

Reservados todos los derechos. Ninguna parte de esta publicación puede ser reproducida, almacenada o transmitida de ninguna forma, ni por ningún medio, sea este electrónico, fotocopia o cualquier otro, sin la previa autorización escrita por el autor.



EL COLEGIO DE MICHOACÁN, A. C.



*El Colegio de Michoacán A. C.
Centro de Estudios Arqueológicos*

*Caracterización de las Estructuras Anulares de la
Región del Occidente de las Tierras Bajas Mayas.*

TESIS

*Que para optar al grado de
Maestra en Arqueología
Presenta*

Arq[ua. María Soledad Ortiz Ruíz

Comité

Director: Dr. José Alberto Aguirre Anaya

Asesores: Dr. Juan Rodrigo Esparza López

Dr. Luis Alberto Barba Pingarrón

Dr. José Luis Ruvalcaba-Sil

Mtra. Mirta Insaurralde

Noviembre 2014



“In all world areas and time periods, from every theoretical perspective, archaeologists have studied the ways in which people make things and interact with made things” (Miller 2007:1)

ÍNDICE DE TABLAS	IV
ÍNDICE DE FIGURAS	IV
ÍNDICE DE GRAFICAS	VI
AGRADECIMIENTOS	VII
RESUMEN.....	XIII
ABSTRACT	XIV
INTRODUCCIÓN.....	1
PROBLEMÁTICA DE INVESTIGACIÓN	2
CAPÍTULO 1.- ÁFRICA, EUROPA, ASIA Y MESOAMÉRICA: ESTUDIOS PREVIOS SOBRE LA CAL	8
1.1. INTRODUCCIÓN.....	8
1.1.2. EVIDENCIAS DE LA TECNOLOGÍA DE LA CAL EN ÁFRICA, EUROPA Y ASIA	10
1.1.3. EVIDENCIAS DE LA TECNOLOGÍA DE PRODUCCIÓN DE CAL EN MESOAMÉRICA	13
CAPÍTULO 2.- EL FUEGO EN LA INVESTIGACIÓN PREHISTÓRICA Y ARQUEOLÓGICA	18
2.1. PIROTECNOLOGÍA Y EL REGISTRO ARQUEOLÓGICO.....	18
2.2. LA CLASIFICACIÓN DE LOS RASGOS DE COMBUSTIÓN.....	20
CAPÍTULO 3.- LA CAL.....	24
CAPITULO 4.- LA CAL EN EL CONTEXTO DE LA REGIÓN OCCIDENTE DE LAS TIERRAS BAJAS MAYAS DEL NORTE	29
4.1. OXKINTOK Y SANTA BÁRBARA	31
4.1.1 <i>Santa Bárbara</i>	32
4.1.2 <i>Oxkintok</i>	33
4.2. DESCRIPCIÓN DEL SALVAMENTO CARRETERA FEDERAL 180 MÉRIDA-CAMPECHE	34
4.2.1 EL CONTEXTO BAJO ANÁLISIS.....	36
4.2.2 <i>Estructura 24, H1</i>	36
4.2.3 <i>Estructura 53A-IV, H2</i>	38
4.2.4 <i>Estructura 3-A, H3</i>	42
4.2.5 <i>Estructura 1, H4</i>	45
4.2.6 <i>Estructura 23A-V, H5</i>	48
4.2.7 <i>Estructura 20, H7</i>	52
4.2.8 <i>Estructura 1, H12</i>	56
4.2.9 <i>Estructura 1-III, H14</i>	57
4.2.10 <i>Estructura 3, H15</i>	59
CAPÍTULO 5.- LA CIENCIA EN LA ARQUEOLOGÍA	62
5.1. MICROSCOPIA	64
5.1.1 <i>Microscopía Electrónica de Barrido</i>	65
5.2. ESPECTROSCOPIA.....	67
5.2.1 <i>Espectroscopia Raman</i>	67
5.2.3 <i>Espectroscopia de Infrarrojo con Transformada de Fourier (FTIR)</i>	70
5.3. RAYOS X.....	81
5.3.1. FLUORESCENCIA DE RAYOS X (XRF).....	81
5.4. QUÍMICA	86

5.5. ARQUEOMAGNETISMO.....	90
CAPITULO 6.- DISCUSIÓN Y CONSIDERACIONES FINALES	95
6.1. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	95
6.2. CONSIDERACIONES FINALES	99
6.3. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN.....	106
6.4. PROPUESTA ESTUDIO INTEGRAL DE LAS ESTRUCTURAS ANULARES: DEL CAMPO AL LABORATORIO	108
6.5. PROPUESTA DE FUNCIONAMIENTO DE LAS ESTRUCTURAS ANULARES: ARQUEOLOGÍA EXPERIMENTAL	109
REFERENCIAS CITADAS.....	114

Índice de Tablas

TABLA 1. - COMPLEJOS CERÁMICOS REGISTRADOS EN OXKINTOK (INFORMACIÓN DE VARELA 1996 Y ANCONA ET AL. 2014).	30
TABLA 2. - ESTRUCTURA H1, (24), DESCRIPCIÓN DE LA EXCAVACIÓN DEL POZO 1 SEGUN INFORME DE MORALES UH.	36
TABLA 3. - ESTRUCTURA H2 (53-A), DESCRIPCIÓN DE LA EXCAVACIÓN DEL POZO 2, BASADO EN EL INFORME DE CERVERA DÍAZ 2011.	39
TABLA 4. – ESTRUCTURA H3 (3-A), DESCRIPCIÓN ESTRATIGRÁFICA DEL POZO 1, BASADA EN INFORMACIÓN DE ORTIZ RUIZ 2011.	43
TABLA 5. -ESTRUCTURA 1, H4, DESCRIPCIÓN ESTRATIGRÁFICA DEL POZO 1 CON DATOS DE ORTIZ RUIZ 2011	47
TABLA 6. -ESTRUCTURA 23A-V, H5, DESCRIPCIÓN ESTRATIGRÁFICA DEL POZO 1 CON DATOS DE ORTIZ RUIZ 2012	50
TABLA 7. - ESTRUCTURA 20, H7, DESCRIPCIÓN ESTRATIGRÁFICA DEL POZO 1 CON DATOS DE ORTIZ RUIZ 2012.	54
TABLA 8. - ESTRUCTURA 1, H12, DESCRIPCIÓN ESTRATIGRÁFICA DEL POZO 1 CON INFORMACIÓN DE ORTIZ RUIZ 2012	56
TABLA 9. - ESTRUCTURA 1-III, H14, DESCRIPCIÓN ESTRATIGRÁFICA DEL POZO 6 CON INFORMACIÓN DE ESTRADA VIELMA 2013.	57
TABLA 10. - ESTRUCTURA 3, H15, DESCRIPCIÓN ESTRATIGRÁFICA DEL POZO 1, CON DATOS DE BARRERA RUBIO ET AL. 2011:53.	59
TABLA 11. - RELACIÓN DE MUESTRAS ANALIZADAS PARA ESTA INVESTIGACIÓN.	63
TABLA 12. - RESULTADOS DE ESPECTROSCOPÍA RAMAN, CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA	70
TABLA 13. - RESULTADO DE ESPECTROSCOPIA DE INFRARROJO (FTIR) PARA CARACTERIZACIÓN MINERALOGICA	75
TABLA 14. - VALORES DE DIFERENCIACIÓN ENTRE CALCITAS GEOGÉNICAS DE LAS ANTROPOGÉNICAS SEGUN CHU ET AL. 2008	77
TABLA 15. - RESULTADOS DE LAS PRUEBAS QUÍMICAS.	87
TABLA 16. - INCLUSIÓN DE LAS ESTRUCTURAS ANULARES EN LA TABLA 2 DE MENTZER (2014: 623-624, TRADUCCIÓN PROPIA).	103

Índice de Figuras

FIGURA 1. - MAPA DEL AREA MAYA RESALTANDO LA ZONA DE INVESTGACION EN ROJO (MODIFICADO DE STANTON Y MAGNONI 2008:3)	1
FIGURA 2. - CALERAS TRADICIONALES [1,2,3,4,5 Y 6] Y CALERAS TIPO HORNO COLONIAL [7-A, 7-B] IDENTIFICADAS POR SCHREINER, LOS HORNOS FUERON CONSTRUIDOS EN 1948 (TOMADO DE SCHREINER 2001:367-368)	3
FIGURA 3. - COMPARACIÓN DE ESTRUCTURAS ANULARES DEL SITIO DE SAYIL, CAUINAL Y DE LA CARRETERA FEDERAL MERIDA CAMPECHE (TOMADO DE DUNNING 1992:118, FAUVET-BERTHELOT 1986: 129 Y ORTIZ RUIZ 2012)	5
FIGURA 4. - ESQUEMA IDEAL DE LA ESTRUCTURA ANULAR	5
FIGURA 5. - EJEMPLO DEL SITIO Kfar Hahoresh, LOS PROBABLES HORNOS SE MARCAN EN CÍRCULOS (MODIFICADO DE GOREN Y GORIN-MORRIS 2008: 783)	11
FIGURA 6. - ESQUEMA DE CLASIFICACIÓN DE LAS PIRAS O CALERAS	23
FIGURA 7. - ESQUEMA DE CLASIFICACIÓN DE LOS HORNOS	23
FIGURA 8. -CLASIFICACIÓN GEOLÓGICA DE LA PENÍNSULA DE YUCATÁN (GARCÍA GIL Y GRANIEL CASTRO 2010:5)	25
FIGURA 9. – CICLO QUÍMICO DE LA PRODUCCIÓN DE CAL.	27
FIGURA 10. – MAPA DEL ÁREA MAYA	29
FIGURA 11. -MAPA DE LA REGIÓN OCCIDENTAL Y EL PUUC, LOS SITIOS DE OXKINTOK Y SANTA BÁRBARA SON RESALTADOS EN COLOR ROJO (MODIFICADO DE STANTON Y MAGNONI 2008:3).	31
FIGURA 12. - VISTA GENERAL DEL AREA NUCLEAR DE SANTA BÁRBARA (FOTOS ORTIZ RUIZ)	32
FIGURA 13. – VISTA GENERAL DE LA ESTRUCTURA 12-V Y DE UNA ESTRUCTURA DEL AREA NUCLEAR DE OXKINTOK.	33

FIGURA 14. - SALVAMENTO CARRETERA FEDERAL 180 MÉRIDA-CAMPECHE, A) TRAZO CARRETERO UBICANDO LA DIVISION EN TRAMOS; B) PERSPECTIVA DE LA ESTRUCTURA 22-V DIBUJO R. MORALES; C) ESTRUCTURA 12-V VISTA GENERAL (ANCONA ARAGÓN ET AL. 2013)	34
FIGURA 15. - LOCALIZACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS ANULARES (MODIFICADA DE UC GONZALES Y MORALES UH 2013)	35
FIGURA 16. -ESTRUCTURA 24, H1, PLANTA DESPUÉS DE EXCAVACIÓN, RESALTANDO LA OQUEDAD (DIBUJO R. MORALES UH).....	37
FIGURA 17. -ESTRUCTURA 24, H1, PERFIL POZO 1, PUNTO ROJO INDICA TOMA DE MUESTRA (DIBUJO R. MORALES UH).....	37
FIGURA 18. - ESTRUCTURA H1 (24) CORTES GENERALES DESPUÉS DE EXCAVACIÓN (DIBUJO R. MORALES UH)....	38
FIGURA 19. - ESTRUCTURA H2 (53A-IV), PLANTA DESPUÉS DE EXCAVACIÓN (MODIFICADO DE CERVERA DÍAZ 2011).....	40
FIGURA 20. - ESTRUCTURA H2 (53A-IV), PERFIL POZO 2, PUNTOS EN ROJO MARCAN LAS MUESTRAS (MODIFICADO DE CERVERA DÍAZ 2011).....	40
FIGURA 21.- ESTRUCTURA H2 (53A-IV), CORTES GENERALES DESPUÉS DE EXCAVACIÓN (MODIFICADO DE CERVERA DIAZ 2011).....	41
FIGURA 22. - ESTRUCTURA H2 (53A-IV), ALZADO DEL INTERIOR DE LA OQUEDAD DEL HORNO (MODIFICADO DE CERVERA DIAZ 2011).....	41
FIGURA 23. - ESTRUCTURA H3 (3A), PLANTA DESPUÉS DE EXCAVACIÓN (MODIFICADO DE DIBUJO ORTIZ RUIZ 2011).....	44
FIGURA 24. - ESTRUCTURA H3 (3A), PERFIL PUNTO ROJO INDICA TOMA DE MUESTRA (MODIFICADO DE DIBUJO ORTIZ RUIZ 2011).....	44
FIGURA 25. - ESTRUCTURA H3 (3-A), CORTES GENERALES DESPUÉS DE EXCAVACIÓN (DIBUJO ORTIZ RUIZ 2011).....	45
FIGURA 26. - ESTRUCTURA 1, H4, PLANTA DESPUÉS DE EXCAVACIÓN (MODIFICADO DE ORTIZ RUIZ 2011).....	47
FIGURA 27. - ESTRUCTURA 1, H4, PERFIL POZO 1 PUNTOS ROJOS INDICAN MUESTRAS TOMADAS (MODIFICADO DE ORTIZ RUIZ 2011).....	48
FIGURA 28. -ESTRUCTURA H4, (1), CORTES GENERALES DESPUÉS DE EXCAVACIÓN (DIBUJO ORTIZ RUIZ 2011)....	48
FIGURA 29. - ESTRUCTURA 23A-V, H5, PLANTA DESPUÉS DE EXCAVACIÓN (MODIFICADO DE ORTIZ RUIZ 2012)..	51
FIGURA 30. - ESTRUCTURA 23A-V, H5, PERFIL POZO 1 PUNTOS EN ROJO INDICAN MUESTRAS TOMADAS (MODIFICADO DE ORTIZ RUIZ 2012)	51
FIGURA 31.- ESTRUCTURA H5 (23A-V), CORTES GENERALES DESPUÉS DE EXCAVACIÓN.....	52
FIGURA 32. -ESTRUCTURA 20, H7, PERFIL POZO 1 MUESTRAS MARCADAS EN ROJO (MODIFICADO DE ORTIZ RUIZ 2012).....	54
FIGURA 33. - ESTRUCTURA 20, H7, PLANTA DESPUÉS DE EXCAVACIÓN (MODIFICADO DE ORTIZ RUIZ 2012).....	55
FIGURA 34. - ESTRUCTURA 20, H7, CORTES GENERALES DESPUÉS DE EXCAVACIÓN (MODIFICADO DE ORTIZ RUIZ 2012).....	55
FIGURA 35. - ESTRUCTURA 1-III, H14, PERFIL POZO 6 PUNTOS ROJOS INDICAN LAS MUESTRAS (MODIFICADO DE ESTRADA VIELMA 2013)	58
FIGURA 36. - ESTRUCTURA 1-III, H14, PLANTA POZO 6 (MODIFICADO DE ESTRADA VIELMA 2013).....	58
FIGURA 37. - ESTRUCTURA 3, H15, POZO 1 PERFIL PUNTO ROJO INDICA MUESTRA (MODIFICADO DE BARRERA ET AL. 2011:53).....	59
FIGURA 38. - ESTRUCTURA 3, H15, PLANTA DESPUÉS DE EXCAVACIÓN (MODIFICADO DE BARRERA RUBIO ET AL 2011:51).....	60
FIGURA 39. –ESTRUCTURA 3, H15 CORTES GENERALES DESPUÉS DE EXCAVACIÓN (MODIFICADO DE BARRERA RUBIO 2011:52).....	60
FIGURA 40.- RUTA DE ANÁLISIS SEGUIDA EN ÉSTA INVESTIGACIÓN.....	62
FIGURA 41.- GRÁFICAS COMPARATIVAS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS HORNO 2, 5 Y 7 POR MEDIO DEL SEM.	66
FIGURA 42. - COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LA ESPECTROSCOPIA μ -RAMAN EN LAS ESTRUCTURAS H2, H5 Y H7.	68
FIGURA 43. - EJEMPLO DE LOS ESPECTROS OBTENIDOS POR ESPECTROSCOPIA μ -RAMAN.	69
FIGURA 44.- EJEMPLO DE LA APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE CHU ET AL. 2008, EN LA MUESTRA C7I.....	72

FIGURA 45.- COMPARACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE LOS RESULTADOS MINERALÓGICOS DE LAS MUESTRAS ANALIZADAS POR FTIR DE LAS ESTRUCTURAS H2, H5 Y H7	73
FIGURA 46.- COMPARACIÓN DE LOS ESPECTROS DE LAS ESTRUCTURAS H2, H5 Y H7 UTILIZADOS PARA LA IDENTIFICACION MINERALÓGICA POR MEDIO DEL FTIR	74
FIGURA 47.- RESULTADOS DE LA DIFERENCIACIÓN ENTRE CALCITA NATURAL Y ANTROPOGÉNICA DE ACUERDO A LA METODOLOGÍA DE CHU ET AL. 2008.	77
FIGURA 48. - ESPECTROS DEL FTIR MOSTRANDO LA APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE CHU ET AL. 2008.	78
FIGURA 49. -COMPARACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS H2, H5 Y H7 DE LOS RESULTADOS DE XRF POR CAPA ANALIZADA.	84
FIGURA 50.- COMPARACIÓN DE LOS ESPECTROS DE LA FLUORESCENCIA DE RAYOS X (XRF) DE LAS ESTRUCTURAS H2, H5 Y H7	85
FIGURA 51. - RESULTADOS DE LAS PRUEBAS QUÍMICAS DE LA ESTRUCTURA H2.....	88
FIGURA 52. - RESULTADOS DE LAS PRUEBAS QUÍMICAS DE LA ESTRUCTURA H5.	89
FIGURA 53. - RESULTADOS DE LAS PRUEBAS QUÍMICAS DE LA ESTRUCTURA H7.....	90
FIGURA 54. - RUTA IDEAL DE ANÁLISIS DE ESTRUCTURAS EXPUESTAS AL CALOR.....	94
FIGURA 55.- METODOLOGIA PROPUESTA PARA EL ANALISIS DE LAS ESTRUCTURAS ANULARES (HORNO).....	99
FIGURA 56. - PLANO CON LA UBICACION DE LOS PATRONES DE DISTRIBUCION 1 Y 2 DE LAS ESTRUCTURAS ANULARES IDENTIFICADOS (MODIFICADO A PARTIR DE UC GONZALES Y MORALES UH 2010)	100
FIGURA 57. - PLANO CON UBICACIÓN DEL PATRÓN DE DISTRIBUCIÓN 3 DE LAS ESTRUCTURAS ANULARES (MODIFICADO DE UC GONZALES Y MORALES UH 2010)	101
FIGURA 58. - PLANO MOSTRANDO EL PATRÓN DE DISTRIBUCION 4 DE LAS ESTRUCTURAS ANULARES (MODIFICADO DE UC GONZALES Y MORALES UH 2010).....	101
FIGURA 59. – PLANO DE UBICACION DEL PATRÓN 5 DE DISTRIBUCION DE LAS ESTRUCTURAS ANULARES (MODIFICADO DE UC GONZALES Y MORALES UH 2010)	102
FIGURA 60. - PROPUESTAS DE INVESTIGACIÓN A FUTURO.....	107
FIGURA 61. - ESQUEMA DE ESTUDIO INTEGRAL E IDEAL DE UNA ESTRUCTURA ANULAR	109
FIGURA 62. - ESQUEMA DE UN HORNO PRESENTADO POR WINGATE (1985:72).....	110
FIGURA 63. - PROCESOS DE CONSTRUCCIÓN Y QUEMA QUE REPORTAN GOREN Y GORING-MORRIS 2008(786-788)	111
FIGURA 64.- REGISTRO DE FUNCIONAMIENTO DE HOYOS DE QUEMA EN EL ÁREA MAYA SCHREINER 2001:367-368 Y WERNECKE 2005:171	111
FIGURA 65. - PROPUESTA DE FUNCIONAMIENTO DE LAS ESTRUCTURAS ANULARES.....	113

Índice de Graficas

GRÁFICA 1.- RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE CHU ET AL. 2008, SE PRESENTAN POR GRUPO DE MATERIAL, EL RECUADRO ROSA INDICA LOS VALORES DE DISTINCIÓN DE LA CALCITE ANTROPOGÉNICAS, (ERROR DEL 0.1).....	79
GRÁFICA 2.- RESULTADOS DEL XRF DE LAS ROCAS ANALIZADAS INCLUYENDO LAS MUESTRAS G13M Y C20V-5M COMO REFERENCIA	82
GRÁFICA 3. – RESULTADOS DE XRF DE LOS SEDIMENTOS ANALIZADOS SE INCLUYEN LAS MUESTRAS G13M Y C20V-5M COMO REFERENCIA	83
GRÁFICA 4.- RESULTADOS DEL XRF PAR ALAS CONCRECIONES ANALIZADAS SE INCLUYEN LAS MUESTRAS G13M Y C20V-5M COMO REFERENCIA.....	83
GRÁFICA 5.- RESULTADO DEL XRF DE LOS ESTUCOS ANALIZADOS SE INCLUYEN LAS MUESTRAS G13M Y C20V-5M COMO REFERENCIA.	84
GRAFICA 6. - RESULTADOS DE ARQUEOMAGNETISMO, GRUPO TEMPORAL DEL CLÁSICO TERMINAL (850-1000 D. C.)	92
GRAFICA 7.- RESULTADOS DE ARQUEOMAGNETISMO GRUPO TEMPORAL DE LA COLONIA TEMPRANA (1500-1600 D. C.).....	93

Agradecimientos

El término de esta investigación fue posible gracias a la contribución de instituciones y personas a lo largo de estos 3 años de trabajo intenso en campo y laboratorio. A los cuales agradezco todo el apoyo otorgado y los nombro a continuación:

Al Colegio de Michoacán A. C., le debo mi formación en el Centro de Estudios Arqueológicos donde curse la maestría y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) la beca para cursar esos estudios. Asimismo el Colegio de Michoacán A. C. me permitió llevar a cabo una parte de los análisis en el Laboratorio de Análisis y Diagnóstico del Patrimonio (LADiPA) en el área de Patrimonio Cultural Material.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, particularmente los Institutos de Investigaciones Antropológicas, el Instituto de Física y el Instituto de Geofísica campus Morelia, le debo la formación en caracterización de materiales arqueológicos y las facilidades otorgadas para utilizar los laboratorios de los institutos antes mencionados para concluir los análisis de esta investigación.

El Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH) y la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) en Yucatán apoyaron los trabajos del Salvamento Arqueológico Carretera Federal 180 Mérida-Campeche (Límites de los Estados de Yucatán y Campeche) del cual derivó esta investigación, además el INAH otorgó las facilidades necesarias en el traslado de las muestras analizadas en este trabajo.

La estancia académica y de investigación llevada a cabo en los Institutos de Investigaciones Antropológicas y de Física fue gracias a la beca de movilidad nacional otorgada por el Banco Santander.

Además, de la beca de estudios de Conacyt se contó con el apoyo de los proyectos CONACYT 131944 MOVIL II y PAPIIT UNAM IN402813 – ANDREA II y el Proyecto CONACYT 129653 titulado Determinación del Valor Absoluto de la Intensidad Geomagnética sobre las Cerámicas Prehispánicas de América Latina: Implicaciones en Arqueología y Geofísica.

Personalmente se involucraron muchísimas personas, las cuales a lo largo de estos tres años influyeron en mi investigación con sus comentarios y amistad.

En primer lugar le doy las gracias a mi comité de tesis, el Dr. José Alberto Aguirre Anaya, el Dr. Juan Rodrigo Esparza López, al Dr. Luis Alberto Barba Pingarrón, al Dr. José Luis Ruvalcaba-Sil y la Mtra. Mirta Insaurralde Caballero, quienes me alentaron a continuar en este camino mi investigación y me abrieron las puertas de sus respectivas instituciones para llevarla a cabo.

Una mención especial merecen el Dr. Avto Gogichaisvili y el Dr. Juan Morales Contreras quienes realizaron la toma de muestras y trabajo de campo en Yucatán para realizar las dataciones paleomagnéticas y por su apoyo a lo largo de todo este último año.

A mi director de tesis el Dr. Alberto Aguirre le doy las gracias por todas las horas invertidas en mis dudas, lecturas de las múltiples versiones del proyecto, de los avances y de la conclusión de esta tesis. Personalmente le agradezco el apoyo en la gestión administrativamente y por su apoyo al involucrar a

las personas que necesitaba para concluir esta investigación. También le doy las gracias por las horas de viaje a Mérida, Maxcanú y al D. F.

Al Dr. Rodrigo Esparza por todos los comentarios, apoyo y tiempo invertido en esta investigación, desde los inicios para los tramites de admisión al posgrado y a lo largo de todo el camino de la investigación. Igualmente a él le debo el contacto con mis asesores externos y la gestión en parte de mi estancia académica, muchas gracias por creer en el proyecto.

Al Dr. Luis Barba Pingarrón muchísimas gracias por aceptar ser lector y asesor de esta investigación, por abrirme las puertas del Laboratorio de Prospección Arqueológica del Instituto de Investigaciones Antropológicas de la UNAM, sus comentarios y cuestionamientos que siempre me dejaron pensando y todavía sigo trabajando en ellos y espero haber captado todo lo que me enseñó a lo largo de todos estos meses de trabajo, y espero continuar nuestro trabajo en investigaciones futuras.

Al Dr. José Luis Ruvalcaba Sil quien creyó en el proyecto y puso a disposición las instalaciones del Instituto de Física para realizar gran parte de este trabajo de investigación, también por las sesiones de presentación y comentarios a lo largo de mi estancia académica que me hacían ir más allá en la investigación, además le doy las gracias por todas las clases sobre caracterización de materiales y por integrarme a un grupo de trabajo tan interdisciplinario y muy buena onda tanto que extrañé los seminarios y los jueves de pay!!

A la Mtra. Mirta Insaurralde Caballero muchas gracias por su apoyo y comentarios en LADiPA, por integrarse a una nueva línea de trabajo en pleno doctorado la cual fue diferente y nueva a sus investigaciones, asimismo sus consejos a nivel personal y administrativo se los agradezco muchísimo.

Al Dr. Mauricio Obregón y la estudiante Eos López muchas gracias por su apoyo y enseñanza a lo largo de toda mi estancia en el Instituto de Investigaciones Antropológicas de la UNAM, las comidas y pláticas hicieron más amena esta estancia académica, y la humildad al compartir su conocimiento se los debo muchas gracias de todo corazón.

También del Instituto de Investigaciones Antropológicas les debo mucho al Mtro. Jorge Blancas y al Arq. Agustín Ortiz quienes se interesaron y comentaron el proyecto desde múltiples visiones y sobre todo por el apoyo en el Laboratorio.

En el Instituto de Física me encontré con mucho apoyo por parte de los técnicos del Acelerador Peletrón, Karim López Guzmán, Francisco Jaimes Beristain, Mauricio Escobar y Juan Gabriel Morales Morales quienes siempre estuvieron al pendiente de todo lo que necesitara para terminar mi investigación. Al Dr. Luis Rodríguez por sus pláticas, comentarios y apoyo (también por la adición a los taquis) muchas gracias!!!.

Al Dr. Pieterjan Claes le debo la comprensión de la técnica de Espectroscopia de Infrarrojo y su apoyo en el procesamiento de los datos y los resultados obtenidos, además a nivel personal con Dulce les doy las gracias por dejarme utilizar su cocina para preparar la comida de mi tierra que extrañaba y poder compartir las tardes entre amigos !!!.

La Mtra. Valentina Aguilar le doy las gracias por su apoyo en el procesamiento de las muestras con el equipo de Difracción de Rayos X y de Fluorescencia de Rayos X (SANDRA). A la física Mayra Manrique por su ayuda para analizar los datos por medio del programa Acsil de los resultados de los

análisis de Fluorescencia de Rayos X (SANDRA), les doy las gracias por su amabilidad y amistad durante mi estancia de investigación.

El Mtro. Miguel Máynez se merece una mención especial pues tuvo la paciencia para darme clases básicas de estructura de los materiales y química, casi como a una niña de kínder para que pudiera comprender todo lo que observaba en los resultados de los análisis, le había dicho que tendría una pagina completa de agradecimientos pero ya llevo varias y no termino, pero de todo corazón gracias por esas horas que te tomaste para hacerme comprender muchísimas cosas antes de mis seminarios con el Dr., por tu amistad y apoyo en esta estancia de investigación.

Al Mtro. Alex Mitrani, la Química Alma Delgado les doy las gracias por su amistad, paciencia y por soportar que llegara a su cubículo con tantas dudas y casi siempre me las resolvían. Personalmente gracias por el apoyo y platicas fuera del instituto y a Alma las caminatas desde la Universidad hasta Coyoacán, esto los hizo convertirse en amigos entrañables!!!.

El equipo del Dr. Ruvalcaba Sil conformado por Pieterjan, Dulce, Máynez, Mitrani, Angie, Mayra, Valentina, Alma, Erika, Francisco, Ingrid y Adriana les debo una estancia agradable y que espero repetir en el instituto de Física, se les extraña!!!

La Mtra. Nora Pérez le debo los consejos sobre difracción y las largas platicas en el Acelerador Peletrón sobre el medio arqueológico y el medio arqueométrico, su apoyo bibliográfico fue invaluable, así como su amistad!!!.

Asimismo le doy las gracias al Dr. Lauro Bucio y a Eréndira por realizar los análisis térmico diferenciales de las muestras de esta investigación, muchas gracias por todo el apoyo!!.

En el Instituto de Geología debo dar las gracias al Dr. Sergey Sedov por su apoyo en la realización de las laminas delgadas y sus comentarios sobre las calizas del estado de Yucatán. A su alumna Luisa Straulino por sus comentarios y sugerencias con respecto a las laminas y su interés en esta investigación, y su apoyo para contactar a personas interesadas en el tema.

La Dra. Isabel Villaseñor le debo los comentarios al proyecto y su interés en la investigación, muchísimas gracias. A la Mtra. Lynne Lowe le debo el apoyo y comentarios en estos años muchas gracias.

En el Centro de Estudios Arqueológicos merecen las gracias los profesores quienes me enseñaron a ver mas allá de lo obvio y a tolerar las criticas positivas y negativas realizadas al proyecto de investigación.

Al Dr. Efraín Cárdenas por sus consejos, comentarios, apoyo en lo personal y administrativo, por su amistad durante mi paso por Michoacán. A la Dra. Agapi Fillini quien siempre se preocupó por que tuviera todas las referencias bibliográficas que necesitaba y sino las tenia las conseguía, gracias a eso puede contar con la bibliografía especializada, Agapi muchas gracias!!.

A la Dra. Blanca Maldonado le doy las gracias por su paciencia, interés y cuestionamiento a esta investigación y por contactarme con el Dr. Ronald Castanzo y el Dr. Kenneth Hirth los cuales me hicieron comentarios que ayudaron a este proceso de investigación.

A la Dra. Antonieta Jiménez le doy las gracias por compartir sus ideas y experiencias a lo largo de todo el tiempo que estuvimos conviviendo, a su guía y revisión de las primeras versiones del proyecto,

igualmente por permitirme conocer a su familia la cual me trato de maravilla en mis viajes a Morelia su calidez humana es maravillosa así que muchas gracias por adoptar a esta yucateca!!.

Una mención especial es necesaria para la Dra. Magdalena García quien apoyo esta investigación con la lectura de los documentos previos a esta tesis, por aventurarse en sus vacaciones de julio a la selva yucateca con su familia para ayudarme en la investigación, por su apoyo en la gestión administrativa del proyecto, estancia y todos los tramites necesarios para acabar esta investigación, a sus hijos igualmente muchas gracias por tomar sus vacaciones en Yucatán.

Igualmente muchas gracias al P. A. Cesar Hernández por su apoyo y comentarios al proyecto. A Lupita Bravo le doy las gracias por la paciencia y amabilidad en los tramites que teníamos que realizar para acabar finalmente el posgrado.

En el Laboratorio LADiPA a la Dra. Paulina Machuca le doy las gracias por su apoyo y gestión en la realización de este proyecto y por estar siempre pendiente de cómo se desarrollaba la investigación. Al Lic. Diego Quintero por su apoyo para realizar las pruebas en las muestras arqueológicas; al igual que al Ing. Esteban Sánchez por su apoyo en la Microscopia Electrónica, durante su paso por el laboratorio el químico Fernando Torres me ayudo a procesar algunas muestras así que muchas gracias. También a la Ing. Maricela Ayala muchas gracias por sus comentarios y apoyo a mi trabajo.

Del Centro de Geografía Humana le agradezco todo el apoyo y los comentarios a la Dra. Martha Cuevas quien desde mi llegada a La Piedad le intereso el proyecto y me apoyo en cada presentación muchas gracias Martha. Al Dr. Néstor Corona por las horas que invirtió en convertir mis planos en mapas dentro de un SIG para presentar en la tesis muchas gracias por sus platicas, asesorías y comentarios. A la Dra. Ángeles Villavicencio y al Dr. Carlos Tellez por todos los comentarios y apoyo a nivel personal y académico muchas gracias!!, a la Mtra. Marina Chávez por su amistad, apoyo y comentarios muchas gracias !

También mención especial merecen el personal de la Biblioteca en Zamora especialmente Iván quien me ayudo para la búsqueda de artículos a los cuales no tenia acceso desde la base de datos muchas gracias!! Pero sobre todo a Diana Vega encargada de la biblioteca en La Piedad por su paciencia, esfuerzo y atención en cada petición de libros que necesitaba muchas, además se convirtió en una amiga entrañable al igual que sus niños los extrañare muchísimo Bellisima!!!

En las cuestiones administrativas muchas gracias a Rogelio y Laura Graciela Méndez Reyes por su apoyo a distancia, a Chelita le debo la búsqueda de mi casa en la Piedad y sus atenciones en cada momento que llegaba. A Rogelio las idas y venidas de los bancos por estar siempre de viaje y el apoyo en la entrega de los documentos en Zamora. A Cristian en computo quien siempre soluciono todos los problemas, muchas gracias. A los vigilantes Leonel, Gil, Alberto y don Andrés gracias por el apoyo durante mi estancia en el colegio. A Filiberto, José y Fernando muchas gracias por su amistad y sobre todo Fer por tener los escaneos del material que necesitaba todo el tiempo.

