



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

**DATACIÓN DE RESTOS FÓSILES HUMANOS PROVENIENTES DE
AGUAZUQUE Y CHECUA (CUNDINAMARCA) USANDO RESONANCIA
PARAMAGNÉTICA ELECTRÓNICA (EPR)**

EDUAR ENRIQUE CARVAJAL TABORDA

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

FACULTAD DE CIENCIAS

DEPARTAMENTO DE FÍSICA

BOGOTÁ D.C

2011

**DATACIÓN DE RESTOS FÓSILES HUMANOS PROVENIENTES DE AGUAZUQUE
Y CHECUA (CUNDINAMARCA) USANDO RESONANCIA PARAMAGNÉTICA
ELECTRÓNICA (EPR)**

EDUAR ENRIQUE CARVAJAL TABORDA

**TRABAJO PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OPTAR EL TÍTULO DE MAGÍSTER EN
CIENCIAS - FÍSICA**

DIRECTOR

Dr. OVIDIO A. ALMANZA MONTERO

LINEA DE INVESTIGACION: RESONANCIA PARAMAGNÉTICA ELECTRÓNICA

GRUPO DE INVESTIGACION: GRUPO DE FISICA APLICADA

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

FACULTAD DE CIENCIAS

DEPARTAMENTO DE FÍSICA

BOGOTÁ D.C

2011

NOTA DE ACEPTACIÓN

Ovidio Almanza Montero, Dr.
Universidad Nacional de Colombia
Director

Jurado 1
Universidad Nacional de Colombia
Jurado

Jurado 2
Universidad Nacional de Colombia
Jurado

Bogotá, Abril de 2011

DEDICATORIA

A todas las personas que han creído en mí, en especial, a mi madre:

Norilsa.

AGRADECIMIENTOS

A ti Señor, por ayudarme a sobrellevar los momentos difíciles.

Quiero agradecer de corazón a todos aquellos que de una u otra forma colaboraron en la culminación de esta meta:

- A mi Madre Norilsa y a mi Novia Sandra por darme el aliento y las ganas que necesité para alcanzar esta meta, a ellas: ¡Muchas Gracias!
- A la Universidad Nacional de Colombia y al Instituto de Minas y Energía (INGEOMINAS) por darme la oportunidad de realizar esta investigación y así contribuir al desarrollo de Nuestro País.
- Al profesor Ovidio Almanza por su colaboración incondicional, sus orientaciones constantes y por soportarme todo este tiempo.
- A mis amigos que con su apoyo me motivaron a nunca desfallecer en la lucha e hicieron más ameno este ciclo, en particular a Mauricio García, Miguel Espitia, Javier Sandoval, Genhli Yánez y Nelcari Ramírez quienes siempre me colaboraron incondicionalmente con sus conocimientos.
- Por último y no por eso menos importante a mi familia, en particular a mí hermano Alejandro quien me ayudo con las figuras y graficas aquí presentadas.

RESUMEN

En este trabajo se muestran las edades obtenidas al datar piezas dentales de fósiles humanos provenientes de los sitios arqueológicos Aguazuque (Soacha) y Checua (Cundinamarca) usando la técnica de Resonancia Paramagnética Electrónica (EPR). Se identificó una señal natural en el esmalte dental con factor $g_{\perp} = 2,0025$ y $g_{\parallel} = 1,993$ asociada con la especie paramagnética CO_2^- , en geometría axial. La dosis equivalente (DE) obtenida fue de **(2,10 ± 0,10) Gy** para Aguazuque y de **(3,20 ± 0,08) Gy** para Checua. Estos valores fueron obtenidos por extrapolación a cero de la Curva de Intensidad de las señales EPR del radical CO_2^- versus dosis absorbida. La tasa de dosis media anual ($\langle D \rangle$) obtenida para los sitios arqueológicos Aguazuque y Checua fueron de **644.86 $\mu\text{Gy/a}$** y **645.99 $\mu\text{Gy/a}$** respectivamente y fueron calculados usando espectrometría gamma y estimando la tasa de dosis cósmica en el sitio. La edad fue estimada considerando la ecuación:

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

A partir de lo anterior las edades obtenidas para los entierros de Aguazuque y Checua fueron de **3256 ± 196 años A.P** (Antes del Presente) y de **5021 ± 202 años A.P**. Estos resultados muestran una relativa correspondencia con los resultados estratigráficos obtenidos para estos sitios.

