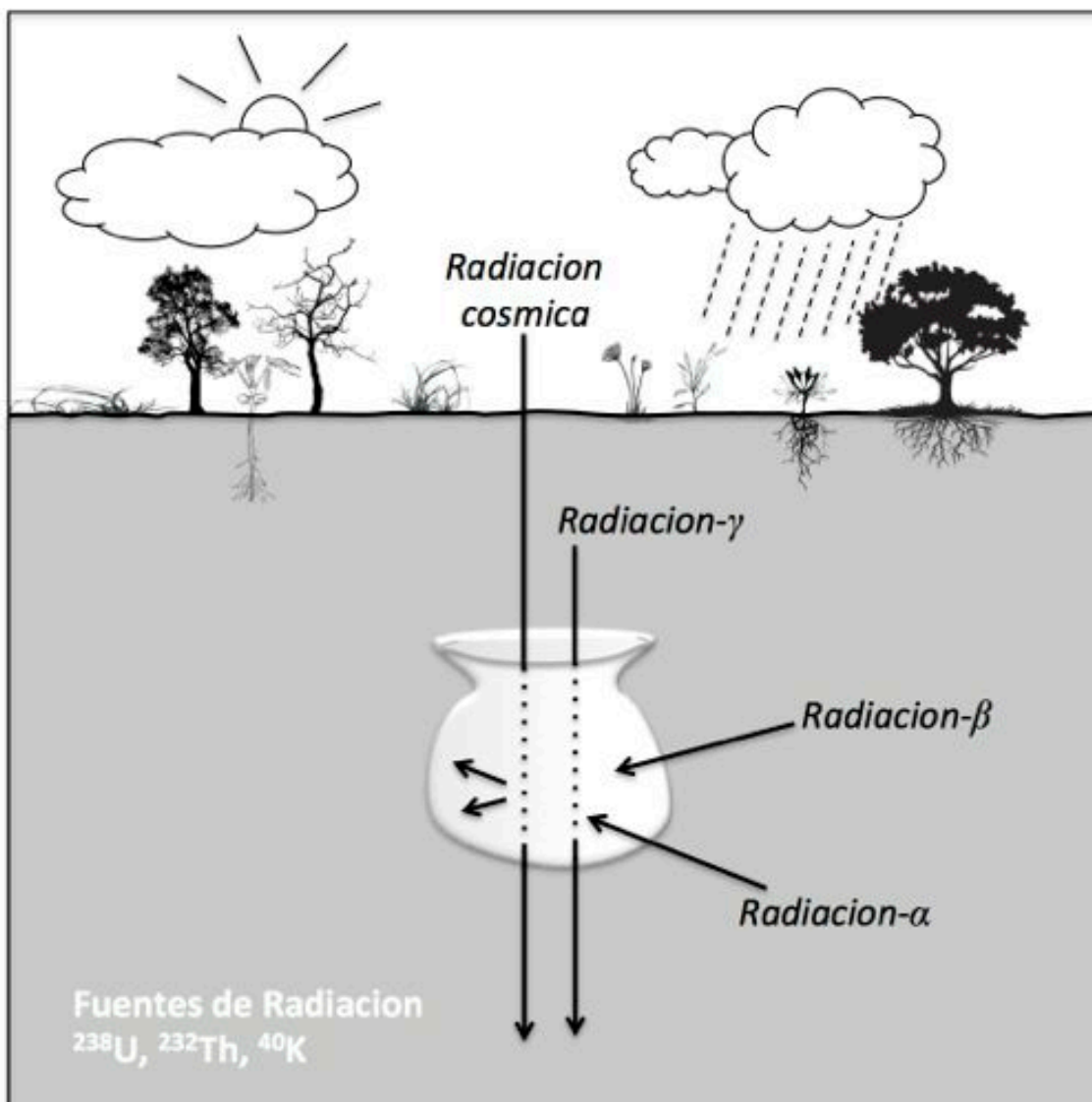
En la cerámica, las partículas alfa tienen una corta distancia media de penetración — cerca de 20 micras—, y son menos eficientes en producir centros paramagnéticos, en

²³ Se define como un componente interno.

²⁴ Son los componentes externos procedentes de la radiación cósmica.

comparación con la irradiación de rayos beta o gamma con la misma energía (Grün, 1997; Grün, 2006). En este material, las partículas beta tienen una distancia media de penetración de aproximadamente 2 milímetros. Finalmente, los rayos gamma tienen una distancia media de penetración de 30 cm en el material (Grün, 1993).

Figura 2-3: Contribución de las radiaciones alfa, beta y gamma en los materiales arqueológicos. Las partículas alfa, al incidir sobre la cerámica, recorren una distancia del orden de micras (μm) a través de este material; las partículas beta, en cambio, tienen un rango de actuación del orden de milímetros (mm), y la radiación gamma es capaz de atravesar varios centímetros (cm) de la cerámica.

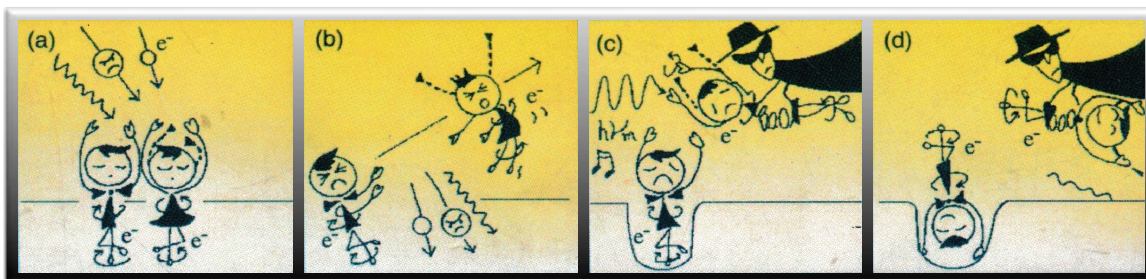


Estas radiaciones ionizantes producen corrientes en la composición electrónica de los minerales; estas cargas eléctricas pueden quedar atrapadas dentro de imperfecciones (o trampas) de la estructura cristalina (Figura 2-4), con lo que establecen los así denominados centros paramagnéticos, defectos o radicales libres (Attix, 1986; Grün, 2006; Lian, 2007; Rhodes, 2011; Duval et al., 2011). Estos centros paramagnéticos son estables y se acumulan a lo largo del tiempo en el que la muestra ha estado expuesta a la radiación ionizante.

Los centros o radicales pueden detectarse y cuantificarse por espectrometría EPR. La intensidad de la señal registrada en el espectrómetro es proporcional a la cantidad de

cargas atrapadas en el material, que puede variar según el número de estas trampas (Rink, 1997; Jonas, 1997; Ikeya, 1975; Schwarcz, Grün & Tobias, 1994; Grün & Stringer, 1991; Grün, 1997).

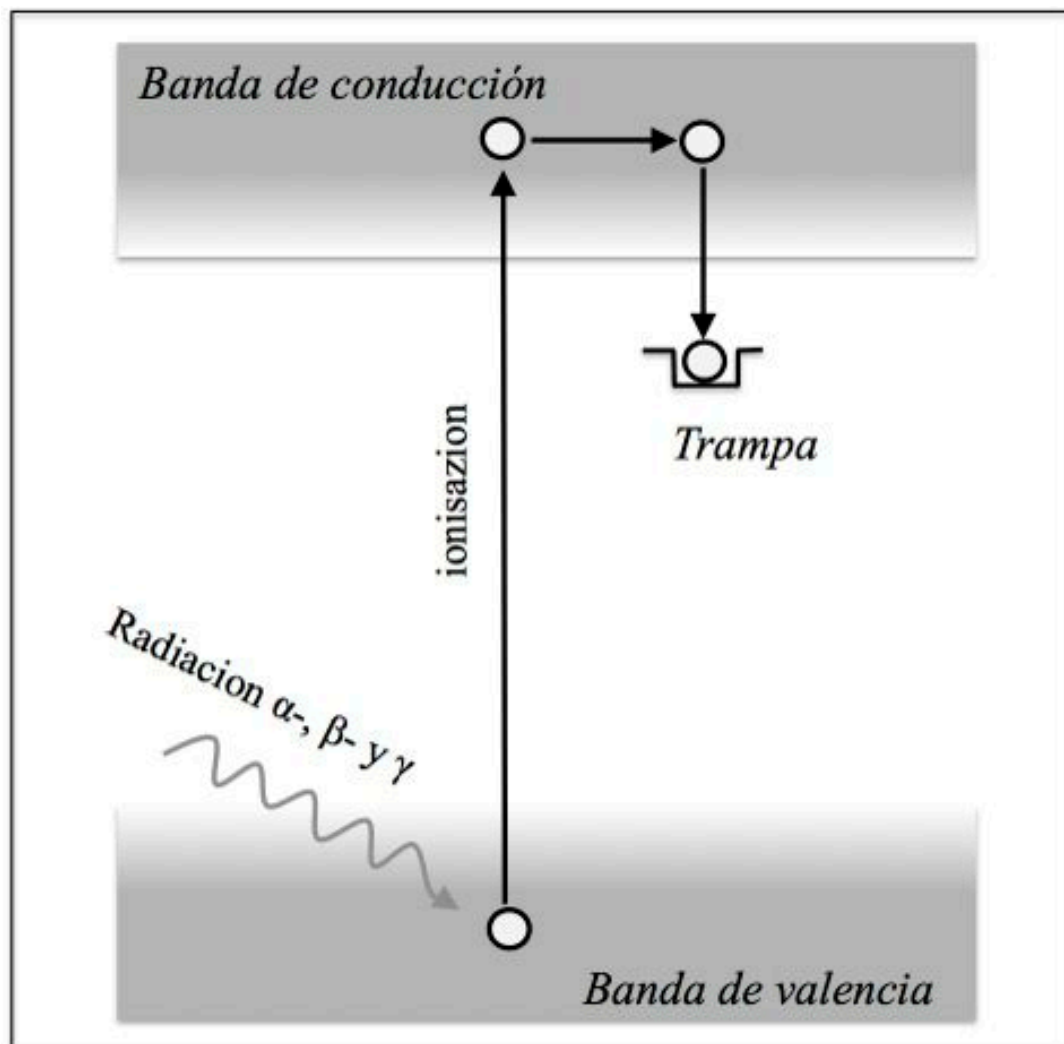
Figura 2-4: El principio de datación por EPR: (a) los electrones apareados están girando en direcciones opuestas; (b) la ionización por rayos alfa, beta y gamma derriba uno de los electrones apareados (niña) y deja al otro (niño) en un agujero; (c) el electrón no apareado (niña) queda atrapado por una impureza (*gangster*); (d) la dirección de giro de los electrones no apareados se carga por absorción de microondas. La concentración de electrones no apareados en proporción a la TD (*natural radiation*) o ED (*equivalent dose*) se determina con EPR (Ikeya, 1993).



En un mineral hay dos bandas energéticas, donde se encuentran los electrones: la banda de valencia y la banda de conducción. Durante la formación del mineral, los electrones están en la banda de valencia (Figura 2-5). Cuando el material empieza a recibir la radiación natural del medio ambiente (rayos alfa, beta, gamma y rayos cósmicos), los electrones cambian su nivel y pueden transferirse a un nivel más alto de energía (banda de conducción). Después de un corto período, estos electrones excitados decaen a un nivel más bajo y se recombinan con las “trampas” (sitios cargados positivamente). Los minerales tienen algunos espacios con “déficit de carga” que tienen la capacidad de “engancharse” electrones; de esa manera, pueden formar centros paramagnéticos estables.

La cuantificación de los electrones atrapados y, por consiguiente, la intensidad de la señal de EPR son proporcionales a la potencia del campo radiactivo (tasa de dosis) y al tiempo (edad) de irradiación (Grün, 2006).

Figura 2-5: Esquema del proceso de ionización por irradiación y la trampa de electrones en minerales (Grün, 1989).



La determinación de la edad de un material por EPR está asociada a la medición de la intensidad de la señal (dosimetría). La base para los estudios dosimétricos se basa en el principio de determinar la "dosis total"²⁵ de radiación absorbida por los materiales durante su período de enterramiento (Ikeya, 1993; Whitehead et al., 2002; Grün, 2001; Ikeya, 1985); después, se divide por la dosis media anual a la que han estado expuestos.

²⁵ También es llamada Dosis Arqueológica; incluso, se utiliza el nombre de Dosis Equivalente (D_E), en el caso del uso en campo de aplicación en geología.

La cantidad de la “dosis arqueológica” depende tanto de la intensidad de la radiación (tasa de dosis) como de la duración de la exposición a la radiactividad. Por lo tanto, una edad EPR se calcula a partir de la siguiente ecuación:

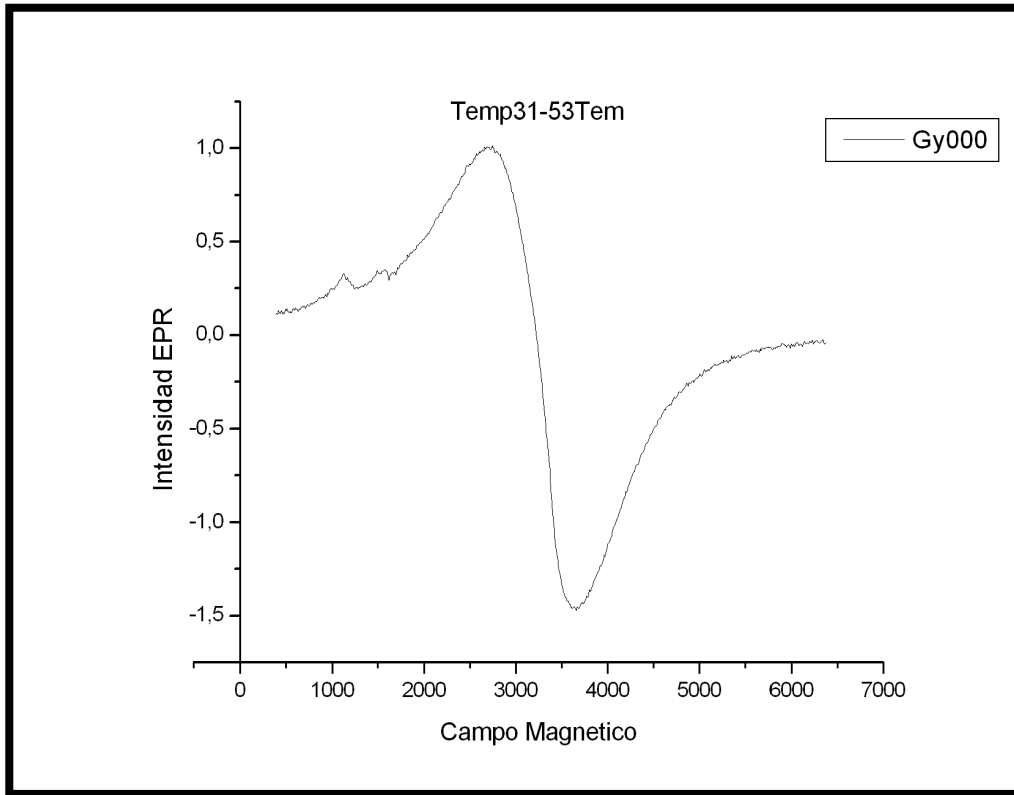
$$t = \frac{D}{\langle D \rangle}$$

“ D_E ” es la dosis equivalente (expresada en Gray²⁶); “ D ” es la tasa de dosis ($\mu\text{Gy/a}$ o Gy/ka), es decir, la dosis de radiación media que recibió anualmente la muestra, y “ t ” es la duración de la exposición de la muestra a la radiactividad natural, es decir, la edad del material arqueológico obtenido por EPR.

Cuando se toma una señal EPR de una muestra dada, la intensidad de esa señal en el espectro resultante crece a medida que la muestra ha sido sometida a radiación; esta medición depende del número de centros paramagnéticos creados en el tiempo de enterramiento de la muestra (Ikeya, 1993; Jonas, 1997). La Figura 2-6 muestra la intensidad de la señal de EPR y su altura pico a pico, ambas típicas de la cerámica arqueológica.

²⁶ Es la dosis total absorbida por la muestra desde la puesta a cero del geocronómetro ($t=0$).

Figura 2-6: Intensidad de la señal EPR en cerámica arqueológica y su altura pico a pico.

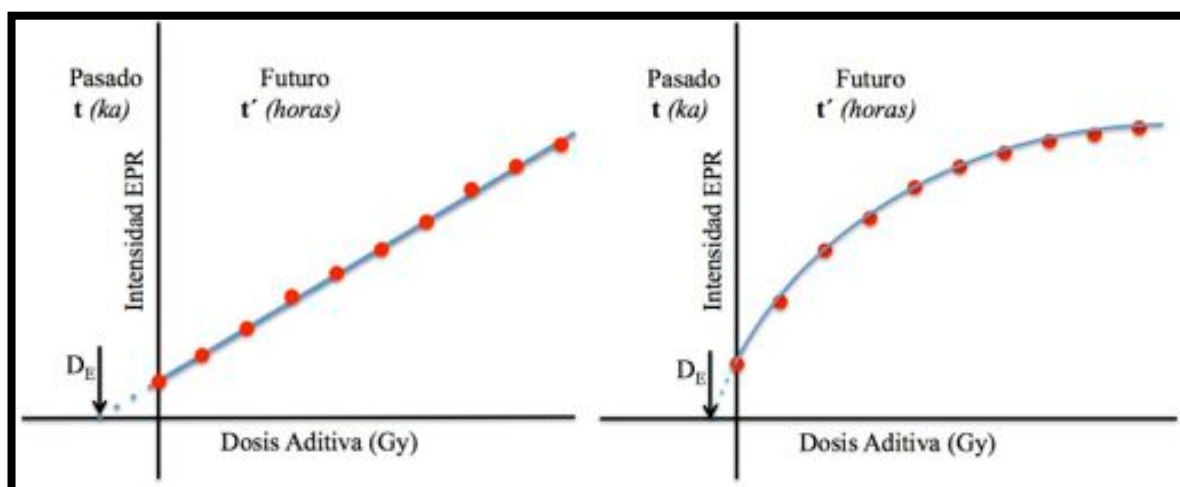


La datación de los materiales arqueológicos o geológicos por EPR se considera un método de datación dosimétrica (Jonas, 1997), cuyo objetivo es revelar la dosis a la que se expuso el material durante la fase de enterramiento, para así determinar el tiempo de exposición del material, conociendo la tasa de dosis promedio. Para conseguir la edad del material arqueológico utilizando el equipo de EPR, se deben hallar dos cuantificaciones: la tasa de dosis anual ($\langle D \rangle$) y la dosis arqueológica (D_E) durante el periodo de enterramiento.

La dosis arqueológica (D_E) puede encontrarse mediante el método de dosis aditiva, en la que la intensidad de la señal de EPR se calibra según la dosis de radiación (Grün, 1997; Ikeya, 1993; Jonas, 1997; Rink, 1997). Para determinar la dosis arqueológica, algunas alícuotas de la muestra se irradian paso a paso, con dosis cada vez mayores, provenientes de una fuente calibrada de rayos gamma —como ^{137}Cs o ^{60}Co —, con el fin de conocer la dependencia de la intensidad EPR respecto a la dosis absorbida.

Este proceso de irradiación genera la acumulación de electrones en más trampas; consecuentemente, las señales de espectrometría de EPR aumentan. Al graficar esta curva de respuesta de dosis, se extrapola a dosis cero, y de esta forma se puede obtener D_E (Figura 2-7). Tanto el ajuste lineal como el exponencial son completamente posibles y válidos (Grun, 1989; Ikeya, 1993).

Figura 2-7: Método de Dosis Aditiva. La intensidad de la señal EPR incrementa como una función de la dosis de radiación artificial. La dosis equivalente puede obtenerse por extrapolación al cero de la ordenada. a) Ajuste lineal (izquierda) También puede darse un ajuste exponencial (derecha) por la saturación de la señal EPR con la dosis.



Por otra parte, la dosis anual ($\langle D \rangle$) se obtiene del análisis de los elementos radiactivos en la muestra, así como de sus alrededores y de la contribución de la radiación cósmica (Ikeya, 1993; Jonas, 1997; Walker, 2005; Grün, 1989). La dosis anual ($\langle D \rangle$) puede conseguirse determinando experimentalmente la concentración de los principales elementos radiactivos (^{238}U , ^{232}Th y ^{40}K) del sedimento donde se encontró el material arqueológico (hasta un radio de 30 cms alrededor de la muestra por fechar).

Para determinar la concentración de radionúclidos del sedimento, se usa generalmente la Espectrometría gamma, el Análisis de activación de neutrones y la Espectrometría de masas. Para la medición de la contribución de radiación cósmica, se puede usar un

espectrómetro gamma portátil o un detector de radiación portátil, en el sitio arqueológico donde se haya encontrado el objeto (Grün, 1993; Grün, 2006). Para determinar el valor de radiación cósmica, también se pueden utilizar los cálculos y gráficos de Prescott y Stephan (1982), teniendo en cuenta la altitud y latitud del sitio, junto con la profundidad bajo la superficie de la tierra a la que se encuentre el material.

El cálculo de $\langle D \rangle$ es tedioso y relativamente extenso, lo que puede dar lugar a errores de tipo espurio (falsificado). Brennan y sus colegas (1999) desarrollaron el software ROSY, que permite obtener la dosis media anual con solo introducir las concentraciones de los elementos radiactivos del suelo y la contribución de radiación cósmica encontrada. Incluso, este programa también puede estimar la edad de la muestra, si se introduce la dosis equivalente encontrada (Brennan et al., 1999; Kinoshita et al., 2008).

Una estimación de la edad por EPR es el resultado de un largo proceso analítico, realizado mediante cinco pasos principales, que asocian el trabajo de campo y los procedimientos de laboratorio:

- (1) recolección del material arqueológico;
- (2) preparación fisicoquímica del material;
- (3) medición de la dosis residual con EPR;
- (4) evaluación de la radioactividad natural de la muestra en sí y de su entorno;
- (5) el cálculo de la edad.

Las materias primas de la cerámica son SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 y, a veces, un poco de carbonato (Kaczynski & Grabowska-Olszewska, 1997). En el cuarzo, la señal EPR ligada al núcleo de aluminio (AlO_4) se distingue por medios químicos y es muy útil para datación por EPR; ha sido estudiada por varios grupos de trabajo (Toyoda & Falgueres, 2003; Toyoda et al., 2000, Bartoll & Ikeya, 1997).

Con el fin de determinar la edad de las muestras de cerámica con la técnica EPR, los minerales de cuarzo en la pasta de la cerámica se separan y se utilizan. En los minerales de cuarzo hay centros paramagnéticos sensibles a la radiación. En el cuarzo se

encuentran defectos intrínsecos, como los centros llamados E' y OHC²⁷, adicionales a los centros o defectos en el material asociados a impurezas de Al, Ge y Ti (Duval, 2018; Weil, 1984; Ikeya, 1993). Los centros Al y Ti se observan por EPR a una temperatura de 77 K (Weil, 1984; Halliburton, 1989; Griscom, 1990; Grün, 1989; Rink, 1997; Ikeya, 1993), mientras que los otros centros paramagnéticos se observan a temperatura ambiente. Generalmente, la determinación de la edad EPR utilizando minerales de cuarzo se determina usando los centros E', pues son más más estables que los centros Al y Ti (Duval, 2018).

La reconstitución de la tasa de dosis se hace considerando la cerámica y su entorno dentro de una esfera de ~30 cm de radio. Si la tasa de dosis gamma se evalúa in situ, la tasa de dosis beta del sedimento —si corresponde— debe evaluarse preferiblemente en el laboratorio, a partir de la muestra de sedimento que se había recolectado alrededor de la cerámica.

²⁷ Oxygen Hole Center.

3 Capítulo 3: Contexto de la Investigación

En el ámbito cultural del altiplano cundiboyacense, el estudio de los periodos muisca temprano y muisca tardío sigue dando pie a múltiples discusiones sobre la cronología y la clasificación de cerámica, como a la asignación de tipos cerámicos a determinados lapsos de tiempo. Aún en la actualidad, continúa en proceso de revisión dicha periodización a la luz de los nuevos datos obtenidos y aun no se cuenta con una cronología precisa para el territorio muisca. Siendo deseable contar con una cronología precisa de la cerámica, para el altiplano las fechas de C-14 conseguidas para la sociedad muisca se encuentran divididas en “aceptadas” y “rechazadas”, de acuerdo con los diferentes criterios que describen los autores (Falchetti, 1975; Langebaek, 1995, 2001; González, 2013; Fajardo et al., 2015). Principalmente, la razón de esta posición se debe a que los objetos no están relacionados con un contexto arqueológico.

En el mismo sentido, la clasificación cerámica ha servido para identificar la cerámica mas común de cada periodo alfarero he identificar las áreas de ocupación de cada uno, delimitando a su vez los sitios arqueológicos de cada periodo acorde a su distribución en el paisaje. Las cronologías relativas de las clasificaciones cerámicas del altiplano²⁸ se basan en las excavaciones realizadas por el sistema de reconocimiento regional (Falchetti, 1975²⁹; Langebaek, 1995, 2001). Desde entonces, ha aumentado el conocimiento de la cerámica en términos de distribución espacial vertical (cronología) y regional. Al respecto, lo mas razonable sería tener en cuenta cada una de las cronologías con cierta validez regional.

²⁸ Las fechas de radiocarbono asociadas a tipos cerámicos identificados.

²⁹ Falchetti publicó un reporte sobre la cerámica muisca de Sutamarchán, en el cual hizo consideraciones en cuanto a la cronología y la variación regional.

Para minimizar la incertidumbre sobre la cronología, Boada y Cardale de Schrimppff (2017) vieron la necesidad de formular un nuevo sistema de cronología relativa, basado en los tipos tradicionales de cerámica, pero más enfocado en la forma y la decoración. Esta metodología puede ayudar a establecer una cronología mucho más confiable, porque los cambios sociales llevan un ritmo que se expresa a través del cambio en la cultura material.

Uno de los principales inconvenientes de emplear tipos cerámicos específicos como marcadores cronológicos, en el altiplano cundiboyacense, es que muy pocos tipos cerámicos fueron usados de forma intensa durante un corto periodo de tiempo (Boada, 2006:36), igualmente no se cuenta con información precisa sobre la persistencia no episódica del registro material o la trayectoria de las unidades domésticas en el tiempo histórico del espacio social global. En todo caso, la cuestión se resolverá mediante más dataciones absolutas. Este estudio busca aportar información a dicho respecto. En esta problemática juega un papel bastante importante Suta, porque es un lugar central entre zonas perfectamente detalladas, que permiten estudiar la evidencia cerámica desde la segunda mitad del año I a.C. hasta el siglo XVII, después de la llegada de los españoles.

3.1 De la arqueología regional a la local

Las investigaciones arqueológicas en el altiplano cundiboyacense tienen una larga trayectoria y existe un numeroso cúmulo de datos recabado por numerosos investigadores (Broadbent, 1964; Falchetti, 1975; Correal y Van der Hammen, 1977; Correal, 1979, 1987, 1990; Londoño, 1994; Botiva, 1989; Langebaek, 1995; 2001; Boada 1999, 2000; Romano, 2002, 2003; Kruschek, 2003; Henderson & Ostler 2005; Salge 2007; Fajardo, 2009). Los mismos que han permitido establecer una de las secuencias de desarrollo cultural más completas del país. Dicha secuencia, inicia con el registro de comunidades de cazadores-recolectores para un periodo conocido como precerámico y alcanza época reciente hasta la actualidad. Las primeras manifestaciones alfareras reconocidas se ubican alrededor del año 400 a.C., y se corresponden a un periodo denotado como Herrera. En dicho periodo aparecen por primera vez ocupaciones más sedentarias, así como evidencia arqueológica asociada a la producción agrícola (Langebaek, 1995; Cárdenas, 2002; Boada, 2006) y aparentemente estos grupos no

poseían fuertes de jerarquías de carácter regional (Kruschek, 2003; Langebaek, 1995; 2001).

En la transición del período Herrera al periodo de Muisca Temprano, se observa un aumento demográfico y concentración en asentamientos más grandes (Langebaek, 1995; 2001). El crecimiento de los asentamientos se evidencia en el Muisca Tardío, los mismos que se vieron acompañados por un incremento en la centralización de la autoridad y en la complejidad política (Kruschek, 2003; Langebaek, 1995; 2001; Henderson & Ostler 2005; Salge 2007; Fajardo, 2009).

La sociedad Muisca fue considerada como una de las comunidades más complejas a la llegada de los españoles al norte de Suramérica, y por su mediación al altiplano cundiboyacense. Según las crónicas de los españoles, los cacicazgos de Bogotá, Tunja, Sogamoso y Duitama formaban las cuatro más importantes organizaciones políticas de la región (Fajardo, 2009; Gonzalez, 2013). Estos cacicazgos, ostentaban una marcada influencia sobre las poblaciones menores asentadas en sus alrededores. No obstante, había una serie de cacicazgos autónomos, entre los cuales probablemente estaba la comunidad cacical de Suta, ubicada al noroccidente de Tunja (Langebaek, 1987; 1995), dentro de los actuales límites de los municipios de Sáchica y Sutamarchán (Figura 3-1) y el cual se constituía en una de las cinco unidades políticas del Valle de Leyva.

A diferencia de otras regiones del territorio Muisca, en el ámbito local, fueron escasos los estudios arqueológicos efectuados en el departamento de Boyacá hasta mediados de la década de los setenta. La primera exploración arqueológica en Suta fue realizada por Falchetti (1975) en donde identificó 9 sitios arqueológicos que presentan una gran densidad de restos cerámicos y la gran mayoría de los espacios se relacionaban con viviendas (Falchetti, 1975: 77-79). En el año de 2001, Langebaek realizó investigaciones basando su metodología en el reconocimiento regional sistemático con el objetivo de entender los procesos de cambio socio-cultural de la ocupación humana en el área del Valle de Leyva (Langebaek, 2001). Unos años más tarde, Henderson y Ostler (2005) estudiaron la naturaleza de las unidades domésticas de la organización social, la autoridad política y la distribución espacial de las unidades residenciales en la comunidad cacical de Suta en donde identificaron las viviendas mediante el mapeo de la distribución de la cerámica. Los investigadores identificaron un total de 102 unidades domésticas de

las cuales 58 representaban el periodo Muisca Temprano (1000-1200 d.C.) y las otras 54 estaban vinculadas al periodo Muisca Tardío (1200-1600 d.C.) (Figura 3-2).

Figura 3-1: Suta durante el periodo de Muisca Tardío (Fuente: Henderson 2012:172).