A Laura Hernández de servicios escolares muchas gracias en el apoyo a lo largo de mi estancia en el posgrado y por guiarme a través de las solicitudes y tramites para continuar mi formación fuera del Colegio por medio de la estancia de investigación.

A Verónica Mora le agradezco todas las atenciones, comentarios, platicas interminables sobre la investigación y la vida, por su amistad y por todo el apoyo a lo largo de estos dos años!!!.

Angie y Jared muchísimas gracias por aceptarme en su familia y por ofrecerme una casa donde llegar en Morelia, por compartir su tiempo libre en los centros comerciales y alrededores de Morelia, por hacer la visita a la ciudad mas agradable!!

A Maricela García muchas gracias por su amistad y apoyo en estos dos años desde que llegue a La Piedad, por introducirme en su familia y convertirse en mi familia Piedadense en las buenas y en las malas!!.

Al Mtro. Carlos Castañeda muchas gracias por el recibimiento, apoyo y amistad a lo largo de estoy dos años, tanto en tierras michoacanas como guanajuatense.

A Miguel Novillo, compañero de clase y en los laboratorios muchas gracias por los comentarios apoyos y discusiones en el aula y fuera de ella.

En Yucatán, siempre conté con el apoyo inigualable de los arqueólogos del centro INAH, especialmente la arqueóloga Eunice Uc González y el arqueólogo Raúl Morales quienes dirigieron el proyecto de Salvamento del que surgió esta tesis, gracias por todo el apoyo en la distancia con los tramites administrativos del INAH, el traslado de las muestras para su análisis y por las visitas a Yucatán. Eunice igualmente gracias por todos los comentarios y platicas a nivel personal.

Al Mtro. Alfredo Barrera muchas gracias por confiar en mi para los análisis de los materiales de uno de sus trabajos de rescate y por sus comentarios a esta investigación y apoyo a lo largo de los dos años.

Al Dr. Tomas Gallareta Negrón y la Arqlga. Rosana May por su apoyo, por facilitarme muestras para comparar esta investigación y permitirme pasar semanas agradables en Kiuic y Oxkutzkab, al igual que por compartir su investigación muchas gracias. Al Dr. George Bey III y al Dr. William Ringle por permitirme visitar sus excavaciones y por el interés mostrado hacia esta investigación, y como co directores con el Dr. Tomas Gallareta muchas gracias por todo en mis visitas a Kiuic. Los estudiantes de doctorado Ken Seligson y Evan Parker les doy las gracias por haber compartido sus investigaciones conmigo y convertirse en amigos entrañables.

Al Arqueólogo Ángel Góngora Salas por su apoyo, comentarios y por estar pendiente de esta investigación, muchas gracias por todo a lo largo de estos años!! A los arqueólogos Victor Castillos, Leticia Paredes, Carlos Peraza muchas gracias por el interés demostrado hacia esta investigación y sus comentarios de apoyo!!. Asimismo gracias a las arqueólogas Susana Echeverria Castillo, Fatima Tec Pool, Dalia Paz y Maria José Gómez por sus comentarios, la platicas siempre fueron motivadoras e interesantes!!.

A cada uno de los arqueólogos que participaron en el salvamento de la Carretera Federal muchas gracias por su apoyo y comentarios, especialmente Carlos Cervera quien excavo uno de las estructuras anulares y me proporciono los datos necesarios para terminar en tiempo y forma. A la arqueóloga Silvia Estrada quien trabajo también en el proyecto Dzoyila y quien excavo igualmente una de las estructuras utilizadas en la tesis muchas gracias por su apoyo en la distancia. A la Mtra. Iliana Ancona quien realizo los análisis tipológicos de la cerámica y me apoyo con referencias bibliográficas para buen termino de esta investigación.

Al Mtro. Roberto Rosado le doy las gracias por todo el apoyo, los comentarios, las referencias compartidas y platicas interminables sobre este tema de investigación.

Al Dr. Scott Hutson le doy las gracias por su interés, comentarios y por compartir los planos e información sobre Chunchucmil. Al Dr. Héctor Hernández le debo el apoyo, los comentarios a distancia a mi proyecto de investigación y su amistad entrañable a lo largo de todos estos años.

En la última etapa de investigación muchísimas gracias por sus comentarios y apoyo a la Dra. Alessandra Pecci, al Dr. Domenico Miriello y al Dr. Jay Silverstein.

A todos ellos muchas gracias pero mi aventura michoacana no hubiera sido posible si no contara con el apoyo de mi familia y amigos cercanos muchas gracias a ellos.

La Dra. Rosa Torras y el Dr. Arturo Taracena muchas gracias por los comentarios, recibimientos y pláticas y consejos a lo largo de estos años de amistad. Al Mtro. Alfredo Cruz y France Parker por su apoyo, consejos y pláticas compartidas tanto en Mérida como en el D.F.

Al Dr. James Biles quien desde la distancia siempre ha mostrado el interés y entusiasmo en mi carrera profesional, muchas gracias por todos los consejos y pláticas en todos estos años.

Por último a mis amigas Marion Garrido, Fátima Santos, Sarai Borges y Beatriz Echeverría amigas desde la facultad quienes siempre estuvieron pendientes de mis aventuras. A Olivia Barker mi profesora de francés y amiga entrañable por sus comentarios y cafés de confidencias.

A todas las personas mencionadas en esta investigación y a las que la memoria me hiciera omitir muchas gracias por todo!!!.

Resumen

La investigación que presentamos como tesis de maestría tiene como finalidad definir la función de las estructuras anulares localizadas en el área Maya. Para lograr los objetivos e hipótesis utilizamos una conjunción de metodologías arqueométricas que permitieron la caracterización de los materiales recuperados en la excavación y la datación de las estructuras anulares.

Las técnicas arqueométricas utilizadas en la caracterización de las muestras incluyen la Espectroscopia de Infrarrojo (FTIR), Espectroscopia Raman, Fluorescencia de Rayos X (XRF) y Microscopia Electrónica de Barrido (SEM-EDS). Además de los análisis de caracterización realizamos por medio del FTIR y siguiendo la propuesta metodológica de Chu et al. (2008) la diferenciación de las calcitas geogénicas de las calcitas antropogénicas las cuales estuvieron expuestas a un proceso pirotecnológico.

Este estudio presenta una clasificación de los tipos y patrones de distribución de las estructuras anulares y en conjunción con los resultados de los análisis arqueométricos, sugerimos líneas futuras de investigación para obtener más información de las estructuras anulares y el proceso de producción de cal y el uso del fuego por las sociedades Mayas prehispánicas.

El valor de esta investigación fue darle visibilidad a un rasgo arqueológico buscado pero a la vez ignorado por la carencia en la sistematización de la información arqueológica, es decir, los hornos para producir cal han sido parte importante del estudio de la tecnología de producción pero poco tomados en cuenta, aunque el registro más antiguo de su presencia en los textos viene de la década de los años 70. Esta confusión proviene de la falta de una definición tipológica concreta y la poca difusión de los planos de registro de los sitios arqueológicos.

Palabras clave: Área Maya, Estructura Anular, Horno, Cal, Arqueometría

Abstract

The characterization of the ring structures can strongly suggest the presence of kilns for lime production used by the Maya in the Classic period and the colonial period. Archaeometric techniques used in this research were fundamental in the mineralogical characterization, dating and obtaining organic waste associated with the production of lime.

Archaeometric techniques used in the characterization of the samples included Infrared spectroscopy (FTIR), Raman spectroscopy, X-Ray Fluorescence (XRF) and Scanning Electron Microscope with Energy Dispersive Spectroscopy (SEM-EDS). Besides the characterization techniques, used the FTIR analysis for the differentiation of geological calcite of calcite anthropogenic as a product of pyrotechnology.

This study presents the classification of the type and distribution patterns of the ring structure and in conjunction with the result of the analysis, finally, I suggest future approaches that may be taken in order to extract more information from the ring structures and the process of production of lime and the use of fire by the prehispanic Maya societies.

The value of this research was to give visibility to an archaeological feature searches yet ignored by the deficiency in the systematization of archaeological information. This lack stems from the absence of a specific definition and the little diffusion of maps of archaeological sites.

Key words: lime, limekilns, ring structure, Area Maya, Archaeometry

Introducción

La investigación que aquí presentamos, se ubica en el área Maya durante el periodo Clásico Tardío-Terminal (630-1000 d. C.), específicamente, trabajamos la región occidental de las Tierras Bajas Mayas del Norte (*Figura 1*). La sociedad Maya materializa su mundo en la selva, en un ambiente disperso que permite el desarrollo de tecnologías propias, evidencia de ello son los impactantes edificios y sus recubrimientos de estuco y color, lo cual crea paisajes que necesitan ser entendidos como los sistemas de interconexiones entre la gente, sus objetos y paisaje.



Figura 1. - Mapa del Area Maya resaltando la zona de investigación (modificado de Stanton y Magnoni 2008:3)

Esta investigación nació en la selva, con la exploración de distintos tipos de rasgos arquitectónicos, donde la premura de la arqueología actual en el área -como son los salvamentos- cuya información contextual es delineada por trazos carreteros y/o zonas residenciales, permitió recuperar la información utilizada aquí. La exploración de varias estructuras anulares que reportaban similitudes en estratigrafía y forma, permitió plantear su función como hornos para producción de cal.

Al inicio de esta investigación, el objetivo era entender cómo un desarrollo tecnológico, influye en la producción de un material ampliamente utilizado como es la cal. No obstante, intentar entender un desarrollo tecnológico, del cual no se tiene conocimiento ni idea de cuándo surge en el área de investigación, nos hizo tomar distintas direcciones para poder obtener la información necesaria para entender este fenómeno. Por tanto, pasamos de tratar de entender un proceso tecnológico y su impacto social y económico a construir un indicador arqueológico que permitiera definir los rasgos necesarios, para iniciar los trabajos de identificación de una tecnología -como son los hornos para producción de cal.

La creación de un marcador arqueológico, que implica la correcta conjugación de los datos recabados en el campo con la metodología de análisis y las teorías implícitas, resulta en una investigación de índole teórico-metodológico que debe contemplar su valioso aporte a la investigación arqueológica mesoamericana, un aspecto que no me planteé al inicio, pero finalmente, el resultado es un aporte significativo para los estudios sobre pirotecnología en Mesoamérica.

Para realizar esta investigación, siguiendo estos nuevos cánones, recurrimos a un enfoque multidisciplinario e interdisciplinario que aportó conocimiento teórico, metodológico y técnico, lo que permite en este momento finalizar ésta tesis con la propuesta de funcionamiento de los rasgos estudiados y la propuesta metodológica para seguir construyendo y entendiendo las conexiones de los sistemas tecnológicos y productivos sobre la cal en las sociedades prehispánicas.

Problemática de Investigación

La producción de cal en la época prehispánica, es un tema extenso e intensamente investigado, los primeros reportes llegan con el trabajo de Morris et al. (1931) donde se describe la construcción de una pira y la quema de calizas para producir cal realizada en el sitio de Chichén Itzá. Durante las décadas de los años 50 y 60, Littman (1957, 1958, 1958a, 1959, 1959a, 1960, 1960a, 1962, 1966) realizó investigaciones sobre la producción de estucos en Mesoamérica y los analizó con la finalidad de caracterizar los componentes de los mismos para poder entender su producción. Igualmente presento las definiciones de los términos derivados de la producción de cal (estuco, mortero, lechada de cal etc.) ampliamente utilizados hasta la actualidad.

Los estucos y morteros, se convirtieron en la fuente preferida para el estudio del sistema tecnológico de la producción de cal. A partir de estos estudios, se trató de identificar el origen de la tecnología del uso de la cal (Barba 2013; Hansen 2000; Magaloni 2001; Villaseñor y Barba 2011, 2012; Villaseñor y Graham 2010; Villaseñor 2010).

En años recientes el trabajo desarrollado por Tomas Schreiner (2002) desde mediados de los años 90 hasta el 2002, se convirtió en la referencia obligada a consultar sobre la producción de cal en el área maya. Su investigación titulada *Tradicional Maya Lime Production: Environmental and Cultural Implications of Native American Technology*, utiliza las fuentes documentales, etnográficas y experimentales sobre las caleras tradicionales como el método de producción de cal (Figura 2). Su hipótesis de trabajo tenía implícita las consecuencias en el medio ambiente causadas por la producción de cal a gran escala observada en los sitios de la cuenca del Mirador en Guatemala.

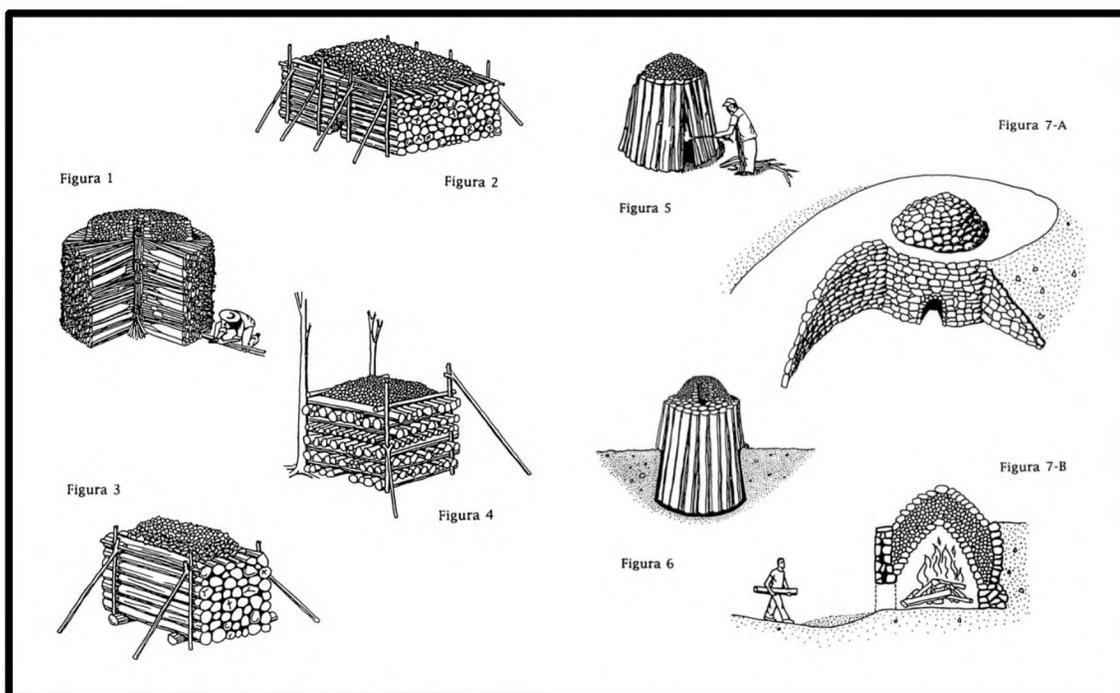


Figura 2. - Caleras tradicionales [1,2,3,4,5 y 6] y caleras tipo horno colonial [7-A, 7-B] identificadas por Schreiner, los hornos fueron construidos en 1948 (Tomado de Schreiner 2001:367-368)

Por otra parte, en los estudios sobre hornos para cal en el área Maya, sólo se cuenta con dos referencias claras sobre la definición de un rasgo arqueológico como horno de cal. La primera es publicada por Abrams y Freter (1996), donde describen la excavación de un horno cerrado para producir cal. La segunda es descrita y publicada por Fauvet-Berthelot (1986) en la monografía sobre las investigaciones en el sitio de Cauinal; en esta descripción presenta información sobre la excavación de una estructura circular que resultó ser un horno para producir cal la cual se encuentra en la zona

residencial del sitio; las fotos y dibujos arqueológicos presentados corresponden a una estructura anular mas que circular y presentan semejanzas con las estructuras anulares de la zona occidental del área Maya (Fauvet-Berthelot 1986: 126, figuras 40 y 41) (*Figura 3*).

Menciones espontaneas se encuentran en Freidel y Sabloff (1984) sobre un horno en el sitio de la Aguada en Cozumel y al igual que en el sitio de Pulltrouser Swamp (Ettlinger 1983, citado por Barba y Villaseñor 2012). La poca evidencia arqueológica registrada hasta éste momento, presenta dos variantes en la producción de cal: los hornos y las piras o caleras superficiales; la búsqueda de los hornos a mi parecer quedó relegada por no haber registros concretos de la forma y rasgos asociados a ellos. Las piras al seguir siendo utilizadas en la actualidad, reflejaron un rasgo fácilmente asociable a la arqueología.

La presencia de rasgos identificados como estructuras anulares, se ha registrado desde mediados de los años 80, el caso más relevante es el del sitio de Sayil en la zona Puuc del área Maya (Dunning 1991, 1992; Sabloff y Toutellot 1991), donde la descripción de los datos obtenidos en la excavación, hacen mención a la presencia de ceniza y calizas quemadas con *sascab* (Dunning 1992:117-118). Esta descripción podría estar correspondiendo a una estructura para producir cal, aunque Dunning (1991:25) le atribuye una función como estructura para producir fertilizante para los suelos cultivables del Puuc (*Figura 3*).

La definición que proporcionan Sabloff y Tourtellot (1991:16) de una estructura anular es la siguiente, “Estructuras en forma de dona que consisten en una depresión central (frecuentemente extendida hacia la roca madre) rodeadas por un muro de piedra que aparentemente sirve para excluir el anillo del *ch'iich*. Rara vez hay una apertura a través del muro. Ahora se sabe que varios se superponen a las canteras (*sascaberas*). Las estructuras anulares pueden ocurrir a lo largo del Puuc, pero su uso sigue siendo desconcertante”.

Las estructuras anulares, en sentido estricto consisten en oquedades excavadas en la roca madre, las que en su interior presentan, ocasionalmente, un muro de piedra que recubre las paredes de dicha oquedad. Como remate de la misma, en su parte superior sobre el terreno natural, presentan dos alineamientos contruidos en piedra, los que acusan una forma anular a manera de banqueta en torno a la boca de la oquedad. La oquedad se encuentra rellena de distintas capas de sedimentos y derrumbes (*Figura 4*).

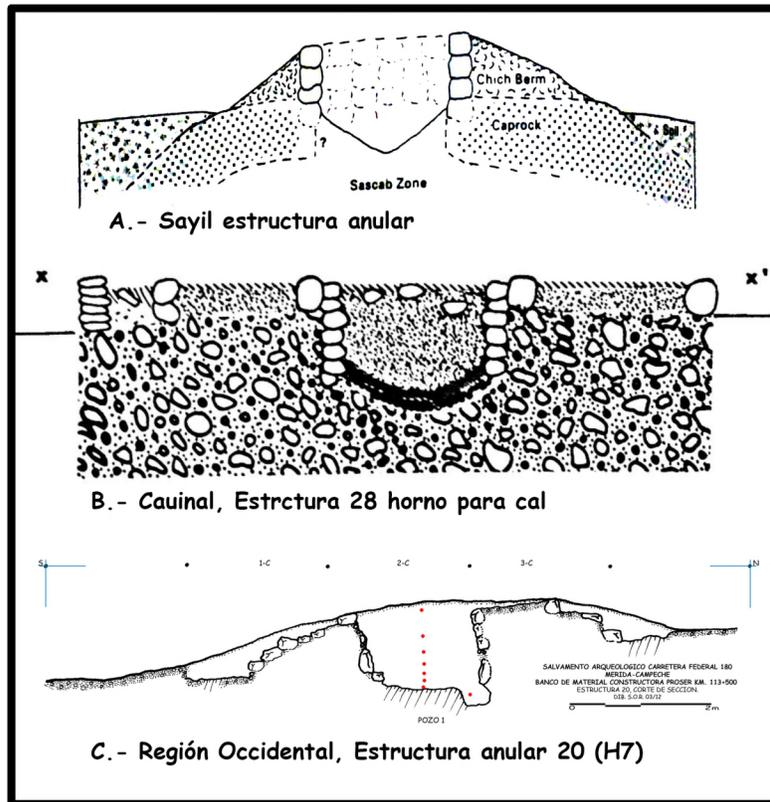


Figura 3. - Comparación de estructuras anulares del sitio de Sayil, Cainal y de la Carretera Federal Merida Campeche (Tomado de Dunning 1992:118, Fauvet-Berthelot 1986: 129 y Ortiz Ruiz 2012)

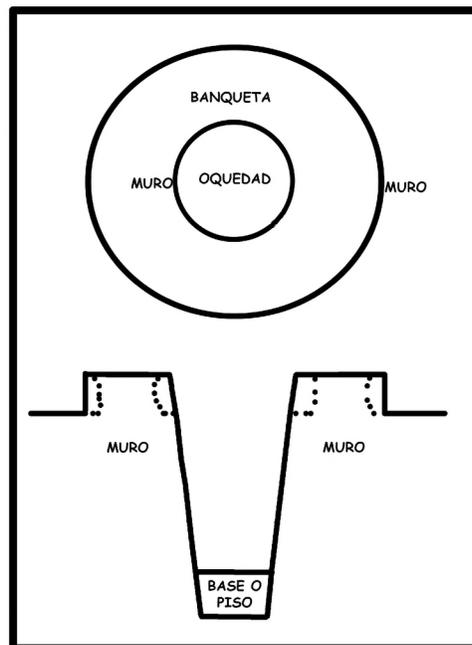


Figura 4. - Esquema ideal de la estructura anular

Ésta hipótesis propuesta, fue la que nos guió en la investigación y de donde surgen los siguientes cuestionamientos

- *¿Éstas estructuras son hornos utilizados para la producción de cal?*
- *¿Cuáles son los indicadores arqueológicos que permiten definir un horno para la producción de cal?*

Los objetivos para llevar a buen término esta investigación se centran en lo siguiente:

- Construir un indicador arqueológico
- Definir la función de un rasgo arqueológico
- Caracterización de los materiales recuperados al interior y exterior de los rasgos arqueológicos: distinción de materiales y definición de temperaturas.

La hipótesis final surge del cuestionamiento sobre atribuir una función específica a las estructuras anulares como hornos para producir cal, a partir del contexto arqueológico, dado los indicadores siguientes:

1. Presencia de calizas quemadas y muros con evidencia de contacto directo del fuego.
2. Presencia de sascaberas prehispánicas indicando los lugares de explotación de materia prima para producir cal.
3. Presencia del patrón complejo doméstico-estructura anular-cantera /*sahcabera*¹-*monticulo ch'iich*².

Para construir una propuesta sobre el funcionamiento de las estructuras anulares, nos vimos en la necesidad de contrastar los datos macroscópicos con los datos microscópicos, donde hallamos dos vertientes:

1. La positiva: si estas construcciones arquitectónicas son identificadas como hornos, los rasgos evidenciados de la identificación son asumidos como un indicador arqueológico.
2. La negativa: cuando los datos microscópicos indiquen la ausencia de hornos para producción de cal, la cual nos presenta vertientes de funcionalidad no considerados previamente.

La adjudicación de una función en base a la contextualización, es un punto crítico en la arqueología en estos momentos; dados los avances científicos, que permiten comprender el desarrollo

¹ Sahcabera o sascabera, cantera de donde se extrae sahcab o sascab; generalmente se halla bajo la roca superficial y antes del nivel freático (Gendrop 2007:184).

² Ch'iich voz maya yucateco para piedras pequeñas o grava (Gendrop 2007:50)

tecnológico y funcional de los objetos creados por las sociedades prehispánicas en su vida cotidiana. Por tanto, cuestionar la idea original, permite construir una respuesta a la función de los rasgos arqueológicos investigados, con base en elementos concretos que provienen de la caracterización de los mismos; siendo una posibilidad la multifuncionalidad de las estructuras investigadas. Sin embargo, a su vez, podemos obtener información que permita en ambos casos -positivos o negativos- avanzar al entendimiento de los sistemas tecnológicos y productivos de Mesoamérica.

En el intento de responder a los cuestionamientos de investigación, hemos distribuido la tesis de la siguiente manera. En el capítulo 1, tratamos los estudios previos sobre la cal en el mundo antiguo, contrastando la investigación llevada a cabo en zonas tan distantes como África, Europa y Asia, con la investigación en Mesoamérica y específicamente el área Maya.

En el capítulo 2 presentamos una reflexión sobre el uso del fuego, sus residuos y su visibilidad en la arqueología. Igualmente, se presenta la clasificación de estructuras pirotecnológicas utilizadas en el mundo antiguo. En el capítulo 3, resumimos los datos geológicos y químicos necesarios para producir cal. El capítulo 4, es una introducción a la zona de investigación y a los contextos explorados de los cuales provienen las muestras analizadas en esta investigación.

En el capítulo 5, desarrollamos la metodología utilizada para responder los objetivos de esta investigación y se propone el esquema ideal de análisis para caracterizar éstos rasgos arqueológicos. En el capítulo 6, presentamos la discusión de los resultados y las consideraciones finales de esta investigación. Estas consideraciones versan sobre las propuestas de investigación futuras, dirigidas hacia la experimentación.

Capítulo 1.- África, Europa, Asia y Mesoamérica: Estudios previos sobre la Cal

1.1. Introducción

Éste capítulo, es una revisión de los antecedentes sobre la producción y tecnología de la cal en el Levante, el Medio Oriente y Mesoamérica. Por tanto, presentamos una introducción general y dos apartados, uno sobre cada región tratada y por último un sumario de los puntos a resaltar para esta investigación.

Las rocas en forma de abrigos, utilizadas como material constructivo, han sido empleadas por los seres humanos desde los inicios del poblamiento del planeta. En el periodo Neolítico Pre cerámico B, la utilización de la cal se registra en sitios del Levante y el Medio Oriente con una antigüedad entre los 8700-7000 a. C. (Frierman 1971; Hauotmann y Uyalcin 2000; Gourdin y Kingery 1995; Kingery et al. 1988; Kingery et al. 1992; Philokyprou 2012). La cal, a partir de su característica como material constructivo, se convierte en un bien utilitario, el cual tiene un uso en regiones tan distantes como son el Medio Oriente, Chipre, China, Roma, Grecia y Mesoamérica para tiempos antiguos.

El registro del uso de cal en la arquitectura y su diferenciación en cuanto al tipo de mortero, estuco o enlucido utilizado nos permite obtener información sobre los procesos de obtención y distribución de materia prima, del producto terminado, del nivel de conocimiento tecnológico del productor y del tipo de organización de la producción para la obtención de estos materiales (Philokyprou 2012: 197).

El origen del uso de la cal como elemento arquitectónico, es visto como uno de los avances mas importantes de las sociedades humanas, por su significación en el manejo y control del fuego, al menos para el Medio Oriente y el Levante, ha sido descrito como un paso previo al inicio de la tecnología cerámica (Frierman 1971; Hauotmann y Uyalcin 2000; Gourdin y Kingery 1995; Karkanias 2007; Kingery et al. 1988; Kingery et al. 1992; Philokyprou 2012). Caso contrario en Mesoamérica, el origen tecnológico de la producción de cal no ha sido completamente definido, existen hipótesis que apuntan a que el origen tecnológico se encuentra en el área Maya, dada la abundancia de recursos kársticos (Barba 2013; Villaseñor y Barba 2011), aunque la descripción del inicio de esta tecnología no ha sido realizado completamente, a diferencia de la zona del Levante, donde el origen tecnológico sí ha sido estudiado con grandes avances (Goren y Gorin-Morris 2008; Gourdin y Kingery 1995; Kingery et al. 1988).

Identificar las áreas de procesamiento de cal en el mundo antiguo, se ha convertido en toda una proeza a lograr, dada por la poca o nula presencia en el registro arqueológico del proceso de fabricación. El material utilizado para la investigación de los cambios y persistencias tecnológicas y productivas asociadas a la cal, es el producto terminado o sea los estucos, morteros, enlucidos, etc.

El proceso de fabricación de la cal, radica en la conversión de los fragmentos de rocas calizas formadas por Carbonato de Calcio (CaCO_3) a través del fuego en Óxido de Calcio (CaO) el cual se hidrata y convierte en un Hidróxido de Calcio [$\text{Ca}(\text{OH})_2$] con lo cual queda lista para ser utilizada o almacenada. La dificultad de los estudios sobre la cal radica en que la cal obtenida mediante un proceso antropogénico es químicamente igual a la roca de la cual se obtuvo y esto ha traído dificultades para la caracterización (Barba 2007, 2013; Barba et al. 2009; Barba y Cordova 1999, 2010; Frierman 1971; Goren y Gorin-Morris 2008; Goren y Goldberg 1991; Gourdin y Kingery 1995; Hansen 2000; Hauptmann y Uyalcin 2000; Kingery et al. 1992; Karkanas 2007; Kingery et al. 1988; Luque et al. 2010; Miriello et al. 2013; Miriello 2013a; Philokyprou 2012, Schreiner 2001, 2002, 2004; Villaseñor y Barba 2011; Villaseñor 2010; Villaseñor y Graham 2010; Villaseñor y Barba 2012; Wingate 1985).

Los morteros y estucos han sido estudiados a partir de los componentes principales y las técnicas de elaboración, es decir, la caracterización de los aglutinantes y agregados, o sea la cal y la arena o sascab y las propiedades tecnológicas. Cuando los morteros son elaborados mediante el apagado de la cal o cuando son elaborados con el Óxido de Calcio y se produce un mortero caliente “*hot lime mortar*” (Alonso 2013; Forster 2004; Miriello et al. 2009; 2013; 2013a; Karkanas 2007; Goren y Goldberg 1991; Villaseñor y Schneider 2013).

Las investigaciones que derivan de la caracterización de los morteros y estucos, van hacia el uso de diversas técnicas de datación como son el uso del arqueomagnetismo, la catodoluminiscencia, radiocarbono. Otras investigaciones versan sobre la distinción de las calcitas geogénicas de las calcitas antropogénicas (Boareto y Poduska 2013; Hueda-Tanabe et al. 2004; Murakami et al. 2013; Soler et al. 2006; Ringbom et al. 2014).

En el México actual los estudios sobre morteros, estucos, pintura mural, lechadas de cal entre otros materiales constructivos son estudiados con fines de restauración y conservación como es el ejemplo del libro *La Cal. Historia, Propiedades y Usos* editado por Luis Barba e Isabel Villaseñor (2013).

Previo a este libro, Luis Barba y José Luis Cordova (2010) publicaron una investigación puntual sobre los materiales constructivos de Teotihuacán, titulada *Materiales constructivos y arquitectónicos de Teotihuacán*, en donde un capítulo se dedica exclusivamente al uso de la cal en la ciudad arqueológica. Esta investigación presentó cálculos sobre la cantidad de material utilizado y la

energía invertida en la utilización de la cal como un material de construcción, hasta el momento, representa la investigación más completa sobre la producción de cal en el altiplano central. Para el área Maya, Elliot Abrams (1994), publicó el libro *How the Maya Build their World. Energetics and Ancient Architecture*, donde describe y realiza cálculos de hora-hombre invertida en la construcción de la ciudad de Copán.

Éstas investigaciones se convierten en un referente, pero estudios sobre la tecnología de producción de cal, son escasos cuando se trata de las estructuras como las piras u hornos que sirvieron para transformar las calizas en cal; las primeras referencias sobre estas llegan para el área Maya a partir de los trabajos de Abrams y Freter (1996), Freidel y Sabloff (1984), Mackinnon y May (1991); Mazzullo y Graham (1994), May y Gallareta (2003); Morris et al. (1931) Rusell y Dahlin 2007 y Schreiner (2002); para Mesoamérica contamos con los trabajos de Grove y Guillen 1987, Martin Arana 1987, Castanzo 2004, Castanzo y Anderson 2004 y Palma Linares 2010.

Continuando después de esta breve introducción, pasaremos a un mundo diferente como es el Levante y Medio Oriente, donde las evidencias más tempranas inician en 12000 a. C. con construcciones arquitectónicas y evidencias artísticas importantes para el estudio de la cal en la antigüedad.

1.1.2. Evidencias de la Tecnología de la Cal en África, Europa y Asia.

La investigación sobre la invención de la cal, ha sido datada para el Medio Oriente, el Levante, Anatolia y Grecia en el periodo Epi-paleolítico (12000 a. C.), aunque la tecnología del uso de éste material en la arquitectura, fecha sus primeras evidencias para el Periodo Natufiense Temprano (10300 a. C.) y su diseminación para el Periodo Neolítico Acerámico entre el 7000 y 6000 a. C. cuando se da una amplia utilización de los pisos de estuco (Philokyprou 2012 a:30), algunos de los sitios investigados son Kfar Hahoresh (*Figura 5*), Çatalhöyük, Makri, Mitrou, Drakaina, Kalavassos Tenta, Khirokina, Jericó, Hama y Asikk Höyük.

Para producir cal es necesario el control del fuego al que se exponen las rocas calizas y un manejo del producto de esta calcinación, pues la violenta reacción exotérmica puede producir daños en la piel de la persona que se expone a ella; por tanto, los investigadores de los orígenes, tecnología y producción de la cal proponen y cuestionan la producción de cal como primera evidencia del control y uso del fuego previo a la tecnología cerámica (Frierman 1971; Hautmann y Uyalcin 2000; Gourdin y Kingery 1995; Karkanis 2007; Kingery et al. 1988; Kingery et al. 1992; Philokyprou 2012, 2012a).

Ésta idea de que la cal fue predecesora de la cerámica, esta basada en las temperaturas necesarias para iniciar la disociación de la roca caliza puesto que se necesita alcanzar entre 750°C-850°C y mantener varias horas durante el proceso de calcinación (Fierman 1971; Goren y Goring-Morris 2008; Gourdin y Kingery 1975; Kingery et al 1988).

Los cambios tecnológicos observados en la diseminación de la utilización del estuco de cal, se ven reflejados en la materialización de la industria, puesto que la producción de grandes cantidades necesita al menos una estructura rudimentaria como son los hoyos de quema u hornos, (Goren y Goring-Morris 2008; Gourdin y Kingery 1975) aunque los primeros indicios de esta tecnología indican poca presencia de cal quemada en los pisos y una mayoría de mezcla de cal sin quemar³ con arcillas y lodo para dar consistencia a los pisos (Goren y Goldberg 1991).

