



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE QUÍMICA

DATACIÓN DE OBJETOS ARQUEOLÓGICOS DE
CUATROCIÉNEGAS COAH. CON ^{14}C Y
ESPECTROMETRÍA DE MASAS CON
ACELERADORES Y PROPUESTA DE
CONSERVACIÓN CON RADIACIÓN GAMMA

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

QUÍMICA

P R E S E N T A:

LETICIA MUÑOZ MONARES





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE: Profesor: Juan Manuel Navarrete Tejero

VOCAL: Profesor: Plinio Jesús Sosa Fernández

SECRETARIO: Profesor: Miguel Ángel Martínez Carrillo

1er. SUPLENTE: Profesor: Luis Alejandro Díaz Flores

2° SUPLENTE: Profesor: José Ramón Orrantia Cavazos

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:

LABORATORIO DE ESPECTROMETRÍA DE MASAS CON ACELERADORES (IFUNAM) Y
TALLER DE FÍSICA DE RADIACIONES 2 (FACULTAD DE CIENCIAS, UNAM)

ASESOR DEL TEMA:

Dr. Miguel Ángel Martínez Carrillo

SUSTENTANTE:

Leticia Muñoz Monares

Agradecimientos

Al programa ayudante de profesor Emérito del CONACYT.

A la Dra. María Ortiz y Salazar por su apoyo

Al Dr. Miguel Ángel Martínez Carrillo por permitirme trabajar en este proyecto, por su apoyo y asesoramiento.

Al Laboratorio Nacional de Espectrometría de Masas con Aceleradores (LEMA) del Instituto de Física, y a los proyectos DGAPA PAPIIT UNAM IG100619, DGAPA PAPIIT UNAM IA103218, PIIF-2019 (Instituto de Física) y CONACYT 294537 que permiten la investigación y el funcionamiento de este.

A la Dra. Corina Solís Rosales, al Dr. Efraín Chávez Lomelí, a la Dra. María Rodríguez Ceja y al Fís. Arcadio Huerta Hernández, por su apoyo durante mi estancia en el LEMA. Al Sr. Sergio Martínez González laboratorista del LEMA por todo el apoyo brindado.

Al Mtro. Benjamín Leal Acevedo del Instituto de Ciencias Nucleares (ICN) por apoyarme en la irradiación gamma en el irradiador Gammabeam 651PT tipo alberca profunda del INC, UNAM.

A los arqueólogos de INAH Coahuila Yuri de la Rosa Gutiérrez y Elvira Ochoa González, por todo el apoyo brindado antes y durante nuestra estancia en Cuatrociénegas.

A Bertha Laura Villarreal directora de la Casa de Cultura de Cuatrociénegas, por permitirnos datar algunas piezas de la colección.

A José Concepción Jiménez López y Gabriela Salas Bautista de Antropología Física del INAH.

A Ana Lilia Cruces Martínez del departamento de Biológica de la Facultad de Química, por su apoyo.

ÍNDICE GENERAL

Abreviaturas	7
1. Introducción	9
2. Antecedentes	11
2.1 Cuatrociénegas Coahuila.....	11
2.1.1 Geografía.....	11
2.1.2 Clima.....	12
3.1.3 Antiguos pobladores.....	13
2.2 Formación del radiocarbono.....	15
2.3 Datación con radiocarbono.....	17
2.4 Espectrometría de masas con aceleradores.....	20
2.5 Conservación de piezas arqueológicas.....	23
2.6 Irradiación con rayos gamma.....	26
2.7 Uso de la radiación en la conservación.....	27
3. Justificación	30
4. Objetivos	31
5. Metodología	32
5.1 Datación con EMA.....	32

5.1.1 Reactivos e instrumentación.....	32
5.1.2 Muestreo.....	32
5.1.3 Limpieza de muestras.....	34
5.1.4 Extracción de celulosa.....	36
5.1.5 Grafitización.....	38
5.1.6 Análisis con EMA.....	39
5.1.7 Calibración.....	42
5.2 Irradiación.....	43
6. Resultados y discusión.....	44
7. Conclusiones.....	62
8. Anexo 1.....	66
9. Anexo 2.....	67
10. Bibliografía.....	69

ABREVIATURAS

°C: grados Celsius

μL: microlitros

a.C.: antes de cristo

A.P.: antes del presente

AMS: *accelerator mass spectroscopy*

B.P.: *before present*

cm: centímetros

Coah. : Coahuila

d.C.: después de cristo

EMA: espectrometría de masas con aceleradores

h: horas

IAEA: Organismo Internacional de Energía Atómica

LEMA: Laboratorio Nacional de Espectrometría de Masas con Aceleradores

mg: miligramos

mL: mililitros

MPa: mega pascal

MV: mega voltio

Datación de objetos
arqueológicos de Cuatrociénegas
Coah. con ^{14}C y Espectrometría
de Masas con Aceleradores y
Propuesta de Conservación con
Radiación Gamma

1. INTRODUCCIÓN

En todo el territorio mexicano, hay lugares que albergan la historia del México antiguo e incluso historia de la humanidad; Sin embargo, no todos los sitios han recibido la misma atención y exploración. Uno de estos lugares es Cuatrociénegas en el estado de Coahuila, zona poco explorada en la cual se han encontrado diversos objetos pertenecientes a grupos de cazadores recolectores. Muchos de ellos han sido resguardados en la Casa de la Cultura de Cuatrociénegas; y aunque algunas de estas piezas se encuentran en un estado de conservación excelente, no han sido datados, ni han recibido tratamientos de limpieza, conservación, almacenamiento y exhibición adecuada.

La datación con ^{14}C permite determinar la edad absoluta de materiales naturales, procesos, fenómenos y de eventos que ocurren en la Tierra, el estudio de materiales arqueológicos y antropológicos asociados al desarrollo de la historia de la humanidad ha sido de tal magnitud, que en el estudio de la humanidad se le considera la técnica más importante del siglo pasado. En México en 2013, entró en operación el Laboratorio Nacional de Espectrometría de Masas con Aceleradores (LEMA) del Instituto de Física de la UNAM. En el LEMA es posible datar objetos con ^{14}C y espectrometría de masas con aceleradores (EMA) tomando muestras muy pequeñas de objetos de gran valor histórico o de patrimonio cultural, reduciendo la intervención en ellos. Para este proyecto se tomaron

muestra de diferentes objetos resguardados en la Casa de la Cultura de Cuatrociénegas para ser datadas con ^{14}C y EMA. Se seleccionaron una serie de objetos de cestería para correlacionar su manufactura con su temporalidad, además de una red de caza que, por su estado de conservación podría ser de gran relevancia. Para documentar este trabajo se realizó una recuperación de información sobre otros objetos datados con radiocarbono provenientes de Cuatrociénegas y comenzar así una base de datos con dataciones con ^{14}C . Adicionalmente, se propone el uso de la irradiación gamma para la conservación de algunos de estos objetos de patrimonio cultural. Así como recomendaciones para el mantenimiento y resguardo de dichos objetos.

2. ANTECEDENTES

2.1 Cuatrociénegas

2.1.1 Geografía

Cuatrociénegas está localizado en el centro del estado de Coahuila, entre la Sierra Madre Oriental y la Sierra Madre Occidental, a una altura de 740 metros sobre el nivel del mar y está limitado al Norte con el municipio de Ocampo; al oeste con el municipio de la Sierra Mojada; al sur con el municipio de Parras y Ramos Arizpe y al este con el municipio de Castaños. Presenta una superficie de 10,699.8 kilómetros cuadrados, que equivale al 7.06% del total de la superficie del estado de Coahuila. La Sierra La Madera, y la Sierra Menchaca, forman el límite norte de la zona. La Sierra San Vicente y Sierra La Purísima bordean la llanura en el lado este. El límite suroeste es la Sierra La Fragua, mientras que la Sierra San Marcos y Pinos divide la llanura de Cuatro Ciénegas en dos partes en su parte sur [1]. En este municipio, también se cuenta con sistemas de corrientes subterráneas, manantiales, canales, ríos, lagos y estanques temporales.

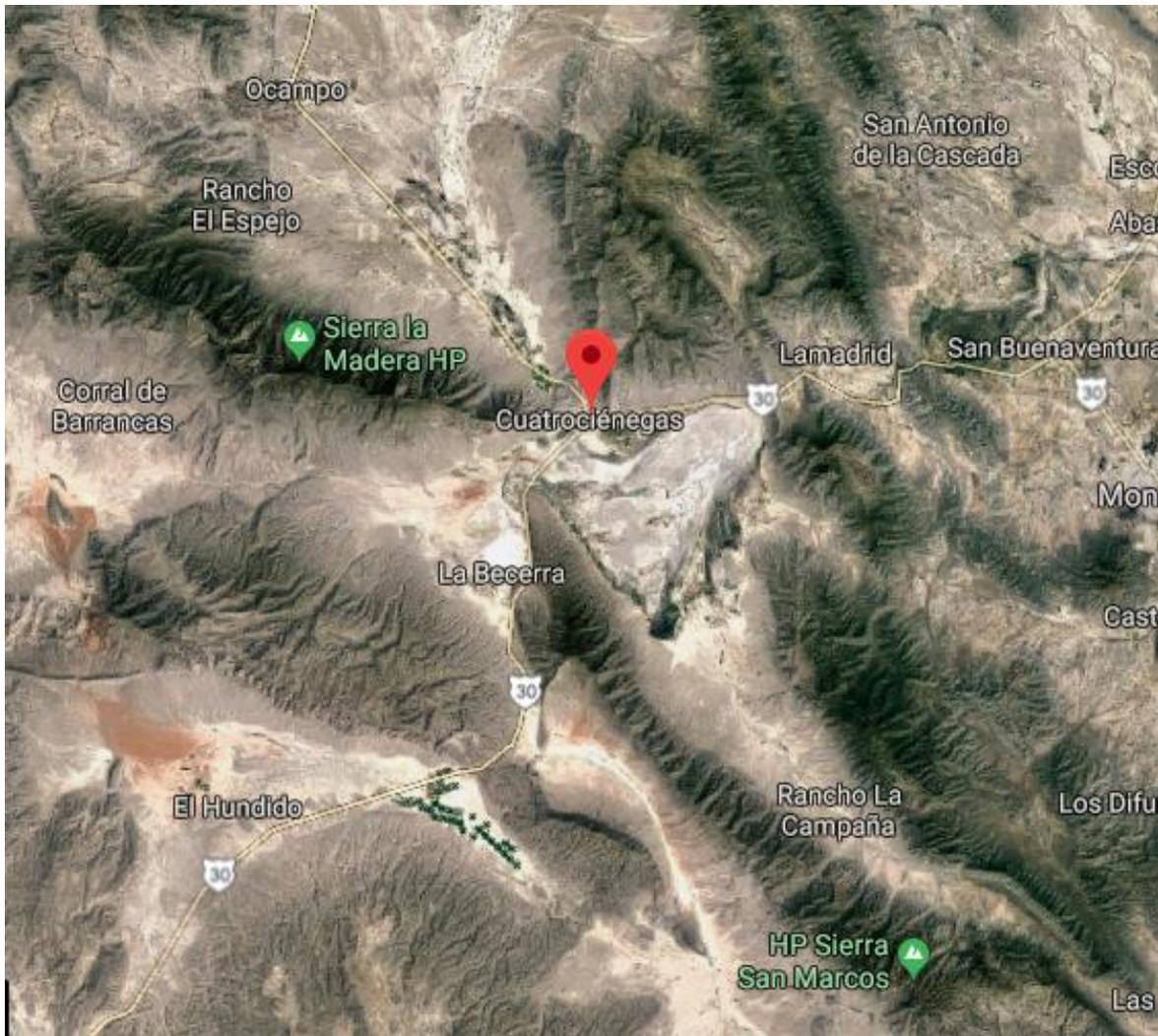


Figura 1. Mapa de ubicación de Cuatrociénegas.

2.1.2 Clima

Ya que tanto las corrientes del Golfo de México, como las del Pacífico son bloqueadas por las sierras, Cuatrociénegas presenta muy pocas lluvias que promedian unos 200 milímetros al año. La mayor parte del año presenta clima muy seco semicálido, aunque durante la primavera, el verano y otoño puede haber algunas lluvias [2].

Las temperaturas suelen ser extremas, pueden rebasar los 45° C en verano y caer por debajo de los 0° C en invierno. Sin embargo, pese a la escasa lluvia, el Valle ha acumulado agua en abundancia, la cual aflora por centenares de pozas, alimentadas por manantiales que brotan del manto subterráneo.

2.1.3 Antiguos pobladores

Cuatrociénegas se considera uno de los centros de la arqueología de la Cultura del desierto; y para estudiarla, es necesario hablar de quienes poblaron el desierto: grupos de cazadores recolectores muy probablemente procedente del norte.

Los pueblos que se desarrollaron en esta zona fueron varios, pero que pueden dividirse en cuatro bloques principales: Irritilas, Guachichiles, Tobosos y Coahuiltecas. Estos grupos no desarrollaron una cultura avanzada, quizá debido a un ambiente poco favorable. Aunque este hecho es desconcertante y controvertido: en Cuatrociénegas ha habido agua desde hace miles de años a pesar de lo cual no hubo sedentarismo. Entre las hipótesis que se han propuesto está la pugna por el agua con otras tribus, que no permitía el establecimiento y la estabilidad [3]. Aunque otra posibilidad, que estamos proponiendo, son las características fisicoquímicas del agua: pobre en minerales clave.

La llegada de los primeros pobladores a Cuatrociénegas podría haber ocurrido hace 8,000 años, de acuerdo con la datación de las huellas

humanas encontradas en la zona. A la fecha, los objetos encontrados presentan una manufactura avanzada a pesar de haber sido elaborados con materiales locales.

Esto permite suponer que los grupos llegaron a través del desierto desde el noreste del continente, porque los objetos que fabricaban tienen características propias de las culturas del desierto. Pero no se han encontrado objetos o utensilios de transición; únicamente objetos y utensilios que conllevan habilidades desarrolladas previamente [4].

El gran precursor de la exploración de Cuatrociénegas fue el arqueólogo norteamericano Walter W. Taylor; dentro de sus hallazgos reportados hay diversos objetos de piedra y otros elaborados con plantas de la región. Además, se tiene la hipótesis de la práctica de culto al venado, ya que es un elemento muy utilizado en los sitios mortuorios [5].

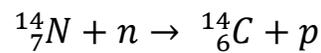
Una de las cosas importantes que se debe mencionar en el tema de arqueología de Cuatrociénegas es que es una zona muy saqueada. Sin embargo, el estudio de los objetos recuperados, aún y cuando se desconozca su origen exacto, es de gran importancia, ya que pueden aportar información sobre el hombre temprano en América. El gran número de piezas encontradas, algunas de ellas en museos de México o Estados Unidos y con la posibilidad de encontrar lugares sin explorar, son elementos de estudio que permitirán reconstruir la cronología de las migraciones y ocupaciones ocurridas en la zona. Muchas de estas piezas

son objetos únicos y de gran valor cultural y científico por lo que además de los estudios que pueden hacerse a partir de ellos es indispensable intervenirlos y procurar su conservación para que permanezcan sin daño por el paso del tiempo o las condiciones ambientales en que son almacenados o exhibidos. Uno de los primeros estudios que puede hacerse de estos objetos es la datación absoluta con radiocarbono y espectrometría de masas con aceleradores. Esta técnica permitirá ubicar temporalmente a cada objeto facilitando la labor de los arqueólogos y sin que represente un daño significativo de ellos. Es por eso que se expondrán los principios de la técnica, alcances y limitaciones y cómo permite obtener la datación absoluta de objetos tan particulares.