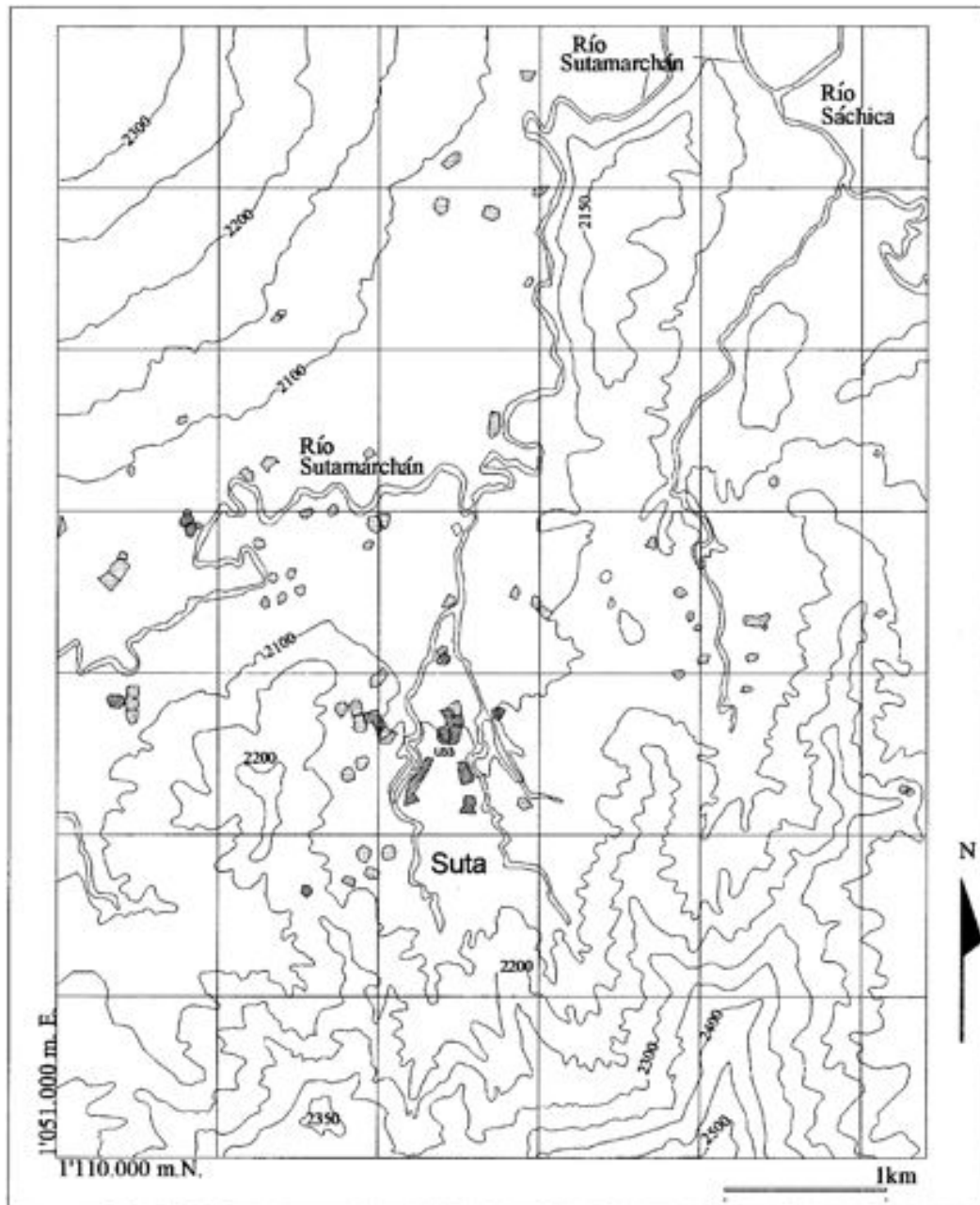
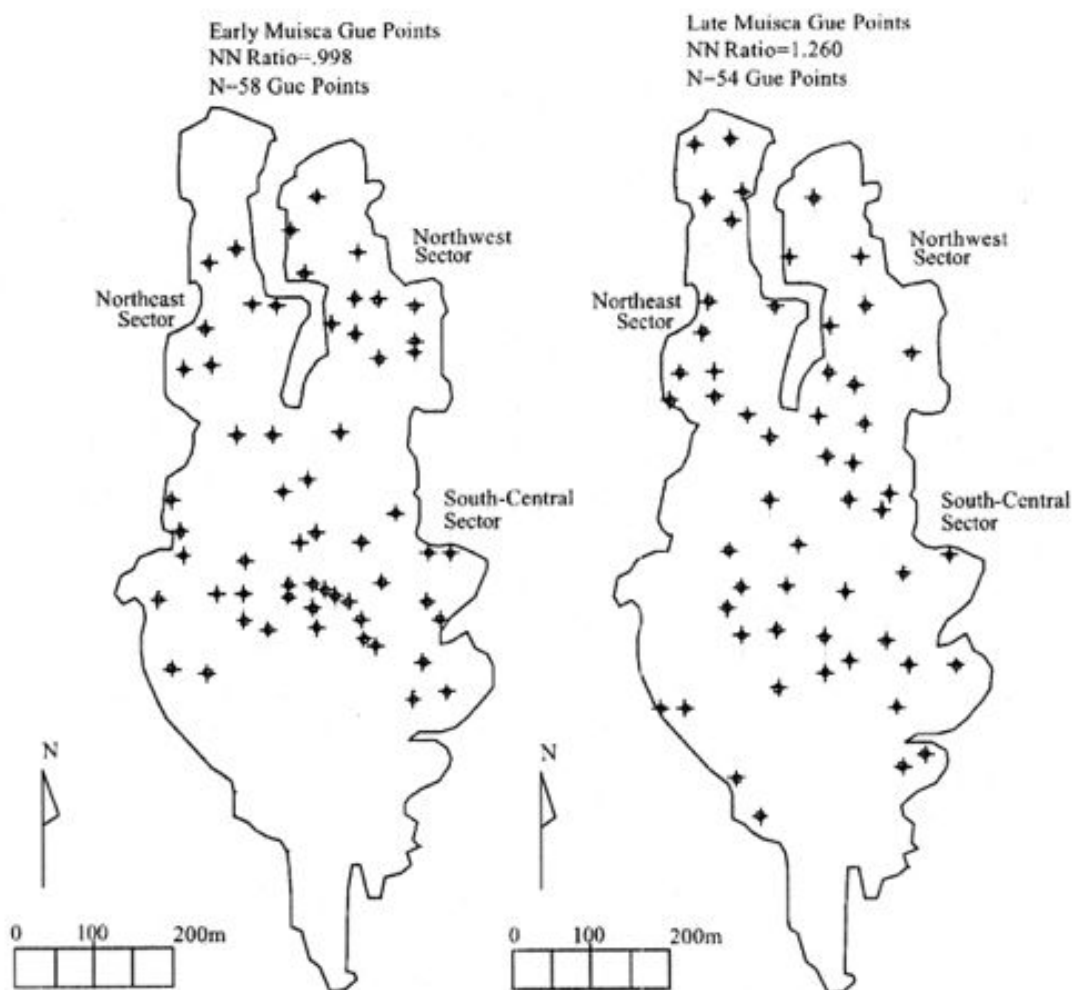


Figura 3-2: Mapa de distribución de las unidades domesticas en el sitio de Suta para los periodos de Muisca Temprano (izq.) y Muisca Tardío (Fuente: Henderson & Ostler, 2005:170)



Se encontraron evidencias de que la mayoría de las residencias cambiaron de ubicación entre un periodo y otro, que no tenían un límite particular al respecto la organización espacial (Henderson & Ostler, 2005: 171). Es decir, los grupos residenciales no consideraban recuperar necesariamente el mismo lugar del periodo Muisca Temprano al periodo de Muisca Tardío. De las unidades domésticas identificadas en el estudio de Henderson & Ostler (2005), solo 10 fueron ocupadas en los dos periodos referidos a la sociedad Muisca y se distribuyen de forma dispersa en el área del asentamiento (Figura 3-3).

Figura 3-3: Ubicación de las 10 unidades domesticas en el sitio de Suta que fueron ocupadas durante los dos periodos referidos a la sociedad Muisca. Las dos unidades desaparecidas por la erosión (señaladas con flechas) estaban localizadas en el norte del asentamiento y la unidad residencial cacical UR-31 estaba ubicada en el centro del asentamiento (Fuente: Henderson, 2012:170).

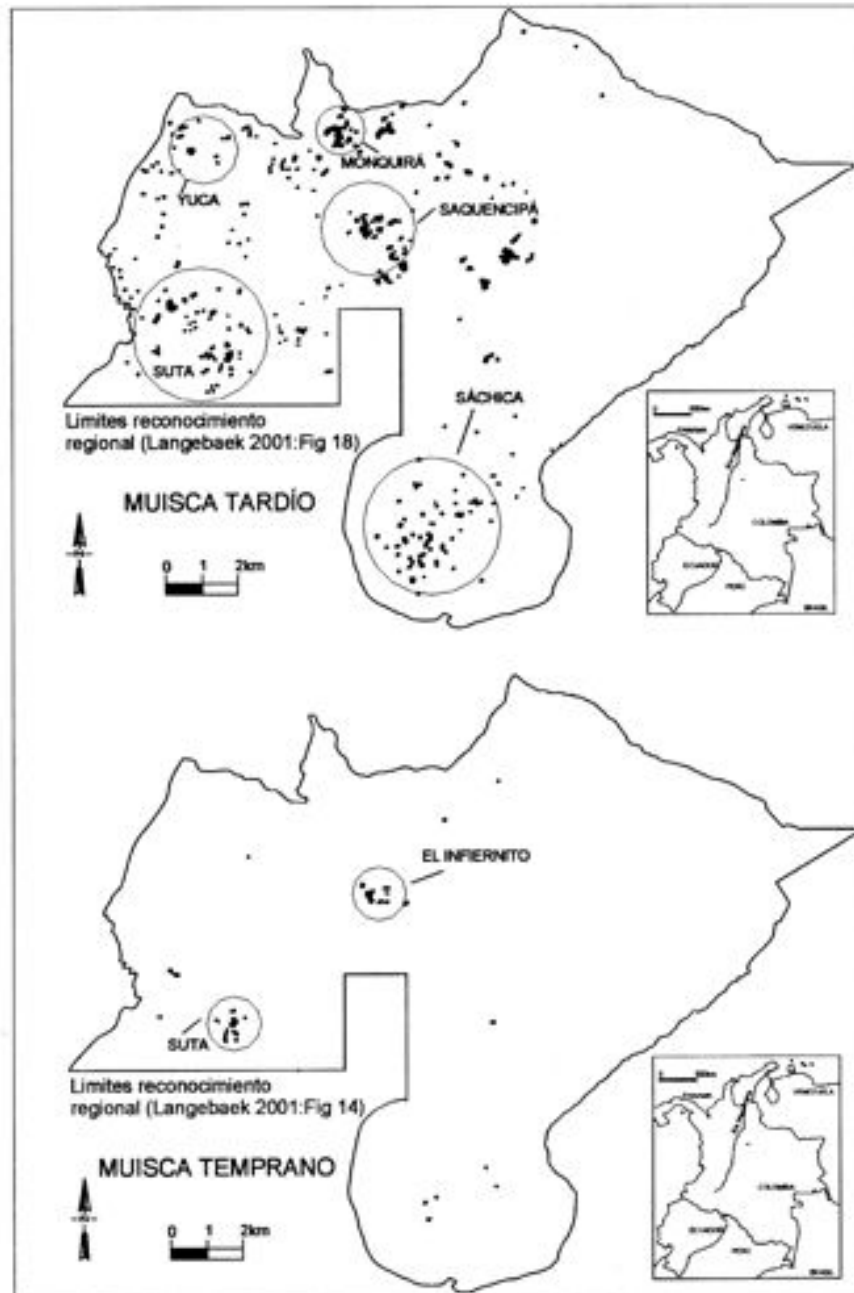


Suta, junto con El Infiernito (Figura 3-4), ofrecen en conjunto una valiosa información para efectos de contextualizar el desarrollo de comunidades cacicales en los suburbios de Villa de Leyva (Henderson y Ostler 2005; Fajardo, 2011). Al mismo, se lo reconoce como un centro cacical con información detallada a nivel de la comunidad (Henderson & Ostler, 2005; Langebaek, 2001). El reconocimiento regional muestra para el periodo Muisca Temprano una distribución de asentamientos correspondiente al 80% de la población concentrada en esos dos sitios, altas densidades de restos que demuestran actividades domésticas que parecen corresponder a los complejos habitacionales descritos por los conquistadores en el Siglo XVI (Henderson y Ostler 2005; Henderson 2014; Fajardo, 2009). Existen no obstante, manifiestas diferencias entre los dos asentamientos, mientras que El Infiernito presentaba más de 40 columnas monolíticas y una tumba dolménica, Suta no estaba asociada a monumentos de piedra, pero incluye los dos periodos relativos a la sociedad Muisca (Henderson y Ostler 2005).

En la comunidad muisca de Suta, los periodos Muisca Temprano y Tardío son el lapso de la secuencia precolombina del altiplano cundiboyacense donde se presenta una mejor resolución para contrastar los modelos planteados en relación al proceso de construcción de jerarquías sociales (Fajardo 2011:34). Acorde a los resultados de Henderson & Ostler (2005), dos de las 10 unidades (UD-31 y UR-33), ocupadas durante ambos periodos, se reprodujeron en los conjuntos domésticos cacicales o de personas de alto status de los periodos Muisca Temprano y Muisca Tardío (Henderson & Ostler, 2005: 170; Henderson 2012:168).

En el periodo de Muisca Temprano (1000-1200 d.C.) el área de asentamiento tenía una extensión de hasta 2 hectáreas y contenía cerca de 15 unidades domésticas. Durante el periodo de Muisca Tardío (1200-1600 d.C.), el asentamiento, aunque ocupa un área más pequeña (1,3 hectáreas), se mantiene en la misma área de forma rectangular a la vez que presenta una menor cantidad de unidades residenciales (Henderson, 2008:51), lo cual puede ser interpretado como una evidencia de que las unidades domésticas probablemente tuvieron una ocupación menos intensa. Henderson (2008) explico esto como la evidencia de que los líderes políticos del periodo Muisca Tardío fueron menos efectivos para establecer asociaciones políticas con las cuales concentrar al común de la población entorno de sus conjuntos residenciales.

Figura 3-4: Mapa de distribución de ocupación en el Valle de Leyva para los periodos de Muisca Temprano y Muisca Tardío. (Fuente: Henderson, 2012:165).



En la parte sur del asentamiento del sitio de Suta, se observó la agrupación de una serie de unidades domésticas, las cuales demostraron la presencia de un alto porcentaje de cerámica decorada durante la ocupación adscrita al periodo Muisca Temprano (Figura 1-

7), lo que sugiere que era un área de hogares de personas de alto rango, un lugar donde posiblemente se practicaron interacciones sociales y actividades relacionadas con la creación de un estatus social (Henderson & Ostler, 2005; Henderson, 2008, 2012, 2014; Fajardo, 2009). Este conjunto podría corresponder a la presencia y continuidad (longevidad) de grandes complejos residenciales de élite, los cuales estarían desarrollando algún tipo de actividad de forma intensiva y persistiendo a lo largo del tiempo. Es probable que se tratara de actividades comunales y se correlacionara con una ocupación continua.

Fajardo (2009, 2011) estudio las unidades domesticas que ocuparon el mismo terreno durante los periodos de Muisca Temprano y Muisca Tardío para confirmar las diferencias y semejantes entre ellas, evaluando principalmente su relación a un grupo de elite y por consiguiente con una jerarquía social en Suta. Fajardo (2009) excavo ocho unidades domésticas³⁰ en las zonas donde se identificó la existencia de reproducción durante los dos periodos arqueológicos. Su metodología basaba en una grilla triangular ajustada por pozos de sondeo colocados cada 5m., que fue aplicada éxitosamente por varios investigadores en sus trabajos a una escala comunal (Drennan, 1985; Jaramillo, 1996; Kruschek, 2003).

En su mayoría, el material cerámico asignado al periodo Muisca Temprano (1000-1200 d.C.) fue el mejor representado en todas las unidades domésticas estudiadas. De acuerdo con el autor, la densidad de cerámica y la proporción elevada de cerámica decorada, están relacionadas a diferentes status dentro de las comunidades y la tendencia de poseer cerámica decorada, generalmente se considera como un símbolo de riqueza y puede ser un rasgo que denota prestigio. Por la mayor densidad de material cerámico y el mayor porcentaje de cerámica decorada encontrada en las unidades residenciales de UR-31 y UR-33 (respectivamente), estas dos unidades han sido interpretadas como evidencia de la prolongación de la élite con disposición de organizar las actividades comunales (Fajardo 2009; Henderson & Ostler 2005:167; Henderson

³⁰ Se excavaron 8 de las 10 unidades domesticas por lo que dos de estas unidades domesticas fueron desaparecidos por los factores naturales de deterioración como erosión.

2012, 2014, 2017). Al observar la distribución espacial³¹ de las unidades UR-31 y UR-33, Fajardo considera que es muy probable que las mismas unidades actuaran colectivamente y colaboraran activamente para consolidar e incrementar su posición social dentro de la comunidad del sitio de Suta (2009:107).

Durante el periodo Muisca Tardío, la UR-31, al igual que en el Muisca Temprano, presenta mayores porcentajes con relación al registro de cerámica (Fajardo, 2009: 74 - Tablas 4 y 5), característica que se constituye en un fuerte indicador de que la intensidad de su ocupación fue mayor respecto de otras unidades domésticas. Por su parte, la unidad residencial UR-33 sigue presentando la mayor proporción de la cerámica decorada entre las unidades domésticas durante el periodo de Muisca Tardío (Fajardo, 2009:108-109). Basado estos datos, se plantea que la UR-33 probablemente alcanzó un nivel social más alto dentro de la sociedad por representar un mayor porcentaje de cerámica decorada (Fajardo, 2009:111). Las unidades residenciales UR-42 y UR-52 son las siguientes unidades domésticas en donde se registra la mayor densidad de cerámica después de las UR-31 y UR-33 (Fajardo, 2009:100).

Galindo (2016), realizó una investigación arqueométrica en Suta con el objetivo de analizar si la alimentación jugó un papel como marcador de estatus para esta comunidad cacical. De especial relevancia, lo constituyen los resultados obtenidos para la unidad residencial UR-31, donde se presentó el uso exclusivo de carne y el cual puede relacionarse a un procedimiento caracterizado por el uso político de las fuentes proteínicas en la alimentación, en el contexto de encuentros sociales, las cuales no estaban presentes en otras unidades domésticas (Galindo, 2016:89). La presencia de vasijas exclusivas para la preparación de carne y el consumo de alimentos foráneos³² relacionado con la unidad residencial UR-31 podría ser reflejo de la búsqueda de un distanciamiento social (Galindo, 2016:93).

³¹ Las unidades residenciales de UR-31 y UR-33 están ubicadas muy cerca una a la otra en una distancia de aproximadamente 50m.

³² Comidas exóticas traídas desde las afueras del establecimiento.

3.2 Obtención y selección de muestras

El yacimiento arqueológico muisca de Suta está ubicado en el Valle de Leiva, cerca del municipio de Sutamarchán, Boyacá, a 170 km del norte de Bogotá. Este lugar tiene las siguientes coordenadas: 5°61' de latitud norte y 73°59' de longitud al oeste del meridiano de Greenwich y una altitud de aproximadamente 2.100 m sobre el nivel del mar (Figura 3-5). En el mismo, y para efectos del desarrollo del presente estudio, se seleccionaron cuatro unidades residenciales (UR), denominadas como UR-31, UR-33, UR-42 y UR-52, y las cuales como quedo expuesto, fueron ocupadas durante los dos periodos adscritos a la sociedad muisca que tuvo asiento en el lugar (Henderson & Ostler, 2005; Fajardo, 2009). Unidades en donde a su vez se realizaron 10 excavaciones de muestreo arqueológico para la obtención de muestras cerámicas (Figura 3-6). Un segundo criterio para la selección de dichas unidades, lo constituye el hecho de que en ellas se registran la mayores cantidades de cerámica decorada de toda la localidad y eran idóneas para efectos de contar con una muestra representativa para el análisis de datación cerámica por EPR (Figura 3-7). Las unidades residenciales UR-31 y la UR-33 están en la parte central del asentamiento³³, mientras que la UR-42 está ubicada en el sector nororiental y la UR-52, por su parte, en el extremo norte del yacimiento (Figura 3-5).

³³ Con una distancia de aproximadamente 50 metros.

Figura 3-5: Ubicación del sitio arqueológico de Suta y de las cuatro unidades residenciales, donde se extrajeron los fragmentos de cerámica para el proceso de datación (Elaboración propia).



Figura 3-6: Ubicación del sitio arqueológico de Suta, ubicado en el Valle de Leyva, en el Departamento de Boyacá, Colombia (Fuente: Wikipedia) y la localización de las áreas de cada unidad doméstica y la localización de los 10 cortes de muestreo arqueológico.

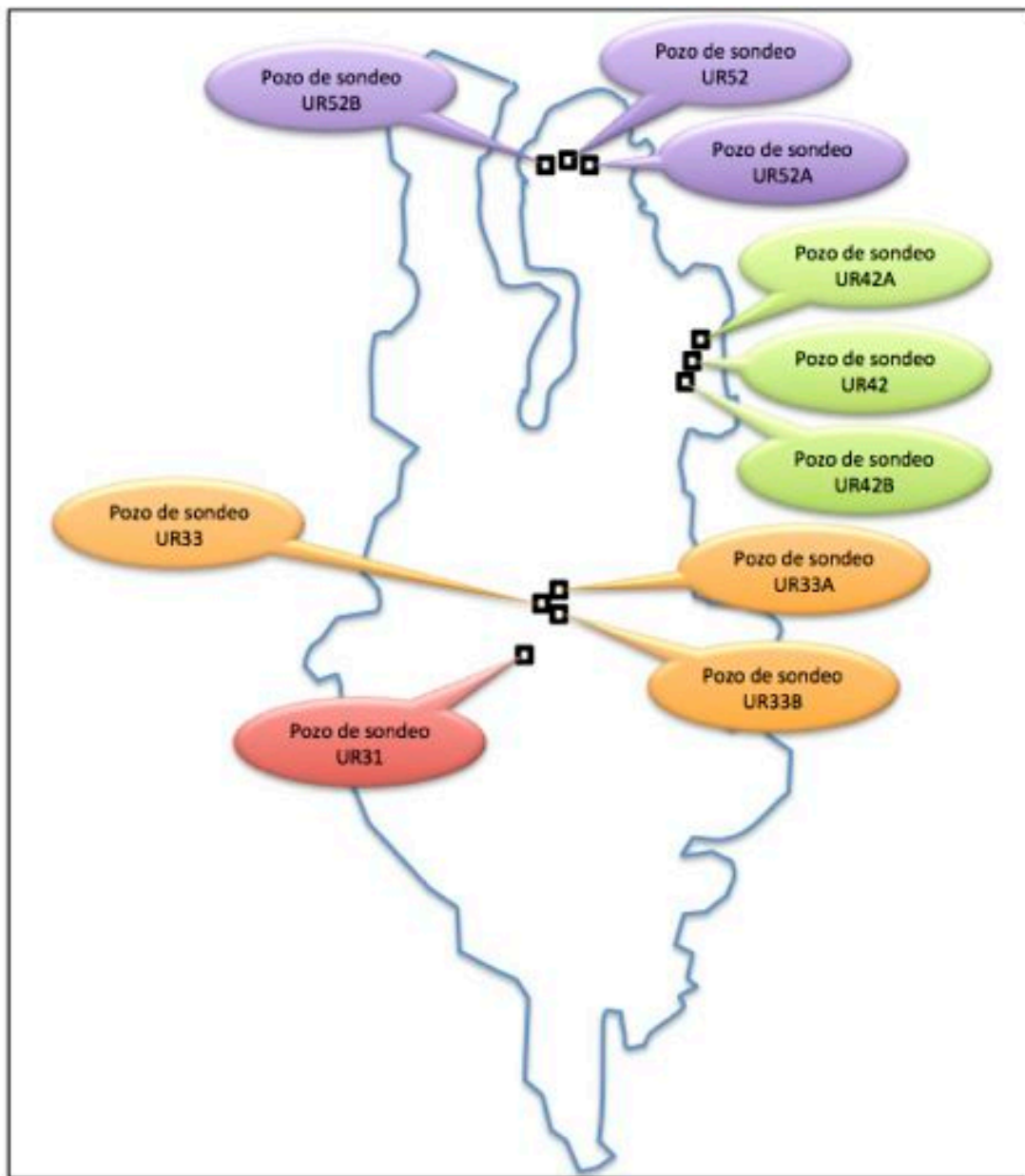


Figura 3-7: Zonas de densidad de cerámicas en el sitio de Suta encontrados para el periodos de Muisca Temprano (izq.) y Muisca Tardío (Fuente: Henderson & Ostler, 2005:167-168).



En total, se excavaron 10 pozos de sondeo —de 100 × 100 cm cada uno— en cuatro unidades domésticas (Figura 3-8). Los pozos de sondeo se repartieron de la siguiente manera: uno en UR-31, tres en UR-33, tres en UR-42 y dos en UR-52. El objetivo de realizar pozos adicionales de sondeo para las unidades domésticas de UR-33, UR-42 y UR-52 fue obtener más material cerámico y tener más opciones para la preparación físico-química de las muestras con el fin de realizar y obtener datos más precisos con el equipo de Resonancia Paramagnética Electrónica.

Figura 3-8: Las excavaciones en el sitio de Suta, Boyacá, se realizaron durante el mes de noviembre de 2016.



En los 10 pozos de sondeo del sitio arqueológico de Suta, se recolectó un total de aproximadamente 440 fragmentos cerámicos. La recuperación de las muestras cerámicas no resultó favorecida en todas las unidades residenciales consideradas. En términos generales, los fragmentos de cerámica obtenidos se caracterizan por el bajo volumen de materiales hallados y la homogeneidad de la cerámica encontrada (Tabla 3-1). La mayoría de los fragmentos cerámicos (95%) fueron clasificados dentro del tipo *Suta Arenoso* característico del periodo Muisca Temprano³⁴. Solo el 5% de los fragmentos fueron clasificados en el tipo *Suta Naranja Pulido* adscritos al periodo Muisca Tardío³⁵.

³⁴ La proporción de cerámicas recuperados coincide con los dos excavaciones anteriores (Henderson & Ostler, 2005; Fajardo, (2009)

³⁵ La densidad de cerámica encontrada durante las excavaciones que se realizaron en los 10 pozos de sondeo coinciden con los resultados de Fajardo (2009: Tabla 4 y 5).

Tabla 3-1: Cantidades de fragmentos encontrados en las cuatro Unidades Residenciales del sitio Suta.

<i>Unidades Estratigráficas</i>	<i>Unidad Residencial UR-31</i>	<i>Unidad Residencial UR-33</i>	<i>Unidad Residencial UR-42</i>	<i>Unidad Residencial UR-52</i>	<i>Total fragmentos</i>
L1 (0-30 cm)	44	67	25	19	155
L2 (30-40 cm)	25	92	14	30	161
L3 (40-50 cm)	1	38	5	45	89
L4 (50-60 cm)	0	32	0	2	34
L5 (60-80 cm)	0	1	0	0	1
Total número de cerámicas	70	230	44	96	440

Los fragmentos de cerámica se recolectaron durante las excavaciones en el sitio arqueológico de Suta, en Valle de Leiva, de tal manera que no se vieran afectados por la luz solar y la humedad. Las cerámicas —transportadas al Laboratorio de Arqueología en condiciones apropiadas— se lavaron varias veces con agua, para eliminar la contaminación en la superficie y fueron secados a la sombra en un ambiente cerrado. Después de los procesos de lavado y secado, las cerámicas se clasificaron, catalogaron y fotografiaron (Figura 3-9).

Figura 3-9: Los fragmentos recuperados en las excavaciones de los cuatro unidades residenciales del sitio Suta, fueron lavados y clasificados en el Laboratorio de Arqueología del Departamento de Antropología de la Universidad Nacional, Sede Bogotá.



4 Capítulo 4: Metodología

Esta investigación, examina las posibilidades de las exploraciones interdisciplinarias y multidisciplinarias que puedan suministrar conocimientos sobre el material arqueológico incorporado a unidades domésticas de la comunidad Muisca del sitio de Suta en el Valle de Leyva que está ubicado en el Departamento de Boyaca (Colombia) y las discusiones tanto arqueológicas como antropológicas acerca de su longevidad. Para cumplir estos objetivos se realizaron excavaciones en cuatro unidades residenciales³⁶ con el fin de recuperar material cerámico y posteriormente preparadas para la obtención de fechas absolutas utilizando el equipo de Resonancia Paramagnética Electrónica (EPR).

4.1 Excavaciones y extracción de las cerámicas

El sitio de Suta está ubicado cerca del municipio de Sutamarchán en el Departamento de Boyacá, a 170 km de distancia de Bogotá. La región, en donde se encuentra el sitio arqueológico de Suta, presenta un clima entre templado y cálido muy atractivo, lo que hace que sus pueblos expresen que tienen el mejor clima del mundo. La unidad climática se describe como semi-húmeda, caracterizada por una temperatura media anual oscila entre los 16.1°C³⁷, un total anual de evapotranspiración potencial es de 750 mm. Se encuentra una altitud aproximada de 2100 m.s.n.m. El sitio está ubicado en una zona

³⁶ Los cuatro unidades domésticas en yacimiento de Suta, previamente estudiados por los investigadores Henderson & Ostler (2005) y posteriormente también por Fajardo (2009).

³⁷ Los datos meteorológicos se tomaron del estudio "Contribución al Conocimiento del Régimen Térmico y Pluviométrico de Colombia", publicado en la revista Colombia Geográfica volumen XII No. 2, del Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

árida bastante erosionada³⁸ y por esto la vegetación en la zona es escasa y de tipo xerofítica³⁹ cuando esta presente.

Actualmente, el área donde estaban ubicadas las unidades residenciales, se usa para la actividad agrícola, según los ciclos de producción de la región. A causa de esta actividad, en el territorio, se observan perturbaciones de la superficie por actividades de siembra en barbecho, así como por la construcción de invernaderos para la siembra del tomate. De igual manera, se observan alteraciones antrópicas en la remoción de suelos por la construcción de reservorios de agua para el tomate. Además de la bioturbación debida a remoción para agricultura, en cuatro sitios, hay guijarros, pastos, fragmentos plásticos y metálicos, y lombrices de tierra.

En general, se observa un suelo alterado a diferentes niveles por la acción social humana, específicamente, por labores agrícolas, así como algo de material moderno, representando en restos de empaques de pesticidas y algunas tapas de gaseosa. En todo el área los cuatro predios eran utilizados para cultivar principalmente cebolla, y en algunas épocas del año frijol, habichuela, tomate y maíz. Probablemente por esta razón el acercamiento a las comunidades propietarias de esos territorios fue problemática para obtener el permiso para realizar las excavaciones. Después de unos intentos se obtuvo la autorización de forma verbal, con el compromiso de volver a “tapar los huecos”.

El propósito de las excavaciones fue el de recuperar las cerámicas requeridas para abordar los objetivos planteados y la obtención de muestras de suelos⁴⁰ de cada uno de los horizontes que se identifiquen, para realizar los respectivos análisis para la identificación de radionuclidos que permitan precisar la “Dosis Anual” acumuladas en el terreno. Para ello, se accedió a los puntos de excavación mediante un recorrido vehicular sobre una vía terciaria que se extiende por 1 km desde la vía secundaria. Una vez

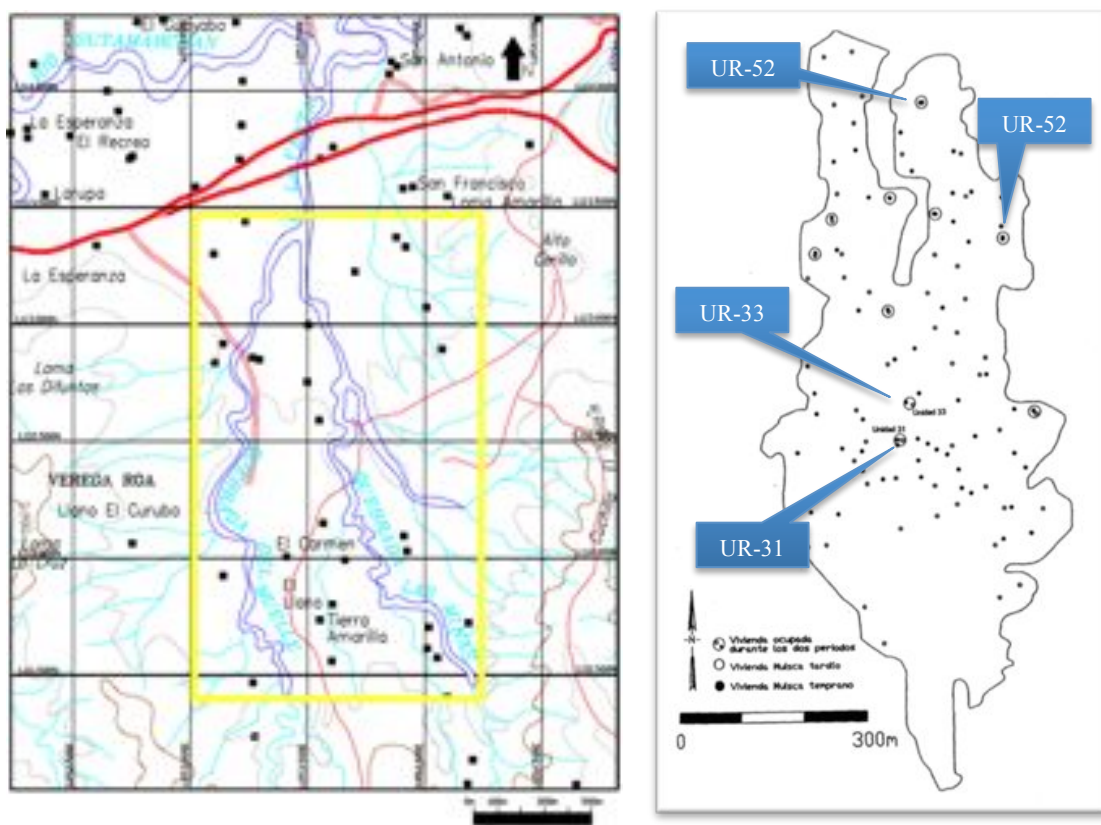
³⁸ El área corresponde principalmente a los municipios de Villa de Leyva, Sutamarchán, Sáchica, Ráquira y Tinjacá.

³⁹ Asociaciones vegetales específicamente adaptadas para la vida en un medio seco.

⁴⁰ El propósito de controlar la tierra circundante, radica en que la radiación emitida por la tierra y por consiguiente la recibida por las cerámicas varía dependiendo de la profundidad del suelo y así afecta el cálculo de la dosis anual. Para ello, se aplicó un sistema de muestreo sistemático que consiste en recolectar el sedimento alrededor del fragmento⁴⁰ a una distancia de máximo 10 cm del lugar.

realizada la localización de las cuatro unidades residenciales (Figura 4-1), que serán abordadas, se estableció un área de excavación mediante el enmallado e instalación de una grilla con cuadrículas de 1m x 1m.

