

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE INGENIERÍA**



**EL ESTUDIO DE PALEOSUELOS: UN INDICADOR PARA  
INTERPRETAR LOS CAMBIOS AMBIENTALES**

**Por:**

**JOSEFINA ALTUNAR ALTUNAR**

**MONOGRAFÍA**

Presentada como Requisito Parcial para  
Obtener el Título de:

**INGENIERO AGRÍCOLA Y AMBIENTAL**

**Saltillo, Coahuila, México**

**Abril de 2011.**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DEL SUELO

EL ESTUDIO DE PALEOSUELOS: UN INDICADOR PARA  
INTERPRETAR LOS CAMBIOS AMBIENTALES

Por:

JOSEFINA ALTUNAR ALTUNAR

MONOGRAFÍA

Que somete a consideración del H. jurado examinador como  
requisito parcial para obtener el título de:

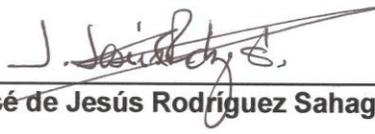
INGENIERO AGRÍCOLA Y AMBIENTAL

Aprobada Por:



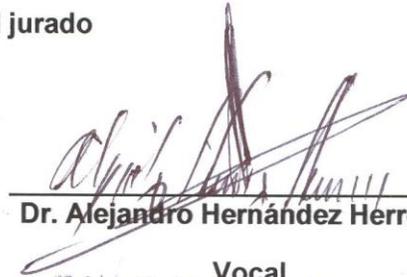
MC. Alejandra Rosario Escobar Sánchez

Presidente del jurado



Dr. José de Jesús Rodríguez Sahagún

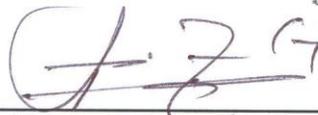
Vocal



Dr. Alejandro Hernández Herrera

Vocal

Universidad Autónoma Agraria  
"ANTONIO NARRO"



MC. Luis Rodríguez Gutiérrez

Coordinador de la División de Ingeniería



Coordinación de  
Saltillo, Coahuila, México Ingeniería

Abril de 2011.

## AGRADECIMIENTOS

A la **UAAAN**, la universidad de todos aquellos que buscamos una oportunidad de superación, y en la que encontramos una mano amiga para seguir adelante.

A la **MC. Alejandra R. Escobar Sánchez**, al haberme propuesto este tema de investigación, y su asesoramiento para poder concluir este trabajo.

A mis maestros el **Dr. Alejandro Herrera Hernández** y el **Dr. José de J. Rodríguez Sahagún**, por su dedicación en cuanto a la revisión del trabajo y sus excelentes observaciones.

A la **MC. María Elena Góngora**, por haberme demostrado su apoyo e interés para que me titulara.

Al **Departamento de Ciencias del Suelo**, y a todos los que la conforman: maestros, laboratoristas, secretarías, intendentes y estudiantes, ya que en conjunto participan en la formación de un nuevo profesionalista “INGENIERO AGRÍCOLA Y AMBIENTAL”.

Al **Ing. Juan Javier González**, al haber confiado en mí, y en mis compañeras del equipo de Tochito; entrenándonos día a día y animándonos a seguir adelante, porque fuimos y somos competencia para cualquier equipo, y sin agachar la cabeza representamos a nuestra Universidad.

Al **departamento de Difusión Cultural**, la oportunidad de portar con mucho orgullo y emoción el uniforme representativo de la Universidad, y por ello participar en los eventos conmemorativos y concursos de escolta de bandera regionales, municipales y nacionales que se realizaron durante mi estancia.

## DEDICATORIAS

A **Dios**, por esta oportunidad de vida que me ha regalado, y su presencia principalmente en todos mis logros.

A mis **padres**:

**María Altunar Hernández y José Altunar Pablo**

Les dedico este trabajo con todo el amor de mi vida.  
Como padres han sido lo máximo y un ejemplo a seguir.  
Les agradezco todo el esfuerzo que han hecho y hacen cada día,  
para que nosotros sus hijos, seamos excelentes personas,  
y cumplamos con nuestros sueños.

A mis **hermanos**: Pedro Damián (finado), Paz, Higinia, Salomón, Lourdes, Luis Rey y Ángel Erlín.

A mis **sobrinos**: Lalo, Kiya, Lisset, Anita, Yovani, Beto, Porki, Sherlín, Julia, Danna, Montserrat y Yesenia.

A mis **cuñados**: Leonor, Pedro y Leoncio.

A mis **amigos**: **Fazla Uribe, Elena López, Juanita Altunar, Rocio Martínez Vega, Roció E. Botello, Maty, Melisa, Yesi la güera, Clarita, teacher Salvador, etc.** espero me disculpen los que no pude mencionar, pero no fue falta de ganas. A todos les agradezco su amistad, compañía y apoyo en los buenos, divertidos, y difíciles momentos.

## INDICE DE CONTENIDO

	PÁG.
INDICE DE CONTENIDO.....	v
INDICE DE CUADROS .....	vii
INDICE DE FIGURAS .....	vii
CAPITULO I. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 Planteamiento del problema .....	1
1.2 Justificación del problema.....	2
1.3 Objetivos.....	3
1.4 Metodología .....	3
CAPITULO II. PALEOSUELOS.....	4
2.1 Antecedentes.....	4
2.1.1 Conclusiones del informe del grupo de trabajo.....	4
2.2 Definición de Paleosuelos.....	12
2.3 Paleosuelos Cuaternarios .....	13
CAPITULO III. FECHAMIENTO DE PALEOSUELOS.....	16
3.1 Técnicas de fechamiento .....	16
3.1.1 Métodos relativos.....	16
3.1.2 Métodos absolutos.....	18
3.2 Técnica del Carbono Catorce o radiocarbono .....	24
3.2.1 Historia .....	24
3.2.2 Origen y distribución.....	25
3.2.3 Consideraciones para obtener datos confiables.....	26
3.2.4 Publicación de fechas radiocarbónicas.....	32

CAPITULO IV. LABORATORIOS DE RADIOCARBONO EN MEXICO .....	34
4.1 Laboratorio Universitario de Radiocarbono de la UNAM .....	34
4.1.1 Infraestructura .....	34
4.1.2 Método de Espectrometría de Centello Líquido.....	35
4.2 Laboratorio de Fechamiento de Radiocarbono de la INAH.....	40
4.2.1 Método de Espectrometría de Acelerador de Masas.....	41
CAPITULO V. ESTUDIOS DE PALEOSUELOS EN EL MUNDO .....	44
5.1 Caracterización de Paleosuelos .....	46
5.1.1 Alemania.....	46
5.1.2 Rusia .....	47
5.1.3 Marruecos.....	48
CAPITULO VI. ESTUDIO DE PALEOSUELOS EN MEXICO.....	50
6.1 Los paleosuelos de México.....	50
6.2 Grupo de investigadores de paleosuelos en México.....	51
6.3 Investigaciones en México .....	52
CONCLUSIONES .....	54
COMENTARIOS Y RECOMENDACIONES .....	55
BIBLIOGRAFIA .....	56

## INDICE DE CUADROS

	<b>Pág.</b>
<b>Cuadro 1.</b> Resumen de los principales cambios climáticos, la terminología glacial, y los periodos arqueológicos del pleistoceno.....	14
<b>Cuadro 2.</b> Posibilidad de utilización de los métodos de datación absoluta en el Cuaternario.....	23
<b>Cuadro 3.</b> Cantidades de muestra mínima, máxima y recomendada por cinco de los principales laboratorios de radiocarbono en el mundo para la técnica AMS (Espectrometría de Masas con Acelerador).....	27
<b>Cuadro 4.</b> Materiales adecuados para la recolección de muestras.....	28
<b>Cuadro 5.</b> Forma adecuada de publicar una fecha radiocarbono.....	32

## INDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1.</b> Corte estratigráfico que muestra al estrato más antiguo y el más reciente.....	17
<b>Figura 2.</b> Anillos dendrocronológicos.....	19
<b>Figura 3.</b> Obsidiana mostrando sus anillos de hidratación.....	20
<b>Figura 4.</b> Equipo para medir la termoluminiscencia de los materiales. Fuente: Instituto de Física de la UNAM).....	21
<b>Figura 5.</b> Trazas de fisión en cristal de apatito.....	21

<b>Figura 6.</b>	Laboratorio Universitario de Radiocarbono de la UNAM.....	35
<b>Figura 7.</b>	Método físico: eliminación de raíces, hojas, insectos, etc. bajo el microscopio.....	36
<b>Figura 8.</b>	Método químico: eliminación de carbonatos y sustancias húmicas con ácidos y bases diluidos. ....	36
<b>Figura 9.</b>	Sintetizador de benceno comercial TASK.....	37
<b>Figura 10.</b>	Espectrómetro de Centelleo Líquido de ultra bajo nivel Wallac Quantulus 1220.....	39
<b>Figura 11.</b>	Curva de calibración.....	40
<b>Figura 12.</b>	Acelerador Tandem Van de Graaf del ETH (Zurich).....	43
<b>Figura 13.</b>	Mapa de sedimentación eólica: loess en el mundo.....	45
<b>Figura 14.</b>	Ubicación de áreas de muestreo de paleosuelos.....	45
<b>Figura 15.</b>	Paleosuelo Eemian en Nussloch, suroeste de Alemania.....	46
<b>Figura 16.</b>	Paleosuelos del pérmico superior, río Sujona, Rusia.....	47
<b>Figura 17.</b>	Terra Rossa relictas, sur de Marruecos.....	48
<b>Figura 18.</b>	Paisaje que muestra los suelos rojos del sur de Marruecos.....	49
<b>Figura 19.</b>	Ubicación geográfica de la Faja Volcánica Transmexicana (FVTM) modificado de Gómez-Tuena <i>et al.</i> , 2005.....	51

# CAPITULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1 Planteamiento del problema

Uno de los grandes retos que tienen los científicos y la sociedad misma, es el de realizar pronósticos de cambios climáticos. Por tal motivo es necesario no sólo conocer en profundidad el clima actual, sino también el clima del pasado, para poder realizar proyecciones confiables que permitan tomar las precauciones correspondientes ante la posibilidad de la degradación del ambiente (Argüello, G. *et al.*, s/f)

Sin embargo el ser humano poco ha ayudado a encontrar la respuesta, ya que sus ambiciones no han medido las consecuencias negativas al medio ambiente. Actualmente el Cambio Climático Global es ya muy difundido en las escuelas, universidades, medios de comunicación, etc., y se están realizando acciones para frenarla, pero son los más débiles e indefensos que están pagando las consecuencias de nuestra falta de educación y de respeto a la naturaleza.

Los paleosuelos denominados como “suelos del pasado” (Retallack, 1990) de modo similar a los sedimentos, es una de las líneas de investigación que está tomando auge para conocer los paleoclimas y paleoambientes del pasado, y en algún futuro sirvan para pronosticar los eventos climáticos y ambientales.

Por lo que, considero necesario recopilar y analizar la información referente a los paleosuelos, ya que es un tema de poco conocimiento para esta institución y la comunidad estudiantil. La respuesta que puede dar a la cuestión del cambio climático que actualmente nos aqueja, es de suma importancia para que todos podamos ayudar a interpretar o prevenir los cambios ambientales.

## 1.2 Justificación del problema

Es importante señalar que el clima es un determinante (a escala global o continental) primario de la distribución de los tipos de vegetación debido a que constituye un factor definitivo para la determinación de un bioma dado, el cual está relacionado con la media anual, tanto de la temperatura como de la precipitación, donde éstos ocurren (Gates, 1993).

De esta manera, a través del estudio de los paleosuelos es posible llegar a conocer, de forma general, los cambios climáticos del pasado a partir de la relación de cierto tipo de indicadores los cuales quedan registrados en lo que se conoce como “memoria del suelo” (Targulian y Goryachkin, 2004) la cual se refiere al conjunto de características físicas (estructura, poros, horizontes, tamaño de partículas, textura, entre otros), químicas (tipo de materia orgánica y composición química total) y mineralógicas (fracción gruesa y fina), que reflejan los fenómenos ambientales del pasado a través de los procesos pedogenéticos que actúan *in situ* en cada uno de los puntos de la superficie de la Tierra (Retallack, 1990; Targulian y Goryachkin, 2004).