Aunque se necesiten cantidades considerables de cal quemada para construcción, en los inicios de ésta tecnología en el Levante, Anatolia y Medio Oriente, no se podía manejar una producción artesanal de tiempo completo, sino más bien una producción temporal y modesta donde la utilización de hoyos (*pits*) y una baja cantidad de combustible sería suficiente para cubrir las necesidades (Goren y Goldberg 1991:136)

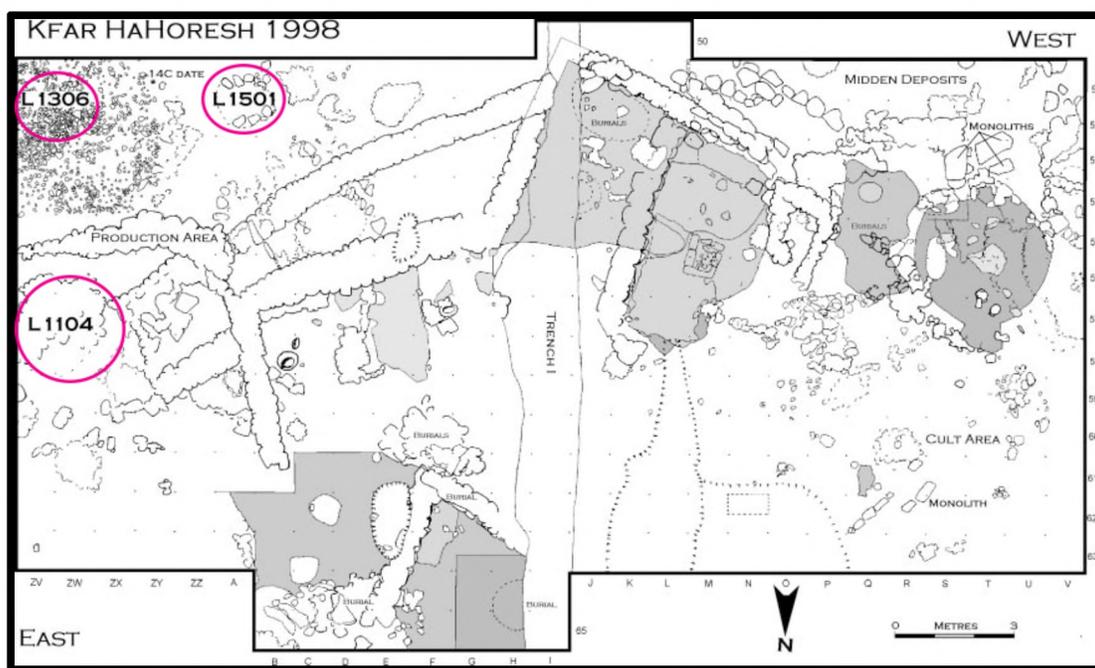


Figura 5. - Ejemplo del sitio Kfar Hahoreshe, los probables hornos se marcan en círculos (Modificado de Goren y Gorin-Morris 2008: 783)

³ La cal quemada hace referencia al uso de la cal derivada de la calcinación de las rocas calizas y la cal sin quemar a la procedente del molido de piedra caliza desnoble.

El conocimiento de los orígenes y desarrollo de la tecnología de producción de cal, en las regiones tratadas en éste apartado, ha sido posible gracias a la utilización de una combinación de métodos estratigráficos, técnicas de análisis y experimentación.

Las investigaciones parten del conocimiento del proceso de producción de cal que incluye las temperaturas, para delinear las rutas de análisis a aplicar con la finalidad de obtener la información sobre la tecnología y producción de la cal. Además de los aspectos relacionados con la pirotecnología, se consideran otros elementos que forman parte de las materias primas como por ejemplo el yeso que en ocasiones se encuentra mezclado con la cal, así como los aspectos relacionados con la técnica de manufactura empleada en la aplicación del material.

Los primeros trabajos (décadas de los años 60 y 70) utilizaron el Microscopio Electrónico de Barrido (SEM), para distinguir los materiales quemados de los no quemados, esto fue complementado por análisis petrográficos de las muestras en laminas delgadas, conforme la implementación de nuevas tecnologías era realizada en la arqueología, los estudios en la zona recibieron estas tecnologías con vistas a recuperar información sobre la producción de cal. Los trabajos actuales se centran en la caracterización mineralógica de la materia prima y la diferenciación de las temperaturas a las que están expuestos los materiales por medio de técnicas como la Petrografía, la Difracción de Rayos X (XRD), la Espectroscopia de Infrarrojo (FTIR), Analisis Térmico Diferencial y Termicogravimétrico, complementados con análisis de Porosimetría de los materiales hechos con cal. Éstos análisis son mas eficientes que los análisis químicos de identificación elemental, dado que las calizas (compuestas de Carbonato de Calcio) y la cal (Carbonato de Calcio) presenta la misma fórmula química pero distinta estructura por los cambios ocasionados por el uso del fuego (Frierman 1971; Hauotmann y Uyalcin 2000; Gourdin y Kingery 1995; Goren y Goldberg 1991; Goren y Goring-Morris 2008; Kingery et al. 1988; Kingery et al. 1992; Letournex y Feneville 2012; Philokyprou 2012, 2012a; Zouridakis et al. 2000).

Para concluir, la arqueología experimental se ha convertido en la herramienta adecuada, al momento de estudiar cambios estructurales de los materiales gracias a la acción del fuego. En ésta región, tres experimentos han sido llevados a cabo y cubren a grandes rasgos el proceso tecnológico y productivo de la cal y son primero la construcción y quema dentro de hornos (Goren y Goring-Morris 2008), segundo la diferenciación de las calcitas expuestas al fuego de las calcitas naturales (Chu et al. 2008; Regev et al. 2010) y tercero, la fabricación de estucos experimentales, con la finalidad de registrar los cambios estructurales que ocurren de acuerdo al tipo de cal utilizada y la temperatura de quemado (Karkanas 2007). En el primer y tercer experimento un punto importante fue la utilización de

técnicas micro morfológicas aplicadas a materiales previamente expuestos a agentes de intemperismo y envejecimiento para poder detectar los cambios que sufren en su estructura.

El breve recorrido por el Medio Oriente, Levante y Anatolia donde inicia la cal en tiempos tan tempranos nos lleva a América, a nuestra zona de investigación para adentrarnos en los primeros estudios sobre la cal en Mesoamérica apartado que sigue a continuación.

1.1.3. Evidencias de la Tecnología de Producción de Cal en Mesoamérica

En Mesoamérica, las investigaciones sobre la producción de cal han evidenciado el uso de una tecnología compleja vista a través de los estudios de los estucos y los morteros (Hansen 2000; Gillot 2014; Littman 1957, 1958, 1958a, 1959, 1959a, 1960, 1960a, 1962, 1966; Miriello et al. 2009; Miriello et al. 2013; Villaseñor 2010; Villaseñor y Graham 2010; Villaseñor y Price 2008).

En cuanto a los productos de la cal, cabe mencionar la investigación de Erick Hansen (2000), cuyo objetivo era definir la tecnología utilizada en los estucos del valle del Mirador (en Guatemala), mediante el análisis por microscopía de las muestras recuperadas. Propuso cambios y estilos tecnológicos a través del tiempo. Entre sus conclusiones, encontró que existe una separación en pisos, unos contruidos con cal quemada y otros con cal sin quemar. Asume que la producción de cal se llevó a cabo mediante piras o caleras al menos desde el periodo preclásico medio (900-300 a. C.).

La investigación de Villaseñor (2010), aportó mediante el análisis de estucos, la cadena operativa de la producción de los mismos en el área maya y una metodología que incluye la caracterización elemental, química y morfológica a través de análisis arqueométricos. Realizó además un recuento del estado de la cuestión sobre el origen de la producción de cal en el área Maya, revisando información arqueológica, histórica y etnográfica. Los análisis que utilizó son los siguientes: Microscopía Óptica Reflejada (ORM), la petrografía, el Microscopio Electrónico de Barrido con EDS (SEM-EDS), la Espectrometría Raman, la Difracción de Rayos X (XRD) y la Fluorescencia de Rayos X (XRF).

El trabajo mas reciente es el de Thibodeau (2013) sobre los estucos de la región de Xultun y San Bartolo en Guatemala, utilizando una combinación de micromorfología y Espectroscopia de Infrarrojo (FTIR), realizó estudios que le permitieron diferenciar los materiales utilizados en los estucos y sugirió que estos fueron fabricados por medio de un proceso estandarizado basado en la explotación de la roca local y segundo que las temperaturas de quemado de la caliza tanto en sus muestras fechadas para el Preclásico como para el Clásico, se localizan debajo de los 800° C.

Además del estudio de los estucos en sí mismos, las investigaciones se enfocaron en calcular el medio ambiente construido y la utilización de la cal y su impacto en el paisaje, así como en cálculos de energía invertida en la construcción de los asentamientos (Abrams 1994; Barba y Cordova 1999, 2010, Schreiner 2002; Wernecke 2008).

Por otro lado, los estudios de áreas de producción de cal, son escasos en la literatura arqueológica, sin embargo, el tema sigue siendo recurrente. Si la evidencia de áreas de producción es nula, hablar de hornos para producir cal es un reto, en esta investigación planteamos la existencia de los hornos y que la carencia de información se debe a un error humano y no a la falta de utilización de estas estructuras por las sociedades prehispánicas. En la revisión de la bibliografía específica para los hornos, sólo se han reportado previamente seis casos en Mesoamérica y son Chalcatzingo en el estado de Morelos, Tepeaca en el estado de Puebla, Cozumel en el estado de Quintana Roo, Pulltrouser Swamp en Belice, Cauinal en Guatemala y Copan en Honduras. Todos éstos reportes llegan de los años 70, 80 y 90 (Abrams y Freter 1986: 424; Castanzo y Anderson 2004:87-90; Castanzo 2004; Freidel y Sabloff 1984:35 y 117; Fauvet-BERthelot 1986: 126, figuras 40 y 41; Grove y Guillen 1987:49; Martin Arana 1987:392; Villaseñor y Barba 2012:19-22).

En los años setenta del siglo XX, en Chalcatzingo, fueron localizados tres hornos para cal fechados para el periodo Clásico. En la descripción de los hornos mencionan que la excavación recuperó materiales quemados, cenizas y piedras quemadas. La descripción arquitectónica sitúa éstos rasgos como un cono invertido con una variación de 75° en sus paredes; las estructuras fueron excavadas creando una oquedad en la tierra (Grove y Guillen 1987:49; Martin Arana 1987: 392).

La identificación de hornos para cal también se llevó a cabo en la zona de Tepeaca, en donde se identificaron 86 rasgos que llevaron a clasificarlos como hornos prehispánicos. De éstos, se cree que 37 sirvieron para la producción de cal y al parecer siete fueron utilizados para la cocción de cerámica; se excavaron tres, de los que se determinó que sí fueron para la producción de cal, de los cuales dos se fecharon para el 1010±90 a.C. (Castanzo y Anderson 2004: 87-90).

En el área Maya se han llevado a cabo investigaciones sobre la cal a partir de algunos de sus productos finales como son los morteros, los estucos, los enlucidos y los aplanados (Hansen 2000; Littmann 1957, 1958, 1958a, 1959, 1959a, 1960, 1960a, 1962, 1966; Villaseñor 2010; Vázquez de Ágredos Pascual 2010, Magaloni 2001); sin embargo, son escasos los estudios dirigidos hacia las áreas de producción. Morris et al. (1931) fueron los primeros en llamar la atención sobre este tema, sus estudios fueron a partir de etnografía y arqueología experimental.

Morris et al. (1931: 220-221) describen la quema y el procesamiento de la cal en el sitio de Chichén Itzá, de donde registraron lo siguiente:

“El método yucateco para producir cal en la actualidad es una herencia ancestral que ha llegado a través de los siglos, prácticamente sin cambios, salvo la sustitución de la piedra por acero en las herramientas. Ningún tipo de horno se usa, tal vez porque la única piedra disponible es de piedra caliza, por lo cual las paredes de un horno podrían ser destruidas por el fuego. Tampoco hay tierra adecuada para la construcción de paredes de barro, ni los bancos de arcilla lo suficientemente profundos para permitir la excavación de hornos en ellos. El calero selecciona un lugar donde hay bosque maduro en estrecha proximidad a afloramientos de la piedra de calidad adecuada. Un área ligeramente más grande que el tamaño previsto de la calera para ser erigida se aclara a fondo de la vegetación y se nivela. En el centro, un poste recto, a unos 2,75 metros de altura y 13 a 20 cm. de diámetro, se pone en posición vertical. Sobre el círculo del diámetro deseado de la calera proyectada es acomodada la madera sobre el suelo... ”(Morris et al 1931: 220-221, traducción de la autora).

Éste trabajo se convirtió en una referencia cuando se trataba el tema en aquellos años; por ejemplo en Chan Kom, en donde Redfield y Villa Rojas (1962: 55) registraron que la quema de la cal se hacía fuera del pueblo en donde estaba disponible la madera utilizada como combustible y por ello ahí se construía el horno; después la cal era transportada a la villa.

Por otra parte, Schreiner (2002) en una investigación etnográfica, etnohistórica y de arqueología experimental, identificó seis tipos de caleras que se utilizan en la época actual y que pudieron ser empleadas en la época prehispánica. Su hipótesis central proponía que los altos niveles de consumo de cal en la arquitectura del periodo Preclásico Tardío (350 a.C.-150 d.C.) en el valle del Mirador (en Guatemala), requirió de una cantidad de combustible para la quema que no pudo sostenerse sólo con los recursos disponibles alrededor del valle. Así, éste autor postuló que el consumo de combustible estaba relacionado con el proceso de deforestación y de degradación medioambiental, lo que contribuyó al colapso de la civilización y al virtual abandono del área al rededor del 150 d. C. (Schreiner 2002: 1-2).

En el reporte de Abrams y Freter (1986) se describe la excavación de un horno para hacer cal en Copan (identificado como el Site 7O Mound 32). En el interior del horno encontraron materiales que indicaban la quema de madera y piedra caliza, y concluyeron que la actividad que pudo conjuntar esos materiales, sería un horno para el procesamiento de cal, la descripción que hacen del mismo concuerda con la forma arquitectónica de un horno cerrado. Ellos niegan la posibilidad de que se tratara de un horno para cerámica, puesto que la quema de este material en las zonas rurales no involucraba hornos (Abrams y Freter 1986: 424).

Freidel y Sabloff (1984: 35, 37), mencionan la presencia de un horno en el sitio de la Aguada localizado en Cozumel, ahí registran una estructura anular que presenta una abertura en los muros, al interior los autores localizaron restos de calizas quemadas y cenizas, al estar ubicada esta estructura frente a un altar y a un taller los autores proponen múltiples funciones desde la cocción de cerámica hasta la cocción de alimentos. La descripción de su pozo de excavación nos lleva a sugerir la presencia de una calera en este sitio.

Evidencias del procesamiento de la cal pero sin utilización de hornos son reportados por Mazzullo y Graham (1994: 786) con evidencias y resultados químicos del procesamiento de cal en Santa Cruz Belice. Otro reporte del procesamiento de cal hacia el periodo Clásico Temprano es el Mackinnon y May (1990:198-199), en la laguna Placencia (Belice), descrito como un montículo (PL-1), en el cual se produjo cal a partir de conchas marinas.

Por último y no menos interesante, es el reporte de las estructuras anulares registradas y excavadas en Sayil donde se menciona la presencia de una estructura anular (*ring structure*) con restos de cenizas, materiales carbonizados y piedras calizas y sascab quemados; la función atribuida a ésta estructura fue de un espacio de procesamiento de fertilizante para los suelos cultivables del valle (Dunning 1992:117-118, 1991: 25). Sin embargo en este sitio fueron identificadas 24 de estas estructuras y 92+ sascaberas, aunque sólo se exploró la mencionada anteriormente (Sabloff y Tourtellout 1991:14). Al analizar el mapa encontramos un patrón recurrente de complejo domestico-estructura anular-cantera/sascabera-montículo *ch'iich*, que llama la atención en términos de la investigación sobre los hornos para cal.

Con base en las investigaciones de Schreiner (2002) sobre la replicación de caleras, el proyecto Labná llevó a cabo una con el fin de utilizar la cal para la restauración de las estructuras; para ello utilizó madera cortada al momento de la excavación, así como las piedras burdas de los escombros (May y Gallareta 2003). Russell y Dahlin (2007) replicaron una calera en la zona de Mayapán e identificaron que para éste sitio, se requería el trabajo productivo de cientos de individuos o una base estacional. Russell (2008) hace mención de unas estructuras circulares identificadas en Mayapán como hornos para cal, pero no presenta evidencias gráficas o descripciones más allá de la mención.

Asimismo, un registro importante proviene de los sitios San Diego Buenavista, Nohbec Balam, Chikindzonot y Cisteil, al sur del estado de Yucatán, de los que se reportaron y excavaron cinco hornos para la producción de cal. Por último se registraron y excavaron dos hornos para cal en Cansahcab, al nororiente del mismo estado (Sierra Sosa y Martínez Lizárraga, 2013). La forma arquitectónica y el contenido de material blanco, sitúan a estas estructuras como variantes de las estructuras que localizamos en la carretera Federal.

Para la zona del Puuc, además de la replicación de caleras y la presencia de estructuras anulares en Sayil, se encuentra el sitio de Kiuic donde se han registrado 140 estructuras anulares, sobre las cuales se ha planteado realizar un estudio sobre la relación de la producción de cal y el rol económico que juega en la zona del Puuc; investigación donde Seligson considera que existen al menos dos variantes en la forma de las estructuras anulares y que la función puede variar de acuerdo al rol económico que juegan estas estructuras dentro de la economía de la zona. Además, identifica el mismo patrón de Sayil donde las estructuras anulares se encuentran en asociación a canteras, sascaberas y montículos *ch'iich* (Seligson 2014: 6-8).

Metodológicamente, los estudios en Mesoamérica no siguen un patrón claro sobre cómo son utilizadas las técnicas arqueométricas, pero como todo conocimiento, los últimos trabajos (Barba et al. 2009; Miriello et al. 2013; Thibodeau 2013; Villaseñor 2010) nos proporcionan un rango metodológico preciso que considera importante la distinción entre los materiales que conforman los estucos, para poder entender el marco tecnológico en el cual fueron creados. Los estudios donde se mencionan los hornos de producción de cal, son sin embargo carentes de información, tanto del contexto arqueológico como metodológico; al parecer, en ningún caso (salvo que se encuentre en algún informe perdido) se realizaron pruebas para comprobar la presencia de cal y si ésta era un residuo de producción o no, lo cual en esta investigación nos deja sin marco comparativo; pero con la posibilidad de construir un indicador arqueológico y una metodología de análisis.

Capítulo 2.- El Fuego en la Investigación Prehistórica y Arqueológica

La investigación sobre el surgimiento del uso del fuego y su desarrollo por los habitantes de la prehistoria ha sido un tema excitante y recurrente en los sitios de los continentes Africano, Asiático y Europeo. Se considera que este desarrollo significó un avance cognitivo de las sociedades que lo utilizaron; y encontrar la evidencia más temprana del uso del fuego se convirtió en el “grial” de las investigaciones (Aldeias et al. 2012; Alperson-Alfi 2012; Betsen 2012, 2014; Berna y Goldberg 2007; Mallol et al. 2013; Mentzer 2012; Sandgate et al. 2011).

El uso del fuego más temprano ha sido registrado durante el periodo Paleolítico Medio de la zona de Eurasia y durante la Edad de Piedra Media Africana y su origen ha sido rastreado hasta poblaciones Neandertales no sin suscitar debate y discusión, se ha propuesto que las cuevas de Israel contienen la evidencia más temprana dentro del registro arqueológico (Alperson-Alfi 2012; Berna y Goldberg 2007; Karkanas et al. 2007; Mallol et al. 2014; Sandgate et al. 2011).

La evidencia del uso del fuego es estudiada a través de las áreas de combustión, hogares (*Hearts*), fogatas y hornos o a partir de la identificación de los materiales quemados tales como sedimentos, piedras, huesos, madera y carbón donde estos materiales son tomados como evidencia del uso del fuego. Los estudios previos han llamado la atención sobre la dificultad de poner en evidencia las diferencias entre un uso del fuego antropogénico y otro causado por fenómenos naturales; esta dificultad puede ocasionar una interpretación errónea de las áreas de actividad en un sitio de ocupación prehistórico (Aldeias et al. 2012; Alperson-Alfi 2012; Betsen 2012, 2014, Mallol et al. 2013, 2014; Mentzer 2014).

Las actividades relacionadas al uso del fuego son la cocción de alimentos, como fuente de luz y calor, creación de materiales constructivos y artículos utilitarios tales como la cerámica, el vidrio y los metales (Aldeias 2012; Betsen 2012, 2014; Mentzer 2014). Por tanto a continuación presentamos las características por definición de la pirotecnología y sus evidencias arqueológicas.

2.1. Pirotecnología y el Registro Arqueológico

La pirotecnología es definida como el estudio del uso del fuego por las sociedades humanas. El estudio del fuego se considera bajo la premisa de la reacción físico-química, la cual causa un desorden en el orden atómico natural del material expuesto al fuego, cambiando de forma y adoptando otro arreglo en el orden de los átomos al enfriarse dando como resultado un nuevo material con propiedades diferentes (Betsen 2014:147; McDonnell 2001:494, Weiner 2010:165).

La reacción físico-química inicia con la combustión, para que este proceso se origine se necesita encender un fuego a partir del combustible, una fuente de calor y oxígeno (Alperson-Alfi 2012: 115; McDonnell 2001: 494).

Los combustibles presentes en el registro arqueológico son maderas, carbón y heces de los animales, dentro de los combustibles a partir de las maderas existe una variación entre los materiales secos y húmedos; dando como resultado distintos residuos y formas de encender y quemar los materiales (Alperson-Alfi 2012: 115; McDonnell 2001: 494).

Además del tipo de combustible, es importante considerar el control de la temperatura, la atmósfera disponible-oxidante o reductora- y el calor transferido puesto que de esto depende la eficacia de la combustión. La temperatura se ha convertido en un elemento crucial puesto que se ha registrado que no existe una sola temperatura dentro de un horno, fogón u hoguera sino que este proceso es cambiante a través de los tiempos de operación durante un proceso de combustión (Alperson-Alfi 2012; McDonnell 2001; Morales 2011).

Los rastros de la utilización del fuego son visibles en formas de estructuras, sedimentos, y desechos asociados, actualmente el estudio de los restos pirotécnicos se realiza a través de estudios de procesos post-deposicionales y estudios micromorfológicos del sitio arqueológico (Karkanas et al. 2007; Mallol et al. 2013, 2014; Mentzer 2014; McDonnell 2001).

Un punto a consideración al estudiar los vestigios pirotécnicos en los sitios arqueológicos es la confirmación y asociación de desechos y estructuras realizada rigurosamente, puesto que la presencia de evidencia de quemado no siempre es por causas antropogénicas. El tipo de residuos o escoria han sido divididos dentro de dos grupos: diagnósticos y no diagnósticos. Los residuos diagnósticos son asociados con el proceso directamente y pueden derivar de la producción de cal, metal y cerámica, pero un elemento no diagnóstico solo puede ser asociado cuando presente residuos que derivan de la producción de algún material antes mencionado, por ejemplo restos de cerámica en asociación a residuos de fundición (McDonnell 2001: 503, ver tabla 40.3).

Las técnicas micromorfológicas sirven para identificar la presencia de rasgos pirotécnicos como son las cenizas, sedimentos de color blanco, o negro, esta última en algunos casos son considerados como el material representativo de una estructura de combustión. La evidencia micromorfológica a partir del registro de fuegos experimentales permite conocer que la capa negra es formada por restos mezclados de combustión y partículas de tierra vegetal, pero en algunas ocasiones la capa negra no representa un rasgo claro de un proceso de combustión (Karkanas et al. 2007; Mallol et al. 2014; Mentzer 2014).

La identificación de los rasgos micromorfológicos y los métodos utilizados para esta identificación han sido reseñados por Mentzer (2014: tabla 1, 7) quien propone la expresión arqueológica de la evidencia del uso del fuego (tabla 2) la cual fue aplicada al estudio de las estructuras anulares.

2.2. La Clasificación de los Rasgos de Combustión

En esta investigación se usará el término rasgos de combustión, para hablar de las estructuras utilizadas para calcinar los materiales que utilizaba la sociedad prehispánica, existen rasgos de combustión de cerámica, vidrio, metales, comida y calizas; los rasgos de combustión pueden ser sencillos o complejos, primarios y secundarios. Los fogones, hornos y hogueras exhiben elementos de preparación intencional como un perímetro de piedras, las estructuras mas complejas incluyen muros y construcciones arquitectónicas. Ambos tipos son considerados contextos primarios de utilización del fuego y los rasgos de combustión secundarios con frecuencia es referido a las áreas que presentan materiales quemados pero sin una preparación intencional, lo cual puede deberse a actividades humanas o naturales (Betsen 2014; Mentzer 2014).

El estudio de las áreas de combustión pueden informarnos sobre

1. actividades de utilización cortas, largas, permanentes o temporales
2. uso del espacio por temporadas repetitiva o permanentemente;
3. actividades sociales o económicas asociadas al uso del fuego (Mentzer 2014:617).

Mesoamérica cuenta con dos rasgos de combustión registrados para la producción de cal, las bien conocidas caleras o piras y los pobremente investigados hornos. Un rasgo que influye en su desarrollo es la elección de combustible; pudiendo darse el caso de la utilización de combustible seco o combustible húmedo. La implicación de esta premisa ha permitido llevar a cabo distintas clasificaciones de los rasgos de combustión :

1. La primera toma en cuenta el tipo de construcción: piras, hoyos y hornos
2. La segunda considera el combustible: si se utiliza madera seca o madera húmeda
3. La tercera combina el tipo de material con las formas arquitectónicas⁴. (*Figuras 6 y 7*)

⁴ La clasificación de los rasgos de combustión surge de los trabajos de Palma Linares (2010); Rice (1994); Rye (1981); Schreiner (2002) y Wernecke (2005) donde se presenta y define cada tipo pero no se clasifica como un rasgo de combustión.

Por tipo de construcción⁵

Las Piras o caleras abiertas al aire libre que consisten en la construcción de ramas y troncos apilados, las piedras calizas se colocan en la parte superior o entre las ramas y troncos y la pira se quema calcinando las rocas (Palma Linares 2010; Schreiner 2001, 2002, 2004; Wernecke 2005).

Hoyos o pozos de quemado u hornos son aberturas realizadas en la tierra de forma circular, varían de uno a dos metros de diámetro y una profundidad de entre 50 a un metro. Estas estructuras normalmente no alcanzan temperaturas altas de operación y tuvieron predominantemente una atmosfera oxidante utilizando variación en el combustible (McDonnell 2001: 499-500; Palma Linares 2009-2010; Schreiner 2001, 2002, 2004; Wernecke 2005).

Los Hornos son estructuras arquitectónicas de piedras o arcilla, constituido por una cámara y provisto de una boca respiradero (Palma Linares 2009-2010; Schreiner 2001, 2002, 2004; Wernecke 2005).

Por tipo de combustible

Pira de madera seca, la más simple de los sistemas de piras, donde no hay un control en la quema del material calcáreo, que se encuentra mezclado con las ramas secas que funcionan como combustible. Este rasgo de combustión carece de un control y patrón de quemado (Schreiner 2002, 2004; Wernecke 2005).

Pira amortiguada y húmeda realizada bajo el principio de privación de oxígeno para una combustión lenta. La pira fue construida con bloques de césped u otro material y provista únicamente con una pequeña cámara de acceso, para que el aire de combustión alcance la zona de quema (Schreiner 2002, 2004; Wernecke 2005).

Pira de combustible húmedo donde se quema la caliza sobre aglomeraciones construidas de combustible, son aplicables a ambas superficies abiertas y en hoyos de quema. Posiblemente representa un desarrollo independiente de tecnología fundamental que distingue la quema desde la pira simple de combustible seco por la utilización de un combustible altamente húmedo para contener el calor, el patrón de control de quemado y la calcinación por bajas temperaturas (Schreiner 2002, 2004).

⁵ En la clasificación por el tipo de construcción considere la clasificación base de McDonnell (2001:496, tabla 40.1) donde los hornos (*kiln* y *ovens*) equivalen a la descripción de los hoyos de quema de los autores mencionados en la nota 4. Y se considero el termino horno al equivalente a *Furnace* como el horno de tipo europeo o mediterráneo que cuenta con la estructura arquitectónica de separación por cámaras de combustible y quemado.

Combinación por tipo de construcción y combustible

Pira de combustibles mixtos, éstos consideran y confían en la quema lenta de combustibles de alta energía, tales como el carbón, caracol o algunas especies especialmente densas de madera dura. Los combustibles son interpuestos con caliza en camas alternas (Schreiner 2002, 2004; Wernecke 2005).

Hoyo de quema de combustible húmedo no produce cal en consideraciones significativas más altas que un horno abierto en superficie. El hoyo, sin embargo, ofrece varias ventajas. Por éstos diseños requieren una orientación vertical de las longitudes de la madera para quemar madera; un hoyo contiene y estabiliza la estructura de madera. También puede servir como un contenedor de largo termino de cal apagada (Schreiner 2002, 2004).

Horno sistema tecnológico diferente a la pira, éstos son construidos de tierra y mampostería sólida o excavada dentro de la tierra, con un frente de muros de retención que son reforzados estructuralmente. Su elemento esencial es una cámara accesible de fuego, localizada abajo y que contiene las cargas de mineral. La piedra y el combustible permanecen separados, el combustible utilizado puede ser mezclado es decir madera húmeda y seca gracias a la separación de los materiales lo cual permite una alimentación constante de combustible (Rye 1981; Schreiner 2002, 2004, Wernecke 2005).

En cuanto al sistema de cal, se menciona la presencia en Mesoamérica del sistema de piras y algunos hoyos de quemado de dimensión pequeña, que no producen en grandes cantidades; los textos coinciden que los hornos no fueron construidos en Mesoamérica prehispánica, sino introducidos en la época colonial, no obstante, eso se encuentra en discusión (Palma Linares 2009-2010; Rice 1994; Schreiner 2004; Wernecke 2005).

En cuanto a la clasificación de los tipos rasgos de combustión por tipo de material, se coincide en que el mejor combustible es la madera húmeda, es decir, arboles recién cortados. En cuanto al sistema Maya de quema de cal, tanto Morris et al. (1931), Schreiner (2001, 2002, 2004) y Wernecke coinciden en que fue por medio de piras o caleras, dada la posibilidad de construir las piras en el lugar de la materia prima, y por la abundancia de madera húmeda para su utilización como combustible.

Resumiendo, la producción de cal necesita rasgos de combustión que alcancen temperaturas entre los 750° C y los 1000° C, los sistemas utilizados en Mesoamérica, ofrecen la posibilidad de llegar a esas temperaturas, y a excepción de los hornos mediterráneos que no fueron construidos hasta el periodo colonial, los llamados hoyos de quema ofrecen una posibilidad real de alcanzar esas temperaturas, el registro arqueológico evidencia únicamente los hoyos y el registro etnográfico las

piras. Asimismo, el tiempo necesario para transformar las rocas calizas en cal va de 1-3 días (Schreiner 2001, 2002) según el registro etnográfico y en un horno u hoyo puede iniciarse el proceso dos horas después de encendido el horno hasta lograr una calcinación en aproximadamente 14 horas (Goren y Goring Morris 2008), por tanto la eficiencia de un horno sería mayor en comparación con las piras. En el caso de las estructuras anulares cabe aclarar que la experimentación no ha sido llevada a cabo, por tanto el registro exacto de las temperaturas alcanzadas no esta disponible.

