



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

"ESTUDIO COMPARATIVO DE MUESTRAS DE HORNOS  
ARQUEOLOGICOS DEL SITIO NATIVITAS EN TLAXCALA, Y  
HORNOS ACTUALES DEL ESTADO DE OAXACA:  
DESTINADOS A LA COCCION DE AGAVE, POR MEDIO DE  
MICROSCOPIA, ESPECTROSCOPIA Y CROMATOLOGRAFIA"

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

**Q U I M I C A**

**P R E S E N T A**

**ALBA AZUCENA BARRIOS RUIZ**



EXAMENES PROFESIONALES  
FACULTAD DE QUIMICA

MEXICO, D.F.

2004



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	Raymundo Cea Olivares
Vocal	Luis Alberto Barba Pingarron
Secretario	José Luis Galván Madrid
1er. Suplente	Verónica García Montalvo
2do. Suplente	Carmen Cristina Adriano Morán

Sitio donde se desarrolló el tema: Instituto de Química, UNAM.



Dr. Raymundo Cea Olivares  
Asesor del tema



Alba Azucena Barrios Ruiz  
Sustentante

***A la memoria de mi Padre***

***A mi Madre***

***A mi Abuela***

***A mi Hermana***

***A mi Esposo***

Gracias a toda mi familia por el apoyo y comprensión que incondicionalmente han tenido para conmigo. Gracias Alejandra, gracias por todo Ofe, gracias Marifer por toda la alegría que me has regalado, gracias Julio por tu apoyo, gracias Sole y Raúl por las palabras de aliento. Gracias Lulú, Irma y José Antonio por el cariño y apoyo que me han dado.

Gracias José Antonio, por compartir conmigo todas estas experiencias y la culminación de ésta última.

Gracias al Dr. Raymundo Cea por su paciencia, enseñanza y amistad.

Gracias a la Dra. Verónica García por su apoyo enseñanza y amistad.

Gracias a la Dra. Mónica Moya, por todos los consejos que me regaló y por su confianza.

Gracias a todos mis sinodales por su apoyo.

Gracias a todos los amigos que logré cultivar en mi paso por la Facultad de Química y por el Instituto de Química, a Rosario, Citlalli, a Claudia, a Arminda, a Leticia, a Juan, a Juan, a Rodrigo, y a cada uno de esas personas que no he nombrado hasta este momento, quiero decirles que están en mi corazón.

A los buenos amigos del laboratorio 6 de inorgánica.

Gracias a todos ustedes.

## *Agradecimientos*

De forma muy especial, quiero agradecer al Dr. Raymundo Cea Olivares por darme la oportunidad de aprender con este trabajo de tesis.

Este trabajo no hubiera sido posible sin el apoyo de:  
El Arqueol. Samuel Hernández, por todos los conocimientos aportados.

El Dr. Abel Moreno Cárcamo, que nos facilitó usar el microscópio de fuerza atómica del laboratorio ó de bioquímica del Instituto de Química, UNAM.

El Dr. Luis Felipe del Castillo y el Dr. José Guzmán Mendoza, por las facilidades que nos permitieron tener, para usar el microscopio electrónico del Instituto de Investigaciones en Materiales, UNAM.

La M.C. Carmen Cristina Adriano por los conocimientos que compartió para este trabajo y por las facilidades para emplear el microscopio estereoscópico del Instituto de Investigaciones Antropológicas, UNAM.

## ÍNDICE

Agradecimientos	4
Índice	5
Introducción	6
Cápítulo 1. Antecedentes	8
1.1. Tlaxcala, Sitio Nativitas	9
1.2. Oaxaca	15
1.3. El Agave	23
1.4. Las muestras	26
Cápítulo 2. Desarrollo Experimental	28
2.1. Microscopia	29
Microscopía de Fuerza Atómica	29
Microscopia Estereoscopica en Tercera Dimensión	30
Microscopia electrónica de barrido	32
2.2. Espectroscopia	35
Análisis cualitativo por RX	35
Resonancia magnética nuclear de $^{13}\text{C}$ en estado sólido	36
2.3. Cromatografía	38
Cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas	38
Cápítulo 3. Resultados y Discusión	40
3.1. Microscopia	41
Microscopía de Fuerza Atómica	41
Microscopia Estereoscopica en Tercera Dimensión	43
Microscopia electrónica de barrido	47
3.2. Espectroscopia	55
Análisis cualitativo por RX	55
Resonancia magnética nuclear de $^{13}\text{C}$ en estado sólido	60
3.3. Cromatografía	62
Cápítulo 4. Conclusiones	69
Apéndice	70
A.1 Cronología del Sitio Nativitas, Tlaxcala	70
A.2 Espectro electromagnético	71
Bibliografía	72

## INTRODUCCIÓN

La necesidad de conocer y reconstruir el estilo de vida de comunidades prehispánicas, así, como la explotación y utilización de los recursos naturales de su entorno, dio pie a realizar exploraciones y excavaciones en el sitio arqueológico de Nativitas, próximo a Cacaxtla-Xochitécatl, en el estado de Tlaxcala, las cuales se iniciaron en 1996. Para el año de 1998 se instituye, el proyecto "El Hombre y sus recursos en el sur del Valle de Tlaxcala durante el formativo y el epiclásico", bajo la dirección de la Dra. Mari Carmen Serra Puche, del Instituto de Investigaciones Antropológicas, UNAM (1).

En el sitio arqueológico de Nativitas, se hallaron varios asentamientos humanos que van del periodo preclásico o formativo medio y terminal, epiclásico y posclásico temprano, dicho periodo data del 500 a. C., hasta el 900 d. C. (1).

Por medio de técnicas geofísicas, tales como el reconocimiento magnético y resistividad eléctrica, se pudieron conformar mapas magnéticos y eléctricos del sitio Nativitas, de los que se obtuvo la siguiente información:

- a) El subsuelo del sitio Nativitas, contiene áreas de materiales sometidos a altas temperaturas, lo cual se interpretó por los arqueólogos, como hornos.
- b) También se observan alineamientos que delimitan a las unidades habitacionales (1).

Los hornos encontrados en tales asentamientos son de diferentes proporciones y formas -cilíndricos, troncocónicos, circulares -; además, los restos de escurrimientos de líquidos en las paredes de algunos de los hornos, piedras expuestas al fuego encontradas en el interior de los hornos, la ausencia de material cerámico en la mayoría de éstos; son elementos que dieron pie, a suponer a los arqueólogos, que algunos de estos hornos eran destinados para un uso específico, tal como pudo haber sido la cocción de alimentos, y principalmente agave (1) (Fig 1).

Mediante un estudio etnohistórico y etnoarqueológico, se encontraron ciertas similitudes entre los hornos hallados en Nativitas y otros hallados en el estado de Oaxaca, donde se elabora mezcal en forma artesanal, esta similitudes se relacionan a la forma y disposición de los hornos y el posible uso preferencial que tuvieron los hornos arqueológicos para el uso al cual se destinan hoy en día en Oaxaca. (1)

Otra similitud encontrada fue la presencia de ollas; en la formación troncocónica, aunque rotas en su gran mayoría, se hallaron algunas que fueron capadas, es decir sin fondo; y que posiblemente se utilizaron como destiladores rústicos, para destilar el fermentado del maguey cocido, tal y como lo realizan actualmente los productores rurales de mezcal en Oaxaca (1).

De tal forma, con este trabajo se pretende encontrar evidencias de la posible existencia de restos de agave en el interior de los hornos de Nativitas, lo que favorecería a proponer que los habitantes del sitio Nativitas, producían y utilizaban herramientas a su alcance para obtener productos transformados de materias primas de su entorno.

Así que, si se encuentran indicadores que muestren la presencia de agave en los hornos arqueológicos, tales como restos de poliosacáridos degradados, y si éstos resultados son muy semejantes a los obtenidos con los residuos hallados en los hornos de Oaxaca, puede decirse que los hornos arqueológicos de Nativitas se usaron de forma preferencial para la cocción de agave.



Los objetivos que se pretenden alcanzar con este trabajo son:

- Determinar el origen paleobotánico del biomaterial hallado en el interior de los hornos arqueológicos y compararlo con muestras de carbón actual proveniente del estado de Oaxaca y de agave
- Comparar, si los residuos hallados en trozos de cerámica, tanto actual como arqueológica, han sufrido alguna alteración composicional, por medio de resonancia magnética nuclear de estado sólido
- Determinar si los hornos asociados al Sitio Nativitas fueron usados preferentemente para la cocción de agave, en función de los compuestos encontrados, y comparándolos con los compuestos hallados en los hornos de Oaxaca.

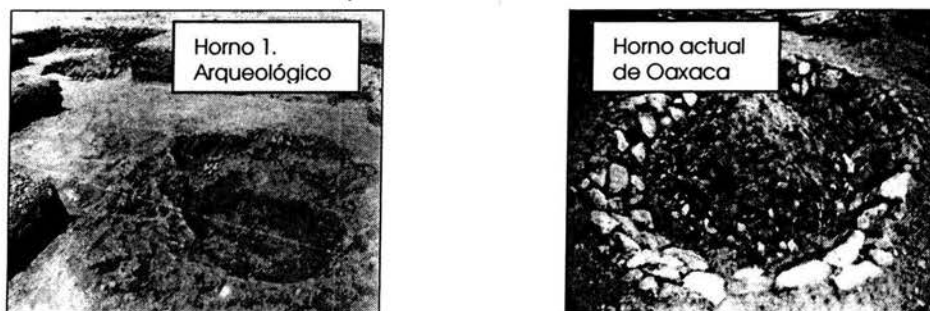


Fig. 1 Se presentan las imágenes del Horno 1, en Nativitas, y del Horno Actual de Santa Catarina de Minas, en Oaxaca. Podemos observar la similitud en forma, entre ellos y éste es uno de los pilares por los cuales se ha propuesto el uso en común ya mencionado. La cocción de agave. Imágenes proporcionadas por el proyecto "El Hombre y sus Recursos en el Sur del Valle de Tlaxcala durante el Formativo y el Epiclásico".

La organización temática de este trabajo de tesis, inicia presentando la localización geográfica de las entidades federativas, de las cuales se realizó la comparación de las muestras. También se hace una breve descripción de los hornos hallados en el sitio Nativitas y de la zonas de donde se halla agave en el estado de Oaxaca, incluyendo de forma general la descripción de la elaboración del mezcal en forma artesanal.

En el siguiente apartado que se tratará es, el de desarrollo experimental, donde se mencionan las técnicas realizadas para los diversos análisis, así mismo, las características de las técnicas y se incluye el diseño del experimento, aunque en un principio fue de prueba y error, se logro establecer un tratamiento a las muestras en estudio.

Después, se muestran los resultados de las técnicas realizadas y se da una explicación y discusión de los mismos, lo que conduce al final de este trabajo, a las conclusiones a las que se llegaron.

Por último se cuenta con un apéndice, donde se muestra la cronología del sitio Nativitas, se aclaran las características de las muestras, se presenta el espectro electromagnético con las diferentes frecuencias, y al último se muestran los nombres de los municipios electorales que componen al estado de Oaxaca.

## *CAPITULO 1*

### *Antecedentes*

## 1. 1. TLAXCALA, SITIO NATIVITAS

El estado de Tlaxcala, limitado al norte por Hidalgo y Puebla; al este y sur por Puebla; y al oeste por Puebla, Estado de México e Hidalgo (31). El sitio arqueológico de Nativitas se localiza en el municipio de Nativitas, distrito de Zaragoza (Fig. 2). De forma particular el sitio arqueológico de Nativitas se localiza en el costado sureste del Bloque Xochitécatl-Nativitas-Nopalucan, formación geográfica que también es ocupada por los sitios principales de Xochitécatl-Cacaxtla y Mixco Viejo, ambos ubicados en el estado de Tlaxcala (Fig. 3).



Fig. 2 Mapa de la República Mexicana mostrando la división política y la ubicación del Estado de Tlaxcala, imágenes obtenidas de las páginas electrónicas; [www.inegi.gob.mx](http://www.inegi.gob.mx), (2000)

El sitio Nativitas está compuesto por una serie de terrazas con desniveles planos de diferentes longitudes y anchos (Fig. 3).

El espacio habitacional, está construido con materiales locales, los cuales se utilizaron para la construcción de muros de piedra y tepetate sin carear, cementados con una mezcla de lodo y arena muy fina; los pisos son de lodo hechos con el tepetate triturado.

Presentan un solo cuarto de 30 a 40 m<sup>2</sup>. En su interior destacan las áreas de exposición al fuego (fogones) y algunos entierros mal conservados; en el exterior de la unidad habitacional se localizó una serie de hornos; los que fueron registrados como Horno 1 en la Terraza I-II, y los hornos 2 y 3 en la Terraza IV (Fig. 4 y 5) (1).

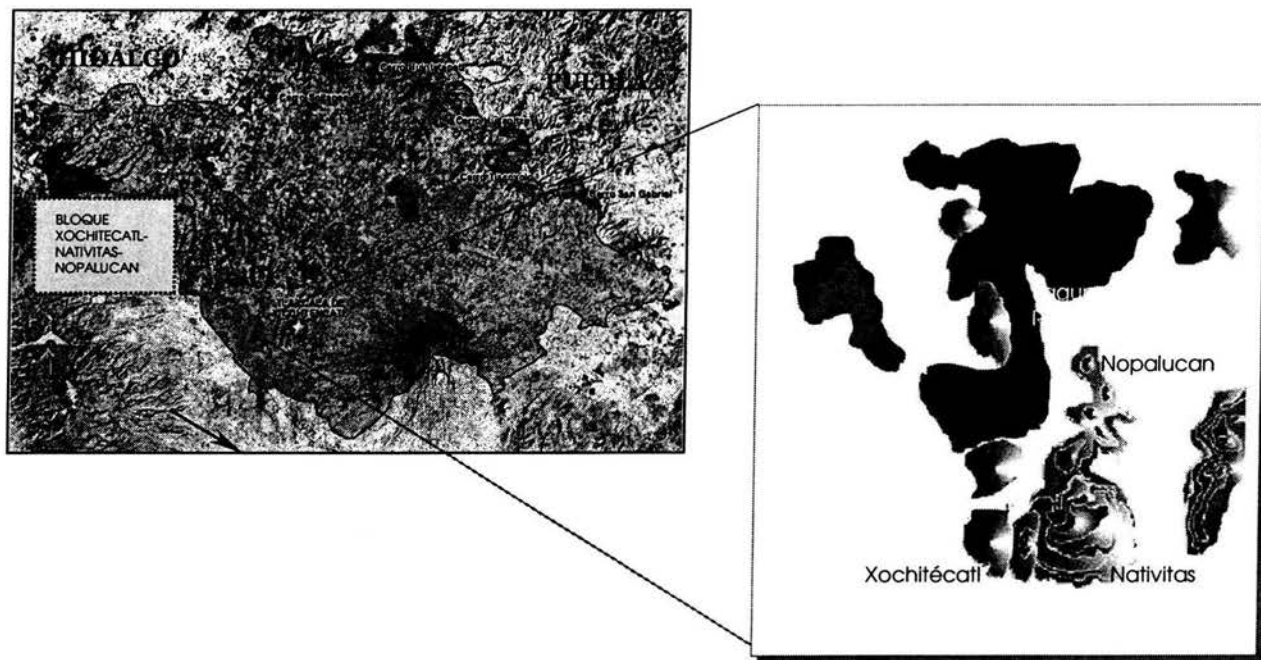


Fig. 3. Mapa geográfico del estado de Tlaxcala, limitado por el estado de Puebla e Hidalgo. Se muestra la ubicación del sitio bloque Xochitécatl-Nopalucan-Nativitas, asociado a la zona lacustre del Rosario. Así mismo se muestra la localización del sitio Nativitas en una ampliación y la distribución de las terrazas en estudio, localizadas en el recuadro de la imagen topográfica.  
 Imágenes proporcionadas por el archivo del proyecto, "El Hombre y sus Recursos en el sur del Valle de Tlaxcala durante el Formativo(300 a.C. – 100 d.C.)"

Al parecer, cada uno de los grupos familiares cumplía funciones distintas al interior de su comunidad. Las técnicas locales de producción exigieron un mayor o menor grado de cooperación, de ahí que el trabajo pudiera organizarse en formas sociales diversas y en ocasiones en niveles más grandes que la unidad doméstica. Los miembros de una familia podían colaborar de una manera regular con parientes y vecinos de otras casas; quizá algunos trabajos se realizaban de manera colectiva por parte de grupos tales como los linajes o las comunidades de vecinos (1).

Algo que llamó la atención del sitio Nativitas, son los hornos asociados a las unidades habitacionales, identificados por prospección geofísica (Fig. 4).

El primer horno encontrado, se identificó como horno 1; fue construido sobre tepetate, con un fondo cóncavo, paredes rectas y una profundidad de 1.20 m y 2 m de diámetro, en su interior se hallaron cantidades considerables de piedra quemada y en algunas partes de las paredes se observaron manchas que sugieren el escurrimiento de algún tipo de sustancia. El material arqueológico encontrado en el interior del horno 1, fue muy escaso, a diferencia de la parte externa, donde se localizó una cantidad considerable de ollas, en varios fragmentos de estas ollas se observaron residuos impregnados en las

paredes interiores de éstas. El horno y la cerámica pertenecen al período formativo (300 a.C. a 100 d.C.) (1) (Fig 5 y 6).

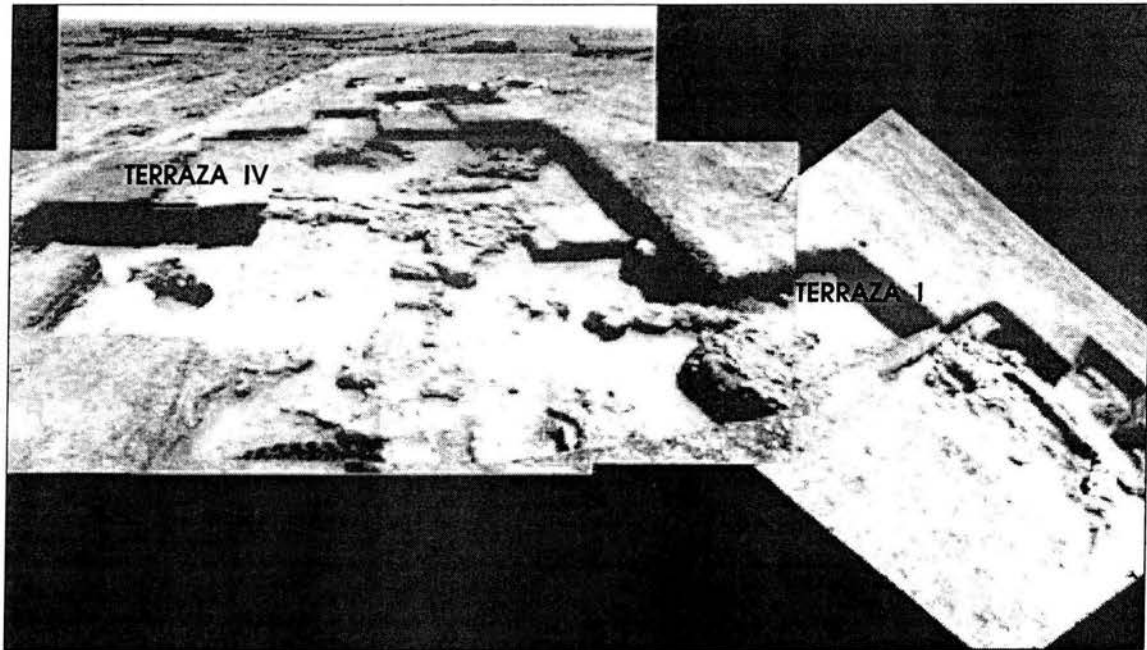
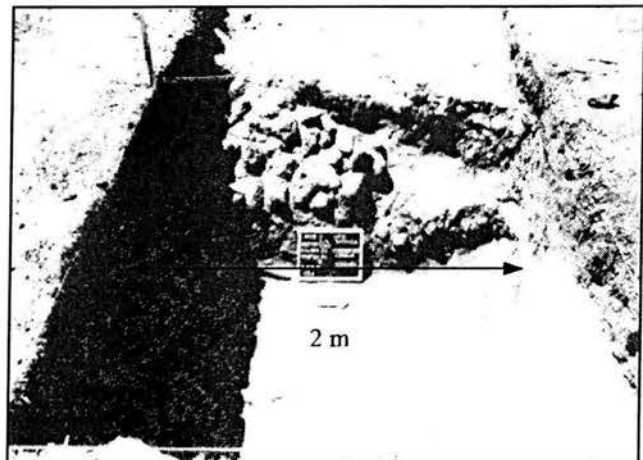


Fig. 4 Vista aérea de las terrazas IV y I-II. Donde se observa la distribución de los hornos localizados por prospección geofísica. . Imágen proporcionada por el archivo del proyecto, "El Hombre y sus Recursos en el sur del Valle de Tlaxcala durante el Formativo (300 a.C. - 100 d.C.)"

Fig. 5  
Horno 1, localizado en la terraza I  
Foto: archivo del proyecto " El Hombre y sus Recursos en el sur del Valle de Tlaxcala durante el Formativo (300 a.C. - 100 d.C.)"



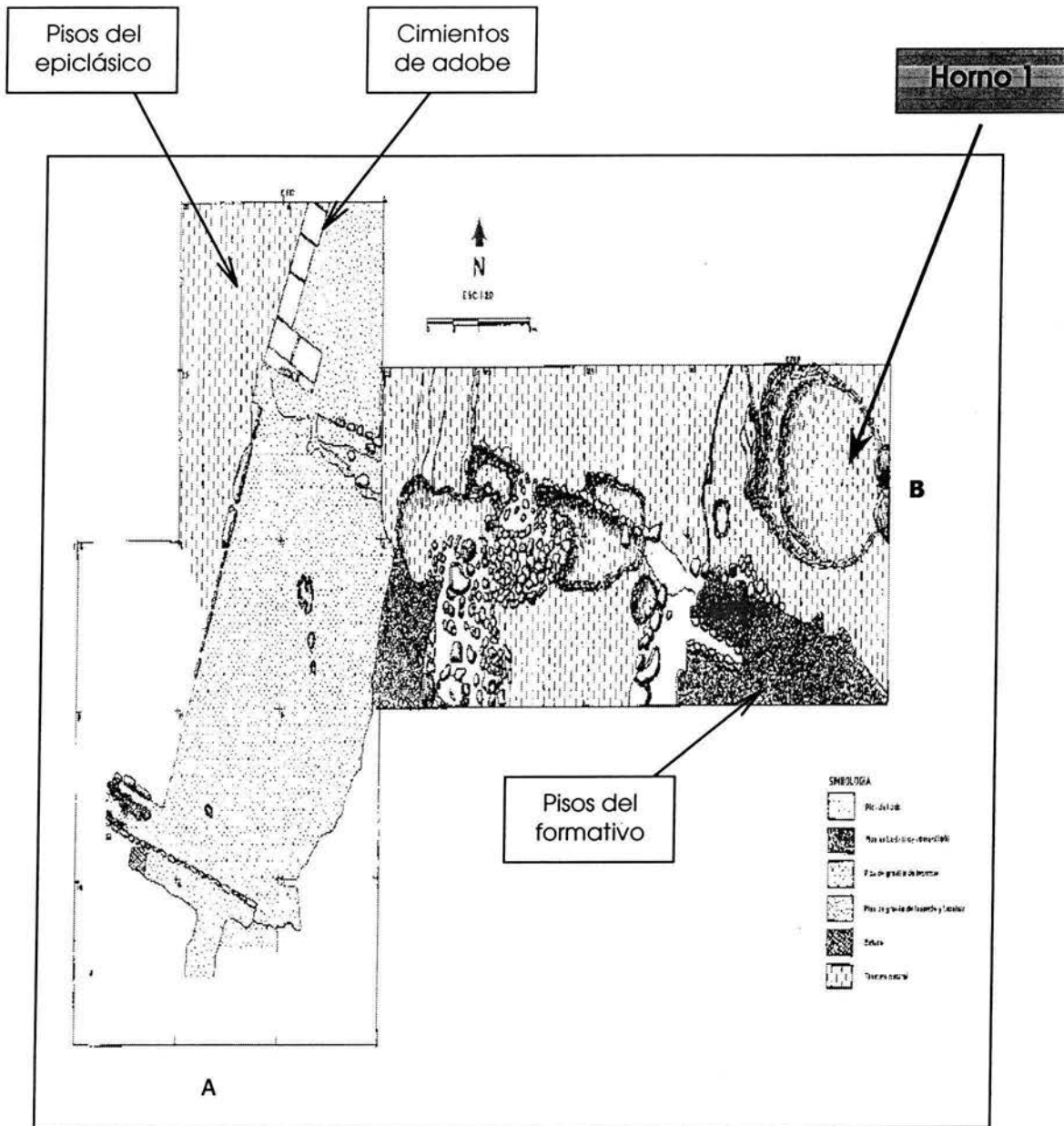


Fig. 6. Representación de los diferentes materiales que conforman el suelo de la terraza I-II, (A: Unidad habitacional del Epíclásico, B: Unidad habitacional del Formativo terminal) y la ubicación del Horno 1. Imagen proporcionada por el archivo del proyecto "El Hombre y sus Recursos" en el sur del Valle de Tlaxcala durante el Formativo (300 a.C. - 100 d.C.)"