Con este trabajo se pretende dar conocimiento al estudiantado y la sociedad en general del porqué del cambio climático global que estamos viviendo actualmente; y que hay investigadores especializados de todo el mundo trabajando el tema con varios métodos de investigación entre ellos el estudio de los **paleosuelos**. Creo que es importante forjar el interés en la gente, principalmente en los niños y jóvenes, encauzándolos a la investigación, creación e invención de alternativas para revocar esta problemática ambiental.

### 1.3 Objetivos

- Definir lo que son los Paleosuelos.
- Dar a conocer sobre el fechamiento del Carbono Catorce como una herramienta indispensable para determinar la edad de los paleosuelos del cuaternario y ubicarlos en una escala de tiempo.
- Puntualizar la importancia que tiene el estudio de los paleosuelos para la interpretación y la reconstrucción paleoambiental y paleoclimática.

**Palabras clave:** paleosuelos, paleoclima, paleoambiente, carbono catorce, cambio climático.

### 1.4 Metodología

La metodología de investigación utilizada para obtener este trabajo, consistió en la recopilación de información principalmente con el uso del internet, debido a que el tema por investigar no es conocido en la universidad, por lo tanto, no se contaba con el acervo bibliográfico preciso. Además las instituciones o asociaciones que trabajan con esta línea de investigación no han difundido como debe de ser las investigaciones que han realizado en el país y en el resto del mundo. Debido a esos inconvenientes, sólo por medio del internet se podía acceder limitadamente a las investigaciones que se han realizado sobre los paleosuelos, apoyándonos en libros digitales, revistas científicas, trabajos de investigación realizados principalmente en el centro del país por investigadores de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM); y el apoyo del Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH) de Saltillo, Coahuila, en donde nos facilitaron información referente a la técnica del carbono catorce y los laboratorios de fechamiento con la que cuenta nuestro país.

## **CAPITULO II PALEOSUELOS**

### **2.1 Antecedentes**

El estudio de los paleosuelos tiene sus inicios en la última reunión de la Unión Internacional para la Investigación del Cuaternario (INQUA) en París en el año 1969, creándose varios grupos de trabajo con el objetivo de estudiar el origen y la naturaleza de los paleosuelos cuya presidencia se confió al Dr. D.H. Yaalon, de la Universidad de Jerusalén.

En noviembre de 1969, el Dr. Yaalon envió a todos los especialistas en paleosuelos una primera circular, en la que se les solicitaba su opinión acerca de los problemas de reconocimiento y estudio de paleosuelos. En base a las respuestas recibidas, el Dr. Yaalon preparó un informe que fue sometido a la consideración de los miembros participantes del simposio sobre la edad de los materiales madres y de los suelos, que bajo el auspicio conjunto de la Asociación Internacional de la Ciencia del Suelo, la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) e INQUA, se celebró en Ámsterdam entre el 10 y el 15 de agosto de 1970. Este grupo de trabajo efectuó una serie de enmiendas, modificaciones y aclaraciones al informe, y todo ello se incorporó en una nueva circular que contiene las conclusiones finales siguientes:

#### **2.1.1 Conclusiones del informe del grupo de trabajo**

**1ª Conclusión:** “los paleosuelos deben estudiarse con los mismos métodos que los suelos actuales. Sus propiedades deben correlacionarse con características o procesos similares de los suelos modernos”.

## **Interpretación**

Esta conclusión se refiere, a que en el estudio de los paleosuelos deben emplearse los mismos métodos que en la pedología. En la práctica, implica que quien estudie formaciones continentales debería contar con los conocimientos básicos de la ciencia del suelo, como: familiarización con los perfiles edáficos y, en especial, sus horizontes, sus estructuras, sus variaciones verticales y otras características, además de una información global sobre los suelos típicos del presente.<sup>10</sup>

**2ª Conclusión:** “El reconocimiento en el campo de más de una característica pedogénica distinta constituye la base para la identificación de un paleosuelo”.

## **Interpretación**

Por norma general, la identificación de un paleosuelo comienza con la observación de campo. Para ello, el geólogo debe tener el ojo entrenado para distinguir los caracteres pedológicos de rocas y sedimentos. Aun así, la consulta hecha a los especialistas ha demostrado que no siempre hay acuerdo acerca de los criterios distintivos que pueden utilizarse para reconocer paleosuelos. Por lo común, se admite que, en un perfil, la presencia de bandas o estratos de color y estructuras diferentes constituyen a menudo la primera indicación de la posible presencia de paleosuelos.

En lo que se refiere a las características cromáticas, se suelen citar como ejemplo los cambios de color que se manifiestan en capas de cenizas volcánicas y que muchos autores suponen que se deben a la pedogénesis. Igualmente, existen investigaciones (especialmente algunos que han trabajado en terrenos del Paleozoico superior de Europa septentrional) que postulan que la presencia de estratos morados o violáceos en formaciones continentales de capas rojas o similares representan la primera indicación de un posible paleosuelo. Contra estas interpretaciones cromáticas se han levantado algunas voces que sostienen que el color, en general, es un indicador pobre, por cuanto la coloración de las rocas puede

deberse a meros procesos sedimentarios o, en el caso de que realmente fuera pedogénica, estaría expuesta a cambios posteriores después del enterramiento.

Con respecto a las estructuras, algunos autores consideran que constituyen una propiedad pedogénica relativamente estable, y, por ende, de gran utilidad para la identificación de paleosuelos. Las estructuras, si persisten, son generalmente visibles en los afloramientos, pero, y esto es muy promisorio, también pueden ser reconocidas a nivel microscópico. Las estructuras visibles en el campo son casi siempre aquellas vinculadas con el horizonte B (columnar, prismática, en bloques, etc.), pues el horizonte A rara vez está totalmente conservado.

Aparte del color y las estructuras, los otros criterios diagnósticos más utilizados son la distribución de arcillas y carbonatos en el perfil. La presencia de horizontes argílicos y cálcicos es señalada con gran frecuencia como uno de los criterios más seguros para individualizar paleosuelos. A los horizontes mencionados deben añadirse otras acumulaciones pedogénicas, tales como las de compuestos de hierro, de sílice, etc., que forman costras y otras concentraciones en el subsuelo. En todos estos casos, es imprescindible que esas acumulaciones estén fuera de fase con respecto al ambiente y clima actuales.

Las acumulaciones mencionadas deben ser evaluadas con gran cautela, pues no todos los investigadores están de acuerdo sobre su significado. Así, las acumulaciones de carbonato de calcio (mantos o costras de tosca) pueden representar un proceso paleopedogénico, pero también llegan a originarse por otros procesos, tales como la acción del agua freática, la percolación, la migración de soluciones, etc., que si bien pueden acompañar a la pedogénesis, a menudo actúan independientemente.

En cuanto a la materia orgánica que, siendo esencial en los suelos del presente, cabría suponer que ha de ser también diagnóstica para los paleosuelos. El problema estriba en el hecho de que no hay acuerdo de opiniones acerca de la posible preservación y transformación de la materia orgánica. En primer lugar, como se mencionara más arriba, muchos paleosuelos han sido decapitados por la erosión

previamente a su enterramiento, con la consiguiente desaparición del horizonte A, que es el portador del humus. En segundo lugar, suponiendo que se haya conservado dicho horizonte, se ha demostrado en numerosos trabajos que el contenido de materia orgánica es una propiedad transitoria, que tiende a desaparecer con el tiempo. Por ello, se estima que los análisis y determinaciones de materia orgánica son menos seguros que los otros criterios citados previamente. Todo ello sin dejar de señalar que existen depósitos aluviales que pueden presentar niveles humíferos que no son verdaderos suelos, sino que representan sedimentos orgánicos transportados y depositados en planos aluviales.<sup>10</sup>

**3ª Conclusión:** “Para describir todas las características observadas debe emplearse una nomenclatura pedológica y específica de los horizontes, que debe complementarse con anotaciones que indiquen la naturaleza del paleosuelo cuyas características se describen”.

### **Interpretación**

Esta conclusión aspira a que la identificación de paleosuelos sea abonada con toda la información pedológica que pueda obtenerse en el campo. De esta manera, se pretende que el reconocimiento de horizontes y otras características posibiliten deducir qué tipo de paleosuelo está presente en un lugar determinado y, mediante eso, inferir qué tipo de clima o condición topográfica imperaban en el momento de su formación.<sup>10</sup>

**4ª Conclusión:** “Los perfiles, parciales o completos, deben seguirse lateralmente en el paisaje para determinar su variación espacial”.

### **Interpretación**

Esta conclusión involucra, que los paleosuelos deben ser reconocidos y estudiados como componentes de un paisaje tridimensional. Para obtener la visión espacial (que es esencialmente el enfoque geológico) se requiere que sean

examinados una cierta cantidad de perfiles y secciones. El objetivo final de la reconstrucción tridimensional es determinar la existencia de paleosuperficies continentales, con las cuales se relacionan los paleosuelos.

Lo tenue de las evidencias de los paleosuelos y lo difícil de establecer con seguridad su naturaleza, un simple cambio textural, estructural, mineralógico o cromático en el espesor de un estrato o en un conjunto de ellos no implica necesariamente la existencia de un paleosuelos. Al igual que los suelos actuales, los paleosuelos se han formado en la interface tierra - aire, por lo que el reconocimiento de esa interface o superficie es fundamental para la identificación segura y correcta de paleosuelos.

Esas paleosuperficies pueden ser concordantes o transgresivas con respecto a los planos de estratificación; en el segundo caso, que es el de una discordancia erosiva, su reconocimiento es más fácil.

En principio, toda paleosuperficie representa una antigua topografía, relacionada con la cual pueden haberse originado distintos paleosuelos, según las variaciones climáticas de un sitio a otro, los cambios en las rocas madres y la mayor o menor abundancia local de agua. El ejemplo más famoso de paleosuperficie es la de Sangamon, Illinois, E.U., correspondiente al último Interglacial de la región del sur de los grandes lagos norteamericanos, con la cual se vinculan diversos tipos de paleosuelos originados sobre materiales loésicos.<sup>10</sup>

**5ª Conclusión:** “Los métodos de laboratorio suministran resultados, a menudo cuantitativos, acerca de la paleogénesis, y deberían emplearse en combinación con la identificación de campo”.

### **Interpretación**

La presente conclusión refuerza la primera e insiste en la necesidad fundamental de combinar métodos de campo y de laboratorio. Los métodos de laboratorio más usuales son los que se emplean para determinar las siguientes

propiedades: granulometría, contenido de carbono de calcio, composición mineralógica (en particular, naturaleza y variación de los argilominerales) y meteorización de minerales livianos y pesados. Existen además otros análisis, tales como los de intercambio de cationes, nutrientes, sales solubles, composición química total, variación de pH, etc. Que si bien son muy útiles en el estudio de suelos actuales, no parecen serlo tanto en el de paleosuelos.

Naturalmente que entre los métodos de laboratorio ocupa lugar prominente la micromorfología, a la que aludimos más arriba. Algunos especialistas han llegado a considerar que los estudios micromorfológicos son absolutamente esenciales para el reconocimiento de paleosuelos.<sup>10</sup>

**6ª Conclusión:** “Es muy conveniente una nomenclatura de paleosuelos que tenga implicancias pedológicas y debería basarse en propiedades descritas con precisión y objetividad”.

### **Interpretación**

Esta conclusión trata de favorecer el desarrollo de una nomenclatura doble, en la cual se una un nombre geográfico o cronoestratigráfico a un término pedológico. Esta cuestión, de gran interés estratigráfico, no se debatió a fondo en el simposio de Ámsterdam, por entenderse que no competía directamente a su fin específico, remitiéndose por lo tanto el asunto de nomenclatura de paleosuelos al Grupo de Trabajo sobre Estratigrafía de Suelos de INQUA.<sup>10</sup>

**7ª Conclusión:** “Para los paleosuelos, se propician un sistema de clasificación pedológica de amplio uso nacional o internacional, ya que se trata de correlacionar las paleocaracterísticas con sus análogas del presente. En caso de que sea posible, debería denotarse con un calificativo la alteración diagenética observada”.