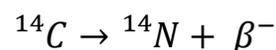
2.2 Formación de radiocarbono

La radiación cósmica que impacta a la Tierra, da lugar a un fenómeno conocido como espalación, del cual deriva una cascada de partículas entre las cuales se encuentran neutrones con la energía necesaria para transmutar el núcleo de algunos elementos presentes en la atmósfera o en la superficie terrestre. El análisis de estos núcleos, que por su origen y escasez se conocen como isotopos cosmogénicos o raros (^3H , ^{10}Be , ^{14}C , ^{26}Al , entre muchos otros), ha dado origen a diversas técnicas de datación y geocronología, la más conocida de ellas es la datación con ^{14}C o radiocarbono.

El ^{14}C es un isótopo inestable o radiactivo que se forma principalmente por la reacción de neutrones resultantes de la radiación cósmica y los átomos de nitrógeno presentes en la atmósfera superior, por medio de la reacción:



El ^{14}C reacciona con el oxígeno para formar a la especie $^{14}\text{CO}_2$, que baja a la tropósfera, donde se mezcla con el $^{12}\text{CO}_2$ y el $^{13}\text{CO}_2$ y formar parte del ciclo del carbono. Es importante mencionar que la formación de radiocarbono varía con el campo magnético terrestre, los cambios en la incidencia de los rayos cósmicos, la actividad solar e incluso con tormentas eléctricas muy potentes [6]. Al ser un isótopo radiactivo, el radiocarbono decae de manera espontánea emitiendo una partícula beta negativa y transformándose en un átomo de ^{14}N , de acuerdo con la reacción:



El ^{14}C atmosférico es asimilado por las plantas terrestres, marinas y el fitoplancton a través de la fotosíntesis. Dicho proceso da lugar al fraccionamiento isotópico por lo que la concentración de ^{14}C en las plantas difiere de la concentración atmosférica que obliga a hacer correcciones en los cálculos. La cadena alimenticia permite que además de las plantas, los animales también intercambien ^{14}C . Cuando los seres vivos mueren, se

interrumpe los procesos metabólicos por los cuales adquieren ^{14}C , por lo que su concentración queda fija y comienza a disminuir a una velocidad conocida determinada por la Ley de desintegración radiactiva y la vida media del ^{14}C que es 5370 años [7].

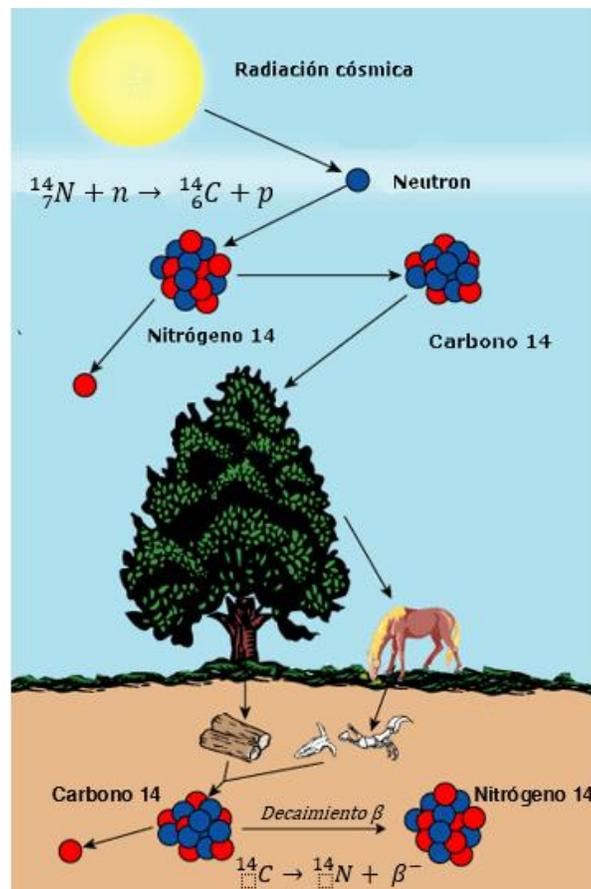


Figura 1. Formación y asimilación del ^{14}C .

2.3 Datación con radiocarbono

La formación de ^{14}C en la atmosfera superior de la Tierra es un fenómeno conocido desde 1939, gracias a los trabajos de Serge Korff. Sin embargo,

en 1949 Willard Libby propone un método para medir la concentración de ^{14}C usando la vida media de este isótopo [8].

La datación con radiocarbono tuvo un gran impacto en la historia de la humanidad ya que permite la datación absoluta de muestras de origen orgánico, aprovechando la actividad del ^{14}C . De acuerdo con Libby, la medida de la concentración del ^{14}C en las muestras de interés, permitiría calcular el tiempo transcurrido desde la muerte del organismo. Esta técnica, ya depurada y afinada por otros investigadores, constituye una herramienta muy útil en investigaciones arqueológicas, antropológicas, geológicas, climatológicas y ambientales.

Las edades de radiocarbono se reportan en diferentes escalas de tiempo, una de ellas es en años antes del presente (BP), donde *presente* se define convencionalmente como el año 1950; y la escala de uso común está dada en fechas antes de Cristo (a.C.) y después de Cristo (d.C.).

Existen varias técnicas de datación con ^{14}C , la primera, desarrollada por Libby es la radiométrica, que consiste en el conteo de las partículas beta proveniente del decaimiento radiactivo del ^{14}C de una muestra. En los trabajos de Libby se utilizaron contadores de gas proporcional, que posteriormente fueron sustituidos por contadores de centelleo líquido. A través de estas técnicas es posible realizar dataciones precisas. Ya que, cuando un átomo de ^{14}C decae, emite una partícula beta, que puede ser detectada en un gas por el impulso eléctrico que genera. En el contador

de centelleo líquido de gases, las partículas beta favorecen la emisión de luz en las moléculas de líquidos orgánicos centelleantes como el benceno. Debido a que en un gramo de carbono se producen alrededor de 13.5 desintegraciones por minuto, para realizar mediciones precisas, el centelleo de líquidos requiere de muestras cuyo contenido de carbono se encuentre en el orden de gramos.

Por otro lado, desde los años 80 del siglo pasado existe la Espectrometría de Masas con Aceleradores (EMA), que permite medir la concentración directa de ^{14}C y que presenta mayores ventajas que los métodos radiométricos.

Sin embargo, la edad convencional medida no corresponde con la edad calendario debido a las fluctuaciones naturales o antropogénicas en la concentración atmosférica de ^{14}C . Es necesario realizar correcciones a través del conocimiento de la concentración de ^{14}C en la atmósfera a lo largo de la escala temporal. Esta escala temporal se ha modelado mediante el estudio de los anillos anuales de crecimiento de los árboles, conocida como dendrocronología [9] y completada mediante el estudio de corales. Una corrección importante que debe tomarse en cuenta es el error debido al fraccionamiento isotópico, que sucede cuando el carbono se transfiere de un ecosistema a otro y da lugar a una separación parcial de los diferentes isótopos. Dicha corrección consiste en la normalización

de las concentraciones a través de la medida directa de las proporciones $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$.

El fraccionamiento isotópico se expresa convenientemente como $\delta^{13}\text{C}$, que es la desviación relativa de la relación $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ de la muestra comparada con la de un estándar material [10].

3.4 Espectrometría de masas con aceleradores

Los primeros intentos de realizar mediciones directas del número de átomos de ^{14}C utilizando espectrometría de masas convencional fallaron. Sin embargo, en 1977, fueron desarrollados los primeros equipos acoplados de acelerador de partículas y espectrómetro de masas que permitieron realizar esta separación con gran precisión utilizando técnicas nucleares de análisis. La espectrometría de masas con aceleradores (EMA o AMS del inglés, *Accelerator Mass Spectrometry*) mejoró significativamente la sensibilidad de las mediciones gracias a la aceleración de los átomos de carbono de las muestras en forma de iones a altas energías mediante un acelerador de partículas. El acelerador se encuentra acoplado a equipos de espectrometría de masas, que separan los diferentes isotopos de carbono (^{12}C , ^{13}C y ^{14}C) e instrumentos para la detección de partículas nucleares que cuantifican los átomos de interés, en este caso ^{14}C .

La espectrometría de masas con aceleradores fue desarrollada para superar las limitaciones de la espectrometría de masas convencional ya que reduce las interferencias isobáricas y moleculares provocadas por los isótopos estables del carbono. Esto se logra usando iones negativos, con la disociación de iones moleculares y extracción de iones atómicos a estados de carga positivos altos después de una primera etapa de aceleración y al usar una segunda etapa de aceleración seguida por la identificación de iones individuales.

Una fuente importante de error son los electrones secundarios expulsados cuando el ion golpea la pared del detector y el escape de iones reflejados; estos errores se minimizan al recubrir la copa de Faraday con carbono ya que reduce la producción de iones secundarios, además de que la forma de la copa y el uso de un campo magnético débil impide que los electrones secundarios producidos en el interior salgan. La copa de Faraday está hecha de una copa de metal o un cilindro con un orificio pequeño que está conectado a tierra mediante una resistencia; los iones llegan a la parte inferior del cilindro y se neutralizan al aceptar o donar electrones cuando golpean las paredes, produciendo una corriente a través de la resistencia, esta corriente se descarga y es amplificada y detectada [11].

La EMA es utilizada para determinar la concentración de elementos cuyos isótopos poseen abundancias naturales muy bajas, sean radiactivos o no.

Entre los isótopos cosmogénicos analizados por EMA se encuentran ^{10}Be , ^{14}C , ^{26}Al , ^{36}Cl , ^{41}Ca , ^{59}Ni , ^{129}I , U y Pu.

La aplicación en el estudio del ^{14}C exige mayor precisión que el análisis de otros isótopos, ya que es primordialmente utilizado para la datación y un 0.5% de precisión corresponde a 40 años en edad radiocarbono.

La datación con ^{14}C y espectrometría de masas ha tenido un gran impacto en la arqueología ya que presenta ventajas que la diferencian de las dataciones radiométricas: los tiempos de análisis se reducen de días a horas; la precisión y el tamaño de la muestra necesario para el análisis es mil veces menor, permitiendo la datación de objetos de muy alto valor científico o cultural con una mínima intervención o daño.

Debido a que el tamaño de la muestra se reduce al orden de miligramos, es necesario una rigurosa limpieza y manipulación de los objetos pero especialmente de las muestras tomadas de ellos, pues la manipulación de cantidades de materia tan pequeñas y el uso de una técnica tan sensible requiere de métodos de preparación muy cuidadosos, que deben realizarse con limpieza extrema debido a que las muestras o se encuentran mezcladas o bien son susceptibles de contaminarse con carbono fósil o moderno que provoca corrimientos en la determinación de la edad de materiales a estudiar. Además, la naturaleza tan diversa de las muestras y las matrices en las que se encuentran muchas veces requiere del diseño de procesos y técnicas de preparación *ad hoc*. También debe

considerarse que muchas de las muestras a analizar son únicas. Por lo que una parte importante de la datación de materiales corresponde a la preparación de las muestras, que muchas veces constituye el cuello de botella de la técnica de datación con radiocarbono y EMA.

Además, las dataciones requieren trazabilidad a nivel internacional, por lo que los estándares utilizados provienen de la Agencia Internacional de Energía Atómica (IAEA por sus siglas en inglés). Entre los estándares utilizados están el IAEA-C7 y IAEA-C8 que corresponden a ácido oxálico. Y el IAEA-C3 que corresponde a celulosa, que es extraída de la madera que creció anterior a los efectos de combustibles fósiles de la revolución industrial [12]. Sin embargo, existen otros estándares utilizados que surgen de las Intercomparaciones Internacionales de Radiocarbono en la que participan diferentes laboratorios analizando las mismas muestras, esto permite el control de calidad de la medición, así como la disponibilidad de un mayor número de estándares [13][14].

2.5 Conservación de piezas arqueológicas

La obligación de la supervivencia del pasado, la construcción de una nación, así como la de coleccionar y exhibir objetos nos lleva a la necesidad de crear acervos de bienes culturales que puedan ser clasificados en dos grupos:

- a) Los bienes muebles, ya sean obras de arte, libros, manuscritos u otros objetos de carácter artístico o arqueológico y, en particular, las colecciones científicas.
- b) Los bienes inmuebles, tales como monumentos arquitectónicos, artísticos o históricos, lugares arqueológicos y edificios de interés histórico o artístico.

La creación de estos acervos se realiza gracias a diferentes ramas de estudio siendo la de mayor contribución la arqueología [15].

Aunque la arqueología era el conocimiento del mundo antiguo mediante el estudio de la producción artística y monumental, el concepto ha cambiado a lo largo de los años, incorporando en 1980 el estudio de los restos materiales, por lo que la arqueología encuentra nuevas perspectivas con el apoyo de otras disciplinas, perfilándose así como una disciplina entre las humanidades y la ciencia.

El registro arqueológico ayuda a reconstruir el pasado permitiendo la elaboración de exposiciones arqueológicas que permitan transmitir al público diversos aspectos de nuestro pasado. Por lo que la exhibición y la colección de estos bienes culturales nos lleva a pensar en las medidas que se deben tomar para su conservación y resguardo.

La conservación consiste en el tratamiento que recibe un objeto para eliminar o al menos reducir la velocidad de degradación que pueda deteriorar la obra u objeto con el fin estabilizar su estado actual, el

saneamiento general y eliminación de las causas de su alteración, y la protección contra factores nocivos y destructivos de su entorno.

El deterioro del patrimonio cultural es diferente para cada tipo de material con el que está elaborado un objeto o las condiciones en las cuales fue encontrado. Entre los materiales más susceptibles de degradarse se encuentran los textiles u objetos de cestería ya que en su mayoría están constituidos de fibras naturales a base de celulosa y los numerosos agentes externos que contribuyen al deterioro de dicho biopolímero: insectos, los microorganismos, la luz, la suciedad, la humedad, la temperatura, sustancias ácidas o corrosivas, etc. La mejor manera de enfrentar el deterioro o biodeterioro es almacenar los tejidos limpios y alejados de restos de suciedad, hongos, mohos o cualquier otro agente capaz de degradarlos antes de incorporarlos a las colecciones o almacenarlos [16].

Los bienes culturales se ven afectados por contaminantes naturales ubicuos, aún los objetos que se resguardan en exhibiciones. Es por ello necesario reducir en la medida de lo posible estos factores causantes del deterioro. Todas estas amenazas son enormes en comparación con los servicios e instituciones gubernamentales que disponen de recursos suficientes para emplear por si solos algún programa de conservación.