Figura 4-1: La ubicación área de estudio (Izq.). El recuadro amarillo indica la zona donde se ubicaban las unidades domésticas excavadas (Fuente: Fajardo, 2009); distribución espacial de las unidades domésticas ocupadas durante el Muisca Temprano y Muisca Tardío y las 4 unidades residenciales que fueron excavadas (Fuente: Henderson & Ostler, 2005).



Cada área de excavación fue geo-referenciada con GPS⁴¹ y se marco con indicadores de Unidades Residenciales utilizando un consecutivo de dos números de la siguiente forma: UR-31, UR-33, UR-42 y UR-52. Se llevo un control de excavación mediante el uso de estratigrafía métrica con el uso de niveles convencionales arbitrarios no mayores a 10 cm, respetando la presencia de fragmentos de las cerámicas o aquellos "rasgos" que

⁴¹ Sistema de Posicionamiento Global (en inglés, GPS: Global Positioning System).

puedan aparecer durante la evacuación de los niveles. Durante cada una de las excavaciones se realizaron registros escritos, gráficos y fotográficos de las plantas y perfiles, para tener un control horizontal y vertical en la recuperación de las cerámicas del contexto arqueológico.

Las excavaciones fueron realizados primero en UR-33, se siguió con UR-31, luego UR-52 y por ultimo en UR-42. A partir de los 30 cm de profundidad, se evidencia baja densidad de material cultural; a partir de los 50 cm de profundidad, desaparece el rastro antrópico, aunque mantiene el color; a partir de los 60 cm de profundidad, se ve un cambio de color de marrón a beige (Tabla 4-1).

Se realizaron un total de 10 cortes arqueológicos de dimensiones fijas 100 cm x 100 cm en cuatro unidades domésticas⁴² en las zonas donde fue identificada la reproducción de las cerámicas durante los dos períodos de Muisca (Henderson & Ostler; Fajardo, 2009). Al principio, el numero de restos de ceramias hallados en las unidades residenciales de UR-33, UR-42 y UR-52 fue escaso. Por esta razón, se tomó la decisión de extender la cobertura del área de recolección de ceramias. Como resultado, se hicieron seis pozos de sondeo adicionales en la cercanía a los primeros sondeos de estas tres unidades residenciales. Los pozos de sondeo fueron repartidos de esta manera: dos en UR-33, dos en UR-42 y dos mas en UR-52. Estos pozos de sondeo adicionales se diferenciaron con la adición de las letras de “A” y “B” añadiendo al número de la unidad residencial (p.ej. UR-33A, UR-52B).

Despues de la localización de cada Unidad Residencial, se procedió a delimitar una primera cuadrícula. Se colocaron 2 estacas (A y B) a intervalos de 1 m y se trazó la cuadrícula con otras dos estacas (B y D) a partir de las primeras dos estacas. Esta metodología fue aplicada en todas las cudrículas de las cuatro unidades residenciales. Una vez delimitada la cuadrícula, la excavacion se inició. Las excavaciónes se desarrollo mediante el uso de estratigrafíamétrica con el uso niveles convencionales a 10 cm, respetando la presencia de niveles verticales. Cada nivel se definio como una Unidad Estratigráfica (UE) que se codifico con la letra de “L” tomando base de abreviatura de

⁴² Los cuales denominadas como UR-31, UR-33, UR-42, UR-52 (Henderson & Ostler 2005).

“Level” que proviene del idioma inglés. La metodología inicial fue bajar por niveles arbitrarios de 10 cm, ya que al observar la composición del subsuelo, se vio que no existía una estratificación bien definida⁴³. Por esta razón se decidió profundizar hasta los 30 cm para la primera unidad estratigráfica. Las siguientes unidades estratigráficas (desde L2) fueron registradas en cada 10 cm como se había planeado que se permitió asimismo llevar un record continuo y completo de los cambios sucesivos del depósito. Los primeros 30 cm de la tierra están altamente transformados por actividad moderna, lo cual dificultó la excavación y el registro riguroso. Aunque fue así, en todas las unidades residenciales se logra recuperar material cerámico en alta densidad en la primera unidad estratigráfica.

La textura edáfica del suelo en estos primeros centímetros es franco, arcilloso de consistencia compacta, con presencia de raíces, alta bioturbación debido a remoción para agricultura se observan guijarros, pastos, así como fragmentos plásticos y también lombrices de tierra (Tabla 4-1). En los niveles más profundos la textura es areno arcillosa, poca bioturbación o nula y la densidad del registro arqueológico es de media a baja. Los suelos excavados presentan una ligera humedad en los primeros niveles y seco después de 40 cm. La plasticidad del suelo es alta en las primeras unidades estratigráficas y muy baja en los niveles más profundos (Tabla 4-2).

⁴³ Por la actividad de agricultura, la tierra estaba demasiado revuelto.

Tabla 4-1: Las observaciones de las condiciones ambientales del suelo concluidos durante el proceso de excavaciones en los 10 pozos de sondeo de las unidades residenciales de UR-31, UR-33, UR42 y UR-52.

Unidades Estratigráficas	PROFUNDIDAD (cm)	Bioturbacion	CERAMICA	OBSERVACIONES
UR-31-L1	0-30	Alta: Raíces Finas, Lombrices De Tierra, Elementos Metálicos Y Plásticos	POSITIVO	Antroposol, suelo con evidencia de nitratos e hidratos producto de quemas y adecuaciones para agricultura
UR-31-L2	30-40	Media: Raíces Finas	POSITIVO	Suelo antrópico.
UR-31-L3	40-50	Nula	POSITIVO	Suelo antrópico.
UR-31-L4	50-60	Nula	NEGATIVO	Nivel estéril.
UR-33A-L1	0-10	Alta: Raíces Finas, Raíces Gruesas.	POSITIVO	Antroposol. Suelo con evidencia de nitratos e hidratos producto de quemas y adecuaciones para agricultura. Positivo para material cultural. Media densidad de material cerámico. Suelos color oliva marrón
UR-33A-L2	10-20	Alta: Raíces Finas, Raíces Gruesas.	POSITIVO	Antroposol. Suelo con evidencia de nitratos e hidratos producto de quemas y adecuaciones para agricultura. Positivo para material cultural. Baja densidad de material cerámico. Suelos color oliva - marrón oscuro
UR-33A-L3	20-30	Nula	POSITIVO	Suelo antrópico. Positivo para material cultural. Media densidad de material cerámico. Suelos color oliva - marrón oscuro
UR-33A-L4	30-40	Nula	POSITIVO	Suelo antrópico. Positivo para material cultural. Baja densidad de material cerámico. Suelos color amarillo ocre grisaseo
UR-33A-L5	40-50	Nula	POSITIVO	Suelo antrópico. Positivo para material cultural. Baja densidad de material cerámico. Suelos color amarillo ocre grisaseo

UR-33A-L6	50-60	Nula	NEGATIVO	Suelo antrópico. Negativo para material cultural. Suelos color gris oliva
UR-33B-L1	0-20	Media: Raíces Finas	POSITIVO	Antroposol. Suelo con evidencia de nitratos e hidratos producto de quemas y adecuaciones para agricultura. Positivo para material cultural. Media densidad de material cerámico. Suelos color gris
UR-33B-L2	20-30	Media: Raíces Finas	POSITIVO	Antroposol. Suelo con evidencia de nitratos e hidratos producto de quemas y adecuaciones para agricultura. Positivo para material cultural. Media densidad de material cerámico. Suelos color oliva grisaseo
UR-33B-L3	30-40	Baja: Raíces Finas.	POSITIVO	Suelo antrópico. Positivo para material cultural. Media densidad de material cerámico. Suelos color oliva grisaseo.
UR-33B-L4	40-50	Nula	POSITIVO	Suelo antrópico. Positivo para material cultural. Baja densidad de material cerámico. Suelos color amarillo oliva.
UR-33-L1	0-30	Alta: Raíces Finas, Raíces Gruesas.	POSITIVO	Antroposol. Suelo con evidencia de nitratos e hidratos producto de quemas y adecuaciones para agricultura
UR-33-L2	30-40	Baja: Raíces Finas.	POSITIVO	Suelos medianamente alterados por acción antrópica, específicamente por filtración de nutrientes químicos de los estratos superficiales.
UR-33-L3	40-50	Baja: Raíces Finas.	POSITIVO	Suelo antrópico. Suelos poco alterados por acción social humana
UR-33-L4	50-60	Nula	NEGATIVO	Nivel estéril.
UR-42A-L1	0-10	Alta: Raíces Finas, Raíces Gruesas.	POSITIVO	Suelo antrópico. Suelo con evidencia de nitratos e hidratos producto de quemas y adecuaciones para agricultura. Positivo para material cultural. Baja densidad de material cerámico. Suelos color amarillo.
UR-42A-L2	10-20	Nula	NEGATIVO	Nivel estéril. Suelos color amarillo.
UR-42A-L3	20-30	Nula	POSITIVO	Suelo antrópico. Suelo con evidencia de nitratos e hidratos producto de quemas y adecuaciones para agricultura. Positivo para material cultural. Baja densidad de material cerámico. Suelos color marrón

				claro.
UR-42A-L4	30-40	Nula	NEGATIVO	Nivel estéril. Color marrón amarillo (yellowish brown).
UR-42B-L1	0-10	Media: Raices Finas	POSITIVO	Antroposol. Suelo con evidencia de nitratos e hidratos producto de quemas y adecuaciones para agricultura. Color oliva grisaseo
UR-42B-L2	10-20	Media: Raices Finas	POSITIVO	Antroposol. Positivo para material cultural. Baja densidad de material cerámico. Suelo con evidencia de nitratos e hidratos producto de quemas y adecuaciones para agricultura.
UR-42B-L3	20-30	Nula	POSITIVO	Suelo antrópico. Positivo para material cultural. Baja densidad de material cerámico. Suelos color oliva
UR-42B-L4	30-40	Nula	NEGATIVO	Nivel estéril. Negativo para material cultural. Suelos color oliva grisaseo
UR-42B-L5	40-50	Nula	NEGATIVO	Nivel estéril. Suelos color amarillo oliva
UR-42-L1	0-30	Alta: Raices Finas, Lombrices De Tierra, Elementos Metálicos Y Plasticos	POSITIVO	Antroposol. Suelo con evidencia de nitratos e hidratos producto de quemas y adecuaciones para agricultura
UR-42-L2	30-60	Alta: Raices Finas, Lombrices De Tierra, Elementos Metálicos Y Plasticos	POSITIVO	Observamos baja densidad de material cultural a partir de los 30 cm de profundidad, a partir de 50 cm de profundidad desaparece rastro antrópico, aunque mantiene color. A partir de los 60 cm de profundidad observamos cambio de color, pasando de marrón a beige.
UR-52A-L1	0-20	Baja: Raíces Finas.	POSITIVO	Antroposol. Suelo con evidencia de nitratos e hidratos producto de quemas y adecuaciones para agricultura. Color oliva grisaseo
UR-52A-L2	20-30	Baja: Raíces Finas.	POSITIVO	Suelo antrópico. Positivo para material cultural. Media densidad de material cerámico. Suelos color oliva
UR-52A-L3	30-40	Nula	POSITIVO	Suelo antrópico. Positivo para material cultural. Baja densidad de material cerámico. Suelos color amarillo ligero

UR-52A-L4	40-50	Nula	NEGATIVO	Nivel estéril. Suelos color amarillo ocre
UR-52B-L1	0-20	Alta: Raíces Finas, Raíces Gruesas.	POSITIVO	Suelo antrópico. Negativo para material cultural. Suelo con evidencia de nitratos e hidratos producto de quemas y adecuaciones para agricultura. Suelos color marrón claro
UR-52B-L2	20-30	Nula	NEGATIVO	Suelo antrópico. Negativo para material cultural. Suelos color oliva
UR-52B-L3	30-40	Nula	NEGATIVO	Nivel estéril. Suelos color amarillo
UR-52-L1	0-30	Alta: Raíces Finas, Lombrices De Tierra, Elementos Metálicos Y Plásticos	POSITIVO	Antroposol. Suelo con evidencia de nitratos e hidratos producto de quemas y adecuaciones para agricultura
UR-52-L2	30-40	Baja: Raíces Finas.	POSITIVO	Suelo antrópico.
UR-52-L3	40-50	Baja: Raíces Finas.	POSITIVO	Suelo antrópico.
UR-52-L4	50-65	Baja: Raíces Finas.	POSITIVO	Suelo antrópico. A partir de 60 cm nivel estéril.

Tabla 4-2: Las características físicas del suelo excavada en los 10 pozos de sondeo de las unidades residenciales de UR-31, UR-33, UR42 y UR-52.

<i>Unidades Estratigráficas</i>	<i>Profundidad (Cm)</i>	<i>Dimensiones</i>	<i>Tipo Suelo</i>	<i>Humedad</i>	<i>Textura</i>	<i>Compacción</i>	<i>Consistencia</i>	<i>Plasticidad</i>	<i>Estructura</i>	<i>Tamaño Del Grano</i>
UR-31-L1	0-30	1 m x 1 m x 0,3 m	FRANCO - ARCILLOSO - ARENOSO	LIGERA	GRANULOSA	BAJA	FRIABLE	MEDIA	GRANULAR	FINO
UR-31-L2	30-40	1 m x 1 m x 0,1 m	ARCILLOSO - ARENOSO	LIGERA	GRANULOSA	BAJA	FRIABLE	MEDIA	GRANULAR	FINO
UR-31-L3	40-50	1 m x 1 m x 0,1 m	ARCILLOSO - ARENOSO	SECO	GRANULOSA	ALTA	COMPACTA	BAJA	GRANULAR	FINO
UR-31-L4	50-60	1 m x 1 m x 0,1 m	ARCILLOSO - ARENOSO	SECO	GRANULOSA	ALTA	CEMENTADA	BAJA	LAMINAR	FINO
UR-33A-L1	0-10	1 m x 1 m x 0,1 m	FRANCO - ARCILLOSO - ARENOSO	LIGERA	LAMINAR	BAJA	FRIABLE	ALTA	GRANULAR	FINO
UR-33A-L2	10-20	1 m x 1 m x 0,1 m	FRANCO - ARCILLOSO - ARENOSO	LIGERA	LAMINAR	BAJA	COMPACTA	MEDIA	GRANULAR	FINO
UR-33A-L3	20-30	1 m x 1 m x 0,1 m	ARCILLOSO - ARENOSO	LIGERA	GRANULOSA	MEDIA	COMPACTA	BAJA	GRANULAR	FINO
UR-33A-L4	30-40	1 m x 1 m x 0,1 m	ARCILLOSO - ARENOSO	LIGERA	GRANULOSA	MEDIA	COMPACTA	BAJA	GRANULAR	FINO
UR-33A-L5	40-50	1 m x 1 m x 0,1 m	ARCILLOSO - ARENOSO	LIGERA	GRANULOSA	MEDIA	COMPACTA	BAJA	GRANULAR	FINO
UR-33A-L6	50-60	1 m x 1 m x 0,1 m	ARCILLOSO - ARENOSO	LIGERA	GRANULOSA	ALTA	COMPACTA	BAJA	GRANULAR	MEDIO
UR-33B-L1	0-20	1 m x 1 m x 0,2 m	ARCILLOSO - ARENOSO	LIGERA	LAMINAR	BAJA	FRIABLE	MEDIA	GRANULAR	FINO
UR-33B-L2	20-30	1 m x 1 m x 0,1 m	ARCILLOSO - ARENOSO	LIGERA	GRANULOSA	MEDIA	COMPACTA	MEDIA	GRANULAR	FINO
UR-33B-L3	30-40	1 m x 1 m x 0,1 m	ARCILLOSO - ARENOSO	LIGERA	GRANULOSA	MEDIA	FRIABLE	BAJA	GRANULAR	FINO
UR-33B-L4	40-50	1 m x 1 m x 0,1 m	ARCILLOSO - ARENOSO	SECO	GRANULOSA	ALTA	COMPACTA	BAJA	GRANULAR	MEDIO
UR-33-L1	0-30	1 m x 1 m x 0,3 m	FRANCO - ARCILLOSO - ARENOSO	LIGERA	GRANULOSA	BAJA	FRIABLE	MEDIA	GRANULAR	FINO
UR-33-L2	30-40	1 m x 1 m x 0,1 m	ARCILLOSO - ARENOSO	LIGERA	GRANULOSA	BAJA	FRIABLE	MEDIA	GRANULAR	FINO
UR-33-L3	40-50	1 m x 1 m x 0,1 m	ARCILLOSO - ARENOSO	LIGERA	GRANULOSA	MEDIA	COMPACTA	BAJA	GRANULAR	FINO
UR-33-L4	50-60	1 m x 1 m x 0,1 m	ARCILLOSO - ARENOSO	SECO	GRANULOSA	MEDIA	COMPACTA	BAJA	GRANULAR	FINO

En la Unidad Residencial UR-31 ubicada en la parte central del asentamiento, en las primeras tres unidades estratigráficas se encontraron fragmentos de cerámicas mientras en la última unidad estratigráfica (L4) no se hallaron (Tabla 4-3). El conjunto cerámico de la unidad residencial UR-31 se compone de 70 fragmentos de los cuales solo 1 fragmento corresponde al tipo de Suta Naranja Pulido (Muisca Tardío). La cerámica del periodo temprano de UR-31 es abundantemente y representa el 99% del total de fragmentos encontrados en el sitio.

La Unidad Residencial UR-33 esta localizada en la parte central del asentamiento, un poco más al nororiente de la UR-31. En esta unidad residencial se halló el mayor número de fragmentos (en un total de 230) que estaba distribuido en todos niveles de unidades estratigráficas (Tabla 4-3). Sin embargo en el último nivel se encontró solo un fragmento de cerámica. De este conjunto fueron reconocidas 8 cerámicas del tipo de Suta Naranja Pulido (Muisca Tardío).

La Unidad Residencial UR-42 se encuentra ubicada en la zona más al este del sector nororiental del asentamiento. Al igual que en las otras, en esta unidad la mayoría de los fragmentos cerámicos están relacionados con el periodo temprano, como los que se encontraron en las primeras tres unidades estratigráficas. El material recuperado consta de 44 fragmentos cerámicos conformados en su gran mayoría por elementos del tipo Suta Arenoso (40) y solo los 4 fragmentos correspondían al tipo de Suta Naranja Pulido (Tabla 4-3). La UR-42 proporcionó menor número de fragmentos entre las cuatro unidades residenciales.

La Unidad Residencial UR-52 esta ubicada en la parte más norte del asentamiento, en el sector nororiental. En esta área se encontraron fragmentos de cerámica en las primeras cuatro unidades estratigráficas, mientras que en la última UE no se encontraron cerámicas asociadas. A este conjunto pertenecen 66 fragmentos cerámicos, 8 de ellos se asocian al tipo de Suta Naranja Pulido del periodo de Muisca Tardío (Tabla 4-3).

Los fragmentos de cerámicas recuperados de cada pozo de sondeo se almacenaron de forma grupal (para cada una de las unidades estratigráficas) en una bolsa que fue marcada con el indicativo de la unidad residencial y el número que tenía la unidad estratigráfica (p.ej. UR-31/L1, UR-42/L3 etc.).

Tabla 4-3: Las cerámicas recuperados y su distribución en las unidades residenciales.

<i>Unidades Estratigráficas</i>	UR-31		UR-33		UR-42		UR-52		<i>Total fragmentos</i>	
	<i>Tem</i>	<i>Tar</i>	<i>Tem</i>	<i>Tar</i>	<i>Tem</i>	<i>Tar</i>	<i>Tem</i>	<i>Tar</i>	<i>Tem</i>	<i>Tar</i>
L1 (0-30 cm)	43	1	65	2	21	4	17	2	146	9
L2 (30-40 cm)	25	0	88	4	14	0	26	4	153	8
L3 (40-50 cm)	1	0	36	2	5	0	44	1	86	3
L4 (50-60 cm)	0	0	32	0	0	0	1	1	33	1
L5 (60-80 cm)	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
Total ceramicas	69	1	222	8	40	4	88	8	419	21

Tem=Ceramica de tipo Suta arenoso, Tar= Ceramica de tipo Suta Naranja Pulido

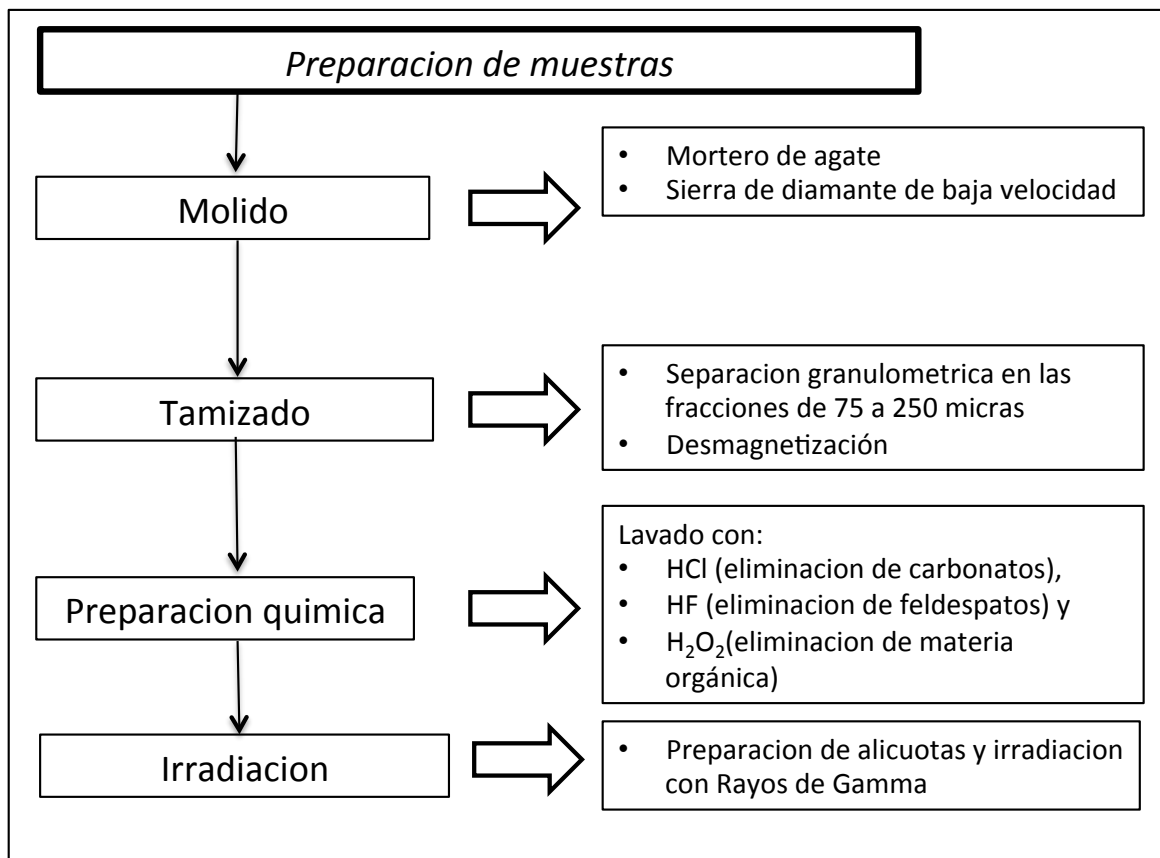
En términos generales podemos decir que el área intervenida en el presente trabajo, permitió la recuperación de 440 fragmentos de cerámica la mayoría de las cuales están relacionadas con el periodo de Muisca Temprano (Tabla 4-3). Este periodo está representado por una muestra extensa de material cerámico (419 fragmentos) en 4 de las unidades residenciales excavadas. La densidad de material arqueológico recuperado para las unidades estratigraficas 1 y 2 (0-40 cm) es alta, para la unidades estratigraficas 3 y 4 (40-60 cm) es moderada y para la unidad estratigráfica 5 es a muy baja o nula.

La UR-31 representa la mayor cantidad de toda la ceramica temprana encontrada que indica que la UR-31 tuvo un tamaño mayor que el resto de las unidades, como se identificó también en el trabajo de Fajardo (2009). Esta unidad residencial se encontraba realizando actividades que convocaban a la comunidad o fue ocupada de manera intensa y continua durante todo el periodo. Fajardo (2009:99) realizo analisis las diferencias entre las unidades domésticas respecto a las tres líneas de evidencia: la densidad de cerámica, la decoración y las formas cerámicas asociadas a consumo de chicha. Según el autor, cualquiera de estas características pueden estar relacionadas con índice de prestigio y/o riqueza. Las unidades UR-33, UR-42 y UR-52 también tienen densidades considerables sin embargo se encuentran por debajo de la media de fragmentos para el periodo temprano (Fajardo 2009: Tabla 4 y 5).

4.2 Preparación físico-química de las cerámicas

Para el proceso de datación con el equipo de Resonancia Paramagnética Electrónica, según el protocolo que hemos creado (Figura 4-2), las cerámicas se sometieron a preparación física en el Laboratorio de Resonancia Paramagnética Electrónica del Departamento de Física de la Universidad Nacional; después, se hizo la preparación química en el Laboratorio de Macromoléculas del Departamento de Química de la Universidad Nacional y, por último, las piezas se llevaron a Alemania, para realizar las mediciones con el equipo de EPR en Experimental Physics-V del Institut für Physik de la Universität Augsburg, en la ciudad de Augsburg.

Figura 4-2: La preparación física y química de los fragmentos de cerámica para el proceso de medición con ESR.



Para iniciar el proceso de preparación física de las cerámicas (Figura 4-3), se comenzó cortando aproximadamente 2 milímetros externos de cada fragmento con un pequeño Moto-Tool (sierra) de baja velocidad, para eliminar el material exterior que estuvo

expuesto a la luz y el efecto de los rayos- α durante la recolección (Aitken, 1985). Las muestras se rompieron cuidadosamente en trozos grandes, y se molieron en un mortero de ágata con suaves pasos de tapping, que no crearon efectos mecánicos de manera radical; posteriormente, se tamizó para obtener el objetivo: arena de cuarzo de grano de muy fino a fino. Las muestras molidas se pasaron a través de tamices de 250 μm y 75 μm , respectivamente, y todas las muestras $250\mu\text{m} > \text{muestra} > 75 \mu\text{m}$ de tamaño de grano que es apropiadas para la EPR.

Figura 4-3: El proceso de preparación física y química de los fragmentos: cortado (imágenes superiores), molido (inferior izquierda) y tamizado (inferior derecha).



Luego, las muestras cerámicas se sometieron a un múltiple ataque químico (Figura 4-4). Primero, se dejaron en HCl al 36% durante una noche, para disolver los carbonatos, evitar los defectos superficiales resultantes del tamizado, eliminar los compuestos orgánicos y evitar la formación de precipitados de fluorita (Rittenour et al., 2005; 2015).

Después del lavado con HCl, las cerámicas se limpiaron varias veces con agua pura, para eliminar los restos de ácido, y se dejaron secar en horno a 50° C. Posteriormente, las muestras secas se dejaron en una solución al 48 % de HF, durante 30 minutos. Aquí el efecto esperado del HF era raspar las capas delgadas de la superficie de los granos de cuarzo, para limpiar la superficie y ayudarla a recuperarse de los efectos de las partículas α (Li, 2001), así como para eliminar los feldespatos. Luego, se enjuagaron repetidamente con agua destilada y se secaron a 50 ° C en un horno. Más adelante, se lavaron con 30 % H_2O_2 durante 3 horas, para eliminar la materia orgánica; por último, se lavaron varias veces con agua destilada y se dejaron a secar en el horno a 50° C (Figura 4-5).

Figura 4-4: El proceso de lavado de las muestras molidas de la cerámica con HCl y HF, realizado en el Laboratorio de Macromoléculas del Departamento de Química de la Universidad Nacional, sede Bogotá.



Figura 4-5: El lavado de las muestras de cerámica en polvo con H_2O_2 .



Por último, se aplicó el método de separación magnética, con la ayuda de un imán, para eliminar (limpiar) los materiales magnéticos (particularmente la hematita) en las muestras en polvo de cerámica (Figura 4-6). Esto debido a que los iones Fe (III) impiden el enfoque de la cerámica por fechar, que siempre contiene hierro. Después de los tratamientos químicos, cada muestra se dividió en 10 alícuotas, que, posteriormente, serían irradiadas con una fuente de rayos gamma panorámica de ^{60}Co ; esta se realizó en el Servicio Geológico Colombiano, en Bogotá.

Figura 4-6: El proceso de separación magnética, usado para limpiar los materiales magnéticos en las muestras de cerámicas en polvo, con la ayuda de un imán.



4.3 Irradiación artificial de las muestras de cerámica

Una suposición general sobre la datación EPR es que la irradiación artificial genera la misma curva de crecimiento que la irradiación natural. Esto justifica el método de dosis aditiva (Grün, 1989) para determinar la dosis arqueológica. Sin embargo, la curva que describe el crecimiento de las señales de EPR en función de la irradiación natural generalmente no se conoce. La única información sobre esta función se puede obtener de la curva generada por la irradiación artificial. Esta requiere que el crecimiento de las señales de EPR dependa exclusivamente de la dosis recibida. Por lo tanto, el procedimiento habitual en la datación EPR consiste en medir la señal natural de una muestra arqueológica.

Para esto, las muestras se someten a irradiación artificial, que, en el método de dosis adicional, se usa para calibrar la intensidad de la señal. Este proceso actúa como una máquina del tiempo, que conduce a un estado de concentración del espín en la determinación de la edad EPR⁴⁴. El principio general de este proceso se basa en envejecer artificialmente el material, aplicando una irradiación artificial de varias alícuotas⁴⁵ a dosis secuencial. El objetivo de este proceso es observar el progreso de la señal EPR con la dosis agregada.

Con el fin de determinar la susceptibilidad a la radiación de estos centros paramagnéticos de la muestra natural, se prepararon 90 paquetes de aproximadamente 100-200 mg⁴⁶ cada uno (Figura 4-7), se irradiaron con dosis de 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800 y 900 Gy, los cuales se repartieron en nueve paquetes. Las muestras de polvo previamente preparadas se almacenaron en tubos para microcentrífuga⁴⁷. Estos son pequeños contenedores plásticos de forma cilíndrica, que tienen un fondo cónico con una tapa unida al cuerpo. Se colocaron todas las muestras, simultáneamente, en las placas de Petri de plástico desechable, estéril y transparente (100 × 15 mm), con tapa.

⁴⁴ Conocida como la dosis agregada.

⁴⁵ Subconjunto de la misma cerámica molida.

⁴⁶ Porque los tamaños de los fragmentos cerámicos eran variados.

⁴⁷ Usualmente denominados "Eppendorf", en referencia al fabricante Eppendorf.

Figura 4-7: La preparación de las muestras de cerámica para la irradiación artificial.



La fuente de ^{60}Co -gamma en el Servicio Geológico Colombiano se usó para el proceso de irradiación (Figura 4-8). Durante la irradiación, se colocaron 3 dosímetros de alanina Gamma Crome YR de un rango de 01 a 3 Gy entre las muestras, con el objetivo de controlar la dosis de irradiación realmente recibida por cada muestra. Las muestras se ubicaron en una pantalla de PMMA transparente a la radiación, y se elevaron para que quedaran en el centro geométrico de la fuente, a una distancia de 30 cm.

La irradiación de las muestras de cerámica se llevó a cabo en un equipo estándar de irradiación de ^{60}Co , en el Laboratorio de Fuente Gamma del Instituto de Minas y Energía del Servicio Geológico Colombiano, a temperatura ambiente y a una tasa de dosis promedio de 8Gy/min. Se irradiaron 81 alícuotas en total, pertenecientes a cuatro unidades domésticas, en un rango comprendido entre los 100 y 900Gy⁴⁸ (Tabla 4-4).

⁴⁸ Las irradiaciones se hicieron con altas dosis, debido a que no se pueden asegurar bajas dosis en este equipo, por tratarse de una unidad estándar.

Figura 4-8: La preparación de las muestras de cerámica para la irradiación artificial en el Instituto de Minas y Energía del Servicio Geológico Colombiano en Bogotá.



Tabla 4-4: La relación entre las muestras irradiadas y sus dosis.