## **Interpretación**

Esta conclusión plantea la grave cuestión de cuál sistema de clasificación de suelo debe emplearse. Se destaca, en primer lugar, la necesidad de la creación de una clasificación especial paleopedológica, para lo cual aconseja remitirse a las clasificaciones usadas en suelos actuales. La dificultad estriba en que ninguno de los sistemas actuales es totalmente satisfactorio, sin que sea posible decidir por uno determinado. Según la nacionalidad de los investigadores consultados, las respuestas han indicado el sistema norteamericano, el francés, el australiano, el de la FAO, etc. De cualquier modo que sea, el sistema que se adopte debe ser de uso amplio y esencialmente morfogénico, pues este tipo es el que resulta más adecuado y adaptable a la clasificación de paleosuelos, cuya naturaleza podría ser indicada mediante un prefijo.<sup>10</sup>

**8ª Conclusión:** “Una clasificación a nivel de gran grupo de suelos, o nivel similar, es la más útil para los fines interpretativos y comparativos”.

## **Interpretación**

En esta conclusión se destaca que el nivel de gran grupo (o suborden de la clasificación norteamericana) parece ser el más adecuado para el estudio de paleosuelos.<sup>10</sup>

**9ª Conclusión:** “Se necesitan estudios sobre la preservación de características pedológicas y su posible alteración bajo distintas condiciones ambientales, tanto en superficie soterradas como en las que no lo son”.

## **Interpretación**

Esta conclusión final alude a una cuestión de gran importancia, el cual es la preservación de las características pedológicas de un paleosuelo. Es posible que alteraciones posteriores a la formación del suelo, es decir, procesos diagenéticos, puedan enmascarar, modificar u obliterar por completo las características que sirven

para su reconocimiento. En esos casos, dejaría de ser aplicable una clasificación morfogénica, por ello faltarían los elementos de juicio necesarios para distinguir los grupos de suelos.

Es evidente, por lo tanto, que se requiere investigar con gran detalle la acción de los agentes meteóricos y diagenéticos sobre los paleosuelos. Aparentemente, las características micromorfológicas serían las más estables, pero se requieren estudios cuidadosos para determinar cuáles de ellas son exclusivamente pedogénicas y cuáles pueden formarse por procesos sedimentarios independientes de la edafización.

La Revista de la Asociación Geológica Argentina, por su amplia difusión nacional, constituye el órgano por excelencia para dar a conocer las conclusiones y recomendaciones del Grupo de Trabajo de Paleosuelos. Actualmente esta revista y otras, publican las investigaciones que se realizan respecto a los paleosuelos de México y del mundo.<sup>10</sup>

## 2.2 Definición de Paleosuelos

Paleosuelos o *paleosoles* son los términos generalmente aceptados para designar los suelos formados bajo condiciones distintas de las que predominan en la región donde se los haya. Su presencia implica, por lo tanto, que ha habido cambios climáticos, de vegetación o de topografía (Teruggi, 1971). Esta definición incluye no sólo a los suelos enterrados o fósiles, sino también a los suelos relícticos que comenzaron su desarrollo bajo condiciones distintas a las actuales, pero que todavía continúan evolucionando hoy en día.

Por su parte, los paleosuelos indican un período de estabilidad geomorfológica, de no depositación ni erosión, al menos de una manera significativa. Por tal razón, son excelentes indicadores de cambios climáticos del pasado, especialmente de datos sobre temperaturas y precipitación, y consecuentemente de la vegetación y las condiciones de drenaje que existían en el momento de formación (Morrison, 1978).

Para el caso de los suelos enterrados, hay considerable acuerdo en que éstos se encuentren cubiertos por sedimentos más jóvenes, de espesor suficiente, para evitar que la siguiente pedogénesis no los afecte en su totalidad. Por lo tanto, dicha pedogénesis no tiene influencia sobre el suelo subyacente.

Los suelos enterrados presentan normalmente el inconveniente de que los procesos diagenéticos transforman o afectan significativamente sus características, originando dificultades en las interpretaciones paleoambientales y estratigráficas. Los relícticos son menos afectados, pero contienen rasgos de dos o más cambios ambientales, por lo que se les considera poligenéticos (Retallak, 1990).

### 2.3 Paleosuelos Cuaternarios

El Cuaternario es el periodo geológico más reciente de la historia terrestre y surgen las primeras especies de *Homo* y por consiguiente, la consolidación de nuestra especie *Homo sapiens*, pero su importancia de estudio radica en que en este periodo hubo drásticos cambios ambientales y muy frecuentes, tales como el crecimiento y la descomposición del hielo continental.

El periodo cuaternario contempla los últimos 2.5 millones de años de la Tierra y se divide en dos épocas: el pleistoceno o edad de las glaciaciones y el Holoceno o reciente. Las glaciaciones han marcado el ambiente natural de nuestro planeta, cada glaciación se divide en estadios, correspondiendo cada uno de ellos a una posición del glaciar. Entre las glaciaciones, encontramos los periodos interglaciares que se caracterizan por presentar un clima parecido al actual. En el pleistoceno se reconocen cuatro principales glaciaciones o periodos de avance del hielo denominadas de la más antigua a la más reciente: Günz, Mindel, Riss y Würm, en la Europa Continental; en América se escogieron nombres diferentes Wisconsin, por ejemplo, es un equivalente de Würm.

**Cuadro 1.** Resumen de los principales cambios climáticos, la terminología glaciár, y los periodos arqueológicos del pleistoceno.

AÑOS	CLIMA		ERAS GEOLOGICAS	PERIODOS GEOLOGICOS	GLACIACIONES (EUROPA)	GLACIACIONES (AMERICA N.)	PERIODOS ARQUEOLOGICOS
	Frío	Cálido					
10.000	 (Dudoso)		CUATERNARIO	HOLOCENO	Würm (Weichsel) Riss (Saale) Mindel (Eister) Günz (Menapiense)	Wisconsin Illinois Kansas Nebraska	
100.000				PLEISTOCENO SUPERIOR			PALEOLITICO SUPERIOR
700.000				PLEISTOCENO MEDIO			PALEOLITICO MEDIO
1.600.000				PLEISTOCENO INFERIOR			PALEOLITICO INFERIOR
0			TERCIARIO				

La tierra en el periodo del cuaternario entra a varias etapas de glaciación que afectan fuertemente el ambiente natural de los continentes, tales como la extinción de varias especies de flora y fauna, y la migración de las mismas a otros continentes dando como resultado otro clima y ambiente. Todos estos fenómenos naturales se fueron registrando o acumulando en los paleosuelos. Por lo tanto, el cuaternario representa una importante herramienta para describir y conocer el clima del pasado, y así mismo, nos permite crear un modelo climatológico y ambiental que represente un próximo clima de nuestro planeta de acuerdo a las acciones contraproducentes que desprendemos en la actualidad.

Una de las líneas de investigación de importancia es la Paleoclimatología en donde se realizan análisis de las distintas variables que pueden ser utilizadas para la interpretación de los paleoclimas a lo largo del Cuaternario: Palinología, Sedimentología, Geomorfología, Paleosuelos, Paleontología, Geoquímica, Isótopos estables, etc. son una de tantas para el reconocimiento de los cambios climáticos cuaternarios.

Pero son los paleosuelos que están cobrando importancia por su capacidad de retención de información, reconocido como “memoria del suelo” (Targulian y Goryachkin, 2004), ya que se considera un importante testigo de los fenómenos ambientales que acontecieron en el pasado. Sin embargo los suelos en sí mismos no pueden reflejar cambios ambientales nada más que a grandes rasgos, por lo que se apoya de técnicas y métodos, de estudio que aportan información válida que, analizada conjuntamente con otras fuentes de datos permiten un buen grado de aproximación al conocimiento de la evolución paleoambiental.

Eiroa (2006), dice, los paleosuelos son suelos antiguos formados a lo largo del Cuaternario bajo diferentes condiciones climáticas y ambientales. Se suelen formar en un tiempo limitado y suelen estar cubiertos por otros depósitos posteriores. Así, los suelos rojos y pardos se formaron en fases interglaciares; los suelos de loess, en condiciones extremadamente frías de las fases glaciares; los suelos de loess con cantos agrupados en capas delgadas indican condiciones frías; las costras calizas, condiciones más cálidas y húmedas. A veces el contenido de flora y fauna y materiales arqueológicos hacen que los paleosuelos lleguen a tener gran valor documental en Prehistoria. Su clasificación se realiza por métodos edafológicos y es frecuente que contengan depósitos de fauna, flora o restos arqueológicos, siendo así de gran utilidad para el establecimiento de una cronología relativa.

## **CAPITULO III**

### **FECHAMIENTO DE PALEOSUELOS**

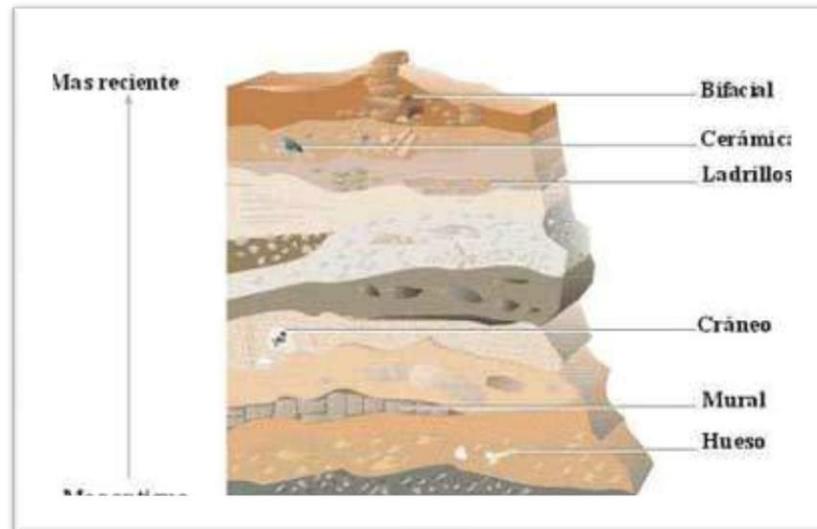
#### **3.1 Técnicas de fechamiento**

Las técnicas de fechamiento son métodos o procedimientos que permiten determinar la fecha de los restos hallados, con el fin de establecer su cronología. Existen métodos relativos y métodos absolutos. Los métodos relativos sitúan en el tiempo las fases, períodos, culturas u objetos, unos en relación con otros, pero sin proporcionar fechas en años. Mientras que los métodos absolutos permiten aplicar técnicas de datación directas a los restos mismos y nos proporcionan fechas en años.

##### **3.1.1 Métodos relativos**

###### **3.1.1.1 Estratigrafía**

Es una técnica de datación que se basa en el principio de acumulación geológica: las capas se acumulan de manera que las más antiguas descansen siempre por debajo de las más recientes. En consecuencia, los artefactos que se encuentran en cada estrato pueden ser ordenados en una secuencia de más a menos antiguos.



**Figura 1.** Corte estratigráfico que muestra al estrato más antiguo y el más reciente.

### 3.1.1.2 Seriación o tipología

Es una técnica que describe y clasifica los artefactos hallados (piedra, hueso, metal y cerámica), construyendo su cronología al examinar los cambios en ellas a través del tiempo. Así, se posibilita la clasificación de tradiciones culturales en un orden acorde a su difusión.

### 3.1.1.3 Datación por flúor

Es una técnica muy utilizada para determinar el fechado relativo de los huesos fosilizados en relación con donde el hueso fue enterrado. Una vez que los restos han sido enterrados, con el transcurso del tiempo, el material orgánico que el hueso contiene es reemplazado paulatinamente por material mineral, a través de un proceso conocido como fosilización. Uno de estos minerales que interviene en la fosilización es justamente el flúor. Así, la cantidad de flúor presente es medida para obtener una idea aproximada del tiempo transcurrido desde que el hueso fue enterrado.

#### **3.1.1.4 Análisis polínico**

Permite establecer dataciones del orden de los 3.000.000 de años. Todas las plantas con flores producen granos casi indestructibles que son llamados "polen". El polen está envuelto por una capa de una sustancia dura que se conserva inalterable en los procesos de petrificación. Su conservación en los depósitos arqueológicos permite elaborar secuencias detalladas de la vegetación y el clima que imperó en el pasado. Además, si se encuentran artefactos o algún otro tipo de hallazgos en contextos polínicos su datación es posible a partir de estos análisis.

#### **3.1.2 Métodos absolutos**

##### **3.1.2.1 Dendrocronología**

La dendrocronología (del griego *dendros*, árbol, y *cronos*, tiempo), es el método de datación que usa la cantidad, el grosor y la densidad de los anillos anuales de crecimiento de árboles longevos para dar una edad en años. El crecimiento de los árboles es un resultado que integra un conjunto de estímulos ambientales bióticos (ej., competencia) y físicos (ej., temperatura, precipitación), e incorpora esa información en la estructura de sus anillos, convirtiéndolos en verdaderos "archivos ambientales". Por lo que la dendrocronología es una disciplina que estudia los cambios ambientales del pasado analizando los anillos de crecimiento anual de los árboles. Además los arqueólogos lo utilizan como medio de calibración y corrección de fechados radiocarbónicos.