2.6 Irradiación con rayos gamma

La radiación puede definirse como la manifestación de la energía que se transmite a través del espacio en forma de partículas u ondas electromagnéticas. La radiación puede clasificarse en no ionizante y ionizante. Las radiaciones electromagnéticas de menor frecuencia que la necesaria para producir ionización, como lo son, la radiación ultravioleta (UV), visible, infrarroja (IR), microondas y radiofrecuencias, hasta los campos de frecuencia extremadamente baja (ELF), comprenden la región del espectro conocida como radiación no ionizante. En tanto que la radiación electromagnética de mayor frecuencia y mayor energía es capaz de arrancar electrones de la materia con la que interactúa (ionización), se conoce como radiación ionizante. Existen dos tipos de radiación ionizante, una de naturaleza electromagnética (rayos X, rayos gamma) y una segunda, constituida por partículas (alfa, beta, neutrones, etc.) en movimiento. La radiación gamma es radiación electromagnética de longitud de onda muy corta, gran energía y poder de penetración que tiene origen en núcleos inestables u otros procesos en los que el núcleo no cambia su identidad pero pierde energía. La radiación gamma tiene suficiente energía para provocar cambios en los átomos de la materia, como ionizar e incluso romper enlaces químicos en átomos o moléculas sin llegar a inducir transmutaciones en los núcleos atómicos [17].

2.7 Uso de la radiación en la conservación

La irradiación de alimentos es una de las aplicaciones más conocidas para el tratamiento fitosanitario de frutas y hortalizas, esterilización de material biomédico, desinfección de productos cosméticos, ya que logra aniquilar insectos e incluso microorganismos y retarda el proceso de maduración, con la ventaja de que no deja residuos de ninguna especie. La irradiación gamma es una alternativa más eficiente que los métodos químicos tradicionales que se basan en el uso de pesticidas que tienen efectos negativos sobre la salud y el ambiente.

En el campo de la conservación del patrimonio cultural, la presencia de plagas que destruyen las colecciones pasan muchas veces desapercibidas, ya que suelen ser atacadas por hongos transportados vía aérea; además, existen especies de hongos capaces de crecer aún en ambientes de baja humedad [18]. Los métodos de conservación mediante métodos químicos, son procedimientos fáciles de aplicar pero cuya eficiencia no es óptima, porque los pesticidas no logran penetrar más allá de la superficie de los materiales. Además, muchos pesticidas requieren de equipos de protección especiales o de condiciones de ventilación adecuadas durante su aplicación porque son muy tóxicos o carcinógenos [19].

Estos inconvenientes sacan a la luz la posibilidad del uso de la radiación gamma ya que permite el tratar grandes volúmenes de material en una

sola sesión de irradiación. Además, no deja residuos tóxicos y, aplicada en las dosis adecuadas, no daña materiales como madera, textiles, papel, pinturas, etc. y el gasto global resulta menor en comparación con los métodos convencionales.

Pero la irradiación no puede aplicarse sin tomar ciertas medidas preventivas para que el objeto irradiado no sea expuesto a hongos o microorganismos luego del tratamiento.

El equipo para irradiar gamma de los materiales consiste en una fuente de cobalto-60 encapsulado en cilindros de acero inoxidable que a su vez están dentro de otro cilindro de acero inoxidable, de esta manera se encuentra herméticamente sellada. Los objetos a irradiar son colocados en contenedores alrededor de la fuente, de forma tal que los fotones logran atravesar las capas del contenedor penetrando a más 60 cm dentro de los materiales. La radiación no puede ser interrumpida, por lo que para ingresar al cuarto es necesario resguardar la fuente de cobalto-60 dentro de un contenedor de concreto y acero de paredes gruesas. También existen irradiadores gamma en inmersión, consistentes en una fuente de irradiación sumergida en una piscina de agua, el agua funciona como material de blindaje. Los materiales a irradiar se introducen en la cámaras de irradiación en tanto que la fuente de ^{60}Co es extraída de la piscina [20].

Desde la década de los 60 del siglo pasado se empezó a emplear la irradiación gamma para la conservación de documentos de archivo en Rusia, siendo seguidos los estudios por otros investigadores variando las dosis de radiación y analizando los efectos sobre el papel y los microorganismos que se pretenden eliminar [21].

La radiación gamma ha sido aplicada a material bibliográfico, documentos, papel y libros principalmente debido a que dichos objetos suelen ser almacenados en cajas sin sistemas de control de humedad y temperatura por lo que son propensos a formar hongos y otros microorganismos que degradan la celulosa y destruyen a los objetos.

3. JUSTIFICACIÓN

Debido a la gran riqueza con la que cuenta México es necesario incrementar la investigación en zonas del país con el potencias de contribuir a la historia y su preservación. Uno de estos lugares es Cuatrociénegas en el estado de Coahuila, que además de su enorme riqueza biológica, allí se han descubierto huellas fosilizadas de pisadas humanas de al menos 10,000 años de edad, además de vestigios de cazadores-recolectores, así como de tribus que practicaban la cacería y ritos ceremoniales. Estos vestigios de presencia humana se encuentran catalogados dentro de los más antiguos del país y las dataciones con ^{14}C tienen el potencial de ayudar a comprender el proceso de ocupación temprana en el norte del México. Debido a que los estudios en esta región empezaron a partir de 2001 falta mucho más por explorar. Por otra parte, muchos de estos objetos han quedado fuera de los programas de conservación de patrimonio cultural, por lo que es necesario encontrar procedimientos de conservación simples y de bajo costo que ayuden a su preservación.

4. OBJETIVOS

GENERAL

Datar con ^{14}C y espectrometría de masas con aceleradores objetos de fibra vegetal provenientes de Cuatrociénegas.

PARTICULARES

- Establecer el protocolo de tratamiento de limpieza de las muestras de objetos arqueológicos de fibra vegetal para datación con ^{14}C y espectrometría de masas con aceleradores.
- Iniciar la elaboración de una base de datos de objetos de Cuatrociénegas.
- Propuesta de conservación de objetos de fibra vegetal con irradiación gamma.

5. METODOLOGÍA

5.1 Datación con EMA

5.1.1 Reactivos e instrumentación

NaOH al 4%, HCl al 4%, NaClO₂ al 5%, hexano, 2-propanol, etanol, agua destilada y desionizada, micropipeta de 5000 µL marca Brand, thermoblock marca Barnstead-Thermolyne, estufa marca Barnstead Lab-line, liofilizador 4.5 marca LABCONCO, balanza analítica marca OHAUS, bisturí, pinzas, equipo automatizado Soxhlet marca Büchi, equipo de grafitización automatizado AGE III marca IonPlus, sistema de espectrometría de masas con aceleradores (AMS HVEE 1.0 MV).

5.1.2 Muestreo

Las muestras fueron tomadas de algunos de los objetos arqueológicos más significativos resguardados en la casa de cultura de Cuatrociénegas. En dicho lugar se han albergado piezas arqueológicas del Valle de Cuatrociénegas encontrados en algunas de las cuevas de la zona o recuperados de saqueos. Las piezas que corresponden a las muestras LEMA-1004 y LEMA-1006 fueron recuperadas, junto con otras novecientas setenta y un piezas más, por Policía Federal como parte de un lote de piezas saqueadas del Valle de Cuatrociénegas para ser vendidas en el extranjero. El lugar en el que fueron encontradas algunas de estas piezas,

de acuerdo con el testimonio de uno de los saqueadores es una cueva en lo alto de un cerro cerca del pueblo. El sitio es de difícil acceso ya que la zona está repleta de cactáceas y hay que subir escalando por una empinada colina (figura 2).



Figura 2. Fotografía de la cueva desde las faldas del cerro.

Estas dos muestras venían acompañadas de otras piezas, tres cornamentas de venado con amarres, que de acuerdo con el acomodo que describe el saqueador y a los arqueólogos correspondía a un arreglo mortuorio u ofrenda. Cabe mencionar que estas dos muestras son de gran importancia ya que su estado de conservación es aparentemente bueno, la muestra LEMA-1004 (figura 3) es un fragmento de una red 8 metros de largo tejida con ixtle por las tribus recolectoras, y la muestra LEMA-

1006 (figura 4) es un fragmento de cesta que se halló en el mismo lugar que la red.

Las otras siete muestras, corresponden a una serie de fragmentos de cestería, seleccionados por la arqueóloga, que presentan diferente complejidad de manufactura, fueron encontradas en diferentes contextos y no tienen relación directa entre sí.



Figura 3. Fotografía de la red de caza, LEMA-1004.



Figura 4. Fotografía de la cesta, LEMA-1006.

5.1.3 Limpieza de muestras

La red de caza con clave LEMA-1004, así como un fragmento de cesta y dos textiles que presentaban pigmentación fueron registrados con las claves LEMA-1006, LEMA-1007 y LEMA-1008. Se propuso el uso del

equipo Soxhlet automatizado para eliminar la presencia de contaminantes orgánicos (carbón fósil) que hubieran podido ser agregados para preservar los objetos para su venta clandestina. Se propuso el uso de tres disolventes: *n*-hexano, 2-propanol y etanol. Estos disolventes fueron elegidos del menos polar al más polar. Cada lavado consta de tres pasos: extracción, lavado y secado, cada uno de ellos con una duración de 60 min. Posteriormente se realizó un lavado con Soxhlet manual, usando como disolvente agua por una hora.

Las muestras LEMA-1009, LEMA-1010, LEMA-1011, LEMA-1012, LEMA-1013 y LEMA-1014 se sometieron a cuatro enjuagues con agua destilada. Todas las muestras que se secaron en la estufa por un día.

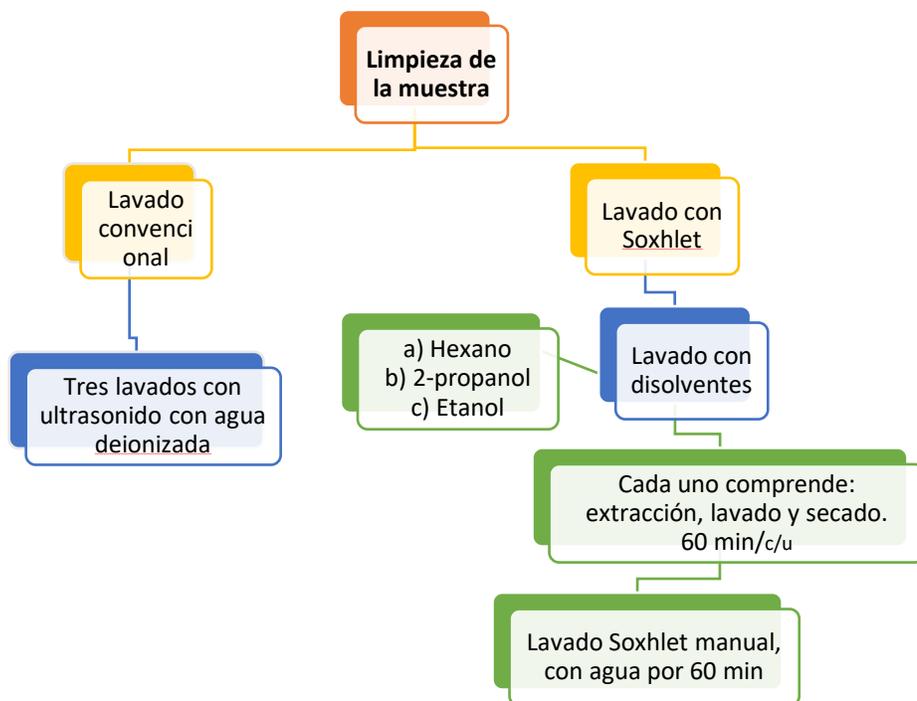


Diagrama de flujo 1. Limpieza de muestras.

5.1.4 Extracción de celulosa

Para garantizar que la sustancia a datar perteneciera exclusivamente al objeto original, se propuso la extracción de celulosa. Cada muestra siguió el mismo procedimiento defiriendo únicamente en el blanqueado.

De cada muestra se pesaron aproximadamente 70 mg, que se colocaron en tubos de ensayo; a cada tubo se adicionaron 10 mL de una disolución de NaOH al 4% m/vol y se colocaron en un termoblock a temperatura constante de 75°C con agitación constante por 12 h. Después se enjuagó con agua desionizada y se decantó, se repitió los enjuagues hasta pH neutro.

Una vez alcanzado el pH neutro, se adicionaron 10 mL de una disolución de HCl al 4% vol/vol; se deja en agitación a 75 °C por 1h. Concluido el tiempo se enjuagó con agua desionizada, repitiendo hasta pH neutro.

Posteriormente se adicionaron a cada tubo 10 mL de la disolución de NaOH al 4% m/vol y se dejó en agitación a 75°C por 1.5h. Se enjuagó con agua desionizada hasta llegar a pH neutro.

Después, se agregaron 10 mL de una disolución de NaClO₂ al 5% m/vol a cada tubo y HCl al 4% hasta pH=2, se dejó en agitación a 75°C por el tiempo que fuera necesario para cada muestra, menos a las más delicadas y más a las más resistentes (tabla 1). Se enjuagó con agua desionizada hasta llegar a pH neutro para luego ser decantadas.

Tabla1. Tiempos de blanqueado de muestras.

Clave Laboratorio	Tiempo de blanqueado (min)
LEMA 1004	22
LEMA 1006	17
LEMA 1007	30
LEMA 1008	10
LEMA 1010	15
LEMA 1011	15
LEMA 1012	10
LEMA 1013	15
LEMA 1014	30

Las muestras húmedas se congelaron con nitrógeno líquido con ayuda de un vaso Dewar y posteriormente fueron deshidratadas por liofilización.

El procedimiento de extracción de celulosa se resume en el diagrama de flujo 2.

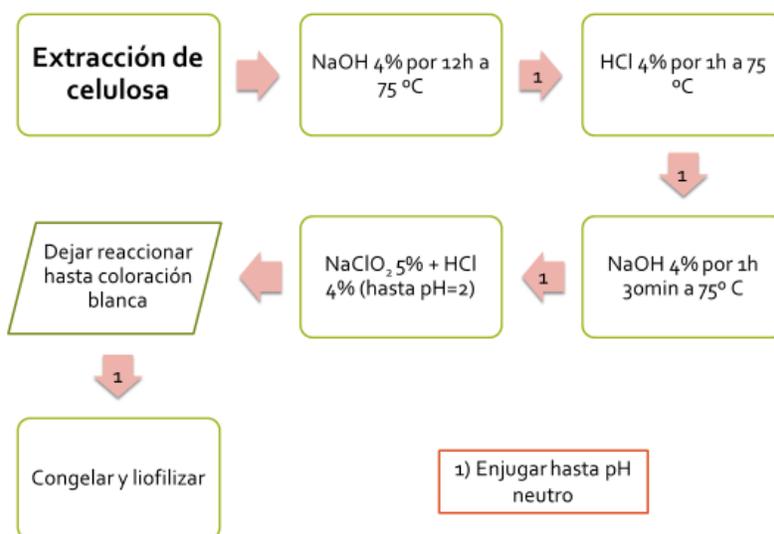
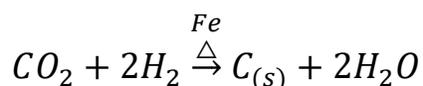


Diagrama de flujo 2. Extracción de celulosa.

5.1.5 Grafitización

Para poder medir la concentración de ^{14}C es necesario que la muestra sea transformada en carbón elemental, para ello existen diferentes métodos; en este proyecto se utilizó la reducción catalítica de CO_2 utilizando hierro elemental. La muestra se pesa en un crisol de aluminio que se introduce en el analizador elemental, donde se quema a 950°C , se produce CO_2 que se separa del N_2 , SO_2 y H_2O y transporta por medio de gas helio al equipo de Equipo de Grafitización Automatizado *AGEIII* de *IonPlus*, el CO_2 se atrapa en una columna de zeolita de tipo 13X, esta trampa se calienta durante 35 min a 490°C para poder liberar todo el CO_2 , posteriormente el CO_2 se transfiere al reactor donde se transforma en grafito mediante calentamiento a 500°C con una atmosfera inerte de Ar en presencia de H_2 y un catalizador de Fe en polvo [22]. Esta reacción se puede describir de forma simplificada con la reacción de Bosh [23].