Muestra #1	Muestra #2	Muestra #3	Muestra #4	Muestra #5	Muestra #6	Muestra #7	Muestra #8	Muestra #9	Dosis suministrada (Gy)	Dosis Real (Gy)	Desviación
UR31-L1Tard	Temp31-51Tard	Temp33-27Tard	UR52-L3Tard	Temp31-53Temp	UR52-L3Temp	UR31-L2Temp	UR42-L1Temp	UR33-L3Temp	100	75.5	7.8
UR31-L1Tard	Temp31-51Tard	Temp33-27Tard	UR52-L3Tard	Temp31-53Temp	UR52-L3Temp	UR31-L2Temp	UR42-L1Temp	UR33-L3Temp	200	173.0	5.6
UR31-L1Tard	Temp31-51Tard	Temp33-27Tard	UR52-L3Tard	Temp31-53Temp	UR52-L3Temp	UR31-L2Temp	UR42-L1Temp	UR33-L3Temp	300	249.7	11.0
UR31-L1Tard	Temp31-51Tard	Temp33-27Tard	UR52-L3Tard	Temp31-53Temp	UR52-L3Temp	UR31-L2Temp	UR42-L1Temp	UR33-L3Temp	400	400.7	19.4
UR31-L1Tard	Temp31-51Tard	Temp33-27Tard	UR52-L3Tard	Temp31-53Temp	UR52-L3Temp	UR31-L2Temp	UR42-L1Temp	UR33-L3Temp	500	585.7	15.9
UR31-L1Tard	Temp31-51Tard	Temp33-27Tard	UR52-L3Tard	Temp31-53Temp	UR52-L3Temp	UR31-L2Temp	UR42-L1Temp	UR33-L3Temp	600	612.3	35.9
UR31-L1Tard	Temp31-51Tard	Temp33-27Tard	UR52-L3Tard	Temp31-53Temp	UR52-L3Temp	UR31-L2Temp	UR42-L1Temp	UR33-L3Temp	700	719.0	13.1
UR31-L1Tard	Temp31-51Tard	Temp33-27Tard	UR52-L3Tard	Temp31-53Temp	UR52-L3Temp	UR31-L2Temp	UR42-L1Temp	UR33-L3Temp	800	696.0	14.2
UR31-L1Tard	Temp31-51Tard	Temp33-27Tard	UR52-L3Tard	Temp31-53Temp	UR52-L3Temp	UR31-L2Temp	UR42-L1Temp	UR33-L3Temp	900	869.3	28.7
UR31-L1Tard	Temp31-51Tard	Temp33-27Tard	UR52-L3Tard	Temp31-53Temp	UR52-L3Temp	UR31-L2Temp	UR42-L1Temp	UR33-L3Temp	000*	000*	000*

4.4 Procesos analíticos con Resonancia Paramagnética Electrónica

Con el fin de investigar la idoneidad de las muestras de cerámica en la determinación de la edad mediante EPR, se deben buscar centros paramagnéticos que sean susceptibles a la irradiación natural en minerales de cuarzo y que puedan usarse para la determinación de la edad.

Para poder utilizar la técnica de datación por EPR, las cerámicas deben cumplir tres criterios. Estos criterios son: debe haber una señal de ESR inducida por radiación estable en el cuarzo (1), esta señal debe ser medible a niveles de daño por radiación similares a los que se esperan encontrar en artefactos cerámicos (2), y La intensidad de la señal debe ser lineal (3) con respecto a la dosis de radiación absorbida (Maurer, 1980). Para lograr el objetivo de desarrollar una técnica de datación de cerámica alternativa, se

disponían de dos vías de investigación. El primero fue comenzar de inmediato con materiales arqueológicos, encontrar un pico adecuado en sus espectros ESR y luego identificar la fuente de la señal.

Debido a los diferentes tipos de centros paramagnéticos en la cerámica y a las diferencias en su comportamiento, el primer objetivo del estudio fue determinar estos tipos, sus dependencias características de la temperatura, la estabilidad en el tiempo y la irradiación. La edad de las muestras investigadas se obtiene dividiendo la dosis de radiación, determinada por la concentración de especies paramagnéticas generadas por la irradiación, por la dosis natural (Ikeya, 1993; Rink, 1997; Smart & Frances, 1991). Como la arcilla —después de su cocción a la temperatura adecuada— se convierte en cerámica, el primer objetivo de las mediciones con EPR fue detectar los centros paramagnéticos de la cerámica irradiada con rayos gamma y a diferentes temperaturas.

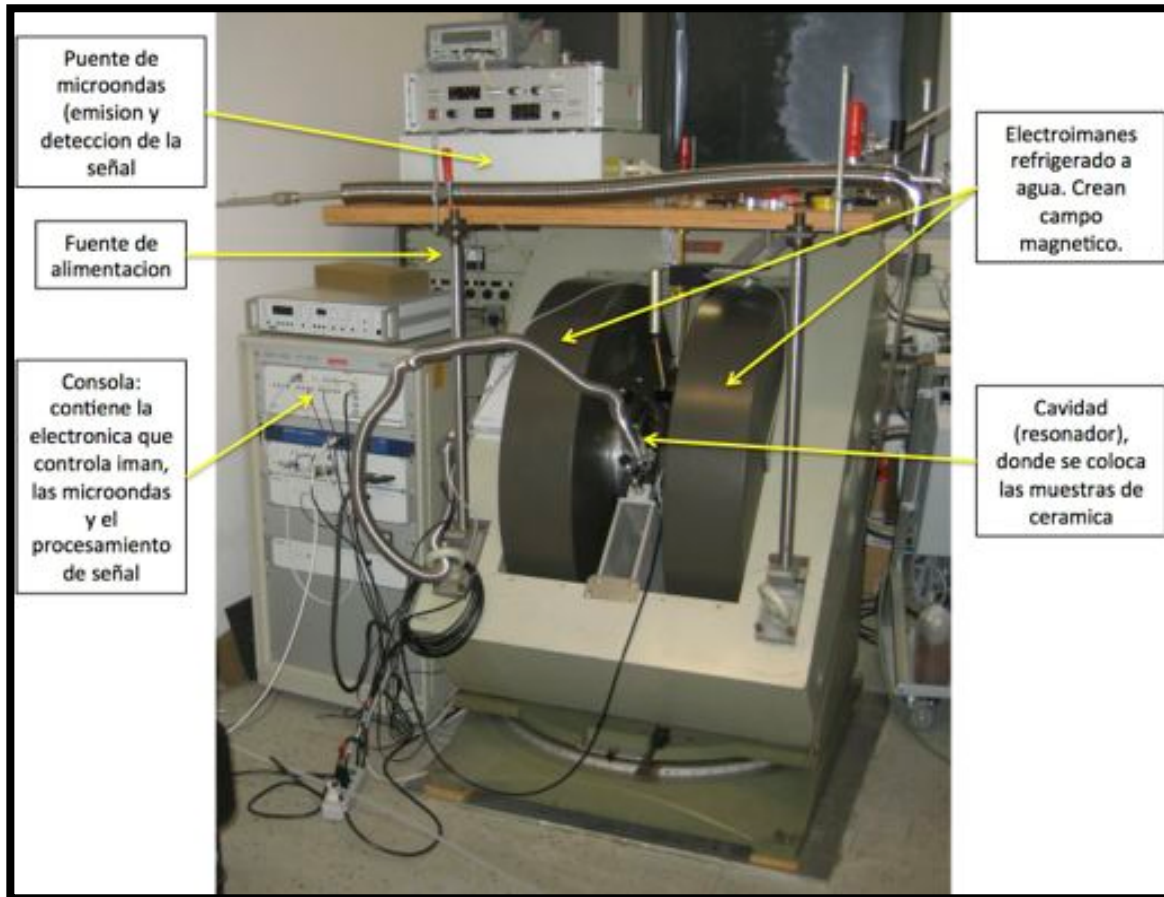
En un equipo comercial de Resonancia Paramagnética Electrónica (Figura 4-9), la fuente de radiación electromagnética y el detector se hallan en un puente de microondas, que contiene el Klystron y el detector. Esta fuente de microondas es generalmente un oscilador electrónico, que proporciona una alta potencia de radiofrecuencia. La muestra que se va a investigar se sitúa en el interior de la cavidad⁴⁹, que es básicamente una caja metálica, la cual permite incrementar las señales que provee la muestra. Esta cavidad se ubica entre los polos de dos electroimanes; estos realizan el escaneo del campo magnético; de esa manera, permiten que la diferencia energética entre los niveles electrónicos concuerde con la frecuencia de la radiación incidente. Finalmente, se dispone de un sistema de control, que coordina varias unidades y registra los datos de salida.

El registro de las señales de Resonancia Paramagnética Electrónica utiliza un sistema conocido como Detección Sensible a la Fase, que optimiza la sensibilidad del equipo, descartando gran parte del ruido de fondo y las inestabilidades de la línea base. El equipo de EPR es aplicable para cualquier estado físico de los materiales, y efectivamente se pueden obtener espectros del material sólido, en disoluciones líquidas o

⁴⁹ Generalmente, la cavidad puede ser de forma cilíndrica o rectangular.

congeladas, en forma de polvo, monocristal e incluso en fase gas. En este estudio, se utilizaron para conocer la respuesta paramagnética de las cerámicas en polvo.

Figura 4-9: El espectrómetro de EPR de marca Bruker Elexsys 500 CW, con banda X de onda continua, en el laboratorio Experimentalphysik V de la Universität Augsburg en Alemania.



4.4.1 Preparación de las muestras para la mediciones de EPR

Antes de empezar con las mediciones, se pesaron las muestras de cerámica preparadas en polvo, con un resultado de aproximadamente 30 miligramos de peso, y se usaron tubos de cuarzo con diámetros de 3-5 mm y longitudes de 20-25 cm (Figura 4-10). El proceso de pesaje se llevó a cabo en una báscula electrónica de cuatro dígitos, con una

sensibilidad de 0,1 mg, de un peso máximo de 120 gramos, de la marca Sartorius. Las bocas de los tubos de medición se cubrieron con Parafilm, para que las muestras no se vieran afectadas por la humedad durante las mediciones.

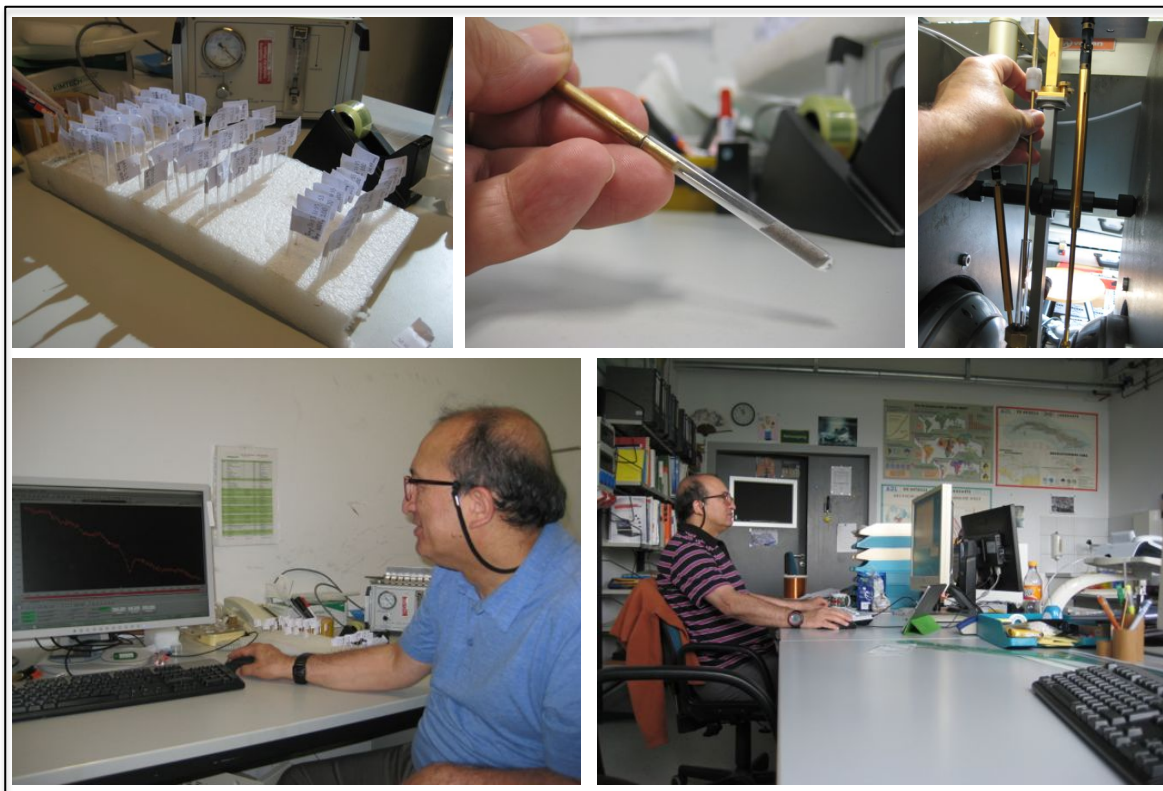
Los espectros de las muestras de las cerámicas irradiadas se obtuvieron en el laboratorio de Resonancia Paramagnética Electrónica-EPR de la Universität Augsburg, en la ciudad de Augsburg, Alemania. Estas mediciones se realizaron a temperatura ambiente en un espectrómetro Bruker Elexsys 500 CW, banda X y de onda continua, que operaba a una frecuencia de modulación de 100 kHz, una frecuencia de microondas de 9.78 GHz y una potencia de microondas de 0.2 mW. La configuración experimental se muestra en el diagrama. Como generador de microondas, se utilizó un puente oscilante Dual Gunn. El resonador (Bruker ER4102ST) fue una cavidad rectangular TE₁₀₂ con una frecuencia central de 9.75 GHz. La muestra se montó en un pequeño tubo de vidrio dentro del resonador. Un electroimán refrigerado por agua permite barridos de hasta 18 kG. Para medidas dependientes de la temperatura, se utilizaron diferentes criostatos: un criostato de flujo continuo ESR910 de Oxford Instruments para líquido He (1.9 K - 300 K), y un criostato de nitrógeno Bruker VT3000 (100 K - 700 K). El espectrómetro está equipado con un goniómetro controlado por computadora (resolución: 0.125°), que permite el registro de alta precisión de espectros angulares dependientes en cristales individuales.

Los espectros de EPR de muestras se registraron a temperatura ambiente, con una exploración de campo magnético de 0-500 mT, un campo central de 250 mT, un ancho de campo de modulación de 0.12 mT, un tiempo de exploración de 30 s, una potencia de microondas de 1 mW y una frecuencia de microondas de aproximadamente 9.24 GHz (Figura 4-11).

Figura 4-10: Preparación de las muestras para las medidas con EPR en el Laboratorio de Probenvorbereitung, en el Instituto de Física de la Universidad de Augsburg, Alemania.



Figura 4-1: Las mediciones fueron tomadas en los Laboratorios de Resonancia Paramagnética Electrónica, y posteriormente los análisis de los espectros y las primeras evaluaciones de los resultados fueron realizados en el Instituto de Física de la Universidad de Augsburg, Alemania.



Para las mediciones con EPR de las muestras de cerámica, se utilizaron los parámetros de configuraciones habituales de forma predeterminada en este trabajo (Tabla 4-5).

La elección de la amplitud de modulación fue un compromiso entre una mayor relación de señal de amplitud a ruido y la influencia de la forma espectral. Según Grün et al. (1987), la amplitud de modulación para las mediciones de cerámica debe estar en un rango de entre dos y cinco Gauss.

Tabla 4-5: Parámetros de adquisición de las medidas por Resonancia Paramagnética Electrónica (*EPR*) utilizados para las muestras de cerámica de cuarzo del yacimiento de Suta, Valle de Leiva.

Campo magnético	
Área central:	3480 G
Ancho de escaneo:	40G
Tiempo de escaneo:	41 s, 336 s
Resolución (número de puntos de datos):	1024 puntos
Microondas	
Potencia de microondas:	2 mW
Frecuencia de microondas:	9,79 GHz
Señal	
Frecuencia de modulación:	100 kHz
Modulación Amplitud:	2G
Constante de tiempo:	655ms
Ganancia:	30 a 40 dB
Número de escaneos:	2 - 100.

4.4.2 Espectros paramagnéticos de EPR

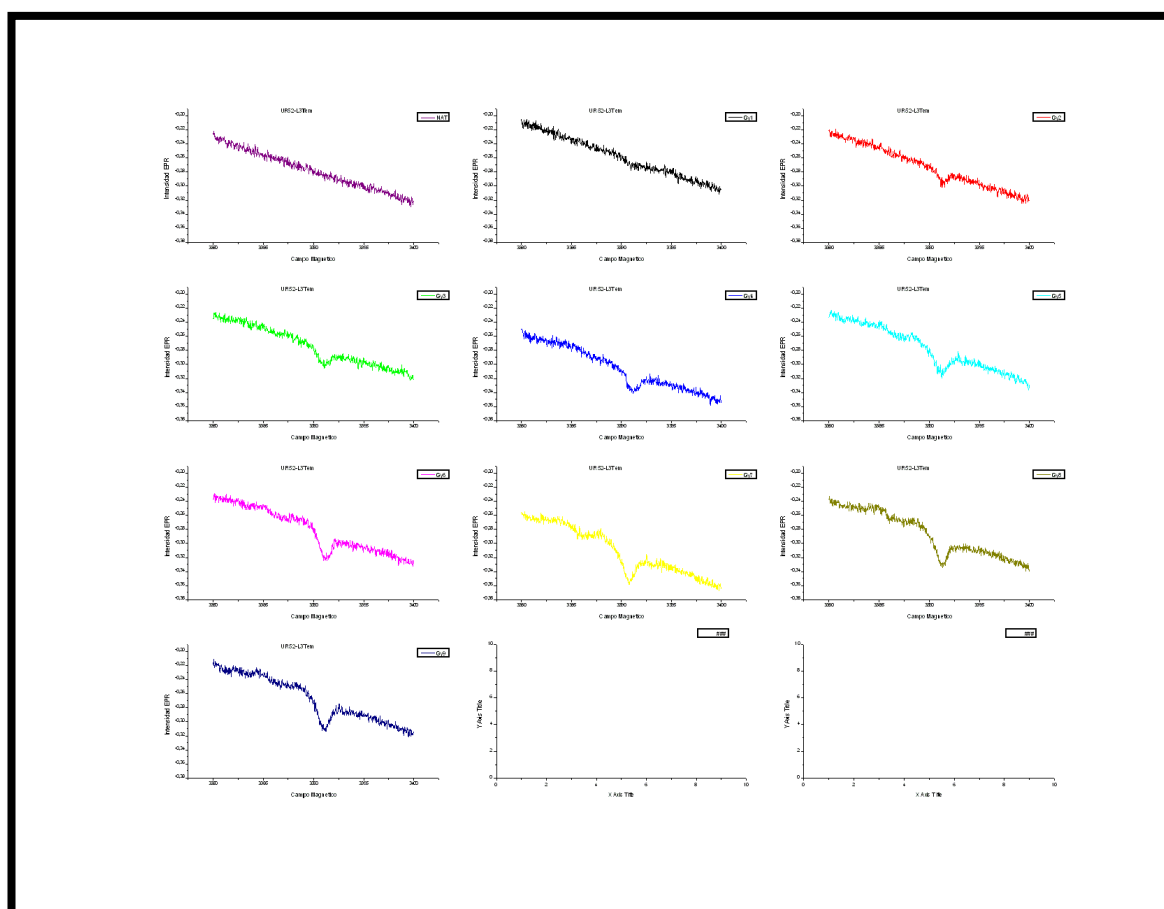
Los espectros EPR de las cerámicas irradiadas con ^{60}Co se tomaron dos semanas después del proceso. Esto se hizo con el propósito de asegurar la estabilidad de la señal. También fue conveniente evitar la detección de otras señales provocadas por la irradiación, que podrían interferir con la señal que proveen los datos de datación.

Las medidas de EPR fueron realizadas en el Instituto de Física de la University of Augsburg. para el procesamiento de espectros adecuado con esa evaluación de espectros EPR (Alemania), se usó un espectrómetro Bruker Elexsys 500 CW a temperatura ambiente y con los parámetros de adquisición indicados en la Tabla 2. Cada conjunto de alícuotas se midió numerosas veces, con varios días de diferencia entre cada medida—la prueba se extendió hasta por un mes—, para comprobar la reproductibilidad de los datos.

Respecto a las medidas, se empezó con una muestra natural (sin irradiación artificial) de la Unidad Residencial UR42-L1Temp, para observar el nivel de radiación que esta muestra acumuló durante el periodo de enterramiento. Al principio, no fue posible ver la señal de los centros paramagnéticos de la muestra natural de cerámica. Por esta razón,

se decidió empezar con las muestras irradiadas. Todas las muestras irradiadas mostraron un incremento de la intensidad de la señal EPR con la dosis. El espectro registrado de las muestras irradiadas fue claro y conveniente para la lectura de la altura pico a pico; se puede observar el aumento de la señal EPR con la dosis para las muestras irradiadas entre 100 a 900Gy (Figura 4-12). La altura pico a pico de la señal de EPR de la cerámica se usó para construir la curva de respuesta de dosis. Así, fue posible crear las curvas de respuesta de dosis obtenidas para las cerámicas, estas curvas se construyeron usando el método de dosis aditiva.

Figura 4-2: Los espectros obtenidos por EPR de las muestras de cerámica en polvo: desde la natural, sin irradiación artificial (imagen superior izquierda) hasta la muestra irradiada por 900Gy. Se observa el aumento de la intensidad EPR con la dosis.



Generalmente, la evaluación de los espectros de EPR se realiza determinando la distancia pico a pico de las señales. Un requisito previo para la aplicación de este método

es el conocimiento exacto de los componentes individuales de todo el espectro, para que se puedan crear las señales de referencia correspondientes. Esto se realiza mediante una simulación de las señales con valores “g” conocidos y anchos de línea —por ejemplo, con el software SimFonia Bruker—. También se puede lograr aislando las señales de los espectros medidos, pero esto es posible solo para aquellos componentes que no estén superpuestos por otras señales. El software MeasureCommander (2005) desarrollado por los integrantes del grupo de investigación Experimental Physics-V del Center for Electronic Correlations and Magnetism, University of Augsburg (H. A. Krug von Nidda, comunicación personal, 20 diciembre de 2018)— puede usarse para el procesamiento de espectros adecuado en la evaluación de espectros EPR.

Las intensidades de la señal aumentan linealmente, y se miden por las concentraciones radicales generadas por la radiación (Ikeya, 1993; Desrosiers, 1990; Ishii & Ikeya, 1990; Lee, Rink & Schwarcz, 1997; Polyakov et al., 1995; Wieser et al., 1988). Esto asegura que se puedan encontrar dosis retrospectivas. Para fechar las mediciones de ESR, no es necesario especificar el número absoluto de centros paramagnéticos. Solo la intensidad de la señal ESR es suficiente para generar la curva dosis-respuesta.

4.4.3 Medida de la tasa de dosis anual

El proceso de reconstrucción dosimétrica por EPR se divide clásicamente en varias etapas: preparación fisicoquímica de las cerámicas, la irradiación artificial, la adquisición de los datos EPR y, por último, el tratamiento para determinar la dosis acumulada.

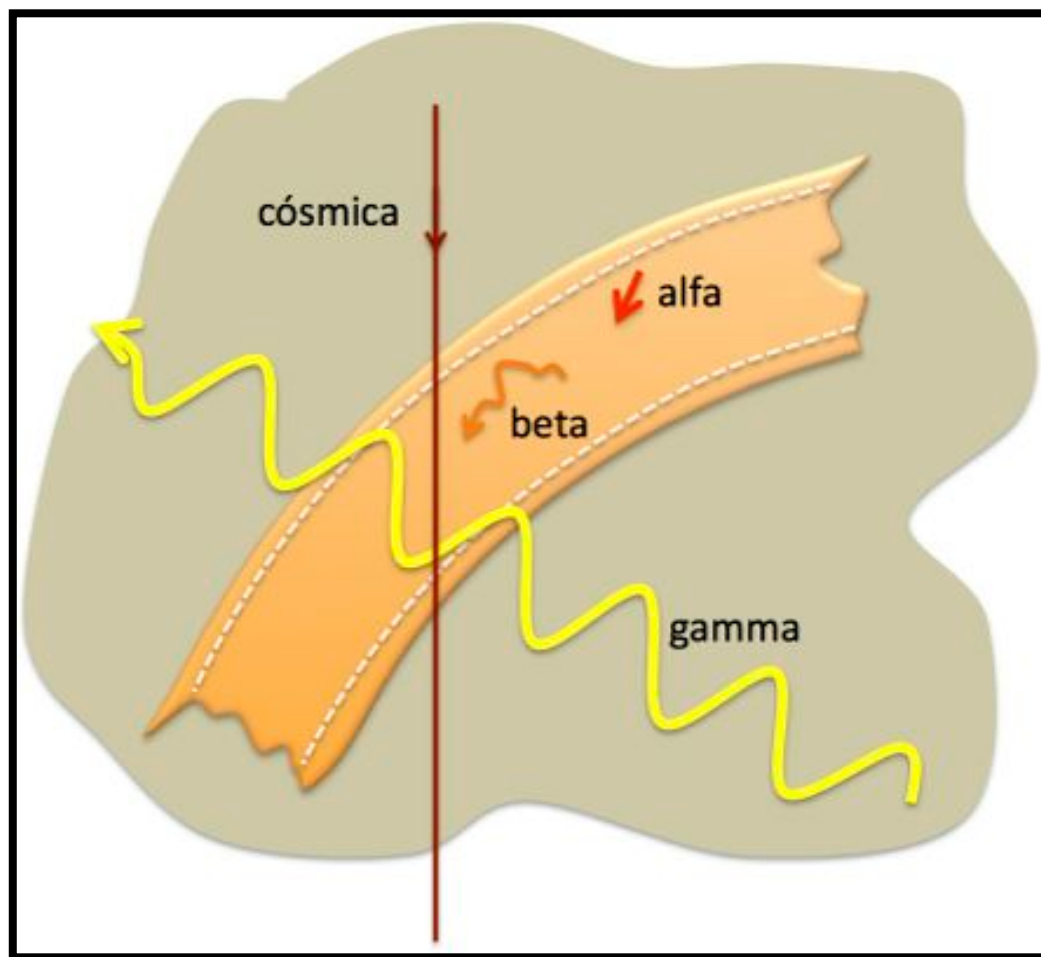
La cuantificación de la tasa de dosis media anual a la que los fragmentos fueron expuestos durante el tiempo de enterramiento se obtuvo mediante dos procesos distintos. Primero, se encontró la contribución a la tasa de dosis por radiación cósmica, usando las ecuaciones y los gráficos de Prescott y Hutton; segundo, se determinó la contribución de la tasa de dosis correspondiente a los elementos radiactivos presentes en el sedimento alrededor de las cerámicas.

La tasa de dosis anual (D), el denominador de la ecuación de edad, se derivó indirectamente de la medición de la radioactividad del suelo circundante. La dosis de radiación que recibe una cerámica durante su enterramiento se debe, en distinta proporción, a los isótopos radioactivos del uranio (^{238}U), torio (^{232}Th), potasio (^{40}K) y a la

radiación cósmica. Mientras las dosis alfa y beta proceden principalmente de los elementos radiactivos presentes en el interior de la cerámica —considerando su bajo poder de penetración—, la dosis gamma —en cambio— procede en su mayoría del ambiente y del terreno circundante.

La cerámica es como un conjunto heterogéneo de granos minerales de cuarzo, feldespato, calcita y con origen de minerales arcillosos. Las partículas alfa, al incidir sobre un material arqueológico, andan una distancia del orden del “ μm ”; las partículas beta, en cambio, actúan en el orden del “ mm ”, y la radiación gamma puede atravesar varios “ cm ” de la cerámica (Figura 4-13). Estos procesos pueden depender del tamaño del grano de los minerales de la cerámica.

Figura 4-3: La interacción de la cerámica bajo tierra con la radiación (Aitken, 1990).



4.5 Análisis de identificación de radionuclidos de sedimentos

El análisis radiométrico es una técnica que se utiliza para la determinación de radioisótopos naturales para la cuantificación de Uranio (^{238}U), Torio (^{232}Th) y Potasio (^{40}K) (Aitken, 1985). Para determinar la dosis anual de radiación, fue necesario recolectar los sedimentos en las profundidades en las que se encontraron las cerámicas de Suta, que corresponden a 35-60 cm, respectivamente. Para este fin, se recolectaron muestras de sedimento durante la excavación en cuatro unidades domésticas del sitio arqueológico de Suta, en el Valle de Leiva, Boyacá.

Previamente a su análisis, los sedimentos se sometieron a reducción de tamaño, moliendo y mediante tamices, para obtener los tamaños de partículas de 250, 150 y 125 μm . Esta etapa del proceso se llevó a cabo en el Laboratorio de Resonancia Paramagnética Electrónica del Departamento de Física de la Universidad Nacional (Figura 4-14). Posteriormente, las 12 bolsas⁵⁰ de sedimentos arqueológicos se llevaron al Servicio Geológico Colombiano para realizar las mediciones. Las muestras se pesaron y se dispusieron en recipientes cilíndricos de plástico, de polietileno (diámetro = 3,4 cm, altura = 4,7 cm), en una cantidad aproximada de 24 g. Una vez pesadas, las muestras se taparon herméticamente con cinta parafinada y se almacenaron durante 30 días, para alcanzar el equilibrio secular entre padres e hijos de las cadenas radiactivas de ^{238}U y ^{232}Th .

⁵⁰ Se prepararon tres tamaños diferentes de grano (125, 150 y 250 micras) para cada unidad doméstica.


Figura 4-4: Los sedimentos circundantes de los materiales arqueológicos se preparan - *moliendo* y *tamizando*- para la determinación de radioisótopos naturales para la cuantificación de Uranio (^{238}U), Torio (^{232}Th) y Potasio (^{40}K).



El proceso para la determinación de los contenidos absolutos de Uranio, Torio y Potasio se desarrolló en los laboratorios de la Dirección de Asuntos Nucleares del Servicio Geológico Colombiano, mediante la espectrometría gamma. La técnica de espectrometría gamma para los análisis radiométricos ha establecido el cálculo de radiación gamma natural emitida por las cadenas radiactivas del ^{238}U , del ^{232}Th y por la emisión del ^{40}K . Por esta razón, se considera una técnica indirecta para la determinación cuantitativa, debido a que solo se determina el isótopo radiactivo para obtener el resultado final (Alonso et al., 2016). Esta técnica de análisis no es destructiva y no requiere el uso de reactivos; por eso, es necesario que la muestra no haya sufrido ningún tipo de tratamiento diferente a la trituración, la molienda y el tamizado. La actividad producida por las energías gamma características de cada decaimiento se midió

empleando un detector semiconductor de estado sólido, compuesto por Germanio Hiperpuro Ge (Hp), de la marca CANBERRA[®], modelo GC 7020; este cuenta con una eficiencia absoluta de detección de 1,89% para 661,6 keV. Además, se usó un analizador digital de señal tipo LYNX[®], que cuenta con un blindaje de plomo de 70 mm de espesor, controlado por computador mediante el software CANBERRA[®], Genie 2000 (Tabla 4-6).

Tabla 4-6: Informe de resultados de identificación de radionúclidos de los sedimentos recolectados de los cuatro unidades residenciales que fue realizado en Servicio Geologico Colombiano, en sede Bogota.