Esta técnica presenta dos limitaciones: solo es aplicable a árboles de regiones donde los marcados contrastes estacionales producen el crecimiento anual de los anillos bien definidos; y requieren la presencia de una serie directora que se remonte muchos años atrás.



**Figura 2.** Anillos dendrocronológicos.

### **3.1.2.2 Análisis de varvas**

Las varvas son capas de sedimento arcilloso que se originan durante un año en lagos temporales por la fusión de los glaciares cuando suben las temperaturas. Esta técnica de datación consiste en la división de la velocidad de sedimentación, en unidades por año, por el número de unidades depositadas después de un evento geológico, los geólogos pueden establecer la antigüedad del suceso en años. El análisis de las varvas fue el primer método geocronológico que se descubrió haciendo por primera vez, un cálculo bastante fiable de la fecha del término de la última Era Glaciar.

### **3.1.2.3 Hidratación de obsidiana**

La obsidiana es un vidrio volcánico de color oscuro, se forma cuando el magma se enfría rápido, se utiliza para datación midiendo el grosor de las aureolas (anillos de hidratación) producidas por vapor de agua. En cuanto mayor sea el grosor de las aureolas más vieja la datación será: su grosor aumenta con el tiempo.

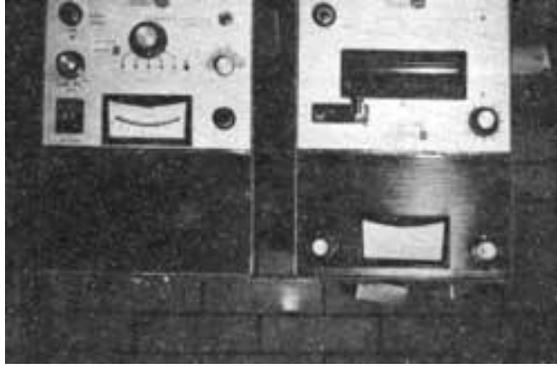
Un artefacto de obsidiana terminado comienza a acumular esta capa de hidratación. El grosor de esta capa indicará cuantos años transcurrieron desde su fabricación. Pero la limitante de este método es que el crecimiento de la capa de hidratación en la piedra puede depender mucho de factores medioambientales como temperatura, exposición a la luz solar y humedad. Este método se puede aplicar a vidrios de entre 200 y 200.000 años.



**Figura 3.** Obsidiana mostrando sus anillos de hidratación.

#### **3.1.2.4 Termoluminiscencia**

Esta técnica de datación consiste en que cuando el material se calienta rápidamente a unos 500° C o más, los electrones escapan y mientras lo hacen emiten una luz conocida como termoluminiscencia. La luz es medida en un fotomultiplicador y así se calcula el tiempo que ha transcurrido desde que el material fue calentado por última vez. Por lo tanto: cuanto más viejo sea el objeto, más termoluminiscencia será producida. El método se puede aplicar a los materiales líticos con una estructura cristalina, siempre que fuesen calentados en el momento de su elaboración a una temperatura de unos 500° C. Puede utilizarse en rocas, minerales y cerámicas, entre 300 y 10.000 años antes del presente.



**Figura 4.** Equipo para medir la termoluminiscencia de los materiales.

Fuente: Instituto de Física de la UNAM.

### **3.1.2.5 Trazas de fisión o huellas de fisión de uranio**

Esta técnica se basa de los rastros de las trayectorias de partículas nucleares en un mineral por la fisión espontánea de impurezas de uranio  $^{238}\text{U}$ . La edad se calcula determinando la razón entre las densidades de trazas de fisión espontánea y las de fisión inducida. Estas huellas serán contadas con un microscopio óptico, previo tratamiento con ácido para mejorar la visibilidad. Este método proporciona los mejores resultados en micas, tectitas y meteorito, también pudiéndose utilizar para datar cenizas volcánicas, basalto submarino, vidrio volcánico (obsidiana), cristales de apatita, zirconio, biotita, etc.



**Figura 5.** Trazas de fisión en cristal de apatito.

La técnica es más útil para aquellos yacimientos de mayor antigüedad. En los materiales más recientes, el método es demasiado lento para ser rentable. Puede utilizarse para determinar fechas entre 300.000 y 2.500.000 años, intervalo no cubierto por las técnicas del carbono 14 y del potasio-argón.

La técnica de trazas de fisión es uno de los métodos radioactivos usados por los arqueólogos para determinar la edad térmica de los artefactos. Esta técnica es usualmente utilizada como soporte de validación de otros métodos de datación, en particular del Potasio-Argón (en Olduvai, África, la datación de huellas de fisión confirmó la validez de los resultados obtenidos previamente por el Potasio - Argón).

### **3.1.2.6 Datación por Potasio – Argón**

Este método se basa en que el isótopo radiactivo del potasio, el potasio 40 se desintegra lentamente en argón 40, un gas inerte. La técnica de Potasio - Argón data rocas de tipo volcánico y consiste en la medición la acumulación de Argón en un material por la descomposición del Potasio. La datación se torna posible a partir de conocer el ritmo de desintegración del Potasio. Con esta técnica se pueden medir desde 1 000 años atrás hasta la fecha de formación de la Tierra.

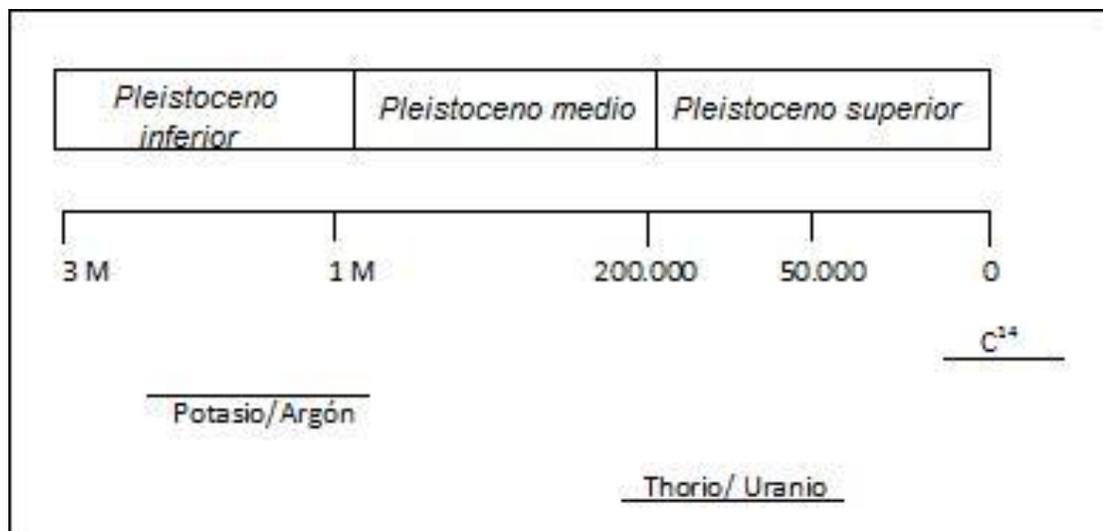
### **3.1.2.7 Carbono catorce o Radiocarbono**

Es una de las técnicas absolutas más antiguas y más utilizadas por los arqueólogos. La determinación de la edad de una muestra se fundamenta en la cuantificación de su contenido de carbono catorce, uno de los isótopos del carbono llamado también radiocarbono. La cuenta empieza cuando la planta o animal muere y su concentración comienza a descender debido a la desintegración radiactiva. El ritmo de desintegración es conocido: 50% después de 5730 años.

El mayor problema que puede acarrear es que las muestras a datar estén contaminadas. Es importante por eso ser muy cuidadosos a la hora de "embalar" el material a datar para el laboratorio.

Este método es aplicable sólo a muestras orgánicas: madera, madera quemada o carbón, hueso humano y animal, concha, restos de plantas y granos tanto secos como carbonizados, suelo, etc.

**Cuadro 2.** Posibilidad de utilización de los métodos de datación absoluta en el Cuaternario.



## **3.2 Técnica del Carbono Catorce o radiocarbono**

La técnica del Carbono Catorce es uno de los métodos de datación más antiguos y de mayor utilización en la arqueología. En paleosuelos su utilización se deriva precisamente porque data materiales orgánicos (madera, turba, sedimento, huesos, suelos, paleosuelos, etc.), y que las dataciones se encuentran en menos de 60, 000 años de antigüedad. Sin embargo, la problemática siempre ha sido la presión de las fechas, y es en donde los arqueólogos tienen que trabajar mucho para dar resultados más precisos y confiables teniendo que utilizar métodos de calibración apoyándose principalmente con el método de dendrocronología.

Pero gracias al acceso a la tecnología ya encontramos equipos las cuales nos dan resultados de fechas más precisas con sólo la utilización de una pequeña muestra. Ejemplo de ello, es la Espectrometría de Masas con Acelerador (AMS) en donde los átomos de C14 pueden ser contados directamente.

### **3.2.1 Historia**

En Febrero de 1940, Martin David Kamen en colaboración con un estudiante graduado colega llamado Sam Ruben descubrieron el Carbono Catorce, todo ocurrió al bombardear grafito en el ciclotrón (un acelerador de partículas circular que, mediante la aplicación combinada de un campo eléctrico oscilante y otro magnético consigue acelerar los iones haciéndolos girar en órbitas de radio y energía crecientes) con la esperanza de producir un isótopo radiactivo del carbón que se podría utilizar como traza líneas para investigar las reacciones químicas de la fotosíntesis. Su experimento dio lugar a la producción del C14.

Fue en 1949, que se dio a conocer la posibilidad de fechar materiales orgánicos con una técnica llamada fechamiento por radiocarbono ó carbono catorce, descubierta por Willard Frank Libby de la Universidad de Chicago. Él determinó un

valor para el periodo de semidesintegración o semivida de este isótopo: 5568 años. Determinaciones posteriores en Cambridge (ciudad universitaria inglesa muy antigua) produjeron un valor de 5730 años.

En 1955, Willard Frank Libby publica una obra titulada *Radiocarbon dating* (*Datación por radiocarbónica*) en donde expone todos los detalles sobre esta técnica.

Y en 1960 se le otorga el Premio Nobel de Química por su gran aportación de la técnica de datación radioactiva útil en la Arqueología, Geología, Geofísica, Antropología, Oceanografía, Edafología, Climatología, y otras ramas de la ciencia.

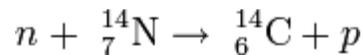
### **3.2.2 Origen y distribución**

El carbono es un elemento químico que se encuentra en diferentes variedades llamadas isótopos que tan sólo se diferencian en el número de neutrones que hay en el núcleo: dos de ellos son estables el carbono doce (C12) y el carbono trece (C13) mientras que el isótopo C14 es radiactivo. Que un elemento sea radiactivo significa que se desintegra por sí solo a una velocidad constante.

La atmósfera terrestre está formada fundamentalmente por nitrógeno (78%) y oxígeno (21%). Este nitrógeno estable y más abundante es el nitrógeno 14 (N14) y en su núcleo tiene 7 neutrones y 7 protones.

A las capas altas de la atmósfera llegan partículas altamente energéticas procedentes del universo conocido como *rayos cósmicos*. Estos neutrones altamente acelerados de los rayos cósmicos chocan en ocasiones con los núcleos del Nitrógeno Catorce (N14), desplazando, también en ocasiones, un protón del núcleo y ocupando su lugar.

Cuando esto sucede el núcleo queda formado por 8 neutrones y 6 protones, cambia el número atómico de 7 a 6 y con él las propiedades del elemento, que pasa a comportarse como el carbono. Como se muestra en la siguiente fórmula:



Al formarse el C14, se mezcla con el oxígeno para dar origen al bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el cual se difunde a través de la biósfera, tropósfera y océanos; de este modo los seres vivos gozan de una concentración de equilibrio conocida. Cuando sobreviene la muerte, el intercambio de átomos de carbono radiactivo (respiración, alimentación, fotosíntesis) se interrumpe y los átomos restantes empiezan a decaer en una proporción tal, que su cantidad inicial se reduce a la mitad al cabo de 5 730 años. Éste es el momento en que el "cronómetro se pone en marcha" y la razón por la cual el fechamiento de C14 es aplicable a organismos vivos.