La datación EPR promete muchas aplicaciones futuras en Colombia y puede convertirse en una herramienta vital y óptima para la datación de muestras arqueológicas de nuestro país, rica en su pasado prehispánico.

Las grandes ventajas que ofrece este método son su disponibilidad, su bajo costo, fácil manejo y su eficiencia.

Palabras clave: Datación EPR, Esmalte Dental, Fósiles Humanos

ABSTRACT

In this work were obtained the ages by dating of tooth enamel of human fossils from archeological sites, Aguazuque and Checua (Cundinamarca), using electron paramagnetic resonance (EPR) technique. The natural signal of tooth enamel with $g_{\perp} = 2,0025$ y $g_{\parallel} = 1,993$ factor associated to paramagnetic specimen CO_2^- in axial geometry was identified. The equivalent doses (DE) obtained for Aguazuque and Checua were **(2,10 ± 0,10) Gy** and **(3,20 ± 0,08) Gy** respectively. These values were obtained for extrapolation to zero of Curve Response from EPR signal of tooth enamel. Annual dose rate ($\langle D \rangle$) obtained for the sites Aguazuque and Checua were **644.86 μ Gy/a** and **645.99 μ Gy/a** respectively. These values were calculated using gamma spectrometry and the cosmic dose rate in these sites. The ages were calculated using:

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

From before dates, ages of **3256 ± 196 years B.P** (Before Present) for Aguazuque and **5021 ± 202 years B.P** for Checua were obtained. Results showed a relative correspondence to stratigraphic analysis for these sites.

EPR technique promises many future applications in Colombia, rich in its pre-hispanic past.

The advantages of EPR technique are its availability, easy use, low cost and efficiency.

Keywords: EPR Dating, Tooth Enamel, Human Fossils.

INDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO 1. RESONANCIA PARAMAGNÉTICA ELECTRÓNICA (EPR)

1.1	Introducción	1
1.2	Resonancia Paramagnética Electrónica	2
1.3	Aspectos Experimentales de la EPR	12
1.3.1	Breve descripción de un espectrómetro EPR	13
1.3.1.1	Puente de Microondas	14
1.3.1.2	La cavidad	15
1.3.1.3	Detector Sensible a la Fase	16
1.3.2	Estado Físico de la muestra	17
	Bibliografía	19

CAPÍTULO 2. RADIACIONES IONIZANTES

	Introducción	20
2.1	Radiaciones Ionizantes e Interacción Radiación - Materia	21
2.2	Cantidades, unidades y definiciones	23
2.3.1	Dosis Absorbida	24
2.3.2	Dosis Efectiva	24

2.3.3 Tasa de Dosis	24
2.3.4 Actividad	25
2.3.5 Transferencia lineal de energía	25
2.3.6 Vida media	26
2.4 Tipos de Radiación Ionizante	26
2.4.1 Partículas alfa	26
2.4.2 Partículas beta	28
2.4.3 Radiación Gamma	30
2.4.4 Rayos X	32
2.4.5 Neutrones	35
2.5 Fuentes de radiación ionizante	37
2.5.1 Radionúclidos primordiales	37
2.5.2 Rayos cósmicos	38
2.5.3 Radionúclidos cosmógenos	38
2.5.4 Lluvia radiactiva	39
Bibliografía	41
 CAPITULO 3: MÉTODOS DE DATACIÓN	
3.1 Introducción	42
3.2 Datación por Radioisótopos	43
3.2.1 Datación por radiocarbono (^{14}C)	44
3.2.2 Datación Potasio- Argón (^{40}K - ^{40}Ar)	45