	INFORME DE RESULTADOS IDENTIFICACIÓN RADIONÚCLIDOS	VERSIÓN: 1
		CÓDIGO: F-TNU-RA-016
		Página 1 de 1

LABORATORIO DE RADIOMETRÍA AMBIENTAL - LRA

GRUPO DE INVESTIGACIONES Y APLICACIONES RADIACTIVAS
DIRECCIÓN DE ASUNTOS NUCLEARES
Carrera 50 No. 26 -20 Bloque A, 2° Piso (Sede CAN)

INFORME No **121/2018 - J / 2018**

IDENTIFICACIÓN DEL USUARIO

Razón Social: UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
Dirección: AV CARRERA 30# 45-03 Ciudad: BOGOTÁ País: COLOMBIA
Teléfono: 3165000 EXT 16315/16375 NIT: 899999063-3
Responsable: Ali D. Ócal CC: No Aplica
e-mail de contacto: adocal@unal.edu.co Solicitud No. - Fecha **121/2018** 13/09/2018

INFORMACIÓN DE LAS MUESTRA

El Laboratorio de Radiometría Ambiental (LRA) de la Dirección de Asuntos Nucleares (DAN) del Servicio Geológico Colombiano realizó el análisis SNPR20A - Identificación de radionúclidos emisores gamma en matriz de aguas, alimentos, suelos, materiales de origen geológico, todos por espectrometría gamma con detector de GeHP a la siguiente muestra:

MUESTRA No **121/2018 - J**
Fecha y Hora de Análisis: 28/11/2018 - 1:24 p. m. Tiempo de Análisis (s): 18000

Tipo de Muestra: **Otro** Nombre: U-238, Th-232 y K-40
Descripción detallada (Fecha/Hora de Muestreo, tipo de muestreo, cantidad de muestra, No. Lote, No. interno de la compañía, Referencia específica del origen de la muestra, otros que considere relevante):
UR31 250MIC
Información importante reportada por el usuario:
No Aplica

RESULTADO

Material de Referencia	Radionúclido Objetivo	Unidad	Resultado	Incertidumbre (U) [*]
IAEA - RGTh - 1	Th-232 ^{***}	Bq/Kg _{ss}	127	10
IAEA - RGU - 1	U-238 ^{**}	Bq/Kg _{ss}	82.5	3.6
IAEA - RGU - 1	K-40	Bq/Kg _{ss}	1912	113

^{*} k=1 - 68.3%

^{**} Determinado como Pb-214 en equilibrio Secular


^{***} Determinado como Ac-228 en equilibrio Secular

Este informe ampara la prueba de identificación de radionúclidos y los resultados reportados son los niveles de contaminación de la muestra, a la fecha y hora de análisis. Los resultados que aparecen en este documento se refieren

Profesional que Analiza:


Ing. Samanta Machado Cepeda
Funcionario LRA

Informe expedido en Bogotá el día **lunes, 10 de diciembre de 2018**

	INFORME DE RESULTADOS IDENTIFICACIÓN RADIONÚCLIDOS	VERSIÓN: 1
		CÓDIGO: F-TNU-RA-016
		Página 1 de 1

LABORATORIO DE RADIOMETRÍA AMBIENTAL - LRA

GRUPO DE INVESTIGACIONES Y APLICACIONES RADIACTIVAS
DIRECCIÓN DE ASUNTOS NUCLEARES
Carrera 60 No. 26 - 20 Bloque A, 2° Piso (Sede CAN)

INFORME No **121/2018 - I / 2018**

IDENTIFICACIÓN DEL USUARIO

Razón Social: UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
Dirección: AV CARRERA 30# 45-03 Ciudad: BOGOTÁ País: COLOMBIA
Teléfono: 3165000 EXT 16315/16375 NIT: 899999063-3
Responsable: Ali D. Ócal CC: No Aplica
e-mail de contacto: adocal@unal.edu.co Solicitud No. - Fecha **121/2018** 13/09/2018

INFORMACIÓN DE LAS MUESTRA

El Laboratorio de Radiometría Ambiental (LRA) de la Dirección de Asuntos Nucleares (DAN) del Servicio Geológico Colombiano realizó el análisis *SNPR20A - Identificación de radionúclidos emisores gamma en matriz de aguas, alimentos, suelos, materiales de origen geológico, todos por espectrometría gamma con detector de GeM⁺* a la siguiente muestra:

MUESTRA No **121/2018 - I**
Fecha y Hora de Análisis: 28/11/2018 - 10:10 a. m. Tiempo de Análisis (s): 18000

Tipo de Muestra:	Otro	Nombre:	U-238, Th-232 y K-40
Descripción detallada (Fecha/hora de Muestreo, tipo de muestreo, cantidad de muestra, No. Lote, No. interno de la compañía, Referencia específica del origen de la muestra, otros que considere relevante):			
UR31 126MIC			
Información importante reportada por el usuario:			
No Aplica			

RESULTADO

Material de Referencia	Radionúclido Objetivo	Unidad	Resultado	Incertidumbre (U)*
No Aplica	Th-232***	Bq/Kg _s	50,6	4,1
No Aplica	U-238**	Bq/Kg _s	45,8	3,7
No Aplica	K-40	Bq/Kg _s	209	19

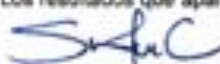
* k=1 - 68.3%

** Determinado como Pb-214 en equilibrio Secular

*** Determinado como Ac-228 en equilibrio Secular


Este informe ampara la prueba de identificación de radionúclidos y los resultados reportados son los niveles de contaminación de la muestra, a la fecha y hora de análisis. Los resultados que aparecen en este documento se refieren exclusivamente a la muestra analizada.

Profesional que Analiza:



Ing. Samanta Machado Cepeda
Funcionario LRA

Informe expedido en Bogotá el día **lunes, 10 de diciembre de 2018**

	INFORME DE RESULTADOS IDENTIFICACIÓN RADIONÚCLIDOS	VERSIÓN: 1
		CÓDIGO: F-TNU-RA-018
		Página 1 de 1

LABORATORIO DE RADIOMETRÍA AMBIENTAL - LRA

GRUPO DE INVESTIGACIONES Y APLICACIONES RADIATIVAS

DIRECCIÓN DE ASUNTOS NUCLEARES

Carrera 50 No. 26-29 Bloque A, 2° Piso (Sede CAN)

INFORME No **121/2018 - L / 2018****IDENTIFICACIÓN DEL USUARIO**

Razón Social: UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Dirección: AV CARRERA 30# 45-03 Ciudad: BOGOTÁ País: COLOMBIA

Teléfono: 3185000 EXT 16315/16375 NIT: 899999063-3

Responsable: Ali D. Ócal CC: No Aplica

e-mail de contacto: adocal@unal.edu.co Solicitud No. - Fecha **121/2018** 13/09/2018

INFORMACIÓN DE LAS MUESTRA

El Laboratorio de Radiometría Ambiental (LRA) de la Dirección de Asuntos Nucleares (DAN) del Servicio Geológico Colombiano realizó el análisis *SNPR20A - identificación de radionúclidos emisores gamma en matriz de aguas, alimentos, suelos, materiales de origen geológico, todos por espectrometría gamma con detector de GeHP a la siguiente muestra:*

MUESTRA No 121/2018 - L

Fecha y Hora de Análisis: 29/11/2018 - 8:31 a. m. Tiempo de Análisis (s): 18000

Tipo de Muestra: **Otro** Nombre: U-238, Th-232 y K-40

Descripción detallada (Fecha/Hora de Muestreo, tipo de muestreo, cantidad de muestra, No. Lote, No. interno de la compañía, Referencia específica del origen de la muestra, otros que considere relevante):

UR33 125MIC

Información importante reportada por el usuario:
No Aplica

RESULTADO

Material de Referencia	Radionúclido Objetivo	Unidad	Resultado	Incertidumbre (U) [*]
IAEA - RGTh - 1	Th-232 ^{***}	Bq/Kg _{ss}	130	11
IAEA - RGU - 1	U-238 ^{**}	Bq/Kg _{ss}	79.8	3.6
IAEA - RGU - 1	K-40	Bq/Kg _{ss}	450	44

^{*} ±1 - 66.3%^{**} Determinado como Pb-214 en equilibrio Secular^{***} Determinado como Ac-228 en equilibrio Secular


Este informe ampara la prueba de identificación de radionúclidos y los resultados reportados son los niveles de contaminación de la muestra, a la fecha y hora de análisis. Los resultados que aparecen en este documento se refieren

Profesional que Analiza:


Ing. Samanta Machado Cepeda

Funcionario LRA

Informe expedido en Bogotá el día **lunes, 10 de diciembre de 2018**

	INFORME DE RESULTADOS IDENTIFICACIÓN RADIONÚCLIDOS	VERSIÓN: 1
		CÓDIGO: F-TNU-RA-016
		Página 1 de 1

LABORATORIO DE RADIOMETRÍA AMBIENTAL - LRA

GRUPO DE INVESTIGACIONES Y APLICACIONES RADIACTIVAS
DIRECCIÓN DE ASUNTOS NUCLEARES
Carrera 50 No. 36 - 20 Bloque A, 2° Piso (Sede CAN)

INFORME No **122/2018 - I / 2018**

IDENTIFICACIÓN DEL USUARIO

Razón Social: UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
Dirección: AV CARRERA 30# 45-03 Ciudad: BOGOTÁ País: COLOMBIA
Teléfono: 3165000 EXT 16315/16375 NIT: 899999063-3
Responsable: Ali D. Ócal CC: No Aplica
e-mail de contacto: adocal@unal.edu.co Solicitud No. - Fecha **122/2018** 13/09/2018

INFORMACIÓN DE LAS MUESTRA

El Laboratorio de Radiometría Ambiental (LRA) de la Dirección de Asuntos Nucleares (DAN) del Servicio Geológico Colombiano realizó el análisis *SNPR20A - Identificación de radionúclidos emisores gamma en matriz de aguas, alimentos, suelos, materiales de origen geológico, todos por espectrometría gamma con detector de GeHP a la siguiente muestra:*

MUESTRA No **122/2018 - I**
Fecha y Hora de Análisis: 30/11/2018 - 3:20 p. m. Tiempo de Análisis (s): 18000

Tipo de Muestra:	Otro	Nombre:	U-238, Th-232 y K-40
Descripción detallada (Fecha/Hora de Muestreo, tipo de muestreo, cantidad de muestra, No. Lote, No. interno de la compañía, Referencia específica del origen de la muestra, otros que considere relevante): UR42 150MIC			
Información importante reportada por el usuario: No Aplica			

RESULTADO

Material de Referencia	Radionúclido Objetivo	Unidad	Resultado	Incertidumbre (U)*
IAEA - RGTh - 1	Th-232***	Bq/Kg _{ss}	No Detectable. Limite de Detección: 25.2 Bq/Kg _{ss}	No Aplica
IAEA - RGIJ - 1	U-238**	Bq/Kg _{ss}	42.9	2.7
IAEA - RGIJ - 1	K-40	Bq/Kg _{ss}	360	37

* $k=1$ - 68.3%

** Determinado como Pb-214 en equilibrio Secular

*** Determinado como Ac-228 en equilibrio Secular

Este informe ampara la prueba de identificación de radionúclidos y los resultados reportados son los niveles de contaminación de la muestra, a la fecha y hora de análisis. Los resultados que aparecen en este documento se refieren exclusivamente a la muestra analizada.

Profesional que Analiza:



Ing. Samanta Machado Cepeda

Funcionario LRA

Informe expedido en Bogotá el día **lunes, 10 de diciembre de 2018**

	INFORME DE RESULTADOS IDENTIFICACIÓN RADIONÚCLIDOS	VERSIÓN: 1
		CÓDIGO: F-TNU-RA-016
		Página 1 de 1

LABORATORIO DE RADIOMETRÍA AMBIENTAL - LRA

GRUPO DE INVESTIGACIONES Y APLICACIONES RADIATIVAS
DIRECCIÓN DE ASUNTOS NUCLEARES
Carrera 80 No. 26 -20 Bloque A, 2° Piso (Sede CAN)

INFORME No 121/2018 - M / 2018

IDENTIFICACIÓN DEL USUARIO

Razón Social: UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Dirección: AV CARRERA 30# 45-03 Ciudad: BOGOTA País: COLOMBIA

Teléfono: 3165000 EXT 16315/16375 NIT: 899999063-3

Responsable: Al D. Ócal CC: No Aplica

e-mail de contacto: adocal@unal.edu.co Solicitud No. - Fecha **121/2018** 13/09/2018

INFORMACIÓN DE LAS MUESTRA

El Laboratorio de Radiometría Ambiental (LRA) de la Dirección de Asuntos Nucleares (DAN) del Servicio Geológico Colombiano realizó el análisis *SNPR20A - Identificación de radionúclidos emisores gamma en matriz de aguas, alimentos, suelos, materiales de origen geológico, todos por espectrometría gamma con detector de GeHP a la siguiente muestra:*

MUESTRA No **121/2018 - M**

Fecha y Hora de Análisis: 29/11/2018 - 8:31 a. m. Tiempo de Análisis (s): 18000

Tipo de Muestra: Otro	Nombre: U-238, Th-232 y K-40
Descripción detallada (Fecha/Hora de Muestreo, tipo de muestreo, cantidad de muestra, No. Lote, No. interno de la compañía, Referencia específica del origen de la muestra, otros que considere relevante):	
UR33 250MIC	
Información importante reportada por el usuario:	
No Aplica	

RESULTADO

Material de Referencia	Radionúclido Objetivo	Unidad	Resultado	Incertidumbre (U)*
No Aplica	Th-232***	Bq/Kg _{ss}	65,8	4,6
No Aplica	U-238**	Bq/Kg _{ss}	32	3
No Aplica	K-40	Bq/Kg _{ss}	269	22


* $k=1 - 68,3\%$

** Determinado como Pb-214 en equilibrio Secular

*** Determinado como Ac-228 en equilibrio Secular


Este informe ampara la prueba de identificación de radionúclidos y los resultados reportados son los niveles de contaminación de la muestra, a la fecha y hora de análisis. Los resultados que aparecen en este documento se refieren

Profesional que Analiza:


Ing. Samanta Machado Cepeda

Funcionario LRA

Informe expedido en Bogotá el día **lunes, 10 de diciembre de 2018**

	INFORME DE RESULTADOS IDENTIFICACIÓN RADIONÚCLIDOS	VERSIÓN: 1
		CÓDIGO: F-TNU-RA-018
		Página 1 de 1

LABORATORIO DE RADIOMETRÍA AMBIENTAL - LRA

GRUPO DE INVESTIGACIONES Y APLICACIONES RADIATIVAS
DIRECCIÓN DE ASUNTOS NUCLEARES
Carrera 50 No. 26 -20 Bloque A, 2° Piso (Sede CAN)

INFORME No **121/2018 - N / 2018**

IDENTIFICACIÓN DEL USUARIO

Razón Social: UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
Dirección: AV CARRERA 30# 45-03 Ciudad: BOGOTÁ País: COLOMBIA
Teléfono: 3155000 EXT 16315/16375 NIT: 899999063-3
Responsable: Ali D. Ocal CC: No Aplica
e-mail de contacto: adocal@unal.edu.co Solicitud No. - Fecha **121/2018** 13/09/2018

INFORMACIÓN DE LAS MUESTRA

El Laboratorio de Radiometría Ambiental (LRA) de la Dirección de Asuntos Nucleares (DAN) del Servicio Geológico Colombiano realizó el análisis *SNPR20A - Identificación de radionúclidos emisores gamma en matriz de aguas, alimentos, suelos, materiales de origen geológico, todos por espectrometría gamma con detector de GeHP* a la siguiente muestra:

MUESTRA No 121/2018 - N
Fecha y Hora de Análisis: 29/11/2018 - 2:31 p. m. Tiempo de Análisis (s): 18000

Tipo de Muestra: **Otro** Nombre: U-238, Th-232 y K-40
Descripción detallada (Fecha/Hora de Muestreo, tipo de muestreo, cantidad de muestra, No. Lote, No. interno de la compañía, Referencia específica del origen de la muestra, otros que considere relevante):
UR33 15MIC
Información importante reportada por el usuario:
No Aplica

RESULTADO

Material de Referencia	Radionúclido Objetivo	Unidad	Resultado	Incertidumbre (U)*
IAEA - RGTh - 1	Th-232***	Bq/Kg _s	142	12
IAEA - RGU - 1	U-238**	Bq/Kg _s	60,6	3,2
IAEA - RGU - 1	K-40	Bq/Kg _s	510	50

* $k=1 - 66.3\%$

** Determinado como Pb-214 en equilibrio Secular

*** Determinado como Ac-228 en equilibrio Secular

Este informe ampara la prueba de identificación de radionúclidos y los resultados reportados son los niveles de contaminación de la muestra, a la fecha y hora de análisis. Los resultados que aparecen en este documento se refieren:


Profesional que Analiza:



Ing. Samanta Machado Cepeda

Funcionario LRA

Informe expedido en Bogotá el día **lunes, 10 de diciembre de 2018**

	INFORME DE RESULTADOS IDENTIFICACIÓN RADIONÚCLIDOS	VERSIÓN: 1
		CÓDIGO: F-TNU-RA-016
		Página 1 de 1

LABORATORIO DE RADIOMETRÍA AMBIENTAL - LRA

GRUPO DE INVESTIGACIONES Y APLICACIONES RADIATIVAS
DIRECCIÓN DE ASUNTOS NUCLEARES
Carrera 90 No. 26 -20 Bloque A, 2° Piso (Sede CAN)

INFORME No 121/2018 - O / 2018

IDENTIFICACIÓN DEL USUARIO

Razón Social: UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Dirección: AV CARRERA 30# 45-03 Ciudad: BOGOTÁ País: COLOMBIA

Teléfono: 3165000 EXT 16315/16375 NIT: 899999063-3

Responsable: Al D. Ócal CC: No Aplica

e-mail de contacto: adocal@unal.edu.co Solicitud No. - Fecha **121/2018** 13/09/2018

INFORMACIÓN DE LAS MUESTRA

El Laboratorio de Radiometría Ambiental (LRA) de la Dirección de Asuntos Nucleares (DAN) del Servicio Geológico Colombiano realizó el análisis *SNPR20A - Identificación de radionúclidos emisores gamma en matriz de aguas, alimentos, suelos, materiales de origen geológico, todos por espectrometría gamma con detector de GeHP a la siguiente muestra:*

MUESTRA No 121/2018 - O

Fecha y Hora de Análisis: 30/11/2018 - 8:52 a. m. Tiempo de Análisis (s): 18000

Tipo de Muestra: Otro	Nombre: U-238, Th-232 y K-40
Descripción detallada (Fecha/Hora de Muestreo, tipo de muestreo, cantidad de muestra, No. Lote, No. interno de la compañía, Referencia específica del origen de la muestra, otros que considere relevante):	
UR42 125MIC	
Información importante reportada por el usuario:	
No Aplica	

RESULTADO

Material de Referencia	Radionúclido Objetivo	Unidad	Resultado	Incertidumbre (U)*
No Aplica	Th-232***	Bq/Kg _{ss}	72,7	5,2
No Aplica	U-238**	Bq/Kg _{ss}	44,1	3,4
No Aplica	K-40	Bq/Kg _{ss}	250	21

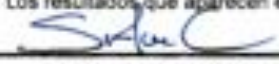
* k=1 - 68.3%

** Determinado como Pb-214 en equilibrio Secular

*** Determinado como Ac-228 en equilibrio Secular

Este informe ampara la prueba de identificación de radionúclidos y los resultados reportados son los niveles de contaminación de la muestra, a la fecha y hora de análisis. Los resultados que aparecen en este documento se refieren


Profesional que Analiza:



Ing. Samanta Machado Cepeda

Funcionario LRA

Informe expedido en Bogotá el día **lunes, 10 de diciembre de 2018**

	INFORME DE RESULTADOS IDENTIFICACIÓN RADIONÚCLIDOS	VERSIÓN: 1
		CÓDIGO: F-TNU-RA-018
		Página 1 de 1

LABORATORIO DE RADIOMETRÍA AMBIENTAL - LRA

GRUPO DE INVESTIGACIONES Y APLICACIONES RADIACTIVAS
DIRECCIÓN DE ASUNTOS NUCLEARES
Carrera 50 No. 26-20 Bloque A, 2° Piso (Sede CAN)

INFORME No

121/2018 - P / 2018**IDENTIFICACIÓN DEL USUARIO**

Razón Social: UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
Dirección: AV CARRERA 30# 45-03 Ciudad: BOGOTÁ País: COLOMBIA
Teléfono: 3165000 EXT 16315/16375 NIT: 899999063-3
Responsable: Ali D. Ócal CC: No Aplica
e-mail de contacto: adocal@unal.edu.co Solicitud No. - Fecha: **121/2018** 13/09/2018

INFORMACIÓN DE LAS MUESTRA

El Laboratorio de Radiometría Ambiental (LRA) de la Dirección de Asuntos Nucleares (DAN) del Servicio Geológico Colombiano realizó el análisis *SNPR20A - identificación de radionúclidos emisores gamma en matriz de aguas, alimentos, suelos, materiales de origen geológico, todos por espectrometría gamma con detector de GeHP a la siguiente muestra:*

MUESTRA No

121/2018 - PFecha y Hora de
Análisis:

30/11/2018 - 8:44 a. m.

Tiempo de Análisis (s):

18000

Tipo de Muestra:	Otro	Nombre:	U-238, Th-232 y K-40
Descripción detallada (Fecha/hora de Muestreo, tipo de muestreo, cantidad de muestra, No. Lote, No. interno de la compañía, Referencia específica del origen de la muestra, otros que considere relevante):			
UR42 150MIC			
Información importante reportada por el usuario:			
No Aplica			

RESULTADO

Material de Referencia	Radionúclido Objetivo	Unidad	Resultado	Incertidumbre (U)*
IAEA - RGTh - 1	Th-232***	Bq/Kg _±	131	10
IAEA - RGU - 1	U-238**	Bq/Kg _±	64	3
IAEA - RGU - 1	K-40	Bq/Kg _±	399	39

* $k=1$ - 68.3%

** Determinado como Pb-214 en equilibrio Secular

*** Determinado como Ac-228 en equilibrio Secular

Este informe ampara la prueba de identificación de radionúclidos y los resultados reportados son los niveles de contaminación de la muestra, a la fecha y hora de análisis. Los resultados que aparecen en este documento se refieren


Profesional que Analiza:



Ing. Samanta Machado Cepeda

Funcionario LRA

Informe expedido en Bogotá el día **lunes, 10 de diciembre de 2018**

	INFORME DE RESULTADOS IDENTIFICACIÓN RADIONÚCLIDOS	VERSIÓN: 1
		CÓDIGO: F-TNU-RA-016
		Página 1 de 1

LABORATORIO DE RADIOMETRÍA AMBIENTAL - LRA

GRUPO DE INVESTIGACIONES Y APLICACIONES RADIATIVAS

DIRECCIÓN DE ASUNTOS NUCLEARES

Carrera 50 No. 26 -20 Bloque A, 2° Piso (Sede DAN)

INFORME No **122/2018 - J / 2018****IDENTIFICACIÓN DEL USUARIO**

Razón Social: UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
 Dirección: AV CARRERA 30# 45-03 Ciudad: BOGOTA País: COLOMBIA
 Teléfono: 3165000 EXT 16315/16375 NIT: 899999063-3
 Responsable: Al D. Ócal CC: No Aplica
 e-mail de contacto: adocal@unal.edu.co Solicitud No. - Fecha **122/2018** 13/09/2018

INFORMACIÓN DE LAS MUESTRA

El Laboratorio de Radiometría Ambiental (LRA) de la Dirección de Asuntos Nucleares (DAN) del Servicio Geológico Colombiano realizó el análisis SNPR20A - Identificación de radionúclidos emisores gamma en matriz de aguas, alimentos, suelos, materiales de origen geológico, todos por espectrometría gamma con detector de GeHP a la siguiente muestra:

MUESTRA No **122/2018 - J**
 Fecha y Hora de Análisis: 3/12/2018 - 8:35 p. m. Tiempo de Análisis (s): 18000

Tipo de Muestra: **Otro** Nombre: Uranio, Torio y Potasio
 Descripción detallada (Fecha/Hora de Muestreo, tipo de muestreo, cantidad de muestra, No. Lote, No. interno de la compañía, Referencia específica del origen de la muestra, otros que considere relevante):
 UR52 125MIC
 Información importante reportada por el usuario:
 No Aplica

RESULTADO

Material de Referencia	Radionúclido Objetivo	Unidad	Resultado	Incertidumbre (U)*
IAEA - RGTh - 1	Th-232***	Bq/Kg _{ss}	100	9
IAEA - RGU - 1	U-238**	Bq/Kg _{ss}	74.5	3.3
IAEA - RGU - 1	K-40	Bq/Kg _{ss}	395	39

* k=1 - 66.3%

** Determinado como Pb-214 en equilibrio Secular

*** Determinado como Ac-228 en equilibrio Secular

Este informe ampara la prueba de identificación de radionúclidos y los resultados reportados son los niveles de contaminación de la muestra, a la fecha y hora de análisis. Los resultados que aparecen en este documento se refieren


Profesional que Analiza:



Ing. Samanta Machado Cepeda

Funcionario LRA

Informe expedido en Bogotá el día **lunes, 10 de diciembre de 2018**

	INFORME DE RESULTADOS IDENTIFICACIÓN RADIONÚCLIDOS	VERSIÓN: 1
		CÓDIGO: F-TNU-RA-016
		Página 1 de 1

LABORATORIO DE RADIOMETRÍA AMBIENTAL - LRA

GRUPO DE INVESTIGACIONES Y APLICACIONES RADIATIVAS
DIRECCIÓN DE ASUNTOS NUCLEARES
Carrera 90 No. 26 -20 Bloque A, 2° Piso (Sede CAN)

INFORME No **122/2018 - K / 2018**

IDENTIFICACIÓN DEL USUARIO

Razón Social: UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
Dirección: AV CARRERA 30# 45-03 Ciudad: BOGOTÁ País: COLOMBIA
Teléfono: 3165000 EXT 16315/16375 NIT: 899999063-3
Responsable: Ali D. Ócal CC: No Aplica
e-mail de contacto: adocal@unal.edu.co Solicitud No. - Fecha **122/2018** 13/09/2018

INFORMACIÓN DE LAS MUESTRA

El Laboratorio de Radiometría Ambiental (LRA) de la Dirección de Asuntos Nucleares (DAN) del Servicio Geológico Colombiano realizó el análisis *SNPR20A - Identificación de radionúclidos emisores gamma en matriz de aguas, alimentos, suelos, materiales de origen geológico, todos por espectrometría gamma con detector de GeMP a la siguiente muestra:*

MUESTRA No **122/2018 - K**
Fecha y Hora de Análisis: 3/12/2018 - 2:01 p. m. Tiempo de Análisis (s): 18000

Tipo de Muestra: **Otro** Nombre: U-238, Th-232 y K-40
Descripción detallada (Fecha/Hora de Muestreo, tipo de muestreo, cantidad de muestra, No. Lote, No. interno de la compañía, Referencia específica del origen de la muestra, otros que considere relevante):

UR52 150MIC

Información importante reportada por el usuario:
No Aplica

RESULTADO

Material de Referencia	Radionúclido Objetivo	Unidad	Resultado	Incertidumbre (U)*
IAEA - RGTh - 1	Th-232***	Bq/Kg _{ss}	110	9
IAEA - RGU - 1	U-238**	Bq/Kg _{ss}	79,5	3,6
IAEA - RGU - 1	K-40	Bq/Kg _{ss}	439	44

* k=1 - 66.3%

** Determinado como Pb-214 en equilibrio Secular

*** Determinado como Ac-228 en equilibrio Secular

Este informe ampara la prueba de identificación de radionúclidos y los resultados reportados son los niveles de contaminación de la muestra, a la fecha y hora de análisis. Los resultados que aparecen en este documento se refieren


Profesional que Analiza:



Ing. Samanta Machado Cepeda

Funcionario LRA

Informe expedido en Bogotá el día **lunes, 10 de diciembre de 2018**

	INFORME DE RESULTADOS IDENTIFICACIÓN RADIONÚCLIDOS	VERSIÓN: 1
		CÓDIGO: F-TNU-RA-016
		Página 1 de 1

LABORATORIO DE RADIOMETRÍA AMBIENTAL - LRA

GRUPO DE INVESTIGACIONES Y APLICACIONES RADIATIVAS
DIRECCIÓN DE ASUNTOS NUCLEARES
Carrera 90 No. 38 -39 Bloque A, 2° Piso (Sede CAN)

INFORME No **122/2018 - L / 2018**

IDENTIFICACIÓN DEL USUARIO

Razón Social: UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
Dirección: AV CARRERA 30# 45-03 Ciudad: BOGOTA País: COLOMBIA
Teléfono: 3185000 EXT 16315/16375 NIT: 899999053-3
Responsable: Alí D. Ócal CC: No Aplica
e-mail de contacto: adocal@unal.edu.co Solicitud No. - Fecha **122/2018** 13/09/2018

INFORMACIÓN DE LAS MUESTRA

El Laboratorio de Radiometría Ambiental (LRA) de la Dirección de Asuntos Nucleares (DAN) del Servicio Geológico Colombiano realizó el análisis *SNPR20A - identificación de radionúclidos emisores gamma en matriz de aguas, alimentos, suelos, materiales de origen geológico, todos por espectrometría gamma con detector de GeMP a la siguiente muestra:*

MUESTRA No **122/2018 - L**
Fecha y Hora de Análisis: 4/12/2018 - 8:23 a. m. Tiempo de Análisis (s): 18000

Tipo de Muestra: **Otro** Nombre: U-238, Th-232 y K-40
Descripción detallada (Fecha/Hora de Muestreo, tipo de muestreo, cantidad de muestra, No. Lote, No. interno de la compañía, Referencia específica del origen de la muestra, otros que considere relevante):
UR52 250MC
Información importante reportada por el usuario:
No Aplica

RESULTADO

Material de Referencia	Radionúclido Objetivo	Unidad	Resultado	Incertidumbre (U)*
No Aplica	Th-232***	Bq/Kg _{..}	56,6	4,7
No Aplica	U-238**	Bq/Kg _{..}	48,7	3,8
No Aplica	K-40	Bq/Kg _{..}	234	22

* $k=1$ - 68.3%

** Determinado como Pb-214 en equilibrio Secular

*** Determinado como Ac-228 en equilibrio Secular


Este informe ampara la prueba de identificación de radionúclidos y los resultados reportados son los niveles de contaminación de la muestra, a la fecha y hora de análisis. Los resultados que aparecen en este documento se refieren

Profesional que Analiza:



Ing. Samanta Machado Cepeda
Funcionario LRA

Informe expedido en Bogotá el día **lunes, 10 de diciembre de 2018**

	INFORME DE RESULTADOS IDENTIFICACIÓN RADIONÚCLIDOS	VERSIÓN: 1
		CÓDIGO: F-TNU-RA-018
		Página 1 de 1

LABORATORIO DE RADIOMETRÍA AMBIENTAL - LRA

GRUPO DE INVESTIGACIONES Y APLICACIONES RADIACTIVAS
DIRECCIÓN DE ASUNTOS NUCLEARES
Carrera 59 No. 26 -26 Bloque A, 2° Piso (Sede CAN)

INFORME No **121/2018 - K / 2018**

IDENTIFICACIÓN DEL USUARIO

Razón Social: UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
Dirección: AV CARRERA 30# 45-03 Ciudad: BOGOTA País: COLOMBIA
Teléfono: 3165000 EXT 16315/16375 NIT: 899999083-3
Responsable: Ali D. Ócal CC: No Aplica
e-mail de contacto: adocal@unal.edu.co Solicitud No. - Fecha **121/2018** 13/09/2018

INFORMACIÓN DE LAS MUESTRA

El Laboratorio de Radiometría Ambiental (LRA) de la Dirección de Asuntos Nucleares (DAN) del Servicio Geológico Colombiano realizó el análisis SNPR20A - *Identificación de radionúclidos emisores gamma en matriz de aguas, alimentos, suelos, materiales de origen geológico, todos por espectrometría gamma con detector de GeHP a la siguiente muestra:*

MUESTRA No **121/2018 - K**
Fecha y Hora de Análisis: 29/11/2018 - 8:26 a. m. Tiempo de Análisis (s): 18000

Tipo de Muestra:	Otro	Nombre:	U-238, Th-232 y K-40
Descripción detallada (Fecha/hora de Muestreo, tipo de muestreo, cantidad de muestra, No. Lote, No. interno de la compañía, Referencia específica del origen de la muestra, otros que considere relevante):			
UR31 150MIC			
Información importante reportada por el usuario:			
No Aplica			

RESULTADO

Material de Referencia	Radionúclido Objetivo	Unidad	Resultado	Incertidumbre (U)*
No Aplica	Th-232***	Bq/Kg _{ss}	52	4
No Aplica	U-238**	Bq/Kg _{ss}	35.4	2.7
No Aplica	K-40	Bq/Kg _{ss}	228	19

* $k=1 - 68.3\%$

** Determinado como Pb-214 en equilibrio Secular

*** Determinado como Ac-228 en equilibrio Secular

Este informe ampara la prueba de identificación de radionúclidos y los resultados reportados son los niveles de contaminación de la muestra, a la fecha y hora de análisis. Los resultados que aparecen en este documento se refieren

Profesional que Analiza:



Ing. Samanta Machado Cepeda

Funcionario LRA

Informe expedido en Bogotá el día **lunes, 10 de diciembre de 2018**

Estas concentraciones de elementos radiactivos se tomaron del sedimento circundante a los restos cerámicos del sitio. Sin embargo, también existen concentraciones de estos radionucleidos en la textura de la cerámica, que en cierta forma contribuirían a la tasa de dosis media anual recibidas por los fragmentos. Sin embargo, esta concentración interna de materiales radiactivos solo se da en periodos de tiempo relativamente grandes, puntualmente en periodos superiores a los 20.000 años (Grün, 1989; Jonas, 1997). Los registros que se conocen del material cerámico de este estudio comprenden una época que va desde 800 d.C. a 1600 d.C., lapso que comprende el periodo Muisca Temprano y Muisca Tardío en Colombia. Por esa razón, pueden considerarse despreciables las concentraciones de elementos radiactivos al interior de los fragmentos de las cerámicas. En consecuencia, se decidió cuantificar solamente los radionúclidos del sedimento. Otros reportes en la literatura (Kinoshita et al., 2008; Hefne et al., 2002) han considerado esta aproximación, con la que obtuvieron muy buenos resultados en la determinación de las edades.

5 Capítulo 5: Resultados

El método de datación utilizado por el equipo de Resonancia Paramagnética Electrónica se basa en la cuantificación, mediante espectroscopia EPR, de las cargas eléctricas atrapadas en los centros paramagnéticos. Este valor se relaciona con la dosis de radiación absorbida por el material arqueológico; esta cantidad depende tanto del tiempo de exposición a la radiactividad como de la intensidad de la radiación. Consecuentemente, en el caso del EPR, la edad del material arqueológico se calcula —al igual que en todas las demás técnicas radiométricas— de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\text{Edad} = \text{paleodosis (Gy)} / \text{tasa de dosis anual (Gy/año)}$$

La paleodosis, o dosis arqueológica, también es una dosis equivalente, porque es la cantidad de radiación en términos de dosis absorbida; esta produce una señal de EPR correspondiente a la muestra. A través del cálculo de la cantidad de cargas de electrones almacenadas en los minerales y mediante la medición del campo de radioactividad natural, se puede determinar la dosis total absorbida (paleodosis) y la velocidad a la que se absorbió la dosis (dosis anual).