### **3.2.3 Consideraciones para obtener datos confiables**

Es importante que para el fechamiento de suelos, carbón, madera, heces, plantas, etc. se deben tomar ciertas consideraciones para obtener datos confiables. Por lo que el muestreo para todos los materiales las recomendaciones son las mismas. Pero hay que subrayar que estas recomendaciones son para todos los materiales excepto para suelos, ya que el Laboratorio de Fechamiento de Radiocarbono de la INAH fue la que nos proporciono el material para guiarnos al estudio de paleosuelos sin embargo ellos sólo han trabajado con proyectos de arqueología en donde sólo han manejado madera, turba, pelo, plantas, concha, etc., excepto fechamiento de suelos.

**a. Tamaño de la muestra**

Para el fechamiento con la técnica radiométrica, la cantidad de muestra a entregar al laboratorio varía mucho, debido al equipo que utiliza cada laboratorio, el procedimiento y metodología de datación es muy diferente. Es recomendable que al mandar la muestra al laboratorio correspondiente la masa este entre la cantidad recomendada y la máxima, previendo que los procesos de purificación disminuyan su masa.

En el caso del Laboratorio Universitario de Radiocarbono de la UNAM las cantidades varían de 1 a 2 Kg. dependiendo del % de materia orgánica que contengan.

**Cuadro 3.** Cantidades de muestra mínima, máxima y recomendada por cinco de los principales laboratorios de radiocarbono en el mundo para la técnica AMS (Espectrometría de Masas con Acelerador).

Laboratorio	Centre de datación par le Radiocarbone	Beta Analytic	Iso Trace	14CHRONO Centre		NSF-Arizona		
				Mínimo	Optimo	Recomenda do	Mínimo	Máximo
Material		Recomendado	Recomenda do	Mínimo	Optimo	Recomenda do	Mínimo	Máximo
Carbón	Un carbón pequeño de algunos mm	50 mg	10 mg	10 mg	100mg	5mg	1.0 mg	50 mg
Madera		50 mg	10 mg	10 mg	100 mg	5 mg	1.0 mg	50 mg
Heces		50 mg	10 mg					
Turba /gyttja		1-2 g	Contacte IsoTRACE	10 mg	200 mg	1g	0.1 g	50 g
Sedimento orgánico		2-5 g	Contacte IsoTRACE			1g	0.1g	50 g
Plantas		20 mg	10 mg			5 mg	1.0 mg	50 mg
Pelo		20-50 mg						
Insectos		20 mg						
Otolito de pescado		5-10 mg						
Concha/coral/CaC O3		50 mg	60 mg	20 mg	200 mg	50 mg	5 mg	150 mg
Polen	20 mg							
Agua (para		1 l	2 l			2 x 500 ml	0.25 l	2 l

extracción de carbón inorgánico)								
Hueso	Una esquirla de algunos cm	2-10 g	>100 mg	500 mg	1000 mg	1 g	-	5 g
Dientes		Un diente	>100 mg			1 g	-	5 g
Cuerno		-10 g	>100 mg	500 mg	1000 mg			
Hueso quemado (calentado a baja temperatura)		4-40 g						
Hueso cremado (calentado a alta temperatura)		4-40 g		1.5 g	5 g			
CO <sub>2</sub>			5 ml a TPN			1 ml TPN	0.5 ml TPN	0.5 ml TPN
Material orgánico que no requiere pretratamiento			5 mg					
Semillas carbonizadas		Una semilla		10 mg	100 mg	5 mg	1.0 mg	50 mg
Textiles, tela						5 mg	2 mg	50 mg
Cerámica						1 g	0.5 g	5 g
Piedra caliza	Algunos gramos							

TPN: Temperatura y presión normales. FUENTE: INAH, 2009.

#### b. Materiales adecuados para la colecta de muestras

Los materiales adecuados para la recolección tienen que tener ciertas condiciones para que no incidan en la precisión del fechamiento de la muestra.

**Cuadro 4.** Materiales adecuados para la recolección de muestras.

Instrumentos o materiales	Condiciones	Observaciones
Pinza metálica	Limpia	Usar agua. No usar jabón, detergentes, cartón, papel, alcohol, acetona, gasolina, solventes,
Cucharilla	Sin flamear	

		desgrasantes, etc.
Bolsas de polietileno de baja densidad	Transparentes, incoloras, con sello	No deben haber sido usadas con antelación.

Fuente: INAH, 2009

### c. Forma simple para coleccionar

1. Insertar en la mano una bolsa de polietileno transparente e incolora, de manera que la parte exterior de la bolsa quede en contacto con la piel.
2. Colectar la muestra con la mano así cubierta.
3. Voltar la bolsa de manera que la muestra quede en su interior.
4. Sacar el aire de la misma y sellar.

El uso de guantes desechables de plástico se considera correcto, pero obliga a utilizar por lo menos un guante para cada muestra coleccionada además del envase en que se colocará.

### d. Empaque de la muestra

El empaque debe ser suficientemente resistente y de composición química tal, que garantice que la muestra no tenga posibilidad de entrar en contacto con materiales de naturaleza semejante a ella que puedan contaminarla. Diferentes laboratorios recomiendan:

1. Envoltura
  - a) Envolver las muestras o pequeñas en papel aluminio y colocar cada bolsa de papel aluminio en una bolsa ziplock etiquetada (Beta Analytic)

- b) Colocar las muestras grandes directamente en bolsas ziplock las bolsas de polietileno no contaminan la muestra (Beta Analytic)
  - c) Colocar la muestra en una bolsa de plástico o en un envase metálico con una etiqueta visible al exterior (Centre de Datation par le Radiocarbone)
  - d) Empacar en papel aluminio y colocar los paquetes en el interior de contenedores susceptibles de ser sellados (Arizona)
  - e) Empacar la muestra en una bolsa de plástico de polietileno de baja densidad transparente e incolora, sacarle el aire y sellarla. Colocar la bolsa sellada en una segunda bolsa de polietileno transparente e incolora. Introducir la etiqueta en una bolsa de polietileno, previendo que la bolsa que contiene la muestra se rompa, y colocarla entre las bolsas de polietileno que resguardan la muestra. Sacar el aire de la bolsa exterior y sellar (INAH)
2. Terminar el proceso de empaqueo de cada muestra antes de empezar con la siguiente muestra.
  3. Evitar los rellenos de aserrín de madera y espumas sintéticas.

**e. El colector**

El colector es quizás la persona con mayor influencia en la correcta interpretación de los datos derivados del fechamiento por radiocarbono, pues de su capacidad de captar y registrar los múltiples factores de la muestra y de su contexto, que alteran el significado de una fecha, depende de que al dato duro determinado en el laboratorio, se le logre dar una correcta interpretación, para lo cual deberá:

- a. Determinar qué lugar se está muestreando: una tumba un lecho de río, suelo de un lago, etc.
- b. Poder mostrar gráficamente la posición de la muestra con relación al estrato principal.
- c. Determinar la Historia de entierro de la muestra
- d. Presumir la historia de exposición al agua o de inmersión de la muestra
- e. Intuir que papel tuvo la muestra en el contexto arqueológico que se estudia.
- f. Juzgar sobre la asociación de la muestra al evento que se desea fechar, para ello deberá observar si la muestra estaba: sellada en un horizonte conocido, sellada y localizada en un lugar específico (tumba o hueco), etc. Y si esta información es conocida; sin duda razonable, con un poco de duda o con duda grave.
- g. Tomar y sellar la muestra adecuadamente. Este punto es de capital importancia pues de una toma de muestra mal realizada o de un sellado defectuoso, se pueden derivar graves problemas de contaminación.
- h. Observar y anotar todas las situaciones del contexto y de la zona que puedan ser causa de contaminación.
- i. Describir de manera precisa la muestra.
- j. Observar los procesos de contaminación post-deposicional.

### 3.2.4 Publicación de fechas radiocarbónicas

Para evitar la confusión de fechas debido a que el presente avanza cada año, los laboratorios de radiocarbono han adoptado el año 1950 como su presente y por lo tanto, las fechas radiocarbónicas se expresan en años BP o años antes del presente (*before the present*), que quiere decir antes de 1950. De este modo, en las publicaciones científicas, las fechas radiocarbónicas aparecen de esta forma:

$$3700 \pm 100 \text{ BP (P 685)}$$

La primera cifra es el año BP (es decir, antes de 1950 DC).

Le sigue el error probable asociado, conocido como desviación típica (100).

El número de análisis del laboratorio va entre paréntesis, cada laboratorio tiene su propia letra clave (p. ej., P para Filadelfia y Q para Cambridge, Inglaterra).

**Cuadro 5.** Forma adecuada de publicar una fecha radiocarbono.

Lab. No.	Edad (años <sup>14</sup> C BP)	Intervalo de edad 95.4 % (2σ) cal	Área relativa bajo la distribución	Curva de calibración
INAH-25	500±25	Cal AD 1406-1444	1	Reimer <i>et al.</i> (2004)
INAH-750	5000±30 ΔR=253±18	Cal BC 3186-2902 Cal BC 3222-3208	.99 .01	Hughen <i>et al.</i> (2004)

Fuente: INAH, 2009.

## ***DESVIACIÓN TÍPICA***

Hay varios factores que impiden el cálculo exacto de la edad de una muestra y, en consecuencia, existe un error estadístico o desviación típica. De este modo, cuando una fecha radiocarbónica se expresa como:

$$3700 \pm 100 \text{ BP}$$

Esto quiere decir que habría un 68% de probabilidades de que el cálculo correcto de la fecha radiocarbónica se encontrase entre el 3800 y el 3600 BP. Dado que también existe una posibilidad entre tres de que la fecha correcta no entre en este intervalo, se aconseja a los arqueólogos que amplíen este último en dos desviaciones típicas, es decir, duplicar la desviación para que haya un 95% de posibilidades de incluir la edad real. Por ejemplo, para una estimación del  $3700 \pm 100$  BP, habrá un 95% de posibilidades de que la fecha exacta se encuentre entre el 3900 ( $3700 + 200$ ) y el 3500 ( $3700 - 200$ ) BP. Sin duda, cuanto mayor sea la desviación típica, menos precisa será la fecha (y menos útil para aquellos que se ocupen de la prehistoria final o la época histórica).

## **CAPITULO IV**

### **LABORATORIOS DE RADIOCARBONO EN MEXICO**

Actualmente contamos con dos laboratorios que realizan los trabajos de fechamiento por la técnica del C14 o radiocarbono. Una se encuentra en el Instituto Nacional de Antropología e Historia y la otra en la Universidad Nacional Autónoma de México. Cada institución opera con diferentes equipos y procedimientos de fechamiento.

#### **4.1 Laboratorio Universitario de Radiocarbono de la UNAM**

El Laboratorio Universitario de Radiocarbono (LUR) surgió del convenio de colaboración firmado en 2004 entre las coordinaciones de la Investigación Científica y de Humanidades de la UNAM y que involucra a los Institutos de Geofísica (IGEF), Investigaciones Antropológicas (IIA) y Geología (IGL).

El LUR tiene como antecedente al Laboratorio de Fechamiento del IIA, que dejó de operar en 2003. La importancia de reactivar este laboratorio radica en que en México solamente existe otro lugar de fechamiento por radiocarbono que pertenece al Instituto Nacional de Antropología e Historia.

##### **4.1.1 Infraestructura**

El LUR cuenta con un Espectrómetro de Centelleo Líquido de ultra bajo nivel Wallac Quantulus 1220 (Perkin Elmer), con una línea de síntesis de benceno comercial TASK para transformar las muestras orgánicas en benceno, y una serie de equipos accesorios empleados en la limpieza y preparación de las muestras.