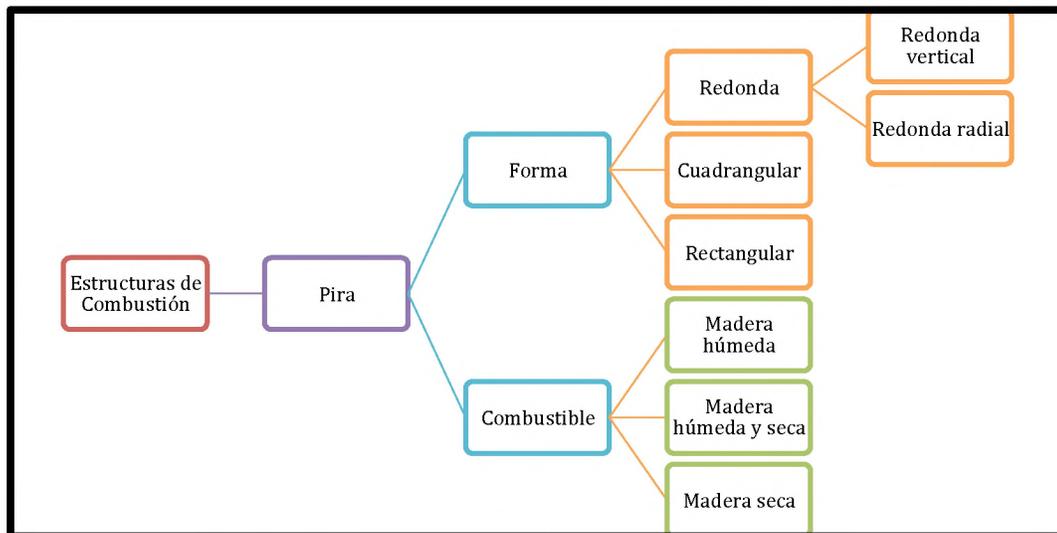


Figura 6. - Esquema de clasificación de las Piras o Caleras

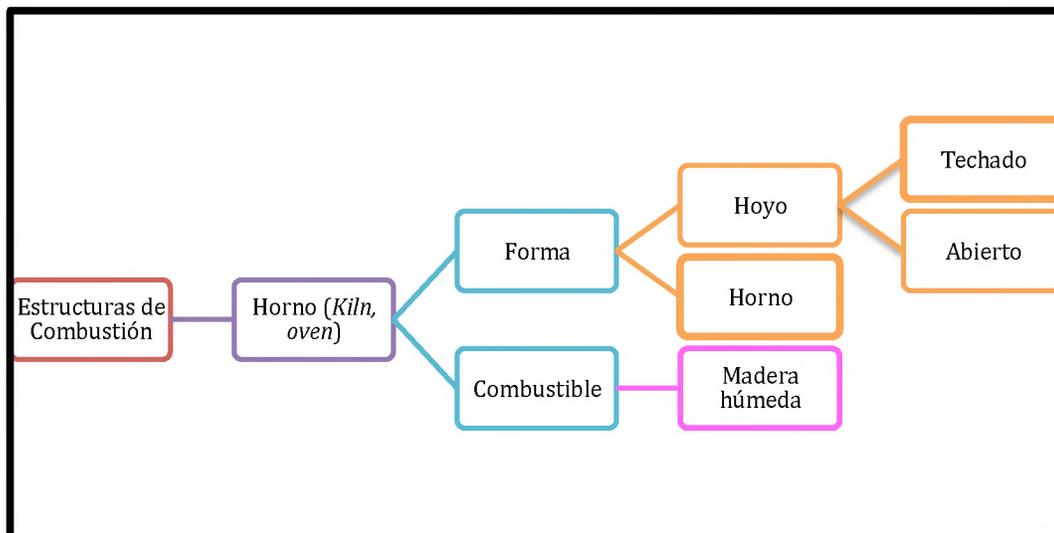


Figura 7. - Esquema de clasificación de los Hornos

Capítulo 3.- La Cal

En el capítulo anterior definimos las estructuras de combustión utilizadas por las sociedades antiguas y cuales son los rasgos visibles al registro arqueológico tanto a nivel macro como micro; por lo anterior en este capítulo presentamos los procesos químicos y geológicos que afectan la producción de cal y cuales son los rastros visibles que nos definen una zona de producción de cal.

La producción de cal inicia con la materia prima en forma de rocas calizas, con el espacio para transformar las calizas a cal, el combustible, un lugar de apagado/almacenamiento y una zona de utilización de la cal como producto final. Estos componentes son identificados tanto a nivel arqueológico como etnoarqueológico e histórico.

La materia prima utilizada en la cal son rocas sedimentarias; los estudios geológicos indican que en las rocas sedimentarias, los carbonatos pueden ser de Calcio (CaCO_3), Calcio-Magnesio [$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$] y Sodio (Na_2CO_3). Formando tres grandes grupos de clasificación dentro de las rocas:

1.- Rocas sedimentarias de cal o calizas donde el mineral dominante es el Carbonato de Calcio (CaCO_3) en la forma de Calcita, Aragonita o Vaterita.

2.- Los sedimentos de las dolomitas, las dolomías y las rocas magnesianas donde el carbonato dominante es el de Magnesio en la forma de Dolomita, Ankerita y/o Magnesita.

3.- Por último, en las rocas sedimentarias de Carbonato de Sodio. (Hallsworth y Knox 1999: 8)

Nuestra investigación se localiza en la formación geológica de la península de Yucatán, en un medio ambiente Kárstico, compuesto de rocas sedimentarias; la clasificación geológica de la región, permite reducir nuestro interés a las rocas sedimentarias compuestas de Carbonato de Calcio y Carbonato de Calcio-Magnesio y Dolomita. Ambos tipos de carbonatos incluyen casi el 50% o más de la roca, el otro 50 % puede estar formado con cuarzo, pedernal o sílex y arcilla. En promedio el cuarzo sólo se encuentra en un 5%. Todas las calizas están formadas por carbonatos, lo que varía es el procedimiento de formación entre los que se incluyen químicamente la precipitación, la biogenética y las rocas clásticas (Rapp 2009:55).

En cuanto a la materia prima, para la producción de cal en Yucatán las calizas utilizadas pueden ser calcitas, dolomitas o conchas. La calcita (CaCO_3) es un mineral con un sistema cristalino trigonal y una estructura hexagonal, formada por carbonato de calcio. La dolomita [$\text{MgCa}(\text{CO}_3)_2$] es un carbonato con aproximadamente la misma cantidad de calcio y magnesio que tiene una estructura cristalina romboédrica con un sistema trigonal. La aragonita es un material polimorfo de carbonato de calcio con un sistema cristalino ortorrómbico de clase di piramidal, comúnmente encontrado en las

conchas, la cual puede ser convertida en calcita (Dana y Hurbult 1960: 338, 342, 348; <http://www.mindat.org/>).

Al ser la calcita un material común en los sitios arqueológicos localizados en ambientes kársticos como es nuestra área de estudio, hay que considerar el origen de la misma, el cual puede ser geogénico, biogénico o antropogénico. La calcita geogénica proviene de la caliza, del yeso y el mármol y es el componente principal del limo, los suelos y las formas kársticas como las cuevas. La calcita biogénica se deriva principalmente de las cascarras de conchas de algunos moluscos, gasterópodos y pelecípodos. Por último, puede encontrarse calcita transformada mediante la acción antropogénica derivada de los procesos pirotecnológicos (Chu et al 2008: 905).

“La geología superficial del estado de Yucatán se caracteriza por la poca existencia de suelo, y se compone de una caliza muy dura formada por la solución y formación de carbonato de calcio que cementa granos y fragmentos de conchas cerca de la superficie del terreno”. Otro dato interesante es la existencia de “calizas blandas (*sascab*) que representan una transición en la evolución de la roca dura original y corresponde a un rasgo litológico característico del Estado” (Figura 8) (García Gil y Graniel Castro 2010:4).

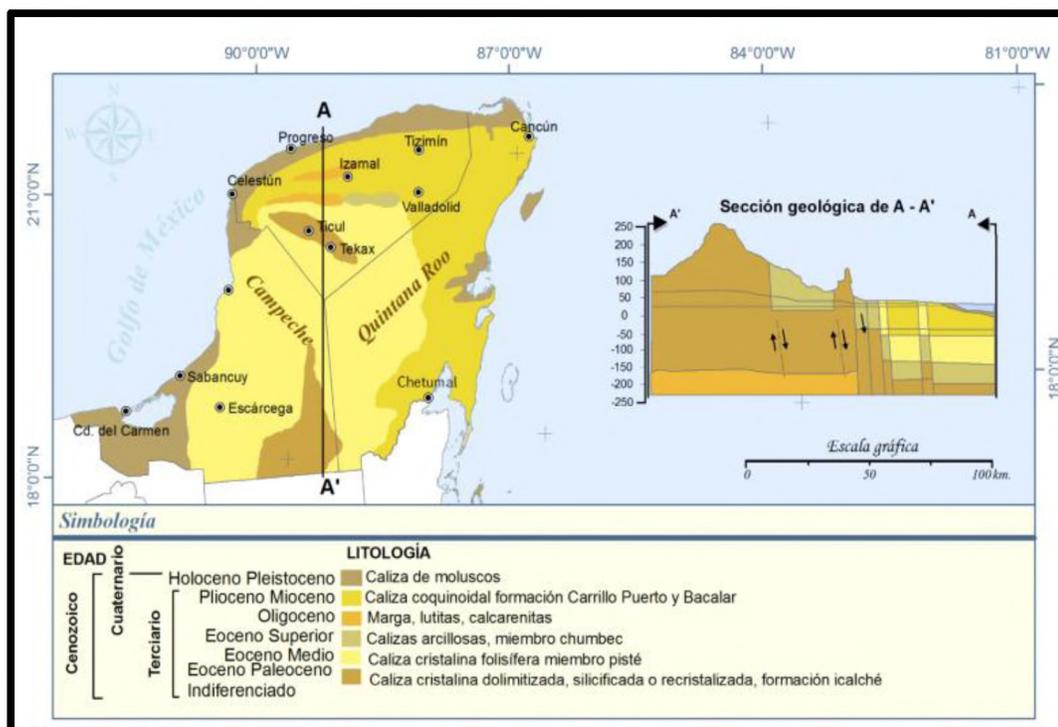


Figura 8. -Clasificación geológica de la Península de Yucatán (García Gil y Graniel Castro 2010:5)

La formación kárstica del estado ha sido clasificada en seis diferentes tipos de caliza de acuerdo a su periodo de formación y sus componentes:

1. Caliza de moluscos
2. Caliza coquinoidal formación Carrillo Puerto y Balacar
3. Marga, lutitas, calcarenitas
4. Calizas arcillosas miembro Chumbec
5. Caliza cristalina fosilífera miembro Pisté
6. Caliza cristalina dolomitizada, silicificada o recristalizada, formación Icalché (García Gil y Graciel Castro 2010: 5 figura. 1) (ver *Figura 8*)

Este ambiente kárstico y la composición de las calizas convierte a la península en una fuente de materia prima para la producción de cal. La cal es un producto de la calcinación de piedras calizas y fundamentalmente es carbonato de calcio (CaCO_3).

En consideración a la clasificación geológica de la península en el área de estudio, encontraríamos evidencia geológica, mineralógica y morfológica de los siguientes tipos de caliza:

1. Calizas coquinoidal formación Carrillo Puerto y Balacar
2. Caliza cristalina folisífera miembro Pisté
3. Caliza cristalina dolimitizada, silicificada o recristalizada, formación Icalché (García Gil y Graniel Castro 2010: 5).

Cada forma de cal-calcita, magnesita o dolomítica- tienen un uso preferencial por sus diferencias en las propiedades físicas. La cal dolomítica tiene propiedades cementantes más fuertes y la cal con magnesio produce un estuco más durable y compacto con grandes propiedades adhesivas (Bedoya Arrollo 2010; Hansen 2000; Schreiner 2002, 2004). A éstas consideraciones se debe agregar que el proceso de hidratación del óxido de calcio también se ve afectado por la pureza, el contenido de Óxido de Magnesio (MgO), el tamaño y superficie de las partículas (*humps*) de la cal viva (CaO) (Carran et al 2012: 285).

Ahora teniendo la materia prima, identificada en la región de estudio, pasamos a la acción de transformar las rocas sedimentarias en cal.

El ciclo de transformación de la caliza formada por Carbonato de Calcio (CaCO_3) inicia a través de la exposición a un proceso de calcinación por medio de temperaturas elevadas (750°C - 1000°C), convirtiendo la roca en un Óxido de Calcio (CaO) o cal viva, al agregarle agua el Óxido de Calcio (CaO) este se transforma en Hidróxido de Calcio o cal apagada [$\text{Ca}(\text{OH})_2$], la cual al entrar en contacto con el Dióxido de Carbono (CO_2) de la atmósfera, regresa re carbonatada a formar Carbonato

de Calcio (CaCO_3) (Figura 9), sólo que ahora en la forma que le hayan dado los constructores (Barba y Cordova 1999; Bedolla Arroyo 2010; Carran et al 2012; Frierman 1971; Hauotmann y Uyalcin 2000; Hansen 2000; Gourdin y Kingery 1975; Karkanis 2007; Kingery et al 1988; Philokyprou 2012; Schreiner 2001, 2002, 2004, Villaseñor Alonso 2010; Wernecke 2005).

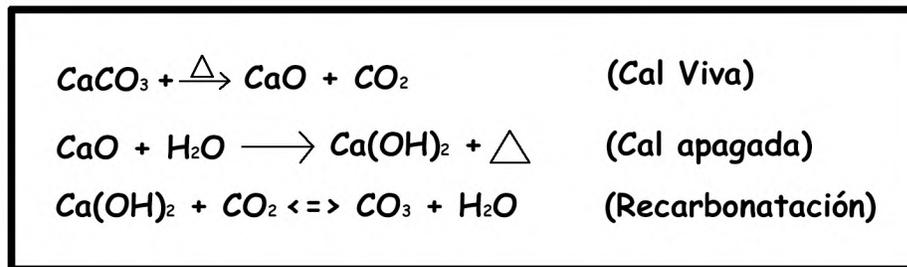


Figura 9. – Ciclo químico de la producción de cal

La transformación de las calizas incluye durante la combustión un proceso físico-químico rápido donde la descomposición de las calizas inicia desde la superficie hacia el interior de las rocas como resultado de la conducción de la energía a través de los poros de las rocas utilizadas como materia prima, este proceso necesita que la temperatura de disociación de las rocas calizas ($750\text{-}800^\circ\text{C}$) sea mantenida en todo el material; si el proceso no concluye satisfactoriamente tendremos evidencia de cal no quemada completamente o cal sobre quemada si la temperatura es elevada y mantenida sobre la temperatura de disociación (Alperson-Alfi 2012:115; Carran et al. 2012: 284; Galan et al. 2013: 1197; Moropoulou et al. 2001:635).

Este proceso de descomposición de las calizas nos proporciona evidencia física sobre el proceso productivo cuando al analizar localizamos los *lumps* que deben su formación a la quema detenida durante el proceso de descomposición del carbonato, es decir el proceso no se termino y el centro de las rocas no fue quemado (Carran et al. 2012:284).

Los aspectos que influyen en la descomposición de los carbonatos para obtener cal, además de la temperatura, son las características físicas de las rocas como su cristalinidad, impurezas, tamaño de la piedra, densidad, porosidad, superficie de área, espacios entre los cristales, características de contracción, reactividad química. Estas características también influyen la hidratación, la cual se ve afectada por la pureza, el contenido de MgO, el tamaño y área de superficie de las partículas de cal viva, a mayor pureza menor cantidad de *lumps* se logra una hidratación mas rápida, el contenido de MgO retarda el proceso de hidratación (Carran et al. 2012: 285; Moropoulou et al. 2001:637).

Al terminar el proceso de calcinación, descomposición e hidratación para producir cal, obtenemos un polvo o pasta de cal la cual se convierte en el aglutinante mas usado en Mesoamérica y otras sociedades antiguas esencialmente usado en la arquitectura en su forma de mortero y estuco. La producción de morteros y estucos se logra con la mezcla del aglutinante con las cargas y agua o aditivos orgánicos⁶.

Al finalizar el ciclo de descomposición de las rocas los residuos visibles en el registro arqueológico se presentan, la cal propiamente, los restos del combustible en forma de micro partículas de carbón y cenizas, *lumps* y fragmentos de calizas sin calcinar. Después de un proceso tafonómico a los residuos micro y macroscópicos, se agregan los residuos de sedimentos, raíces y alteraciones de organismos vivos; todo lo anterior puede aparecer en el contexto y debe ser considerado al estudiar este proceso productivo.

En el siguiente apartado realizamos una revisión sobre la cal en la zona de estudio y presentamos los contextos excavados de lo que suponemos son hornos para producir cal.

⁶ Consultar Alonso Olvera (2013) y Villaseñor Alonso y Schneider (2013) para una descripción de la elaboración de los morteros, estucos y las cargas utilizadas.

Capítulo 4.- La Cal en el Contexto de la Región Occidente de las Tierras Bajas Mayas del Norte

El área Maya, comprende los actuales territorios de los estados de Chiapas, parte de Tabasco, Campeche, Quintana Roo y Yucatán y los países de Belice, Guatemala, El Salvador y parte de Honduras. Para su estudio ha sido dividida en tres regiones: Las Tierras Bajas del Norte la cual incluye toda la península de Yucatán, Las Tierras Bajas del Sur que incluye el estado de Chiapas y los países de Belice y Guatemala y por último las Tierras Altas, que incluye la región montañosa de Guatemala, Honduras y el Salvador. La cronología cuenta con evidencia desde el Preclásico hasta el época Colonial (2000 a. C. -1521 d. C.⁷) (ver *Figura 10*).

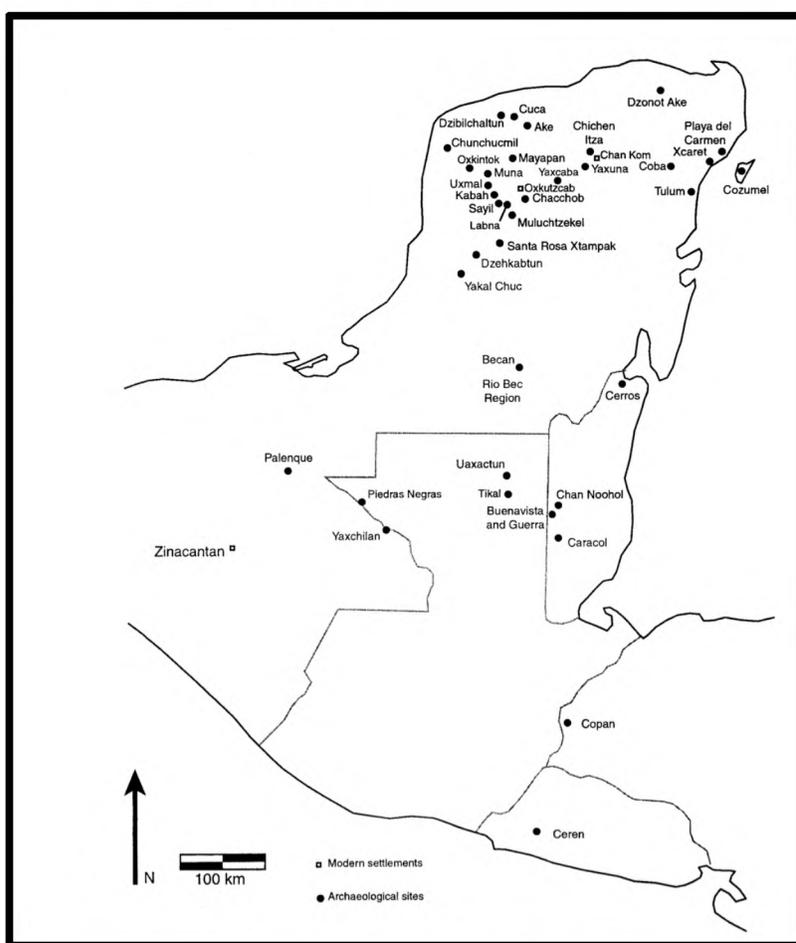


Figura 10. – Mapa del área Maya

⁷ Cronología en términos generales, puesto que cada región cuenta con estudios cerámicos, cronológicos y arqueomagnéticos que definen periodos dentro de esta línea de tiempo. Por convención se marca el fin de la época prehispánica en 1521 aunque existen muchas discusiones al respecto.

Esta investigación, se encuentra limitada espacialmente a las Tierras Bajas del Norte y temporalmente al periodo Clásico Tardío-Terminal (630-1000 d. C.) la cronología ha sido definida por medio de estudios de tipo-variedad de la cerámica recuperada por el proyecto Oxkintok y el proyecto Salvamento Carretera Federal 180 Mérida-Campeche (Ancona et al. 2013; Varela 1996) (*Tabla 1*).

PERIODO CRONOLÓGICO	COMPLEJO CERÁMICO	AÑOS
Formativo Medio	Sihil	500-300 a. C.
Formativo Tardío	But	300 a. C.-300 d. C.
Clásico Temprano	Ichpá	300-500/550 d. C.
Clásico Medio	Oxkintok Regional	500/550- 630 d. C.
Clásico Tardío	Noheb	630-750 d. C.
	Ukmul I	750-850 d. C.
Clásico Terminal	Ukmul II	850-1000 d. C.
Posclásico	Tokoy I	1000-1200 d. C.
	Tokoy II	1200-1300 d. C.
	Tokoy III	1300-1450 d. C.

Tabla 1. - Complejos cerámicos registrados en Oxkintok (Información de Varela 1996 y Ancona et al. 2014).

Nuestra región de estudio se ubica a nivel más reducido en la región Occidental de la península de Yucatán, teniendo los sitios de Oxkintok y Santa Bárbara como rectores en ésta investigación. En la región Occidental, además de los sitios antes mencionados, se localizan los sitios arqueológicos de Chunchucmil, Tzemé y Sihó, así como otros sitios menores identificados en el atlas arqueológico de Yucatán, como el sitio Chen limón (#20), Yokop (# 39) y el sitio #45 (Garza y Kurjack 1980; Hutson et al 2007; Hutson y Terry 2006; Magnoni et al 2008; Magnoni et al 2012; Stanton y Jiménez 2007; Stanton 2005; Stanton et al. 2003; Uc y Morales 2012).

La región fue ampliamente estudiada por el Proyecto Regional de Economía Pakbeh, el cual se concentró en el sitio de Chunchucmil y sus alrededores, donde mapearon alrededor de 12 km cuadrados (Magnoni et al 2012). El Proyecto El Surgimiento de la Civilización en Yucatán se concentró en el sitio de Sihó y aledaños hacia la costa (Fernández 2010), El proyecto Oxkintok de la misión Española inicio las excavaciones en el área central de Oxkintok (Varela 1996, García Campillo 1994) y por ultimo el Proyecto Santa Bárbara, estudiando el sitio de Santa Barbará-Paraíso mediante el reconocimiento de superficie y pozos de sondeo (Stanton 2005; Stanton et al 2003; Stanton y Jiménez 2007). Éstos proyectos han contribuido al conocimiento de la región, la distribución espacial de la

arquitectura y en el caso del proyecto Chunchucmil, a los cambios en el paisaje de la ciudad y el entendimiento de los cambios entre el periodo Clásico Temprano y Clásico Tardío (Magnoni et al 2008); otros proyectos todavía continúan como son el Proyecto Sihó.

4.1. Oxkintok y Santa Bárbara

Los sitios de Oxkintok y Santa Bárbara se localizan en la región Occidental de las Tierras Bajas Mayas (Figura 11). A lo largo del desarrollo de la investigación Mayista, han recibido atención ya sea por lo monumental de las construcciones, por su pintura mural o por ser parte del sistema económico regional.

Una característica importante para el sitio de Oxkintok, es su ubicación aunque se encuentra en la región occidental, por su estilo arquitectónico se considera un sitio Puuc y es utilizado como marcador de inicio o final del Puuc (Uc y Morales 2012).

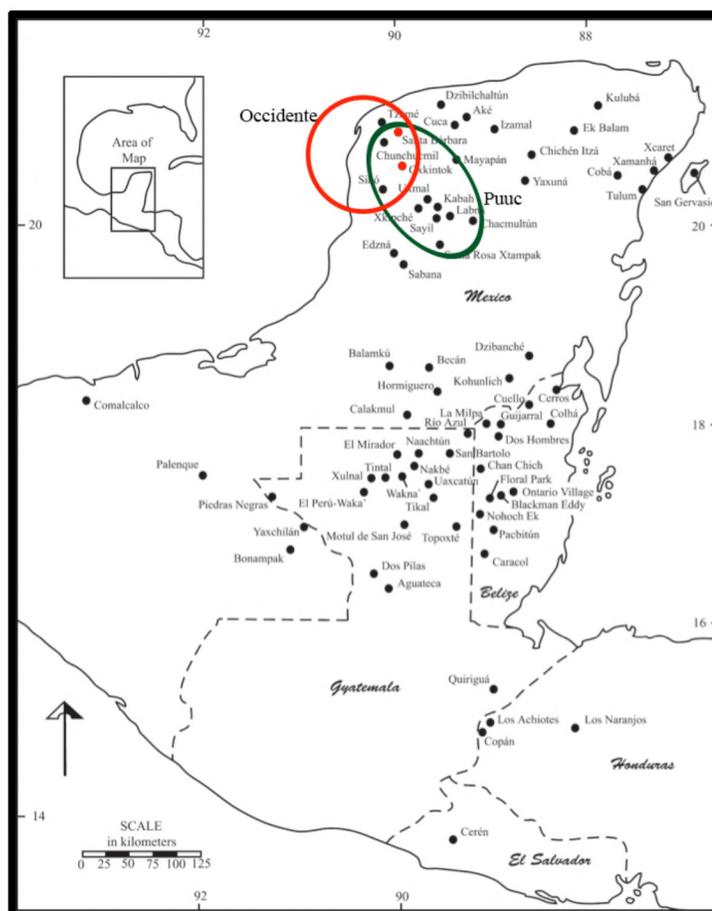


Figura 11. -Mapa de la región Occidental y el Puuc, los sitios de Oxkintok y Santa Bárbara son resaltados en color rojo (Modificado de Stanton y Magnoni 2008:3).

4.1.1 Santa Bárbara

El sitio de Santa Bárbara se encuentra clasificado como 15Qf (9)12 en el atlas arqueológico del estado de Yucatán (Garza y Kurjack 1980) y se registró como un sitio de rango 3, situado en la planicie costera noroccidental de Yucatán (Stanton 2005; Stanton et al 2003) (*Figura 12*). Las investigaciones llevadas a cabo en el sitio, tuvieron el objetivo de conocer las relaciones entre la producción cerámica y los sistemas de producción y las relaciones políticas cambiantes entre los sitios en la región noroccidental del Puuc. Para cubrir estos puntos, el proyecto realizó el registro de las esculturas de piedra, el mapeo del centro del sitio y recolecciones extensivas de superficie (Stanton 2005; Stanton et al 2003).

Estas investigaciones -al mapear el centro del sitio- no ubicaron la estructura menor que se encuentra formada por complejos de pequeñas plataformas y montículos, así como estructuras anulares que se encuentran distribuidas hacia la población actual; lugar en el cual la limpieza y mantenimiento de la zona arqueológica, permitió la ubicación de dos estructuras anulares denominadas H12 y H13 de las cuales una fue explorada parcialmente.

La arquitectura de mampostería y abovedada registrada en el centro del sitio, fue agrupada en 12 conjuntos, los cuales se encontraban saqueados. Éstos grupos presentaron elementos visibles de los estilos Puuc Temprano y Tardío. Asimismo, los resultados preliminares del análisis de la cerámica sugieren que el sitio fue ocupado durante el Clásico Tardío-Terminal (600-1000 d. C.), dato reafirmado por la presencia de una fecha glífica que data para el 751 d. C. Al término de sus investigaciones, Stanton sugirió que el sitio de Santa Bárbara, participaba en las redes de interacción con otros sitios de la región Occidente de Yucatán y Norte de Campeche (Stanton 2005; Stanton et al 2003; Stanton y Jiménez 2007).



Figura 12. - Vista general del area nuclear de Santa Bárbara (Fotos Ortiz Ruiz)

4.1.2. Oxkintok

El sitio arqueológico de Oxkintok, se localiza a 55 km al suroeste de Mérida y a 5 km. al oriente de Maxcanú. En el atlas arqueológico fue clasificado como un sitio de segundo rango, con la clave 16Qd (7):7, como Chunchucmil, la clasificación se basó en la presencia de la arquitectura monumental comunicada por sacbeob y la presencia de estelas y juegos de pelota (Garza y Kurjack 1980).

Oxkintok se sitúa en la región noroccidental de la región Puuc, entre sus características se encuentra la presencia de al menos 47 textos epigráficos divididos en tres fases, textos del Clásico Temprano, Tardío y Terminal (García Campillo 1994; Vidal Lorenzo 1997) (*Figura 13*). Las investigaciones llevadas a cabo por la Misión Arqueológica Española, además de refinar la clasificación cerámica, definió los estilos arquitectónicos presentes en el sitio. Los estilos abarcan el periodo Clásico (300-1000 d. C.) y son denominados: Estilo Oxkintok Temprano (300-550 d. C.), Estilo Proto Puuc (550-750 d. C.), Estilo Puuc Temprano (710-850 d. C.) y por último el Estilo Puuc Clásico (850-1000 d. C.) (Vidal Lorenzo 1997).

Por la magnitud arquitectónica y su combinación con el registro epigráfico, Oxkintok se convirtió en uno de los sitios de interés, por lo cual el paso del trazo carretero a sólo 2 km del núcleo central, -supuso una oportunidad de estudiar la periferia del núcleo central y contrastar la evidencia cerámica y arquitectónica reportada en las excavaciones del núcleo de Oxkintok.

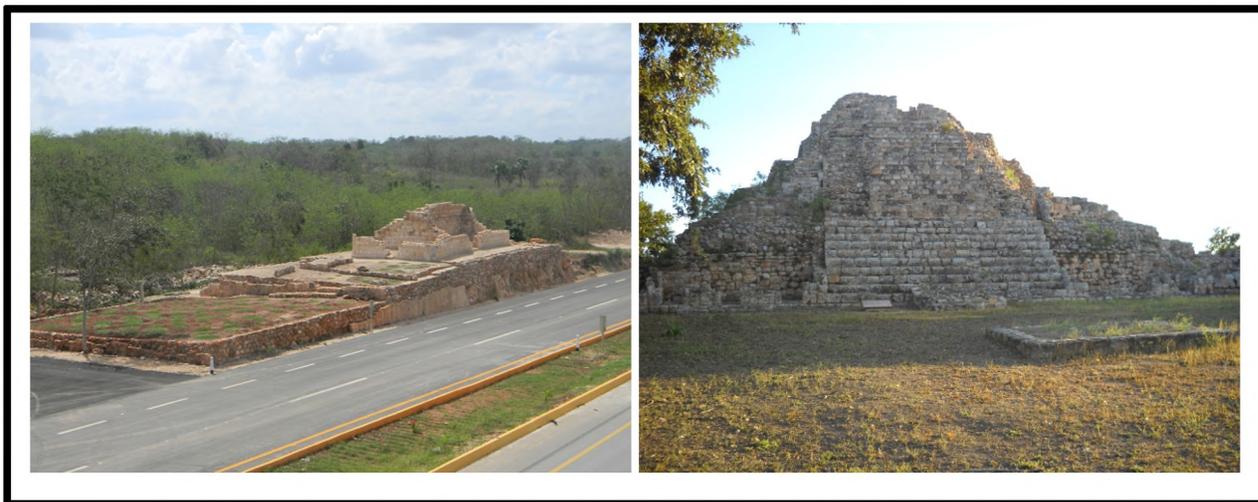


Figura 13. – Vista general de la Estructura 12-V y de una Estructura del area nuclear de Oxkintok

4.2. Descripción del Salvamento Carretera Federal 180 Mérida-Campeche

El Salvamento Carretera Federal 180 Mérida-Campeche, inició en 2010 con los trabajos de ampliación de dicha vía. La extensión del trazo carretero fue de 73.5 km. desde la ciudad de Mérida hasta el límite del estado con Campeche. Por esta condición y dada la magnitud de la obra se decidió dividir el trazo en cinco tramos (Uc y Morales 2010).

El tramo I se denominó Mérida-Tanil, el cual abarca desde la ciudad hasta la localidad de Tanil con una distancia de 6.5 km. El tramo II correspondió a las localidades de Tanil-Xtepén y tuvo una longitud de 6 km. El siguiente tramo III se ubicó entre las localidades de Xtepén y Chocholá con 19 km. de distancia. El tramo IV denominado Chocholá-Maxcanú tuvo una longitud de 24 km; y por ultimo el tramo V denominado Maxcanú-Limite de Estados o Becal-Maxcanú tuvo una distancia de 18 km, dentro de este tramo se ubica el sitio arqueológico de Oxkintok que fue afectado en su área poligonal, puesto que se ubicó a 2 km del trazo carretero (*Figura 14*).

En todos los tramos, se contó con evidencia de asentamientos prehispánicos. En ésta investigación, nos limitamos a parte del tramo IV y el tramo V. En el tramo IV se cuenta con el registro de tres estructuras anulares que denominamos H3, H6 y H7. Para el tramo V registramos cuatro estructuras. Las restantes seis estructuras, se registran en otras zonas de la región Occidente.

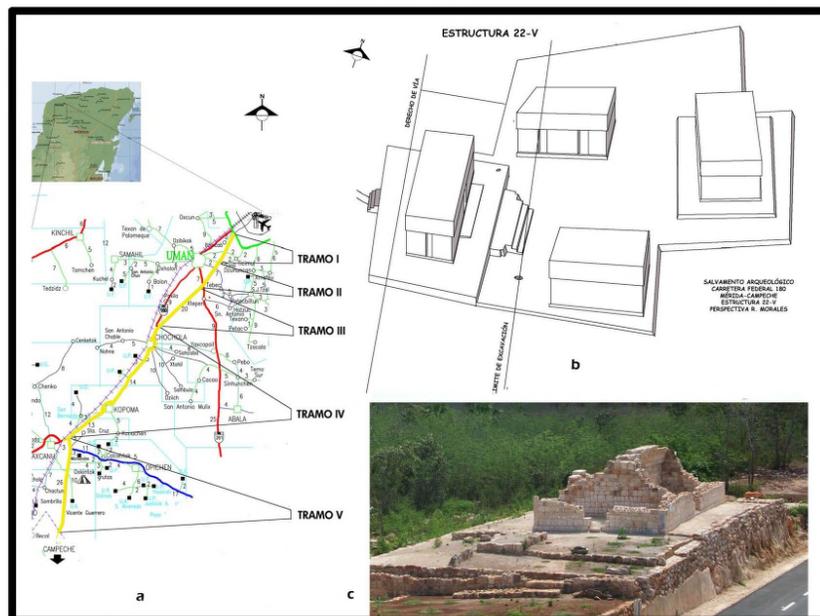


Figura 14. - Salvamento Carretera Federal 180 Mérida-Campeche, a) trazo carretero ubicando la división en tramos; b) Perspectiva de la Estructura 22-V dibujo R. Morales; c) Estructura 12-V vista general (Ancona Aragón et al. 2013)

Las estructuras anulares fueron definidas en los años 80, por el equipo de investigación del Proyecto Arqueológico Sayil como lo siguiente: “Estructuras en forma de dona, que consisten en una depresión central (frecuentemente extendida hacia la roca madre) rodeadas por un muro de piedra que aparentemente sirve para excluir el anillo del *ch'iich*. Rara vez hay una apertura a través del muro. Ahora se sabe que varios se superponen a las canteras (sascaberas). Las estructuras anulares pueden ocurrir a lo largo del Puuc, pero su uso sigue siendo desconcertante” (Sabloff y Tourtellot 1991:16).