Una vez obtenido el grafito, este se prensó en un cátodo de aluminio con una presión de 150 psi, obteniendo una superficie homogénea; después el cátodo se colocó en un porta cátodos de acero inoxidable y se acomoda en el separador isotópico para el análisis con EMA.

5.1.6 Análisis con EMA

Se realizó el análisis de ^{14}C , ^{13}C y ^{12}C del grafito obtenido mediante espectrometría de masas con aceleradores. Se utilizó un equipo Tandetrón de *High Voltage Europe Engineering* (HVVE), con un acelerador de 1 MV de energía.

El funcionamiento del sistema se puede dividir en tres secciones [24]:

- 1) La zona de baja energía que se conforma por la fuente de iones y el sistema de inyección, haciendo una primera selección de masas y se conduciendo los iones al acelerador.
- 2) El Acelerador donde se aceleran los iones y se realiza el proceso de *stripping*.
- 3) La zona de alta energía conformada por deflectores magnéticos y eléctricos, finalizando con un detector de partículas.

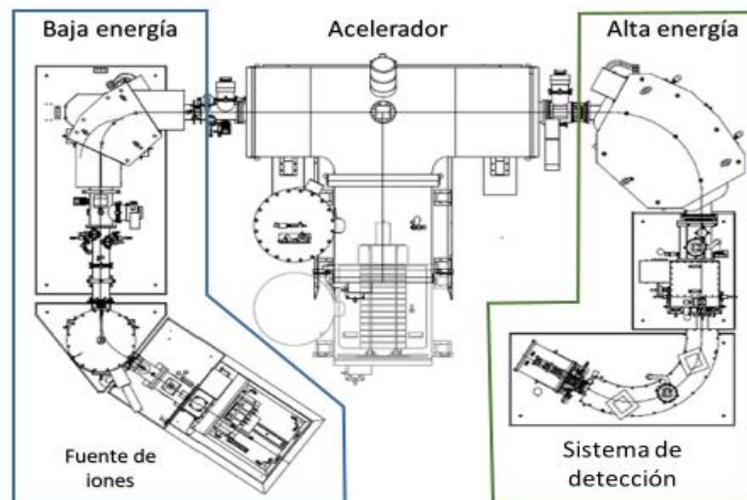


Figura 5. Esquema del EMA.

Zona de baja energía

Se emplea una fuente de iones que consiste en un haz de iones de Cs^+ , que son producidos mediante un horno y un ionizador que se encuentra a cierta distancia de la muestra.

La fuente de iones contiene un depósito de cesio, el cual es calentado hasta 100°C hasta sublimarlo. Ya en fase gaseosa, el Cs pasa al ionizador que se encuentra a una temperatura de 1100°C , donde se ioniza térmicamente, produciendo cationes de cesio Cs^+ . El haz de iones de Cs^+ producido se enfoca usando un sistema de *lentes* electrostáticas que lo hace incidir en la muestra, que mantiene un potencial negativo con respecto al ionizador, provocando la erosión de la muestra en átomos negativos, positivos y neutros [25].

El inyector tiene como propósito funcionar como un espectrómetro de masas tradicional para asegurar que solo se inyecten iones con las masas *correctas* en el acelerador; en este caso los isótopos ^{12}C , ^{13}C y ^{14}C . Esto se logra filtrando los iones negativos empujando un deflector electrostático con un voltaje constante. Además se someten a un sistema de inyección secuencial para obtener las mismas condiciones de enfoque para todos los isótopos.

Acelerador

Se utilizó un acelerador tipo *tándem* electrostático que acelera a las partículas cargadas con un campo eléctrico estático dentro de un tanque

lleno con SF₆ una presión de 0.6-0.7 MPa, el hexafluoruro de azufre posee una gran capacidad dieléctrica y previene fluctuaciones por humedad y polvo. En la zona terminal del tanque se lleva a cabo el proceso de *stripping* que elimina dos o más electrones de cada ion mediante el intercambio de carga con un gas o donde el haz de iones negativos se recarga. Esto permite que las partículas sean aceleradas nuevamente hacia la zona de alta energía. Además, los iones positivos son dirigidos al exterior del acelerador a través un tubo de alto vacío.

Zona de alta energía

Después de la segunda aceleración, la energía de interés es seleccionada mediante un análisis magnético y se separan los isótopos mediante el uso de deflectores magnético y electrostático. El haz se enfoca y entra a un dipolo magnético, que permite seleccionar la combinación masa, energía y carga expresada como mE/q^2 . Esto se logra ya que el radio de curvatura del isótopo pesado, ¹⁴C, es diferente al de los isótopos ligeros, (¹²C y ¹³C) que son captados en copas de Faraday. El haz de partículas pasa a través de un segundo lente de enfoque magnético donde se encuentra un analizador electrostático que permite hacer una nueva selección E/q . El propósito de ese equipo es eliminar los iones no deseados y los fragmentos moleculares que pasan con el valor correcto de mE/q^2 para tener la misma trayectoria que el isótopo de interés.

Existen diferentes tipos de detectores, el equipo empleado cuenta con un detector de gas, consiste en una cámara donde los iones entran a través de una ventana delgada. Durante el proceso de desaceleración cuando los iones viajan a través del gas, se producen electrones libres. El gas utilizado es isobutano; los electrones son desplazados hacia el ánodo conformado por varias secciones, cada una de las cuales recoge los electrones producidos midiendo así la energía perdida por el ion a lo largo de su trayectoria. Dado que los iones de diferentes Z pierden energía a diferentes velocidades. Esta cámara proporciona una medida de la energía total del ion y su tasa de pérdida de energía [26].

A partir de los valores obtenidos, se calculó la *Edad Radiocarbono o Convencional* (^{14}C), dada en años antes del presente (a.P.), fijada por convención antes de 1950. La *Edad Radiocarbono* debe ser corregida por el fraccionamiento o $\delta^{13}\text{C}$ a partir del cociente de $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ en la muestra. $\delta^{13}\text{C}$ es un valor medido en grafito y podría haber sufrido un fraccionamiento adicional.

5.1.7 Calibración

Estas calibraciones se hacen mediante el uso de gráficas que son trazadas de acuerdo a la medición de ^{14}C en anillos de crecimiento de árboles de abeto roble y secoya, ya que cada uno de estos anillos se forma anualmente y no sufre modificación durante la vida del árbol, lo que permite corregir la edad radiocarbono por las variaciones en la

concentración de ^{14}C en la atmósfera debidas a fenómenos tales como variaciones en el campo magnético de la Tierra, erupciones solares, entre otros. Estos datos están recopilados en una base de datos llamada INTCAL. Se usó el programa OxCal v4.2.4, utilizando la curva de calibración *InCal13* [27].

Se obtuvieron dos tipos de edades calibradas:

- a) Edad calibrada antes del presente: años cal A.P.
- b) Edad de calendario: años antes de Cristo (a.C.) o después de Cristo (d.C.).

Para cada una de ellas se calcularon los intervalos más probables, con los niveles de confianza del 68% (1σ) y del 95% (2σ).

5.2 Irradiación

Se escogió la muestra LEMA-1004 y la muestra LEMA-1018 para hacer las pruebas de irradiación gamma, para ello primero se seleccionó una tercera parte de la muestra, una para el análisis microbiológico previo a la irradiación, la otra para ser sometida a irradiación gamma y posteriormente hacer un cultivo microbiológico de la muestra ya irradiada. La muestra fue irradiada por 1 h 44 min y se irradió a 15 kGy en la Unidad de Irradiación gamma del Instituto de Ciencias Nucleares de la UNAM.

Para comprobar la efectividad de la esterilización, se realizaron dos cultivos por triplicado, el primero usando como medio agar extracto de malta para poder visualizar hongos que atacan fibras naturales, este se dejó incubando por 14 días a 27°C; el segundo cultivo que se utilizó fue cultivo de sangre (únicamente con la muestra LEMA-1004) para observar la presencia de microorganismos, bacterias y hongos, ya que este cultivo es rico en nutrientes (ver anexo 1), este cultivo se dejó incubar por 10 días a 30°C.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los objetos datados fueron elaborados de fibras vegetales, en la tabla 2 se observa una breve descripción de cada muestra y su procedencia.

Tabla 2. Relación de muestras recibidas.

Clave Laboratorio	Material	Descripción	Sitio
LEMA 1004	Fibra vegetal	Red de caza	Cuatrociénegas, Coah.
LEMA 1006	Fibra vegetal	Cesta	Cuatrociénegas, Coah.
LEMA 1007	Fibra vegetal	Fragmento de textil con franjas rojas	Cuatrociénegas, Coah.
LEMA 1008	Fibra vegetal	Fragmento de textil que presenta color azul y rojo	Cuatrociénegas, Coah.
LEMA 1010	Fibra vegetal	Fragmento de textil	Cuatrociénegas, Coah.
LEMA 1011	Fibra vegetal	Fragmento de textil	Cuatrociénegas, Coah.
LEMA 1012	Fibra vegetal	Fragmento de textil	Cuatrociénegas, Coah.
LEMA 1013	Fibra vegetal	Fragmento de textil	Cuatrociénegas, Coah.
LEMA 1014	Fibra vegetal	Fragmento de textil	Cuatrociénegas, Coah.

La figura 6 corresponde a una fotografía de la red de caza de donde se tomó la muestra LEMA-1004 y la figura 7 una foto de la muestra LEMA-1006. En ambas fotos se observa el estado de conservación en el que están además de las condiciones en las que están exhibidas y resguardadas; su estado de conservación es muy bueno, aunque presenta a simple vista la presencia de microorganismos como hongos además de suciedad.



Figura 6. Red de caza, LEMA-1004.



Figura 7. Cesta, LEMA-1006.

Los datos de las nueve muestras datadas obtenidos por análisis EMA ya calibrados se presentan en la tabla 3, se observa que la muestra LEMA-1004 presenta la edad más antigua siendo entre 2459 a.C.-2208 a.C. con 95% de confianza. Es de gran relevancia ya que de acuerdo con la datación la edad que presenta se puede comparar con la época en la que se desarrolló la cultura egipcia, además de que la pieza pertenece a un grupo de recolectores que no se establecieron en Cuatrociénegas y el lugar donde se encontraban era de difícil accesibilidad.

Tabla 3. Datos obtenidos por análisis EMA y calibración

Clave LEMA	Fracción fechada	$\delta^{13}\text{C}$	Edad ^{14}C Años (a.P. $\pm 1\sigma$)	Edad calibrada Nivel de confianza	
				1σ (68%)	2σ (95%)
LEMA 1004.1 .1	1	-11	3853 ± 30	4385 – 4161 cal a.P.	4408- 4157 cal a.P.
				2436 a.C.- 2212 a.C.	2459 a.C. - 2208 a.C.
LEMA 1006.1 .1	1	-15	1035 ± 30	962 – 929 cal a.P.	1050- 914 cal a.P.
				988 d.C.- 1022 d.C.	901 d.C. - 1036 d.C.
LEMA 1007.1 .1	1	-17	383 ± 30	500 – 334 cal a.P.	507- 319 cal a.P.
				1450 d.C.- 1616 d.C.	1443 d.C. - 1631 d.C.
LEMA 1008.1 .1	1	-17	1741 ± 30	1699 – 1615 cal a.P.	1715- 1565 cal a.P.
				252 d.C.- 336 d.C.	235 d.C. - 385 d.C.
LEMA 1010.1 .1	1	-30	2466 ± 35	2701 – 2465 cal a.P.	2714- 2379 cal a.P.
				752 a.C.- 516 a.C.	765 a.C. – 430 a.C.

LEMA 1011.1 .1	1	-15	427 ± 30	515 – 478 cal a.P. 1435 d.C.- 1473 d.C.	527- 334 cal a.P. 1423 d.C. - 1616 d.C.
LEMA 1012.1 .1	1	-23	526 ± 30	551 – 516 cal a.P. 1400 d.C.- 1434 d.C.	630- 508 cal a.P. 1321 d.C. - 1442 d.C.
LEMA 1013.1 .1	1	-11	1905 ± 30	1882 – 1823 cal a.P. 69 d.C.- 128 d.C.	1925- 1739 cal a.P. 25 d.C. - 211 d.C.
LEMA 1014.1 .1	1	-15	424 ± 30	515 – 474 cal a.P. 1436 d.C.- 1476 d.C.	525- 333 cal a.P. 1425 d.C. - 1617 d.C.

La pieza presenta un buen estado de conservación aun con la presencia de microorganismos, esto se puede explicar a que se encontraba en una cueva estrecha que mantenía una temperatura adecuada, además de que protegía a la pieza de la irradiación del sol, otro de los factores que podría ser un factor es que el lugar se encontraba aislado de su entorno y de la población. Por otro lado, la muestra LEMA-1006 que se encontró en el mismo contexto que la muestra LEMA-1004, es más joven, presentando una edad de 901 d.C.-1036 d.C. por lo que no tienen relación entre la fecha de elaboración sino solo en el contexto de que correspondían a un arreglo mortuorio.

La tabla 4 muestra los datos de los fragmentos de cesta datados así como su respectiva foto, cada una de ellas presenta una complejidad de manufactura diferente. La muestra LEMA-1011 es la que corresponde a un tejido más tosco y sencillo por lo que se esperaba que fuera más

antigua con respecto a una que presenta mayor complejidad, pero esta muestra tiene una edad de 1423 d.C.-1616 d.C. mientras que la muestra LEMA-1008 que presenta un mayor complejidad de manufactura y pigmentación del tejido tiene una edad de 235 d.C.- 385 d.C., una edad más antigua.

Tabla 4. Fragmentos de cesta con edad calibrada y acomodada de manera cronológica, con su respectiva foto.

Clave de la muestra	Edad calibrada 2σ (95%)	Foto de la muestra
LEMA 1010.1.1	765 a.C. - 430 a.C.	
LEMA 1013.1.1	25 d.C. - 211 d.C.	
LEMA 1008.1.1	235 d.C. - 385 d.C.	

LEMA 1012.1.1

1321 d.C. - 1442
d.C.



LEMA 1011.1.1

1423 d.C. - 1616
d.C.



LEMA 1014.1.1

1425 d.C. - 1617
d.C.



LEMA 1007.1.1

1443 d.C. - 1631
d.C.



La muestra más antigua de este grupo de fragmentos es la muestra LEMA-1010 con una edad de 765 a.C.-430 a.C. con un tejido no tan complejo, pero tampoco tosco. La muestra LEMA-1007 es la más reciente

presentando una manufactura compleja y pigmentación que decora el tejido.

A rasgos generales se observa que las muestras LEMA-1010, LEMA-1013 y LEMA-8 presentan una relación entre complejidad de la manufactura y la temporalidad, pero se presenta un brinco temporal de aproximadamente mil años con las muestras LEMA-1012, LEMA-1011, LEMA-1014 y LEMA-1007 que vuelven a presentar esta relación entre sí, como se puede observar en la figura 8.