**Figura 6.** Laboratorio Universitario de Radiocarbono de la UNAM.

#### **4.1.2 Método de Espectrometría de Centello Líquido**

La Espectrometría de centelleo líquido de ultra bajo nivel es uno de los métodos más eficientes para la determinación de algunos radioisótopos como el carbono 14 y el tritio ( $^3\text{H}$ ). Este método está basado en la capacidad de ciertos compuestos orgánicos (centelladores) para convertir en luz visible una parte de la energía desprendida por radiaciones ionizantes. El espectrómetro mide electrónicamente estos pulsos de luz que son proporcionales a los eventos de decaimiento radiactivo. El conteo por centelleo líquido tiene la ventaja de utilizar muestras líquidas que son más fáciles de manejar y purificar que las gaseosas o sólidas, es por esto que previo al análisis es necesario transformar la muestra en un líquido adecuado como metanol, etanol o benceno. El disolvente de conteo ideal es el benceno, debido a su alto contenido de carbono (92%) proveniente exclusivamente de la muestra, es un buen disolvente de los centelladores, tiene

excelentes propiedades de transmisión de luz y transferencia de energía, y no se ha detectado contaminación radiactiva ni fraccionamiento isotópico durante su síntesis.

#### 4.1.2.1 Características

- Ocupa una muestra grande (5 a 10 g).
- Tiene un mejor control de contaminación.
- La muestra lo transforma a benceno.
- Determina la radiación.
- El análisis tarda semanas.
- Máxima edad 30,000 años.
- Logra una precisión de  $\pm 20$  años.
- Es una tecnología con décadas de desarrollo.

#### 4.1.2.2 Procedimiento de fechamiento

a) **Pre-tratamiento de la muestra.** Limpieza de la muestra para eliminar cualquier tipo de contaminación que pueda afectar la cantidad de C14. Duración de una semana o más.



**Figura 7.** Método físico: eliminación de raíces, hojas, insectos, etc. bajo el microscopio.



**Figura 8.** Método químico: eliminación de carbonatos y sustancias húmicas con ácidos y bases diluidos.

**b) Síntesis de benceno.** La muestra, una vez limpia y seca, se transforma a benceno. Duración de dos días.



**Figura 9.** Sintetizador de benceno comercial TASK

**c) Análisis.** El benceno obtenido a partir de la muestra se mezcla con un centellador. Se analizan en el espectrómetro la muestra, el benceno obtenido a partir del estándar (actividad de 1950) y un blanco (benceno que NO contiene C14). Duración de dos días por muestra.



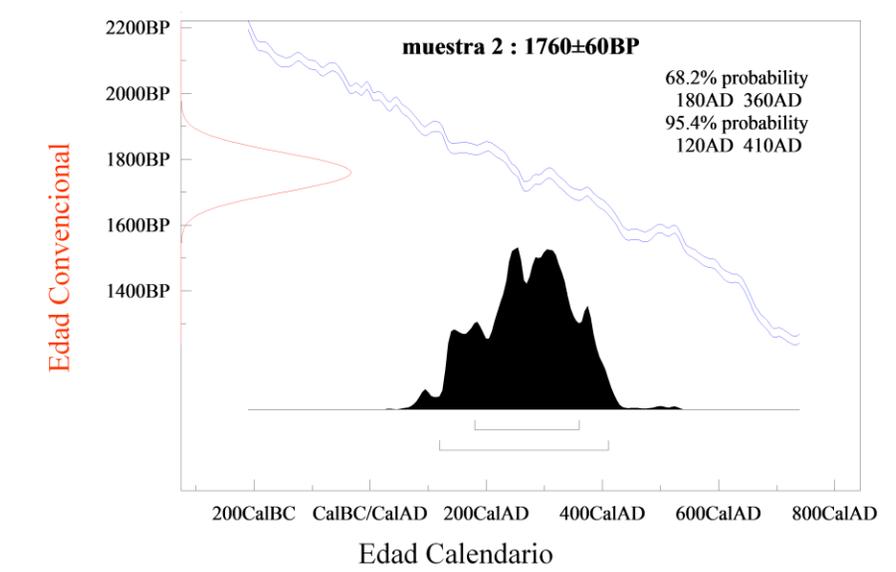
**d) Cálculo de la edad.** Una vez calculada la edad convencional se realiza la calibración para obtener la edad calendario utilizando el programa Calib Rev. 5.0.



**Figura 10.** Espectrómetro de Centelleo Líquido de ultra bajo nivel Wallac Quantulus 1220

Ejemplo:

Para una muestra de madera carbonizada proveniente de una excavación en Teotihuacan la edad convencional es de  $1760 \pm 60$  BP.



**Figura 11.** Curva de calibración

Realizando la calibración la muestra tiene una edad calendario de entre Cal AD 120 y 410.

#### **4.2 Laboratorio de Fechamiento de Radiocarbono de la INAH**

El laboratorio de Fechamiento de radiocarbono de la INAH ha funcionado mucho más antes que el Laboratorio Universitario de Radiocarbono de la UNAM, sin embargo no contamos con el dato exacto por la falta de información disponible. Estamos enterados que utilizan el equipo de Espectrometría de Masas con Acelerador para fechar materiales derivadas de las investigaciones arqueológicas de México.

#### 4.2.1 Método de Espectrometría de Acelerador de Masas

La espectrometría de Masas con Acelerador se basa en el acoplamiento de un espectrómetro de masas convencional a un acelerador, que por lo general va a ser del tipo Van de Graaf o Cockroft-Walton, aumentando notablemente la sensibilidad de la técnica.

##### 4.2.1.2 Características

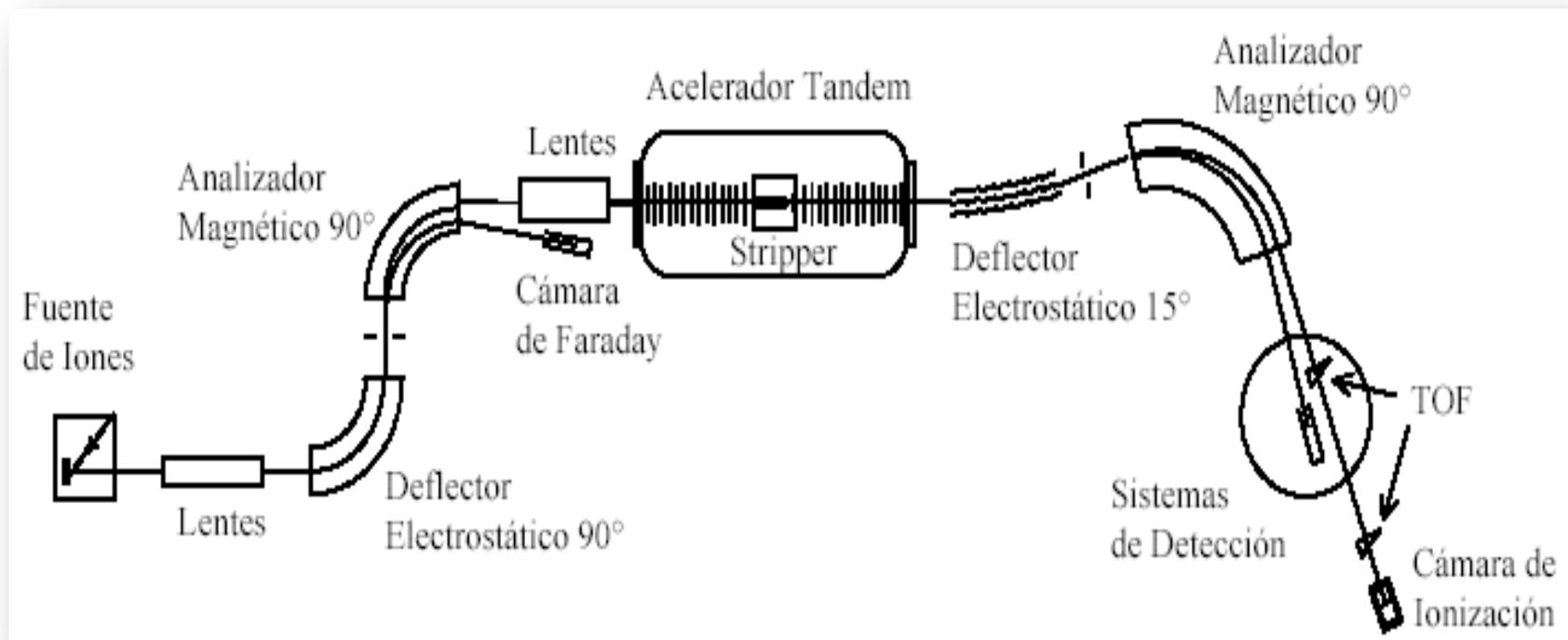
- Muestra pequeña (30mg a 3 mg).
- Alta probabilidad de contaminación.
- Se transforma a grafito.
- Se determina el # de átomos de  $^{14}\text{C}$ .
- Tiempo de análisis corto.
- Máxima edad 60,000 años.
- Hasta 10,000 veces más sensible.
- Tecnología nueva y muy costosa.

##### 4.2.1.2 Procedimiento de Fechamiento

1. Se desprende de la muestra una serie de iones, entre los que se encuentran los del isótopo deseado, mediante el llamado proceso de *sputtering*, por medio del cual se bombardea la muestra a tratar con  $\text{Cs}^+$  (Cesio) dentro de la **fente de iones**.
2. Estos iones son sometidos a una diferencia de potencial y acto seguido son introducidos dentro de los llamados **deflectores electrostáticos y magnéticos**, donde campos eléctricos y magnéticos actúan sobre ellos, con el

objetivo de separar el isótopo que nos interesa de aquellos iones que no cumplan la misma relación energía/carga y/o momento/carga.

3. En esta técnica es fundamental el empleo del **acelerador**. Su misión es la de someter al haz de iones, primeramente negativos, a una diferencia de potencial hasta el terminal (*stripper*) y nuevamente aprovechar esta diferencia de potencial para acelerar a los iones, ahora positivos, desde el *stripper* hasta la salida del acelerador, que vuelve a estar a potencial cero tal y como se encontraba la entrada del mismo. De esta forma se eleva la energía del haz hasta varios cientos de keV/u (kiloelectrovoltios) o algunos MeV/u (megaelectrovoltios) para que tengamos medidas factibles en el detector final. La otra misión del acelerador es la de albergar el denominado proceso de *stripping*, que conlleva un desprendimiento de los electrones de los iones y una ruptura de aquellas moléculas cuya masa es igual a la de nuestro radioisótopo.
4. Ya en la zona de alta energía, además de seguir aislando nuestro radioisótopo de otros iones que distorsionarían la medida, se coloca un detector de ionización gaseosa para la medida final de C14 y **dos cámaras de Faraday**, que recogen la corriente de C12 y C13 que llegan a cada una de ellas. Por medio de ellos podremos tener conocimiento de las relaciones isotópicas que andamos buscando, por ejemplo  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$  o  $^{14}\text{C}/^{13}\text{C}$ . AMS permite detectar cocientes isotópicos del orden de  $10^{-12}$  o  $10^{-15}$ , dato que revela su enorme sensibilidad.



**Figura 12.** Acelerador Tandem Van de Graaf del ETH (Zurich)

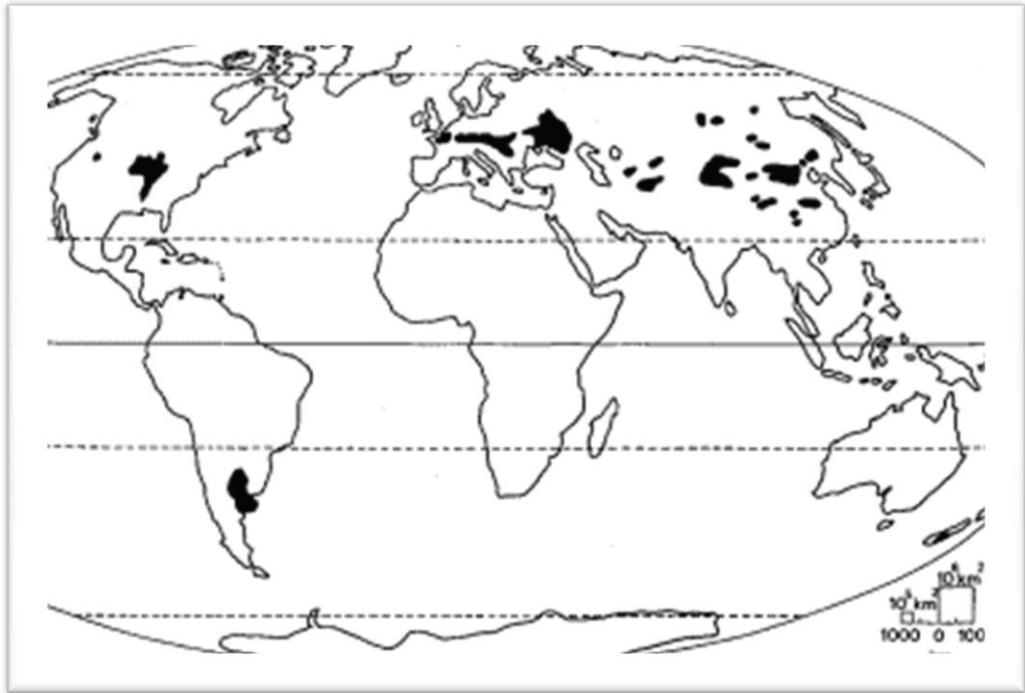
## **CAPITULO V**

### **ESTUDIOS DE PALEOSUELOS EN EL MUNDO**

Los estudios sobre paleosuelos del cuaternario en el mundo se asientan sobre sedimentaciones loess. En el caso de la región pampeana el origen de los paleosuelos intercalados en el loess, está asociado a los periodos en que se produjeron retrocesos en los hielos cordilleranos, con un cambio hacia condiciones climáticas más cálidas y húmedas. Esas condiciones favorecieron el desarrollo de procesos formadores de suelos y el aumento de rasgos fluviales en la sedimentación. Por lo tanto los avances y retrocesos de los hielos en la cordillera han quedado grabados en la región oriental como una alternancia de depósitos loésicos y paleosuelos.