El proyecto Salvamento Carretera Federal 180 Mérida-Campeche tuvo la oportunidad de registrar 13 y excavar siete estructuras anulares, localizadas en distintas zonas de los tramos y con una asociación distinta a los rasgos arqueológicos (*Figura 15*). La excavación permitió recuperar información sobre su uso y función, así como las muestras bajo análisis en esta investigación.

En el tramo IV se excavaron las estructuras H2, H3 y H7, las dos últimas, se localizaron en la zona de extracción moderna de piedra caliza. La primera se encontró en asociación a un complejo palaciego y una cantera prehispánica, así como un pozo de agua.

En el tramo V excavamos las estructuras H1, H4 y H5, la primera se localiza en las inmediaciones del pueblo moderno de Halachó, asociado a pequeños montículos y plataformas. La estructura H4 se localizo en una cantera moderna asociada a estructuras de mampostería y montículos pequeños. Por último, la estructura H5 se localizó en el trazo carretero entre dos complejos de estructuras tipo palacio abovedadas. Asimismo y para tener una fuente de comparación, se excavó la estructura H12 localizada en la zona mas occidental de la región, dentro del área del sitio de Santa Bárbara, ésta estructura se asoció a pequeños grupos de plataformas con construcciones superiores de material precedero.

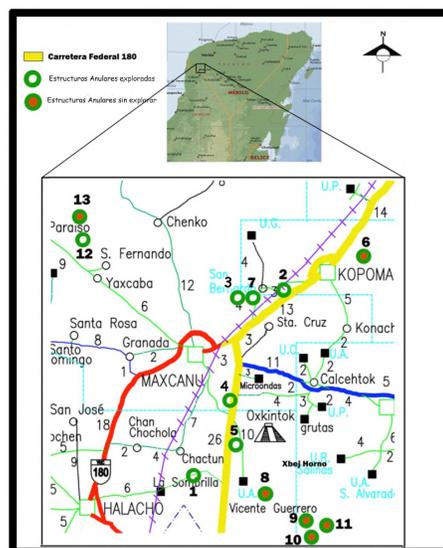


Figura 15. -. Localización de las Estructuras Anulares (Modificada de Uc Gonzales y Morales Uh 2013).

4.2.1 El contexto bajo análisis

Las estructuras de las cuales se obtuvieron las muestras fueron la H1, H2, H3, H4, H5, H7 y H12 en la zona occidental; para lograr mejores resultados en la interpretación de los datos, se decidió incluir dos estructuras anulares de regiones distintas a la de investigación. Para evitar confusión en el manejo de las muestras, se decidió utilizar una numeración continua en las estructuras. Estas dos últimas recibieron la numeración H14 y H15. La H14 se localiza en el sitio de Dzoyilá, ubicado en el sur de Mérida y la estructura H15 se localiza en Tizimín, en la región oriental del área Maya. A continuación se describen los contextos donde fueron recuperadas las muestras bajo análisis.

4.2.2 Estructura 24, H1

La estructura corresponde a la 24 del trazo carretero Parador Turístico-Halachó, se localizó en el km. 6+ 000 de la carretera. Previo a la excavación la estructura durante el registro fue clasificada como una plataforma simple de 7 m de largo por 5 m de ancho, con una hundimiento en la zona central, considerado como saqueo.

La excavación fue llevada a cabo mediante dos calas de aproximación y un pozo estratigráfico localizado al centro de la estructura (*Tabla 3*). La liberación de la cala norte cuyo objetivo era registrar el muro de la estructura no tuvo éxito puesto que este no se ubicó, al contrario en la cala oriente se localizó el muro de la estructura. La excavación del pozo 1 permitió situar un muro de piedras careadas con vista al interior y exterior lo cual supuso una ampliación en los trabajos de exploración dando como resultado la liberación de una estructura de forma anular. Los muros liberados midieron entre 0.75 m a 0.85 m de grosor. Lo interesante del caso de la estructura fue la presencia de piedras quemadas. Es importante notar que a esta estructura se encontró asociada un grupo de 6 montículos *ch'iich* (Morales Uh. 2010).

ESTRUCTURA 24, H1, PARADOR TURÍSTICO-HALACHÓ				
Capa	Grosor	Composición	Material Asociado	Observación
I	0.30 m.	Capa formada por piedras medianas y algunas pequeñas con tierra color café oscura.	Ninguno	Ninguna
II	0.30 m.	Capa de tierra color café clara de consistencia fina y algunas piedras medianas	Ninguno	Ninguna

Tabla 2. - Estructura H1, (24), descripción de la excavación del pozo 1 según informe de Morales Uh.

La estructura anular tuvo después de la excavación las siguientes medidas- según los dibujos de la excavación- un diámetro interior de 4 m aproximadamente y una profundidad de 0.60 m, el diámetro exterior incluyendo la banqueta 7 m aproximadamente (Figuras 16, 17 y 18).

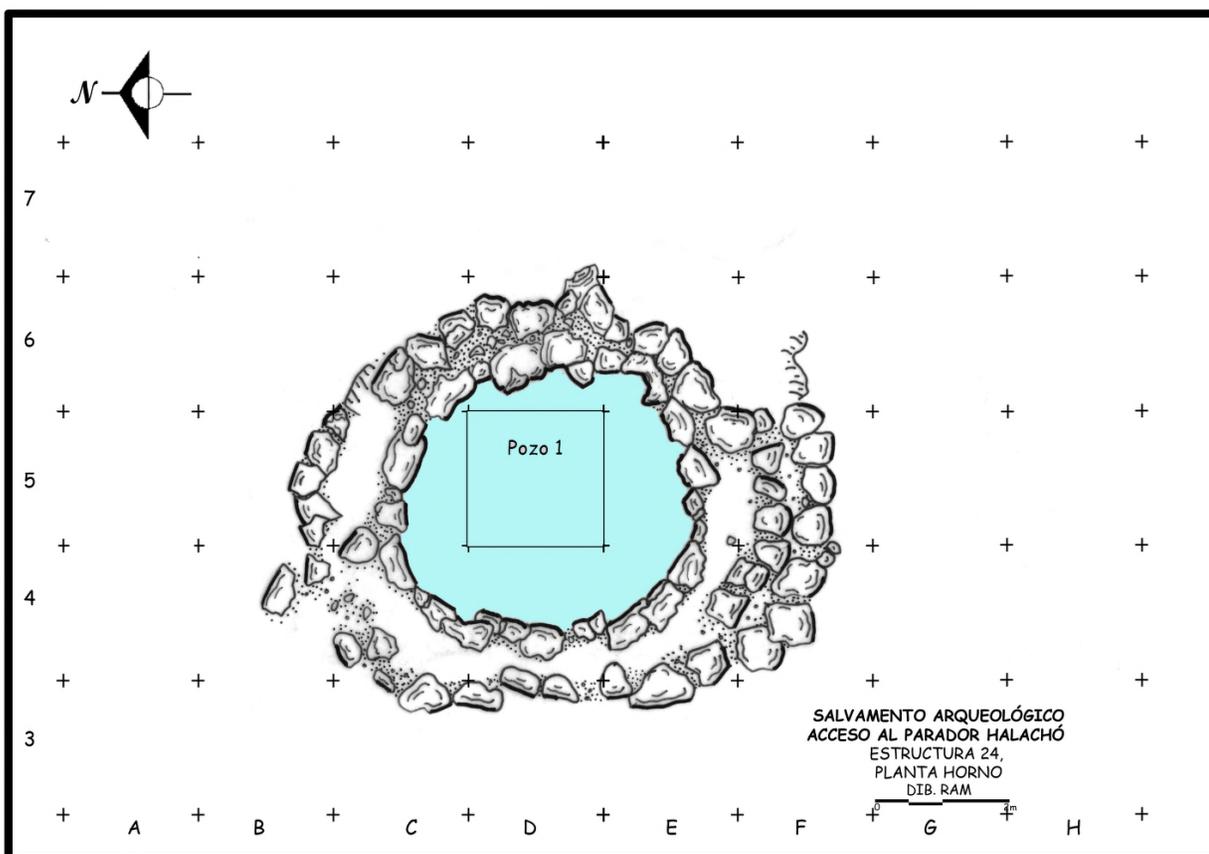


Figura 16. -Estructura 24, H1, planta después de excavación, resaltando la oquedad (Dibujo R. Morales Uh)

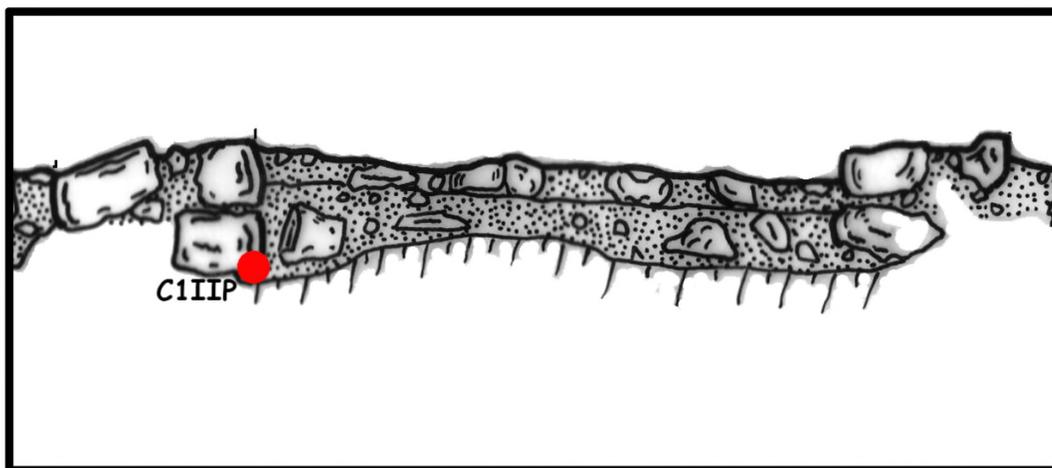


Figura 17. -Estructura 24, H1, perfil pozo 1, punto rojo indica toma de muestra (Dibujo R. Morales Uh)

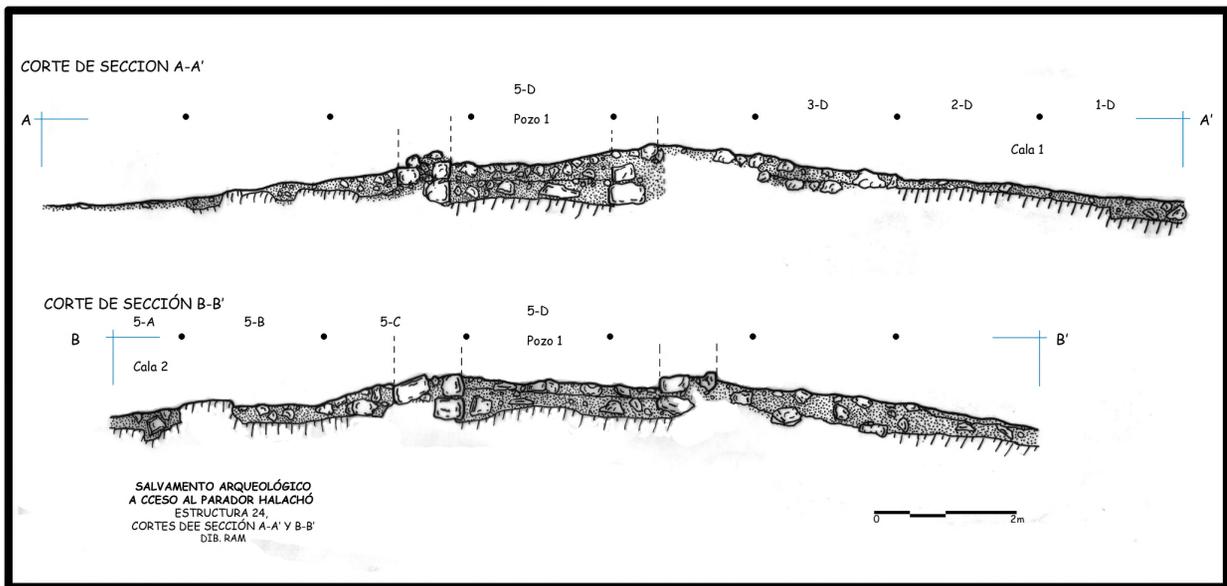


Figura 18. - Estructura H1 (24) Cortes generales después de excavación (Dibujo R. Morales Uh)

4.2.3 Estructura 53A-IV, H2

Denominada estructura 53A-IV⁸ dentro del registro del trazo de la carretera; se trató de una nivelación de la roca madre que contaba con muros de retención, de forma poligonal, con áreas bien definidas como es el hundimiento localizado al centro-sur. Al centro se ubica la estructura anular y zonas de escombros provenientes de una cantera moderna y de la construcción de la línea de conexión de Avantel.

Se encuentra asociada a una estructura piramidal sin excavar localizada a 80 m. al noroeste; al oeste y suroeste se localizan a 20 m. aproximadamente conjuntos de montículos *ch'iich*; al este se observaba el trazo de la carretera actual y después de ésta separación se observaba una plataforma con varias construcciones en su superficie, destacando una estructura tipo palacio abovedada y un pozo de agua. Al término de la excavación se registró que la estructura H2 pudo estar conectada a la plataforma principal, puesto que unos alineamientos atravesaban la carretera en su dirección (Cervera Díaz 2011).

La estructura anular está ubicada al centro de la nivelación y al norte del área hundida, presenta como características un primer muro en nivel de superficie, al noreste del área hundida que mide alrededor de 3 m de largo y sigue una forma redonda, su construcción sirvió para compensar el

⁸ La excavación de la estructura la realizó el Arq'lgo. Carlos Cervera Díaz, en ésta tesis utilizó la descripción del informe técnico que presentó el arqueólogo al centro INAH-Yucatán. Para más detalles de la exploración consultar dicho informe.

desnivel del terreno. El muro superior que delimita y da forma redonda a la estructura mide aproximadamente 4.5 m de diámetro y esta hecho con piedras pequeñas y medianas, de entre 0.15m y 0.45m (Cervera Díaz 2011).

La excavación consistió en la elaboración de calas de aproximación, de Este a Oeste, de Norte a Sur y de Oeste a Este, con la finalidad de localizar los límites y/o muros de la estructura (*Figura 19, 20, 21, 22*). Así como la definición de la área hundida y la exploración de la estructura anular. Además de la excavación horizontal y de liberación, se decidió explorar por medio de pozos estratigráficos, zonas de la nivelación al interior de los muros, en el área de escombros y al interior de la estructura anular (Cervera Díaz 2011).

La exploración de la nivelación, resultó en la definición de una zona de producción de materiales constructivos, la cantidad de material de color blanco rondó los 9 m² aproximadamente. La exploración de la zona de hundimiento permitió ubicar una *sascabera* prehispánica, cuyos límites son definidos por la roca madre en el Norte y Este, el acceso hacia la *sascabera* se lograba gracias a la escalera de piedras careadas que los constructores prehispánicos hicieron. El contorno de la *sascabera* estaba marcado por un alineamiento que partía del primer escalón.

La gran cantidad de material blanco y la presencia de la *sascabera*, fueron los rasgos por los cuales se propuso ésta zona como un área de producción de cal desde el momento de exploración, ver tabla 3 para información de la composición de las capas estratigráficas del pozo 2 localizado al interior de la estructura anular (*Figura 20, 22*)(Cervera Díaz 2011; Ortiz Ruiz 2013; 2014; Uc González y Morales 2013).

ESTRUCTURA 53A-IV, H2, CARRETERA FEDERAL 180 MÉRIDA-CAMPECHE (<i>Figura 20</i>)				
Capa	Grosor	Composición	Material Asociado	Observación
I	0.17 m.	Material húmico, tierra café clara y piedras grandes	No	Material de derrumbe y materia prima acumulada
II	0.20 m.	Tierra café- grisácea oscura y piedras grandes-medianas	Fragmentos de cerámica	Material de derrumbe
III	0.40 m.	Tierra gris con piedras pequeñas	Fragmentos de cerámica	Derrumbe del muro superior
IVA	0.19 m.	Tierra gris clara, consistencia fina y piedras pequeñas	Fragmentos de cerámica y punta de lanza de sílex	Relleno no tan compacto
IVB	0.16 m.	Concreción de material blanco de consistencia compacta	No	Material de cal, abandonado
VA	0.40 m.	Tierra gris clara, consistencia fina y <i>sascabosa</i> con piedras pequeñas y medianas	Fragmentos de cerámica	Relleno irregular de piedras, material que no llegó al estado final de producción
VB	0.28 m.	Concreción de material blanco de consistencia compacta, <i>sascabosa</i> y piedras calcinada al grado de deshacerse al contacto	No	Material de cal con algunas piedras medio calcinadas, capas de abandono
VC	0.12 m.	Tierra color gris oscuro probablemente ceniza	No	Restos de ceniza y material sólido que cubre el sedimento
VI	0.07 m.	Compactación de mortero	No	Roca madre y firme de aplanado con restos de material de cal compactado
VII	0.20 m.	Tierra de color blanco con piedras <i>ch'iich</i>	No	Relleno del piso de la estructura
VIII	0.23 m.	Tierra de color café-amarillenta y piedras pequeñas y medianas	No	Relleno piedras medianas con una capa de <i>ch'iich</i> y material para el piso

Tabla 3. - Estructura H2 (53-A), descripción de la excavación del pozo 2, basado en el informe de Cervera Díaz 2011

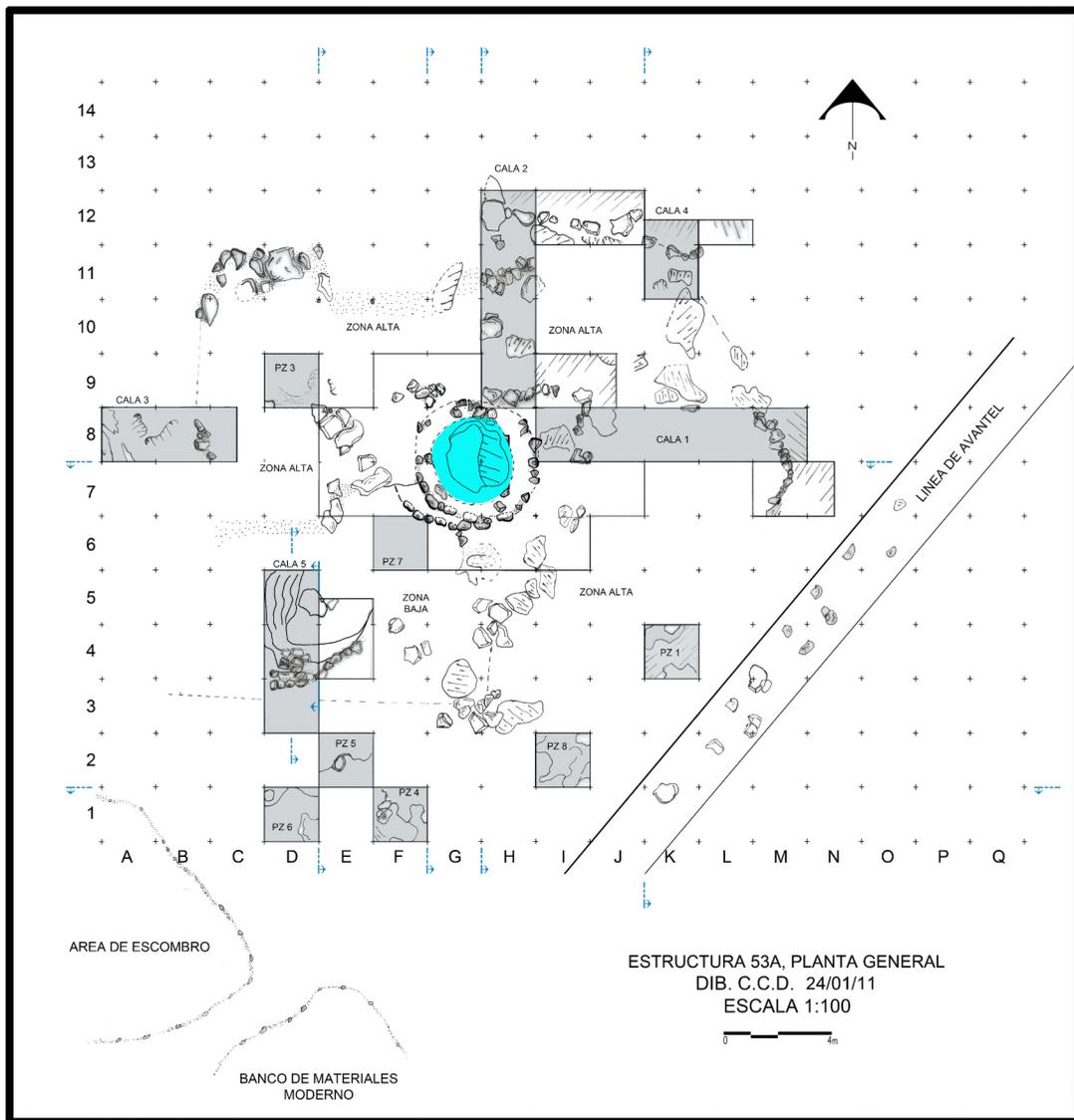


Figura 19. - Estructura H2 (53A-IV), Planta después de excavación (modificado de Cervera Díaz 2011)

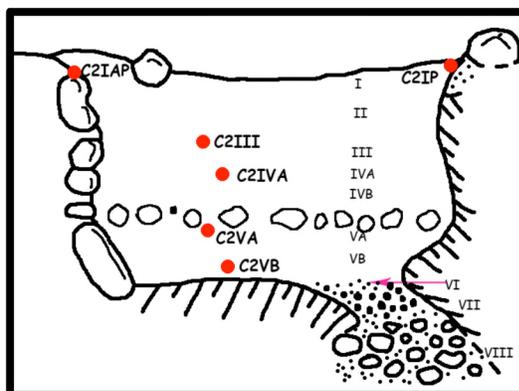


Figura 20. - Estructura H2 (53A-IV), perfil pozo 2, puntos en rojo marcan las muestras (modificado de Cervera Díaz 2011)

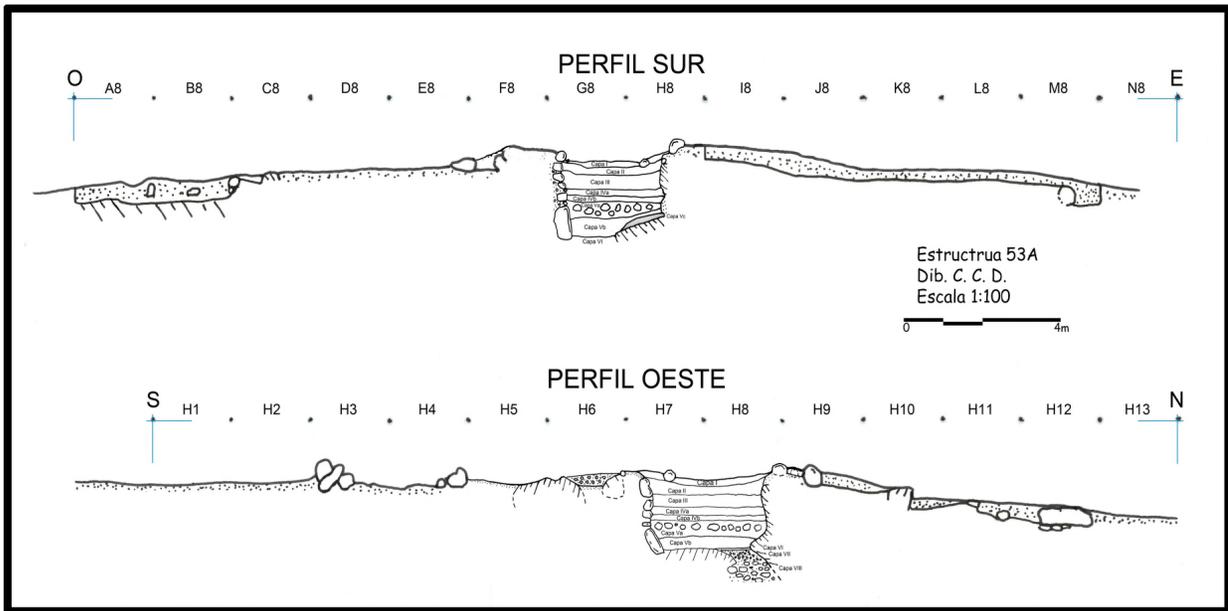


Figura 21.- Estructura H2 (53A-IV), cortes generales después de excavación (Modificado de Cervera Diaz 2011)

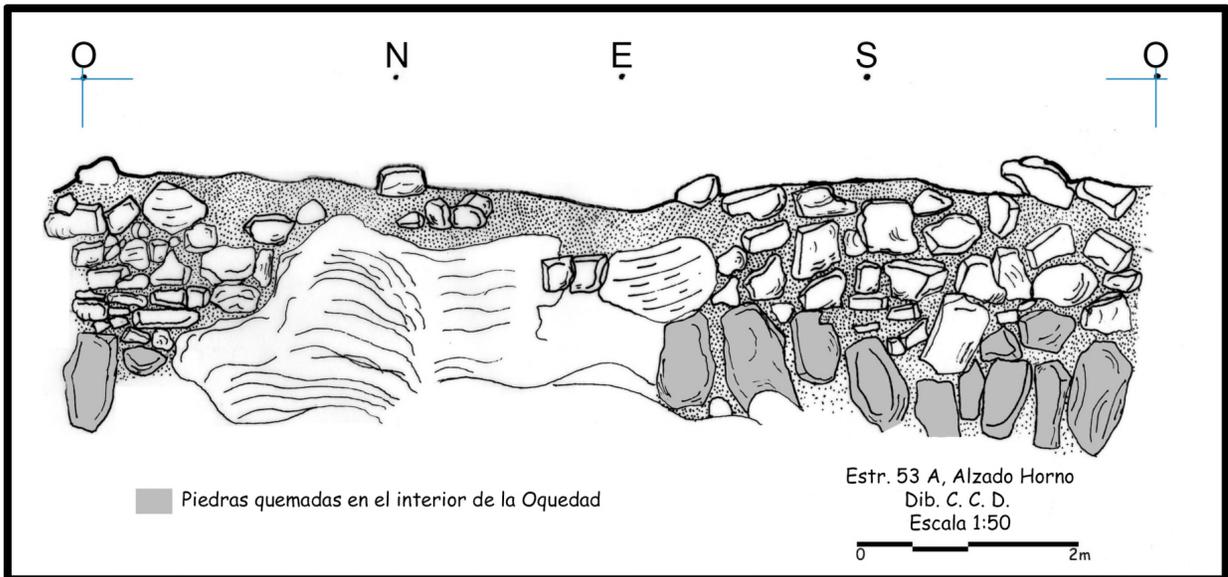


Figura 22. - Estructura H2 (53A-IV), alzado del interior de la oquedad del horno (modificado de Cervera Diaz 2011)

4.2.4 Estructura 3-A, H3

Estructura ubicada en el banco de materiales de la constructora Proser; fue identificada con el número 3-A. Su registro fue como una estructura anular que había sufrido afectación por un *bulldozer* en la zona sur de la misma. En superficie se apreciaba un doble muro y el área interior colapsada, las piedras que formaban el montículo eran burdas de tamaño mediano y grande entre los 0.40-0.70 m., las cuales se encontraban desfasadas hacia el exterior. Al centro del edificio se registró un alineamiento formado por piedras grandes semi careadas, las cuales se encontraron de canto. La superficie se encontró cubierta con material húmico y escombros removidos. El eje longitudinal fue de Este-Oeste y sus medidas fueron las siguientes 7.20 m. de largo por 6.50 m. de ancho y 0.65 m. de altura

La exploración de la estructura inició con el trazo de una retícula de control, la cual midió 10 m. en su eje Norte-Sur y 16 m. en su eje Este-Oeste, teniendo un total de 40 unidades de 2m². Se decidió explorar cuatro calas, las cuales sirvieron para definir el contorno de la estructura, así como la ausencia o presencia de los muros del edificio. Asimismo, se exploraron cuadros distintos a las calas para definir completamente la estructura. Los cuadros explorados fueron 14 y corresponden con él 35 % del total de cuadros disponibles. En la exploración se retiró una capa de 0.10 m. de escombros formado por piedras pequeñas y tierra café oscura, con la finalidad de definir el interior de la estructura; asimismo las piedras que se concentraban alrededor de la oquedad fueron removidas para definir su contorno (*Figura 23*).

La exploración también incluyó la excavación de un pozo estratigráfico al interior de la oquedad, el cual fue controlado mediante capas métricas, por motivos desconocidos, las muestras de los sedimentos y calizas recuperados al interior de la oquedad, no fueron localizados al momento del análisis y únicamente se pudieron realizar los análisis paleomagnéticos y de una muestra del muro de la estructura. En la tabla 4 describimos las capas estratigráficas de la excavación del pozo 1.

La exploración del pozo 1, permitió observar el sistema constructivo de la estructura anular: las paredes fueron realizadas con piedras careadas de tamaño mediano y grande (0.30-0.60 m.) las cuales se colocaron en un muro a junta seca acomodadas en la roca madre, el lado sur fue tallado en la roca madre al igual que parcialmente el Oeste y Este; no se recuperó evidencia del uso de algún recubrimiento en el muro y la roca madre, ni el uso de mortero en la construcción de la estructura (*Figura 24, 25; Tabla 4*).

La evidencia nos indica una preparación para la producción de cal, pues registramos en los cambios de capas una solidificación del relleno de la oquedad, dando la impresión de ser un piso; al romper el material observamos su composición con abundante piedra pequeña quemada y craquelada,

posiblemente por ser un material de una mala calidad o por falta de temperatura para ser convertida en cal; lo cual podría estarlo indicando las escorias de la producción de cal.

Asimismo, retiramos fragmentos de metates en las capas II y III, los cuales probablemente fueron depositados en la última utilización de la estructura como materia prima, para la obtención de cal; otra alternativa es que los mismos fueran utilizados en el muro de la oquedad. Un dato interesante fue no obtener el producto final, o sea la cal, al interior de la estructura. Asimismo el colapso del muro de la oquedad que intruía las capas I, II y III, probablemente esté relacionado con los procesos de abandono de la estructura (*Figura 24, 25*).

Las características del mismo, hacen suponer que su funcionamiento fue constante, pues no recuperamos el producto bruto, sino solamente ceniza y material en un término medio para convertirse en cal; ésto se debió probablemente a la excesiva utilización del horno en el cual los muros se encontraron craquelados y seguramente por la calidad de la piedra caliza utilizada para la producción de cal, observamos la presencia de abundante piedra pequeña en todas las capas en diferentes grados de craquelación y quemado, lo cual indicaría una deficiencia en la temperatura y del material. Un dato interesante es la presencia constante de la ceniza, la cual inicia su aparición a finales de la capa III aunque en gránulos medianos hasta llegar a una consistencia muy fina en la capa V (*Figura 24, 25*).

En cuanto a la definición de la forma de la estructura, la formulación fue un proceso frustrante, pues aunque retiramos algunas piedras de la superficie y exploramos el contorno, no tenemos la certeza del muro exterior marcando el límite de la estructura, al contrario del interior donde definimos plenamente el muro y una probable segunda hilada de piedras formando un doble muro. Por causas de la destrucción del lado Sur no podemos asegurar esta presencia.