Los centros paramagnéticos utilizados para la determinación de la edad EPR se encuentran en la región $g=2$ (Rink, 1997; Grün, 1989; Ikeya, 1993). Los valores "g" de estos centros paramagnéticos se encuentran en la amplia región hematítica de $g=2.3$. Esta situación hace que sea difícil fechar en EPR las muestras con altas cantidades de derivados de óxido de hierro. Para deshacerse de este problema, las muestras deben limpiarse con métodos químicos y físicos. Al respecto, se siguió la información de la literatura, para determinar el método de preparación de muestra más adecuado (procesos de separación de cuarzo) para la determinación de la edad con el equipo de

ESR (Bartoll & Ikeya, 1997; Bensimon et al., 2000; Cano et al., 2009; Toyoda & Falgueres, 2003, Toyoda et al., 2009; Toyoda & Ikeya, 1991; Asagoe et al., 2011; Ulusoy, 1995; Voinchet et al., 2007).

5.1 Cálculo de Dosis Equivalente

Los sinónimos para dosis equivalentes son dosis arqueológica, dosis acumulada o dosis total. Las dosis equivalentes de cada una de las muestras de cerámica del sitio Suta se obtuvieron por medio de la extrapolación a una intensidad de señal cero de la curva de respuesta de dosis de cada una de las muestras. La dosis equivalente para las muestras encontrada en este estudio, correspondientes al periodo de enterramiento, están representadas en la Tabla 5-1. El valor de las incertidumbres asociadas a estas dosis equivalentes se obtuvo mediante el ajuste de mínimos cuadrados de funciones lineales y exponenciales (Ardila, 2007).

Tabla 5-1: Los valores de dosis equivalente de las muestras correspondientes del sitio Suta.

Muestra	Dosis Equivalente Dc	Incertidumbre Gy
UR-31/L1 Tar	256	± 10
UR-31/L2 Tem	256	± 10
UR-33/L3 Tem	249	± 10
UR-42/L1 Tem	256	± 10
UR-52/L3 Tem	249	± 10
UR-52/L3 Tar	249	± 10
Temp 31-53 Tem	256	± 10
Temp 31-51 Tar	256	± 10
Temp 33-27 Tar	256	± 10

5.2 Estimación de la Tasa de Dosis Media Anual

La estimación de la tasa de dosis media anual a la que se expuso la muestra durante el periodo de enterramiento fue dividida en dos partes. En la primera parte, se encontró la contribución a la tasa de dosis por radiación cósmica; para esto, se usaron las ecuaciones y los gráficos de Prescott & Stephan (1982). Primero, se calculó el valor de la

tasa de dosis a nivel del mar D_0 , en función de la profundidad de la muestra, usando la siguiente expresión (Prescott & Stephan, 1982; Prescott & Hutton, 1994):

$$D_0 = 0,21e(0,070x - 0,0005x^2)$$

En esta expresión, D_0 está en mGy/a; "x" representa la profundidad de la muestra y está en hgcm⁻² (100gcm⁻²). En este caso, las profundidades en las que se encontraron las cerámicas se extienden desde 35 hasta 50 cm, en las unidades domesticas en el sitio de Suta (Tabla 5-2). Usando esta expresión, los valores encontrados para D_0 se recogen en la Tabla 5-2.

Tabla 5-2: Las profundidad de los fragmentos excavados y sus valores correspondientes, según Prescott y Hutton (1994) y el resultado de la tasa de dosis cósmica.

<i>Profundidad de la muestra (x)</i>				
<i>Sitio</i>	<i>Profundidad (cm)</i>	<i>Profundidad media</i>	<i>hgcm-2(x)</i>	<i>Tasa de dosis (Gy/ka)</i>
UR-31	30-40	35	0.930	0,197
UR-33	40-60	50	1.329	0,192
UR-42	30-40	35	0.930	0,197
UR-52	40-60	50	1.329	0,192

Luego, se procedió a calcular la tasa de dosis cósmica en función de la altura de los sitios arqueológicos (h); con este fin, se usó la siguiente expresión (Prescott & Hutton, 1994):

$$D = D_0 [F J e^{(h/H)}]$$

En donde las altitudes, h (altura del sitio arqueológico) y H se expresan en km. Los valores de F , J y H son parámetros que se encontraron a partir de la Fig. 17. Esta se encuentra en función de la latitud geomagnética (λ) del sitio, que, a su vez, puede calcularse usando la expresión (Tabla):

$$\text{sen}\lambda = 0,203\cos\theta \cos\varphi - 291 + 0,979\text{sen}\theta$$

Donde θ y φ representan la latitud y longitud geográfica del sitio.

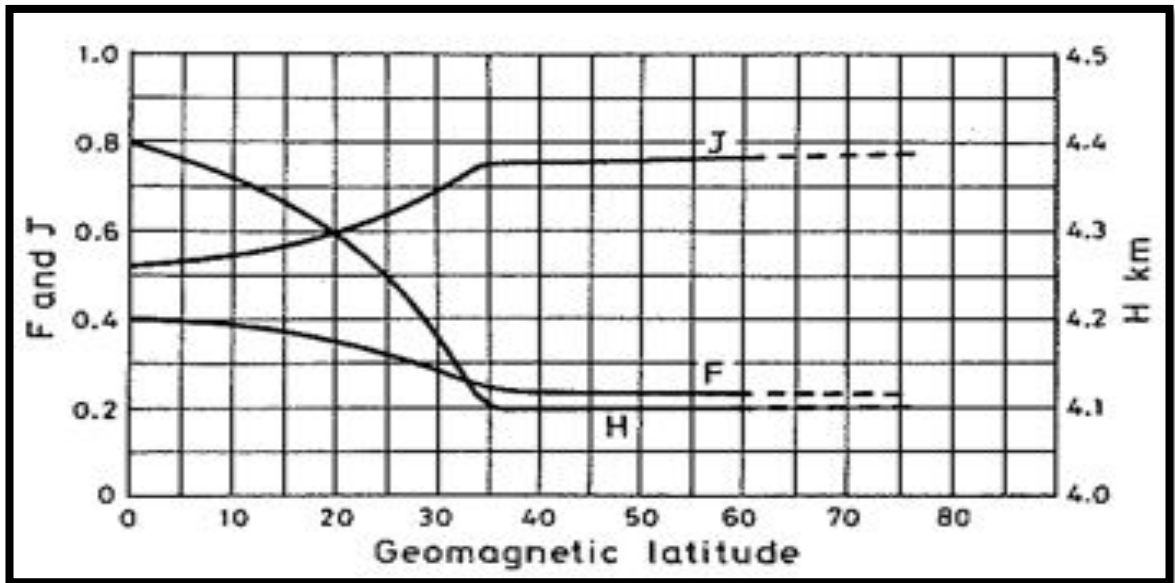
Para las latitudes y longitudes dadas en la ubicación del sitio de Suta en Boyacá ($5^{\circ} 61'$ de latitud norte y $73^{\circ}59'$ de longitud oeste), así como para su altura (2.100 m), se encontraron los valores de tasa de dosis cósmica D_c de las cuatro unidades domesticas del sitio de Suta, cuyos valores están en la Tabla 5-3. La tasa de dosis cósmica del sitio arqueológico de Suta, Valle de Villa de Leyva, en el Departamento de Boyacá, Colombia, se ha calculado mediante la fórmula de Prescott y Hutton (1994, Figura 5-1), aplicando las correcciones correspondientes a la profundidad, altitud y latitud, con un error asociado del 5 % (Prescott & Hutton, 1988).

Tabla 5-3: El cálculo de latitud geomagnética del sitio de Suta, Valle de Leiva, Boyacá, Colombia.

Sitio de Muestra	Latitud	Longitud	Latitud Geomagnética (I)	Tasa de dosis cósmica ($\mu\text{Gy/año}$)
UR-31	5.61157	73.59556	17.28398939	197
UR-33	5.61205	73.59556	17.28446923	192
UR-42	5.61421	73.59425	17.28665071	197
UR-52	5.61599	73.59536	17.28841129	192

Como se puede observar, estos valores no son concluyentes; lo anterior puede explicarse por el hecho de que las unidades domesticas del sitio arqueológico de Suta se encuentran en el mismo terreno, están bastante cerca entre sí. Además, los valores que han obtenido presentan una coincidencia con los valores de radiación cósmica reportados por otros autores (Kinoshita et al., 2007; Baffa, 2007).

Figura 5-1: Valores de F , J y H , en función de la latitud geomagnética (λ) (Prescott & Hutton, 1994).



5.3 Resultados de la Espectrometría Gamma

En la segunda parte, se encontró la contribución de la tasa de dosis debida a los elementos radiactivos presentes en el sedimento alrededor de la muestra. En este paso se usó espectrometría de rayos gamma; de esta forma, se encontraron las concentraciones en partes por millón (ppm) de las principales fuentes de emisión radiactiva (U, Th y K). También se usó el software ROSY, que facilitó los cálculos de la tasa de dosis, una vez conocidos los resultados de espectrometría gamma. Los resultados de las concentraciones de U, Th y K de las muestras de sedimento de las unidades domésticas del sitio Suta, determinados por Espectrometría Gamma, se muestran en la Tabla 5-4.

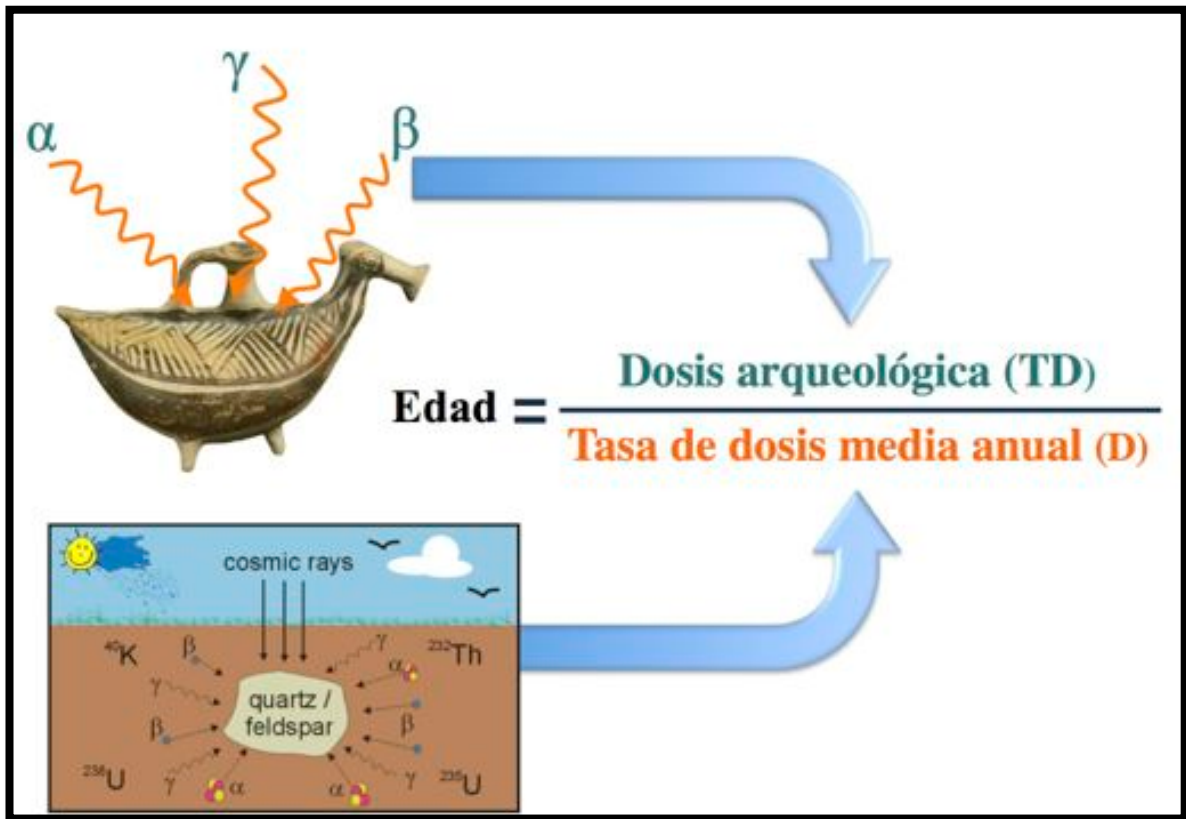
Tabla 5-4: Los resultados de las concentraciones de U, Th y K de los sedimentos de las unidades domesticas del sitio de Suta, Valle de Leiva, Boyacá.

	CONCENTRACION		
MUESTRA	U-238	Th-232	K-40
UR-31 125mic	45,8 ± 3,7	50,6 ± 4,1	209 ± 19.0
UR-33 125mic	79,8 ± 3,6	130 ± 11	450 ± 44
UR-42 125mic	44,1 ± 3,4	72,7 ± 5,2	250 ± 21
UR-52 125mic	74,6 ± 3,3	100 ± 9	395 ± 39

5.4 Cálculo de edad

El cálculo de la edad de una cerámica por medio de EPR es la razón entre la dosis de radiación que la muestra ha recibido desde su último uso, lo que se llama dosis arqueológica o “dosis equivalente”, y la “dosis media anual” (Figura 5-2). La dosis anual se determina por la cuantificación de los contenidos de radionuclidos, medición tanto en las cerámicas como de su entorno, mientras que para la dosis arqueológica se calcula por la medición directa de las muestras utilizando EPR. Una vez que se han recopilado todos los datos mencionados anteriormente, el cálculo de la edad se puede procesar simplemente dividiendo el valor de dosis equivalente por la tasa de dosis media anual.

Figura 5-2: El calculo de edad del material cerámico se obtiene dividiendo el valor de la dosis arqueológica por la tasa de dosis media anual.



El cálculo de edad se hizo con el apoyo del software ROSY (Brennan et al., 1999). Para este proceso, se introdujeron las concentraciones de elementos radiactivos, obtenidas por espectrometría gamma⁵¹; las tasas de dosis cósmicas, calculadas con base en los gráficos de cálculo de latitud geomagnética (Prescott & Hutton, 1994), y las dosis equivalentes, obtenidas por la técnica EPR. En la Tabla 5-5 se observan los resultados de la tasa de la dosis media anual total, obtenida usando el software ROSY, para las 9 muestras de cerámicas provenientes de las cuatro unidades domesticas (UR-31, UR-33, UR-42 y UR-52) en el sitio arqueológico de Suta, Valle de Leiva, Boyacá.

⁵¹ Los valores obtenidos de los radionúclidos fueron suficientes para que el software calculara la tasa de dosis suministrada por los fragmentos de cerámica arqueológica.

Tabla 5-5: Resultados de la tasa de dosis media anual obtenida por ROSY para las 9 muestras de cerámicas arqueológicas del sitio Suta.

UR31_L2_Tem	Alpha	Beta	Gamma	Cósmico	Gamma+Cósmico
Sedimento	4667.99	147673.91	52350.64	-	-
Uranio	3428.04	5538.83	4641.61	-	-
Torio	1239.96	1162.42	2160.14	-	-
Potasio	-	140972.66	45548.88	-	-
Total	4667.99	147673.91	52350.64	256.00	52606.64
(Alpha+beta) dose rate (microGy/a) = 152341.91					
Tasa de dosis total (microGy/a) = 204948.54					
Temp31_53Tem	Alpha	Beta	Gamma	Cósmico	Gamma+Cósmico
Sedimento	4692.76	147707.29	52387.98	-	-
Uranio	3443.01	5563.01	4661.88	-	-
Torio	1249.76	1171.61	2177.22	-	-
Potasio	-	140972.66	45548.88	-	-
Total	4692.76	147707.29	52387.98	256.00	52643.98
(Alpha+beta) dose rate (microGy/a) = 152400.06					
Tasa de dosis total (microGy/a) = 205044.04					
UR31_L1_Tar	Alpha	Beta	Gamma	Cósmico	Gamma+Cósmico
Sedimento	4667.99	147673.91	52350.64	-	-
Uranio	3428.04	5538.83	4641.61	-	-
Torio	1239.96	1162.42	2160.14	-	-
Potasio	-	140972.66	45548.88	-	-
Total	4667.99	147673.91	52350.64	256.00	52606.64
(Alpha+beta) dose rate (microGy/a) = 152341.91					
Tasa de dosis total (microGy/a) = 204948.54					
Temp31_51Tar	Alpha	Beta	Gamma	Cósmico	Gamma+Cósmico
Sedimento	4692.76	147707.29	52387.98	-	-
Uranio	3443.01	5563.01	4661.88	-	-
Torio	1249.76	1171.61	2177.22	-	-
Potasio	-	140972.66	45548.88	-	-
Total	4692.76	147707.29	52387.98	256.00	52643.98
(Alpha+beta) dose rate (microGy/a) = 152400.06					
Tasa de dosis total (microGy/a) = 205044.04					
UR33_L3_Tem	Alpha	Beta	Gamma	Cósmico	Gamma+Cósmico
Sedimento	9173.49	316190.93	111729.15	-	-
Uranio	5987.84	9674.80	8107.62	-	-
Torio	3185.66	2986.47	5549.78	-	-
Potasio	-	303529.66	98071.75	-	-
Total	9173.49	316190.93	111729.15	249.00	111978.15
(Alpha+beta) dose rate (microGy/a) = 325364.43					
Tasa de dosis total (microGy/a) = 437342.57					
Temp33_27_Tar	Alpha	Beta	Gamma	Cósmico	Gamma+Cósmico
Sedimento	9173.49	316190.93	111729.15	-	-
Uranio	5987.84	9674.80	8107.62	-	-
Torio	3185.66	2986.47	5549.78	-	-

Potasio	-	303529.66	98071.75	-	-
Total	9173.49	316190.93	111729.15	256.00	111985.15
(Alpha+beta) dose rate (microGy/a) = 325364.43					
Tasa de dosis total (microGy/a) = 437349.57					
UR42-L1Temp	Alpha	Beta	Gamma	Cósmico	Gamma+Cósmico
Sedimento	5082.18	175625.75	62059.91	-	-
Uranio	3293.31	5321.14	4459.19	-	-
Torio	1788.87	1677.02	3116.41	-	-
Potasio	-	168627.59	54484.30	-	-
Total	5082.18	175625.75	62059.91	256.00	62315.91
(Alpha+beta) dose rate (microGy/a) = 180707.93					
Tasa de dosis total (microGy/a) = 243023.84					
UR52-L3Temp	Alpha	Beta	Gamma	Cósmico	Gamma+Cósmico
Sedimento	8064.10	277799.00	97955.16	-	-
Uranio	5613.60	9070.13	7600.90	-	-
Torio	2450.51	2297.28	4269.06	-	-
Potasio	-	266431.59	86085.20	-	-
Total	8064.10	277799.00	97955.16	249.00	98204.16
(Alpha+beta) dose rate (microGy/a) = 285863.11					
Tasa de dosis total (microGy/a) = 384067.26					
UR52-L3Tar	Alpha	Beta	Gamma	Cósmico	Gamma+Cósmico
Sedimento	8064.10	277799.00	97955.16	-	-
Uranio	5613.60	9070.13	7600.90	-	-
Torio	2450.51	2297.28	4269.06	-	-
Potasio	-	266431.59	86085.20	-	-
Total	8064.10	277799.00	97955.16	249.00	98204.16
(Alpha+beta) dose rate (microGy/a) = 285863.11					
Tasa de dosis total (microGy/a) = 384067.26					

Las edades obtenidas para las cerámicas, utilizando los valores calculados arriba, la dosis equivalente encontrada por EPR y la ecuación de $T = D_E / D$, fueron para las cerámicas de tipo Suta Arenoso que corresponde al periodo de Muisca Temprano y tipo de Naranja Pulido que corresponde al periodo de Muisca Tardío que se presentan en la Tabla 5-6 y Tabla 5-7.

Para el cálculo de edades de las cerámicas, también se utilizó el software ROSY, que calcula las edades usando tres modelos de acumulación de uranio diferentes: el modelo lineal, el modelo temprano y una combinación de ambos (Ikeya, 1993; Grun, 1989). Estos modelos establecen de qué forma se acumula el uranio en el material arqueológico: en el modelo lineal se establece que esta acumulación aumenta a la misma tasa, con el paso del tiempo, y el modelo temprano establece que la acumulación se da en un corto tiempo, relativo a la edad del diente y después de este pequeño lapso permanece constante. La

edad calculada por estos tres métodos resulto la misma para todas las muestras. Este resultado es coherente, si se tiene en cuenta que se considera como despreciable la acumulación de elementos radiactivos al interior de la cerámica.

Tabla 5-6: Las fechas han sido obtenidas para las cerámicas analizadas por EPR.

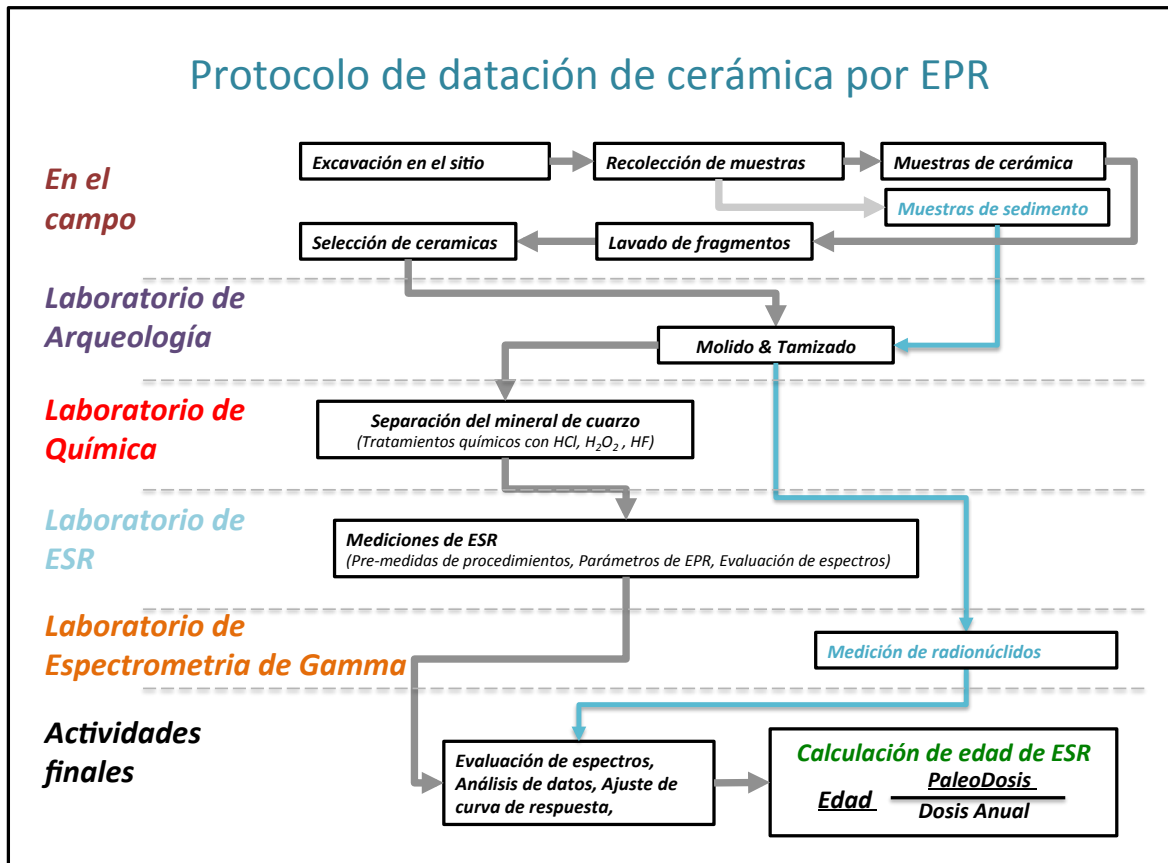
Muestra	EDAD (BP) años	Incertidumbre (años)	Incertidumbre (%)	Edad (d.C.)	Incertidumbre (años)
UR33_L3_Tem	1136	± 106	9%	883	± 79
UR42_L1_Tem	1152	± 99	9%	867	± 78
UR52-L3_Tem	370	± 43	12%	1649	± 198
UR52-L3_Tar	409	± 46	11%	1610	± 177
Temp31_51_Tar	775	± 81	10%	1244	± 124
Temp33_27_Tar	617	± 61	10%	1402	± 140

Tem= Suta arenoso (Muisca Temprano)

Tar= Suta naranja pulido (Muisca Tardío)

Al concluir de este proyecto doctoral, se obtuvo como consecuencia, el haber establecido el protocolo estándar de datación absoluta de las cerámicas muisca con el uso del equipo de Resonancia Paramagnética Electrónica (EPR). El equipo, hasta ahora no había sido utilizado para ese fin en Colombia. La tesis presentada aquí resulto entonces una metodología creada particularmente para obtener fechas absolutas de la cerámica muisca mediante el uso de Resonancia Paramagnética Electrónica (Figura 5-2). Este protocolo estándar, en los futuros trabajos, permitira promover la utilización de la EPR, como una beneficiosa instrumento cronométrica para construir y refinar las cronologías de arqueología en Colombia.

Figura 5-3: El protocolo establecido después de los trabajos realizados para la datación de cerámica Muisca por el uso del equipo de Resonancia Paramagnética Electronica.



6 Capítulo 6: Conclusiones

En esta investigación se evaluó la posibilidad de realizar nuevos acercamientos que pudiesen proporcionar información más precisa sobre los materiales cerámicos -en términos de su cronología absoluta- asociados a las una muestra de cuatro unidades residenciales muiscas del sitio de Suta y las problemáticas antropológicas y arqueológicas sobre la longevidad. Para la comprobación empírica de esta aproximación interdisciplinaria (Física Aplicada-Arqueología), se formularon dos marcos que permitieran dar cuenta acerca de las relaciones entre la longevidad y unidades domesticas.

El primer escenario, estaba caracterizado por la pregunta de si ¿Se podía determinar la longevidad de las unidades domesticas muiscas del sitio de Suta a partir de fechas absolutas obtenidas directamente de la cerámica en términos de continuidad?, a fin de contar con una cronología más precisa para el sitio, y el segundo, directamente vinculado al primero, y relativo ha si se podía ¿aplicar la técnica de Resonancia Paramagnética Electrónica (EPR) para datar materiales procedentes de contextos arqueológicos perturbados?

- Con respecto al primer escenario, se pudo determinar un lapso temporal estándar, derivado de las fechas directamente obtenidas de la cerámica, que ubica las evidencias del sitio de Suta entre el año 883 ± 79 d.C. a 1402 ± 140 d.C., para los datos de cronología absoluta de las muestras obtenidas de la UR-33; con fechas intermedias para las UR-42 (867 ± 78 d.C), UR-31 (1244 ± 124 d.C) y la UR-52 (1610 ± 177 y 1649 ± 198 d.C) respectivamente.

- En lo referente a la longevidad, se calculo la duración de la unidad domestica UR-33 y se obtuvieron las fechas que indican que la Unidad fue ocupada aproximadamente durante unos 519 años (Figura 6-1). Considerando la fecha mas temprana (867 ± 78 d.C.) y la mas tardía (1649 ± 198 d.C.), obtenidas de las cuatro unidades domésticas, se puede sugerir, que, la longevidad del sitio arqueológico de Suta en el Valle de Leyva arrojó un cálculo aproximado de unos 743 años (Figura 6-2).

Figura 6-1: El protocolo establecido después de los trabajos realizados para la datación de cerámica Muisca por el uso del equipo de Resonancia Paramagnetica Electronica.

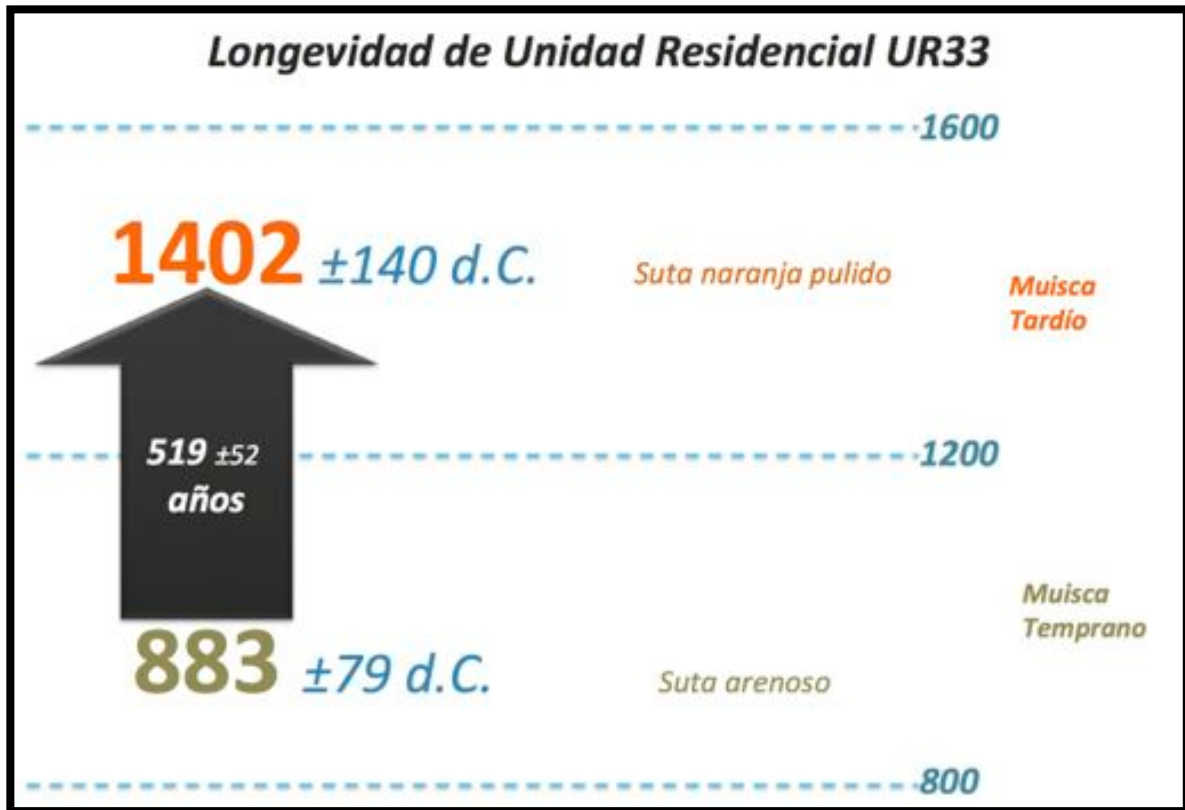
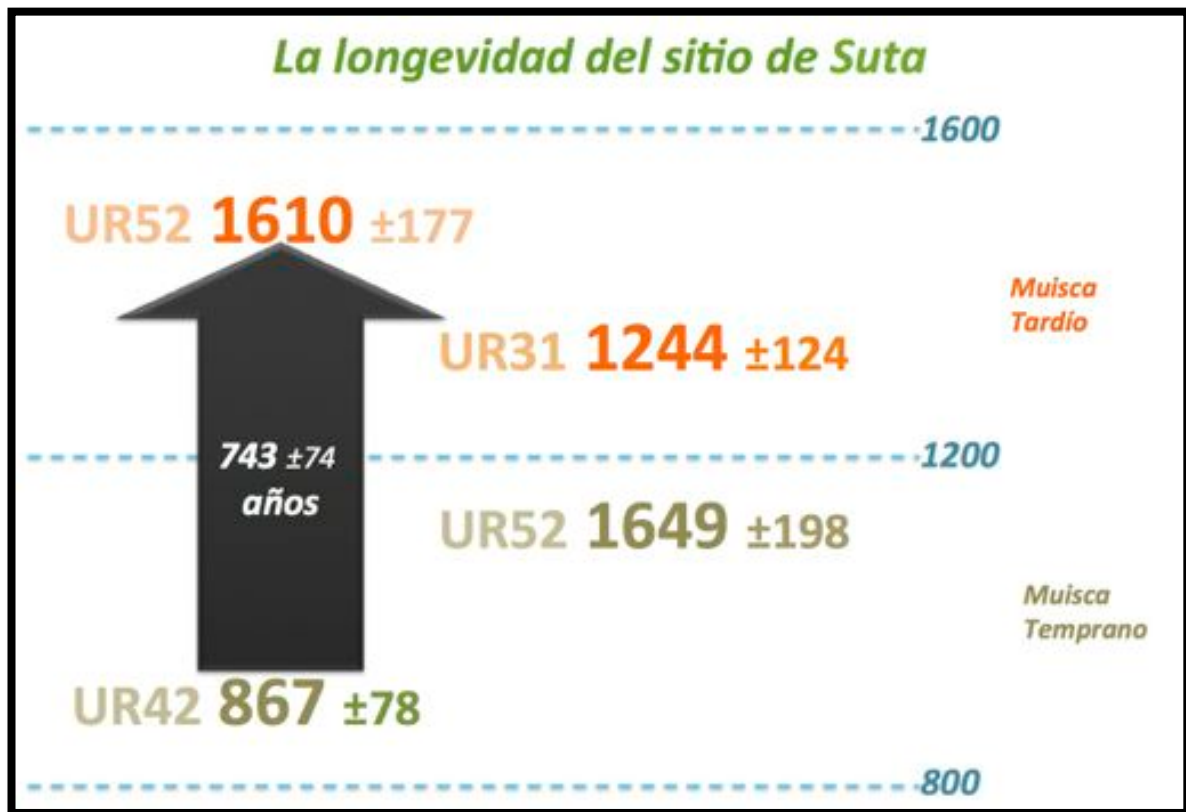


Figura 6-2: El protocolo establecido después de los trabajos realizados para la datación de cerámica Muisca por el uso del equipo de Resonancia Paramagnética Electronica.