El segundo horno se localiza en la terraza IV y está construido sobre el tepetate, tiene un diámetro promedio en la boca de 2.40m y de 1.80 m en su base. Con una profundidad máxima de 80 cm. En su interior se encontró una gran cantidad de piedras quemadas, similares a las halladas en el horno 1 de las terrazas I - II. (Fig. 7) (1).

El tercer horno, ubicado también en la terraza IV, está a 3.80 m de distancia del segundo. Presentó características diferentes a los otros dos, su boca tiene dos niveles, el primero de forma ovalada y de 2.40 m de diámetro, construido con tepetates y una profundidad de 40 cm. El segundo nivel de forma casi circular con un diámetro también de 2.40 m, en el interior contenía fragmentos de metates con soportes y muy poca cerámica; entre las características que lo distinguen de los otros hornos, están las paredes, a partir de los 40 cm de profundidad, revestidas con piedras hasta llegar a su base de 2.10m de profundidad. Todas las piedras presentan una coloración rojiza que señala una fuerte exposición al fuego (Fig 8) (1).

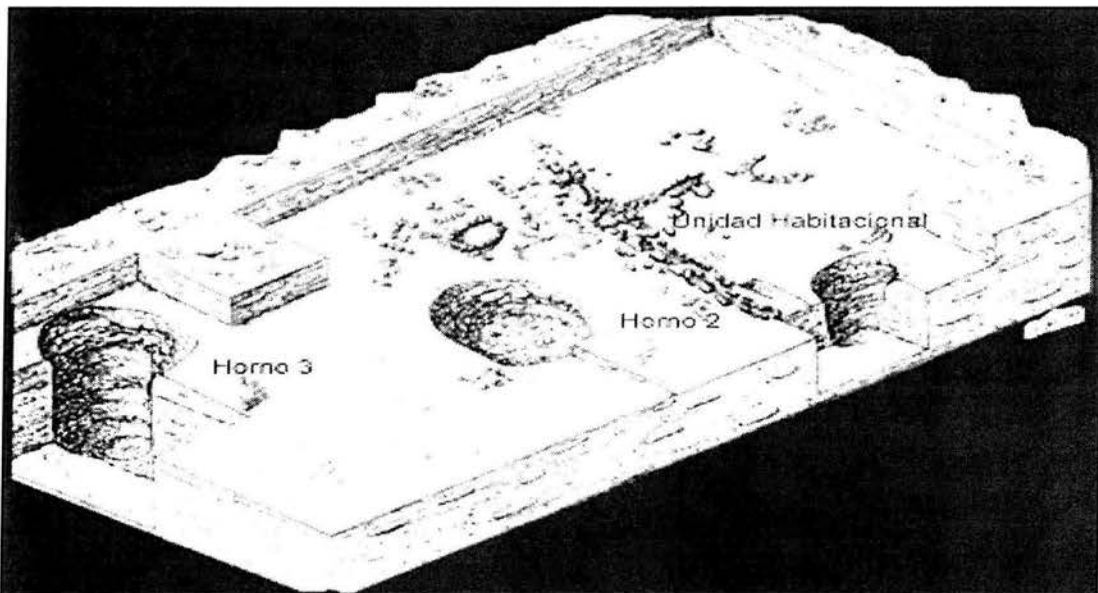


Fig. 7. Representación gráfica de la terraza IV, donde se localizan los hornos 2 y 3, junto con la formación troncocónica, y un fogón asociado a esta unidad habitacional. Imágenes proporcionadas por el archivo del proyecto, "El Hombre y sus Recursos en el sur del Valle de Tlaxcala durante el Formativo (300 a.C. - 100 d.C.)"

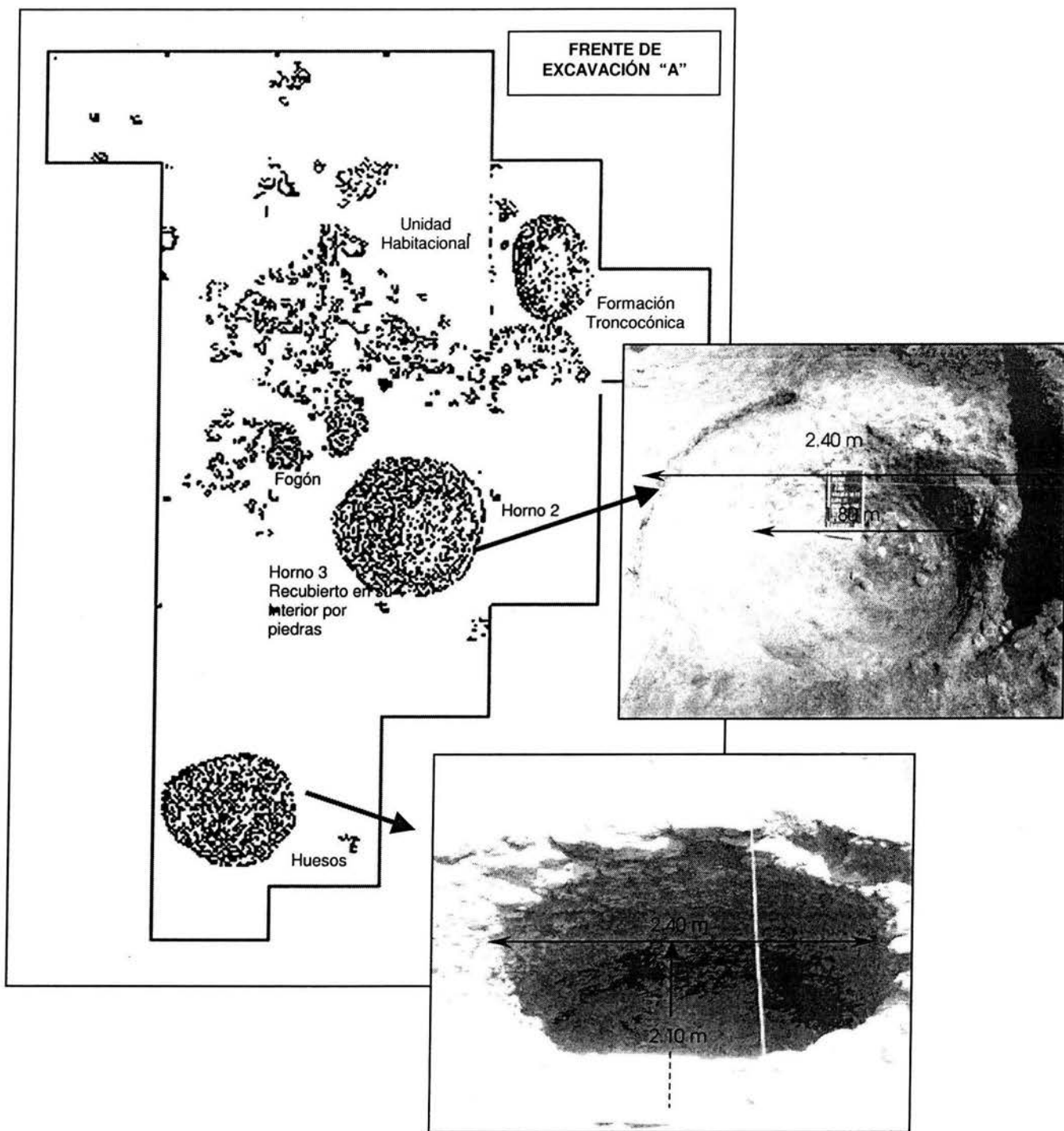


Fig. 8. Vista superior de la terraza IV, acompañada de imágenes fotográficas de los hornos localizados. Imágenes proporcionadas por el proyecto, "El Hombre y sus Recursos en el sur del Valle de Tlaxcala durante el Formativo(300 a.C. - 100 d.C.)"



## 1.2. OAXACA

El estado de Oaxaca se encuentra al sureste de la República Mexicana, limitado por los estados de Veracruz y Puebla al norte, al oeste por el estado de Chiapas, al sur por el Océano Pacífico y al este por Guerrero (Fig. 9).



Fig. 9. Mapa geográfico de la República Mexicana, en la que se presenta la división política del país y se muestra la ubicación del estado de Oaxaca. En la ampliación se presentan detalles de las regiones que componen a la entidad federativa. (32)



El estado de Oaxaca, se encuentra dividido por 8 regiones; Mixteca, Cañada, Papaloapan, Sierra Norte, Valles Centrales, Sierra Sur, Costa e Istmo; a su vez las ocho regiones se encuentran conformadas por 30 distritos territoriales y éstos están constituidos por municipios, los cuales suman 570 en total en la entidad federativa (Fig. 9 y 10) (32).

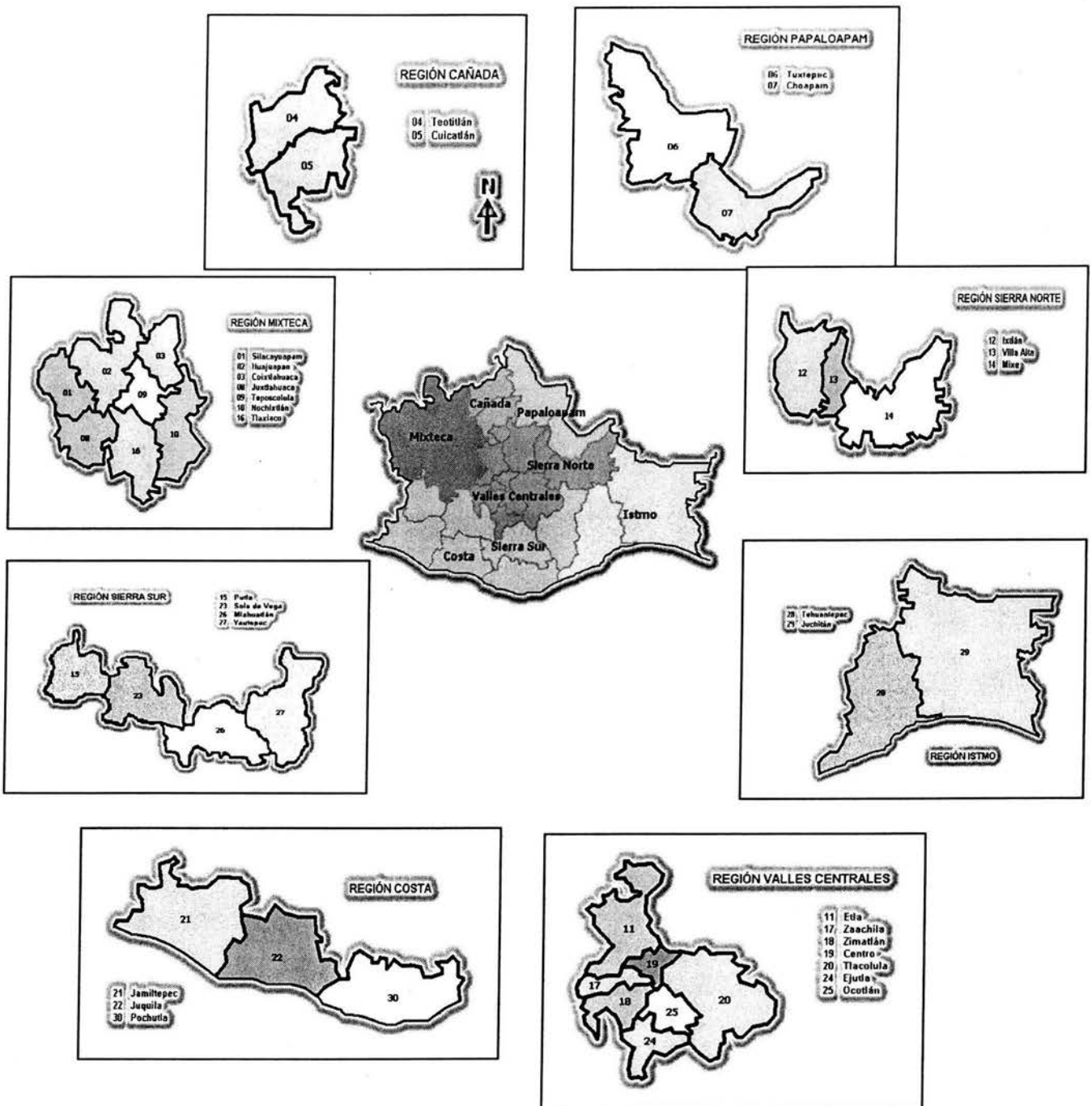


Fig. 10. En la ilustración central, se observa el mapa regional del estado de Oaxaca y en cada uno de los recuadros se presentan los distritos territoriales que constituyen a cada una de las regiones. (32)

Gracias a los estudios etnoarqueológicos realizados en el estado de Oaxaca, se encuentra que actualmente, se elabora mezcal de forma artesanal, sobre todo por algunas comunidades indígenas, como los Mixtecos y Zapotecos. Estos grupos indígenas aún utilizan hornos recubiertos de tierra, parecidos en su forma, a los encontrados en Nativitas; otra evidencia que llamó la atención de los arqueólogos fue la utilización de ollas montadas para destilar el fermentado de maguey, lo que conduce a la producción de mezcal de forma artesanal. Las comunidades de San Luis del Río, Miahuatlán, San Luis Amatlan Sola de Vega, San Lorenzo Albarradas, Hierve el Agua, San Baltasar

Chichicapan, San Dionisio Ocotepec, Santiago Matatlán, Santa Catarina de Minas, San Carlos Yautepec, fueron las seleccionadas para este estudio (1).

Es importante mencionar que en Oaxaca se encuentran 31 especies de agave, cuatro variedades y tres formas pertenecientes a once grupos taxonómicos y a los dos subgéneros del género *Agave*. De éstas, seis son endémicas de Oaxaca; de las cuales tres forman parte del subgénero *Littaea* (*A. Guigola*, *A. nizardensis* y *A. titanota*) y las otras tres pertenecen al subgénero *Agave* (*A. isthinensis*, *A. lurida*, *A. scaposa*). Tabla 1.

Del resto de las 31 especies, doce se localizan en el rubro de distribución restringida ya que sólo están presentes en la entidad federativa y son; *A. americana* var. *oaxacensis*, *A. atrovirens*, *A. desyllipiodes*, *A. karwinskii*, *A. macroacantha*, *A. pachycentra*, *A. peacockii*, *A. phymaea*, *A. potatorum*, *A. seemanniana*, *A. stricta* y *A. Tringularis* (2).

La distribución de los agaves en la entidad es heterogénea y dispersa en poco más del 80% del territorio oaxaqueño, es decir 28 de los 30 distritos territoriales. Cubren en su totalidad la región conocida como Sierra Sur, la porción occidental de la Sierra Madre de Oaxaca y la estribación sur de la Sierra Atravesada; así la distribución de las especies de *Agave* delimita cuatro corredores principales, los que proceden de las zonas semiáridas de la altiplanicie mexicana e ingresa a la entidad por la región de la Cañada (distritos de Teotitlán, Cuicatlán y norte de Etla), misma que recorre en su totalidad para después continuar hacia los valles centrales, donde culmina (los distritos de Etla, Centro, Ocotlán, Zimatlán, Zaachila y Tlacolula)

El segundo corredor ingresa al Estado por el noroeste, proveniente de la región seca de Acatlán (Puebla) y se divide en dos ramales, uno de los cuales sigue la cuenca alta del río Balsas y continúa hacia el estado de Guerrero; mientras que el otro se dirige hacia los valles centrales de Oaxaca atravesando las serranías de los distritos de Huajuapán, Teposcolula, Coixtlahuaca y Nochixtlán (Mixteca) hasta encontrar el Valle de Etla en el Centro.

El tercer corredor, procede del estado de Guerrero y entra a la entidad por el oeste para recorrer la Sierra Sur, atravesando los distritos de Tlaxiaco, Sola de Vega, Ejutla, Jamiltepec; Juquila, Mihuatlán, Pochutla y el oeste de Yautepec (3,6).

Por último el cuarto corredor cubre a lo largo y ancho la Cuenca del río Tehuantepec, se inicia en el sur-sureste del distrito de Tlacolula, para después atravesar la mayor parte de los distritos de Yautepec y Tehuantepec (6).

Los distritos con mayor número de especies son Huajuapán y Tlacolula (con 15 y 14 respectivamente), siguiéndole en importancia Nochixtlán con 8 especies, el resto de los distritos poseen menor variedad de especies.

Se puede decir que las especies del subgénero *Agave* se distribuyen más ampliamente que las del subgénero *Littaea* destacándose aquellas especies que toleran variaciones edáficas, climáticas y latitudinales tales como el *A. potatorum* y el *A. Angustifolia* (6).

Nombre	Nombre común
<b>A. potatorum Zucc</b>	<b>Maguey Papalomé o Tobala</b>
<b>A. angustifolia Haw</b>	<b>M. espadín</b>
<b>A. angustiarum Trel</b>	<b>M. rabo de león.</b>
<b>A. angustifolia rubescens (Gentry)</b>	<b>M. espadilla</b>
<b>A. kerchovei Lem</b>	<b>M. jabalí</b>
<b>A. americana L. var. americana</b>	<b>M. arroqueño</b>
<b>A. rodacantha Trel</b>	<b>M. mexicano</b>
<b>A. karwinskii Zucc.</b>	<b>M. cirial</b>
<b>A. salmiana Otto ex. salmiana</b>	<b>M. cimarrón</b>
<b>A. atrovirens Karv ex. Salm.</b>	<b>M. de la montaña</b>
<b>A. marmorata Roezi</b>	<b>M. de caballo</b>
<b>A. ghiesbreghtii Lem ex. Jacobi</b>	<b>M. jabalí</b>
<b>A. americana L. var. oaxacensis</b>	<b>M. blanco</b>
<b>A. salmiana var. ferox</b>	<b>M. del valle</b>
<b>A. seemanniana Jacobi</b>	<b>M. bilía</b>
<b>A. angustifolia Haw var. marginata</b>	<b>M. pinto</b>
<b>A. stricta Salm-Dick</b>	<b>M. sotolín</b>
<b>A- tequilana Weber</b>	<b>M. azul</b>
<b>A. guiengola Gentry</b>	<b>M. de la piedra</b>
<b>A. seemanniana Jacobi x potarorum</b>	<b>M. bilía</b>

Los tipos de hábitat que prefieren los agaves en la entidad de Oaxaca son el bosque tropical caducifolio, bosque de *Quercus-Pinus* y matorral xerófilo, todos ellos caracterizados por bajas precipitaciones anuales, (aproximadamente 700 mm) y temperaturas elevadas, aunque no es raro encontrar especies en climas húmedos y fríos tal como el *A. atrovirens*, que crece en el bosque de coníferas y soporta temperaturas por debajo de cero grados. (6)

Tabla 1. Agaves que se localizan en el estado de Oaxaca y que son utilizados para la elaboración de mezcal; denotados por nombre científico, nombre común. Fuente, Interciencia 1995 vol. 20 No. 1 Enero- Febrero.

Para la elaboración del mezcal, en el estado de Oaxaca, se utilizan preferentemente *A. americana* var. *oaxacensis*, *A. atrovirens*, *A. karwinskii* f. *amatengo*, *A. karwinskii* f. *mihuatlan*, *A. angustifolia*, *A. americana*, *A. rhodacantha*, *A. tequilana*, *A. potatorum*, *aseemanniana*, *A. angustifolia* var. *rubescens* y *A. marmorata*, estos cuatro últimos silvestres (2,3,6).

Por ejemplo en el municipio de Tlacolula, se cultiva principalmente el *Agave angustifolia* Haw (maguey espadín). En otras regiones del estado de Oaxaca se cultivan magueyes, de 30 especies identificadas y se aprovechan variedades silvestres con el propósito de destilar, artesanalmente, discretas producciones de mezcal consumido localmente (3).

Para la producción de mezcal, los maestros mezcaleros o palenqueros han podido incorporar a través de los años nuevos elementos para mejorar la elaboración del destilado de agave, pero conservando en esencia el sistema desarrollado siglos atrás.

Es así como la manufactura del mezcal, en muchas comunidades oaxaqueñas, es el resultado de conocimientos transmitidos de generación en generación (2).

Teniendo esto como un antecedente, la descripción del proceso de forma esquemática es: (Fig. 11)

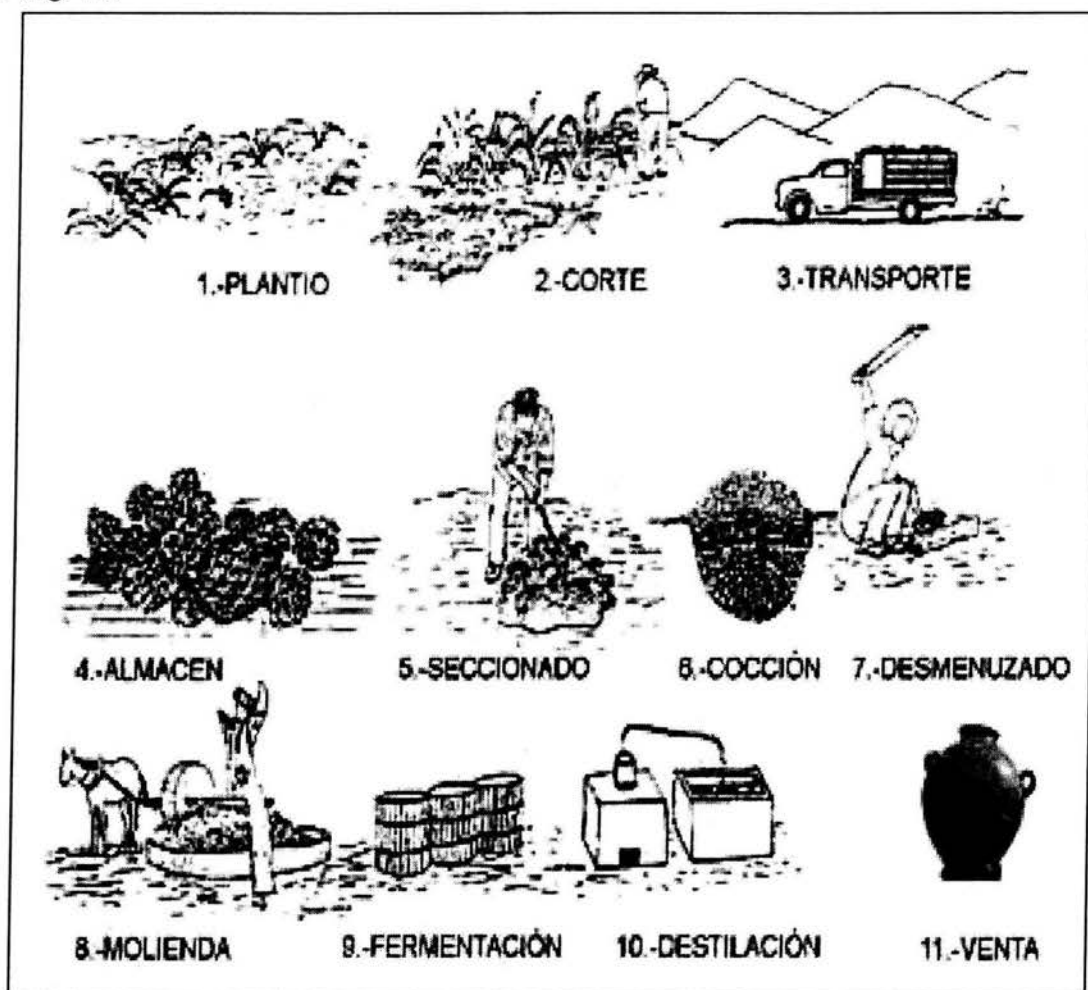


Fig. 11. Representación esquemática del proceso de elaboración del mezcal de forma artesanal, en las comunidades rurales de la Sierra del Estado de Oaxaca. (1)

Ya que el maguey ha madurado, de cinco a doce años, según la especie y variedad del agave; es capado, es decir, se le corta el qurote. Luego se procede a cosechar el *meyolote* o *mezontle*, quitando la pencas, sin éstas, la cabeza parece una piña, de ahí su nombre, muchos mezcaleros, para incrementar el volumen de mezcal, no despencan perfectamente la cabeza, dejando parte tanto del cogollo como de las pencas en las piñas, lo que afecta la calidad del producto final.

Las piñas se transportan a los palenques. Una vez en el palenque, las cabezas se apilan cerca del horno donde serán cocidas.

Estos hornos, conocidos como hornos de tierra o de tipo barbacoa, son hoyos en forma troncocónica a flor de tierra, revestidos de piedra; los hornos son calentados con leña una vez que se ha alcanzado la plena combustión, la leña se cubre con piedras denominadas piedras de fuego que comúnmente son traídas de los lechos de los ríos.