ESTRUCTURA 3-A, H3, BANCO DE MATERIAL PROSER 113+500 CARRETERA FEDERAL 180 MÉRIDA-CAMPECHE				
Capa	Grosor	Composición	Material Asociado	Observación
I	0.50 m.	Tierra húmica de color café oscuro, con piedras pequeñas y algunas grandes en superficie	Fragmentos de cerámica	Material de relleno colapso del muro
II	0.70 m.	Tierra de color café oscura con piedras grandes, medianas y <i>ch'iich</i>	Fragmentos de cerámica	Material de relleno colapso del muro
III	0.20 m.	Tierra café oscura mezclada con tierra de color gris y piedras craqueladas	Fragmentos de cerámica y obsidiana	Material de relleno colapso del muro y presencia de ceniza de consistencia median
IV	0.50 m.	Tierra de color gris claro de consistencia fina (ceniza) y piedras <i>tok tunich</i> pequeñas y calcinadas	Fragmentos de cerámica	Ceniza de consistencia fina y mediana
V	0.20 m.	Tierra de color gris claro (ceniza) y piedras <i>ch'iich</i> craqueladas y calcinadas	Fragmentos de cerámica	Presencia de ceniza de consistencia fina
VI	0.20 m.	Formada por roca madre calcinada y craquelada de apariencia <i>sascabosa</i> mezclada con tierra gris clara (ceniza)	No	Roca madre calcinada

Tabla 4. – Estructura H3 (3-A), descripción estratigráfica del pozo 1, basada en información de Ortiz Ruiz 2011

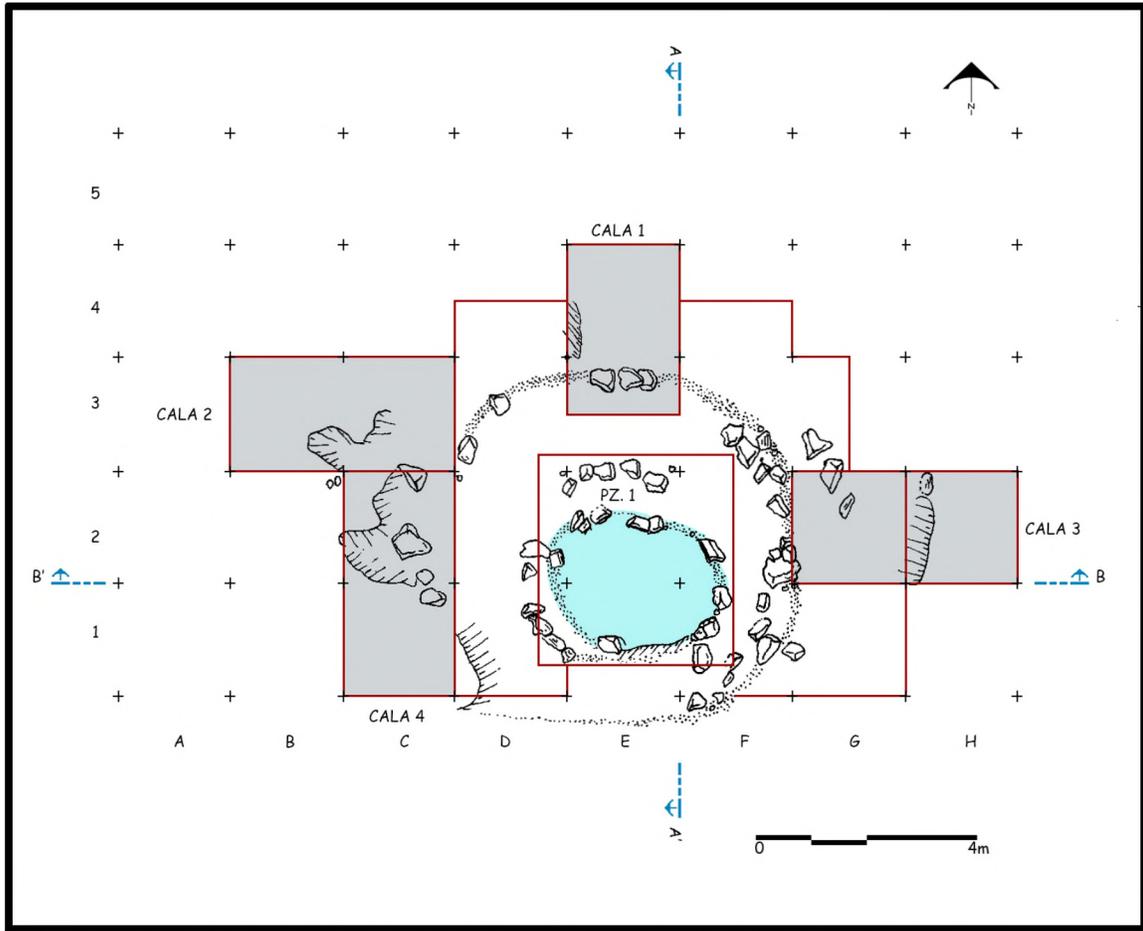


Figura 23. - Estructura H3 (3A), planta después de excavación (modificado de dibujo Ortiz Ruiz 2011)

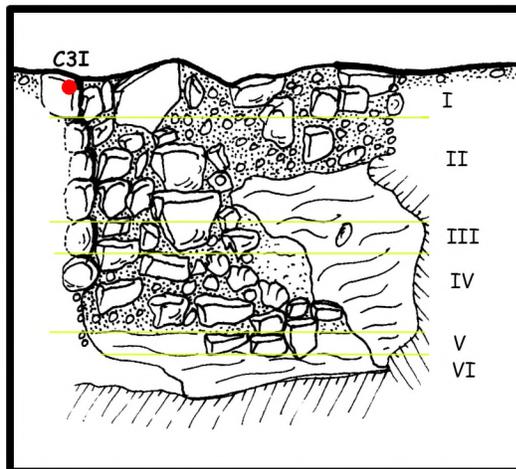


Figura 24. - Estructura H3 (3A), perfil punto rojo indica toma de muestra (modificado de dibujo Ortiz Ruiz 2011)

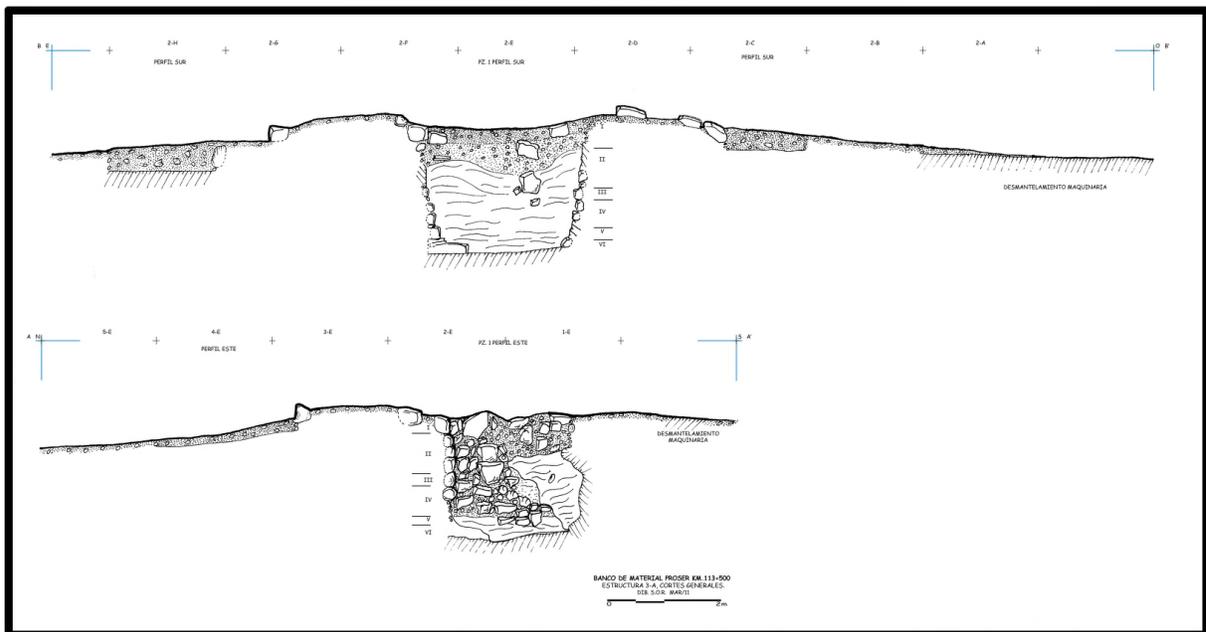


Figura 25. - Estructura H3 (3-A), Cortes generales después de excavación (dibujo Ortiz Ruiz 2011)

4.2.5. Estructura 1, H4

Estructura de planta anular donde se observaba el derrumbe formado por piedras de tamaño mediano y grande entre los 0.50-0.70 m, las cuales se encontraron burdas y toscamente careadas, el sedimento de la superficie estaba formado por una capa de tierra húmica y algunas piedras *ch'iich*; las piedras se concentraban en el borde circular de la estructura.

Al centro del edificio se observaba un colapso de materiales formando una hondonada, además se observaron dos alineamientos concéntricos formados por piedras medianas. Su eje longitudinal fue Este-Oeste con las siguientes medidas 7.70 m de ancho, 7.90 m de largo y 1.20 m de altura. La conservación de la estructura fue buena, se encontraron removidas algunas piedras de los muros debido al trazo del banco de extracción de material moderno. Al término de la excavación la estructura fue destruida por acción de la extracción de piedra.

La intervención arqueológica inició con el trazo de la retícula de control, la cual tuvo 12 m en su eje Norte-Sur y 10 m en su eje Este-Oeste, proporcionando 30 cuadros de exploración. Se decidió realizar dos calas de liberación, las cuales tuvieron un eje Norte-Sur; la cala 1 y Este-Oeste la cala 2 y un pozo estratigráfico al centro del edificio (Figura 26, 27 y 28).

Al iniciar las exploraciones y dadas las buenas condiciones del edificio, se realizaron la ampliación y liberación de todos los lados de la estructura, aquí se retiró una capa de entre 0.10 m y 0.20 m de piedra *ch'iich* y se liberaron los muros. Lo anterior permitió definir plenamente la forma anular de la estructura, teniendo al final las siguientes medidas: muro circular de 5.30 m de largo por 5.10 m de ancho y una altura de 0.35 m desplantando en el relleno. Al liberar el pozo 1, se registró el tamaño final de la oquedad que tuvo las siguientes medidas: 2.60 m de ancho y 3.00 m de largo con 1.15 m de profundidad (*Figura 27, 28*).

Las piedras del muro eran de tamaño mediano y pequeño entre los 0.50-0.15 m, algunas de las cuales se encontraron desfasadas hacia el exterior del mismo. Al Interior de la oquedad, las piedras se encontraron completamente craqueladas, burdamente talladas y sin mortero de unión de las mismas.

La excavación del pozo 1 permitió recuperar materiales cerámicos, así como observar la construcción de los muros desplantando sobre la roca madre, se registraron las paredes del horno quemadas hasta el punto del colapso. Además, registramos la presencia de una cavidad en la roca madre en el lado Sur, la cual fue rellena; no podemos definir si el proceso de relleno fue previo o durante el uso de la estructura. La tabla 5 presenta la información estratigráfica de la excavación del pozo 1 (*Figura 27*).

Concluida la excavación, registramos que a diferencia de las estructuras anulares previamente excavadas, en ésta no se contó con un registro de material blanco, únicamente evidenciamos piedras calcinadas al interior de la oquedad de la estructura. Asimismo, el color de la tierra roja y homogénea a través de toda la exploración, hace suponer que la estructura fue abandonada y limpiada, y el proceso que registramos es un proceso tafonómico que modificó el contexto arqueológico después del abandono de la estructura.

Arquitectónicamente, la construcción del mismo se llevó a cabo mediante la excavación de un hoyo en la tierra hasta la roca madre, el cual fue recubierto con paredes de piedra y al final en la parte superior, se construyó un muro doble delimitatorio de la estructura. Las paredes fueron realizadas con piedras semi careadas y burdas de diferentes tamaños entre los 0.20-0.50 m, las cuales desplantaban directamente sobre la roca madre. Asimismo se registró el proceso de quemado de las paredes, las cuales, es muy probable que soportaran elevadas temperaturas, dadas las fracturas y fisuras que presentaban las piedras. Registramos además, la presencia del muro exterior del horno, el cual estaba formado por piedras de diferentes tamaños y toscamente careadas y además se encontraron desfasadas.

ESTRUCTURA 1, H4, BANCO DE MATERIAL CANTERAS PENINSULARES 108+500 CARRETERA FEDERAL 180 MÉRIDA-CAMPECHE				
Capa	Grosor	Composición	Material Asociado	Observación
Sup	0.10 m.	Tierra húmica y piedras grandes y medianas del derrumbe	No	Relleno de piedras medianas
I	0.70 m.	Tierra de color café oscura con abundante piedra <i>ch'iich</i> y algunas piedras medianas	Fragmentos de cerámica	Formada por piedras calcinadas y tierra roja, posiblemente abandonada
II	0.35 m.	Tierra de color rojizo con abundante piedra <i>ch'iich</i>	Fragmentos de cerámica	Formada por piedras calcinadas y tierra roja, posiblemente abandonada, material de la oquedad

Tabla 5. -Estructura 1, H4, descripción estratigráfica del pozo 1 con datos de Ortiz Ruiz 2011

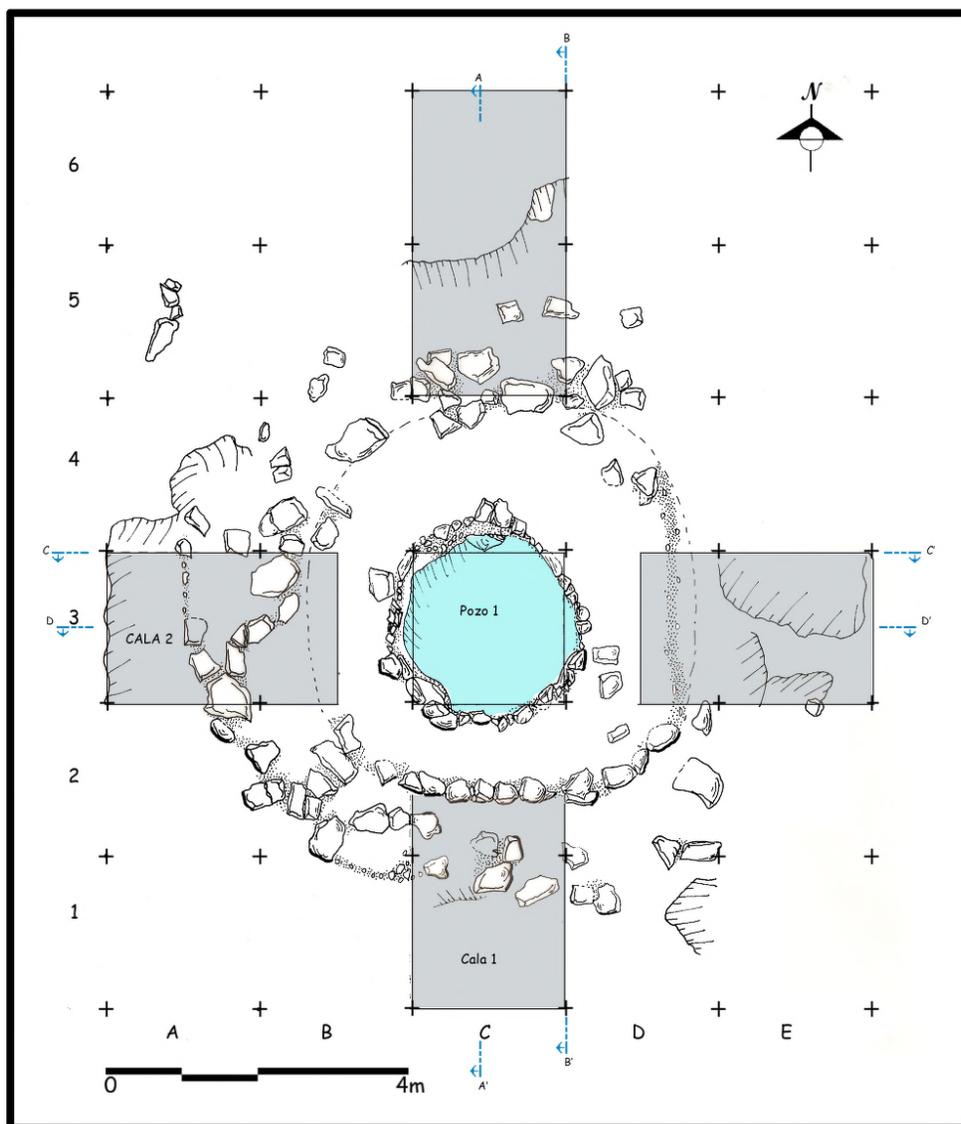


Figura 26. - Estructura 1, H4, planta después de excavación (modificado de Ortiz Ruiz 2011)

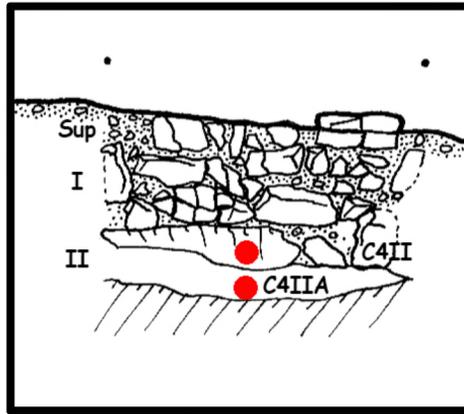


Figura 27. - Estructura 1, H4, perfil pozo 1 puntos rojos indican muestras tomadas (modificado de Ortiz Ruiz 2011)

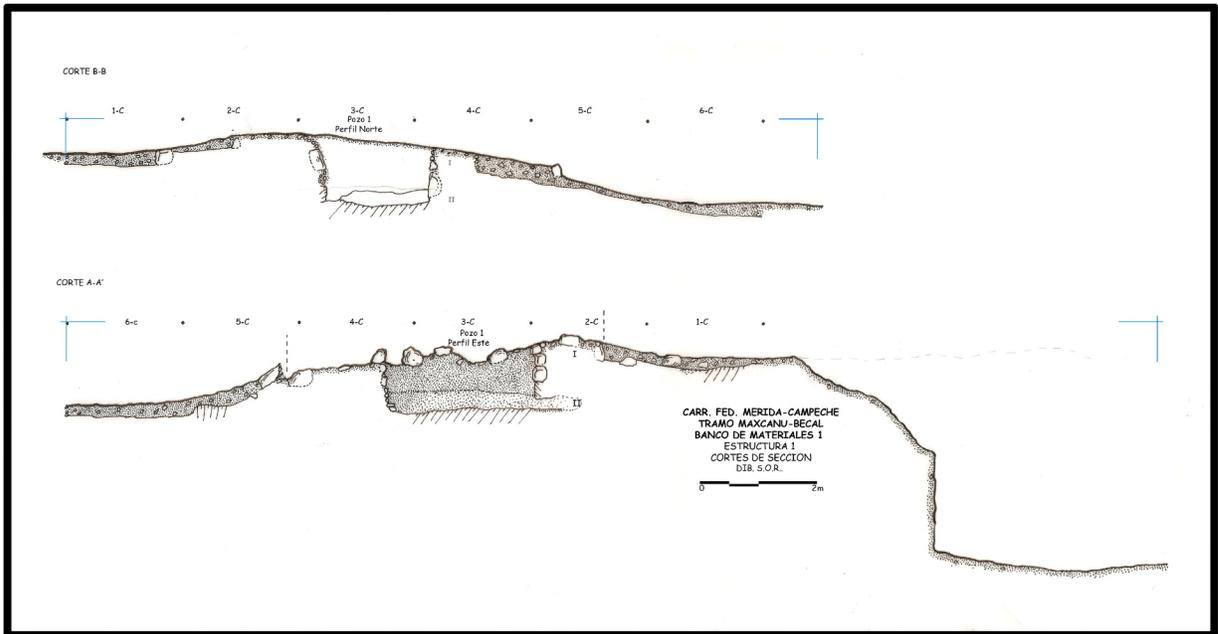


Figura 28. -Estructura H4, (1), Cortes generales después de excavación (dibujo Ortiz Ruiz 2011)

4.2.6 Estructura 23A-V, H5

Estructura de forma anular, localizada en el tramo V e identificada como estructura 23-A. Se encontró en asociación de grupos tipo palacio con techos abovedados. La superficie se encontró formada por piedras medianas y pequeñas con material húmico acumulado en la misma; se registra una oquedad en el centro de la estructura, donde se tiene piedras grandes colocadas de forma vertical en éste espacio, dando la impresión de ser un saqueo al centro de la estructura.

Después de la limpieza, la presencia del muro se hizo evidente. Comprobando la forma del mismo, se ubicó un metate de doble vista en el lado NE sobre la banquetta. Las piedras que formaban parte del muro de la estructura eran de tamaño grande y toscamente careadas. La mayor dispersión de escombros se localizó al Este y Sur de la estructura, compuesta primariamente por piedras *ch'iich* y humus.

La metodología de excavación del proyecto para el tramo V cambió, pues se restituyeron las retículas de la primera fase del salvamento realizada en 1997. Por tanto, la denominación de los cuadros se realizó por cuadrantes. Para ésta estructura correspondieron el B y C, para la excavación de la estructura se ubicó la retícula de control a partir de la cuadrícula de la estructura 24, a partir del cuadro 263-B y hasta el cuadro 263-C donde se unía a la estructura 23 (*Figura 29*).

Ésto permitió tener 49 cuadros de dos metros cuadrados para la excavación, se decidió iniciar con dos calas alternas y a partir de ahí liberar todo el muro, además se retiró una primera capa de toda la superficie de la banquetta, y por último se excavó un pozo estratigráfico en la boca de la estructura para liberar el interior de la oquedad.

La exploración del pozo estratigráfico inició con la excavación de cuadro 270-B, al tener la experiencia previa de las otras excavaciones tratamos de ubicar primero el inicio de la oquedad más que el centro de la misma, lo cual resultó positivo y pudimos excavar los siguientes cuadros 260-B, 251-C y 261-C lo cual nos dio los límites de la oquedad. Por lo anterior y para un mejor control del material se decidió marcar la proveniencia por cuadro, capa y pozo (*Figura 29*). La tabla 6 provee la descripción por capa explorada.

El inicio de la oquedad queda bien definido a partir de la capa III, las capas I y II corresponden a deposición posterior y derrumbe del muro que rodeaba la oquedad. Continuando con la exploración, en la capa IV se registra la presencia de cenizas, en la capa V se ubica el recubrimiento probablemente de cal que tenían las paredes de la oquedad; entre las capas VII y VIII se localiza la concentración de cristales quemados en el perfil de la pared; los cristales se extienden hasta la capa IX cuando son localizados igualmente en el piso de estuco en un área donde este último se había erosionado. Un dato interesante fue que al romper el piso en las capas X y XI se localizaron cristales sin quemar (*Figura 30, 31*).

El registro arqueológico presentó una diferencia constructiva con respecto a las otras construcciones anulares y fue la ausencia del muro interior en la oquedad; al contrario, toda la oquedad fue labrada en la roca madre y recubierta con una superficie alisada blanca muy probablemente cal. Aunado a esto, existe la presencia en las paredes de cristal quemado, cercano al recubrimiento de

material blanco; es probable al tener ambos materiales en la pared, que su función supliera a las piedras de muro localizadas en las otras estructuras.

Un dato interesante fue la presencia de una cavidad tapiada, la cual exploramos; llamó la atención la presencia de una tierra naranja-amarillenta con una plasticidad muy buena al ser humedecida. Ésta cavidad probablemente formaba parte de una *sascabera* o *chultún* previamente construido o empezado a construir, que después fue tapiado y utilizado para formar la oquedad de las estructuras anulares.

ESTRUCTURA 23A-V, H5, CARRETERA FEDERAL 180 MÉRIDA-CAMPECHE				
Capa	Grosor	Composición	Material Asociado	Observación
I	0.20 m.	Tierra húmica con piedras <i>ch'iich</i>	No	Relleno proveniente de una deposición posterior y derrumbe del muro
II	0.25 m.	Tierra café oscura con piedras <i>ch'iich</i> y algunas de tamaño mediano	No	Relleno proveniente de una deposición posterior y derrumbe del muro
III	0.40 m.	Tierra de color café claro con piedras grandes calcinadas algunas en posición vertical	Metate	Relleno de la estructura inicio de la oquedad en la roca madre
IV	0.50 m.	Tierra café clara mezclada con tierra de color gris (ceniza) con dos niveles de piedras grandes calcinadas y piedras <i>ch'iich</i> entre estos niveles	No	Presencia de cenizas
V	0.30 m.	Tierra café clara con tierra grisácea oscura (ceniza) con tres niveles de piedras grandes calcinadas y entre estos niveles piedras <i>ch'iich</i>	No	Inicio del recubrimiento de estuco en las paredes
VI	0.40 m.	Tierra café oscura con manchones de tierra gris oscura de consistencia como la ceniza con dos niveles de piedras grandes calcinadas y piedra <i>ch'iich</i> entre los niveles	No	Termino del recubrimiento de estuco en la pared
VII	0.40 m.	Tierra café clara al centro de la estructura y tierra café oscura-grisácea (ceniza) con piedras de tamaño grande, mediano y <i>ch'iich</i> calcinadas y presencia de cristales	No	Inicio de la presencia de cristales calcinados en la pared
VIII	0.30 m.	Tierra de color café clara-naranja con manchones de tierra grisácea (ceniza) con pequeños cristales en la tierra gris y piedras medianas y pequeñas calcinadas	No	Termino de la presencia de cristales calcinados en la pared
IX	0.30 m.	Tierra café clara y gris clara (ceniza) con piedras medianas y pequeñas así como cristales. El piso esta formado con estuco con huellas de calcinación	No	Piso de estuco y cristales calcinados
X	0.25 m.	Bajo nivel del piso, esta formada por tierra de consistencia <i>sascabosa</i> de color naranja-amarillento y presencia de cristales sin huellas de calcinación	No	Material sin quemar y abundantes cristales
XI	0.40 m.	Tierra de color amarillo de consistencia <i>sascabosa</i> presenta vetas de color naranja y abundantes cristales sin huella de calcinación	No	Material sin quemar y abundantes cristales

Tabla 6. -Estructura 23A-V, H5, descripción estratigráfica del pozo 1 con datos de Ortiz Ruiz 2012

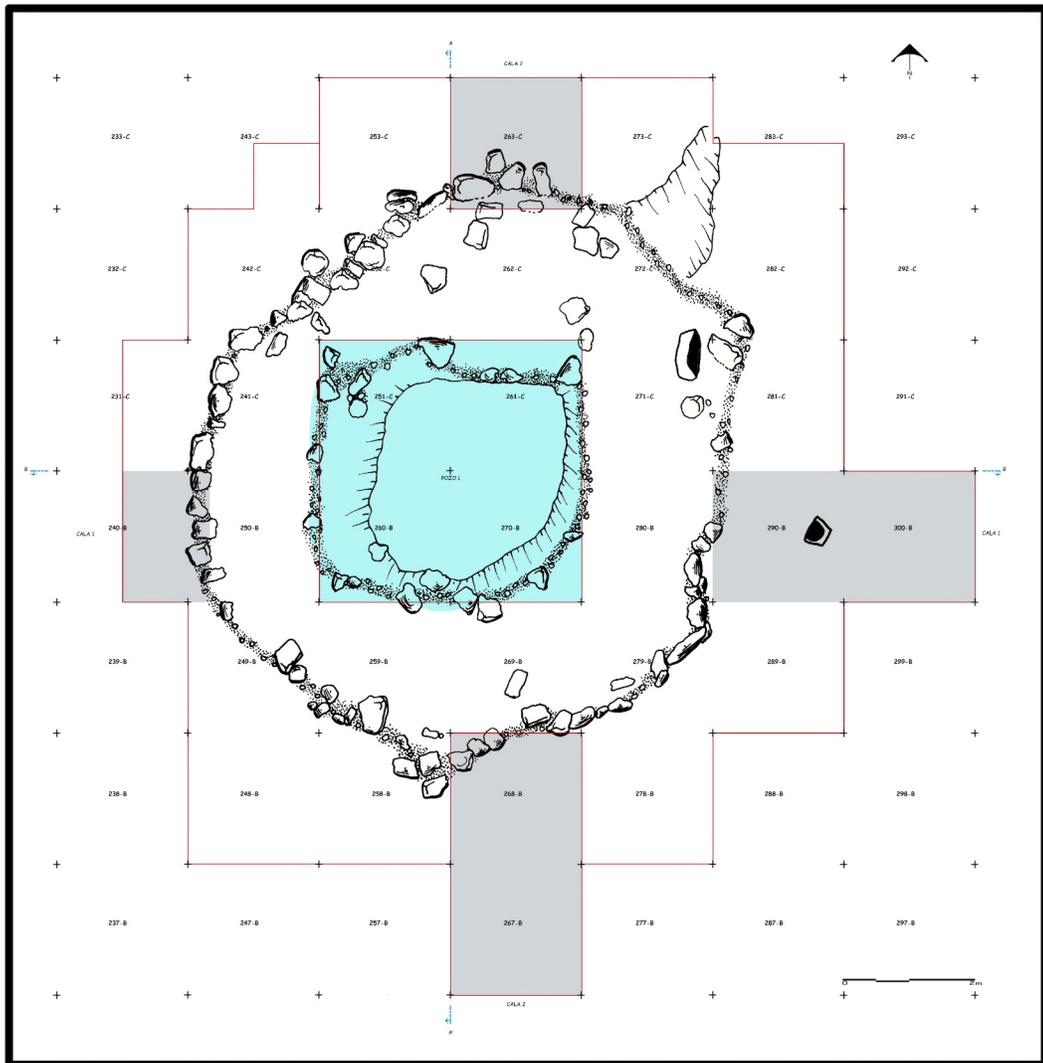


Figura 29. - Estructura 23A-V, H5, planta después de excavación (modificado de Ortiz Ruiz 2012)

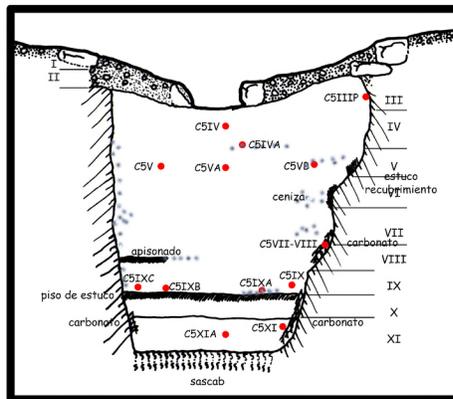


Figura 30. - Estructura 23A-V, H5, perfil pozo 1 puntos en rojo indican muestras tomadas (modificado de Ortiz Ruiz 2012)

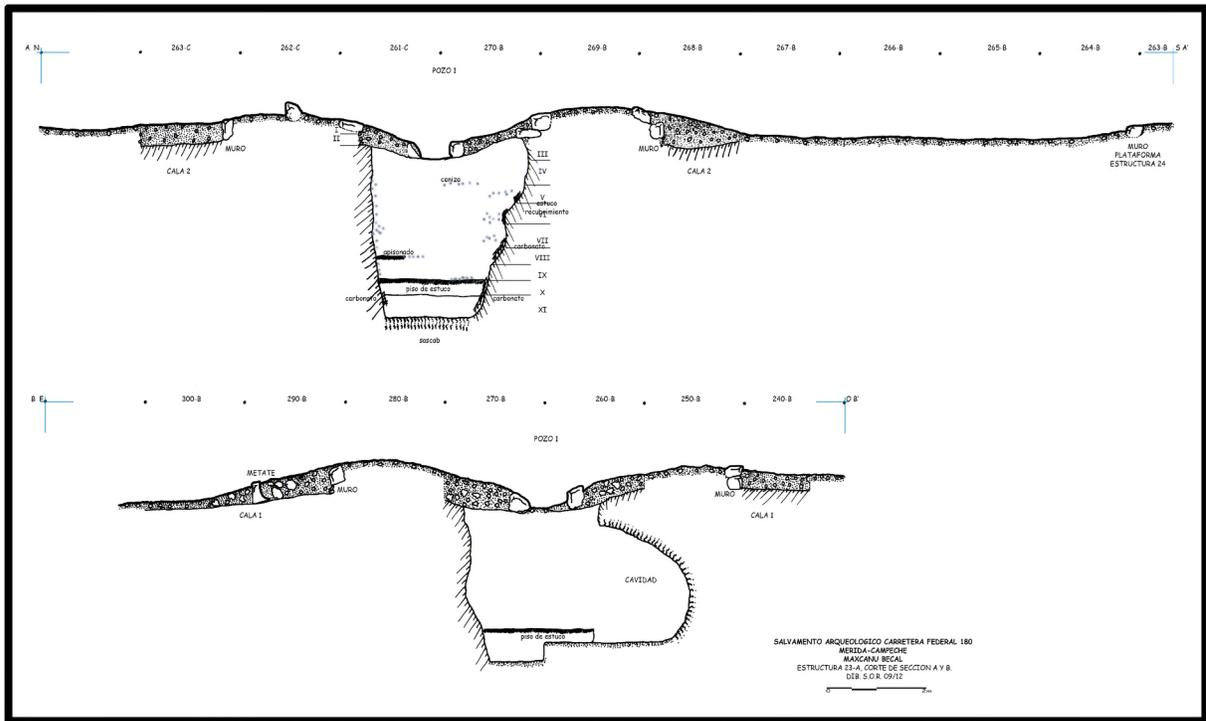


Figura 31.- Estructura H5 (23A-V), cortes generales después de excavación

4.2.7 Estructura 20, H7

Estructura de base anular, ubicada en el banco de materiales de la constructora Proser donde fue identificada con el número 20. Por su disposición, la estructura aparentaba ser un montículo asociado a la estructura 21, en su superficie se observan piedras medianas y *ch'iich* sueltas con humus; con algunos alineamientos registrados en la base de la estructura. Las dimensiones de la estructura fueron: 5.50 de largo por 6.50 de ancho y 1.15 m de altura; un dato interesante fue observar la forma cónica de la disposición constructiva del montículo. Dentro del patrón de asociación a la estructura 21 se localizó una *sascabera*.

La exploración se inició con el trazo de una retícula de control de 6 m de largo por 6 m de ancho, obteniendo nueve cuadros de excavación de 2 m². Se decidió explorar la estructura por medio de un pozo en el centro de la misma y liberar el límite para ubicar los muros. Al liberar los cuadros 1-B, 1-C, 1-D, 2-D, 3-D, 3-C, 3-B, 2-B, registramos algunas piedras que formaron parte del muro, las cuales se encontraron toscamente careadas. A un costado del muro se localizó la presencia de un fragmento de metate, por su forma y tipo éste corresponde al mismo tipo de metate presente en las otras estructuras anulares excavadas (Figura 33).

La liberación permitió ubicar un relleno muy bien dispuesto para la construcción del edificio, es probable que las piedras finales que delimitaron la oquedad, no se encontraran esto porque en su lugar se registraron piedras pequeñas que formaron parte de la boca y el muro de recubrimiento del interior de la oquedad; aunque también está la opción que la construcción de la estructura fuera realizada con este tamaño de piedras, puesto que el la parte inferior del muro de recubrimiento de la oquedad que desplantaba sobre la roca madre, estaba formado por piedras burdas y grandes.

La excavación de liberación en el cuadro 3-C permitió registrar que la piedra observada en superficie como una del muro de la banqueta, era en realidad la roca madre tallada, al liberar e intruir el relleno, observamos que la roca madre se extendía hasta la oquedad, lo cual confirma la forma de construir este tipo de estructuras.

La construcción se logra al excavar y tallar la roca madre para obtener la oquedad y después construir el muro interior utilizando parte de la roca madre y colocando las piedras en posición de canto para mayor soporte. La pared interior no presentó recubrimiento interior alguno, puesto que se observaron las piedras craqueladas y quemadas; asimismo se notó la ausencia de mortero entre las rocas. Un dato interesante fue la presencia de una oquedad en el piso de la estructura anular, de donde obtuvimos muestras de sedimentos. Ésta oquedad en el piso, está presente en las estructuras H2 y H4, además de la H7. En la tabla 7 describimos la secuencia estratigráfica del pozo 1 (*Figura 32, 34*). La exploración de la estructura 20 resultó en el registro de la evidencia constructiva de una estructura anular así como la presencia de material blanco asociado a una plataforma compuesta y una *sascabera*.

Las características físicas de la estructura anular H7, difieren de la otra excavado en el mismo banco (H3), puesto que éste no presentó una depresión en la zona central, sino más bien su forma fue cónica. La forma cónica se dio por la ubicación de la roca madre en el terreno, que era más elevada en la parte norte de la estructura con una depresión en el sur; por lo cual a la vista la estructura parecía un cono desde el sur, pero una estructura anular desde el norte.