3.2.3 Datación Uranio – Torio (238U- 230Th)	47
3.3 Datación por efectos de radiación	49
3.3.1 Datación por Fission Track (Datación FT)	50
3.3.2 Datación por Resonancia Paramagnética Electrónica (Datación EPR)	51
3.3. 2.1 Muestras datadas por EPR	55
3.3.3 Datación por Termoluminiscencia (Datación TL)	55
3.3.4 Datación por Luminiscencia Ópticamente Estimulada (Datación OSL)	57
3.4 Datación Química	58
3.4.1 Reacciones Químicas y Datación Analítica	58
3.4.2 Racemización de Aminoácidos	59
3.4.3 Hidratación de obsidianas	60
Bibliografía	61

CAPITULO 4: ASPECTOS EXPERIMENTALES

4.1 Recolección y preparación de las piezas dentales	63
4.1.1 Remoción de sedimento	65
4.1.2 Separación Corona – Raíz	66
4.1.3 Separación esmalte – dentina	67
4.1.4 Limpieza, triturado e irradiación del esmalte dental	67
4.2 Espectrometría Gamma	70
Bibliografía	72

CAPITULO 5: RESULTADOS

5.1 Irradiación de las piezas dentales	73
5.2 Respuesta Paramagnética	74
5.2.1 Respuesta natural	75
5.2.2 Respuesta Paramagnética de muestras irradiadas	77
5.3 Curvas de respuestas de dosis	79
5.3.1 Calculo de dosis equivalentes	81
5.4 Estimación de la dosis media anual	81
5.4.1 Tasa de dosis cósmica	81
5.4.2 Resultados de Espectrometría Gamma	83
5.5 Calculo de la edad	84
5.5.1 Análisis	86
Conclusiones	88
Bibliografía	89

INDICE DE FIGURAS

1	1.1 Niveles de energía para un electrón ($s=1/2$)	3
1.1.	Curva de absorción de microondas de una muestra	4
1.2.	Diagrama de Stikes	5
1.3.	Esboce del espectro EPR con interacción hiperfina	6
1.4.	Curva de absorción de microondas y su primera derivada	13
1.5.	Principales componentes de un espectrómetro EPR	14
1.6.	Principales componentes de un puente de microondas	14
1.7.	Disposición de campos magnéticos y eléctricos en la cavidad	16
1.8.	Efecto de modulación de campo sobre corriente en el detector	17
2.1	Tipos de Interacción radiación - materia	23
2.2	Alcance de la partículas alfa en función de sus energía	27
2.3	Espectro de energía beta	30
2.4	Esquema de desintegración de ^{60}Co	31
2.5	Absorción de rayos gamma en la materia	32
2.6	Espectro de emisión de rayos X	34
2.7	Esquema de tubo de rayos X típico	35
3.1	Decaimiento exponencial del número de núcleos radiactivos en el tiempo	44
3.2	Decaimiento radiactivo del potasio	46
3.3	Series de desintegración radiactiva del ^{238}U	48
3.4	Pistas de fisión observadas en Zr con un microscopio electrónico	51