- En lo que concierne al segundo escenario, los resultados fueron satisfactorios en dos sentidos:
 1. En este estudio se dataron por Resonancia Paramagnética Electrónica 6 cerámicas procedentes de varios niveles del sitio arqueológico de Suta, Valle de Leiva, en el Departamento de Boyacá, Colombia con efectos positivos respecto de los resultados de cronología absoluta esperados, los mismos que tuvieron como base la asignación temporal previa a tipos conocidos en la región y empleados como indicadores de datación relativa. Las fechas de EPR obtenidas de los distintos fragmentos de cerámica adscritos a un mismo tipo guardan consistencia entre ellas, y ,
 2. Acorde a la estratigrafía observada en el sitio, y como ha sido puesto de relieve en algunos acápites del escrito, en el sitio se observan depósitos alterados o

perturbados donde no se hace factible identificar una secuencia de ocupación mediante la practica arqueológica convencional. Dicho esto, la técnica empleada (no sujeta a una posición estratigráfica o coherente en términos de un deposito arqueológico conservado) permite obtener datos cronológicos confiables sin importar el contexto de registro, puesto que se aplica directamente sobre el material arqueológico sin perjuicio de su posición estratigráfica.

3. Dado que las edades obtenidas a partir de los fragmentos cerámicos son coherentes entre sí. Se considera que los datos son altamente reproductibles, por lo que se logró el calculo de fechas promedio sólidas y fiables; de la misma manera, muestran coherencia con las fechas radiocarbónicas de otros sitios que pertenecen a los dos periodos reconocidos para la sociedad muisca. Las fechas de la cerámica del *Tipo Suta Arenosa*, del periodo de Muisca Temprano, y de la cerámica del *Tipo Naranja Pulida*, del Muisca Tardío como se presentan en la tabla siguiente:

<i>Tipos de ceramica</i>	<i>Fechas absolutas</i>
1. Suta arenoso (Muisca Temprano)	883 ±79 d.C.
2. Suta arenoso (Muisca Temprano)	867 ±78 d.C.
3. Suta arenoso (Muisca Temprano)	1649 ±177 d.C.
4. Suta naranja pulido (Muisca Tardío)	1610 ±177 d.C.
5. Suta naranja pulido (Muisca Tardío)	1244 ±124 d.C.
6. Suta naranja pulido (Muisca Tardío)	1402 ±140 d.C.

4. Al finalizar los estudios, se logro desarrollar y establecer un protocolo estándar de datación de las cerámicas arqueológicas utilizando el equipo de Resonancia Paramagnética Electrónica (EPR), que hasta ahora en Colombia no había sido

utilizado para ese fin. El protocolo estándar también permite promover la utilización de la Resonancia Paramagnética Electrónica (EPR), como una valiosa herramienta cronométrica para construir y refinar las cronologías en la arqueología colombiana.

5. En torno a la cronología, hay dos fechas propuestas sobre el inicio del periodo Muisca Temprano con base en los resultados del presente estudio: 867 d.C y 883 d.C. Sin embargo, la cronología del período Muisca Temprano sigue siendo incierta y por ende se hace necesario continuar explorando la alternativa presentada en la presente investigación. En los trabajos anteriores, algunos investigadores están de acuerdo en que el periodo Muisca Temprano es el período clave para entender la transición desde el periodo anterior (Herrera Tardío), resaltando que hubo cambios importantes en este lapso.

Este estudio demuestra la importancia de la colaboración activa entre diferentes disciplinas y áreas de la investigación arqueológica. El arqueólogo es fundamental para indagar el pasado: pero, en el siglo XXI, una sola disciplina no es suficiente para usar de forma productiva cada técnica existente en el mundo de la arqueológica moderna. Lo que se necesita es una colaboración mayor y una comunicación eficiente entre la disciplina de la arqueología y las ciencias naturales. A manera de conclusión respecto de los alcances y consideraciones anteriores, todavía hay preguntas sin responder sobre la longevidad de Suta, y en este sentido se hace necesario dar continuidad al proceso en curso como a nuevos datos que complementen los hasta ahora obtenidos con miras a buscar respuestas a preguntas sobre la longevidad del sitio.

6.1 Incertidumbre asociada a la datación

Cualquier técnica analítica presenta errores y el equipo de Resonancia Paramagnética Electrónica (EPR) no es una excepción. Todos los resultados de la datación tienen un nivel inherente de incertidumbre que surge de las condiciones geológicas y de laboratorio o de medición de campo (analíticas).

Los factores que influyen en la exactitud de la datación absoluta por EPR dependen de varios elementos. Algunos de estos errores se pueden reducir al realizar un alto número de mediciones en cada muestra y al datar varias muestras de cada nivel (Dieter Ehlers, comunicación personal, 1 de agosto de 2018, Universität Augsburg, Alemania). Entre estos factores se encuentran los errores estadísticos, causados por imprecisiones en la lectura y fallos en los procesos estadísticos (ruido de señal, etc.); no obstante, estos se pueden estimar y cuantificar (Dr. Krug Von Nidda, comunicación personal, 11 agosto de 2018, Universität Augsburg, Alemania). Reconocer y estimar las fuentes de errores sistemáticos es difícil y requiere una cierta cantidad de experiencia en el campo de la datación (Woda, 2000).

Los errores finales de datación con EPR rara vez nunca fueron superiores al 10% (Rink, 1997; Dr. Mamoun Hemmida, comunicación personal, 12 agosto de 2018, Universität Augsburg, Alemania). Con mayor probabilidad, se encuentran entre el 5% y el 10%. Esto se debe principalmente a los numerosos parámetros que deben considerarse y ajustarse para el proceso del cálculo de la edad. Entre otros, se puede mencionar la dosis equivalente (dosis arqueológica), el contenido de agua del sedimento y del objeto, el contenido de radioelementos, la eficiencia alfa, la densidad, la dosis cósmica y la dosis gamma.

El material por fechar puede alterarse por procesos diagenéticos irreproducibles. Por ejemplo, la fluctuación del contenido de paleoagua en el sedimento podría haber cambiado con el tiempo; esto influye en el resultado de la dosis de radiación externa, ya que algunos sedimentos podrían haber tenido algún desequilibrio radioactivo en la cadena de desintegración del uranio (Grün, 1989; 1992).

Para los métodos de datación por exposición a la radiación –como de datación por EPR-, generalmente se debe asumir que el contenido de humedad y la geoquímica del sedimento del depósito circundante es similar al de las condiciones actuales (Rink, 2001). Pero resulta que la mayor o menor presencia del agua puede originar variaciones (Duval, 2018), porque el agua está libre de elementos radioactivos y, por lo tanto, reduce su contenido medio. Pero, además, se debe tener en cuenta que el agua actúa como moderador, absorbiendo parte de la radiación. Efectivamente el agua absorbe un 50% de las radiaciones alfa, un 25% de las radiaciones de beta y un 14% de las radiaciones gamma. El agua es también el suministro potencial o la eliminación de elementos radiactivos (esencialmente uranio) que suelen ser las dos fuentes de error principales no cuantificables en el cálculo de la tasa de dosis anual durante el período transcurrido desde la deposición de la cerámica (Schellmann & Radtke, 2007). Es parte del proceso de medición de la dosis anual conocer el contenido en agua tanto de la muestra cerámica como del sedimento que la engloba, para poder incluir las correcciones oportunas.

Es bien sabido que la diagénesis de las cenizas puede causar cambios dramáticos en la química del suelo que afectan los niveles de radioactividad en el depósito, pero estos pueden identificarse y evitarse fácilmente (Shiegl et al., 1996). En general, es deseable usar muestras que tengan una alta radioactividad interna y que sean resistentes a los agentes geoquímicos (silex y cuarzo) porque esto reduce los efectos potenciales de las variaciones externas en la geoquímica del suelo y el contenido de humedad en la tasa de dosis de radiación externa. En todos los casos, los resultados de la datación deben incluir una estimación adecuadamente ponderada de los efectos potenciales de la variación del contenido de humedad en la edad fechada, que en los mejores casos se relaciona con el contenido de humedad máximo estimado del sedimento en base al análisis de porosidad (Aitken , 1985).

También existen potenciales problemas generales con la interpretación de los resultados de datación también. El análisis estadístico de los resultados de la datación se puede usar como un punto de referencia para considerar su validez, pero implica una serie de conceptos diferentes que pueden aplicarse de una forma bastante flexible en todo el espectro de las metodologías de datación.

Un ejemplo de una fuente de incertidumbre derivada de las condiciones geológicas es la contaminación de una muestra con una cantidad de átomos progenitores o hijas que no estaban presentes en el momento del enterramiento en la muestra, mientras que una fuente de incertidumbre de medición de laboratorio sería el uso de un contaminado Material estándar necesario para la comparación con la muestra natural. Esto último puede evitarse mediante múltiples controles cruzados entre diferentes laboratorios, pero una muestra con contaminación natural presenta el mismo desafío para todos los laboratorios que puedan estar involucrados. La identificación de la contaminación natural de los componentes del radioisótopo es técnicamente difícil y varía de una técnica a otra. Otro ejemplo son los diferentes tipos de error asociados con muchas formas de datación por exposición a radiación. Los errores analíticos incluirían aquellos asociados con la medición de la dosis de radiación acumulada en la muestra o la medición de su radioactividad interna, mientras que las fuentes de error geológico incluyen fluctuaciones aleatorias en el contenido de humedad del entorno y el movimiento ascendente o descendente de la muestra hacia una capa cuya edad calculada es Tiempo no correlativo con deposición de la muestra.

6.2 El potencial de la Resonancia Paramagnética Electrónica

En las últimas décadas, la arqueocronología se ha transformado en una disciplina importante para la arqueología. Actualmente, cualquier yacimiento arqueológico requiere la elaboración pluridisciplinar de un marco cronoestratigráfico confiable. En la actualidad existen una serie de métodos radiométricos estandarizados, que permiten datar de manera precisa y confiable las ocupaciones precolombinas: entre estos se puede mencionar el Carbono-14, el Uranio-Torio o el Argón-Argón. No obstante, la aplicación de estas técnicas está a veces restringida por factores como el tipo de materiales disponibles, la cronología del sitio o el contexto sedimentario. En este caso, métodos cronométricos alternativos —no convencionales— pueden entrar a escena, como por ejemplo los basados en fenómenos de luminiscencia⁵², en núclidos cosmogénicos o en la Resonancia Paramagnética Electrónica. La técnica de datación por EPR se puede aplicar

⁵² Termoluminiscencia (TL) y Luminiscencia Estimulada Ópticamente (OSL).

a una amplia gama de materiales y tiene probablemente el mayor potencial entre las técnicas de datación para el Cuaternario.

Los resultados de datación en arqueología colombiana se basan fundamentalmente en la técnica radiocarbónica (^{14}C), lo que hace difícil relacionar la datación directamente con los objetos. Aunque esta técnica basada en el radiocarbono pertenece a los procesos de datación absoluta, por los diferentes fenómenos geológicos y físicos puede ser cronológicamente diferentes para los objetos arqueológicos de interés. Para obtener una fecha basada en esta técnica, los arqueólogos tienen que enviar las muestras fuera del país, por lo que aún no se encuentra el equipamiento en el país y el costo de este proceso no es económico. Fuera de esta dificultad práctica, los yacimientos arqueológicos no siempre pueden ofrecer material orgánico para la utilización de este método.

La datación EPR es un método de datación directo; esto significa que puede determinarse la edad del objeto arqueológico a partir de una de sus piezas. Hay pocos métodos aplicables a restos paleontológicos, particularmente en el caso de los homínidos. En cambio, el carácter del ESR permite dataciones directas, sobre la matriz sedimentaria. Esta cualidad convierte la EPR en una alternativa efectiva al C-14 cuando falta el colágeno en los huesos de los restos humanos o para periodos más antiguos que 50.000 años (Grün et al., 2010). La Figura 3 muestra la aplicabilidad del rango de tiempo para algunas de las técnicas de datación más utilizadas en estudios cuaternarios. Por lo general, se considera que la aplicación del intervalo de tiempo óptimo para la datación ESR del material arqueológico se encuentra entre 50.000 y 600.000 años. Sin embargo, bajo ciertas condiciones específicas, los límites del rango de tiempo pueden ser empujados potencialmente desde <500 a ~ 2–3 Millones de años (Duval, 2009).

El presente estudio suministra una perspectiva específica de la viabilidad del método EPR en contextos arqueológicos, con lo que se favorece una síntesis de las labores de datación EPR en Colombia. Los resultados logrados en este proyecto aportan mucho a la arqueología colombiana; sin embargo, solo hasta ahora se les da importancia en Colombia. En consecuencia, el objetivo de este proyecto es el de llenar este vacío, intentando mostrar la utilidad de la Resonancia Paramagnética Electrónica. Por lo tanto, es primordialmente significativo seguir desarrollando el método ESR, para establecer un

protocolo con exactitud y fiabilidad, y así poder completar y optimizar el marco cronológico de las ocupaciones precolombinas en Colombia.

La técnica de EPR, a pesar de su antigüedad, es poco conocida y poco utilizada, en comparación con los otros métodos más populares, aunque sea un método muy acreditado⁵³. La principal razón de esto es la complejidad del protocolo analítico. En efecto, actualmente el número de los laboratorios de EPR especializados en el mundo es muy limitado (eventualmente <10). La técnica EPR puede alcanzar niveles de alta precisión como los otros métodos radiométricos y su aplicación sobre una gran diversidad de materiales le permite cubrir cualquier tipo de contexto arqueológico. Esta versatilidad es la ventaja principal del método ESR, ya que se puede aplicar a una gran variedad de materiales lo que le permite cubrir todos los contextos sedimentarios tanto arqueológicos como también geológicos (Fig. 7). La precisión asociada a las dataciones con el método de ESR está normalmente en el entorno de ~10-12%, y en algunos casos se pueda disminuir este margen de error hasta el 5%. Consecuentemente, es muy significativo seguir desarrollando el método EPR, para dominarlo con exactitud y así poder completar y mejorar el marco cronológico en la arqueología colombiana.

Esta tesis proporciona la primera demostración y prueba de concepto para la aplicación de la datación ESR del mineral de cuarzo en cerámicas prehistóricas en Colombia, y, por lo tanto, proporciona una contribución crítica a la ESR y a los métodos de datación arqueológica. Se quiere hacer constar que este “proyecto exploratorio” no es, en modo alguno, la meta de este tipo de investigación, sino que mejor debe considerarse como el posible comienzo de una más estrecha colaboración entre las ciencias naturales y la arqueología. Se espera que los diversos enfoques para el estudio de los materiales precolombinos aquí presentados—particularmente la cerámica—estimulen el interés por la arqueometría en Colombia y llamen la atención sobre la necesidad de más estudios en este importante y emocionante campo que puede tener aportes importantes para la arqueología colombiana. Ya que el ámbito de arqueología colombiana es consciente de la ausencia de conocimiento requerido y se señala con frecuencia que la mayor dificultad

⁵³ La técnica se ha transformado en el método cronométrico más eficaz sobre los estudios de las primeras ocupaciones en Europa, (Falguères, 2003; Bahain et al., 2007; Duval *et al.*; 2012; 2018) debido a los sitios arqueológicos que limitan el uso de otros métodos como OSL, Ar-Ar, el U-Pb.

en la arqueología colombiana consiste en “precisar cronologías” (Langebaek, 2003) y esta solo se podía atribuir a una cronología adecuada.

Los resultados obtenidos en este proyecto doctoral contribuyen a unir los eslabones de la larga cadena de la historia colombiana; por lo tanto, este es un esfuerzo pionero que pretende impulsar y optimizar la técnica EPR en Colombia y, con ello, la datación del pasado. Por ende, el objetivo de la presente tesis doctoral es el de llenar este vacío sobre una cronoestratigrafía más precisa, aspirando exponer en qué condiciones el uso de la Resonancia Paramagnética Electrónica puede ser rentable para la arqueología colombiana.

Conclusiones

Anexo: Recomendación para la datación de cerámica con EPR

Los resultados y la metodología de la datación ahora reciben un reconocimiento más intenso que nunca y, por lo tanto, se están convirtiendo en un tema más importante en el currículo de la ciencia arqueológica. Los arqueólogos deben estar más familiarizados con los exigentes requisitos de muestreo para hacer planes apropiados para la financiación y la excavación. Por esta razón, se espera que este trabajo sea una guía útil en estas áreas y en las capacidades y problemas de los nuevos métodos de datación.

La expansión de las tecnologías de datación ha traído un dilema para los arqueólogos porque la aplicación de muchos de estos nuevos métodos requiere ciertos cambios en la estrategia de excavación para optimizar el potencial de los resultados de datación. Las necesidades del especialista en datación comparten ciertas similitudes con las de otros especialistas técnicos, como los analistas de polen y los arqueólogos. El momento y la naturaleza de la recolección de muestras entre los especialistas están comenzando a fusionarse y, en algunos casos, esto produce conflictos potenciales en las demandas de la muestra. Sin embargo, la actividad interpretativa conjunta con un enfoque de equipo puede mejorar y contribuir a la importancia de los hallazgos. Centrarse en algunos detalles sobre la planificación y la colaboración que se necesitan para tener éxito en estos enfoques y se discutirán las implicaciones de los resultados:

- Es importante tener en cuenta el tamaño de los fragmentos de las cerámicas al seleccionarlos para realizar la datación. Los fragmentos mas grandes y mas gruesos con un tamaño mínimo de grosor de aproximadamente 15 mm son los mejores para poder ser procesados.
- En el laboratorio se retiran los 2 mm externos de la cerámica para eliminar la contaminación producido por las partículas alfa. Por esta razón se necesitan fragmentos gruesos. Es preferible que el fragmento tenga espesor ≥ 10 mm y 30

mm de ancho. Preferiblemente, se deben recolectar varios fragmentos de cada contexto arqueológico para proporcionar una variedad de materiales para ser trabajados en el laboratorio.

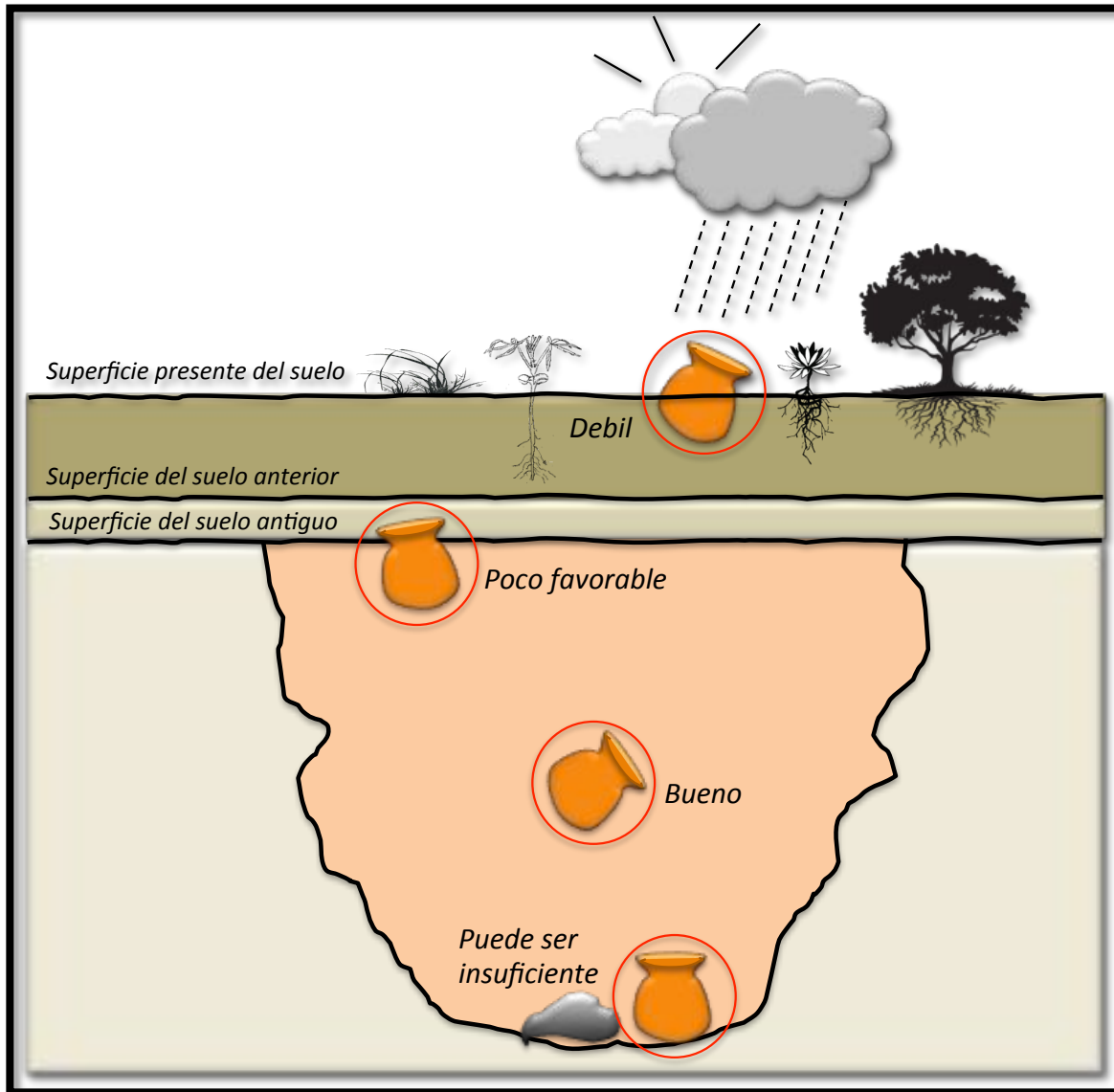
- Como la superficie de cerámica fue retirada, el fragmento no requiere estar protegido de la luz, por lo tanto, se puede lavar y registrar como normalmente se lleva a cabo en una excavación arqueológica.
- Las mejores muestras para la datación de ESR son las que están a una profundidad aproximada de 30 cm, para que la tasa de dosis gamma sea homogénea en el contexto (Fig. 35).
- Es recomendable recoger los fragmentos de cerámicas distanciadas de paredes, en puntos libres de las acumulaciones de piedras o bloques de gran tamaño.
- Sin embargo, una cierta presencia de fragmentos de piedras no es importante siempre que no se tomen aquellas fragmentos en contacto directo, o muy próximos a ellos. Es conveniente que se tomen de 5 a 10 muestras de cada nivel sin olvidar anotar la profundidad de la toma de cerámicas.
- También se debe recoger una muestra del suelo que rodea la muestra, para medir la tasa de dosis gamma. Los sedimentos recogidos en superficie no darían resultados confiables tampoco aquellos tomados a una profundidad inferior a 30 a 40 cm.
- La muestra de suelo no necesita mantenerse en la oscuridad, sino que debe sellarse en una bolsa de plástico hermética tan pronto como sea excavada para preservar el contenido de agua.
- Se deben evitar los sitios donde es probable que la tasa de dosis de rayos gamma haya cambiado con el tiempo, como las superficies expuestas a la interperie.

Después de extraer la cerámica y la cantidad de 100-200 g del sedimento adyacente correspondiente a cada una de ellas, se guardarán en bolsas de plástico de polietileno cerradas, que se almacenarán de nuevo en otra bolsa también cerrando lo más herméticamente posible. Aunque se eliminaron unos milímetros de la superficie de la cerámica, sería conveniente evitar al máximo la incidencia de la luz solar sobre los fragmentos, así como otros tipos de exhibiciones a irradiaciones (ultravioleta, Infrarroja,

rayos-X. etc.). Hay que tener en cuenta que la temperatura no debe sobrepasar los 50-60°C. La decoración superficial no influye en la datación.

Es muy recomendable registrar todo tipo de información acerca del yacimiento (dimensiones del yacimiento, localización geográfica y geológica), posibles contaminaciones observadas por actividad agrícola o industrial y utilización actual o antigua del terreno o del entorno.

Figura 0-1: La selección de la ubicación óptima para el muestreo es importante para la datación con ESR. La mejor posición es desde el centro del relleno, donde el material que rodea la muestra es homogéneo. Una consideración es la complejidad del entorno de tasa de dosis gamma: la tasa de dosis habrá cambiado a lo largo del tiempo cerca de las superficies del suelo anterior, lo que causará dificultades en la evaluación. La roca en la base de este foso puede tener una concentración de radionúclidos diferente de su entorno, por lo que calcular la tasa de dosis gamma para las muestras recolectadas cerca de ella también puede ser difícil (rediseñado de Aitken, 1990).



Bibliografía

- Abbott, D. R. & Schaller, D. M. (1994). Ceramics among the Hohokam: modeling social organization and exchange. *Archaeometry of pre-Columbian sites and artifacts: Proceedings of a symposium organized by the UCLA Institute of Archaeology and the Getty Conservation Institute* (pp. 85-109).
- Abelleira Durán, M. (2014). Origen, utilidad y límites teóricos de la cuantificación cerámica: Un aporte a la arqueología social latinoamericana. *Arqueología y Territorio* (4), 70-86.
- Aitken, M. J. (1985). *Thermoluminescence dating*. Londres: Academic Press.
- Aitken, M. (1990). *Science-Based Dating in Archaeology*. Londres: Routledge.
- Albero Santacreu, D. (2007). Primeras aproximaciones a la tecnología cerámica prehistórica en la península de Calviá (Mallorca). *Arqueología y Territorio*, (4), 70-86.
- Allison, P. M. (1999). Introduction. En P. M. Allison (ed.), *The archaeology of household activities* (pp. 1-18). Londres: Routledge.
- Alonso Gascón, P. J. (2002). *La resonancia paramagnética electrónica: Una técnica multidisciplinar*. Zaragoza: Academia de Ciencias Exactas, Físicas, Químicas y Naturales de Zaragoza.
- Alonso, D. K., Porras, A. F., Peña, M. L. & Parrado, G. A. (2016). *Informe de resultados: Análisis de uranio (^{238}U), torio (^{232}Th) y potasio (^{40}K) mediante la metodología de espectrometría gamma. Proyecto de exploración de minerales energéticos, zona de estudio Zapatoaca- Santander*. Bogotá: Servicio Geológico Colombiano.
- Argüello, P. (2015). Subsistence Economy and Chiefdom Emergence in the Muisca Area, a Study of the Valle de Tena. Doctoral Dissertation. Department of Anthropology, University of Pittsburgh, Pittsburgh.

- Asagoe, M., Toyoda, S., Voinchet, P., Falgueres, C., Tissoux, H., Suzuki, T. & Banerjee, D. (2011). ESR dating of tephra with dose recovery test for impurity centers in quartz. *Quaternary International*, 246, 118-123.
- Atherton, N. M. (1973). *Electron spin resonance: Theory and applications*. Nueva York, NY: Ellis Horwood.
- Báez, J. & Fernández, J. (2004). La aplicación de la datación por radiocarbono en arqueología: Casos particulares. *Spin Cero*, 8, 65-68.
- Bailey, G. (2007). Time perspectives, palimpsests and the archaeology of time. *Journal of anthropological archaeology*, 26(2), 198-223.
- Bartel, H.G. & Reiche, I. (2018). Zur Suche Nach Der Quelle Des Blau In Pigmenten, Gläsern Und Edlen Steinen In Der Zeit Von 1750-1850. *Archäometrie und Denkmalpflege 2018*, 20-24.
- Bartoll, J. & Ikeya, M. (1997). ESR dating of a pottery: a trial. *Applied Radiation and Isotopes*, 48(7), 981-984.
- Bensimon, Y., Deroide, B., Dijoux, F. & Martineau, M. (2000). Nature and thermal stability of paramagnetic defects in natural clay: A study by electron spin resonance. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 61(10), 1623-1632.
- Boada, A. M. (2006). *Patrones de asentamiento regional y sistemas de agricultura intensiva en Cota y Suba, sabana de Bogotá (Colombia)*. Bogotá: Fundación de Investigaciones Arqueológicas Nacionales.
- Boada, A. M. (2007). *La evolución de la jerarquía social en un cacicazgo muisca de los andes septentrionales de Colombia*. Pittsburgh, PA: University of Pittsburgh.
- Boada, A. M. & Cardale de Schrimppf, M. (2017). *Cronología de la sabana de Bogotá*. Pittsburgh, PA: Center for Comparative Archaeology, University of Pittsburgh.
- Brik, A., Haskell, E., Brik, V., Scherbina, O. & Atamanenko, O. (2000). Anisotropy effects of EPR signals and mechanisms of mass transfer in tooth enamel and bones. *Applied Radiation and Isotopes*, 52(5), 1077-1083.
- Browser, B. & Patton, J. (2004). Domestic space as public places: An ethnoarchaeological case of study of houses, gender and politics in the Ecuadorian Amazon. *Journal of Archaeological Method and Theory*, 11(2): 157-181.

- Bruker (2001). ESR Basics. *Bruker Analytik GmbH*, 80.
- Brumfiel, E. M. (1992). Distinguished lecture in archeology: Breaking and entering the ecosystem—gender, class, and faction steal the show. *American Anthropologist*, 94: 551-567.
- Budja, M. (2016). Ceramics among Eurasian hunter-gatherers: 32000 years of ceramic technology use. *Documenta Praehistorica*, 43: 61-86.
- Busch, M. R. (1990). *Laboratory manual in physical geology* (2.^a Ed.). New York, NY: MacMillan Publishing Company.
- Cabrera, F. G. (2015). Análisis funcional del conjunto arquitectónico RCh 8, localidad arqueológica de Rincón Chico, valle de Yocavil, Catamarca. *Revista del Museo de Antropología*, 8 (1), 91-104.
- Cano, N. F., Arizaca, E. C., Yauri, J. M., Arenas, J. S. A. & Watanabe, S. (2009). Dating archeological ceramics from the Valley of Vitor, Arequipa by the TL method. *Radiation Effects & Defects in Solids*, 164(9), 572-577.
- Carballo, D. M. (2012). La laguna dentro del formativo tardío y la transición al clásico en el altiplano central. *VII Coloquio Pedro Bosch-Gimpera: Arqueologías de la vida cotidiana, espacios domésticos y áreas de actividad en el México antiguo y otras zonas culturales*, 1, 21-48.
- Cárdenas-Arroyo, F. (2002). Datos sobre la alimentación prehispánica en la Sabana de Bogotá, Colombia. Bogotá: Instituto Colombiano de Antropología e Historia (ICANH).
- Carvajal, E., Montes, L. & Almanza, O. (2011). Quaternary dating by electron spin resonance (ESR) applied to human tooth enamel. *Earth Sciences Research Journal*, 15(2), 115.
- Castaño Uribe, C. & Dávila, C. L. (1984). *Investigaciones arqueológicas en el Magdalena Medio: Sitios Colorados y Mayaca*. Bogotá: Fundación de Investigaciones Arqueológicas Nacionales.
- Childe V. G. (1929). *The Danube in Prehistory*. Oxford: Clarendon Press.
- Childe, V. G. (1997). *Los orígenes de la civilización*. Bogotá: Fondo de Cultura Económica.