Las paredes del horno a su vez fueron construidas con piedras burdas y grandes, las cuales fueron colocadas directamente sobre la roca madre, y en la parte superior encontramos piedras pequeñas. Éstas características asemejan a la estructura con la excavada en otro banco de materiales -la estructura H4-. La consistencia del relleno interior de la oquedad provee evidencia de la cocción realizada por la presencia de ceniza al final de la capa III y de material blanco (cal) tanto en la capa I. Asimismo, se detectó la mezcla de capas, sobre todo en las primeras I-III, donde se localizan concreciones de material blanco con tierra oscura. Probablemente, ésta estructura anular fue abandonada o reutilizada para otra actividad no relacionada con la quema de rocas calizas.

ESTRUCTURA 20, H7, BANCO DE MATERIAL PROSER 113+500, CARRETERA FEDERAL 180 MÉRIDA-CAMPECHE				
Capa	Grosor	Composición	Material Asociado	Observación
I	0.20 m.	Tierra húmica con presencia de piedras medianas y <i>ch'iich</i> ; con presencia de concreción de material blanco	No	Relleno removido de derrumbe
II	0.20 m.	Tierra café oscura mezclada con tierra de color blanco y presencia de piedras medianas y <i>ch'iich</i> calcinadas	No	Material removido
III	0.20 m.	Tierra café clara mezclada con tierra gris clara (ceniza) y piedras <i>ch'iich</i>	No	Ceniza
IV	0.20 m.	Tierra gris clara (ceniza) con piedras pequeñas y medianas	No	Ceniza
V	0.20 m.	Tierra café clara mezclada con tierra grisácea (ceniza) con piedras medianas y pequeñas	No	Ceniza y material blanco
VI	0.20 m.	Tierra café clara mezclada con tierra grisácea (ceniza) con piedras medianas y pequeñas	No	Ceniza
VII	0.20 m.	Tierra café clara-rojiza mezclada con tierra grisácea (ceniza) con piedras medianas y pequeñas	Fragmentos de cerámica	Ceniza y tierra roja también en la oquedad
VIII	0.10 m.	Tierra café-rojiza mezclada con tierra grisácea (ceniza) localizada sobre la roca madre que presenta huellas de calcinación	No	Ceniza y tierra roja

Tabla 7. - Estructura 20, H7, descripción estratigráfica del pozo 1 con datos de Ortiz Ruiz 2012

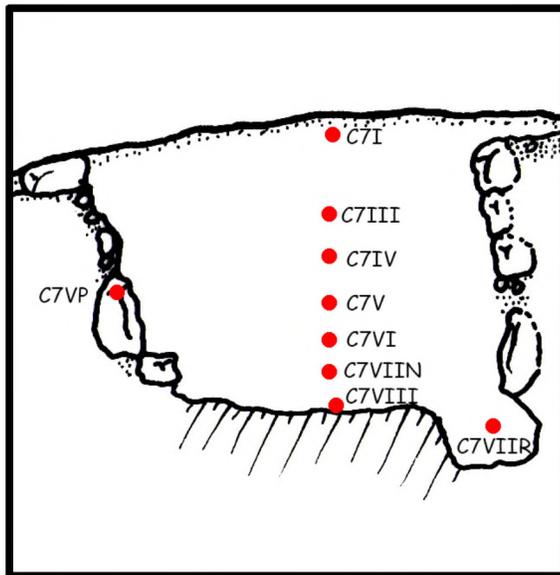


Figura 32. -Estructura 20, H7, perfil pozo 1 muestras marcadas en rojo (Modificado de Ortiz Ruiz 2012)

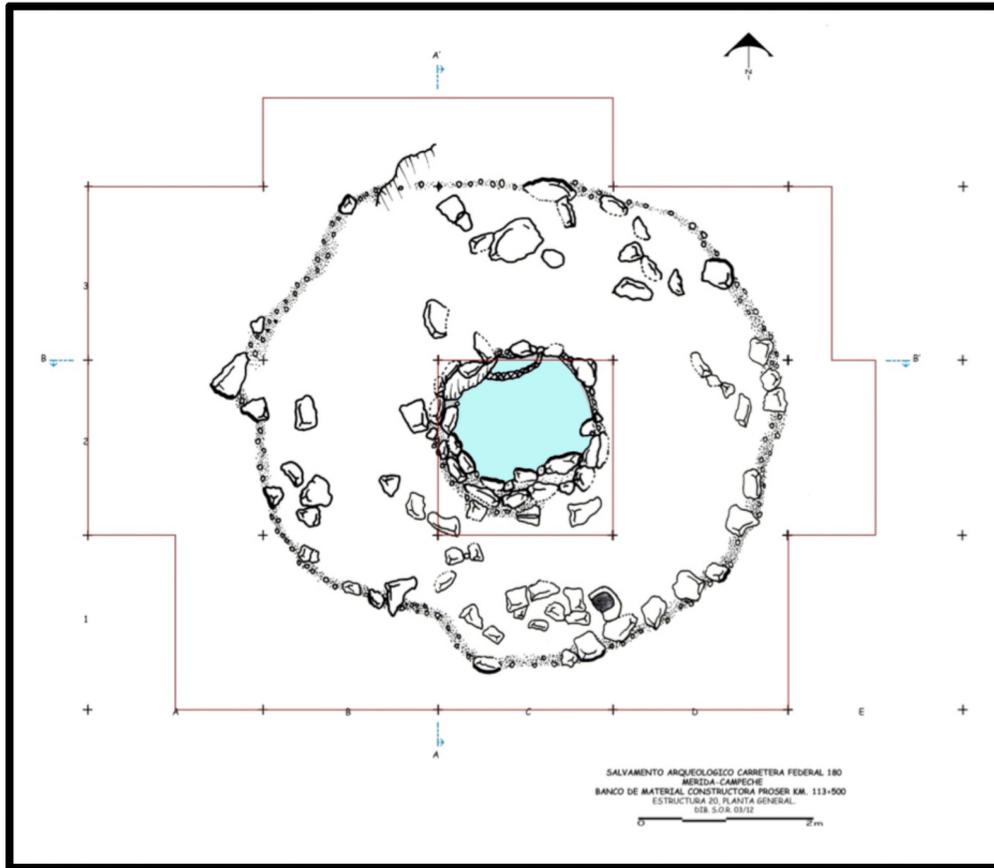


Figura 33. - Estructura 20, H7, planta después de excavación (modificado de Ortiz Ruiz 2012)

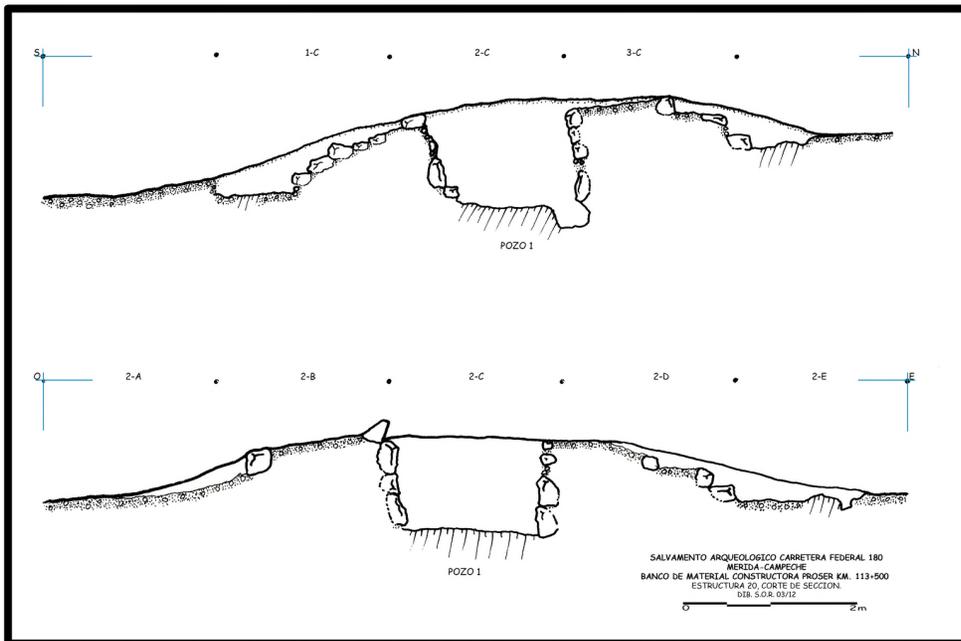


Figura 34. - Estructura 20, H7, Cortes generales después de excavación (modificado de Ortiz Ruiz 2012)

4.2.8. Estructura 1, H12

La estructura H12 se ubicó en el sitio de Santa Bárbara, a 1.5 kilómetros del núcleo central, en una zona de plataformas simples con construcciones superiores y cimientos de casas habitacionales, es decir, la estructura H12 se ubica en la zona de complejos domésticos del sitio. La estructura se ubica igualmente en una zona de poca tierra y mucha laja, pero no registramos evidencia alguna de canteras prehispánicas ni evidencia de montículos *ch'iich* cercanos.

La estructura registra un tamaño de 6 m de diámetro exterior y 2 m de diámetro interior, su superficie esta formada por piedras medianas y pequeñas cubiertas por humus, al centro de la estructura se localiza un árbol cuyas raíces han levantado el relleno de la misma; aunque todavía es posible observar la depresión central de la estructura.

La exploración de la estructura se llevó a cabo durante los trabajos de limpieza y mantenimiento de la zona arqueológica. Previo a la excavación, trazamos una retícula alfanumérica con el punto cero en el suroeste, para la exploración del pozo utilizamos el cuadro 4-C., para ésta estructura no se realizó excavación horizontal.

La excavación al ser parcial, permitió únicamente ubicar la mitad aproximadamente de la oquedad, las piedras que formaban el muro interior estaban craqueladas y con huellas de quemado al igual que el piso formado por la roca madre. Como en casos anteriores ésta estructura anular fue construida con la excavación de la oquedad hasta la roca madre. La exploración permitió recuperar muestras de concreciones y piedras para analizar. En la tabla 9 describimos la secuencia estratigráfica.

ESTRUCTURA 1, H12, SITIO SANTA BÁRBARA				
Capa	Grosor	Composición	Material Asociado	Observación
I	0.20 m.	Tierra húmica con presencia de piedras <i>ch'iich</i> y algunas de tamaño mediano sueltas	No	Relleno suelto de derrumbe y remoción por raíces
II	0.20 m.	Tierra de color café oscuro con piedras medianas y <i>ch'iich</i>	No	Material de derrumbe
III	0.40 m.	Tierra de color café claro con piedras medianas y grandes	No	Relleno de piedras grandes y medianas
IV	0.50 m.	Tierra de color café claro mezclada con concreciones de material blanco y piedras medianas y pequeñas calcinadas	No	Relleno de piedras y mezclas de concreciones de cal

Tabla 8. - Estructura 1, H12, descripción estratigráfica del pozo 1 con información de Ortiz Ruiz 2012

4.2. 9. Estructura 1-III, H14

Se localiza en el sitio de Dzoyila localizado en Mérida, fue denominada primeramente como Estructura 1-III en el registro del sitio; clasificada como una plataforma compleja. La Estructura 1-III consistió en un basamento con varias construcciones superiores diseminadas por todo el espacio de dicho basamento. Al norte se pudo localizar un adosamiento, el cual se encontró semi derrumbado, por el paso de la maquinaria. Se cree que éste sirvió para albergar a la construcción superior A. En la parte sur se localizó una anexado, esto fue para la construcción de la superestructura B. Entre lo más importante encontrado en ésta estructura fue la denominada H14, ubicada al interior de la construcción superior A (Estrada Vielma 2013).

Al excavar la construcción superior A, por medio del pozo 6 (*Tabla 9*) se ubicó en su interior una oquedad que presentaba un muro interior formado con piedras semi careadas, las cuales variaban entre los 0.20 m.-0.50 m. Las medidas de la oquedad fueron de 2 m de diámetro y 1.30 m de profundidad (*Figura 35, 36*).

ESTRUCTURA 1-III, H14				
Capa	Grosor	Composición	Material Asociado	Observación
I	0.20 m.	Piedras de 0.20 a 0.35m. mezcladas con tierra de color café oscuro.	Fragmento de cerámica	Se encontró evidencia de un alineamiento de piedras, de forma circular, por lo que se pensó que se trataba de un depósito.
II	0.20 m.	Piedras de 0.20 a 0.30 m. combinadas con tierra de color café oscuro	Fragmento de cerámica	Al continuar con la exploración interna del alineamiento encontrado desde la capa I, se pudo observar que continuaba.
III	0.20 m.	Piedras de 0.20 a 0.35m. con tierra de color café oscuro.	Fragmento de cerámica	Las piedras del alineamiento continuaron y se encontraron fragmentadas por lo cual lo denominan horno
IV	0.10 m.	piedras de 0.10 a 0.15 m. combinadas con tierra de color café oscuro.	No	No se respetó en esta capa la medida de 0.20 m porque se observó un cambio en la coloración de la tierra
V	0.20 m.	Piedras pequeñas combinadas con tierra grisácea.	Fragmento de cerámica	En esta capa la coloración de la tierra cambio, siendo más fina y compacta. También se recolectaron pocos residuos de cal
VI	0.20 m.	Piedras de 0.10 a 0.15 m. con tierra grisácea	Carbón	Se observó en la parte este del horno la roca madre, pero al oeste encontramos relleno, constructivo.
VII	0.80 m.	Piedras de 0.05 a 0.15 m. con tierra grisácea a blancuzca.	Fragmento de cerámica	Relleno utilizado para nivelar el terreno y poder construir la estructura.

Tabla 9. - Estructura 1-III, H14, descripción estratigráfica del pozo 6 con información de Estrada Vielma 2013

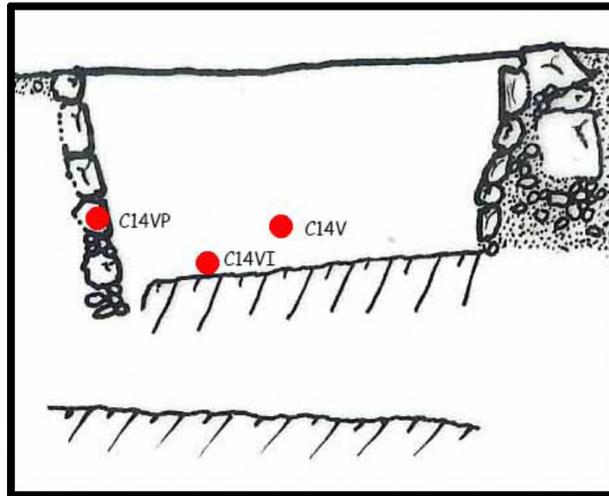


Figura 35. - Estructura 1-III, H14, perfil pozo 6 puntos rojos indican las muestras (Modificado de Estrada Vielma 2013)

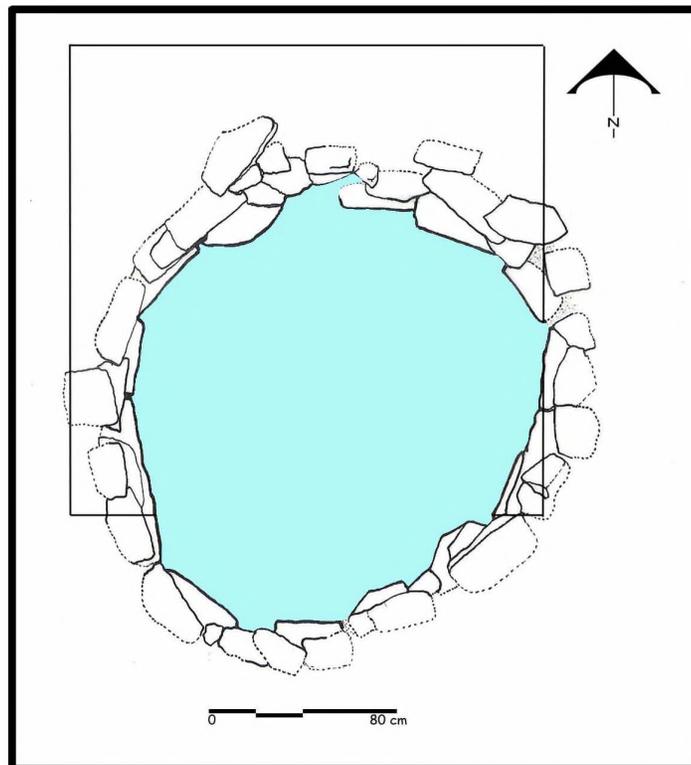


Figura 36. - Estructura 1-III, H14, planta pozo 6 (Modificado de Estrada Vielma 2013)

4.2.10. Estructura 3, H15

La estructura fue registrada durante los trabajos de rescate del Tablaje 710 del fraccionamiento Foviste del municipio de Tizimín, localizado en el oriente del estado de Yucatán. El número con el que fue designado es el 3. Su contexto es interesante puesto que se localiza adosado al costado sur de una plataforma habitacional. Su planta es circular de 2 m de diámetro y 0.80 m de altura, se encuentra formado con dos hileras de piedras superpuestas, registrándose las piedras de derrumbe en su costado. La pared de la estructura presenta huellas de quemado, al igual que el relleno recuperado al interior de la estructura. Un dato interesante y diferente a lo observado en la excavación de las estructuras anulares del Occidente, fue la presencia dentro de ésta estructura de piedras funcionando como piso de la estructura (*Figura 38*) (Barrera Rubio 2013:12-14; Barrera Rubio et al 2011:39-69).

La excavación se registró mediante una cuadrícula alfanumérica para la liberación de los muros de la plataforma compleja y de la estructura que el arqueólogo denomina horno. Además se realizaron excavación de pozos estratigráficos en diversas áreas de la plataforma, con la finalidad de obtener material cerámico y otros materiales culturales. Para ésta investigación nos interesa la descripción del pozo 1, presentada en la tabla 10 (*Figura 37, 39*).

ESTRUCTURA 3, H15, TABLAJE 710 TIZIMÍN				
Capa	Grosor	Composición	Material Asociado	Observación
I	0.12-0.22 m.	Tierra de color café oscuro y piedras pequeñas	Fragmentos de cerámica	Relleno de piedras con huellas de quemado
II	0.14-0.20 m.	Tierra de color café con presencia de piedras de relleno de tamaño mediano	Fragmentos de cerámica	Relleno de piedras con huellas de quemado
III	0.18-0.30 m.	Tierra de color rojo con presencia de piedras pequeñas	No	Paredes con huella de quemado

Tabla 10. - Estructura 3, H15, descripción estratigráfica del pozo 1, con datos de Barrera Rubio et al. 2011:53

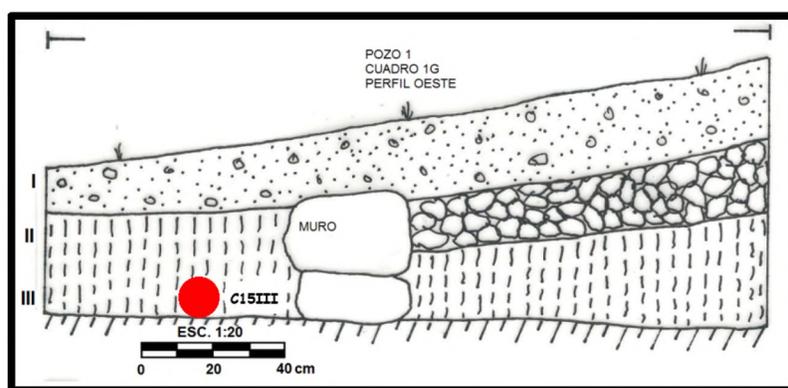


Figura 37. - Estructura 3, H15, pozo 1 perfil punto rojo indica muestra (modificado de Barrera et al. 2011:53)

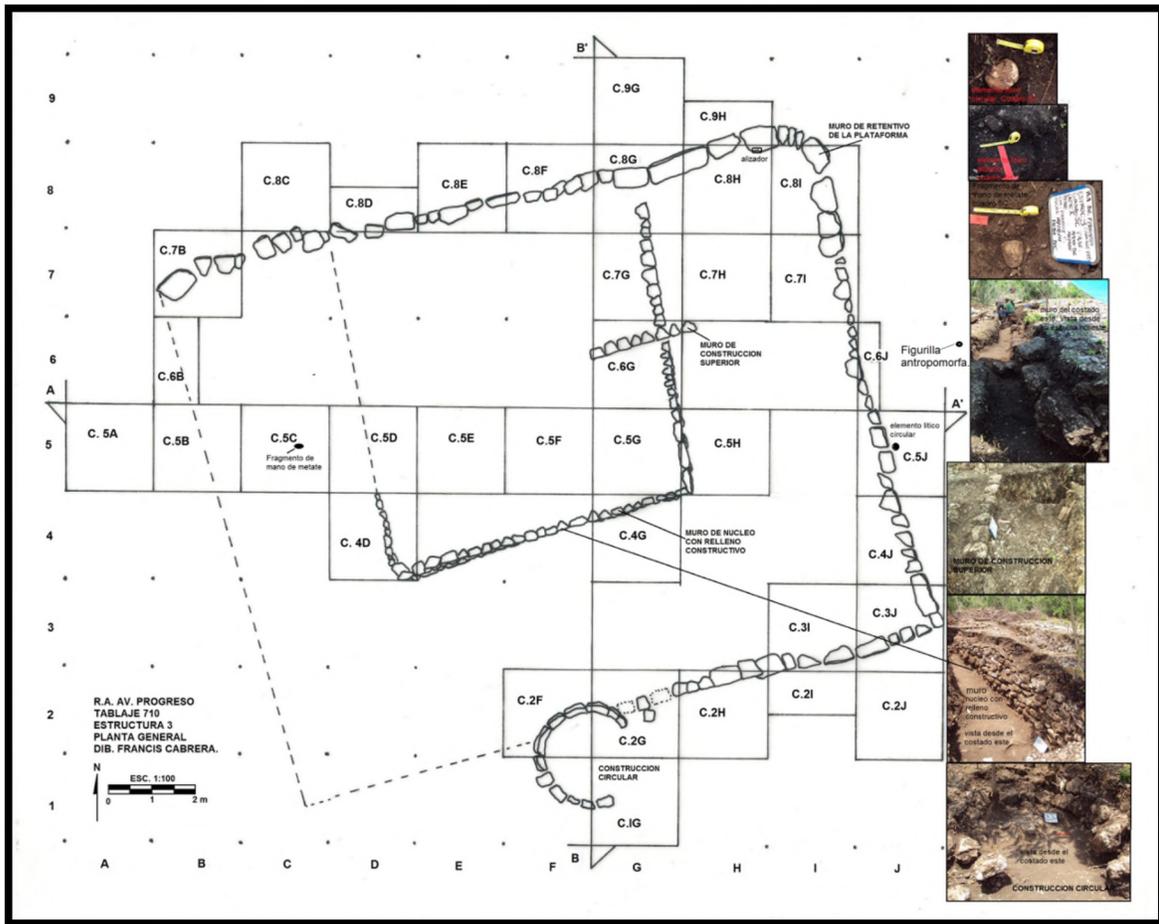


Figura 38. - Estructura 3, H15, planta después de excavación (modificado de Barrera Rubio et al 2011:51)

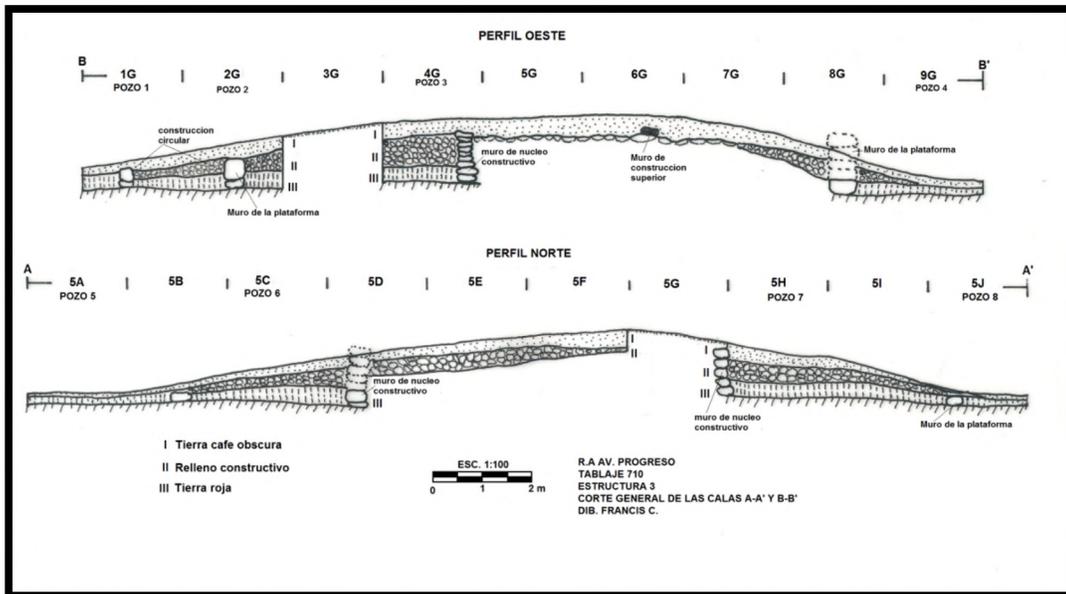


Figura 39. - Estructura 3, H15 cortes generales después de excavación (modificado de Barrera Rubio 2011:52).

La descripción de los contextos excavados permite identificar que en los casos de las estructuras H2, H3, H5, H7 y H12, las capas III y IV presentan los inicios de materiales con restos de procesos de calcinación en forma de sedimentos y piedras. Las capas I y II corresponden a material húmico y algunas piedras que forman parte de los procesos de abandono de estas estructuras.

Por último, dadas las descripciones arqueológicas, dibujos e informes, las estructuras H14 y H15 no cumplen con el requisito de ser una estructura anular, en el sentido completo de la definición proporcionada en apartados superiores, su estructura arquitectónica carece de banquetas, pero la oquedad es idéntica a los rasgos registrados al interior de las estructuras anulares. Éste caso probablemente se debe a que fueron construidas al interior de otras edificaciones previas. Sin embargo la presencia de concreciones blancas y la forma constructiva de la oquedad las hacen interesantes para esta investigación. A continuación presentamos la metodología utilizada para la caracterización de los materiales recuperados en estos contextos arqueológicos.

Capítulo 5.- La Ciencia en la Arqueología

En este capítulo tratamos la metodología aplicada al estudio de los contextos arqueológicos, describimos cada técnica utilizada y presentamos los resultados obtenidos al término del procesamiento de los datos. La aplicación de la ciencia y metodologías de otras disciplinas ha sido una constante desde los inicios de la arqueología; en este caso, para la investigación que llevamos a cabo, utilizamos una metodología que va de la mano de las ciencias naturales, en especial la Física, Geofísica, Geología y Geografía; éstas nos proporcionan la información sobre el ambiente, los cambios que han ocurrido y sobre todo las evidencias de combustión de piedras calizas para convertirlas en cal, con datos contrastados y apoyados por técnicas científicas. Lo anterior proporciona una visión complementaria de los datos arqueológicos como indicadores de la vida cotidiana de las sociedades prehispánicas.

La metodología fue trazada considerando los contextos bajo análisis y los diferentes tipos de materiales de cada contexto (rocas, sedimentos y estucos); contrastados con materiales de referencia geológicos para realizar la identificación mineralógica y los grados de calcinación presentes en las muestras (*Figura 40*).

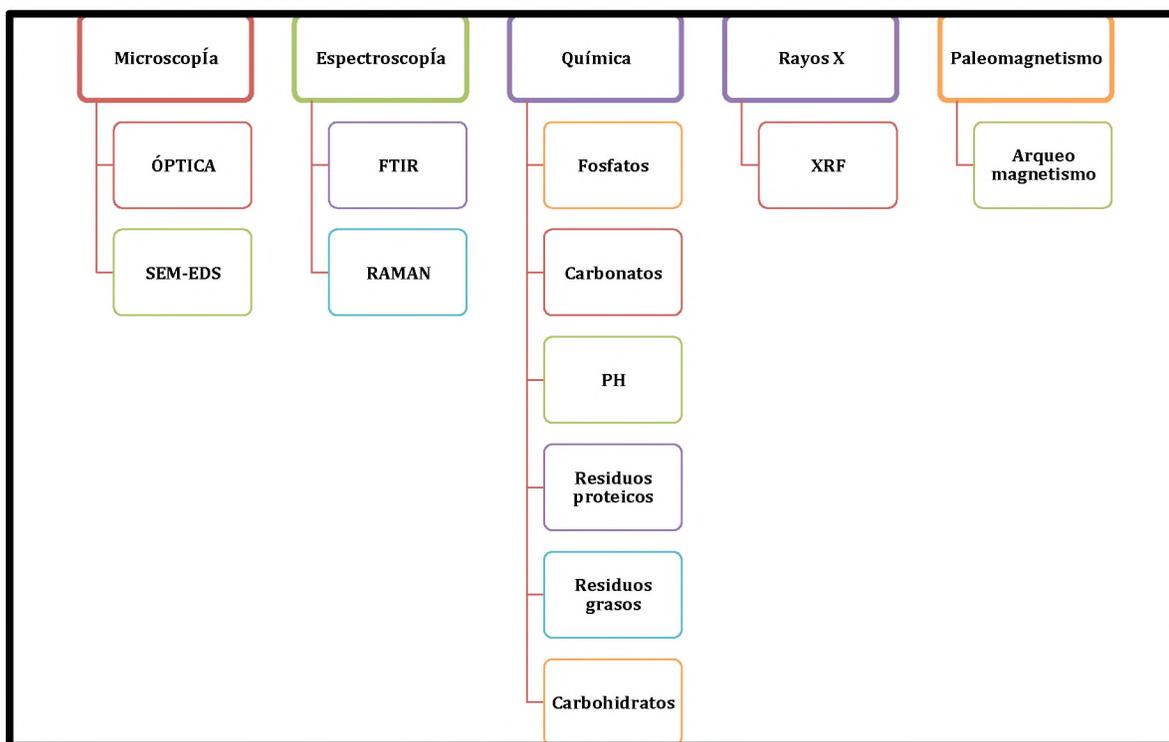


Figura 40.- Ruta de análisis seguida en ésta investigación

La metodología utilizada permitió la caracterización de los materiales recuperados en la excavación de las estructuras anulares. Esta caracterización la dividimos mediante las técnicas utilizadas: Microscópicas, Espectroscópicas, de Rayos X, Químicas y Paleomagnéticas. Las técnicas permitieron llegar a resultados sobre los componentes elementales, el contenido de restos orgánicos, la mineralogía y la presencia del uso del fuego en las estructuras analizadas. En la tabla 11 presentamos la relación de muestras analizadas con la clave asignada para un manejo adecuado en el laboratorio.

Estructura	Estructura	Pozo, Cuadro	Capa	Clave	Clave Química
H2	53A-IV	PZ. 2	III	C2III	QH1
	53A-IV	PZ. 2	IVA	C2IVA	QH2
	53A-IV	PZ. 2	V A	C2VA	QH3
	53A-IV	PZ- 2	VB	C2VB	QH4
	53A-IV	PZ 2	I	C2IP	QH5
	53A-IV	PZ 2	I	C2IAP	QH6
H5	23 A-V	260-B, 270 B, 251-C, 261-C	IV	C5IV	QH7
	23 A-V	260-270 B, 251-261-C	IV	C5IVA	QH8
	23 A-V	251-C, 261-C	V	C5V	QH9
	23 A-V	260 B, 270-B, 251-C, 261-C	V	C5VA	QH10
	23 A-V	260-B, 270 B	V	C5VB	QH11
	23 A-V	270-B	VII-VIII	C5VII-III	QH12
	23 A-V	270-B	IX	C5IX	QH13
	23 A-V	260-B	IX	C5IXA	QH14
	23 A-V	261-C	IX	C5IXB	QH15
	23 A-V	251-C	IX	C5IXC	QH16
	23 A-V	261-251-C, 260-270B	III	C5IIIP	QH17
	23-A	270-B	XI	C5XI	QH31
	23A-V	260B,270B,251C,261C	XI	C5XIA	QH32
H7	20	PZ. 1	I	C7I	QH18
	20	PZ. 1	III	C7III	QH19
	20	PZ. 1	IV	C7IV	QH20
	20	PZ. 1	V	C7V	QH21
	20	PZ. 1	VI	C7VI	QH22
	20	PZ. 1	VII	C7VIIR	QH23
	20	PZ. 1	VII	C7VIIN	QH24
	20	PZ. 1	VIII	C7VIII	QH25
	20	PZ 1	V	C7VP	QH26

Tabla 11. - Relación de muestras analizadas para esta investigación

Estructura	Estructura	Pozo, cuadro	Capa	Clave	Calve Química
H1	24	PZ. 1	II	C1IP	QH27
H3	3-A	PZ. 1	I	C3IP	QH28
H4	1	PZ. 1	II	C4II	QH29
	1	PZ. 1	II	C4IIA	QH30
H12	1	PZ. 1	II	C12II	QH33
	1	PZ. 1	III	C12IIIP	QH34
	1	PZ. 1	IV	C12IV	QH35
	1	PZ. 1	IV	C12IVA	QH36
H14	1-III	PZ. 6	V	C14V	QH37
	1-III	PZ. 6	VI	C14VIB	QH39
	1-III	PZ. 6	V	C14VP	QH38
H15	3	1-G	III	C15III	QH40
Estucos	SATUNSAT	INTERIOR	PARED	CSIP	
	CA-4	FACHADA ESTE	ESC	CCA-4ESC	
	22	PZ.3	II	C22II	
	22-V	PZ. 8	I	C22V-I	
	2	FACHADA	ESC	C2FESC	
	23-V	CHULTUN	REC	C23-VREC	
	G13M	PBN6		CPBN6	
	G13M	PI22		CPI22	
G13M	PCS42		CPCS42		
Calcitas referencia	G13M			CG13M	
	20-V	S/U	5M	C20V-5M	QH41
	CEI	S/U		CEI	
	CEV	S/U		CEV	
	CP	S/U		CP	
	CSLP	S/U		CSLP	
	CT	S/U		CT	
	CV	S/U		CV	

Tabla 11. – Continuación

5.1. Microscopía

La microscopía aplicada al estudio de las estructuras inicio con un reconocimiento de los sedimentos por medio del microscopio estereoscópico y el microscopio óptico para conocer los componentes de las muestras, así registramos la presencia de partículas de color negro y rojizo. Además de los restos de materiales organicos como son las conchas y raíces. Partiendo de esta primera aproximación se decidió

utilizar la técnica del SEM para la caracterización elemental y tratar de identificar estos rasgos identificados.