Después de cinco o seis horas, cuando las piedras están al rojo vivo, se coloca sobre ellas una cama o base de bagazo húmedo de agave ya utilizado y sobre éste se colocan las piñas que previamente han sido cortadas longitudinalmente en dos, tres o cuatro partes según el tamaño del maguey y las necesidades de espacio donde habrá de molerse. Después de esto las piñas son recubiertas con una capa de bagazo seco o bien con petates, hojas de plátano, hojas de árboles o alguna tela, finalmente se recubre con tierra.

Para alcanzar una plena cocción se requiere que las piñas de agave se queden en el horno por lo menos tres días.

Después del proceso de cocción, el maguey ha cambiado del color blanco original, a un color pardusco o color "caramelo", que es característico de la transformación de las sustancias amiláceas en azúcares, por hidrólisis.

El corazón del maguey cocido y triturado se coloca en tinajas de fermentación, ollas de barro semienterradas en el suelo o en pieles de ganado vacuno cuidando que el maguey cocido quede del lado de la pelambre de lo contrario la piel "sudaría" durante el proceso de fermentación. La duración del proceso depende del clima, de la cantidad de maguey procesado, y de la capacidad de almacenamiento de los recipientes,

Cuando la bebida esta en un estado de "hervir" por si sola y de color pardusco (fermentación) se le conoce como tepache y es aquí cuando se efectúa con el proceso de destilación.

La bebida se coloca en destiladores de cobre o en ollas de barro superpuestas La forma de recolectar el mezcal es utilizando un carrizo o una penca de maguey conocida como paleta, depositándose en ollas de barro, generalmente negro, antes de ser trasvasadas a otro recipiente

En Oaxaca coexisten alambiques de construcción artesanal de cobre laminado o los de ollas de barro superpuestas.

Los destiladores artesanales, a base de ollas de barro superpuestas, se construyen de la siguiente forma: se coloca el líquido fermentado en una olla de barro, sobre la cual se coloca una olla capada; la olla capada es aquella que se le rompe la base formando un orificio y es la parte del destilador donde se concentra el vapor del destilado y se condensa; también conocida como montera; a su vez, las ollas superpuestas se recubren de bagazo para evitar que salga el vapor antes de que se condense, así las ollas que contienen el fermentado están en hornillos que se calientan preferentemente con leña de encino; sobre la montera u olla capada se coloca un cazo con agua, el cual funciona como refrigerante y sirve para condensar el vapor, la olla capada posee un orificio por donde se coloca el carrizo o penca que sirve para recolectar el mezcal (Fig. 12) (1, 5).

Se producen tres porciones diferentes de mezcal: a la primera se le conoce como mezcal de cabeza o de punta, catalogado como el de mejor calidad y de sabor más fuerte, posee aproximadamente 48° de alcohol. La segunda porción, corresponde al mezcal de corazón o shishi que contiene 30° de alcohol aproximadamente; finalmente, la tercer porción se conoce como mezcal de cola y puede contener de 15 a 20° de alcohol (5).

Para obtener la graduación etílica requerida el maestro, mezcalero mezcla la punta y la cola de la segunda destilación, sin algún instrumento de medición, de manera empírica (3).

Por lo general se realiza doble destilación, aunque hay comunidades en donde únicamente se realiza una.

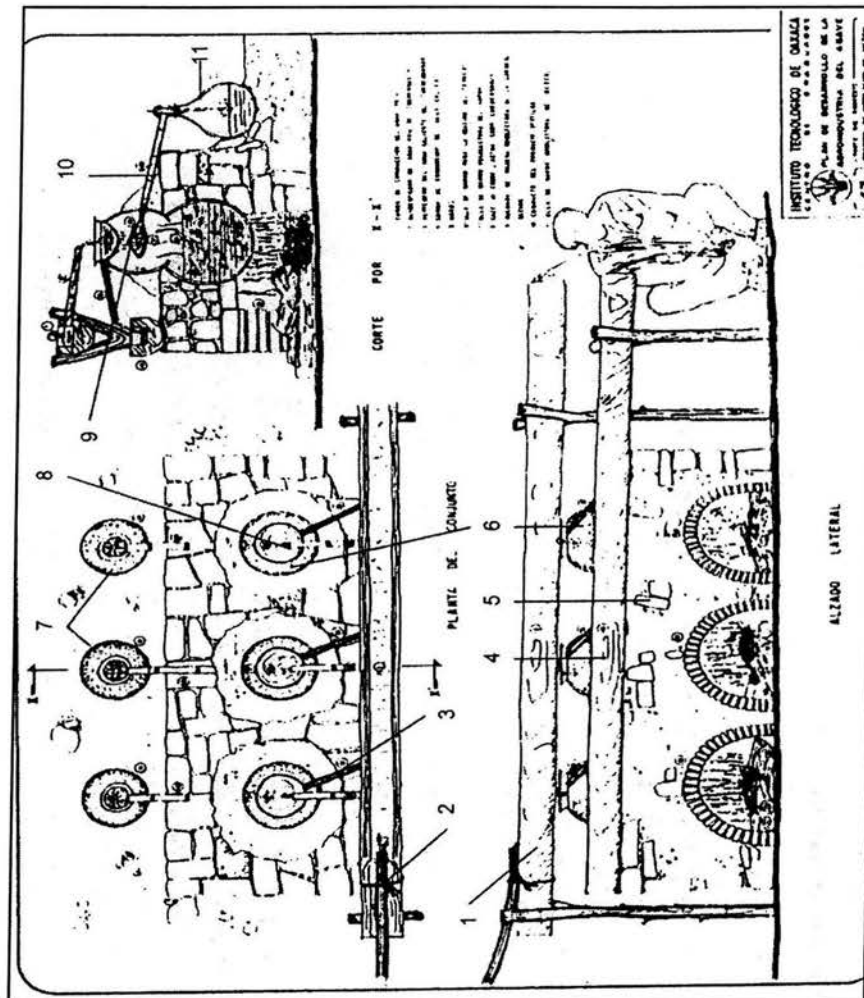


Fig.12. Representación esquemática del proceso de destilación artesanal, por medio de ollas, realizada por mezcaleros oaxaqueños. (1)

Significado de las claves numéricas:

1. Canoa de conducción del agua fría,
2. Alimentador del agua fría del condensador,
3. Vertedero del agua caliente del condensador,
4. Canoa del conductor del agua caliente,
5. Horno,
6. Olla de barro para la cocción del tepache,
7. Olla de barro recolectora de vapor,
8. Cazo de cobre, que actúa como condensador,
9. Cuchara de madera recolectora de la condensación,
10. Conducto del producto destilado,
11. Olla recolectora del mezcal. (1)

### 1.3. EL AGAVE

Los agaves conocidos comúnmente en México como magueyes, representan un grupo de plantas suculentas que crecen en zonas semiáridas y templadas de nuestro país.

El agave<sup>1</sup>, maguey se refieren a la misma planta y desde el siglo XVI los agaves fueron conocidos por las palabras *metl*, maguey, áloe y pita<sup>2</sup>, siendo *metl* la de voz náhuatl, *maguey* vocablo caribeño. Pero *mexcal* proviene de *Mezcalla* la cual se compone de *Mezcalli* denominada como el aztequismo, *mexcal* a falta de nombre castellano, y de la partícula *la* que expresa abundancia y significa "Donde abunda el mexcal" (2).

Se cree que hace unos 60 millones de años se originaron los primeros agaves sobre la faz de la Tierra. Los cambios climáticos propiciaron la dispersión de este taxón hacia varias regiones y la evolución de nuevas especies se produjo hace unos 30 ó 35 millones de años (2).

La clasificación taxonómica propuesta por Takhtajan en 1980 (5) es:

**División:** *Angiospermae*

**Clase:** *Monocotyledonae*

**Orden:** *Liliales*

**Familia:** *Agavaceae*

**Subfamilia:** *Agavoideae*

**Género:** *Agave*

**Subgéneros:** *Agave* y *Littaea*

<b>Grupo</b>	<b>Número de especies</b>	<b>Ejemplos de especies</b>
<i>Americanae</i>	6	<i>A. americana</i> v. <i>marginata</i>
<i>Campaniflorae</i>	3	<i>A. aurea</i>
<i>Crenatae</i>	6	<i>A. mescal</i>
<i>Deserticolae</i>	10	<i>A. desertii</i> ssp. <i>desertii</i>
<i>Ditepalae</i>	10	<i>A. colorata</i>
<i>Hiemiflorae</i>	12	<i>A. atrovirens</i>
<i>Marmoratae</i>	4	<i>A. nayaritensis</i>
<i>Perryanae</i>	6	<i>A. parryi</i> ssp. <i>neomexicana</i>
<i>Rigidae</i>	12	<i>A. tequilana</i>
<i>Salmianae</i>	5	<i>A. tehuacanensis</i>
<i>Sisalanae</i>	6	<i>A. weberi</i>
<i>Umbelliflorae</i>	2	<i>A. shawii</i> ssp. <i>goldmaniana</i>

(Fig. 13)



-Subgénero: *Littaea*

<b>Grupo</b>	<b>Número de especies</b>	<b>Ejemplo de especies</b>
<i>Amolae</i>	8	<i>A. spicata</i>
<i>Choripetalae</i>	3	<i>A. ellemeetiana</i>
<i>Filiferae</i>	8	<i>A. angustissima</i>
<i>Marginatae</i>	21	<i>A. huehueteca</i>
<i>Parviflorae</i>	4	<i>A. geminiflora v. sonora</i>
<i>Polycephalae</i>	5	<i>A. celsii v. albicans</i>
<i>Striatae</i>	3	<i>A. striata ssp. stricta</i>
<i>Urceolatae</i>	2	<i>A. utahensis ssp. utahensis</i>

En el país se encuentran 136 especies de agave, que representan el 75% del total mundial, de las, cuales 90 especies son endémicas de México y, corresponden al 58% del total mundial (5).



Fig. 13. Imágenes del *A. atrovirens*. Imagen obtenida de la dirección electrónica [:http://www.botanical-online.com/floragaveamericanacatala.htm](http://www.botanical-online.com/floragaveamericanacatala.htm)

Los estados más ricos en número de especies son Oaxaca, Chihuahua, Sonora; Coahuila, Durango y Jalisco

Una de las especies más abundantes en nuestro país es el Agave americana, (Fig. 13):

---

<sup>1</sup>Pita

<sup>2</sup>La definición de pita es: f. Planta vivaz, oriunda de México, de gran tamaño, con hojas o pencas radicales, carnosas y muy grandes (31)

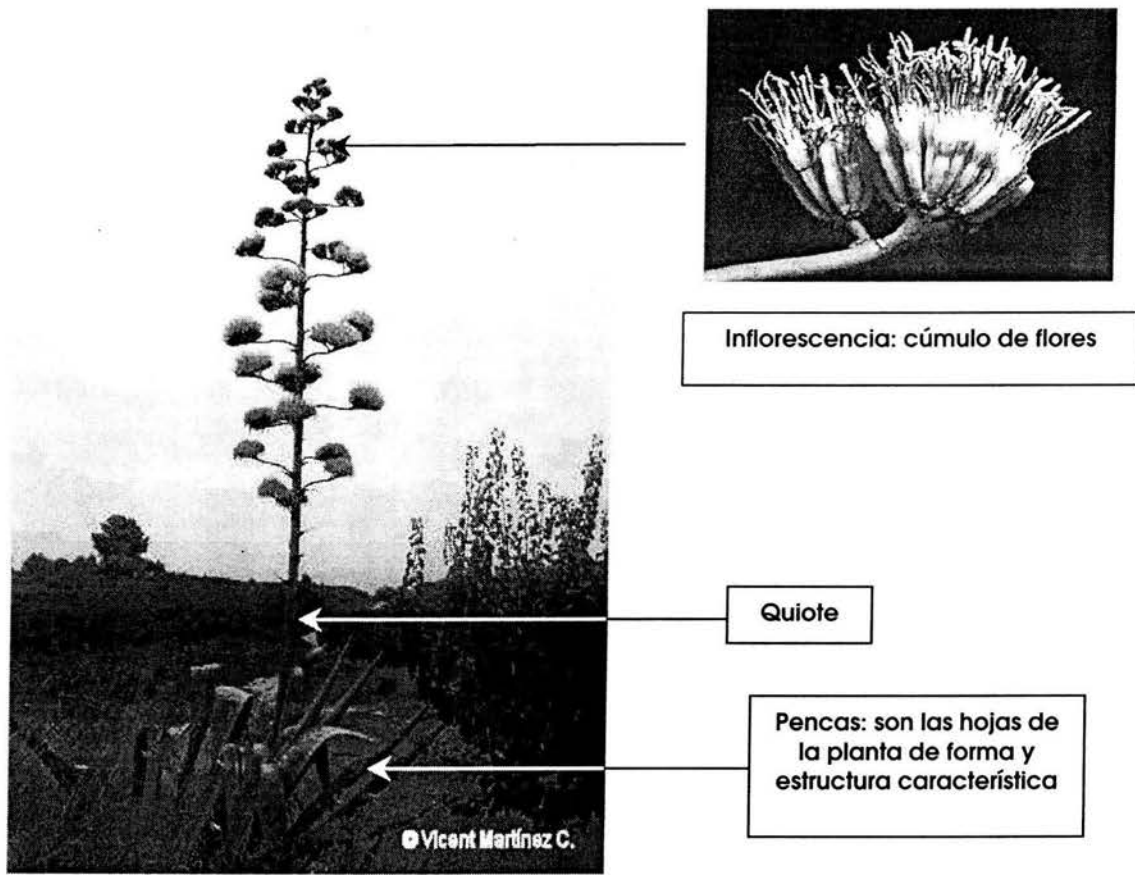


Fig. 14. Imagen del *Agave americana*, en su hábitat y mostrando sus componentes. Imagen obtenida de la dirección electrónica; <http://www.botanical-online.com/floragaveamericanaacatala.htm>

### 1.3. LAS MUESTRAS

En este apartado se mencionan las muestras proporcionadas por el proyecto *El Hombre y sus Recursos en el sur del Valle de Tlaxcala durante el Formativo(300 a.C. – 100 d.C.)*, presentando la procedencia y características, en el primer cuadro se agrupan las que provienen del sitio arqueológico de Nativitas, (Cuadro 1).

Muestra	Capa/Profundidad (cm)	Unidad	Cuadro	Sector	Observaciones
1171	I/ 57-77	T-1	1	S117 E268	Muestra de tierra, interior de horno 1
1172	III/ 77-97	T-1	1	S117 E268	Muestra de tierra, interior de horno 1
1173	III/ 97-113	T-1	1	S117 E268	Muestra de tierra, interior de horno 1
1070	III/ 48-59	T-1	21	S116 E268	Muestra de tierra, interior de horno 1
1079	IV/ 58-64	T-1	21	S116 E268	Muestra de tierra, interior de horno 1
1080	IV/ 64-70	T-1	21	S116 E268	Muestra de tierra, interior de horno 1
4172	II / 10	T-4	14	S114 E263	Boca del horno 2
4184	I-II / 60-70	T-4	14	S114 E263	Interior de horno 2
4265	II/ 95	T-4	14	S114 E263	Interior de horno 2
4421	II/190	T-4	22	S114-115 E263	Interior de horno 3
4432	II/ 220-270	T-4	22	S114-115 E263	Interior de horno 3
4432	II/220	T-4	22	S114-115 E263	Interior de horno 3

Cuadro 1. Muestras provenientes del Sitio Nativitas, Tlaxcala

En el siguiente cuadro se presentan las muestras, colectadas en el estado de Oaxaca por el proyecto *El Hombre y sus Recursos en el sur del Valle de Tlaxcala durante el Formativo(300 a.C. – 100 d.C.)*, y sirvieron para realizar la comparación planteada. (Cuadro 2)

Numero de muestra	Municipio	Población	Uso preferencial del horno	Profundidad (cm)	Muestra
0007	Yautepec	San Carlos Yautepec	Cocción de agave para elaborar mezcal	30-80	Tierra y restos de carbón
0014	Ocotlán	Sta. Catarina de Minas	Cocción de agave para elaborar mezcal	Interior	Carbón de agave
0015	Ocotlán	Sta. Catarina de Minas	Cocción de agave para elaborar mezcal	30-40	Tierra y restos de carbón
0021	San Pedro Nopala	Yosocuno	Cocción de pencas de agave para la obtención de ixtle	20	Tierra y restos de carbón
0022	San Pedro Nopala	Yosocuno	Cocción de pencas de agave para la obtención de ixtle	60	Tierra y restos de carbón

Cuadro 2. Muestras provenientes del Estado de Oaxaca  
También se tomó un carbón de la Ciudad de México, como testigo.

## CAPITULO 2

# *Desarrollo experimental*

## 2.1. DESARROLLO EXPERIMENTAL

El desarrollo experimental abarca tres secciones:

- Microscopía
- Espectroscopia
- Cromatografía

I) Microscopía.

Las técnicas microscópicas que se realizaron fueron las siguientes:

- Fuerza atómica de barrido topográfico (MFA), modo de contacto,
- Estereoscópica de tercera dimensión,
- Electrónica de barrido
  - i. electrones secundarios,
  - ii. retrodispersión

El fin de este tipo de prueba es obtener resultados en el ámbito topográfico y estructural de las muestras que se seleccionaron.

MUESTRAS DE TIERRA



SELECCIÓN DE  
BIOMATERIAL



ESTUDIO POR  
TÉCNICAS  
MICROSCÓPICAS  
(TOPOGRAFÍA  
COMPOSICIÓN  
QUÍMICA)

## II) Espectroscopia

En este apartado se utiliza la técnica de resonancia magnética nuclear de  $^{13}\text{C}$  en estado sólido, para estudiar los residuos orgánicos hallados en la cerámica.



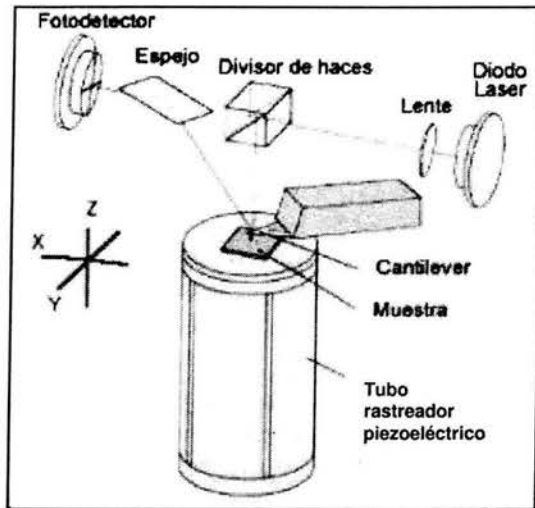
## III) Cromatografía

En esta sección se presenta la técnica de CG/MS (cromatografía de gases acoplada a espectrometría masas), aplicada a las muestras extraídas de tierra, del interior de los hornos seleccionados.



## 2.1. MICROSCOPIA

### Microscopía de fuerza atómica



El principio de esta técnica se basa en realizar un barrido en tres direcciones, (X, Y y Z), sobre la muestra, con un haz de rayos X, esto se lleva a cabo, por medio de un sistema piezoeléctrico, el cual, desplaza la muestra en el plano X,Y. El plano Z es barrido por un microsensar; la señal generada por el barrido de la punta a través del eje Z, corresponde a cada punto de coordenadas (ejes X,Y), cada punto genera una imagen topográfica (tridimensional) de la superficie de la muestra. Fig. 15. (8)

Fig.15. Representación de los componentes principales del microscopio de exploración por sonda, MES. ( 8)

Esta técnica posee las siguientes características:

- Observación fácil y con gran ampliación, en condiciones ambientales;
- Observación directa de muestras no conductivas;
- Medición en la dirección Z (altura);
- Imágenes topográficas de la superficie de muestras pueden ser obtenidas con ampliaciones, a partir de miles de veces, hasta millones de veces; siendo muestras típicas de esta técnica, metales, cerámicas, materiales orgánicos y muestras biológicas, sin la necesidad de tratamientos de preparación, tales como la metalización.

La modalidad utilizada en nuestro caso fue la de contacto.

A continuación se mencionan las ventajas y desventajas de la microscopía de fuerza atómica por modo de contacto:

<b>AFM MODO DE CONTACTO</b>
<b>Ventajas</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Alta velocidad de exploración o barrido.</li><li>• Sólo en modo de contacto pueden obtenerse imágenes de resolución atómica.</li><li>• Las muestras ásperas con cambios extremos en topografía vertical, pueden algunas veces ser exploradas en modo de contacto.</li></ul>
<b>Desventajas</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Las fuerzas laterales pueden distorsionar la hechura de la imagen.</li><li>• Las fuerzas normales de la interacción punta-muestra pueden ser altas en aire debido a las fuerzas de capilaridad desde la capa de fluido adsorbido de la superficie de la muestra.</li><li>• La combinación de fuerzas laterales y altas fuerzas normales pueden resultar en una resolución espacial reducida, y quizá dañen a muestras suaves, como muestras biológicas, polímeros, silicon, debido a las raspaduras entre la punta y la muestra.</li></ul>

### **LAS MUESTRAS:**

La selección de las muestras se realizó en función de la profundidad dentro del horno. La preparación de las muestras se realizó cortando un segmento manualmente, de tal forma que se obtuvieron trozos pequeños y uniformes, de un grosor no mayor a 0.5 cm. Las muestras seleccionadas fueron:

- Carbón arqueológico 1079
- carbón común
- carbón de agave
- agave cocido de Oaxaca

### **EL EQUIPO.**

El equipo utilizado fue un microscopio de Fuerza Atómica, Nanoscope IIIA digital Instruments, con puntas de nitruro de silicio de 0.22  $\mu$ . (Laboratorio de Bioquímica. Instituto de Química. UNAM).

La técnica de microscopía de fuerza atómica, sólo ofreció resultados sobre la topografía de las muestras en estudio. La siguiente técnica de microscopía nos ofrecerá datos sobre la identidad biológica de las muestras de interés.

## **Microscopía estereoscópica de tercera dimensión**

El principio de esta técnica se basa en la inspección detallada de materiales y de objetos pequeños.

Los objetivos en este tipo de microscopios siempre están montados en pares, con el mismo aumento y en la misma montura; el ángulo de los objetivos acrecienta la percepción de la profundidad del ejemplar.

Es importante señalar que los objetivos en este tipo de microscopios no poseen condensador, debido a dos razones fundamentales; la primera se refiere a que los objetivos del microscopio poseen bajas aperturas, y la segunda es relacionada a los ejemplares utilizados, los cuales en su mayoría son cuerpos opacos que no requieren luz transmitida.

El tren óptico del equipo consiste de dos oculares independientes, cada uno de ellos tiene su objetivo propio, así que al observar un objeto se logra una imagen por dos ambos oculares, favoreciendo la estereoscopia.

El microscopio posee juegos de prismas, en cada juego óptico, que tienen la función de darle la vuelta a la imagen para que el objeto se vea tal como es, en lugar de verse invertido como en el caso de un microscopio convencional (9).

Este microscopio está diseñado para proporcionar la tercera dimensión de un objeto, es decir, que pueda observarse su profundidad, así como las otras dos dimensiones. Los objetos que son muy pequeños, pueden verse desde 6 a 150 diámetros (Fig.16).

Una de las grandes ventajas de esta técnica, es que no se requieren preparaciones complicadas para ejemplares biológicos y prácticamente se puede observar casi cualquier tipo de material (9).



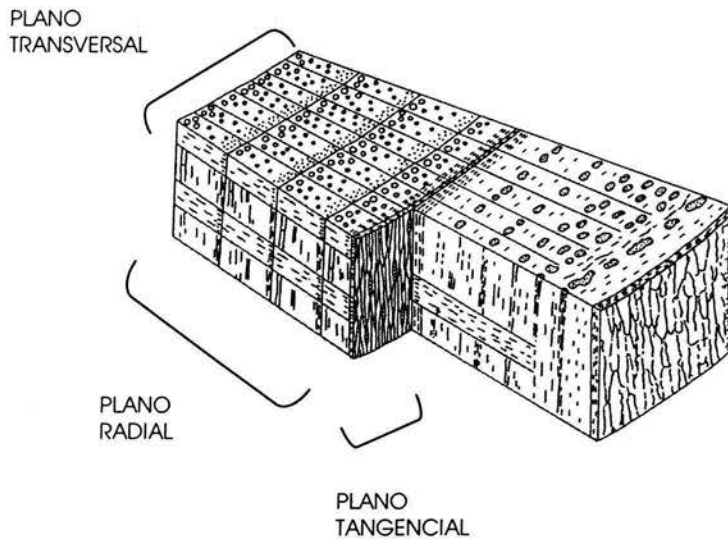


Fig. 16. Representación esquemática tridimensional, del tejido vascular y peridermo de una conífera, mostrando las relaciones espaciales de los cortes o planos radial, transversal y tangencial, para su observación por microscopio estereoscópico o electrónico. (Tomado de Sjoström, 1981) (10)

### LAS MUESTRAS:

Para esta técnica se realizó, una revisión de todas las muestras de carbón. Algunas no pudieron ser observadas por las condiciones que presentaban, como el tamaño o por el grado de conservación, lo que facilitaba su fractura.