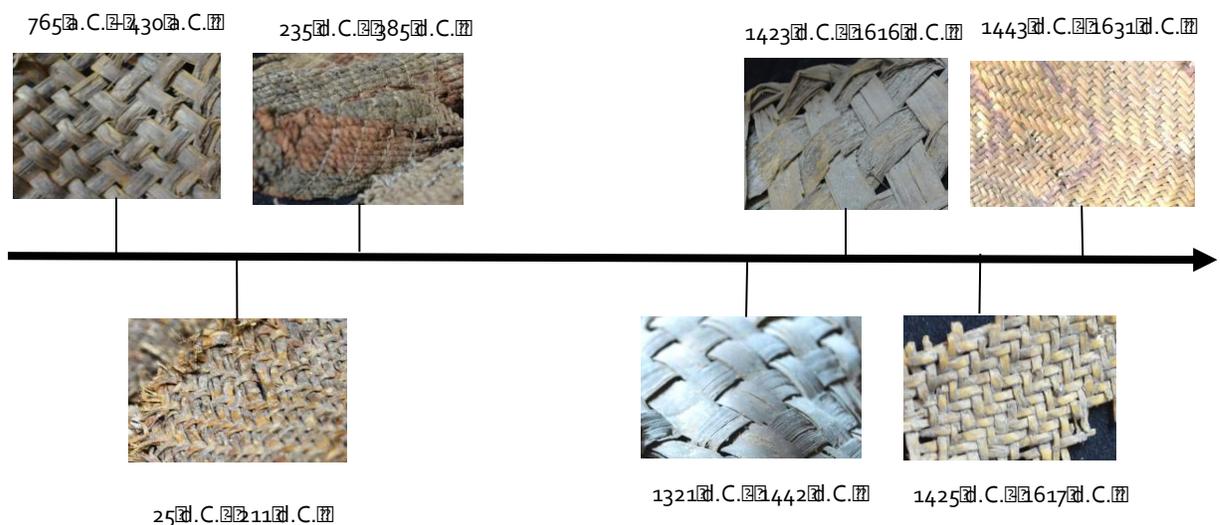
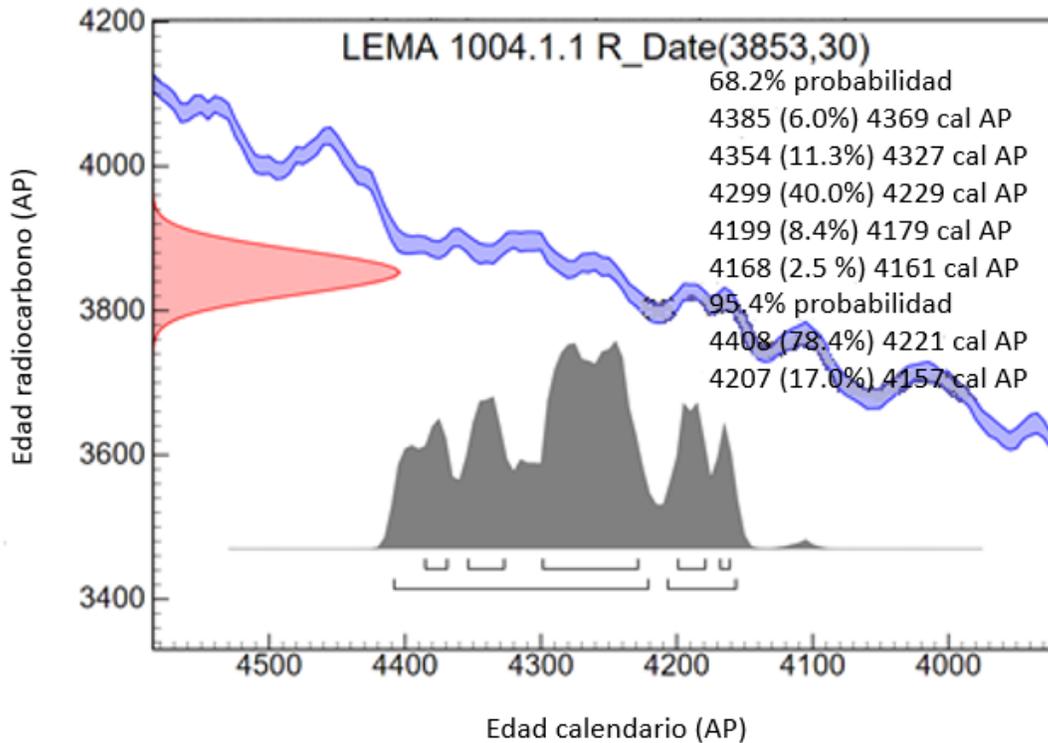


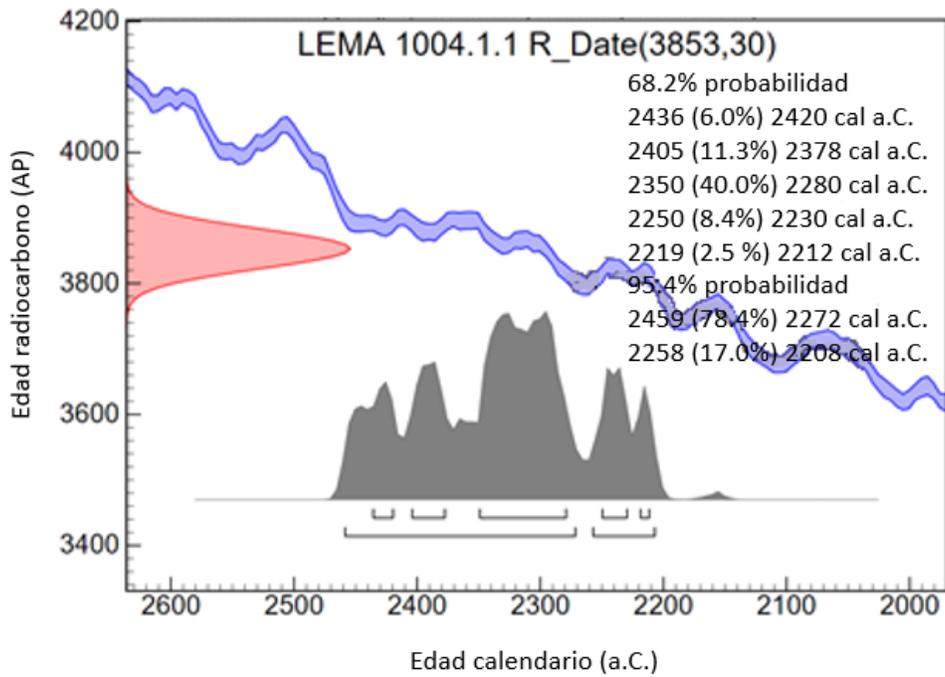
Figura 8. Línea del tiempo de la serie de cestería, de acuerdo con los resultados obtenidos del análisis con EMA.

Para cada una de las edades obtenidas se realizó una calibración para nomenclatura antes del presente (A.P.) y para antes de Cristo (a.C.)- después de Cristo (d.C.) ya que, por un lado A.P. es usado para reportar datos de datación por radiocarbono, pero a.C.-d.C. es mayormente empleado por los arqueólogos. La curva rosa indica la concentración de

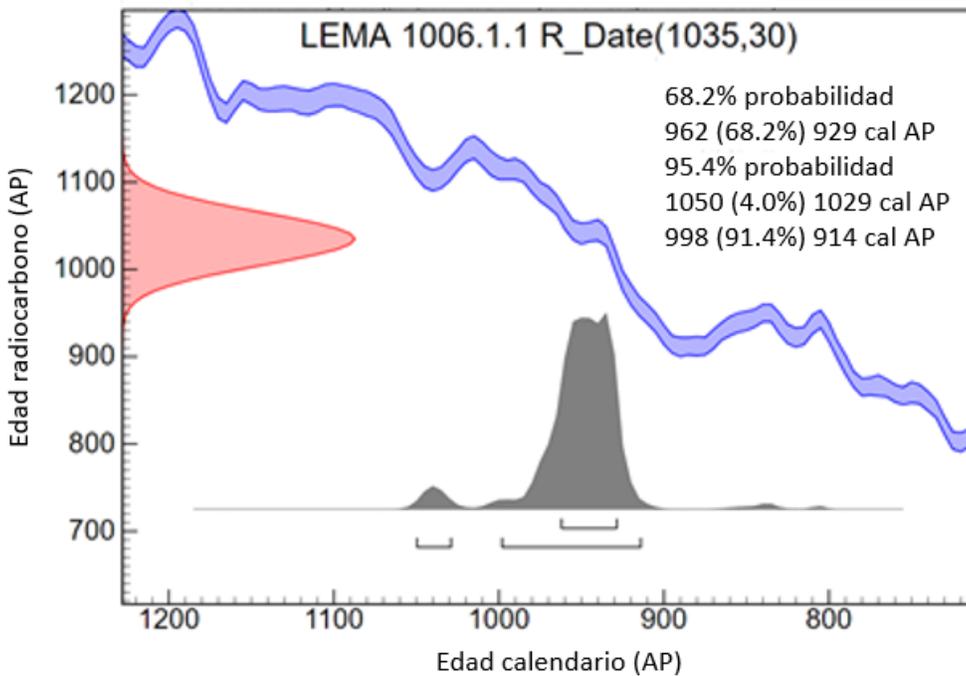
C¹⁴ en la muestra, y la curva gris las posibles edades calendario que presenta la muestra, entre más grande es el histograma es mayor la probabilidad de que este valor sea más exacto.



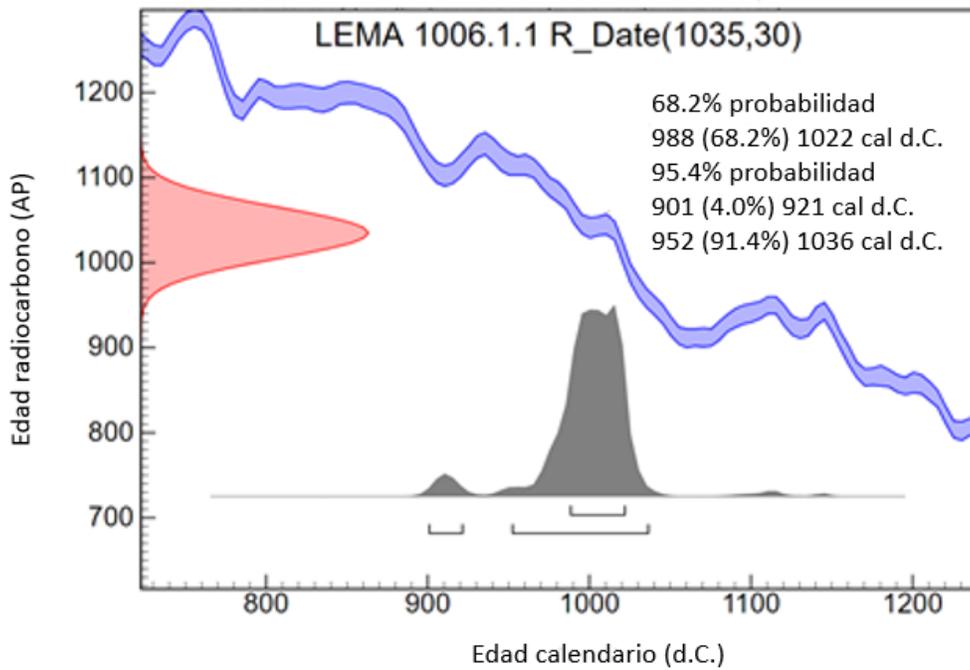
Grafica 1. Grafica de calibración de muestra LEMA 1004, fecha calibrada para antes del presente (AP).



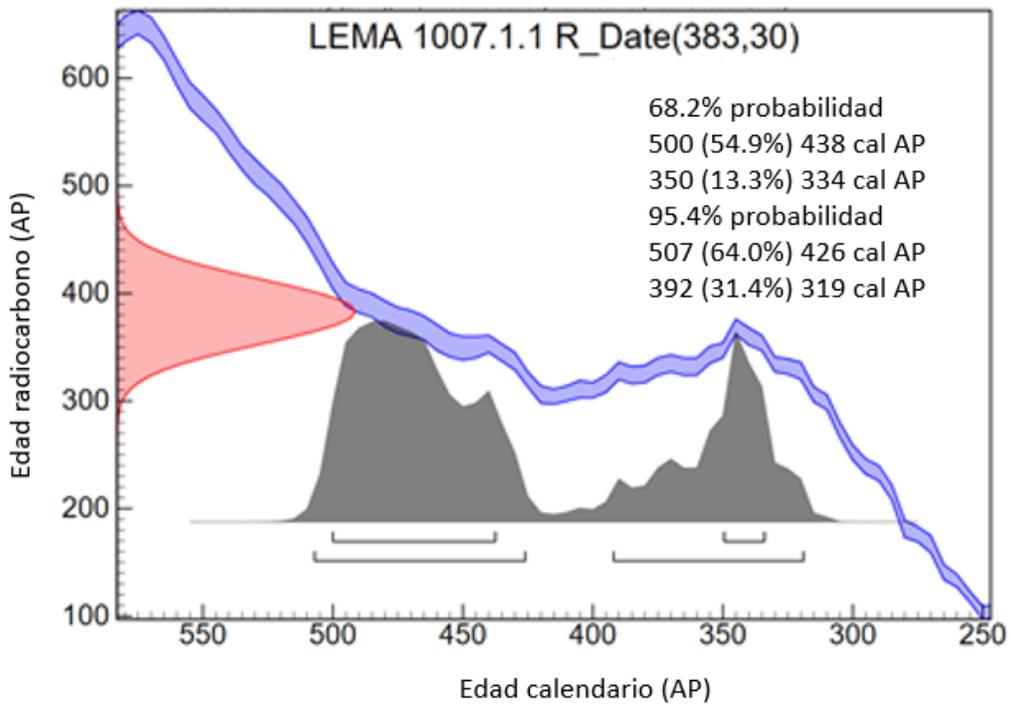
Grafica 2. Grafica de calibración de muestra LEMA 1004, fecha calibrada para a.C.- d.C.



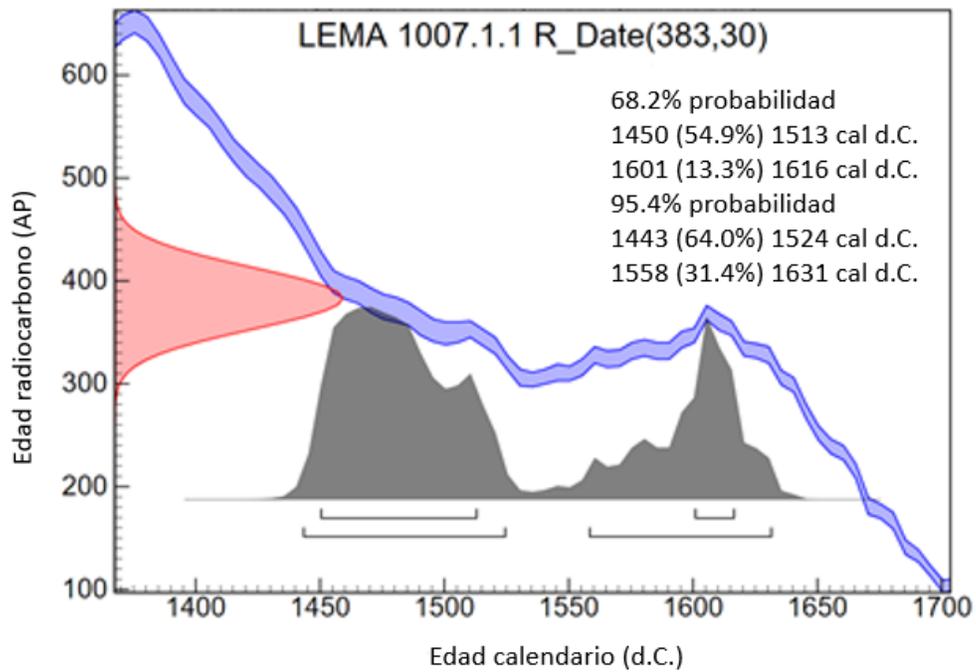
Grafica 3. Grafica de calibración de muestra LEMA 1006, fecha calibrada para antes del presente (AP).