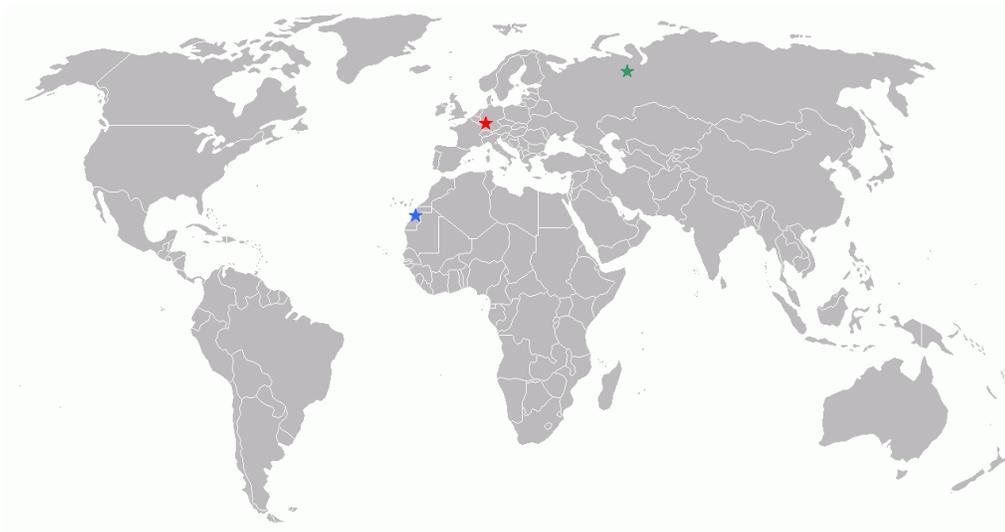
La sucesión de episodios de depositación de loess bajo climas secos y fríos, alternados con el desarrollo de suelos sobre el depósito superficial, cuando cambiaron las condiciones de humedad y temperatura en la región, los que fueron enterrados por nuevos episodios de acumulación eólica de sedimentos, al cambiar nuevamente las condiciones ambientales, permite establecer la frecuencia de cambios climáticos ocurrida en la región para el Cuaternario.

Mientras que las secuencias loess-paleosuelos las que forman la extensa meseta de China, representan los archivos más completos y mejor estudiados de las áreas continentales. Estos depósitos eólicos tienen hasta 180 metros de espesor y proveen un registro sedimentario virtualmente continuo de los últimos 2,5 millones de años. Los cambios de tamaño de partícula constituyen un registro indirecto de las variaciones en la intensidad y/o localización de presión atmosférica alta, los vientos monzónicos y las precipitaciones estacionales asociadas (Rutter *et al.*, 1996). Reflejan claramente el patrón de cambios climáticos. Cuando se las analiza en detalle, el patrón de cambios climáticos inferidos es comparable con el obtenido a partir de los estudios de sedimentos de los fondos oceánicos. (Zarate y Ercolano, s/f).



**Figura 13.** Mapa de sedimentación eólica: loess en el mundo

Entre los múltiples estudios que se han realizado sobre paleosuelos en varias partes del mundo encontramos las de Marruecos, Rusia y Alemania, representadas en el siguiente mapa.



**Figura 14.** Ubicación de áreas de muestreo de paleosuelos

## 5.1 Caracterización de Paleosuelos

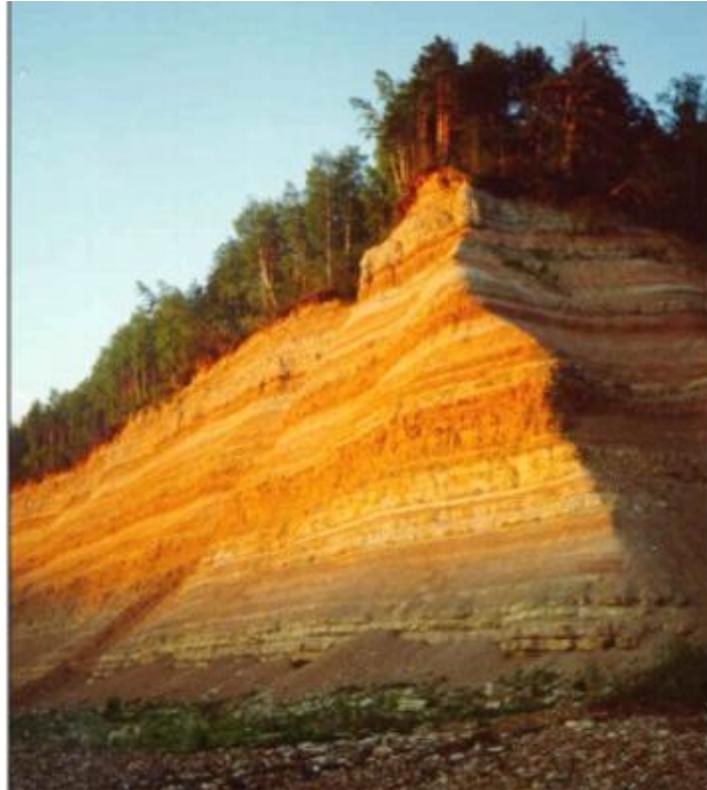
### 5.1.1 Alemania



**Figura 15.** Paleosuelo Eemian en Nussloch, suroeste de Alemania.

Terhorst (2001) concluye: Perfil completo de un Luvisol compuesto de horizontes Ah, E y Bt, sepultado bajo loess. Indica condiciones húmedas templadas que favorecieron su formación bajo un ambiente boscoso, durante el periodo interglacial anterior (hace más de 125,000 años). Posteriormente, las condiciones climáticas cambiaron y fueron sustituidos por un ambiente frío y seco, durante la última glaciación (Würm o Wisconsin, 125,000-10,000 años). Estas condiciones produjeron la sedimentación eólica del material limoso carbonatado (loésico), que sobreyace al Luvisol. Entre el paleosuelo y loess se observa un estrato de color verdoso. Se supone que es un Gleisol, paleosuelo formado en las condiciones húmedas y frías durante la transición entre interglacial (Eemian) y glaciación (Würm)

### 5.1.2 Rusia



**Figura 16.** Paleosuelos del pérmico superior, río Sujona, Rusia

Yakimenko (2004) concluye: Los paleosuelos de esta región marcan intervalos de estabilidad geomórfica durante la acumulación de sedimentos terrestres del pérmico, en la parte oriental de Rusia europea. Los rasgos morfológicos de estos paleosuelos (particularmente sus propiedades estagnicas, desarrollo de las áreas pálidas en los horizontes superiores y a lo largo de los poros) demuestran que su formación es resultado de procesos reductomórficos (reducción-oxidación) superficiales, que se producen en un ambiente que por periodos se satura con agua. Otro rasgo interesante es la presencia de los carbonatos biogénicos en cuerpos tubulares, que se observan bajo microscopio electrónico (supuestamente hifas calcificadas de los hongos).

### 5.1.3 Marruecos



**Figura 17.** Terra Rossa relict, sur de Marruecos

Bronger y Sedov (1997) registran: en la parte sur de la costa atlántica de Marruecos, bajo un clima semiárido, se forman Kastanozems petrocálcicos sobre dunas fósiles pleistocénicas. Frecuentemente su horizonte A está erosionado, por lo cual el caliche (horizonte petrocálcico) aflora en la superficie.

En algunas superficies planas o en pequeñas depresiones se encuentran parches de suelos profundos, rojos, con la matriz arcillosa intemperizada. En los horizontes superiores y medios, los carbonatos son escasos o no se presentan. Estos perfiles corresponden a Luvisoles Rhódicos, difieren mucho de los Kastanozems que los rodean. Tienen mucho en común con la Terra Rossa de la parte norte de la costa (Casablanca-Rabat) que se desarrolla bajo un clima más húmedo, tipo Mediterráneo.

Los estudios micromorfológicos de estos perfiles demostraron que algunos poros de los horizontes B están rellenos de cristales de calcita secundaria, aunque la matriz carece de carbonatos y está dominada por arcilla y óxidos de Fe. Este rasgo indica la carbonatización actual, proceso que se desarrolla dentro de Terra Rossa relictas, como consecuencia del clima semiárido moderno.

Se ha concluido que los suelos rojos del sur de Marruecos no concuerdan con el clima actual, semiárido, que no permite la lixiviación de carbonatos, ni el intemperismo avanzado. Por lo tanto, son paleosuelos, herencia de etapas más húmedas del Pleistoceno. Estos paleosuelos relictos se conservan solamente en posiciones geomorfológicas estables, protegidas de la erosión y sedimentación reciente.



**Figura 18.** Paisaje que muestra los suelos rojos del sur de Marruecos

## **CAPITULO VI**

### **ESTUDIO DE PALEOSUELOS EN MEXICO**

#### **6.1 Los paleosuelos de México**

Los paleosuelos de México se encuentran registrados en la zona de la Faja Volcánica Transmexicana por lo que los estudios se realizan bajo materiales asociados con la actividad eruptiva (flujos piroclásticos, caídas de ceniza, lahares, avalanchas, etc.). En los grandes estratovolcanes se tienen secuencias de paleosuelos, producidas por una serie de eventos volcánicos consecutivos. Dado que cada paleosuelo sepultado representa un periodo de estabilidad del paisaje, en donde hay condiciones de calma relativa del volcán, el estudio de las secuencias completas constituye una fuente de información paleoambiental, con un potencial enorme, a diferentes escalas cronológicas. La resolución de dichas secuencias es similar o mayor que las secuencias loess-paleosuelos de otras regiones del planeta. El grupo de paleosuelos de México ha realizado varios estudios de paleosuelos y edafosedimentos volcánicos en el centro y sur de México.



**Figura 19.** Ubicación geográfica de la Faja Volcánica Transmexicana (FVTM) modificado de Gómez-Tuena *et al.*, 2005.

## 6.2 Grupo de investigadores de paleosuelos en México

Las investigaciones sobre paleosuelos en México nacen por el interés de un grupo de investigadores constituidos en el año de 1999 con el propósito de realizar investigaciones especialmente en los ubicados en el centro de México, y formados durante el Pleistoceno Superior-Holoceno. Estas investigaciones representan para ellos una alternativa de interpretación paleodinámica que conjugadas con las realizadas en otros ámbitos, como son sedimentos lacustres, glaciares, etc., permiten establecer modelos de cambio climático.

Los paleosuelos de México pueden correlacionarse con secuencias similares de otras partes del mundo para establecer, a futuro, modelos globales de los paleoclimas, en especial del Pleistoceno Superior-Holoceno.

### 6.3 Investigaciones en México

Los Paleosuelos, considerados como “memoria del suelo” (Targulian y Goryachkin, 2004) ya que debido a sus características físicas, químicas y mineralógicas, han guardado los cambios ambientales y climáticos que registro la Tierra en un determinado periodo, por ello es una ciencia tan amplia y compleja, y para su estudio se ha dividido en varias líneas de investigación para tener respuestas más concretas y verídicas en cuanto a las características paleoambientales y paleoclimáticas que prevalecieron en el pasado.