Para que las muestras puedan ser estudiadas con esta técnica, éstas deben tener un tamaño aproximado de 0.5 cm<sup>3</sup> como mínimo, presentando tres planos de observación; que son el tangencial, longitudinal y radial (Fig. 16).

La preparación de las muestras fue:

Primero se realizó una evaluación de las muestras, en función del tamaño, las demasiado pequeñas no fueron incluidas.

Después se trató de realizar de forma manual, alguno o todos los cortes ya mencionados.

Esta fase abarcó la determinación de la identidad botánica de la muestra de carbón en estudio.

Se observaron todos los trozos de carbón contenidos en las muestras de tierra recibidas y se descartaron las que no podían ser manipuladas.

En la segunda fase de la observación solo se concretó a muestras seleccionadas de la primera fase, a las que se les pudo someter a los tres cortes y lograr observar sus estructuras básicas.

Dichas muestras fueron:

MUESTRA	PROCEDENCIA
1173	Arqueológica Horno-1
4173	Arqueológica Horno-2
MCOMUN	Actual (D.F)
0014	Actual Horno-Sta. Catarina de Minas
MCHO	Actual Horno-Sta. Catarina de Minas
Agave Cocido	Actual (Oaxaca)

## EL EQUIPO.

El equipo utilizado fue un microscopio estereoscópico de tercera dimensión Olympus S7-STU1.

(Laboratorio de Paleoetnobotánica y Paleoambiente. Instituto de Investigaciones Antropológicas, UNAM).

La técnica de microscopía estereoscópica, proporcionó datos sobre la anatomía de las muestras, lo que ayudó a determinar la identidad biológica de éstas. Con la siguiente técnica se logró obtener imágenes amplificadas de las muestras seleccionadas.

## Microscopia electrónica de barrido:

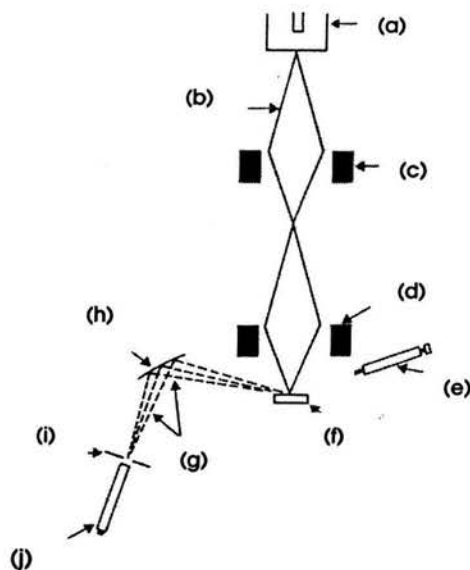


Fig. 17. Representación esquemática de los componentes principales de un microscopio electrónico de barrido, con un detector de rayos-X-WD (13)

- (a). Cañón de electrones.
  - (b). Haz de electrones.
  - (c). Lentes objetivo, magnéticos.
  - (d). Lente condensadora, magnéticos
  - (e). Microscopio óptico.
  - (f). Muestra.
  - (g). Rayos x secundarios.
  - (h). Cristal curvado.
  - (i). Rendija.
  - (j). Detector de Rayos-X.
- (Tomado de Pollard y Heron, 1996)

El principio del microscopio electrónico se basa en la interacción del haz electrónico con el espécimen, causando la generación de varias señales; las que pueden ser usadas para modular la intensidad del tubo de rayos catódicos y producir una imagen. (Fig.17)

Así mismo, éstas señales, generadas simultáneamente se deben a las interacciones entre los electrones y la muestra; dichas interacciones proporcionan información sobre la composición química de la muestra, su topografía y características cristalográficas, los procesos resultantes de éstas interacciones se conocen como:

- Procesos de dispersión elásticos
- Procesos de dispersión inelásticos

Los primeros, afectan las trayectorias del haz de electrones al interior de la muestra, sin alterar la energía cinética de éstos, como en el caso de los electrones retrodispersados.

En el caso de los procesos de dispersión inelásticos, éstos ofrecen como resultado una transferencia de energía del haz de electrones a los átomos de la muestra, dando lugar a la generación de electrones secundarios, electrones Auger, rayos x característicos, vibraciones de la red cristalina, fotones y otros (Fig 18).

Los electrones secundarios son los arrancados de la superficie de la muestra durante la interacción inelástica de los electrones del haz incidente sobre la superficie de la muestra, de tal forma que son todos aquellos electrones emitidos por la muestra con energías

menores a 50 eV, ésta es la principal modalidad en microscopia electrónica de barrido para producir imágenes topográficas.

Mientras que los electrones retrodispersados, son los que pertenecen al haz electrónico que incide sobre la muestra y que, posteriormente emerge de ella, de tal forma que la retrodispersión es un evento de dispersión elástica en el cual la trayectoria del electrón es modificada por más de 90° con respecto a la dirección de incidencia. Así, el electrón dispersado se propaga hacia atrás dentro del mismo hemisferio que contiene al haz incidente.

Los electrones retrodispersados ofrecen información sobre la composición química de la muestra. Pero ambas modalidades pueden ser usadas para producir imágenes. (Fig. 18)

Ambas modalidades de señales son colectadas por un detector de electrones Everhart-Thornley, (E-T) (11 y 12).

Todos los electrones que entran al detector Everhart-Thornley son acelerados por un voltaje de +12 kV; así, con esta energía los electrones secundarios golpean al material del centellador produciendo luz, la cual se canaliza a través de una guía hacia el tubo del fotomultiplicador, el cual convierte la luz en una señal eléctrica ampliada.

Sin embargo, los electrones retrodispersados emiten en otras direcciones, éstos son dirigidos por el detector para obtener la información de composición química.

Las variaciones en la señal ocurren debido al movimiento del haz sobre la superficie de la muestra, lo cual produce cambios de intensidad, que pueden ser observados en el monitor como una imagen (12).

El microscopio electrónico de barrido, es un instrumento utilizado para el análisis y caracterización de las propiedades estructurales de objetos sólidos; así mismo, está diseñado para la determinación de la morfología superficial y para la obtención de imágenes relacionadas con la topografía y la composición química de la superficie analizada.

Entre las ventajas que se pueden enunciar de este equipo, se tienen:

- Pueden obtenerse imágenes de alta resolución de la superficie de objetos sólidos;
- Se pueden realizar análisis de estructuras de muestras biológicas.
- Posee una gran profundidad de foco, esto permite enfocar superficies en relieve, lo que facilita la obtención de imágenes tridimensionales;
- También existe la posibilidad de obtener imágenes a partir de electrones secundarios y de electrones retrodispersados, dando la posibilidad de tener información topográfica y composicional de la muestra, con sólo cambiar de detector.

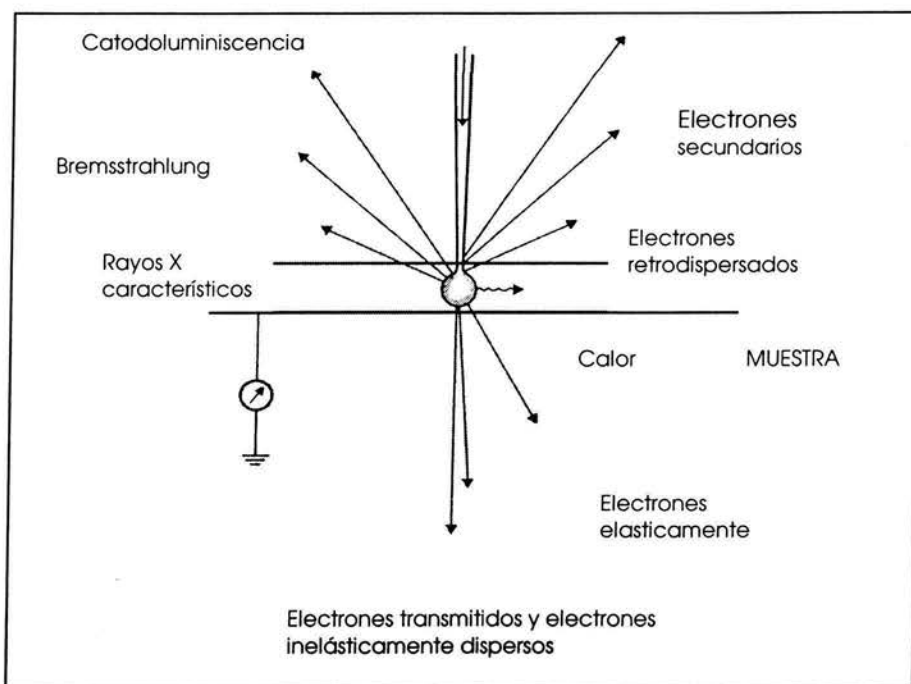


Fig 18. Representación de las señales generadas en el microscopio electrónico de barrido, obtenida del libro *Archeological Chemistry* by Mark Pollard and Carl Heron. American Chemistry Society. Capítulo 2

### LAS MUESTRAS

En este caso a la selección original de muestras de carbón se incluyeron dos muestras de cerámica para su observación topográfica y análisis, esto último con el objetivo de conocer la composición química de los residuos impregnados en las muestras de cerámica.

Las muestras adicionales fueron las siguientes:

- 1081-C (Cerámica de Tlaxcala)
- CEROAX (Cerámica de Oaxaca).

En éste apartado de microscopía electrónica de barrido, se utilizó la modalidad de electrones secundarios, que ofrece resultados de tipo topográfico.

En este caso, a las muestras seleccionadas, se les aplicó un recubrimiento de oro, para posteriormente ser introducidas a la cámara de vacío del microscopio, ( $\sim 10^{-5}$  Torr); y finalmente ser observadas.

### EL EQUIPO

El equipo que se usó para recubrir las muestras fue un JEOL Fine Coat Ion Sputter JFC-1100, con láminas de oro sólido 0.025mm Aldrich.

El equipo utilizado fue el Microscopio Electrónico de Barrido Cambridge Leica modelo Stereoscan 440, con un detector Oxford Link Pentafet de estado sólido. Utiliza el software Link ISIS Oxford 1.04 A., (para las muestras de cerámica y agave).

También se utilizó el Microscopio de Barrido Jeol JSM T20 y rollos Kodak TMAX 1200, para las muestras de carbón y agave seleccionadas.

(Instituto de Investigaciones en Materiales, UNAM)

En la siguiente sección se mencionan las técnicas de espectroscopía que se llevaron a cabo, con la finalidad de obtener; en el caso del análisis cualitativo por microscopía

electrónica, la composición elemental de las muestras de carbón y de cerámica seleccionadas. Y en la sección de resonancia magnética nuclear de  $^{13}\text{C}$  el estudio que se aplicó a las muestras extraídas de cerámica, con el objetivo de determinar la posible de gradación de los compuestos presentes en las mismas.

## **2.2. ESPECTROSCOPIA**

### **Análisis cualitativo por microscopía electrónica de barrido**

El análisis químico en el microscopio electrónico de barrido, se realiza midiendo la energía y la distribución de las intensidades de las señales de rayos x generadas por el haz de electrones, el cual previamente, se hace incidir sobre un área de la superficie de la muestra, del orden de  $1\mu^2$ .

El propósito principal del microanálisis es realizar un análisis químico que puede ofrecer dos alternativas de análisis composicional;

- Cualitativo
- Cuantitativo

En el análisis cualitativo, el haz de electrones se hace incidir sobre la superficie de la muestra, los átomos de cada uno de los elementos químicos presentes en ésta, emiten un espectro característico de rayos x, dando como resultado un espectro combinado, el que puede ser analizado para determinar la presencia de todos y cada uno de los elementos químicos en la muestra.

En el caso del análisis cuantitativo, se determina la cantidad de cada uno de los elementos, previamente ya identificados, comparando las intensidades de los rayos x provenientes de la muestra, con las intensidades de una muestra patrón.

El espectro de rayos x emitidos por un material sobre el cual se hace incidir un haz de electrones acelerados, se origina en su mayor parte por las interacciones inelásticas entre los electrones incidentes y los átomos del material (12).

### **LAS MUESTRAS**

Las muestras utilizadas fueron las de carbón y de cerámica:

Muestras arqueológicas; 1079, 1080, 1081  
Carbón Actual de agave; 001  
Carbón de madera común; CC  
Carbón usado como combustible en hornos de Oaxaca; CHOAX  
Cerámica de Tlaxcala; 1081-C  
Cerámica de Oaxaca; CEROAX  
AGAVE

Estas muestras pertenecen al primer ensayo que se realizó en el microscopio electrónico de barrido, por lo que sólo la muestra de agave se recubrió con oro, después de someterla a deshidratación.

### EL EQUIPO

El equipo utilizado fue el Microscopio Electrónico de Barrido Cambridge Leica modelo Stereoscan 440, con un detector Oxford Link Pentafet de estado sólido. Utiliza el software Link ISIS Oxford 1.04 A.

( Instituto de Investigaciones en Materiales, UNAM)

Con esta técnica se concluyó el estudio estructural y composicional de las muestras de carbón seleccionadas.

## Resonancia magnética nuclear de $^{13}\text{C}$ en estado sólido.

El fundamento de la resonancia magnética nuclear, se basa en someter a una muestra que posea núcleos atómicos con momento magnético, dentro de un campo electromagnético externo (Fig. 19 )

Las dos orientaciones isoenergéticas de los núcleos dejan de estar degeneradas y cuanto mayor es el campo, mayor es la diferencia de energía entre las dos orientaciones (Fig. 20).

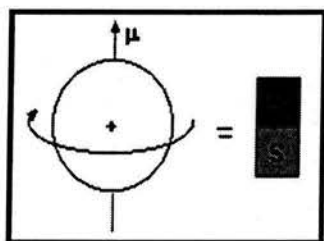


Fig. 19. Representación del movimiento y orientación de un spin

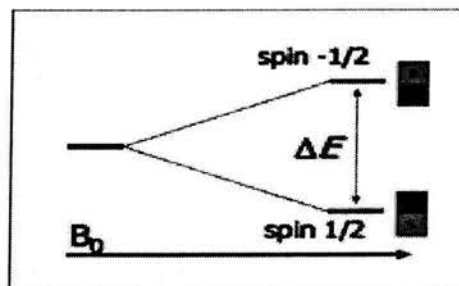


Fig. 20. Representación de la diferencia energética entre las dos orientaciones de los spines en un núcleo

Este comportamiento energético provoca una pequeña diferencia de poblaciones gobernada por la ley de distribución de Boltzmann.

Cuando la energía asociada a la radiofrecuencia de irradiación coincide con la de transición entre los dos niveles, se produce una absorción dando como resultado una línea en un espectro rmn relacionado a una radiofrecuencia que alteró la orientación en la población de los spines de un núcleo determinado.

Es importante mencionar que la frecuencia de resonancia depende del campo magnético del imán y de una constante propia de cada núcleo, la constante giromagnética  $g$ .

El estudio de espectroscopia que se realizó fue el de resonancia magnética nuclear de  $^{13}\text{C}$  en estado sólido (RMN  $^{13}\text{C}$  polarización cruzada y spin mágico).

Esta técnica ofrece información sobre el tipo de carbón asociado al desplazamiento químico y en casos muy especiales la estructura del compuesto, aunque en este tipo de muestras son de difícil determinación por la complejidad que denota el residuo orgánico impregnado.

En esta sección, se mencionarán los análisis realizados a las muestras extraídas de cerámica, las cuales poseen la característica, de que se encuentran impregnadas de residuos orgánicos, dilucidado gracias a la técnica de microscopía electrónica en su modalidad de retrodispersión.

Uno de los planteamientos que maneja el arqueólogo Samuel Hernández en su trabajo de tesis, (1), se refiere a que los residuos orgánicos impregnados en la cerámica arqueológica, pertenecen probablemente a líquidos fermentados de la planta de agave expuestos a altas temperaturas, esto probablemente en la fase de la destilación para obtener mezcal. De tal forma, que se realizó la comparación con el residuo orgánico que se encuentra en la cerámica actual, proveniente del estado de Oaxaca.

Muchas veces es posible realizar espectros de RMN de  $^{13}\text{C}$  en estado sólido y obtener otro tipo de información, esto se realiza haciendo comparaciones entre una muestra arqueológica y una similar más actual; el resultado que se puede obtener, es la variación en la composición asociada a los núcleos de carbono en la estructura y la posible modificación de una sustancia a través del tiempo (14,15,16,17).

### **LAS MUESTRAS**

Las muestras estudiadas fueron, residuos orgánicos impregnados en matrices cerámicas, una de las muestras proviene del horno arqueológico numerado como 1, al cual, se le denominó como la muestra de cerámica arqueológica 1081-C.

La muestra actual es procedente del estado de Oaxaca, y era utilizada en el proceso de destilación para la elaboración de mezcal.

Las muestras fueron tratadas de la siguiente forma; en el caso de la muestra arqueológica, el residuo orgánico impregnado en la matriz cerámica, se sometió a extracción en un soxlet, utilizando acetato de etilo como disolvente, a una temperatura de  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ , después de 30 minutos se retiró el disolvente por medio de un rotavapor. Si la cantidad de muestra extraída no era suficiente se repetía el proceso con más material cerámico, hasta llegar a la cantidad de 0.2 gramos aproximadamente.

Lo mismo se aplicó a la muestra de cerámica de Oaxaca, pero no fue el mejor método, ya que el extracto se caramelizaba y resultó difícil su tratamiento; así que, se raspó el residuo orgánico (el cual tenía un aspecto de caramelo sólido, de tono muy oscuro, adherido a la pieza de cerámica), esta muestra tuvo la ventaja de ser cuantiosa, lo que facilitó su manipulación. Después de aislarla de la matriz cerámica, se le sometió a lavados con hexano, para retirar impurezas. Finalmente se seco al vacío, al igual que la muestra arqueológica extraída.

Después de este tratamiento, se corrieron bajo la técnica de ángulo mágico simple-polarización cruzada con las siglas en inglés de CP-MAS (Cross polarization-magic angle simple) a  $75\text{ MHz}$ , en estado sólido.

## **EL EQUIPO**

El equipo usado fue un Varian Unity 300.  
(Instituto de Química, UNAM)

En la siguiente sección se aplicó la técnica de cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas, con la finalidad de determinar el tipo de compuestos que se extrajeron de las muestras de tierra del interior de los hornos 1 del sitio Nativitas y del horno 5 de San Carlos Yautepec para compararlos entre sí.

## **2.3. CROMATOGRAFIA**

Con esta técnica se buscó determinar la composición de los extractos orgánicos de las muestras de tierra, donde se localizaron los indicios de escurrimientos de líquidos, que pueden provenir de la cocción de agave

También es importante esta sección, por que en ella se compararon los componentes principales de las muestras actuales con las arqueológicas y con este hecho se podrá sugerir, si el origen de los residuos estudiados, son de origen animal o vegetal (14,16, 18,19,20,21).

La técnica utilizada es cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas, conocida por sus siglas como CG/MS en su modalidad de impacto electrónico.

### **LAS MUESTRAS**

Las muestras que se analizaran por esta técnica fueron las siguientes;

- Muestra arqueológica:

HORNO 1. Muestra paleomagnética, fragmento de tepetate del fondo del horno, profundidad 126 cm. (S116 E268, Capa III, Cuadro 21).

- Muestra actual:

0007. Muestra tierra, de horno destinado a la cocción de agave, con una profundidad de 30-80 cm.

El tratamiento de las muestras se realizó de la siguiente forma; para poder obtenerse una muestra muy concentrada, se redujo el volumen de los disolventes y se conservó la cantidad de la muestra a extraer. Se pesaron 10 gramos de muestra (matriz cerámica), se añadió 15 mililitros de una mezcla de diclorometano-metanol en una proporción 2:1, respectivamente, en un sistema de reflujo por treinta minutos (18,19,20).



Después de este tiempo, se filtró a vacío, para retirar impurezas; posteriormente se retiró la fase acuosa y se evaporó el disolvente orgánico. Si es necesario se realizan lavados de hexano del sólido obtenido (18,19,20).

#### **EL EQUIPO**

Las muestras se analizaron en un cromatógrafo de gases HP5890 Serie II acoplado a un Espectrómetro de Masas, Jeol SX-102A (doble sector, geometría inversa), en columna de sílice fundida, HP-5MS (5% de fenil metilpolisiloxano), con longitud de 30 m, d.i. 0.25 mm y espesor de película 0.25  $\mu\text{m}$ . La fase móvil fue Helio (Praxair, grado 5.0 ultra alta pureza).

(USAI, Facultad de Química, UNAM)

## *CAPITULO 3*

# *Resultados*

### 3.1. MICROSCOPIA

#### Microscopia de fuerza atómica de barrido topográfico, (MFA).

A continuación se mostraran las imágenes de las microscopias obtenidas por MFA, en el siguiente orden, muestra arqueológica, muestra actual de carbón común, muestra actual de carbón de agave y muestra de agave cocido (Fig. 21a, 21b, 21c, 21d).

Es necesario mencionar que las imágenes no fueron obtenidas en la misma escala, ya que sólo se comparó la topografía de las muestras.

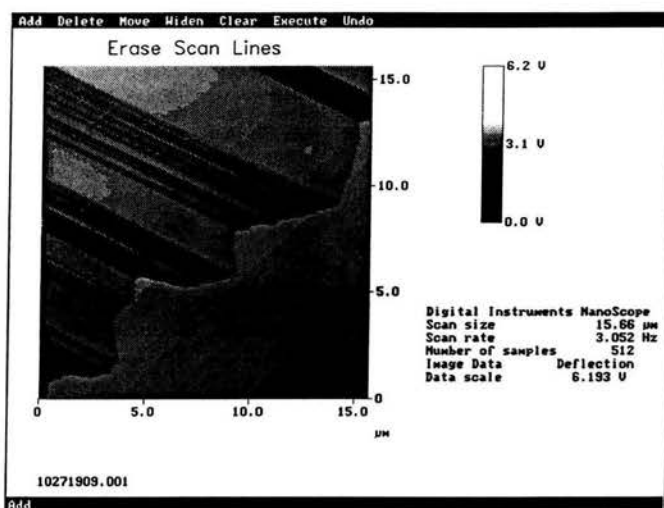


Fig. 21a. Muestra arqueológica de carbón (1079), adquirida en un área de barrido 15X15  $\mu\text{m}$ .

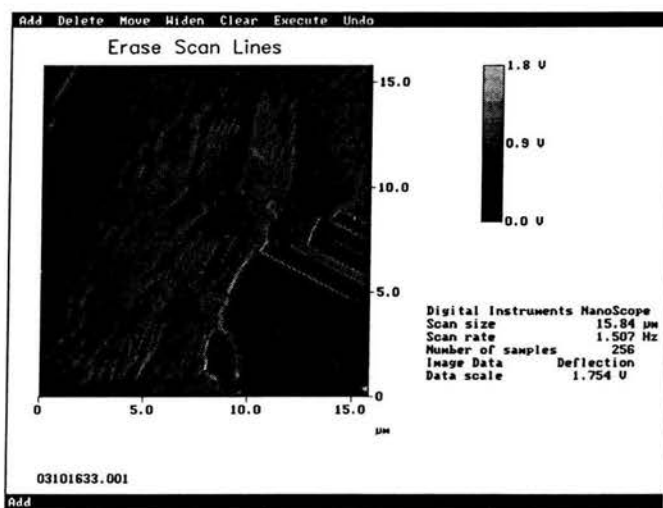


Fig. 21b. Muestra de carbón común, adquirida en un área de barrido 15X15  $\mu\text{m}$ .

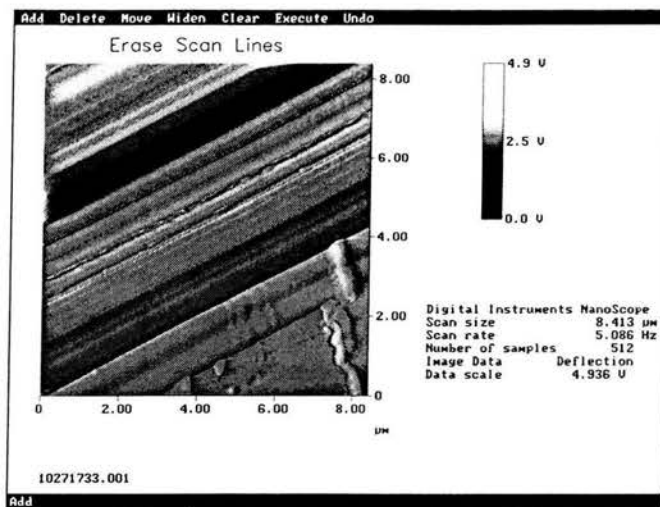


Fig. 21c. Muestra de carbón de agave, adquirida en un área de barrido 8X8  $\mu\text{m}$ .