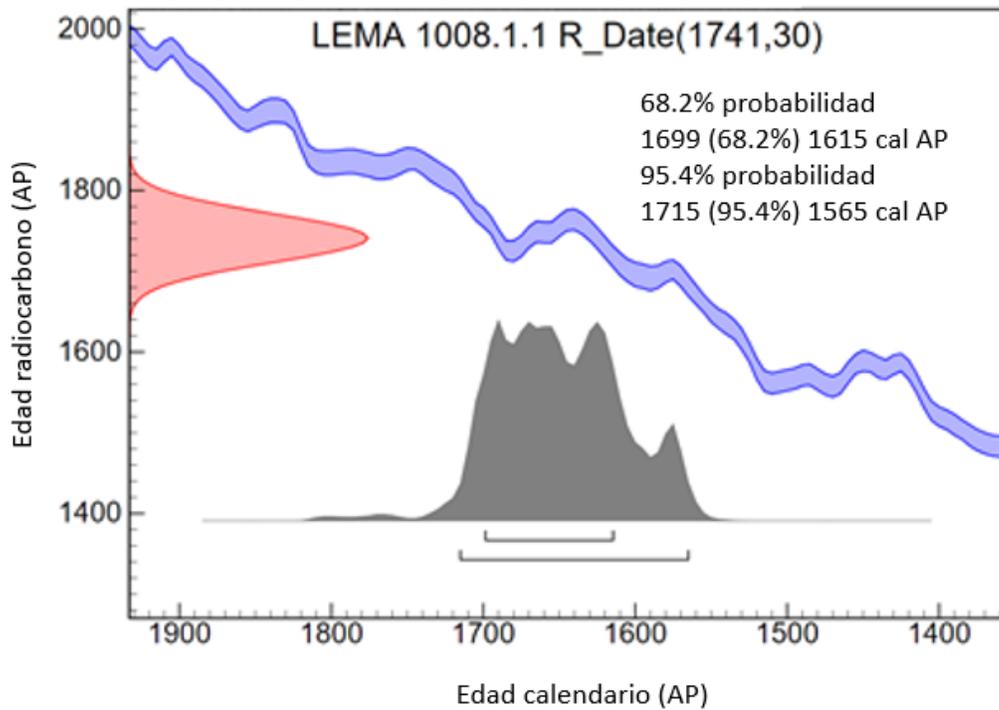
Grafica 4. Grafica de calibración de muestra LEMA 1006, fecha calibrada para a.C.- d.C.



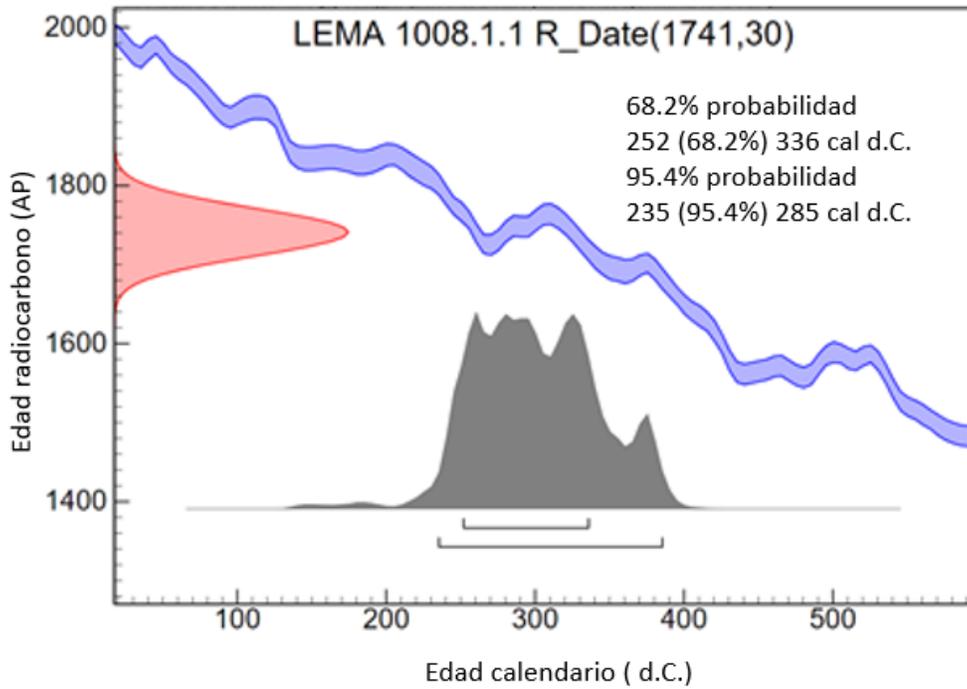
Grafica 5. Grafica de calibración de muestra LEMA 1007, fecha calibrada para antes del presente (AP).



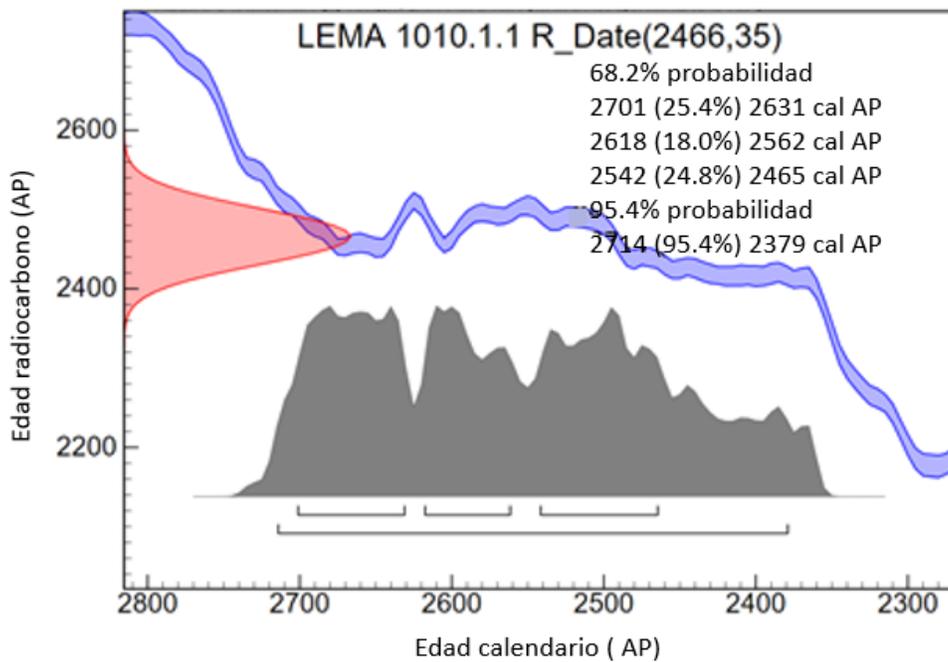
Grafica 6. Grafica de calibración de muestra LEMA 1007, fecha calibrada para a.C.- d.C.



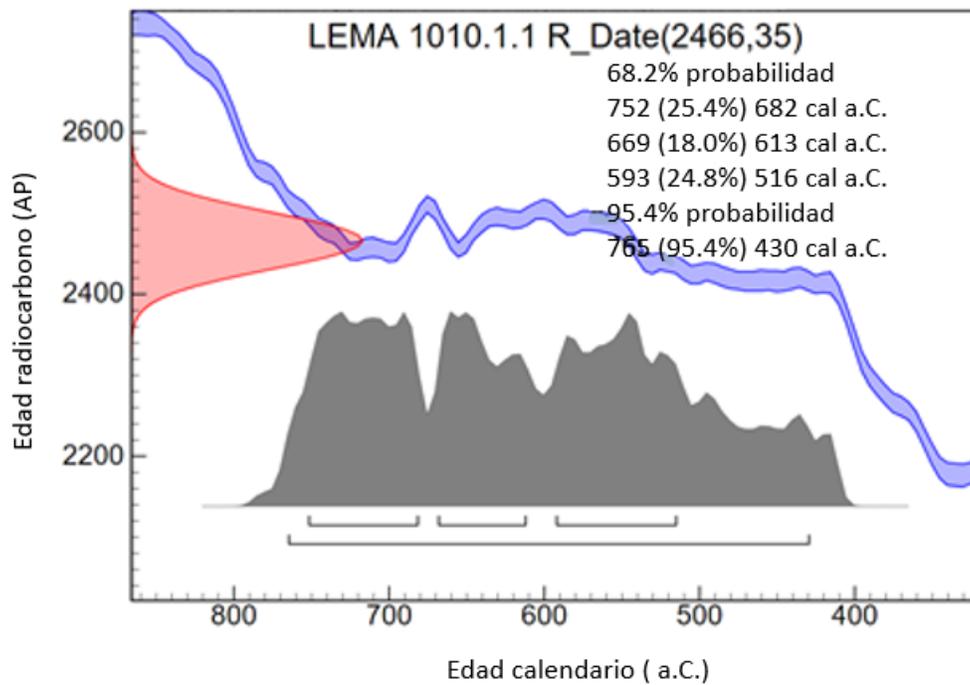
Grafica 7. Grafica de calibración de muestra LEMA 1008, fecha calibrada para antes del presente (AP).



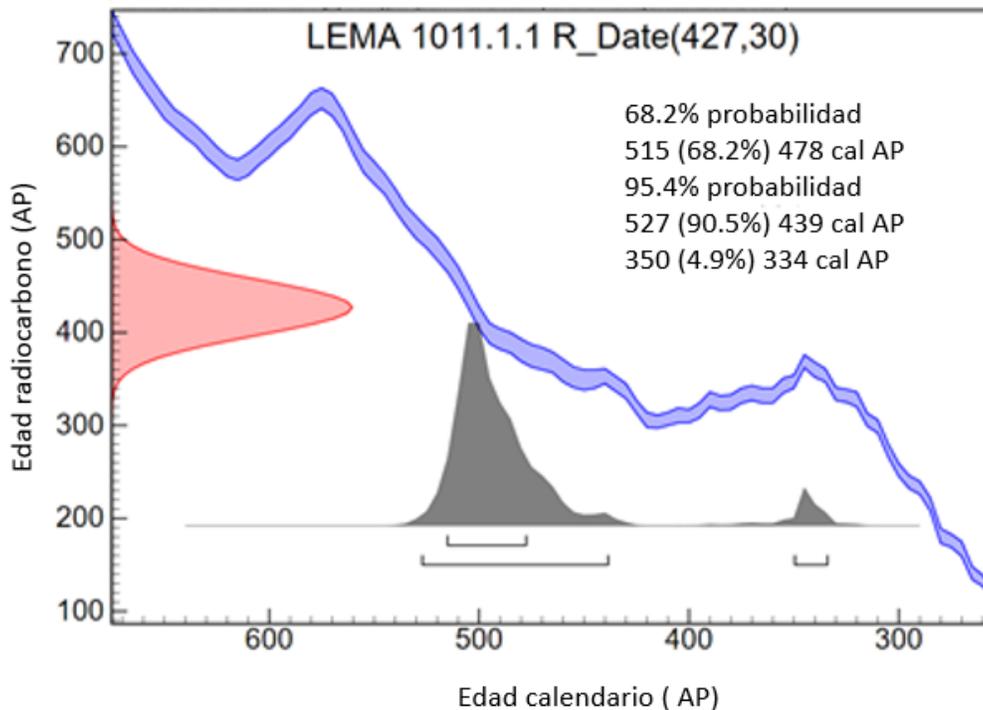
Grafica 8. Grafica de calibración de muestra LEMA 1008, fecha calibrada para a.C.- d.C.



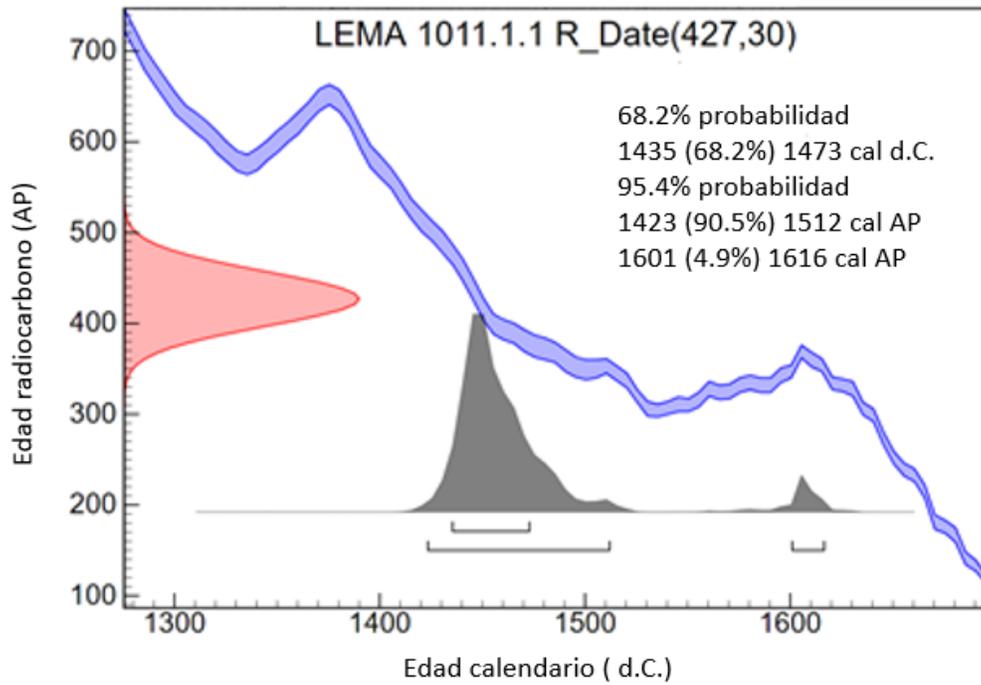
Grafica 9. Grafica de calibración de muestra LEMA 1010, fecha calibrada para antes del presente (AP).