- Clark, J. E. & Gosser, D. (1995). Reinventing Mesoamerica's first pottery. En W. K. Barnett & J. W. Hoopes (Eds.), *The Emergence of Pottery: Technology and Innovation in Ancient Societies* (pp. 209-222). Washington, D.C.: Smithsonian Institution Press.
- Conkey, M. W. & Spector, J. D. (1998). Archaeology and the Study of Gender. En K. Hays-Gilpin & D. S. Whitley (Eds.), *Reader in Gender Archaeology* (pp. 11-46). London and New York, NY: Routledge.
- Correal Urrego, G. & Van der Hammen, T. (1977). Investigaciones arqueológicas en los abrigos rocosos del Tequendama: 12.000 años de historia del hombre y su medio ambiente en la altiplanicie de Bogotá. Bogotá: Biblioteca del Banco Popular, Premios de Arqueología.
- Cragolino, E. (1997). *La unidad doméstica en una investigación de antropología educativa*. Trabajo presentado en el V Congreso Argentino de Antropología Social, La Plata, Argentina.
- Cuéllar, A. M. (2010). *Juego de datos "Asentamientos de Quijos"*. Pittsburgh, PA, Estados Unidos: University of Pittsburgh: Comparative Archaeology Database.
- De Boer, W. R. (1974). Ceramic longevity and archaeological interpretation: An example from the Upper Ucalayi, Perú. *American Antiquity*, 39: 335-343.
- Deal, M. (1983). Household pottery disposal in the Maya highlands: And ethnoarchaeological interpretation. *Journal of Anthropological Archaeology*, 4: 243-291.
- Deer, F. R. S., Howie, R. A. and Zussman, J. (1966). *An introduction to the rock-forming minerals*. Essex: Longman.
- Desrosiers, M. F. (1990). Assessing radiation dose to food. *Nature*, 345: 485-488.
- Douglass, J. G. & Gonlin, N. (2012). The household as analytical unit: Case studies from the Americas. En *Ancient households of the Americas: Conceptualizing what households do* (pp. 1-46). Boulder, CO: University Press of Colorado.
- Drennan, Robert (1985), "Archaeological Survey and Excavation". En Robert Drennan (ed.), *Regional Archaeology in the Valle de la Plata, Colombia: A Preliminary Report*

- on the 1984 Season of the Proyecto Arqueológico Valle de la Plata, 118-181. *Ann Arbor: Research Reports in Archaeology*.
- Dunnell, R. C. (1993). Why archaeologists don't care about archaeometry, *Archeomaterials*, 7, 161–5.
- Duque Gómez, L. (1966) Exploraciones Arqueológicas en San Agustín. En *Revista Colombiana de Antropología, Suplemento No. 1*. Bogotá, Colombia: Instituto Colombiano de Antropología.
- Duval, M., Moreno, D., Shao, Q., Voinchet, P., Falguères, C., Bahain, J. J., Garcia, T., García, J. & Martínez, K. (2011). Datación por ESR del yacimiento arqueológico del Pleistoceno inferior de Vallparadís (Terrassa, Cataluña, España). *CSIC-Trabajos de prehistoria* 68, (1), 7-24.
- Edmonds, M. (1990). Science, technology and society, *Scottish Archaeological Review*, 7, 23–31.
- Egersdörfer, S., Wieser, A. & Muller, A. Tooth enamel as a detector material for retrospective ESR dosimetry. *Appl. Radiat. Isot.*, 47, 1299–1304.
- Escribano Ruiz, S. (2010). La cerámica en los procesos de formación, percepción e interpretación del registro arqueológico. Sobre el tránsito del contexto arqueológico al sistémico. *Krei*, 11, 109-118.
- Evans, C. & B. J. Meggers. (1962). Use of organic temper for Carbon 14 dating in lowland South America. *American Antiquity*, 28, 243-245.
- Fajardo, S. (2009). *Procesos de centralización política de una Comunidad cacical en el Valle de Leiva: jerarquía y negociación entre los siglos XI y XVII* [Tesis de Maestría sin publicar].
- Fajardo, S. (2011). Jerarquía social de una comunidad en el valle de Leiva: unidades domésticas y agencia entre los siglos XI y XVII. Bogotá, Colombia: Instituto Colombiano de Arqueología e Historia.
- Fajardo, S.; Navarro Paez, L. F. & Mahecha Baracaldo, J. D. (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, Colombia: Banco Popular.
- Falguères, C. (2003). ESR dating and the human evolution: contribution to the chronology of the earliest humans in Europe. *Quaternary Science Reviews*, 22, 1345-1351.
- Feathers, James K. (2003). Use of Luminescence Dating in Archaeology. *Measurement Science and Technology* 14,1493-1509.
- Felber, H. & Hille, P. (1982). Anwendung der Radioisotopen-Datierung in der Archäologie. Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse, 191, 149 - 184.
- Flannery, K. V. (1976) Research strategy and Formative Mesoamerica. En K. V. Flannery (ed.), *The early mesoamerican village* (pp. 1-11). Nueva York, NY, Estados Unidos: The American Press.
- Funari, P. P. & Zarankin, A. (2006). Algunas consideraciones arqueológicas sobre la vivienda doméstica en Pompeya. *Gerión*, 19, 493-511.
- Galindo, R. (2012) Extracción e identificación de los ácidos grasos contenidos en el interior de la cerámica Muisca, a través de una cromatografía de gases/espectrometría de masas, para la población prehispánica de Sutamarchán, en los períodos temprano y tardío. Tesis, Departamento de Antropología, Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá.
- Galindo, R. (2016) La alimentación prehispánica un marcador de diferenciación social, a partir del análisis de los residuos orgánicos obtenidos del material cerámico para los sitios arqueológicos de Mesitas (San Agustín) y Suta (Sutamarchán), Tesis de Maestría, Departamento de Antropología, Universidad Nacional de Colombia.
- García, L. C. (1988). Etnoarqueología: manufactura de cerámica en Alto Sapagua. En H. Yacobaccio (ed.), *Arqueología Contemporánea Argentina. Actualidad y Perspectivas*. Editorial Búsqueda.
- Gillespie, S. (2012). El modelo de la "sociedad de casas" en la arqueología de la vida cotidiana. G. Acosta Ochoa (ed.), VII Coloquio Pedro Bosch-Gimpera: Arqueologías de la vida cotidiana: espacios domésticos y áreas de actividad en el México antiguo

- y otras zonas culturales (pp. 21-48). Instituto de Investigaciones Antropológicas. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Gimeno Navarro, M. A. (1995). La influencia de la innovación tecnológica sobre el significado del trabajo en trabajadores del sector cerámico. *Forum de Recerca*, 1, 62-72.
- González, V. (2007). *Prehispanic change in the Mesitas community: documenting the development of a chiefdom's central place in San Agustín, Huila, Colombia*. Pittsburgh, PA, University of Pittsburgh.
- González, V. (2013). "Studies of the Community and Settlement Patterns at Various Scales in the Trajectories of Chiefdom Development in Colombia. En S. Palumbo, A.M. Boada, W. Locascio & A. Menzies (ed.), *Multiscalar Approaches to Studying Social Organization and Change in the Isthmo-Colombian Area* (pp. 71-86). Bogotá, Colombia: Uniandes.
- Griffith, J.H.E., Owen, J., Ward, I.M. (1955). Defects in crystalline solids, In Bristol Conference., Physical Society, London pp. 81.
- Griscom, D.L. (1990). Electron spin resonance investigations of defects and defect processes in amorphous silicon dioxide, *Rev Solid State Sci.*, 4, 565-599.
- Grün, R. (1989). Electron spin resonance (ESR) dating, *Quat. Intern.*, 1, 65-109.
- Grün, R. (1997). "Electron spin resonance dating", In *Chronometric and Allied Dating in Archaeology*, Taylor, R.E., Aitken, M.J. (eds), Plenum, New York, 217–261 (1997).
- Grün, R. (2001). "Trapped charge dating (ESR, TL, OSL)", in M. Pollard and D. Brothwell, ed. 'Handbook of archaeological science', London :John Wiley and Sons, 47-62.
- Grün, R. and MacDonald, P.D.M. (1989). Non-linear fitting of TL/ESR dose-response curves, *Appl. Radiat. Isot.*, 40, 1077-1080.
- Grün, R., and Stringer, C.B. (1991). "ESR dating and the evolution of modern humans". *Archaeometry*, 33: 153-99.
- Groot, A. M. (1992). *Checua: una secuencia cultural entre 8.500 y 3.000 años antes del presente*. Bogotá: Fundación de Investigaciones Arqueológicas Nacionales. Banco de la República.

- Gualtieri, S. Del Monaco (1995). Non-destructive ESR analysis of ceramic pottery samples from the Santa Rosa (Abruzzo) archeological site, Proceedings of the IV European Ceramic Conference, Riccione.
- Gutierrez, J. y Martin, J. (2001). Perspectivas pedológicas y geoquímicas de suelo en contextos arqueológicos para la definición de área de actividad. En: Simposio Pueblos y Ambientes: Una mirada al pasado precolombino. Ed. G. Morcote. Academia Colombiana de ciencias exactas, físicas y naturales. Colección Nr. 10. Bogota.
- Halliburton, L.E. (1989). ESR and optical characterization of point defects in quartz, *Appl. Radiat. Isot.*, 40, 859-863.
- Halstead, P. (1999). Neighbours from hell? The household in Neolithic Greece. In: Halstead, P. (Ed.), *Neolithic Society in Greece*. Sheffield Academic Press, Sheffield, pp. 77–95.
- Haskell, E.H., Hayes, R.B., Kenner, G.H., “Preparation-induced Errors in ESR dosimetry of enamel: pre- and post-crushing sensitivity” , *Appl. Radiat. Isot.*, 47: 1305– 1310 (1996).
- Hegmon, m. (2003). «Setting theoretical egos aside: issues and theory in north American archaeology», *American Antiquity* 68: 213-243.
- Henderson, H. (2008). Alimentando la casa, bailando el asentamiento: explorando la construcción de liderazgo político en las sociedades muiscas. En J. Gamboa, *Los muiscas en los siglos XVI y XVII: miradas desde la antropología, arqueología y la historia* (págs. 40-63). Bogotá: Universidad de los Andes.
- Henderson, H. (2012). Understanding Households on Their Own Terms: Investigations on Household Sizes, Production, and Longevity at K’axob, Belize. In Douglass J. & Gonlin N. (Eds.), *Ancient Households of the Americas: Conceptualizing What Households Do* (pp. 269-298). University Press of Colorado.
- Henderson, H. (2014) The Role of Place-Making in Chiefdom Societies, In: *Against Typological Tyranny in Archaeology*, C. Gnecco, C. Langebaek (eds.), Springer New York Heidelberg Dordrecht London, pp 179-200.

- Henderson, H., & Ostler, N. (2005). Muisca settlement organization and chiefly authority at Suta, Valle de Leiva, Colombia: A critical appraisal of native concepts of house for studies of complex societies. *Journal of Anthropological Archaeology*, 24, 148–178.
- Henderson, H. y Ostler, N. (2009). "Organización del asentamiento muisca y autoridad cacical en Suta, valle de Leyva, Colombia: una evaluación crítica de los conceptos nativos sobre la casa para el estudio de las sociedades complejas", en SÁNCHEZ, C. (ed.-comp.), *Economía, prestigio y poder. Perspectivas desde la arqueología*, Colección Perspectivas arqueológicas, Bogotá, Instituto Colombiano de Antropología e Historia, págs. 74-146.
- Hendon, J. (1996). Archaeological approaches to the organization of domestic labour: household practice and domestic relations. *Annual Review of Anthropology* 25:45-61.
- Hodder, I. y Cessford, C. (2004). Daily Practice and Social Memory at Çatalhöyük. *American Antiquity* 69(1):17-40.
- IAEA (2002). "Use of electron paramagnetic resonance dosimetry with tooth enamel for retrospective dose assessment", IAEA-TECDOC-1331, 64 (2002).
- Ikeya, M. (1975). "Dating a stalactite by electron paramagnetic resonance *Nature*, 255: 48-50.
- Ikeya, M. (1985). Electron spin resonance. In Rutter, N. W. (ed.) *Dating Methods of Pleistocene Deposits and their Problems*, Geological Association of Canada, St. John's. *Geoscience Canada Reprint Series* 2:73-87.
- Ikeya, M. (1993). *New applications of electron spin resonance dating, Dosimetry and Microscopy*, Singapore: World Scientific Pub. Co. Pte. Ltd.
- Ikeya, M. and Miki, T. (1980) Electron spin resonance dating of animal and human bones, *Science*, 207, 977-979.
- Ikeya, M. and Ohmura, K. (1983). Comparison of ESR ages of corals from marine terraces with ^{14}C and $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ ages, *Earth and Planetary Science Letters*, 65, 34-38.
- Imai, N. and Shimokowa, K. (1988). ESR dating of quaternary tephra from Mt. Osore-zan using Al and Ti centers in quartz, *Quaternary Science Review*, 7, 523-527.

- Ishii, H. & Ikeya, M. (1990). "An electron spin resonance system for in vivo human tooth dosimetry", *Jpn. J. Appl. Phys.*, 29: 871–875.
- Ivanovich M. and Harmon R.S. (1982). *Uranium Series Disequilibrium: Application to Environmental Problems In the Earth Science*. Oxford Univ. Press, Oxford.
- Jaramillo, L. G. (1996). *Prehispanic Chiefdoms in the Valle de la Plata, Volume 3: The Socioeconomic Structure of Formative 3 Communities*. University of Pittsburgh Memoirs in Latin American Archaeology, No. 10. Pittsburgh: University of Pittsburgh.
- Jaramillo, L. G. (2008). *Sociedades prehispánicas en el territorio "Quimbaya": Unidades domésticas, áreas de actividad y el Complejo Tesorito*. Bogotá: Investigaciones Arqueológicas Nacionales, Banco de la República.
- Jonas, M. (1997). Concepts and methods of ESR dating, *Radiation Measurements*, 27: 943-973.
- Jover, F.J. & Torregrosa-Giménez, P. (2017). Las unidades domésticas de los primeros grupos neolíticos en el Este de la Península Ibérica. *Munibe Antropologia-Arkeologia*.No:68:135-153. 10.21630/maa.2017.68.03.
- Kaczynski, R., Grabowska-Olszewska, B. (1997) Soil mechanics of the potentially expansive clays in Poland, *Appl. Clay Sci.*, 11, 337-355.
- Keally, C. T., Taniguchi, Y., Kuzmin, Y. V. & Shewkomud, I. Y. (2004). Chronology of the beginning of pottery manufacture in East Asia. *Radiocarbon* 46, 345–351.
- Keally, C. T., Taniguchi, Y., Kuzmin, Y. V. & Shewkomud, I. Y. (2004). Chronology of the beginning of pottery manufacture in East Asia. *Radiocarbon* 46, 345–351.
- Kent, S. (1987). "Understanding the use of space: An ethnoarchaeological approach", en: *Method and Theory for Activity Area Research. An Ethnoarchaeological Approach*, S. Kent (ed.), Columbia University Press, New York: 1-60.
- Kent, S. (1990). *Cultural study of segmentation, architecture, and the use of Domestic architecture and the use of space*, Cambridge University Press, Cambridge, pp. 127-152.
- Kruschek, Michael H. (2003), *The Evolution of the Bogotá Chiefdom: A Household View*. Tesis doctoral inédita, University of Pittsburgh, Pittsburgh.

- Langebaek, C. (1995). *Arqueología regional en territorio muisca*. Pittsburgh: Universidad de Pittsburgh.
- Langebaek, C. (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, No 2, Bogotá.
- Langebaek, C. (2008). Dos teorías sobre el poder político entre los Muisca: un debate a favor del diálogo. In: *Los Muisca en los siglos XVI y XVII: Miradas desde la arqueología, la antropología y la historia*, Ed. Jorge Augusto Gamboa, pp. 64-93. Ediciones Uniandes, Bogotá.
- Lee, H.K., Rink, W.J., Schwarcz, H.P. (1997). "Comparison of ESR signal dose responses in modern and fossil tooth enamels", *Radiat. Meas.*, 27: 405–411.
- Li, S.H. (2001). Identification of well bleached grains in the optical dating of quartz, *Quaternary Science Reviews*, 20, 1365-1370.
- Lian, O. B. (2007). Optically-Stimulated Luminescence. In *Encyclopedia of Quaternary Science*, Volume 2, edited by S.A. Elias, pp. 1491-1505. Elsevier Science, London UK.
- Magdalena, F., Ryszard, K., Helena, H. (2000). "Electron paramagnetic resonance in dating of fossil organic remains"., *Geochronometria*, 19: 59-64 (2000).
- Manzanilla, L. (1986). Introducción, Linda Manzanilla (ed.), *Unidades habitacionales mesoamericanas y sus áreas de actividad*, Universidad Nacional Autónoma de México, México: 9-18.
- Manzanilla, L. (2007). "La unidad doméstica y las unidades de producción. Propuesta interdisciplinaria de estudio", en *Memoria 2007*, El Colegio Nacional, México, pp. 415-451.
- Manzanilla, L. & Barba, L. (1990). The Study of Activities in Classic Households: Two Case Studies from Coba and Teotihuacan. *Ancient Mesoamerica*, 1, pp 41-49.
- Martinón-Torres, M. and Killick, D.C. (2015). Archaeological theories and archaeological sciences, in A. Gardner, M. Lake and U. Sommer (eds.), *Oxford Handbook of Archaeological Theory*. Oxford: Oxford University Press. Online.

-
- Maurer, C., Williams, S. And Riley, T. (1981). ESR dating of archaeological ceramics: a progress report. *MASCA Journal*. Vol.1, Nr.7, pp. 202-204.
- Mc Morris, D.W. (1969). Trapped electron dating: ESR studies, *Nature*, 222, 870-871.
- McMorris, D.W. (1970). ESR detection of fossil alpha damage in quartz, *Nature*, 226.
- Menacho, K. A. (2001). Etnoarqueología de trayectorias de vida de vasijas cerámicas y modo de vida pastoril, *Relaciones de la Sociedad Argentina de Antropología XXVI*, 2001. Buenos Aires.
- Montero, I.; García, M.; López-Romero, E. (2007). Arqueometría: cambios y tendencias actuales. *Trabajos de Prehistoria* 64, No 1, Enero-Junio 2007, pp. 23-40.
- MOW INTERNATIONAL RESEARCH TEAM (1987). *The Meaning of Working: An International Perspective*. Academic Press.
- Nakamura, T., Taniguchi, Y., Tsuji, S. & Oda, H. (2001). Radiocarbon dating of charred residues on the earliest pottery in Japan. *Radiocarbon* 43, 1129–1138.
- Nielsen, A. E. (2000). *Andean Caravans: An Ethnoarchaeology*. PhD-Tesis, University of Arizona, Tucson USA. M.S.
- O'Brien, M.C.M. (1955). The structure of the color centers in smoky quartz, *Proc. Roy. Soc. A.*, 231, 404-414.
- Orton, C.; Tyers, P.Y Vince, A. (1997). *La cerámica en arqueología*. Barcelona: Crítica.
- Otero, C. (2007) Análisis cerámico y estructuración espacial de un recinto del sitio de Tilcara (Quebrada de Humahuaca). *Anales de Arqueología y Etnología de Cuyo* 61-62: 177-202.
- Oyuela-Caycedo, A. (1995). Rocks vs clay: the evolution of pottery technology in the case of San Jacinto 1, Colombia. In *The Emergence of Pottery*, edited by William K. Barnett and John W. Hoopes, pp. 133–144. Smithsonian Institution Press, Washington, D.C.
- Oyuela-Caycedo, A. (2004). El Contexto Económico de la Alfarería Temprana en el Caso de San Jacinto 1. *Boletín de Arqueología Pucp*. Nr: 10 / 2006, pp. 285-304.

- Özdoğan, M. (2009). Earliest Use of Pottery in Anatolia. In D. Gheorghiu (ed.), *Early Farmers, Late Foragers, and Ceramic Traditions: On the Beginning of Pottery in the Near East and Europe*. Cambridge Scholars Publishing. Cambridge: 22–43.
- Polyakov, V., Haskell, E.H., Kenner, G.H., Hütt, G., Hayes, R.B., (1995). “Effect of mechanically induced background signal on ESR dosimetry of tooth enamel”, *Radiat., Meas.*, 24: 249–254.
- Prescott, J. R. y Hutton, J. T. (1988). “Cosmic ray and gamma ray dosimetry for TL and ESR”. *Nuclear Tracks Radiation Measurements* 14: 223-227.
- Prescott, J.R. & Hutton, J.T.. (1994). Cosmic ray contribution to dose rates for luminescence and ESR dating. *Radiation Measurements*. 23. 497-500. 10.1016/1350-4487(94)90086-8.
- Price, T. D., & Burton, J. H. (2011). *An Introduction to Archaeological Chemistry*. New York: Springer.
- Quattrin, D. (2001). *Cacicazgos prehispánicos del valle de La Plata. Tomo 4, Economía vertical, intercambio y cambio social durante el período Formativo*. University of Pittsburgh, *Memoirs in Latin American Archaeology*, 11. Pittsburgh, Bogotá: University of Pittsburgh, Universidad de los Andes.
- Raymond, J. S.; Oyuela-Caycedo, A.; Carmichael, P. H. (1998). The Earliest Ceramic Technologies of the Northern Andes: A Comparative Analysis, en: I. Shimada (ed.), *Andean Ceramics: Technology, Organization, and Approaches*, 153-172, University of Pennsylvania Museum of Archaeology and Anthropology, MASCA Research Papers in Science and Archaeology, suplemento al vol. 15, Philadelphia.
- Regulla, D. (2000). “From dating to biophysics-20 years of progress in applied ESR spectroscopy”. *Appl. Radiat. Isot.*, 52: 1023–1030 (2000).
- Reichel-Dolmatoff, G. (1972). *San Agustín. A Culture of Colombia*, London, Thames and Hudson.
- Reichel-Dolmatoff, G. (1986). *Arqueología de Colombia: un texto introductorio*, Fundación Segunda Expedición Botánica, Bogotá.
- Reimer, P., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J., Blackwell, P., Ramsey, C., Van der Plicht, J. (2013). IntCal13 and Marine13 Radiocarbon Age Calibration Curves 0–50,000 Years cal BP. *Radiocarbon*, 55(4), 1869-1887. doi:10.2458/azu_js_rc.55.16947.

- Rhodes, E. J. (2011). Optically Stimulated Luminescence Dating of Sediments over the Past 200,000 Years. *Annual Review of Earth and Planetary Science* 39:461-488.
- Rhodes, E.J. and Grün, R. (1991). ESR behaviour of magnetic center at $g = 2.0018$ in tooth enamel, *Ancient TL*, 9(2), 14-18.
- Rice, P. (1987). *Pottery analysis: a sourcebook*, The University of Chicago Press, Chicago.
- Rink, W.J. (1997). Electron spin resonance (ESR) dating and ESR applications in quaternary science and archeometry, *Radiation Measurements*, 27: 975-1025.
- Rink, W. J. (2001). Beyond ^{14}C dating: A user's guide to long-range dating methods in archaeology. In *Earth Sciences and Archaeology*, ed. P. Goldberg, V. T. Holliday, and C. R. Ferring, 385-417, New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers.
- Rittenour, T.M., Cotter, J.F.P., and Arends, H.E. (2015). Application of single-grain OSL dating to ice-proximal deposits, glacial Lake Benson, west-central Minnesota, USA: *Quaternary Geochronology*, v. 30(Part B), p. 306–313, doi:10.1016/j.quageo.2015.02.025.
- Rittenour, T.M., Goble, R.J., and Blum, M.D. (2005). Development of an OSL chronology for late Pleistocene channel belts in the lower Mississippi valley, USA: *Quaternary Science Reviews*, v. 24, p. 2539–2554, doi: 10.1016/j.quascirev.2005.03.011.
- Rodríguez, J. (2010). "Ideología y liderazgo político en la periferia: una perspectiva desde el cacicazgo de Suta. Valle de Leiva. Siglos XIII-XVI". Tesis de maestría. Departamento de Antropología Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Romano, F. (2003). "San Carlos: documentando trayectorias evolutivas de la organización social de unidades domésticas en un cacicazgo de la sabana de Bogotá (Funza)". *Boletín de Arqueología* 18: 3-51.
- Romanyukha, A.A. and Regulla, D.F. (1996). "Aspects of retrospective ESR dosimetry", *Appl. Radiat. Isot.*, 47: 1293–1297 (1996).
- Romanyukha, A.A., Regulla, D.F., Vasilenko, E.K., Wieser, A., Drozhko, E.G., Lyzlov, A.F., Koshurnikova, N.A., Shilnikova, N.S., Panfilov, A.P. (1996). "Verification of occupational doses at the first nuclear plant in the former Soviet Union" , *Appl. Radiat. Isot.*, 47: 1277–1280.

- Romanyukha, A.A., Regulla, D.F., Vasilenko, E., Wieser, A. (1994). "South Ural nuclear workers: Comparison of individual doses from retrospective ESR dosimetry and operational personal monitoring", *Appl. Radiat. Isot.*, 45: 1195–1199.
- Russo, M. & Heide, G. (2004) The emergence of Pottery in South Florida, in: *Early Pottery: Technology, Function, Style, and Interaction in the Lower Southeast*, Eds. R. Saunders, C. T. Hays, University of Alabama Press, Alabama.
- Salazar, J. (2007). Materialidad doméstica y uso del espacio en un poblado del Período de Desarrollos Regionales del Valle de Yocavil (Tucumán, Argentina). *Nuevos Aportes* (2007) No:4: 55-78.
- Salge F. M. (2007). Festejos muiscas en El Infiernito, Valle de Leiva. Consolidación del poder social. Bogotá: Universidad de los Andes.
- Sato, T. (1982). ESR dating of planktonic foraminifera, *Nature*, 300, 518-521.
- Sayar, M. (1960). Mineroloji ve Jeoloji, 3. Baskı, İ.T.Ü. Maden Fakültesi, İstanbul, 97s.
- Schauer, D., Desrosiers, M., Le, F., Seltzer, S., Links, J. (1994). "ESR dosimetry of cortical bone and tooth enamel irradiated with X and gamma rays: study of energy dependence", *Radiat. Res.*, 138: 1–8 (1994).
- Shiegl S., Goldberg P., Bar-Yosef O. and Weiner S. (1996). Ash deposits in Hayonim and Kebara Caves, Israel: Macroscopic, Microscopic and Mineralogical Observations, and their Archaeological Implications. *Journal of Archaeological Science* **23**, 763-781.
- Schiffer, M. B. (1972). Archaeological Context and Systemic Context. *American Antiquity* 37: 156- 165.
- Schiffer, M. B. (1987). Formation Processes of the Archaeological Record. Ed. M. Schiffer. University of New Mexico Press. Albuquerque.
- Schiffer, M. B. (1995). Behavioral Archaeology. First Principles. University of Utah Press. Salt Lake City.
- Schiffer, M. B. (1996). Some relationships between behavioural and evolutionary archaeologies, *American Antiquity*, **61**, 643–62.
- Schnadt, R. and Rauber, A. (1971). Motional effects in the trapped-hole center in smoky quartz, *Solid State Commun*, 9, 159-161.

- Schwarcz, HP., Grün, R., and Tobias, PV. (1994). "ESR dating studies of the australopithecine site of Sterkfontein", South Africa., *Journal of Human Evolution*, 26: 175-81.
- Seva Román, R. (1995). *Caracterización cerámica y relaciones culturales en la prehistoria reciente de Alicante*. PhD tesis, Universidad de Alicante, Alicante.
- Shepard, A. (1985). *Ceramics for the Archaeologist*. Washington, D. C. : Carnegie Institution of Washington (Publication 609).
- Shimada, A. (2008). *Characteristics of ESR signals and thermoluminescence color images of quartz grains to study the provenance of sediments*, Ph.D. Thesis, Nara Women's University, Japan: 153pp (in Japanese).
- Skinner, A.R., Mark, N., Rudolph, M.N. (1997). The use of the E' signal in flint for ESR dating. *Appl. Rad. Isot.* 47, 1399-1404.
- Spaulding, A. C. (1978). 'Artifacts classes, association and seriation'. En *Archaeological essays in honor of Irving B. Rouse*, Eds. Robert Dunnell y Edwin Hall. Mouton Publishers, Paris.
- Steadman, S. (1996). "Recent Research in the Archaeology of Architecture: Beyond the Foundations". *Journal of Archaeological Research*, 4 (1), pp. 51-93.
- Steadman, S. R. (2015). *Archaeology Of Domestic Architecture And The Human Use Of Space*, Walnut Creek, California.
- Steadman, S. R., McMahon, G. y Ross, J. C. (2007). "The Late Chalcolithic at Çadir Höyük in Central Anatolia". *Journal of Field Archaeology*, 32, 4: 385-406.
- Taboada C. & Angiorama. C. (2003). *Buscando los indicadores arqueológicos de la unidad doméstica*. Cuadernos de la Facultad de Humanidades y Ciencias Sociales. Universidad Nacional de Jujuy, No.20: 393-407.
- Taboada, C. (2016). "Montículos arqueológicos, actividades y modos de habitar. Vivienda y uso del espacio doméstico en Santiago del Estero (tierras bajas de Argentina)", *Arqueología de la Arquitectura*, 13.
- Taylor, R.E. & Aitken, M.J. (1979). *Chronometric dating archaeology*, Plenum Press, New York; Hirst, K.K. (fecha de acceso 2007): 'A short course in scientific dating methods', <http://archaeology.about.com/od>.

- Tovar, H. (1980) La formación social chibcha. Santa Fé de Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Toyoda, S. (2010). The E_1' center in natural quartz: Its formation and applications to dating and provenance researches, *Geochronometria*, 1897-1695.
- Toyoda, S. & Falgueres, C. (2003). The method to represent the ESR signal intensity of the aluminum hole center in quartz for purpose of dating, *Advances in ESR Applications*, 20, 7-10.
- Toyoda, S. and Ikeya, M. (1991). Thermal stabilities of paramagnetic defect and impurity centers in quartz: Basis for ESR dating of thermal history, *Geochemical Journal*, (25), 437-445.
- Toyoda, S., Voinchet, P., Falgueres, C., Dolo, J.M., Laurent, M. (2000). Bleaching of ESR signals by the sunlight: a laboratory experiment for establishing the ESR dating of sediments, *Appl. Radiat. Isot.*, 52, 1357-1362.
- Trigger, B. G. (1989). *A History Of Archaeological Thought*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Ubersfeld, J., Etienne, A. and Combrisson, J. (1954). Paramagnetic resonance: a new property of coal like materials, *Nature*, 174, 614.
- Ulusoy U. (1995). Kuvars minerallerinin ESR yöntemiyle incelenmesi ve tarihlenmesi, PhD. Thesis, Hacettepe Üniversitesi Fen Bil. Enst., Ankara.
- Vandiver, P., Soffer, O., Klima, B., & Svoboda, J. (1989). The Origins of Ceramic Technology at Dolni Věstonice, Czechoslovakia. *Science*, 246 (4933), pp.1002-1008.
- Vidal, A. (2007). "La arqueometría americana en la actualidad: un pequeño paso para el investigador, un gran salto para la disciplina". *Actas del II Congreso Argentino y I Latinoamericano de Arqueometría: 75-76*. Buenos Aires.
- Vitelli, K. D. (1989). Were pots first made for foods? Doubts from Franchthi. *World Archaeology*. 21. 17-29.
- Voinchet P, Falguères C, Tissoux H, Jean-Jacques Bahain, Jackie Despriée and Florence Pirouelle (2007). ESR dating of fluvial quartz: Estimate of the minimal distance transport required for getting a maximum optical bleaching. *Quaternary Geochronology* 2(1-4): 363-366, DOI 10.1016/j.quageo.2006.04.010.

- Voss, A. (2008). «Un nuevo texto jeroglífico en Dzibilchaltún, Yucatán, México», informe al Proyecto Arqueológico Dzibilchaltún, Centro inah Yucatán, Mérida
- Walker, M.J.C. (2005). *Quaternary dating methods*. Chichester: John Wiley & Sons.
- Weil, J.A. (1984). A review of electron spin spectroscopy and its applications to the study of paramagnetic defects in crystalline quartz, *Phys. Chem. Minerals*, 10, 149-165.
- Wencka, M.; Hoffmann, S.K.; Hercman, H. (2005). ESR dating of hydroxyapatite from fossil bones. Transient effects after gamma and UV irradiation, *Acta Physica Polonica A*, 108, 331-337.
- Wertz, J.E. & Bolton, J.R., (1972). "Electron spin resonance; elementary theory and practical Applications", McGraw-Hill, New York, 1-31.
- Westfall, C. (2006). *Arqueometría: actuales aportes de la geología, química, física y biología al estudio y conservación del patrimonio arqueológico*. Congreso Nacional de Arqueología Chilena, 17., 2006, Chile. Actas Valdivia, Chile: Ediciones Kultrún., p. 755-788.
- Whitehead, N., Hirai, M., Tani, A., Yamanaka, C., Ikeya, M. ed. (2002). *Proc. New Prospects on ESR Dosimetry and Dating*, *Adu. ESR Appl.*, 18, p.366.
- Wieser, A., Göksu H.Y., Regulla, D.F., Vogenauer A., (1988). "Dose rate assessment in tooth enamel", *Quat. Sci. Rev.*, 7: 491–495.
- Wilk, R., Rathje, W. (1982). Household archaeology. En *American Behavioral Scientist*, Vol 25 No 6: 617 – 639.
- Wilk, R.R. & Netting, R. (1984). Households: changing forms and functions. In: McNetting, Robert, Wilk, Richard, Arnould, Eric (Eds.), *Households, Comparative and Historical Studies of the Domestic Group*. University of California Press, Berkeley, pp. 1–28.
- Williams, E. (2005). *Etnoarqueología: El Contexto Dinámico de la Cultura Material a Través del Tiempo*. El Colegio de Michoacán, Zamora, Michoacán.
- Winter, M. (1976). The archaeological household cluster in the Valley of Oaxaca. In: Flannery, K (Ed), *The early Mesoamerican village*. New York: Academic Press.
- Wu, X.; Zhang, C.; Goldberg, P; Cohen, D.; Pan, Y.; Arpin, T.; Bar-Yosef, O. (2012). Early pottery at 20,000 years ago in Xianrendong Cave, China. *Science* 336, 1696–1700.

Yanagisako, S. J. (1979). Family and household: the analysis of domestic groups, *Annual Review of Anthropology* 8: 161-205.

Zeller, E.J., Levy, P.W. and Mattern P.L. (1967). Geological dating by ESR, *Proc. Symp. Radioactive Dating and Method of Low Level Counting, of Low Level Counting*, 531-540.