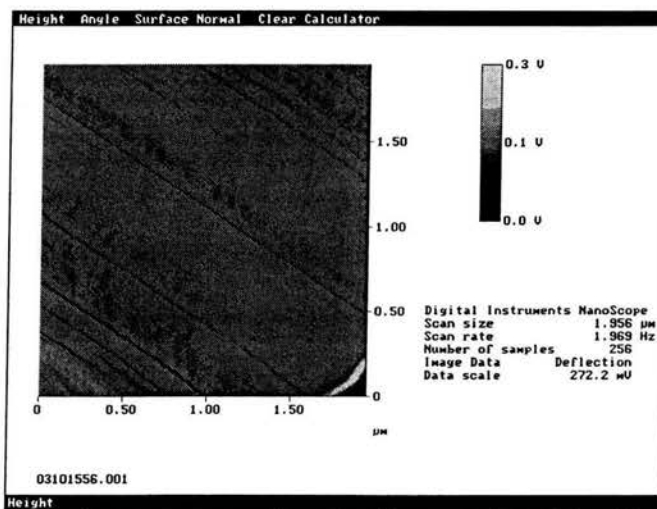


Fig. 21d. Muestra de agave cocido, adquirida en un área de barrido 2X2  $\mu\text{m}$ .

En esta sección, se muestra la primera comparación de ámbito topográfico que se llevó a cabo, esta técnica se consideró como un estudio preliminar, y sirvió también para observar si existían diferencias o similitudes con las muestras seleccionadas.

Se puede observar que en las imágenes obtenidas de las cuatro muestras estudiadas, existen zonas similares en la apariencia de fibras, las cuales que un patrón característico.

Tanto en la muestra arqueológica 1079 (Fig. 21a) como la muestra de carbón común, (Fig. 21b), existen zonas que son muy parecidas, aunque en ambas imágenes se presentan alteraciones de orden topográfico, debido a la preparación de las muestras y las características que en sí mismas presentaban; ya que la muestra arqueológica tiene menor dureza que la actual de carbón común.

Lo que se observa como superficie plana en la muestra de carbón común es la zona que no pudo ser cortada para su estudio.

Es necesario recalcar que se presentan patrones lineales, interrumpidos por zonas planas, que puede observarse mejor en la figura 21a; en comparación con la figura 21b; un comportamiento similar, se puede observar en la esquina inferior derecha de la imagen.

En el caso de las muestras de carbón de agave (Fig. 21c) y de agave cocido (Fig. 21d), el barrido se pudo realizar en superficies menores, lo que permite observar la similitud entre ellas; a diferencia de las dos primeras imágenes, en las figuras 21c y 21d se observa que la topografía sigue un patrón lineal continuo, determinado por picos y valles, además, se logra distinguir que en la superficie de la muestra de carbón de agave (Fig. 21c), se presentan estructuras, vistas como elevaciones, que atraviesan la secuencia lineal de la superficie de la muestra.

Los espacios más oscuros, los que pueden ser hendiduras o separaciones entre las secuencias lineales, se han denotado como valles. Mientras que las zonas más claras se pueden interpretar como picos (22). La muestra presentó variaciones abruptas en la altura de los picos que impedían el barrido del microsensar lo que obstaculizó las mediciones de las distancias entre valles.

Otro punto a mencionar, en la imagen de la figura 21c se observan valles más oscuros en comparación con los valles de menor intensidad de la figura 21d; esto puede deberse a que la muestra de la figura 21c, está totalmente deshidratada y carbonizada, por lo que su morfología ha sido alterada, al punto de que el espacio entre fibras aumentó de forma considerable; mientras que en la muestra 21d, la cual se secó gradualmente logró, conservar totalmente su topografía.

La técnica de microscopía de fuerza atómica nos proporcionó un aspecto topográfico de forma general, de las muestras en estudio; lo que nos condujo a realizar otro estudio por microscopía estereoscópica para determinar la morfología y el origen botánico de las muestras en estudio.

### **Microscopia estereoscópica de tercera dimensión.**

Con esta técnica, se realizó un estudio de la estructura de las muestras botánicas para determinar su anatomía e identidad botánica. Esto se realiza observando y clasificando cada una de las estructuras por tamaño, forma y función.

Dicho estudio se realizó en tres fases, la primera fue seleccionar las muestras de tierra del interior de los hornos, que contenían trozos de carbón.

La siguiente fase es observar y determinar la identidad botánica de cada uno de los trozos de carbón presentes en las muestras de tierra; se obtuvieron los siguientes resultados:

MUESTRA	ORIGEN	IDENTIDAD BOTÁNICA	OBSERVACIONES
1172	Arqueológica Horno 1	<i>Cupresaceae</i>	
1173	Arqueológica Horno 1	Material parenquimatoso	Material amorfo, no es madera
		<i>Gimnospermae</i>	Se le pudo observar por vista

			longitudinal y radial. Madera, no es pino
		<i>Pinaceae</i>	Caracterización por vista tangencial, se logran ver los canales de resina
		<i>Gimnospermae</i>	Se le hizo corte tangencial. Se observaron los radios y no presenta canales de resina.
		No definida. (Puede ser angiosperma)	Parece rama o raíz, presentó vasos muy dilatados por la carbonización
1079	Arqueológica Horno 1	<i>Pinaceae</i>	Pino
1080	Arqueológica Horno 1	<i>Abies</i> -Tal ves Oyamel-	Trozos muy pequeños, se observaron por vista tangencial y logitudinal.l
		<i>Pinaceae</i>	Presenta canales de resina
4172	Arqueológica Horno 2	<i>Pinaceae</i>	Pino
4180	Arqueológica Horno 2	<i>Pinaceae</i>	Pino
4184	Arqueológica Horno 2	<i>Pinaceae</i>	Vista tangencial. El material se encuentra muy carbonizado, pero se logran distinguir los usos, (canales de resina).
	Arqueológica Horno 2	<i>Angiospermae</i> ( <i>Quercus</i> -Encino)	Fragmentos muy carbonizados, se logran distinguir los vasos, la estructura esta muy deteriorada.
4421	Arqueológica Horno 3	<i>Gimnospermae</i> (Familia <i>Cupressaceae</i> , posiblemente sabino o cedro)	Madera, trozos menores a 0.5 cm
	Arqueológica Horno 3	<i>Angiospermae</i> (Familia <i>Fagaceae</i> )	Se observan los vasos y el parénquima
4422	Arqueológica Horno 3	Probablemente monocotiledónea	Sólo se observa parénquima
	Arqueológica Horno 3	Pino	Corte tangencial, se pueden ver las traqueidas
	Arqueológica Horno 3	<i>Angiospermae</i> (arbusto)	Se pueden ver los vasos.
4432	Arqueológica Horno 3	<i>Angiospermae</i> ( <i>Quercus</i> -Encino)	Vista tangencial y longitudinal

	Arqueológica Horno III	No determinado	Material de aspecto esponjoso, carbonizado. Proveniente de resina o almidón.
	Arqueológica Horno 3	Pino	Vista tangencial

MUESTRA	ORIGEN	IDENTIDAD BOTÁNICA	OBSERVACIONES
007	Actual -Oaxaca-	<i>Quercus</i>	Trozo de rama, presenta dorsoventralidad. No esta carbonizado.
014	Actual -Oaxaca	Agave	Vista tangencial, y transversal, se observó la presencia de cristales inmersos en la matriz vegetal
015	Actual -Oaxaca	<i>Prosopis</i> -leguminosa-	Vista tangencial. Se logran ver las tñlides, que se forman en los vasos, cuando éstos se hacen viejos
021	Actual -Oaxaca	<i>Quercus</i> -Encino-	
	Actual -Oaxaca	Probablemente nopal	
	Actual -Oaxaca	Angiospermas -arbusto-	Se observan muchos poros, engrosamientos en espiral.
022	Actual -Oaxaca	<i>Quercus</i> -Encino-	Radios multiseriados (muy grandes, de parénquima), lugar para tñlides (sustancias de reserva)
	Actual -Oaxaca	<i>Angiospermae</i>	Estructura muy deteriorada por la exposición a la carbonización, las paredes celulares se fusionaron.
	Actual -Oaxaca	Posiblemente monocotiledónea	
CCHO	Actual Combustible de horno Oaxaca	Leguminosae -Prosopis-	Vistas tangencial, transversal. y radial. Se observan gran cantidad de parénquima, vasos y radios mulseriados.
Carbón común	Actual (D.F.)	Encino	

De esta fase se seleccionaron las muestras con los mejores fragmentos en tamaño para poder realizar los cortes y caracterizar y comparar las estructuras fundamentales de dichas muestras. Se busca obtener cortes de los cuales se obtengan las vistas transversal, tangencial y radial, tal como puede observarse en el esquema de la sección 2.1. (Fig. 18).

Los muestras seleccionadas para la tercera fase, fueron las siguientes:

MUESTRA	ORIGEN
1173	Arqueológica Horno-1
4173	Arqueológica Horno-2
MCOMUN	Actual (D.F)
0014	Actual Horno-Sta. Catarina de Minas
MCHO	Actual Horno-Sta. Catarina de Minas
Agave Cocido	Actual (Oaxaca)

Estas muestras se prepararon para ser observadas por microscopia electrónica.

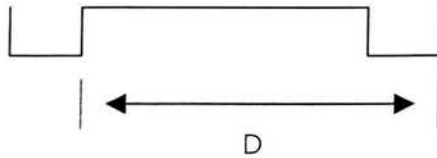
Con esta sección se observó la anatomía de cada una de las muestras de carbón y en la mayoría de las muestras estudiadas se logró determinar la identidad botánica de éstas, con la siguiente técnica, se pudo tener un mayor detalle estructural de las muestras seleccionadas para la comparación.



## Microscopia electrónica de barrido, (MEB).

En la modalidad de electrones secundarios, se obtiene el detalle de la topografía de la muestra, es así que cuando se hace incidir el haz de electrones sobre un área determinada de la superficie de la muestra en cuestión, los electrones de la superficie son arrancados de ésta, los cuales son utilizados para generar la imagen.

Las magnificaciones utilizadas se muestran en la siguiente tabla:



Distancia	Magnificación
1000 $\mu\text{m}$	X35
	X50
	X75
	X100
100 $\mu\text{m}$	X150
	X200
	X350
	X500
	X750
10 $\mu\text{m}$	X1000
	X1500
	X2000
	X3500
	X5000
	X7500
	X10000

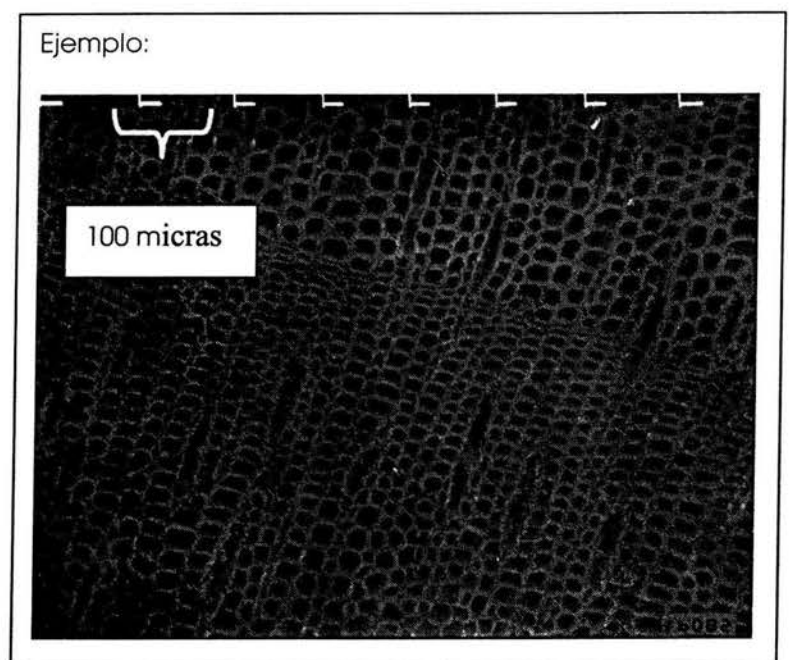


Fig. 22

En el ejemplo anterior se presenta un imagen tomada por microscopía electrónica de barrido a una magnificación de X150, observando los datos de la tabla, se observa que corresponde a una distancia de 100 micras.

Los imágenes obtenidas por esta técnica se muestran a continuación, en el orden sucesivo de corte transversal, corte tangencial y corte radial. Fig. 23-28.

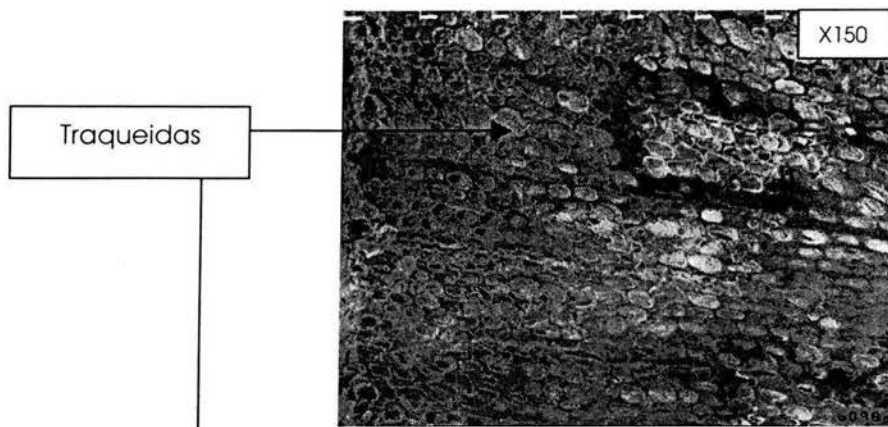


Fig. 23a. Muestra arqueológica de carbón (1173), perteneciente al Horno 1. Corte transversal, donde puede observarse las traqueidas, un tanto ya deteriorado debido a la carbonización y a la compresión del material. Esta muestra pertenece a una gimnosperma.

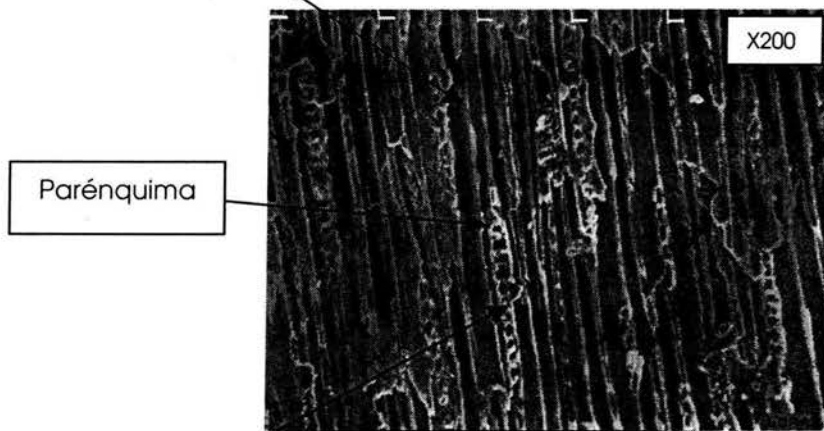
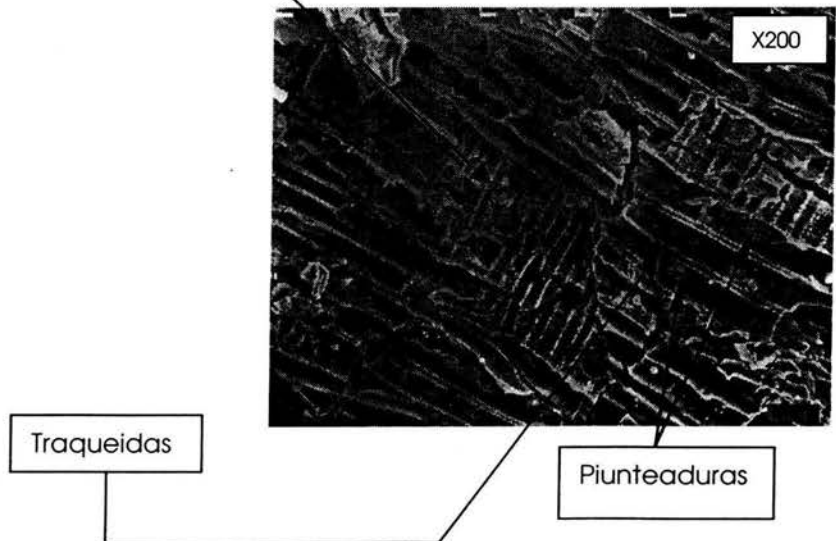


Fig. 23b. Corte tangencial, de dicha muestra, pueden observarse, las estructuras denominadas radios, los cuales son uniseriados y sirven como conductores de resina. Estas estructuras están rodeados por traqueidas.



Fig. 23c. Corte radial. Se puede observar a los radios seccionados como las líneas entrecruzadas, a forma de cuadrícula. Las estructuras que poseen los orificios circulares se les denominan traqueidas, mientras que los orificios se conocen como punteaduras y son conductos de intercambio de nutrientes entre las células de la planta.



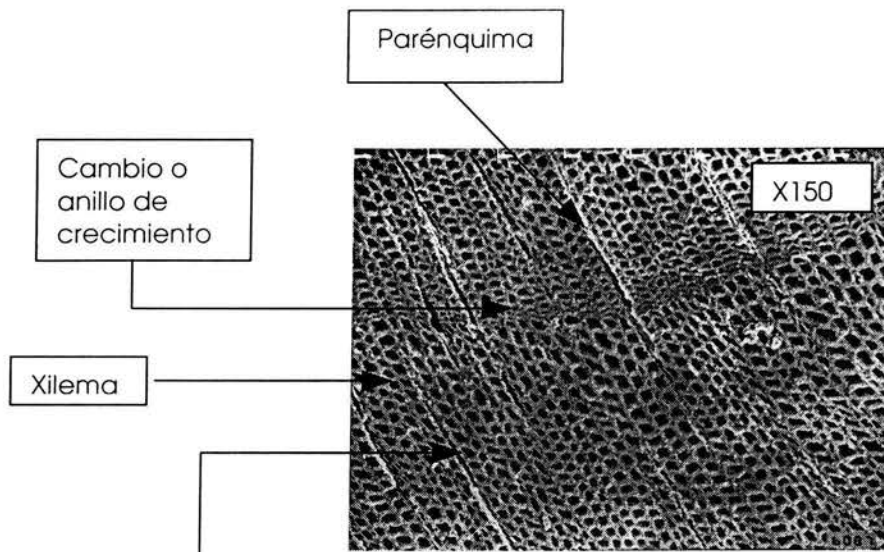


Fig. 24a. Muestra arqueológica de carbón (4172), perteneciente al Horno 2. Se le realizó un corte transversal. Es una muestra identificada como pino. Puede observarse el cambio de madera tardía a temprana y también se identifican las estructuras de xilema y los radios.

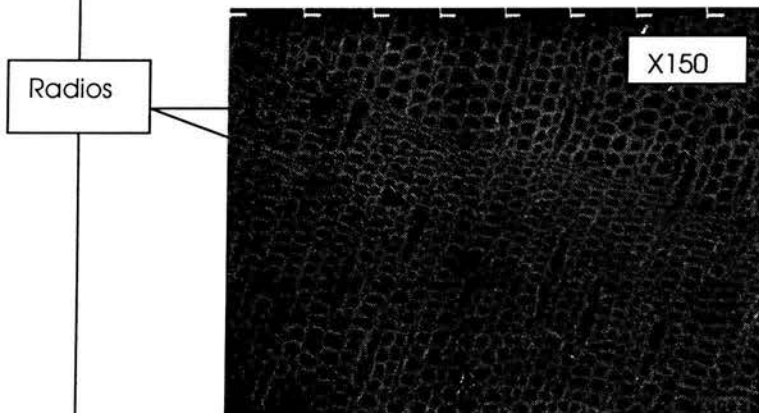


Fig. 24b. Corte transversal.

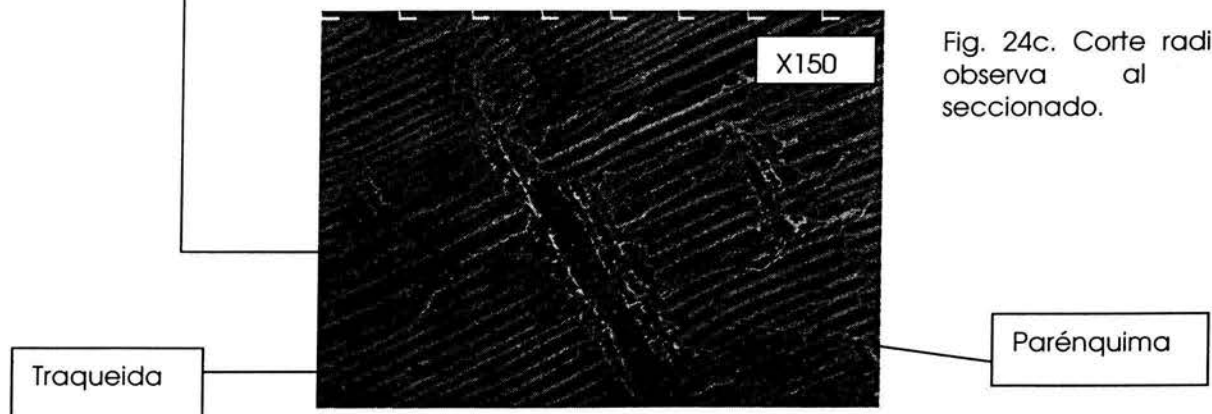


Fig. 24c. Corte radial. Se observa al radio seccionado.

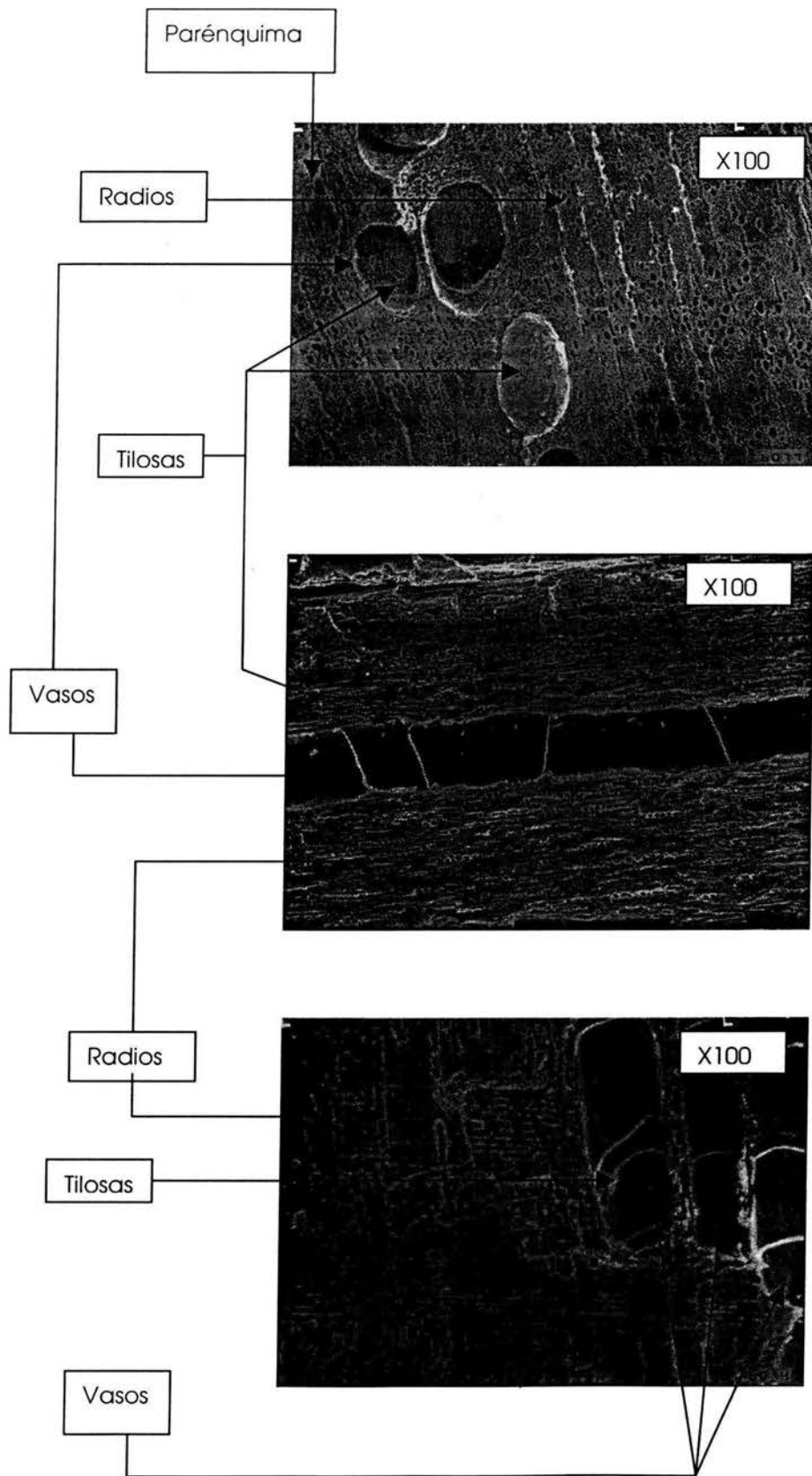


Fig. 25a. Muestra de carbón común, actual. Corte transversal. Se identificó como encino, (dicotiledónea). Se observan los radios; los vasos con tilosas y también células de parénquima.