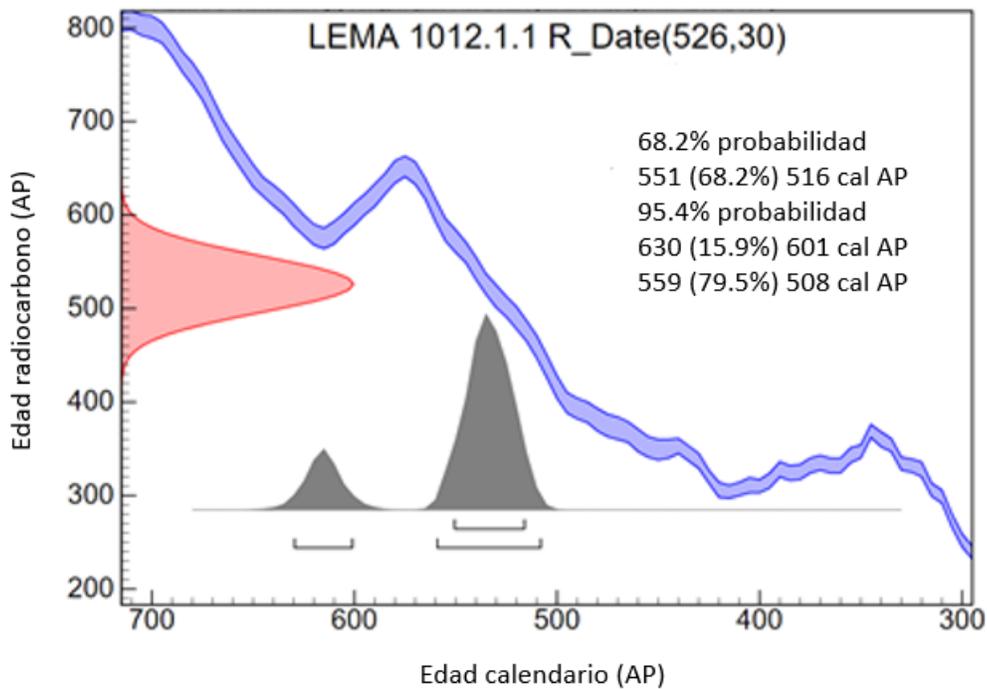
Grafica 10. Grafica de calibración de muestra LEMA 1010, fecha calibrada para a.C.- d.C.



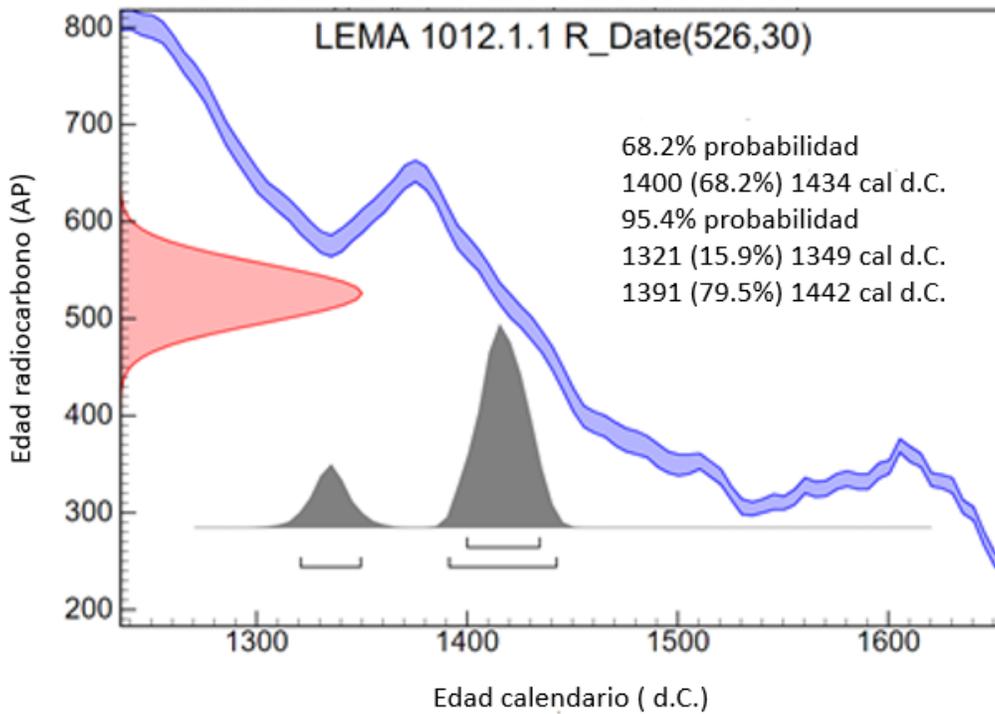
Grafica 11. Grafica de calibración de muestra LEMA 1011, fecha calibrada para antes del presente (AP).



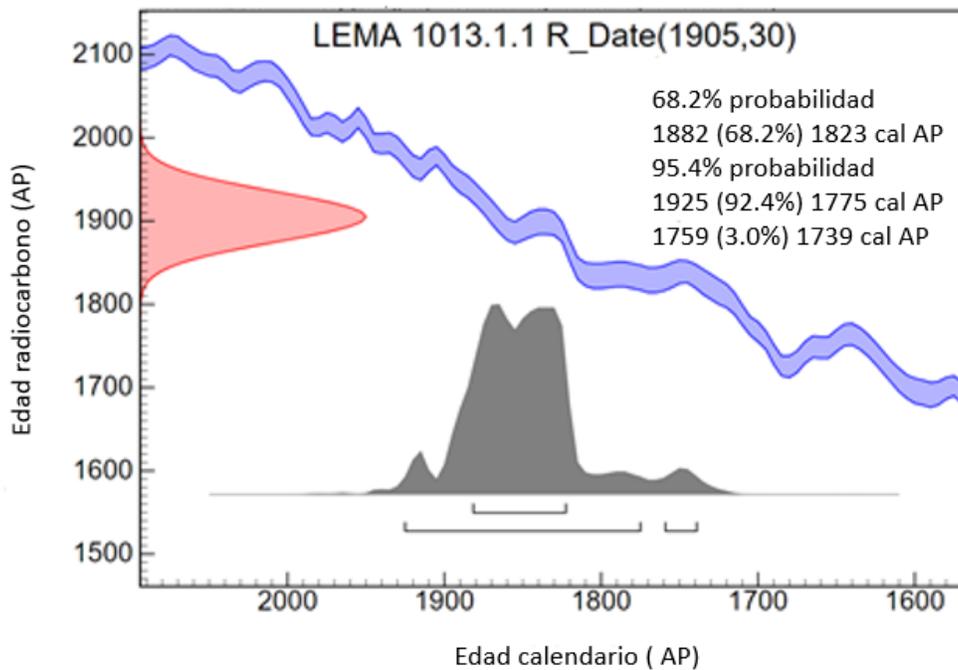
Grafica 12. Grafica de calibración de muestra LEMA 1011, fecha calibrada para a.C.- d.C.



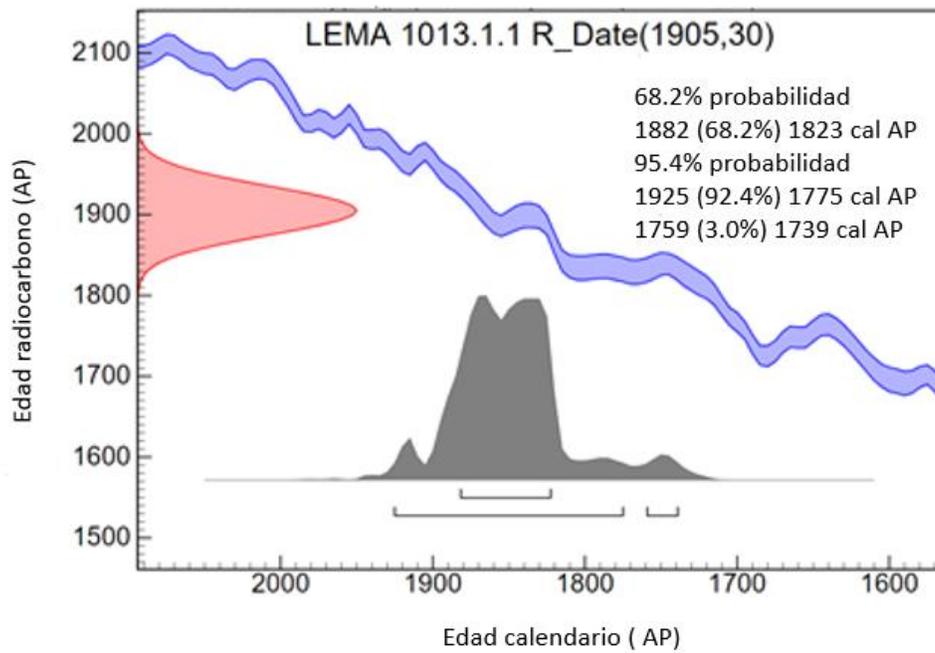
Grafica 13. Grafica de calibración de muestra LEMA 1012, fecha calibrada para antes del presente (AP).



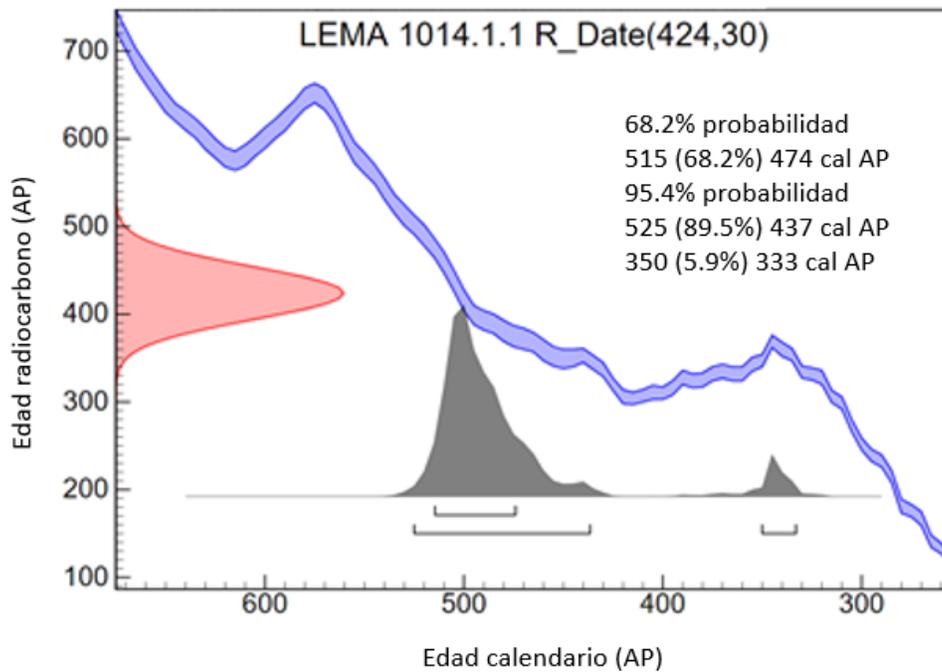
Grafica 14. Grafica de calibración de muestra LEMA 1012, fecha calibrada para a.C.- d.C.



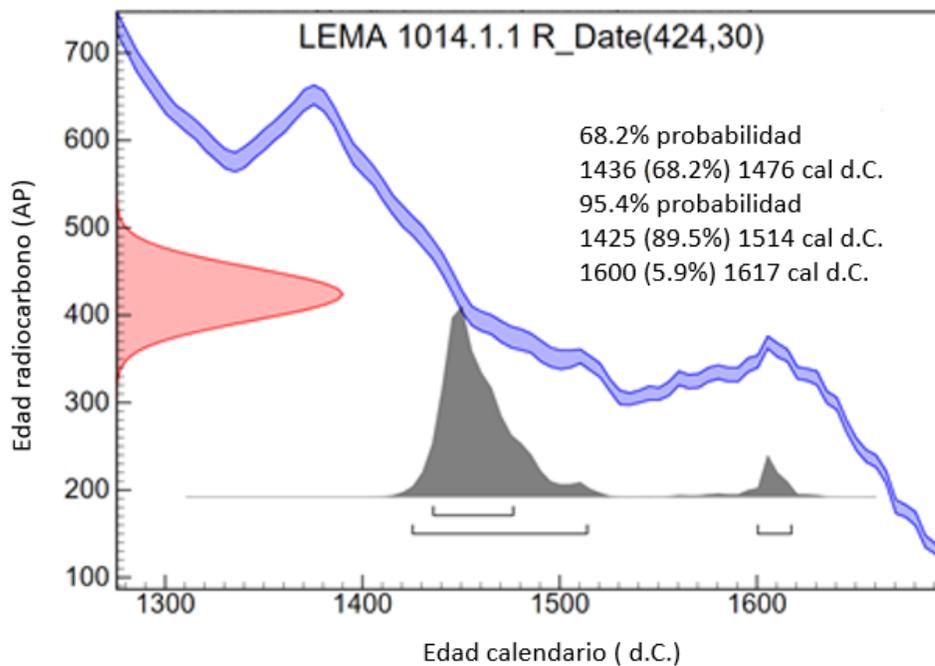
Grafica 15. Grafica de calibración de muestra LEMA 1013, fecha calibrada para antes del presente (AP).



Grafica 16. Grafica de calibración de muestra LEMA 1013, fecha calibrada para a.C.- d.C.



Grafica 17. Grafica de calibración de muestra LEMA 1014, fecha calibrada para antes del presente (AP).



Grafica 18. Graficas de calibración de muestra LEMA 1014, fecha calibrada para a.C.- d.C.

Después del análisis con EMA, la muestra LEMA-1004 y LEMA-1018 fueron irradiadas. Para corroborar el proceso de esterilización se elaboraron cultivos, de sangre y agar extracto de malta, que fueron monitoreados para observar el crecimiento de microorganismos.

Los cultivos de sangre de la muestra no irradiada presentaron crecimiento de bacterias (figura 9) al tercer día de incubación, que concuerda con el mal olor que presentaba la muestra LEMA-1004 esto se puede deber a que ya que se usaba como una herramienta de caza y estaba en contacto con animales estuvo expuesta a percolación de orines y heces; mientras que el blanco y los cultivos de la muestra irradiada no presentaron crecimiento de ningún microorganismo, se dejaron otros 7 días más y al

décimo día se retiraron de la incubadora, el blanco y los cultivos de la muestra irradiada no presentaron crecimiento de ningún microorganismo. Los cultivos de extracto de malta estuvieron en incubación 14 días, ninguno de los cultivos presentó crecimiento de microorganismos hasta el día 9. Al terminar los 14 días de incubación el blanco, la muestra irradiada y la muestra no irradiada LEMA-1004 no presentaron crecimiento de ningún hongo.

Por otra parte, los cultivos de la muestra LEMA-1018 presentaron crecimiento de hongos (figura 9); bajo el microscopio la presencia de hongos es evidente en la muestra LEMA-1018 (figura 10), mientras que en la muestra LEMA-1004 no es apreciable (figura 11).



Figura 9. Imágenes del microscopio, imagen del lado izquierdo corresponde a bacterias en el cultivo de sangre y la imagen del lado derecho corresponde a un hongo en el cultivo extracto de malta.



Figura 10. Imágenes del microscopio de la muestra LEMA-1018 en la que se puede apreciar la presencia de hongos.



Figura 11. Imagen del microscopio de la muestra LEMA-1004.

7. CONCLUSIONES

Al realizar la recuperación de información sobre datación de objetos arqueológicos de la zona se encontró que ha habido muy pocos estudios sistemáticos para tener una cronología absoluta de los objetos arqueológicos, petroglifos o restos humanos pertenecientes a esta zona. Los museos regionales, Museo del Desierto, Museo de la Laguna y la Casa de la Cultura de Cuatrociénegas poseen un acervo considerable de objetos

prehispánicos, algunos sin ser exhibidos. Los objetos analizados en este proyecto forman parte de la primera base de datos de objetos datados de la zona y los primeros en ser datados en México con radiocarbono y EMA (ver anexo 2).