Entre los primeros estudios realizados en México se encuentra la zona del Nevado de Toluca en donde determinaron que la estabilidad del paisaje sea corto o largo interviene en el desarrollo de los Paleosuelos. Los resultados obtenidos (Sergey Sedov *et al.*, 2002) indican tres tipos básicos de pedogénesis: i) ciclos cortos en que sólo se formaron algunos horizontes Ah y AB evidenciando varios eventos volcánicos sucesivos en un lapso de 1 000-2 000 años y, en consecuencia, mayor inestabilidad; ii) ciclos moderados que permitieron la formación de andosoles y iii) ciclos prolongados en los cuales se formaron suelos con perfiles Ah/E/Bt/C, aun cuando se encuentran decapitados. El tiempo inferido de su formación comprende hasta 10 000 años, indicando periodos significativos de estabilidad donde la actividad volcánica fue menor. Con esta investigación podemos concluir que el factor tiempo es el que determinara el grado de desarrollo de un Paleosuelo.

En el 2006, el Nevado de Toluca volvió a ser el área de estudio para los mismos investigadores pero con otra línea de investigación. Aquí recurrían a los Paleosuelos como un indicio para interpretar los cambios paleoambientales y la estabilidad del paisaje. Para ello la utilización de la técnica de fechamiento del C<sup>14</sup> fue indispensable para ubicar el paleosuelo en una escala del tiempo.

Los resultados obtenidos fueron Paleosuelos del Pleistoceno Tardío al Holoceno; la presencia de tres conjuntos de paleosuelos diferenciados entre sí, por presentar, respectivamente, horizonte vítrico, horizonte cámbico y horizonte árgico; y fluctuaciones en el clima y estabilidad del paisaje. Por lo que las fluctuaciones de clima y estabilidad del paisaje fueron los agentes que determinaron la horizontalización alcanzada de los paleosuelos y la información contenida en los rasgos pedogenéticos que integran la memoria del suelo.

El valle de Teotihuacan localizado en el sector noreste de la Cuenca de México ha sido y es uno de los lugares más estudiados por investigadores mexicanos y extranjeros. Fue la primera y más grande ciudad prehispánica de las Américas, y su decaimiento lo atribuyen al cambio climático global, a la degradación del ambiente, y a trastornos económicos y/o políticos.

Solleiro *et al.* (2003), con el estudio de los paleosuelos del valle de Teotihuacan concluyeron: “Las evidencias micromorfológicas indican actividades agrícolas intensivas (deforestación, quema, compactación, erosión). La presencia de carbonatos en los estratos subyacentes se relaciona con cambios en la humedad. Los fitolitos del mismo estrato indican alteraciones en la vegetación a través del tiempo, lo cual refleja condiciones variables de temperatura y humedad. Los resultados claramente reflejan modificaciones ambientales debidas a la influencia antrópica.

## CONCLUSIONES

De acuerdo a la investigación y recopilación de datos realizada acerca de los paleosuelos, concluyo que es una línea de investigación muy interesante para poder describir y comprender los climas y ambientes que existieron en el pasado.

Los paleosuelos por ser un tema de investigación poco explorado y por lo tanto, aún no definida una nomenclatura que la identifique, es un tema que aun causa confusión en los investigadores para su identificación, ya que sus propiedades pedogenéticas no son exactamente confiables debido a los cambios que presentan aún estando enterrados. Por lo tanto, se necesita realizar estudios exhaustivos para encontrar una característica particular que reconozca a los Paleosuelos de los suelos modernos.

## COMENTARIOS Y RECOMENDACIONES

El estudio de Paleosuelos es un tema que falta mucho por examinar, tanto en México como en el mundo, por lo que dada las circunstancias fue muy difícil obtener información sobre la misma. Sin embargo, al haberme enfocado a este tema me ha ayudado a reforzar los conocimientos que tengo respecto a los suelos.

Suelo, parte superficial donde los seres vivos y no vivos descansamos, pero otra de tantas definiciones que manejamos como agrónomos es: “suelo, sostén de la vida”, tal interpretación ha hecho que únicamente lo estudiemos como un sistema productivo.

Al estar investigando sobre los Paleosuelos, me he percatado que nos falta mucho como departamento, estudiantes y egresados de esta Universidad indagar y estudiar la naturaleza de los suelos. Nuestras líneas de investigación sólo se han enfocado a cultivos, a ensayar con una enzima, un fertilizante o un químico. Por lo que recomiendo ampliamente no desaprovechar este trabajo para seguir adelante con las investigaciones que resulten favorecedoras para explicar y remediar el Cambio Climático Global.

## BIBLIOGRAFIA

1. Aplicación a la datación por radiocarbono.  
[http://isagoge.atspace.com/documentos/Archivo\\_isagoge2/ESPECTROMETRIA\\_DE\\_MASAS\\_CON\\_ACCELERADORES.pdf](http://isagoge.atspace.com/documentos/Archivo_isagoge2/ESPECTROMETRIA_DE_MASAS_CON_ACCELERADORES.pdf)
2. Argüello, G, Sanabria, J.A y Frechen, M. s/f. La secuencia loess- paleosuelos como indicadores paleoambientales en la región central de la provincia de Córdoba. (Comunicación). Universidad Nacional de Córdoba.
3. Arkeolan. <http://www.arkeolan.com/dendro.htm>
4. Atlas Ambiental de Buenos Aires.  
[http://www.atlasdebuenosaires.gov.ar/aaba/index.php?option=com\\_content&task=view&id=229&Itemid=17](http://www.atlasdebuenosaires.gov.ar/aaba/index.php?option=com_content&task=view&id=229&Itemid=17)
5. Bronger, A. and Sedov, S.N. 1997 Origin and redistribution of pedogenic clay in Terraes rossae from Quaternary calcarenites in coastal Morocco.In: Shoba, S.,
6. Bronger, A., Sedov S. 2003 Vetusols and paleosols: natural versus man-induced environmental change in the Atlantic coastal region of Morocco. Quaternary International, v. 106-107, p. 33-60
7. Carlos. 2007. El estudiante de historia.  
<http://elestudiantedehistoria.blogspot.com/2007/08/martin-kamen.html>.  
(13/11/2009)
8. Chaline Jean. 1982. El cuaternario: la historia humana y su entorno. Ediciones AKAL. Madrid, España. Pág. 243
9. Colin Renfrew y Paul Bahn. 1993. Arqueología: teorías, métodos y prácticas. Ediciones AKAL. Primera edición. Madrid. España. Pag. 130

10. E. Teruggi Mario.1971. Criterios para el reconocimiento y estudio de los paleosuelos. Revista de la Asociación Geológica de Argentina. Tomo XXVI, N° 4. Pág. 485-490.
11. Eiroa, Jorge Juan. 2006. Nociones de prehistoria general. Editorial Ariel. Tercera edición. Barcelona. España. Pág. 86
12. García Pérez Alfonso. 1980. Ha muerto Willard Frank Libby, premio Nobel 1960, creador del método del carbono14.
13. Gates, M.D. 1993. Climate Change and its Biological Consequences In: Sinauer Associates, Inc Publishers, sunderland, Massachusetts, pp.280.
14. Gerasimova, M., Miedema R. (Eds.) Soil Micromorphology: Studies on Soil Diversity, Diagnosis, Dynamics. Moscow-Wageningen; p. 59-66.
15. Grupo de paleosuelos UNAM. <http://www.geologia.unam.mx/~paleosuelos/>
16. [http://www.elpais.com/articulo/sociedad/PREMIO\\_NOBEL/Ha/muerto/Willard/Frank/Libby/premio/Nobel/1960/creador/metodo/carbono-14/elpepisoc/19800912elpepisoc\\_6/Tes. \(03/ 04/2010\)](http://www.elpais.com/articulo/sociedad/PREMIO_NOBEL/Ha/muerto/Willard/Frank/Libby/premio/Nobel/1960/creador/metodo/carbono-14/elpepisoc/19800912elpepisoc_6/Tes. (03/ 04/2010))
17. Jasso-Castañeda, C.; Sedov, Sergey; Gama-Castro, J. E. y Solleiro-Rebolledo, E. 2006 Paleosuelos: índices del paleoambiente y de la estabilidad del paisaje del Nevado de Toluca.
18. La Trinchera <http://www.oocities.com/latrinchera2000/datacion/datacion.html>
19. Laboratorio Universitario de Radiocarbono (LUR). Instituto de Geofísica, Instituto de Investigaciones Antropológicas e Instituto de Geología, UNAM. <http://www.geologia.unam.mx/igl/deptos/geoq/lur/>
20. Lazos Ramírez Luz. Un cronometro del pasado. Laboratorio de Fechamiento del Instituto de Investigaciones Antropológicas de la UNAM. [http://www.comoves.unam.mx/articulos/fechamiento.html. \(17/11/2009\)](http://www.comoves.unam.mx/articulos/fechamiento.html. (17/11/2009))

21. Manzanilla Linda y Luis Barba.1994. LA ARQUEOLOGIA: UNA VISION CIENTIFICA DEL PASADO DEL HOMBRE. 1ra. Edición, Fondo de Cultura Economica, S.A de C.V., México, DF.
22. Morrison, R., 1978. Quaternary Soil Stratigraphy. Concepts, Methods, and Problems. En: Quaternary soil. Third York Quaternary Simposium. Geo Abstracts, Norwich, England.
23. Museo virtual paleosuelos.  
<http://www.geologia.unam.mx/~paleosuelos/mvirtual2.htm>
24. Retallack , Gregory J. 1990. Soils of the past. An introduction to paleopedology. Harper Collins Académico.Primer edición. Londres. Reino Unido. Págs. 520.
25. Ríos Paredes, M. M., de los. 2009. Fechamiento por radiocarbono: consideraciones para obtener datos confiables. Arqueo.Ciencias, 4:5-32. ISSN en trámite.
26. Ruiz Gómez Aarón. 2005. Espectrometría de masas con aceleradores (AMS):
27. Rutter, N., Z. Ding, and T. Liu. 1996. Long paleoclimate records from China. Geophysica, 32 (1-2), 7-34.
28. Saber curioso, 2007. <http://www.sabercurioso.com/2007/09/04/datacion-carbono-14/>
29. Sepa que...<http://j.orellana.free.fr/textos/polinico.htm>
30. Sevey Segov, Carolina Jasso, Elizabeth Solleiro y Jorge Gama. 2002. El desarrollo de los paleosuelos como índice de la estabilidad del paisaje. Un ejemplo del centro de México. Investigaciones Geográficas, Bolefin del Instituto de Geografía, UNAM. Núm. 47, 2002, pp. 20-35

31. Solleiro-Rebolledo Elizabeth, Emily McClung de Tapia, Sergei Sedov, José Luis Villalpando-González, Jorge Enrique Gama Castro. 2003. Paleosuelos en el Valle de Teotihuacan, México: Evidencia de paleoambiente e impacto humano. *Revista mexicana de ciencias geológicas*, Vol. 20, Nº. 3, 2003 , págs. 270-282.
32. Targulian, V. O. y Goryachkin, S. V. 2004. "Soil Memory. Types of records, carriers, hierarchy and diversity". *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*. 21, núm 1, pag. 1-8.
33. Terhorst, B., Appel, E., Werner, A., 2001. Palaeopedology and magnetic susceptibility of a loess–palaeosol sequence in southwest Germany. *Quat. Int.* 76-77, 231-240
34. Toluca. *TERRA Latinoamericana*, Vol. 24, Núm. 2, pp. 151-161. Universidad Autónoma Chapingo. México.
35. Wikipedia, 2010. Datación por radio carbono.  
[http://es.wikipedia.org/wiki/Dataci%C3%B3n\\_por\\_radiocarbono](http://es.wikipedia.org/wiki/Dataci%C3%B3n_por_radiocarbono)
36. Yakimenko, E., Inozemtsev, S., Naugolnykh, S., 2004. Upper Permian paleosols (Salarevskian Formation) in the central part of the Russian Platform: paleoecology and paleoenvironment. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 21(1), 110-119.  
<http://satori.geociencias.unam.mx/21-1.htm>
37. Zarate Marcelo A. y Bettina Ercolano. s/f. Paleoclima: La historia de la Tierra durante los últimos dos millones de años.  
<http://www.inta.gov.ar/santacruz/info/documentos/teledet/guiasc/cd%20de%20cartograf%EDa%20de%20santa%20cruz/09paleoclima.htm>
38. ¿Quién es? [http://www.comoves.unam.mx/quienes\\_93.html](http://www.comoves.unam.mx/quienes_93.html)