Fig. 25b. Corte tangencial, donde se observan los radios uniseriados y biseriados. Y el vaso con tilosas y las células de parénquima.

Fig. 25c. Corte radial. Se puede observar la gran abundancia de radios presentes en la muestra, al igual que los vasos.

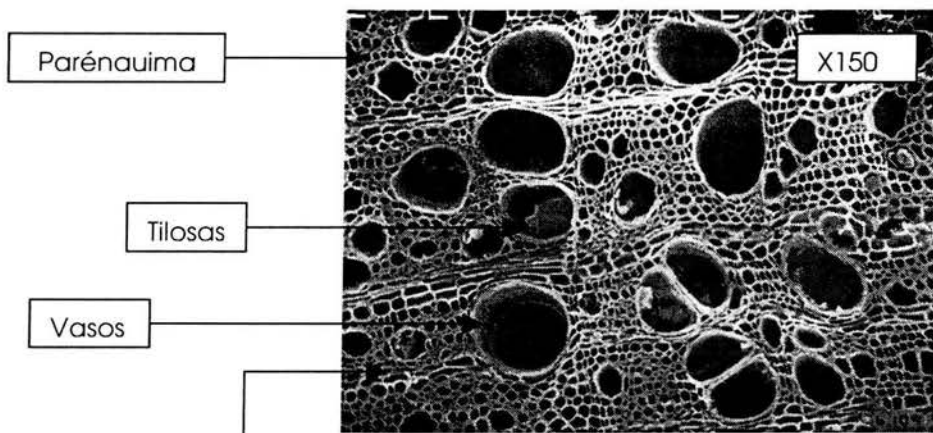


Fig. 26a. Muestra de carbón actuc procedente del interior de horno de Oaxaca, este material se utilizó como combustible.

Con el corte transversal, se l identificó como leguminos (dicotiledónea), se puede ve que se presentan los vaso orificios grandes, algunos d ellos presentan tilosas. Tambié se observan los radios y célula de parénquima.

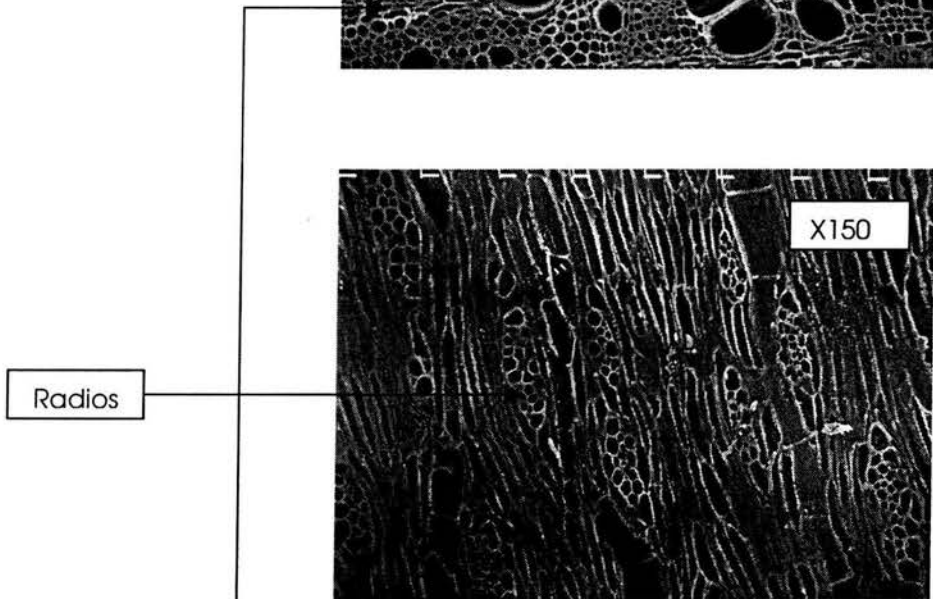


Fig. 26b. Corte tangencial, se observan los vasos con tilosas desde otro ángulo y los radios multiseriados presentes en dicha muestra

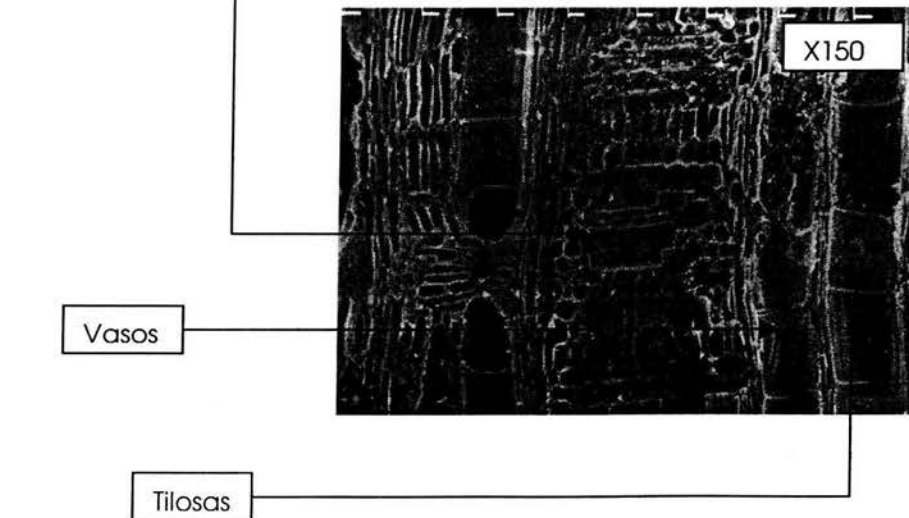


Fig. 26c. Corte Radial. Se observan los vasos, y también, a forma de cuadrícula la distribución de los radios multiseriados.

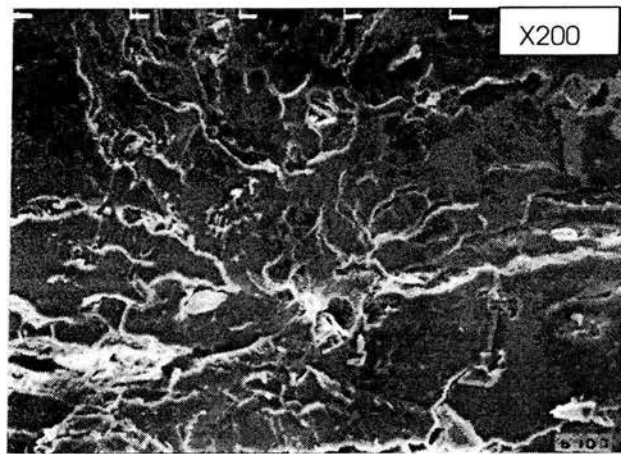


Fig. 27a. Muestra de carbón de agave, actual procedente de Oaxaca. Corte transversal. La estructura se ha perdido debido a la exposición al fuego, es decir la mayoría de las células de parénquima se han contraído, y la superficie de la muestra en este corte tiene una textura caramelizada

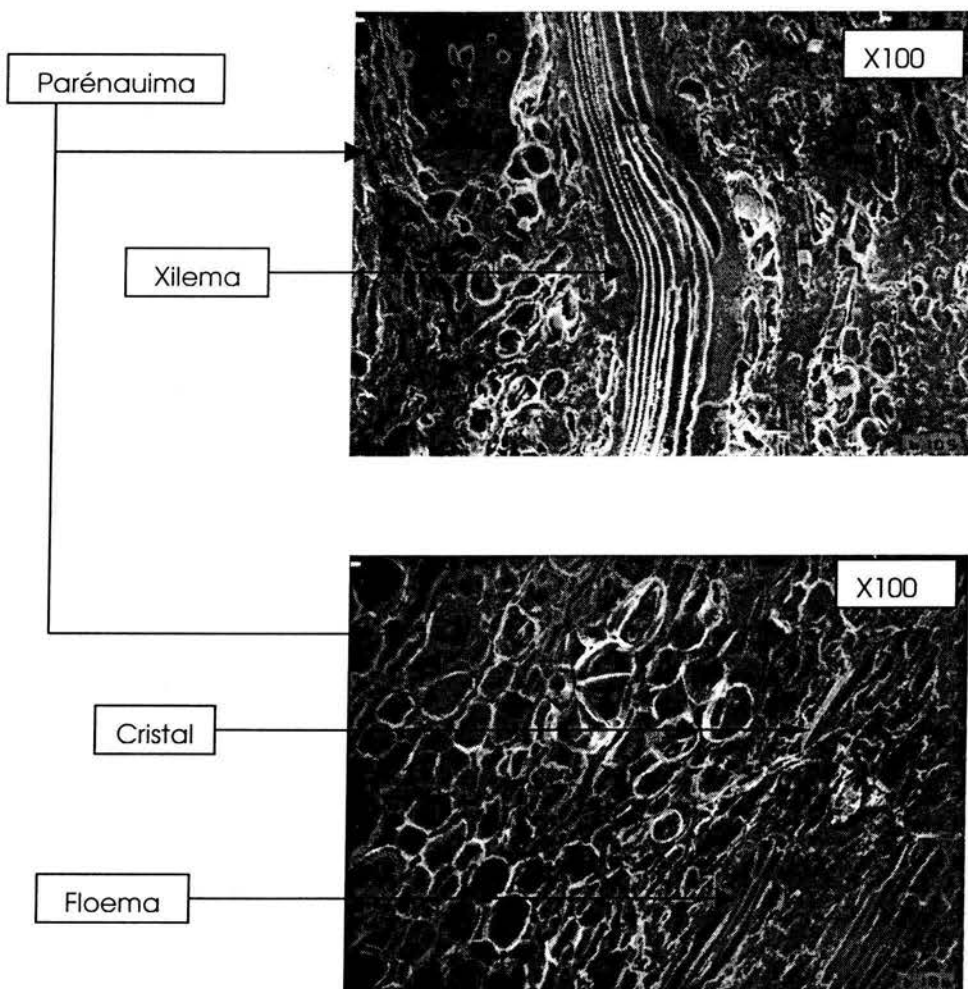


Fig. 27b. Corte tangencial. Se distinguen células estructuras de parénquima, típicas de una monocotiledónea. También se puede observar la estructura característica del xilema de agave; traqueidas con engrosamientos espirales reticulares.

Fig. 27c. Corte radial, en dicha muestra, pueden observarse, células de parénquima, estructuras deterioradas de floema y algunos de los cristales aciculares presentes en este tipo de plantas.

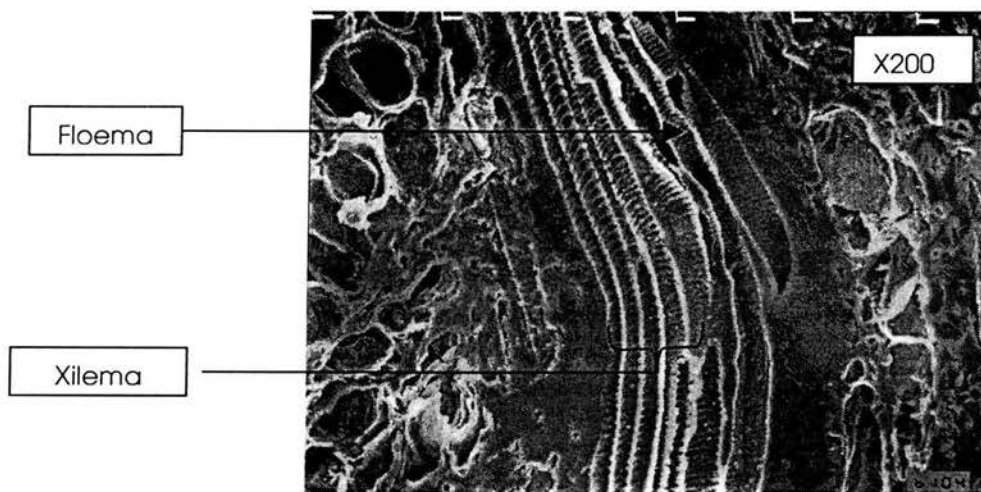


Fig. 27d. Ampliación a X200, de la imagen de la figura 27b, donde se tiene un mejor detalle de la disposición estructural de los engrosamientos espirales-reticulares en traqueidas, la agrupación de éstas forman el xilema y son conocidas como estructuras de sostén. También se observa parte del floema.

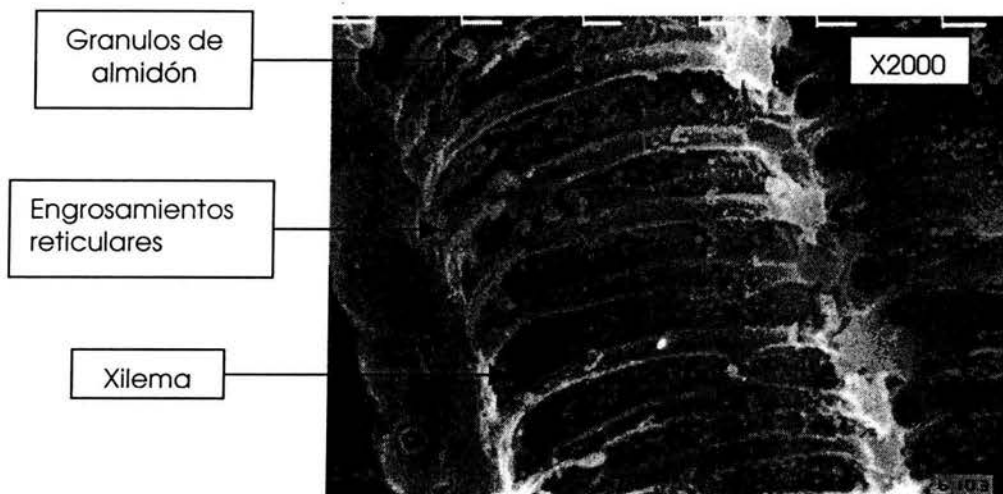


Fig. 27e. Ampliación de la figura 27b, a X2000, donde se observan los engrosamientos alrededor de las traqueidas; además de granulos de almidón, -granos blancos-, dispuestos a lo largo de ésta.

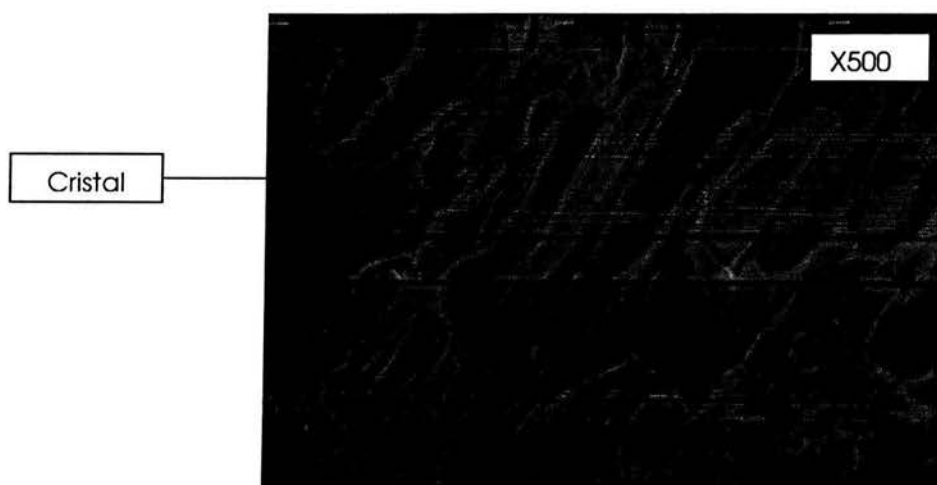


Fig. 27f. Ampliación de la imagen de la figura 27c donde se muestra un cristal acicular, el cual se encuentra inmerso en la estructura de la planta. Estos cristales se han identificado en otras variedades de agave, (23)

Por cuestiones técnicas no se pudo obtener el corte transversal de la muestra de agave cocido

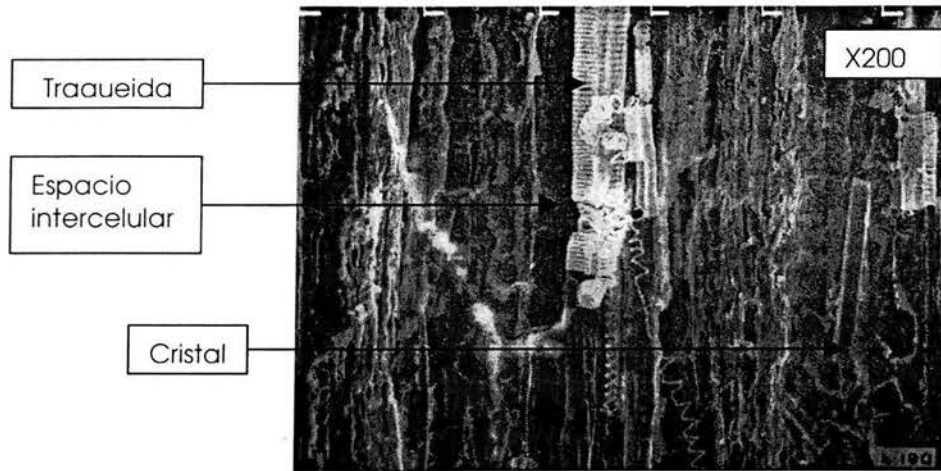


Fig. 28a. Corte tangencial, se observan las estructuras de sostén, xilema y floema, que se encontraron en la muestra de carbón, se observa una mayor cantidad de cristales. Las zonas más oscuras corresponden a espacios intercelulares.

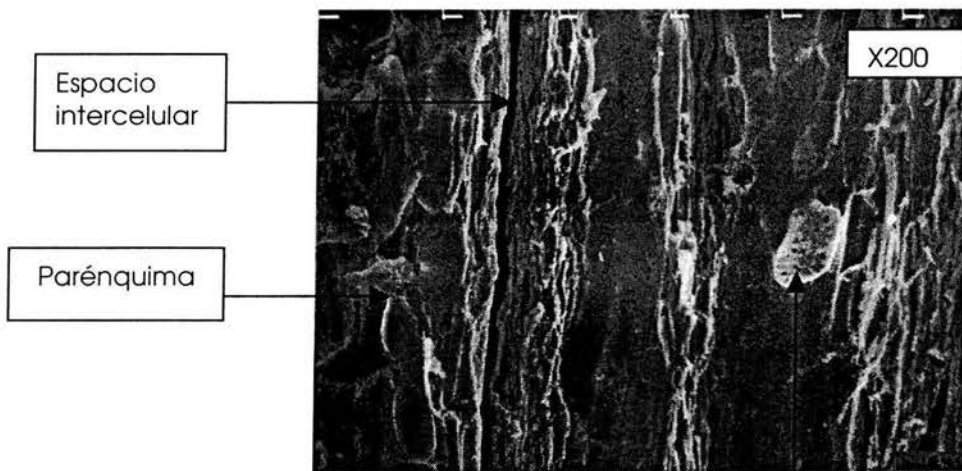


Fig. 28b. Corte radial de la muestra de agave cocido. Se puede corroborar la existencia de espacios intercelulares. También se observan orificios muy pequeños que a primera vista pueden ser estructuras placas de los vasos del floema conocidas como cribosas

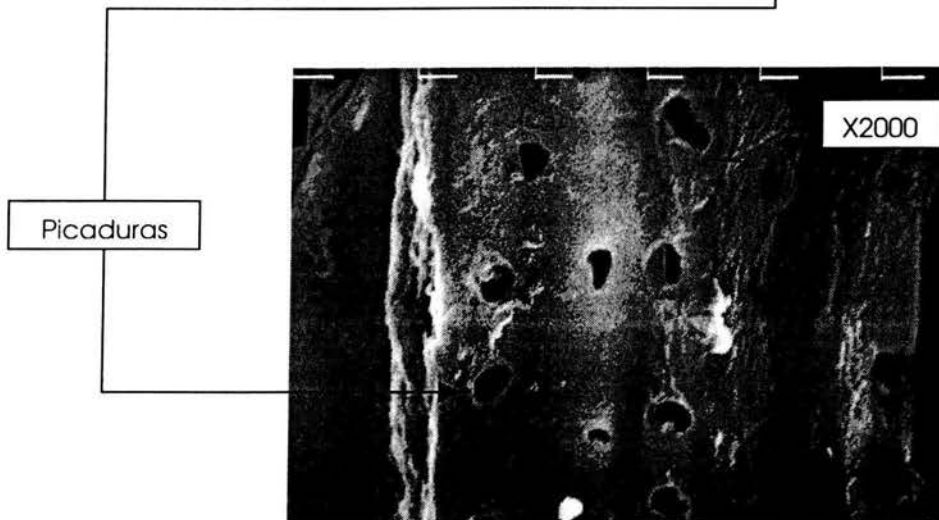


Fig. 28c. Ampliación de X2000, de la imagen de la figura 28b, donde puede observarse con más detalle la forma y disposición de las estructuras mencionadas, con esta ampliación se observa que es la placa cribosa.



## 3.2. ESPECTROSCOPIA

### Análisis Cualitativo por Microscopia Electrónica de Barrido.

Los resultados obtenidos fueron espectros de composición elemental, es decir se determinaron los elementos presentes en las muestras de carbón y cerámica analizadas, esta técnica se realizó por la modalidad de retrodispersión.

Los espectros se presentan a continuación;

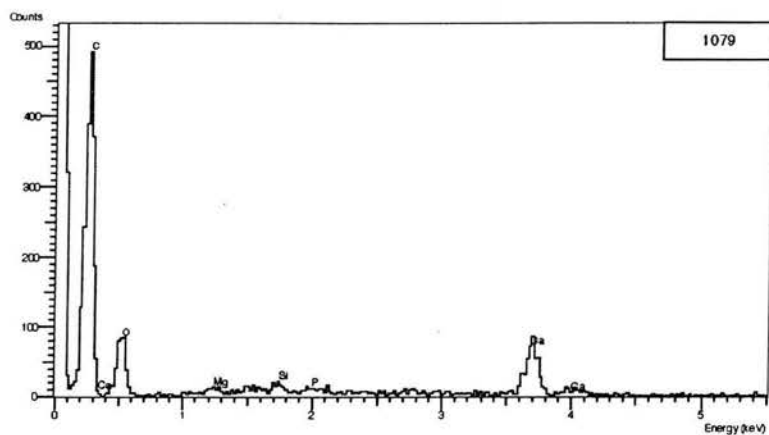


Fig. 29. Espectro composicional de Rayos X de la muestra arqueológica de carbón 1079

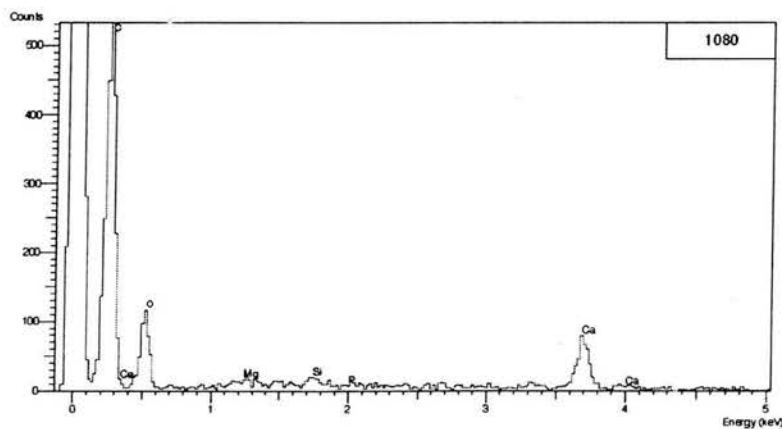


Fig.30. Espectro composicional de Rayos X de la muestra arqueológica de carbón 1080

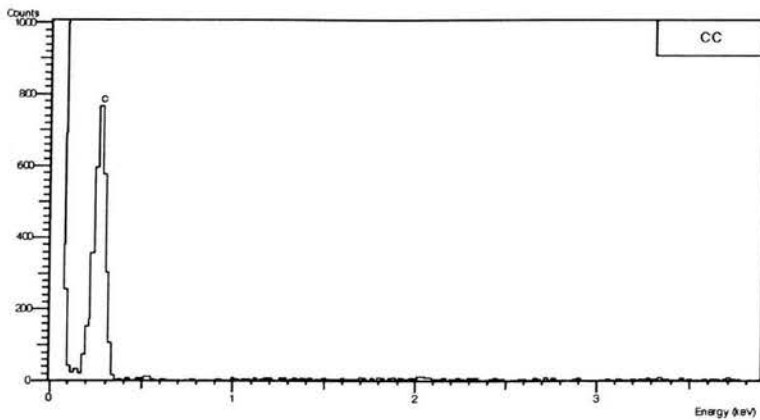


Fig. 31. Espectro composicional de Rayos X de la muestra actual de carbón, denominado carbón común. El origen botánico de dicha muestra es de encino.