3.5	Metodo de dosis aditiva	53
3.6	Captura de electrones por una trampa usando el modelo de teoría de bandas	56
3.7	Esquema de funcionamiento de un equipo de TL	57
3.8	Esquema de funcionamiento de un equipo de OSL	58
4.1	Entierro colectivo de Aguazuque 1	64
4.2	_Colina en la que se encuentra el sitio arqueológico de Checua	65
4.3	Estructura externa e interna de un molar humano.	66
4.4	Separación corona- raíz del diente usando micromotor	67
4.5.	Proceso de remoción de la dentina del esmalte dental	67
4.6.	Proceso de limpieza ultrasónica y triturado del esmalte dental	68
4.7.	Encapsulado de alícuotas de Aguazuque y Checua	70
5.1.	Espectro EPR natural de la muestra de Aguazuque.	76
5.2.	Espectro EPR natural de la muestra de Checua	76
5.3.	Aumento de la intensidad EPR con la dosis obtenida para Aguazuque.	78
5.4.	Aumento de la intensidad EPR con la dosis obtenida para Checua.	78
5.5.	Curva de respuesta de dosis de la pieza dental de Aguazuque.	79
5.6.	Curva de respuesta de dosis de la pieza dental de Checua	80
5.7.	Valores de F , J y H en función de la latitud geomagnética (λ)	82

INDICE DE TABLAS

2.1 Radionúclidos primordiales más importantes	37
2.2 Materiales y Productos de consumo que involucran radiación ionizante	40
3.1 Métodos de datación radiactiva basados en la producción de núcleos hijos	47
4.1 Alícuotas elaboradas a partir del esmalte dental de Aguazuque	69
4.2 Alícuotas elaboradas a partir del esmalte dental de Checua	69
5.1 Resultados de las irradiaciones de las alícuotas de Aguazuque	73
5.2 Resultados de las irradiaciones de las alícuotas de Checua	74
5.3 Concentraciones de U, Th y K del sedimento de Aguazuque y Checua	83
5.4 Resultados de tasa de dosis media anual obtenida para Aguazuque	84
5.5 Resultados de tasa de dosis media anual obtenida para Checua	85

INTRODUCCIÓN

El hombre siempre ha mostrado gran interés por su origen y desarrollo a través de los tiempos, preguntas como: ¿Qué?, ¿Cómo?, ¿Dónde? y ¿Cuándo? se han planteado para tal fin. La respuesta al ¿Cuándo?, de manera relativa o absoluta, le corresponde al campo de la Datación (Ikeya, 1993). La datación permite que las interpretaciones arqueológicas sean ubicadas en un espacio y tiempo determinados de forma útil y coherente, para esto, fenómenos físicos, químicos y geológicos que se dieron en un pasado son aprovechados para fechar eventos y materiales y escribir la historia de la tierra y sus habitantes.

Los diversos métodos de datación se basan en fenómenos como el decaimiento radiactivo, la concentración de defectos por radiación natural y las reacciones químicas para determinar la edad de la muestra. El más conocido y convencional de estos métodos es el de datación por ^{14}C .

Colombia es un país con un gran potencial arqueológico gracias a su rico pasado prehispánico y colonial. Las dataciones absolutas de toda muestra arqueológica hallada en nuestro país se han basado en dataciones radiocarbónicas, lo que ha implicado costos y procesamientos tediosos en el envío de muestras a laboratorios en el exterior ya que no se cuenta en el país con la tecnología necesaria. En los últimos 3 años en Colombia, se ha estado proponiendo y utilizando un nuevo método de datación usando la Resonancia Paramagnética Electrónica (Datación EPR); este método es eficaz, sencillo y novedoso y ha sido usado por más de 25 años en países de Europa y Norteamérica. La datación por EPR consiste en cuantificar los radicales libres producidos en un material por efecto de las radiaciones recibidas una vez el ser haya muerto. Normalmente se trabaja con esmalte dental por ser la parte del ser que mejor se conserva en el tiempo. La concentración de estos radicales en una muestra dada es una medida de la dosis total a la cual ha estado expuesta y es proporcional a la edad de la misma.

Este trabajo es uno de los primeros esfuerzos en usar datación EPR en Colombia, en el que se quiso datar restos de esmaltes dentales provenientes de Aguazuque y Checua (Cundinamarca). La determinación de la edad llevó consigo el entendimiento y evaluación de los procesos físicos involucrados en la interacción radiación materia.