Se dataron nueve objetos, siendo la muestra más antigua LEMA-1004, se determinó que no hay relación temporal entre la red de caza y la cesta encontradas en la misma cueva. Cabe destacar que la red de caza, al igual que el tocado de venado, son objetos de gran importancia cultural e histórica que deben ser tratados para limpiarlos y resguardarlos en una vitrina especial, de preferencia con atmósfera controlada. Ya que su estado de conservación es impresionante dado que tienen una edad cercana a los 5000 años.

Las muestras de cestería datadas presentaron edades muy variadas y separadas por grandes intervalos de tiempo. Debido a que se analizaron solamente unas cuantas muestras, aún no es posible relacionar las técnicas de manufactura y posible origen con la edad de estos objetos. Sin embargo, las dataciones permiten ubicarlas temporalmente y usarlas como referencia para una futura selección de objetos a analizar.

Con el propósito de proponer un método simple de conservación de los objetos de cestería con señales evidentes de ataque por hongos, se irradiaron dos muestras de objetos distintos. Los resultados son alentadores porque se logra la eliminación de hongos y bacterias,

corroborado a través de cultivos específicos, sin señales de deterioro al material. La irradiación facilita la eliminación de hongos y microorganismos y es un método susceptible de ser aplicado en estos objetos para su mejor conservación. Es necesario realizar pruebas más detalladas que garanticen la completa esterilización de los objetos sin que los materiales sufran deterioro por exceso de irradiación.

La irradiación con rayos gamma es simple, rápida y comparativamente de bajo costo con las técnicas químicas. Además, puede aplicarse a un gran número de objetos simultáneamente.

Los objetos de cestería o textiles ya limpios e irradiados podrían almacenarse o exhibirse por periodos largos de tiempo antes de necesitar un nuevo tratamiento, especialmente si se utilizan sistemas de almacenamiento y exhibición que reduzcan la exposición al ambiente.

8. ANEXO 1

Cultivos

Los medios de cultivo son utilizados para hacer crecer ciertos microorganismos, estos son disoluciones que contienen los nutrientes necesarios para permitir dicho desarrollo.

Se pueden clasificar de diferentes maneras, la primera en dos grandes tipos los químicamente definidos y los complejos. De los primeros se conoce la composición exacta, por lo que se preparan con cantidades exactas. Por otro lado los cultivos complejos no se realizan con cantidades exactas y su composición no se conoce con exactitud.

Los cultivos microbiológicos están sujetos a diferentes factores, como son la temperatura, el pH, la composición, esterilidad del medio y consistencia del medio. Por este último punto también se puede clasificar los cultivos, ya que pueden ser líquidos, semisólidos o sólidos, dependiendo de la cantidad de gelificante empleado, normalmente se usa agar como gelificante [28].

Se clasifican también por su utilidad, existen 4 que son:

- **Nutritivos:** que permite el crecimiento general de cualquier microorganismo.
- **De enriquecimiento:** permite el crecimiento de microorganismos más especiales ya que contiene más componentes que un cultivo nutritivo normal.

- Selectivos: estos presentan algún inhibidor que permite que no se desarrolle cualquier microorganismo y sea más fácil el crecimiento de alguno en específico.
- Diferenciales: contiene algún indicador especial que logra manifestar una característica específica de algún microorganismo.

Los medios de cultivo son preparados a partir de un deshidratado o bien se puede comprar ya elaborados, después de tenerlo listo es necesario esterilizar para eliminar cualquier contaminante, esto se hace mediante el uso de una autoclave, normalmente se coloca en un frasco o recipiente grande que se tapa con algodón gaseoso y se deja en la autoclave por 20 minutos a 121°C.

Existen diferentes medios de cultivo como fue mencionado anteriormente, los utilizados en este proyecto son:

-Sangre agar base

El fundamento de este cultivo es que debido a la presencia de almidón y la peptona hacen que el medio sea muy rico en nutrientes, permitiendo que crezcan diversos microorganismos; como balance osmótico tiene cloruro de sodio y agar como agente solidificante.

-Agar extracto de malta

Este medio está enriquecido con maltosa y otros sacáridos que permiten el crecimiento de hongos y levaduras.

9. ANEXO 2

Base de datos de objetos provenientes de Cuatrociénegas que fueron datados con ^{14}C [29] [30].

Poblado	Sitio	Lab No.	date BP	±	$\delta^{13}\text{C}$	cal BP 1 σ	Material	Comentario	Referencia
Cuatrociénegas, Coah.	Cueva la Espantosa	SI1071	1660	50		1496-1641	Hesperaloe	sandalia	Taylor 1988
Cuatrociénegas, Coah.	Cueva la Espantosa	SI1133	1755	45		1612-1730	Sotol	bolsa con semillas	Taylor 1988
Cuatrociénegas, Coah.	Cueva la Espantosa	SI1059	1955	75		1828-1994	Hesperaloe	sandalia	Taylor 1988
Cuatrociénegas, Coah.	Cueva la Espantosa	SI1060	2210	45		2168-2302	Hesperaloe	sandalia	Taylor 1988
Cuatrociénegas, Coah.	Cueva la Espantosa	SI1063	2495	75		2435-2685	Hesperaloe	sandalia	Taylor 1988
Cuatrociénegas, Coah.	Cueva la Espantosa	SI1148	2700	85		2762-2915	wood	bastón	Taylor 1988
Cuatrociénegas, Coah.	Cueva la Espantosa	SI1068	2945	55		2991-3240	Hesperaloe	sandalia	Taylor 1988
Cuatrociénegas, Coah.	Cueva la Espantosa	SI1144	3125	55		3279-3405	madera	bastón trabajado	Taylor 1988
Cuatrociénegas, Coah.	Cueva la Espantosa	SI1139	3180	110		3258-3547	madera	madera puntiaguda	Taylor 1988
Cuatrociénegas, Coah.	Cueva la Espantosa	M193	3200	250		3103-3736	madera	varios fragmentos de madera	Crane & Griffin 1958, Taylor 1956
Cuatrociénegas, Coah.	Cueva la Espantosa	SI1140	3310	55		3482-3615	madera	madera trabajada	Taylor 1988
Cuatrociénegas, Coah.	Cueva la Espantosa	SI1141	3445	60		3640-3808	madera	madera	Taylor 1988
Cuatrociénegas, Coah.	Cueva la Espantosa	SI1065	3495	60		3702-3848	Hesperaloe	sandalia	Taylor 1988
Cuatrociénegas, Coah.	Cueva la Espantosa	SI1062	3590	50		3841-3966	Hesperaloe	sandalia	Taylor 1988
Cuatrociénegas, Coah.	Cueva la Espantosa	SI1064	3610	60		3854-4021	Hesperaloe	sandalia	Taylor 1988
Cuatrociénegas, Coah.	Cueva la Espantosa	SI1137	3665	75		3904-4109	Hesperaloe	trozos de madera puntiaguda	Taylor 1988
Cuatrociénegas, Coah.	Cueva la Espantosa	SI1147	3710	100		3932-4221	madera	bastón puntiagudo	Taylor 1988
Cuatrociénegas, Coah.	Cueva la Espantosa	SI1058	3780	50		4090-4241	Hesperaloe	sandalia	Taylor 1988
Cuatrociénegas, Coah.	Cueva la Espantosa	SI1138	3815	85		4095-4355	madera	madera trabajada	Taylor 1988
Cuatrociénegas, Coah.	Cueva la Espantosa	SI1136	3825	90		4101-4369	madera	bastón puntiagudo	Taylor 1988
Cuatrociénegas, Coah.	Cueva la Espantosa	SI1072	3840	80		4136-4375	Hesperaloe	sandalia	Taylor 1988
Cuatrociénegas, Coah.	Cueva la Espantosa	SI1061	4225	75		4637-4846	Hesperaloe	sandalia	Taylor 1988
Cuatrociénegas, Coah.	Cueva la Espantosa	SI1069	4380	85		4892-5199	Hesperaloe	sandalia	Taylor 1988
Cuatrociénegas, Coah.	Cueva la Espantosa	SI1088	4530	140		4988-5399	Yucca	fragmento de cuerda de entierro	Taylor 1988

Cuatrociénegas, Coah.	Cueva la Espantosa	SI1067	4600	65		5136-5434	Hesperaloe	sandalia	Taylor 1988
Cuatrociénegas, Coah.	Cueva la Espantosa	SI1070	4665	55		5341-5482	Hesperaloe	sandalia	Taylor 1988
Cuatrociénegas, Coah.	Cueva la Espantosa	SI1145	5070	90		5712-5905	madera	corte de madera	Taylor 1988
Cuatrociénegas, Coah.	Cueva la Espantosa	SI1146	5690	70		6413-6584	madera	corte de madera	Taylor 1988
Cuatrociénegas, Coah.	Cueva la Espantosa	SI1066	6130	105		6882-7154	Hesperaloe	sandalia	Taylor 1988
Cuatrociénegas, Coah.	Cueva la Espantosa	SI1057	7050	70		7807-7942	heces	heces humanas	Taylor 1988
Cuatrociénegas, Coah.	Cueva la Espantosa	SI1143	7380	75		8096-8302	madera	fragmento Atlatl	Taylor 1988
Cuatrociénegas, Coah.	Cueva la Espantosa	SI1135	7770	125		8461-8795	madera	pieza de madera sin trabajar	Taylor 1988
Cuatrociénegas, Coah.	Cueva la Espantosa	SI1142	7795	120		8483-8839	madera	pieza de madera trabajada	Taylor 1988
Cuatrociénegas, Coah.	Cueva la Espantosa	SI1026	9215	85		10295-10504	madera	madera puntiaguda	Taylor 1988
Cuatrociénegas, Coah.	Cueva la Espantosa	M192b	9300	400		9998-11117	madera	fragmento de madera	Crane & Griffin 1958, Taylor 1956
Cuatrociénegas, Coah.	Cueva la Espantosa	M192a	9540	550		10190-11802	madera	varios fragmentos de madera	Crane & Griffin 1958, Taylor 1956
Cuatrociénegas, Coah.	CM-79	CAMS 96157	835	35	-11	1070-1280*	Lophophora	botón de peyote	Terry et al. 2006
Cuatrociénegas, Coah.	Cueva de las cornamentas	LEMA 1004	3853	30	-11	4385-4161	Fibra vegetal	Red de caza	LEMA, IFUNAM
Cuatrociénegas, Coah.	Cueva de las cornamentas	LEMA 1006	1035	30	-15	962-929	Fibra vegetal	Cesta	LEMA, IFUNAM
Cuatrociénegas, Coah.	Cueva de las cornamentas	LEMA 1007	383	30	-17	500-334	Fibra vegetal	Fragmento de textil con franjas rojas	LEMA, IFUNAM
Cuatrociénegas, Coah.	Cueva de las cornamentas	LEMA 1008	1741	30	-17	1699-1615	Fibra vegetal	Fragmento de textil, presenta color azul y rojo	LEMA, IFUNAM
Cuatrociénegas, Coah.	Cueva de las cornamentas	LEMA 1010	2466	35	-30	2701-2465	Fibra vegetal	Fragmento de textil	LEMA, IFUNAM
Cuatrociénegas, Coah.	Cueva de las cornamentas	LEMA 1011	427	30	-15	515-478	Fibra vegetal	Fragmento de textil	LEMA, IFUNAM
Cuatrociénegas, Coah.	Cueva de las cornamentas	LEMA 1012	526	30	-23	551-516	Fibra vegetal	Fragmento de textil	LEMA, IFUNAM
Cuatrociénegas, Coah.	Cueva de las cornamentas	LEMA 1013	1905	30	-11	1882-1823	Fibra vegetal	Fragmento de textil	LEMA, IFUNAM
Cuatrociénegas, Coah.	Cueva de las cornamentas	LEMA 1014	424	30	-15	515-474	Fibra vegetal	Fragmento de textil	LEMA, IFUNAM

* cal. AD 2σ.

10. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Piccini L., Forti P., Giulivo I., Mecchia M., *International Journal of Speleology*, 2007, 36(2), 83-92.
- [2] Souza V., Escalante., Espinoza I., Valera A., Cruz A., Eguiarte L., García F., Elser J., *Ciencias*, 2004, 75, 4-7.
- [3] CONANP, *Manual para guías de turistas en Cuatro Ciénegas*, SEMARNAT, 2009, 32-50.
- [4] González A., Lockley M., Rojas C., López J., González S., *Ichnos*, 2009, 16(1-2), 12-14.
- [5] González L., *Archaeology without Borders*, 2008, 22, 373-383.
- [6] Bernal J., Beramendi L., Lugo-Ibarra K., Walter L., *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 2010, 62(3), 305-3025.
- [7] Mavov G., Curtiss L., *Journal of Research of the National Bureau of Standards*, 1951, 46(4), 328-333.
- [8] Libby W., Anderson E., Arnold J., *Science*, 1949, 109, 227-228.
- [9] Stuiver M., Suess H., *Radiocarbon*, 1996, 8, 534-540.
- [10] Strenström K., Skog G., Georgiadou E., Genberg J., Mellström A., *Lund University, Nuclear Physics*, 2011, 3-5.
- [11] Hoffmann E., Stroobant E., *Mass spectrometry*, 2007, 43-46.
- [12] Fajgel A., Gröning M., *IAEA*, 2014.
- [13] Scott e., Boaretto E., Bryant C., Cook G., Gulliksen S., Hardkness D., Heinemeier J., McGee E., Naysmith P., Possnert G., *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, 2004, 223(2), 382-387.
- [14] Scott E., Cook G., Naysmith P., *Radiocarbon*, 53(2-3), 859-865.
- [15] ICCROM, *Museos y Monumentos*, Unesco, 1969, 11, 21-23.
- [16] Mantilla S., Moreno M., *Arbor*, 169, 677-690.
- [17] González G., Rabin C., *Para entender de radiaciones*, Udelar, 2011, 15-20.
- [18] Sterflinger K., Oinzari F., *Environmental Microbiology*, 2012, 14(3), 559-556.
- [19] Urban J, Justa P., *Museum International*, 1986, 38(3), 165-167.
- [20] Rangel W., *Aplicación de la irradiación gamma*, ININ.
- [21] Carneiro T., Maximiliano F., *Restaurator*, 1995, 16, 93-99.
- [22] Solís C., Chavéz-Lomelí E., Ortiz M. Huerta A., Andrade E., Barros E., *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, 2014, 331, 233-237.
- [23] Němec M., Wacker L., Göggeler H., *Radiocarbon*, 52(3), 1388-1393.
- [24] Collon P., Bauder W., Lu W., Ostdiek K., Robertson D., *Physics Procedia*, 2015, 66, 481-488.
- [25] Hellborg R., Skog G., *Mass Spectrometry Reviews*, 2008, 27, 398-427.

- [26] Fifield L., *Reports on Progress in Physics*, 1999, 62, 1223-1274.
- [27] Reimer P., Bard E., Bayliss A., Beck J., Blackwell P., Bronk C., Plicht J., *Radiocarbon*, 55(4), 1869-1887.
- [28] Madigan M., Martinko J., Parker J., Crock T., Rodríguez C., Sánchez M., *Biología de los microorganismos*, Person Educación, 2004, 1007-1008.
- [29] Turpin S., Eling H., *ResearchGate*, 2018, 32-38.
- [30] Terry M., Steelman K., Guilderson T., Dering P., Rowe M., *Journal of Archaeological Science*, 2005, 33, 1017-1021.