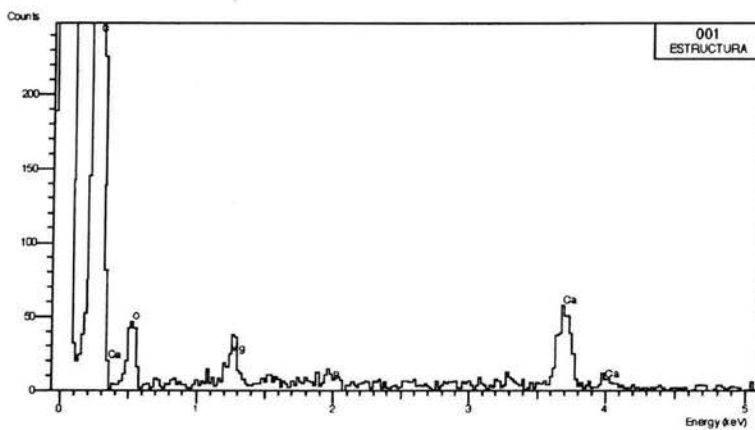


Fig. 32. Espectro composicional de Rayos X de la muestra de carbón de agave actual, procedente del estado de Oaxaca. La zona analizada en este espectro es parte de la estructura morfológica de dicha muestra.

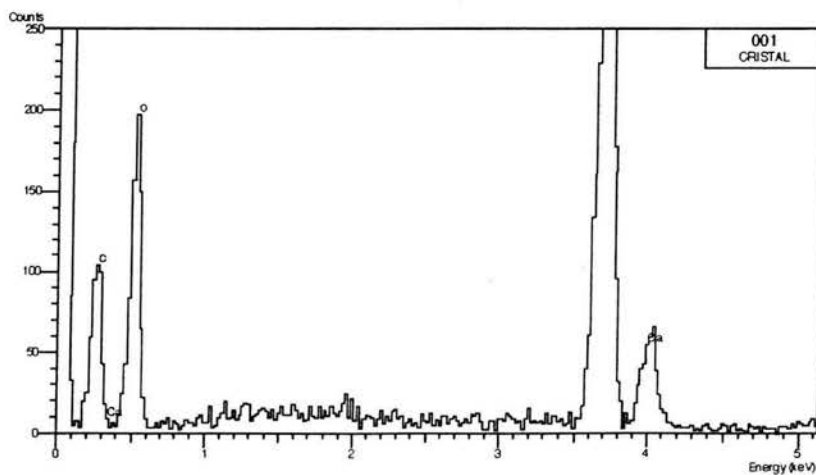


Fig. 33. Espectro composicional de Rayos X de la muestra de carbón de agave actual, en este se espectro se expresa la composición elemental de uno de los cristales encontrados en la estructura de la muestra mencionada.

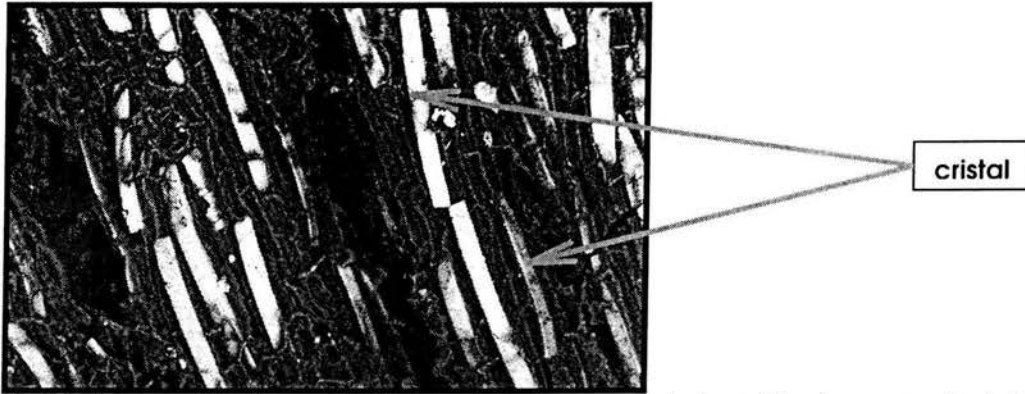


Fig. 33a. Imagen obtenida por el MEB del carbón de agave actual, en dicha imagen, parte de la estructura de la muestra se observan cristales de CaCO<sub>3</sub>, composición determinada gracias al espectro mostrado en la figura 33.

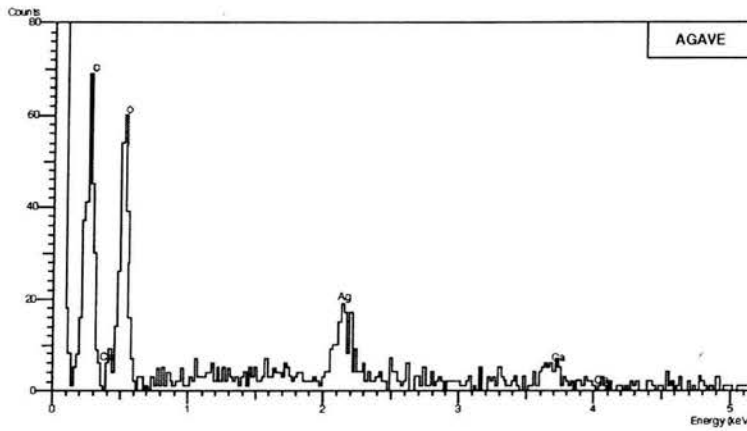


Fig. 34. Espectro de composición de Rayos X, de la muestra de agave cocido, procedente de uno de los hornos de cocción en Oaxaca.

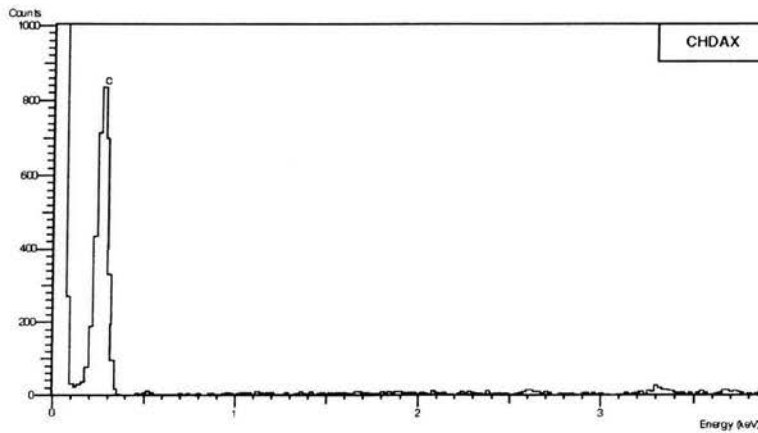


Fig. 35. Espectro de composición de Rayos X, de la muestra de carbón procedente del mismo horno en Oaxaca, utilizado como combustible, para la cocción de agave.

A continuación mostraré los espectros de rayos x obtenidos, a partir de las muestras de cerámica analizadas por esta modalidad en el microscopio electrónico de barrido.

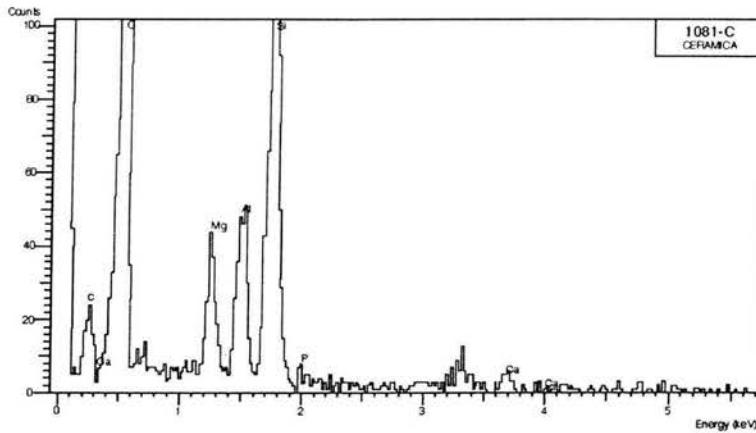


Fig. 36. Espectro de composición de Rayos X, de la muestra de cerámica arqueológica, la zona de análisis se enfoca a un área de cerámica

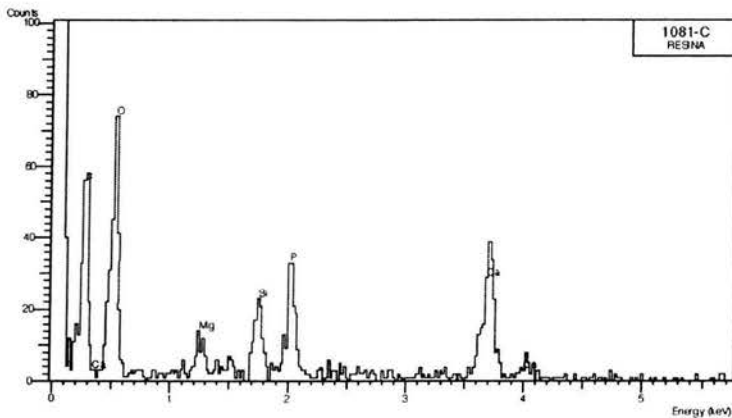


Fig. 37. Espectro de composición de Rayos X, de la muestra de cerámica arqueológica, pero en este caso, analizamos un área con residuos orgánicos.



Fig. 37a. Imagen obtenida por microscopía electrónica, de la muestra de cerámica arqueológica, las zonas oscuras se refieren a la matriz cerámica, mientras que las zonas blancas es el residuo orgánico adherida a ésta.

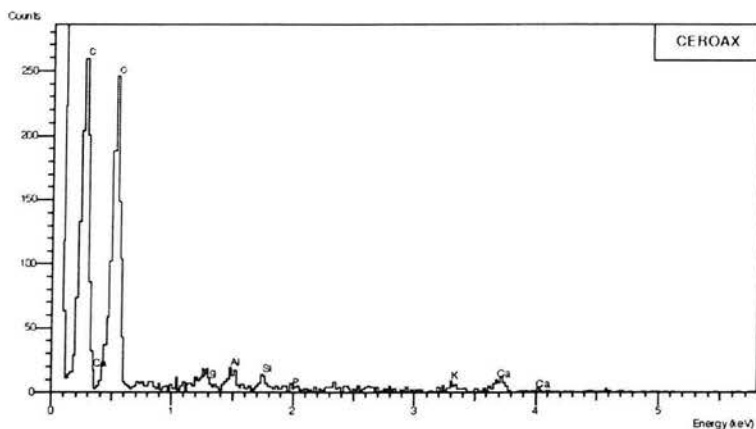


Fig. 38. Espectro de composición de Rayos X, de la muestra de cerámica actual procedente de Oaxaca.

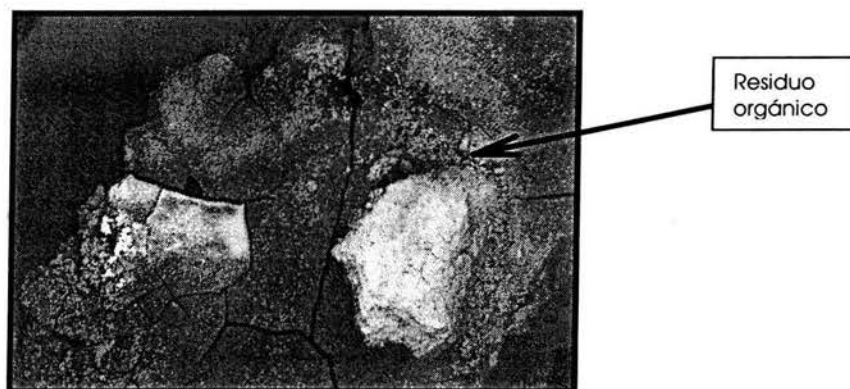


Fig. 38a. Imagen obtenida por MEB, de la muestra de cerámica actual, ocupada para la fase de destilación del frmentado, cubierta en su totalidad de residuo orgánico, procedente de Oaxaca.

Con este estudio, se determinó la composición elemental de las muestras de carbón, provenientes del sitio Nativitas y de los hornos de Oaxaca, con esto se observó que la composición química de un carbón de agave es ampliamente diferenciable a una muestra de carbón vegetal cualquiera.

Esto es debido, a que la planta de agave contiene cristales de  $\text{CaCO}_3$  inmersos en la estructura vegetal (Fig. 32, 33 y 33a)

Los espectros obtenidos de las muestras de cerámica, muestran la presencia de carbono en las zonas claras, que denota compuestos no conductores y se interpretan como orgánicos, mientras que las zonas oscuras se pueden relacionar a compuestos inorgánicos y en este caso como cerámicos (Fig. 36, 37, 37a, 38 y 38a).

Esto sirvió como evidencia para realizar la siguiente técnica:

## Resonancia Magnética Nuclear de $^{13}\text{C}$ en Estado Sólido.

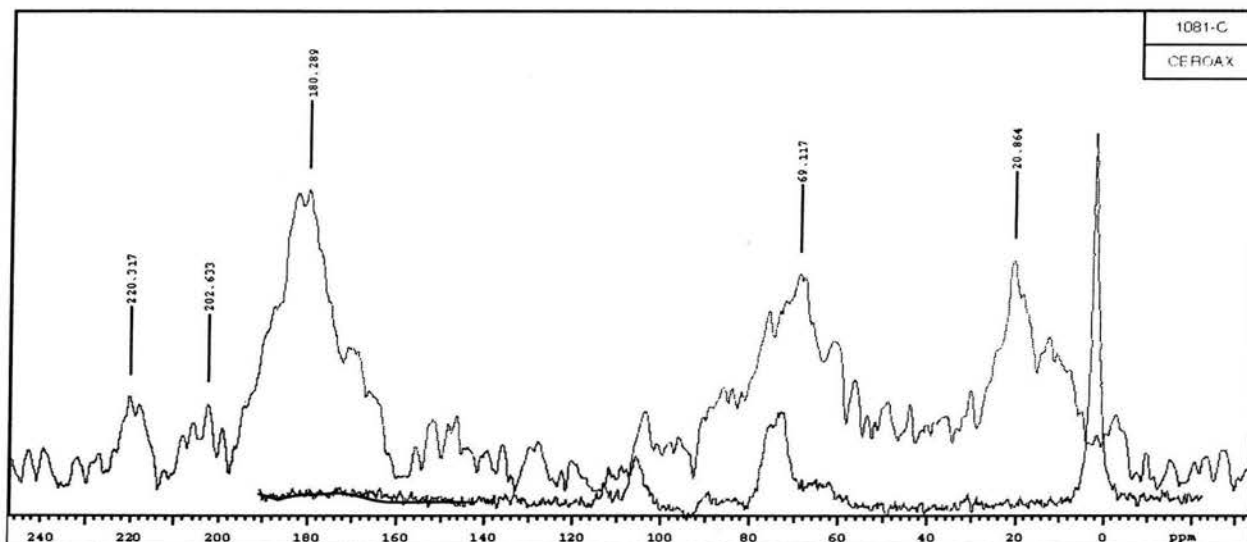


Fig. 39. Espectro de resonancia magnética nuclear de  $^{13}\text{C}$  de estado sólido, que muestra comparativamente los desplazamientos químicos de los núcleos de carbono de las muestras extraídas de la cerámica arqueológica (línea roja), y de la cerámica actual (línea azul).

En la figura 39, se muestran los espectros de RMN de  $^{13}\text{C}$ , obtenidos de las muestras cerámica, de las cuales se les retiro los residuos orgánicos inmersos en la superficie interna de mencionadas muestras.

Lo que se puede observar comparando el espectro de la muestra actual, con el espectro de la muestra arqueológica, es una probable alteración de los carbonos constituyentes de la moléculas presentes en la muestra arqueológica, debido tal vez, a un proceso de fosilización (13).

Las evidencias de la fosilización se aprecian por la presencia del grupo exometileno ( $>\text{C}=\text{CH}_2$ ), en los espectros de RMN de  $^{13}\text{C}$  en estado sólido para el caso de resinas de origen vegetal tal como es el caso del ámbar; de esta forma el desplazamiento químico abarca la región de 110 a 150 ppm (8, 9).

Por lo cual, si se presentan señales intensas en esta región, se tratará de un ámbar inmaduro o fresco, pero si las señales son menos intensas o inexistentes, se hablará de un ámbar maduro (8, 9, 14).

Con base en el ejemplo anterior, en esta sección se pretendió realizar una comparación de los tipos de carbono presentes en ambas muestras extraídas; se partió de los siguientes enunciados:

-La muestra actual, es un residuo constituido por una mezcla de compuestos impregnados en el fondo de la olla de destilación. (proceso de destilación del fermentado para la producción actual de mezcal en Oaxaca). Esto es definitivo para proponer, que estos residuos provenían del agave procesado.

-la muestra arqueológica, se extrajo de trozos de ollas, que al parecen eran originalmente sus bases.

-Se sabe que ambas muestras extraídas, son mezclas orgánicas, debido a los resultados obtenidos por la microscopia electrónica en el modo de electrones secundarios, la que da información sobre la composición elemental de la muestra en estudio.

-No se sabe la composición de cada una de las muestras pero, por las similitudes mencionadas anteriormente, se puede pensar que el residuo orgánico encontrado en las ollas arqueológicas es proveniente de residuos alimenticios y en este caso se propone que pudo haberse tratado de residuos de agave fermentado.

Con lo mencionado anteriormente se puede observar que en la muestra arqueológica, la señal atribuida a carbonos carbonílicos, prácticamente no existe; mientras que en la muestra actual la señal de este tipo de carbonos es muy intensa, y por lo cual manifiesta una gran abundancia de carbonos carbonílicos, esto también puede ser interpretado como un residuo orgánico fresco ya que no ha sufrido alteraciones por cuestión del tiempo (14, 15, 17, 20).

Los valores asignados para los diferentes desplazamientos químicos corresponden a los diferentes tipos de carbono, mencionados a continuación:

- Carbonos saturados 10-70ppm
- Carbonos de doble enlace 100-160 ppm
- Carbonos carbonílicos 170-190 ppm

estos intervalos estan dados en función espectros de resonancia magnética nuclear de  $^{13}\text{C}$ , obtenidos a partir de muestras arqueológicas.

También se puede observar una característica intrínseca de la RMN de estado sólido, la cual es la anisotropía, es decir la forma en como se obtienen las señales y demuestra el tipo de ambiente químico estático que existe en la muestra.

Por tal razón las señales se ven más anchas con respecto a un experimento de RMN en líquidos (14,15,16).

Con la siguiente técnica, se estudió los compuestos que existen en las muestras de tierra de hornos y se comenta la comparación entre ellos.

### 3.3. CROMATOGRAFIA

La mayoría de los análisis químicos utilizados para determinar los compuestos orgánicos preservados en muestras arqueológicas, se basan en técnicas tales como la cromatografía acoplada a masas, la cromatografía de capa fina y en otros casos también se utiliza la cromatografía de gases de monitoreo de radio. (14, 15, 18, 21)

En esta sección se mencionarán los resultados obtenidos por medio de la técnica de cromatografía de gases acoplada a masas, de donde se determinó los compuestos presentes mayoritariamente en la muestra extraída de tierra del interior del horno arqueológico 1, comparándolo con los compuestos encontrados en la muestra extraída del horno actual de Oaxaca, dedicado a la cocción de agave.

Los espectros obtenidos se presentan a continuación:

HORNO 1 ARQUEOLÓGICO  
CROMATOGRAFIA DE GASES

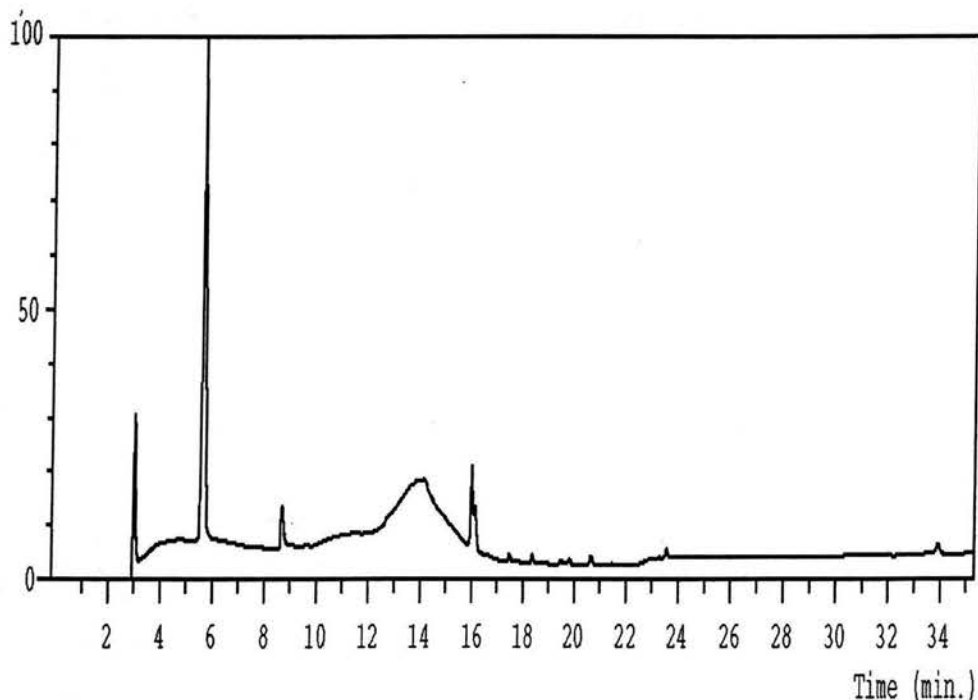


Fig. 40. Espectro de cromatografía de gases, donde se observan los picos que muestran las fracciones separadas de la muestra extraída del horno 1, arqueológico.



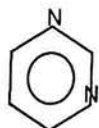
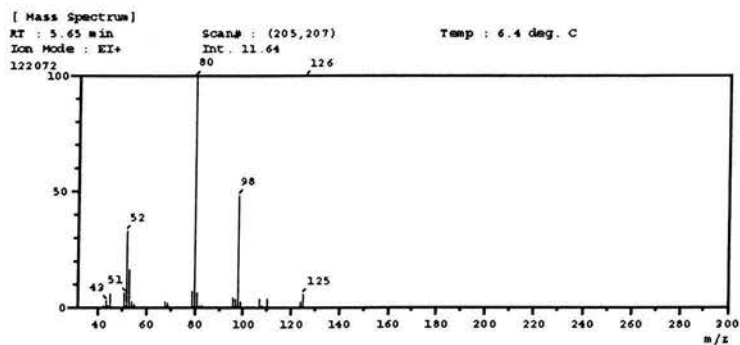


Fig. 41. Espectro de masas, obtenido a partir de la primera separación realizada por cromatografía de gases, se puede observar el ión molecular en 125 m/z y al pico base en 80 m/z, así mismo, las estructuras mostradas, son las resultantes de la interpretación de éste espectro mediante una base de datos que posee el equipo de cromatografía.

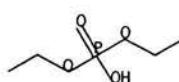
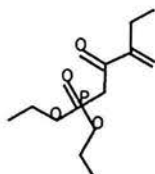
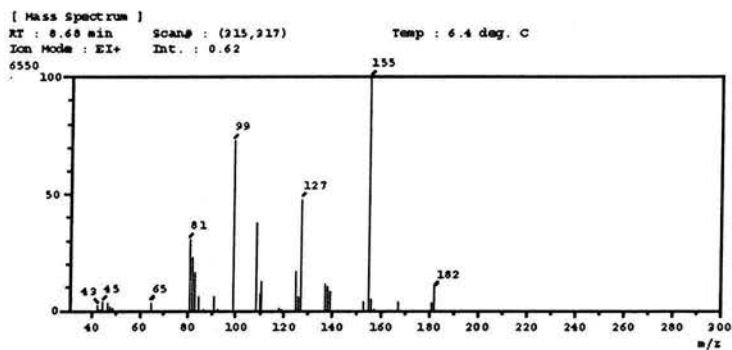


Fig. 42. Espectro de masas del segundo pico, se puede observar al ión molecular en 182 m/z, mientras que al pico base en 155 m/z. También se encuyen las estructuras de los compuestos encontrados.

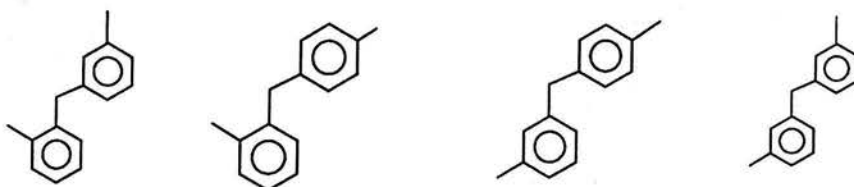
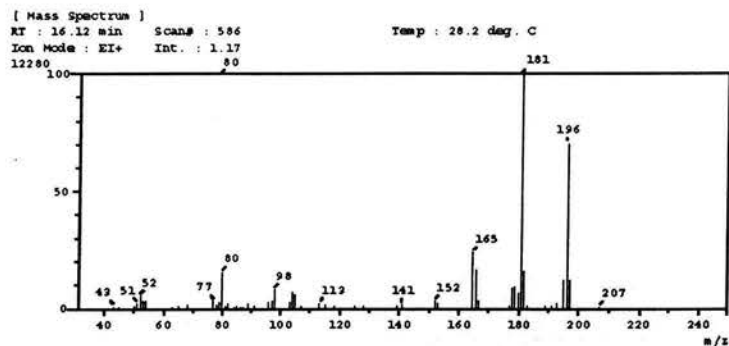
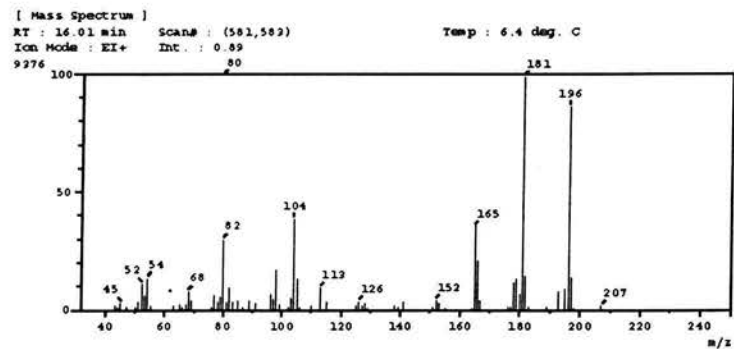


Fig. 43. Se muestran los espectros correspondientes al pico, ubicado a un tiempo de retención de 16.01 min y 16.12 min. Se logra apreciar que tanto el pico base y el ión molecular localizados en 181 y en 207 m/z respectivamente se presentan en ambos espectros, pero los picos menores a 181 m/z son diferentes en sus patrones de fragmentación. De esta forma también se muestran las estructuras de los compuestos presentes.

Éstos compuestos se han reportado como derivados de resinas aromáticas, y son el resultado de la pirólisis del carbón (33)

A continuación se presenta el espectro de cromatografía acoplado a masas, de la muestra de tierra extraída del horno actual proveniente de Oaxaca. También se muestran las estructuras de los compuestos hallados en cada fracción separada de la muestra.

HORNO ACTUAL DE OAXACA  
CROMATOGRAFIA DE GASES

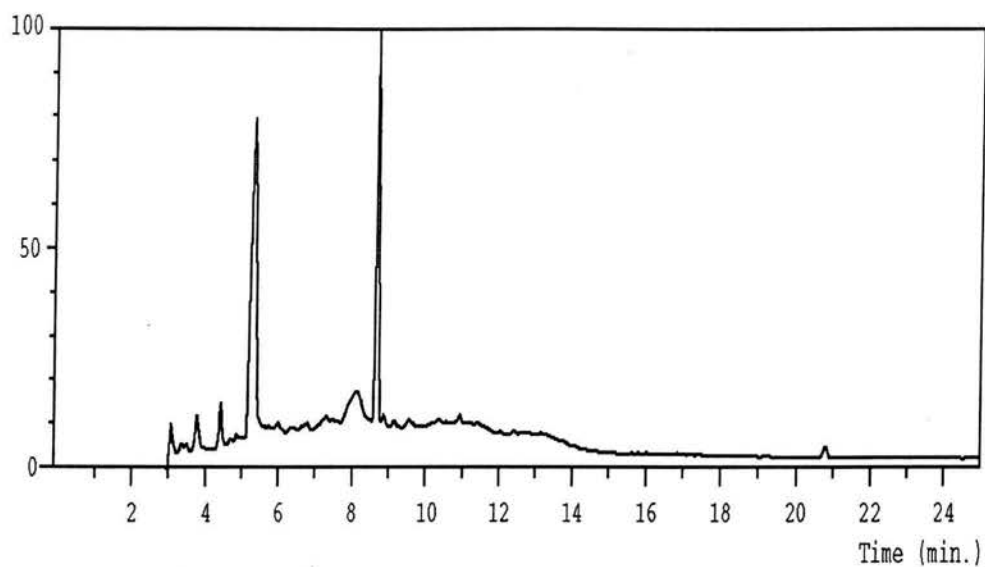


Fig. 44. Espectro de cromatografía de gases, mostrando las fracciones separadas que corresponden al horno actual de Oaxaca.

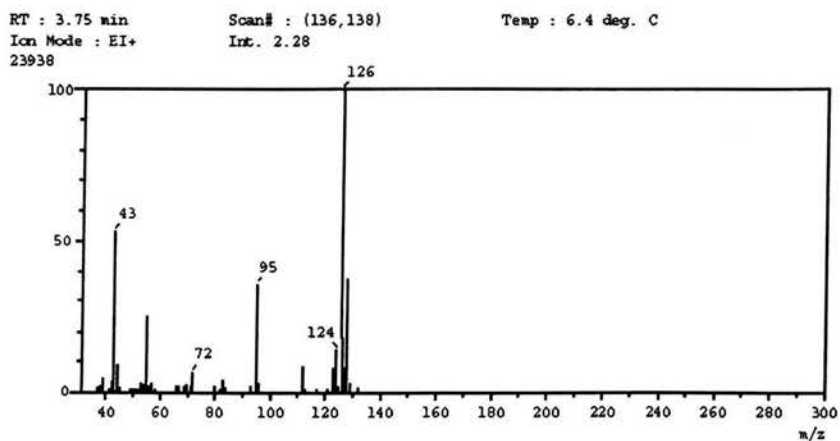


Fig. 45. Espectro de masas que posee el tiempo de retención de 3.75 min, que corresponde al primer pico dentro de la cromatografía, también se presenta la estructura del compuesto que más se acercó al patrón de fragmentación del espectro de masas. Este compuesto se ha identificado como un metabolito secundario de microorganismos conocidos como *Mycobacterum*.

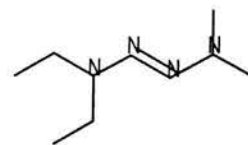
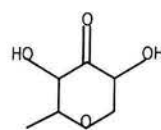
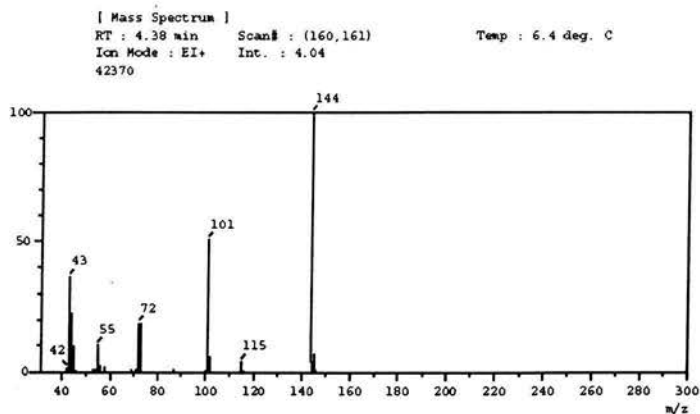


Fig. 46. Espectro de masas que tiene un tiempo de retención de 4.28. Con este este espectro se propusieron los compuestos indicados. El primero corresponde a degradación de polisacáridos, mientras que el siguiente compuesto se ha relacionado con biotransformaciones microbianas.

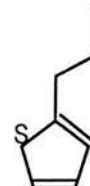
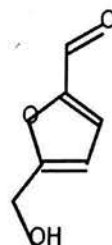
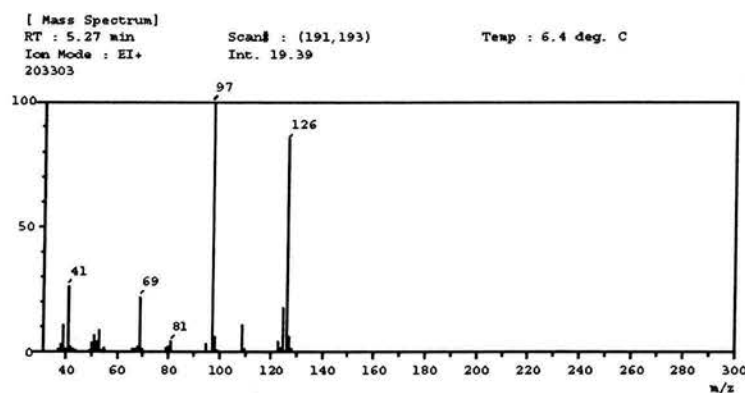


Fig. 47. Espectro de masas con un tiempo de retención de 5.27 min. Con los patrones de fragmentación que señala, se pudo identificar los compuestos que se muestran junto con el espectro. Estas moléculas están asociadas a compuestos hallados en sustancias alimenticias fermentadas, lo que puede favorecer a que estos compuestos están relacionados con los residuos que pueden quedar en los hornos actuales y que por la presencia de microorganismos, como levaduras, pueden fermentarse (34).

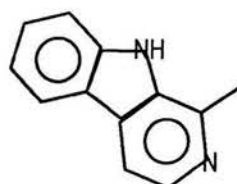
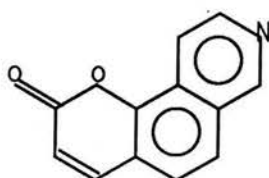
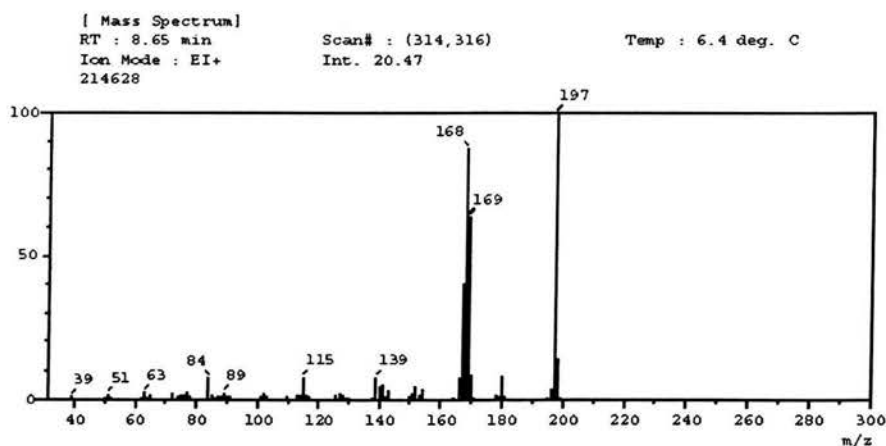


Fig. 48. Espectro de masas con tiempo de retención de 8.65. Con los patrones de fragmentación se propuso la existencia de los compuestos mostrados, el primero se asocia a un compuesto biotransformado por microorganismos, mientras que el segundo se relaciona a un alcaloide (35)

Con la aplicación de ésta técnica, se lo logró discernir sobre los compuestos que se hallan en las muestras de tierra del horno arqueológico y del actual.

Los tiempos de retención en el espectro de cromatografía, perteneciente al horno 1 son, 5.65, 8.68, 16.01 y 16.12 comparándolos con los tiempos de retención del horno actual que son 3.75, 4.38, 5.27, 8.65. Vemos que la muestra arqueológica presenta menos separaciones ya que posiblemente el tipo de compuestos son de una polaridad menor a la sílice de la columna por lo que provoca que los tiempos de retención sean mayores y la muestra no se separe debidamente, tal como sucedió.

Comparando los compuestos hallados en el horno 1 y en el actual tenemos que, en el arqueológico se encontraron compuestos relacionados a herbicidas y plagicidas (Fig. 42), también un compuesto relacionado a pirólisis de carne (Fig. 41). En el caso de la Fig. 43 vemos dos espectros de masas que se relacionaron con compuestos muy similares entre sí, estos compuestos se han encontrado en la pirólisis de carbón, y en este trabajo se relacionó con el material combustible para el horno (33).

Ahora, viendo los espectros del horno actual y los compuestos hallados, vemos una gran diferencia entre éstos y los hallados en el horno arqueológico, ya que se encontró compuestos que provienen del metabolismo de microorganismos tales como en las figuras 45, 47 y 48. Esto no fue encontrado en el horno arqueológico.

## *CAPITULO 3*

# *Conclusiones*

El tratamiento de muestras arqueológicas, resulta complicado en el aspecto de la manipulación para concebir un resultado válido.

El objetivo planteado no se pudo alcanzar debido que no se encontraron las evidencias suficientes.

Con las técnicas de microscopía se realizó una secuencia de estudios, que dieron como resultado la identidad botánica de las muestras estudiadas de carbón y con esto se determinó la ausencia de carbón de agave en los hornos arqueológicos, a diferencia de los hornos actuales.

En el apartado de microscopía, se realizaron dos técnicas: El análisis cualitativo por MEB, que confirma la composición química de las muestras, esta técnica fue importante para la determinación de los elementos presentes en los residuos de cerámica, que confirmó que efectivamente, se trataba de material orgánico impregnado en las muestras.

Fue interesante realizar una RMN de  $^{13}\text{C}$ , a éstos residuos orgánicos, tanto actuales como arqueológicos, ya que se intentó determinar la temporalidad del compuesto en función de la degradación de los carbonos carbonílicos.

Con la cromatografía de gases acoplada a masas, se pudo determinar los compuestos mayoritarios en las muestras de tierra de los hornos actual y arqueológico, con estos resultados se corroboró que en el horno arqueológico no existen elementos suficientes para proponer que fueran de un uso exclusivo, tal como fue la cocción de agave. Debido a que la muestra posee un alto grado de contaminación debido a plaguicidas y herbicidas. En el caso del horno actual vemos la presencia de agentes microbianos que pueden afectar las moléculas de carbohidratos que pudieran encontrarse. Se esperaba encontrar compuestos degradados de azúcares de alto peso molecular como del ácido glucurónico (30) o saponinas como la agavósida A (28), o flavonas como la agavanova (29).

Así que la hipótesis propuesta no llegó a buen fin, debido a las razones antes mencionadas. Pero se puede decir que los hornos arqueológicos fueron utilizados para la cocción de alimentos.

## APÉNDICE

### CRONOLOGÍA DEL SITIO NATIVITAS, TLAXCALA.

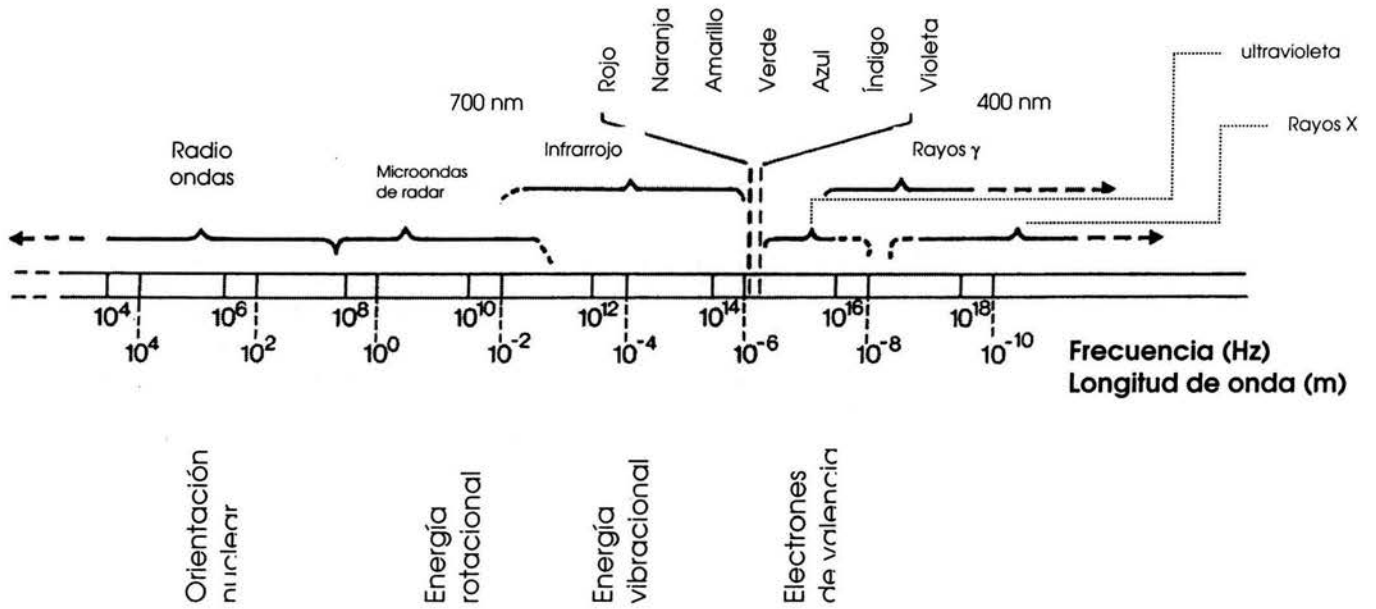
Cronología del Centro ceremonial Xochitécatl (Serra Puche, M.C. Xochitécatl. Gobierno del Estado de Tlaxcala, Palacio de Gobierno de Tlaxcala, Tlaxcala. 1998,49), ampliado con el Sitio arqueológico de Nativitas. (1).

PERIODOS	AÑOS	SECUENCIA DE OCUPACION	CERAMICA DIAGNOSTICA	ELEMENTOS DIAGNOSTICOS	ERUPCIONES DEL POPOCATEPETL	FECHAMIENTOS DE RADIOCARBONO EN XOCHITECATL	SITIO NATIVITAS
	1600		Cerámica colonial				
Posclásico Tardío	1500		Cerámica Cholula				
Posclásico Medio	1400						Nuevo asentamiento
	1300						
Posclásico Temprano	1200						
	1100	Segundo abandono					Abandono del Sitio Nativitas
	900				800 a1095 d. C.		
Epiclásico	800		Complejo Coyotlatéco	Entierros en la Pirámide de las Flores			Construcción de unidades residenciales y domésticas en el Bloque Xochitecatl- Nativitas - Nopalucan
	700	Segunda ocupación	Tablero esgrafiado			Pirámide de las Flores figurillas 774 d.C.	
	600		Foso esgrafiado pared gruesa	Ofrendas marinos con elementos			
	500			Ofrendas marinos con elementos			
	400			Ofrendas figurillas con			
Clásico	300	Primer abandono					Abandono del Sitio Nativitas
	200						
	100				100 al 215 a.C.		Ampliación de terrazas para habitación y formaciones troncocónicas y hornos.
	0	Primera edificación	Tezoyuca	Complejo Escalinata-Escultura			
Formativo Tardío	100						
	200		Rojo sobre blanco	Taller de Lítica			
	300		Blanco espiral			Tina edificio de la Serpiente 388 a 342 a.C.	
	400						
	500	Inicio de la edificación	Rojo sobre blanco esgrafiado			Subestructura de la Serpiente 688 a 538 a.C.	Ampliación de terrazas para habitación y cultivo.
Formativo Medio	600		Cerámica de cocción diferencial			Subestructura de La Espiral 792 a 354 a.C.	
	700		Blanco esgrafiado				
	800						



## ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

Representación del espectro electromagnético, esquema tomado de "Archaeology chemistry", Mark Pollard and Carl Heron; editado American Chemistry Society, página 353. (13)



## BIBLIOGRAFIA

- (1) Hernández, Samuel. 2002. *El uso de los hornos asociados a las unidades habitacionales del Formativo terminal (300 a.C. – 100 d.C.) del Sitio Nativitas, Tlaxcala. Un estudio etnoarqueológico*. Tesis de licenciatura, ENAH. México, D.F.
- (2) Torrentera, Ulises. 2000. *Mezcalaria*. Farolito Ediciones, Serie Mezcolatría, 1° Edición, Oaxaca, pp. 204.
- (3) Benitez-Zenteno R. 1980. *La producción de Mezcal en Oaxaca en: Sociedad y Política de Oaxaca*. Instituto de Investigaciones Sociológicas, Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca, México.
- (4) <http://www.csd1.tamu.edu/FLORA/>
- (5) Granados Sánchez, Diódoro. *Los agaves en México*. Universidad Autónoma de Chapingo, México, 1999. pag. 235
- (6) Interciencia 1995 vol. 20 No. 1 Enero- Febrero
- (7) Scanning Probe Microscopy, Training Manual Nanoscope. p.p.22
- (8) <http://www.shimadzu.com.br/analitica/esp/Productos/Microscopio/SPM.htm>
- (9) MUñoz, Francisco J. 1942. *El Micoscopio y su Uso*. Tecnica Unida, New York. U.S.A. p.p. 71-78
- (10) Sjostrom, Eero. 1981. *Wood Chemistry. Fundamentals and Applications*. Academic Press INC. New York, New York.
- (11) Goldstein, H. *Scanning electronic microscopy, a textbook for biologist, chemistry, geologist*. P.p 221-359
- (12) Guzman, José. Febrero 2003. *Caracterización estructural y composicional de películas de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, preparadas por rocío pirolítico*, Tesis doctoral. Centro de Investigación en Ciencia aplicada y Tecnología Avanzada, IPN., México, D.F., pp. 21-32
- (13) Pollard, M. and C. Heron. 1996. *Archaeology chemistry*. American Chemistry Society. Cap. 2. The Royal Society of Chemistry, Cambridge, U.K.
- (14) Lambert, J.B. abril 2000, *Nuclear magnetic resonance in archaeology*. Chemical Society Royal.
- (15) Grimaldi, D. A., K. B. Anderson and J. C. Crelling. 1995. *Amber, Resinite and Fossil Resins*, American Chemical Society, Washington, DC. pp. 203-217.
- (16) Heron, C., R.P. Evershed, L.J. Goad and V. Denham. 1989. *New approaches to the analysis of organic residues from archaeological remains*. Archaeological Science, pp. 332-339.

- (17) Lambert, J. B., S. C. Johnson, Jr. G. O. Poinar and J. S. Frye. 1993. *Recent and Fossil Resins from New Zealand and Australia*. *Geoarchaeology* 8 (2): 141-155.
- (18) Heron, C. and R.P. Evershed. 1989. *Glue, disinfectant and chewing gum in Prehistory*, *Arqueological Science*, Chapman & A.M. Pollard.
- (19) J.O. Grimaldi, B.R.T. Simoneit and P.G. Hatcher. 1989. *Chemical affinities between the solvent extractable and the bulk organic matter of fossil resin associated with an extinct podocarpaceae*, *Phytochemistry*, 28 (4): 1167-1171.
- (20) Eglinton, G. and M.T.J. Murphy. 1969. *Organic Geochemistry, methods and results* Springer-Verlag, Berlin – Heidelberg, Germany, pp. 782.
- (21) Evershed, R.P., K.I. Arnot, J. Collister, G. Eglinton and S. Charters. 1994. *Application of Isotope Radio Monitoring Gas Chromatography-Mass Spectrometry to the Archaeological Origin*. *Analyst* 119: 909-914.
- (22) Smiley, R.J and W.N. Delgass. 1993. *AFM, SEM and XPS characterization of PAN-based carbon fibers etched in oxygen plasmas*. *Journal of Materials Science* 28:3601-3611.
- (23) Herbert R., Maversberger. *Fiber, Their physical, microscopic and chemical properties*, 6ª Edición. John Wiley & Sons, Chapman & Hall.
- (24) Esau, Katherine. 1977. *Anatomy of Seed Plants*. 2ª Edición, John Wiley & Sons, Inc., U.S.A. p.p. 550
- (25) Pretsch, Ernö. *Tablas para la determinación estructural por métodos espectroscópicos*. Traducción de la 3ª edición alemana. Springer-Verlag Ibérica. pp. 408.
- (26) Griffin, R. G. 1977. *High Resolution NMR in Solids*. *Analytical Chemistry* 49 (11): 951A-962A.
- (27) Opella, S.J., and M.H. Frey. 1979. *Selection of Nonprotonated Carbon Resonances in Solid-State Nuclear Magnetic Resonance*. *Journal of the American Chemical Society* 101: 5854-5856.
- (28) Harborne and Baxter (eds.). 1993. *Phytochemistry dictionary*, Taylor & Francis Ltd., New York, pp. 690.
- (29) Jeffrey B., Harborne FRS and Herbert Baxter (eds.) *The handbook of natural flavonoids*. Vol.2. John Wiley & Sons, pp. 297.
- (30) Bell E.A. and B.V. Charlwood (eds.). 1980. *Encyclopedia of plant physiology*
- (31) Diccionario [http://diccionarios.elmundo.es/diccionarios/cgi/lee\\_diccionario.html](http://diccionarios.elmundo.es/diccionarios/cgi/lee_diccionario.html)
- (32) <http://www.e-local.gob.mx/work/templates/enciclo/oaxaca/pres.htm>
- (33) Susuki. 1974. *Japaness Tokkyo Koho* pp. 26
- (34) American Chemical Society. *Simposium Series*. 1994 (564):147-159