5.1.1. Microscopía Electrónica de Barrido

La Microscopía Electrónica de Barrido (SEM), es una técnica sofisticada que permite obtener al menos cuatro tipos de información: primero, una profundidad de campo que se refleja en imágenes tridimensionales; segundo, proporciona información sobre la composición de la muestra, lo cual puede ser usado para la identificación de los minerales presentes en los materiales bajo análisis; tercero, se puede realizar un análisis multi elemental de porciones microscópicas de la muestra y por último, se puede cuantificar la emisión de rayos X de los elementos principales y en ocasiones de elementos menores presentes en la muestra (Price y Burton 2011:77-78).

El SEM alcanza un aumento entre los 25 y 300,000 X, y las imágenes creadas a través de electrones de alta energía permiten examinar objetos muy pequeños no visibles mediante otra técnica. La técnica funciona de la siguiente manera, la muestra se introduce a la cámara de vacío del microscopio y el aire se elimina, después, por medio del filamento de tungsteno se dispara un haz de electrones a la muestra. El haz pasa a través de una serie de lentes magnéticos que enfocan los electrones a un punto muy pequeño de la muestra, cuando los electrones inciden en la muestra, los electrones secundarios son llevados a la superficie donde un detector cuenta y amplifica la señal de los electrones secundarios en la computadora y provee una imagen del objeto (Price y Burton 2011:77-78).

En los análisis fue utilizado un Microscopio Electrónico de Barrido, modelo JEOL-JSM-6390LV/LGS, acoplado a un Espectrómetro de Energía Dispersiva de Rayos X modelo LK-IE250 OXFORD INCA ENERGY250.

5.1. 2. Resultados

Los análisis se llevaron a cabo sobre pastillas y sobre partículas previamente seleccionadas para una contrastación de los resultados, las muestras analizadas fueron 29. La utilización de las pastillas fue con la finalidad de conocer el contenido elemental de la capa analizada y las partículas con la finalidad de identificar los rasgos específicos observados en el microscopio Óptico, en especial partículas de color negro que en un primer momento fueron consideradas restos de carbón.

Los resultados fueron el registro de los elementos predominantes en las muestras: Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Hierro (Fe), Potasio (K), Silicio (Si), Aluminio (Al), Carbón (C), y Oxígeno (O) (*Figura 41*) y la presencia de algunos restos biológicos que no pudieron ser identificados.

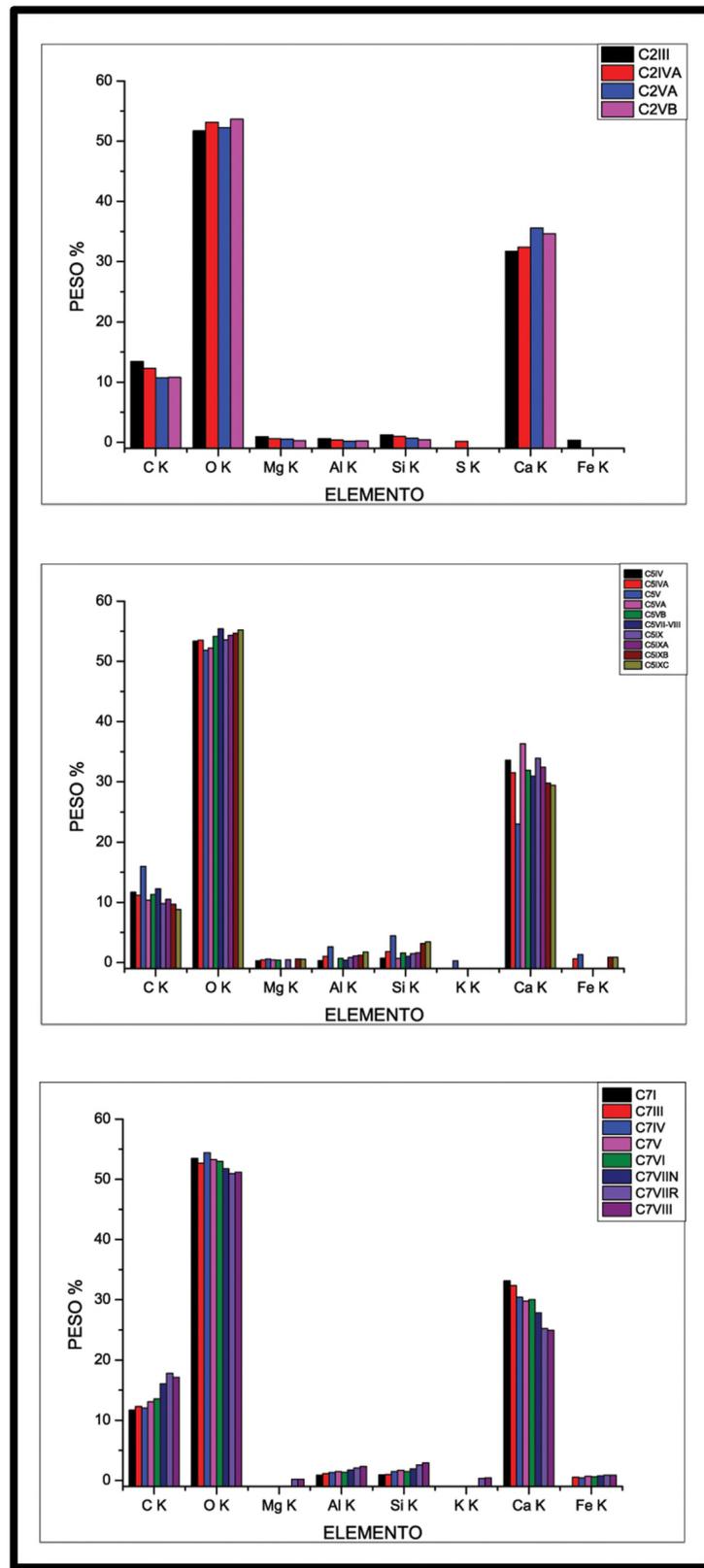


Figura 41.- Gráficas comparativas de los resultados obtenidos de los hornos 2, 5 y 7 por medio del SEM.

5.2. Espectroscopía

Las técnicas espectroscópicas llevadas a cabo en la caracterización de la muestra, fueron la Espectroscopia Raman y la Espectroscopia de Infrarrojo con Transformada de Fourier (FTIR). La espectroscopia puede ser definida como la interacción de la luz con la materia, la luz en éste contexto es el espectro amplio de energía continua llamada espectro electromagnético. El espectro electromagnético se divide en las siguientes regiones: Rayos Gamma, Rayos X, Ultravioleta, Infrarrojo, Visible, Microondas y Ondas de Radio. Un dato a considerar es que las propiedades físicas son las mismas en toda la radiación, independientemente de su región espectral (Derrick et al 1999: 4, fig. 2.1). Dentro del espectro electromagnético, tomamos a consideración la Espectroscopia de Infrarrojo (FTIR) y la Espectroscopia Raman, las cuales definimos a continuación.

5.2.1. Espectroscopia Raman

La espectrometría Raman permite analizar la muestra por medio de las vibraciones moleculares y cristalinas, siendo sensible a la composición, unión, entorno químico, fase y estructura cristalina del material del que está compuesto la muestra. Éstas características hacen que la técnica permita identificar los materiales en forma de gases, líquidos y sólidos cristalinos o amorfos (Smith y Clark 2004:1138).

La Espectroscopia Raman involucra el análisis de la luz monocromática dispersada por una molécula; después de la exposición a la radiación, una molécula generalmente vuelve a su estado inicial; la energía que se libera es idéntica a la del haz incidente. Unas pocas moléculas no vuelven a su estado inicial, sino que se mueven a un nivel de energía vibratoria diferente. El nivel de energía nuevo puede ser mayor o menor que el estado inicial. La energía dispersada por estas moléculas estará a una frecuencia ligeramente mayor o menor que el incidente haz. Éste fenómeno se llama dispersión Raman (Malainey 2011; Smith y Clark 2004)

La Espectroscopia Raman es similar a la Espectroscopia de Infrarrojo, puesto que ambas analizan los cambios en la energía de vibración en lugar de transiciones electrónicas. Una diferencia importante es que los enlaces covalentes simétricos, no absorben la energía en la región del Infrarrojo, pero que puede ser examinado con Espectroscopia Raman (Malainey 2011; Smith y Clark 2004).

La mayoría de las colisiones entre una molécula y un fotón de luz son elásticas; cuando la frecuencia del haz incidente coincide con la frecuencia de la radiación dispersada, ocurre el efecto de dispersión de Rayleigh. La dispersión Raman ocurre cuando un fotón de luz tiene una colisión no elástica con una molécula. La energía transferida en la colisión no elástica altera tanto la energía de

vibración de la molécula y la energía del fotón dispersado. El cambio en el nivel de energía vibratoria está relacionado con la estructura química de la molécula (Cariati y Bruni 2000; Malainey 2011).

5.2.2. Resultados

Las muestras fueron analizadas en el equipo Microscopio Raman Thermo Scientific modelo DXR. Al usar la técnica esperábamos poder identificar la presencia de algún compuesto orgánico - como los restos del combustible- pero esto no fue posible. Se analizaron 29 muestras provenientes de siete estructuras anulares, particularmente los sedimentos localizados en distintas capas del interior de la oquedad.

Los espectros fueron analizados con el programa Origin Pro 8 SR0 v8.0724 (B724), lo cual permitió descartar los espectros no aptos para la interpretación por la presencia de mucho ruido, lo cual redujo la muestra a 19 espectros viables de interpretación (Tabla 12). El análisis de los espectros fue enfocado a la identificación mineralógica; éste trabajo fue llevado a cabo con la ayuda de la base de datos RRUFF (<http://rruff.info/>) llegando a la identificación de 17 muestras como calcita (CaCO_3) (Espectro 1), una muestra como Dolomita [$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$] y una muestra que presenta desplazamientos de las bandas características de la dolomita y la calcita. Los datos fueron graficados de dos formas, la primera para identificar la mineralogía y la segunda siguiendo un gradiente de color, aplicado al perfil de la estructura anular de donde provienen las muestras, lo cual permite notar la distribución mineralógica en la oquedad de la estructura (Figura 42 y 43).

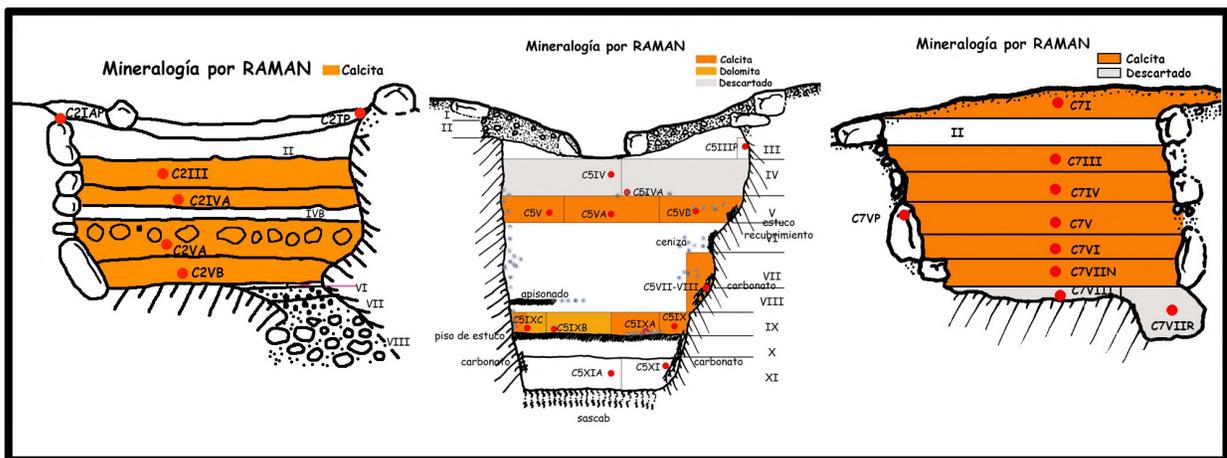


Figura 42. - Comparación de los resultados de la Espectroscopia μ -RAMAN en las estructuras H2, H5 y H7.

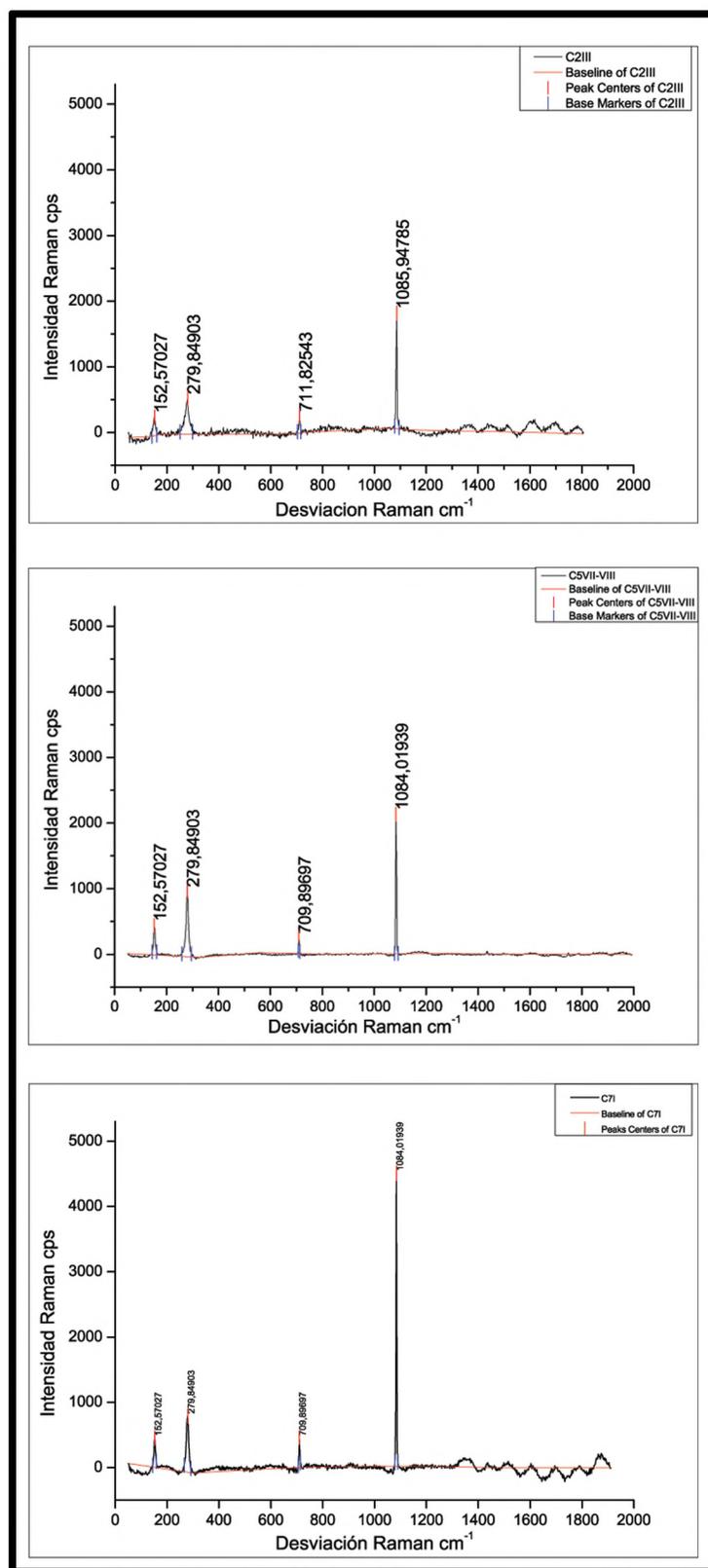


Figura 43. - Ejemplo de los Espectros obtenidos por Espectroscopia μ -RAMAN.

ESTRUCTURA	MUESTRA	RESULTADO
H2	C2III	Calcita
	C2IVA	Calcita
	C2VA	Calcita
	C2VB	Calcita
H4	C4II	Descartado
	C4IIA	Descartado
H5	C5IV	Descartado
	C5IVA	Descartado
	C5V	Calcita
	C5VA	Calcita
	C5VB	Calcita
	C5VII-VIII	Calcita
	C5IX	Calcita
	C5IXA	Calcita
	C5IXB	Dolomita
	C5IXC	Calcita-Dolomita
H7	C7I	Calcita
	C7III	Calcita
	C7IV	Calcita
	C7V	Calcita
	C7VI	Calcita
	C7VIIN	Calcita
	C7VIIR	Descartado
	C7VIII	Descartado
H12	C12IV	Calcita
H14	C14V	Descartado
	C14VIA	Descartado
	C14VIB	Descartado
H15	C15III	Descartado

Tabla 12. - Resultados de Espectroscopía Raman, caracterización mineralógica

5.2.3. Espectroscopia de Infrarrojo con Transformada de Fourier (FTIR)

Los materiales orgánicos e inorgánicos pueden ser analizados por FTIR, puesto que absorben los rayos de luz infrarroja. Dentro del Espectro Electromagnético la región infrarroja es dividida en tres: infrarrojo cercano, medio y lejano; para los análisis en materiales se prefiere la región media con una longitud de onda de 2.5 a 15 μm ($4000\text{-}400\text{ cm}^{-1}$) (Malainey 2011:457)

La técnica de Espectrometría de Infrarrojo con Transformada de Fourier, permite el análisis molecular de la muestra. El principio de análisis se basa en la teoría de la absorción, es decir, la interacción de la luz con la materia, la cual induce vibraciones dentro de una molécula; las longitudes de onda específicas del FTIR, corresponden a los modos vibracionales particulares entre los átomos de las partículas. Las vibraciones son registradas en los enlaces covalentes de los átomos, que vibran cuando son excitados con el haz del láser. Como resultado de la excitación, las posiciones de los átomos cambian pero no la molécula; la frecuencia vibracional de un grupo específico de átomos cae dentro de un rango de energía vibracional y éstos niveles de energía son cuantificados. Las vibraciones nos proporcionan información específica de la estructura molecular de la muestra bajo análisis, lo que permite su identificación. Dado que los materiales a analizar son sólidos, utilizamos la Reflectancia Total Atenuada (ATR) lo cual permitió analizar los polvos (Derrick et al 1999; Malainey 2011; Price y Burton 2011).

El fin práctico de utilizar esta técnica, fue para lograr la caracterización químico-molecular de la muestra y poder distinguir la procedencia de los sedimentos en cuanto a la caliza natural de la caliza antropogénica. Éste último punto se logró siguiendo la metodología de Chu et al. 2008, la cual es ampliada por Regev et al. 2010.

La diferenciación de las calcitas por Infrarrojo, se basa en la premisa de que el análisis químico no es suficiente, dado que el ciclo químico indica que el Hidróxido de Calcio $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$ utilizado como material constructivo regresa -al re carbonatarse- a ser Carbonato de Calcio (CaCO_3). Además, el FTIR proporciona información sobre la naturaleza de los enlaces atómicos, su organización estructural y el orden atómico extendido de una fase mineral. La metodología indica que en la calcita se distinguen tres bandas de absorción de infrarrojo, que reciben el nombre de ν_2 , ν_3 y ν_4 que corresponden a diferentes enlaces, la banda ν_3 corresponde a un enlace asimétrico y se localiza en la banda (1420 cm^{-1}), el ν_4 corresponde al plano fuera de flexión en los 874 cm^{-1} y finalmente el ν_2 hace referencia al plano de flexión en los 713 cm^{-1} de las vibraciones de los iones del carbonato (Chu et al. 2008: 906-907).

Partiendo de la identificación de las bandas, el método se basa en la relación entre la banda ν_2/ν_4 que es calculada dividiendo la intensidad de la banda ν_2 por la intensidad de la banda ν_4 . Para poder hacer el cálculo de la intensidad es necesario dibujar la línea base y realizar la integración matemática de las bandas. Dos puntos importantes que influyen en el método son la línea base escogida y dibujada, y el efecto de la molienda; como la molienda es difícil de controlar, se utiliza el ancho a media altura (FWHM) de la banda ν_3 , para evaluar el efecto de la misma. Las bandas ν_3

utilizadas por los autores para hacer ésta evaluación, se seleccionaron arbitrariamente a las que se ajustaban a un ancho a media altura de entre 110-130 cm^{-1} (Figura 44) (Chu et al. 2008:906-908).

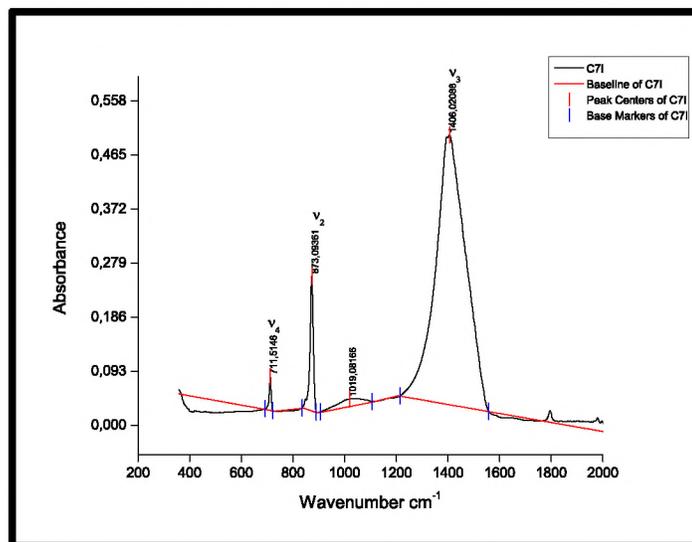


Figura 44.- Ejemplo de la aplicación de la metodología de Chu et al. 2008, en la muestra C7I

Los valores en la relación ν_2/ν_4 que distinguen los autores para hacer la separación entre calcitas geogénicas de las antropogénicas es la siguiente:

1. Valores más bajos a 3 son calcitas geogénicas
2. La relación 5.4-7.5 es para calcitas quemadas a una temperatura de 800°C o más
3. Para el caso de materiales parcialmente quemados a una temperatura de 700°C, se reportan valores entre 3.3-5.0 que comprenden materiales geogénicos y materiales completamente quemados.
4. En los estucos, la relación tiene valores entre 5.8-7.2, en el caso de muestras modernas, para muestras arqueológicas los valores registrados en los estucos se ubican arriba de 3. La variación entre 3-6 de los estucos indica en algunos casos, que los estucos contienen todavía algún componente primario de la calcita.
5. Los morteros presentan valores entre 3-4 cuando han sido expuestos a cambios medioambientales o expuestos al agua de mar. Pero cuando se encuentran protegidos, los morteros presentan valores entre 4.5 y 6.0
6. La relación de valores en las cenizas presenta un índice de 4 (Chu et al. 2008: 908-909).

La técnica fue aplicada a un total de 57 muestras, que comprenden calcitas geológicas, estucos y sedimentos. Las calcitas geológicas utilizadas corresponden al Espato de Islandia, una Espática de

Valencia, Calcitas de Puebla, Tlaxcala, San Luis Potosí, Zacatecas, Chiapas y Yucatán. Los estucos proceden de los sitios de Oxkintok, Santa Barbara-Paraiso y Chinikihá. Los sedimentos analizados y las piedras del muro corresponden a las estructuras H1, H2, H3, H4, H5, H7, H12, H14 y H15. El equipo utilizado para los análisis fue un Espectroscopio de Infrarrojo Portátil Marca Bruker Alpha Platinum ATR y los espectros fueron procesados en el programa de computo Origin Pro 8.5.

Los espectros obtenidos fueron procesados de dos maneras distintas, la primera correspondió a la identificación mineralógica mediante comparación con la base de referencia RRUFF (<http://rruff.info/>) y la segunda al seguimiento de la metodología de Chu et al 2008 anteriormente descrita.

5.2.3.1. Resultados

Los resultados mineralógicos son los siguientes: 18 muestras fueron identificadas como calcitas (CaCO_3) y en 39 muestras la identificación no fue clara, presentándose una mezcla de bandas de la calcita-dolomita [$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$]. Las calizas geológicas analizadas presentan el mismo patrón: seis son calcita y dos corresponden a una mezcla de calcita-dolomita. Los estucos por el contrario son dominados por la identificación de la calcita-dolomita y sólo una muestra presenta claramente calcita. En los sedimentos registramos 9 muestras identificadas como calcitas y 24 como una mezcla de calcita-dolomita (Tabla 13, Figura 45, 46).

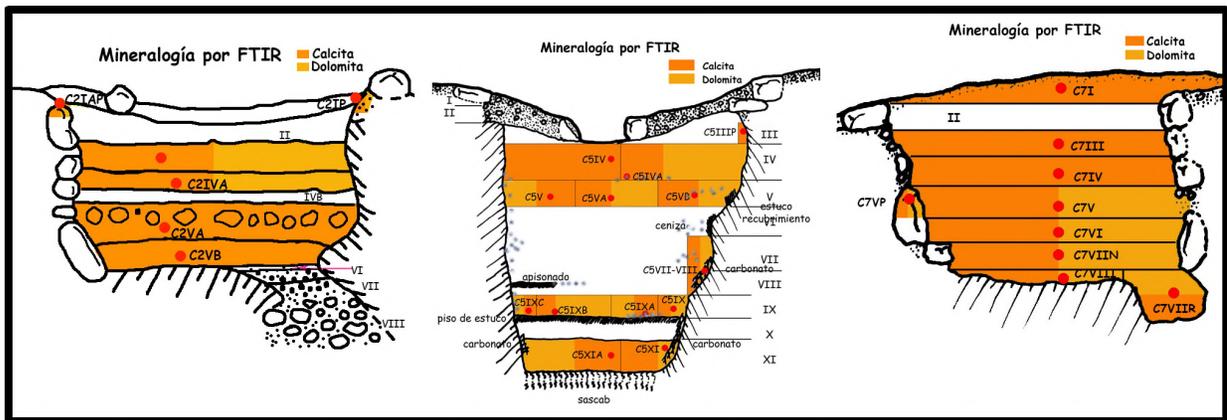


Figura 45.- Comparación de la distribución de los resultados mineralógicos de las muestras analizadas por FTIR de las estructuras H2, H5 y H7

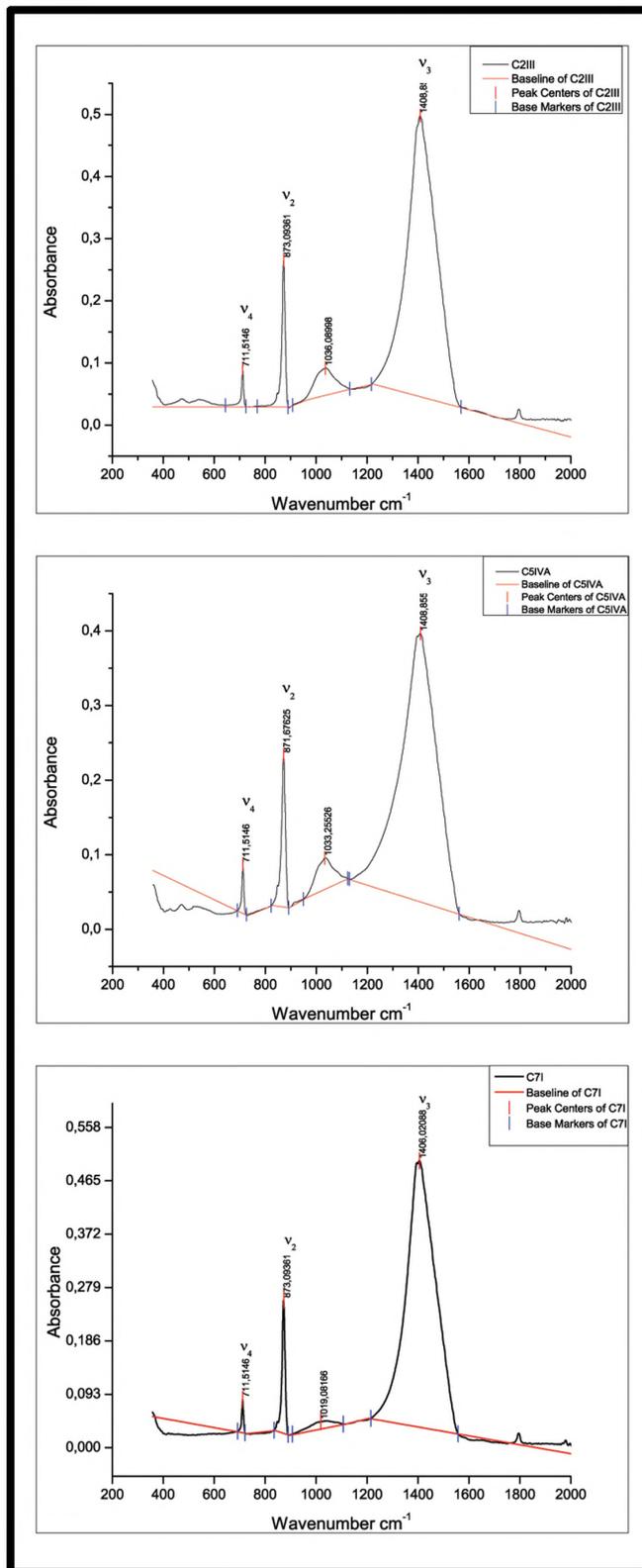


Figura 46.- Comparación de los espectros de las estructuras H2, H5 y H7 utilizados para la identificación mineralógica por medio del FTIR

ESTRUCTURA	MUESTRA	RESULTADO
H2	C2IP	Calcita-Dolomita
	C2IAP	Calcita-Dolomita
	C2III	Calcita-Dolomita
	C2IVA	Calcita-Dolomita
	C2VA	Calcita
	C2VB	Calcita
H5	C5IIP	Calcita
	C5IV	Calcita
	C5IVA	Calcita-Dolomita
	C5V	Calcita-Dolomita
	C5VA	Calcita-Dolomita
	C5VB	Calcita-Dolomita
	C5VII-III	Calcita-Dolomita
	C5VII-VIIICR	Calcita-Dolomita
	C5IX	Calcita-Dolomita
	C5IXA	Calcita-Dolomita
	C5IXB	Calcita-Dolomita
	C5IXC	Calcita-Dolomita
	C5XI	Calcita-Dolomita
	C5XIA	Calcita-Dolomita
H7	C7I	Calcita
	C7III	Calcita
	C7IV	Calcita
	C7V	Calcita-Dolomita
	C7VP	Calcita-Dolomita
	C7VI	Calcita-Dolomita
	C7VIIR	Calcita-Dolomita
	C7VIIN	Calcita-Dolomita
	C7VIII	Calcita-Dolomita

Tabla 13. - Resultado de Espectroscopia de Infrarrojo (FTIR) para caracterización mineralógica

ESTRUCTURA	MUESTRA	RESULTADO
H1	C1IP	Calcita
H3	C3IP	Calcita-Dolomita
H4	C4II	Calcita-Dolomita
	C4IIA	Calcita-Dolomita
H12	C12II	Calcita
	C12IIIP	Calcita-Dolomita
	C12IV	Calcita-Dolomita
	C12IVA	Calcita
H14	C14V	Calcita
	C14VP	Calcita
	C14VIA	DESCARTADO
	C14VIB	Calcita-Dolomita
H15	C15III	Calcita-Dolomita
ESTUCOS	CCA-4ESC	Calcita-Dolomita
	C22II	Calcita-Dolomita
	C22V-I	Calcita-Dolomita
	C2FESC	Calcita
	C23-VREC	Calcita-Dolomita
	CPBN6	Calcita-Dolomita
	CPCS42	Calcita-Dolomita
	CPI22	Calcita-Dolomita
REFERENCIA	C20V-5M	Calcita-Dolomita
	CG13M	Calcita-Dolomita
	CEI	Calcita
	CEV	Calcita
	CP	Calcita
	CSLP	Calcita
	CT	Calcita
	CV	Calcita

Tabla 13.- Continuación

En cuanto a la aplicación de la metodología de Chu et al 2008 (*Tabla 14*), la integración matemática de las bandas y línea base, permitió diferenciar entre los materiales con proveniencia geológica de los materiales expuestos al fuego (*Figura 47, 48; Gráfica 1*).

Valores	Material	Temperatura	Observación
0-3.0	calcitas geogénicas	Ambiente	
4	Ceniza	+700°	
3.5-5.0	Calcitas parcialmente calcinadas	+700°	
5.4-7.5	calcitas calcinadas	+800°	
3.0-4.0	Morteros		Expuestos al medio ambiente
4.5-6	Morteros		Protegidos o enterrados
3.0-6.0	Estucos arqueológicos		
5.8-7.2	Estucos modernos		

Tabla 14. - Valores de diferenciación entre calcitas geogénicas de las antropogénicas según Chu et al. 2008

Los resultados generales para todas las muestras son los siguientes: los valores de los sedimentos se encuentran en los rangos de 2.04 a 5.49, presentando igualmente materiales parcialmente quemados y materiales geológicos. Las piedras que formaron parte del muro de la estructura y fueron analizadas, presentan valores entre el rango de 2.7 hasta 3.56 lo cual nos acerca más a los materiales geológicos, pero que se ven afectados por el fuego (*Gráfica 1; Figura 47*).

Los estucos por otra parte presentan valores entre los 2.48 a 6.30, entrando en el rango de los materiales completamente quemados y los materiales geológicos. Por último las calcitas de referencia presentan valores en los rangos de 1.9 a 2.9, lo cual las ubica completamente como materiales geológicos (*Gráfica 1; Figura 47*).

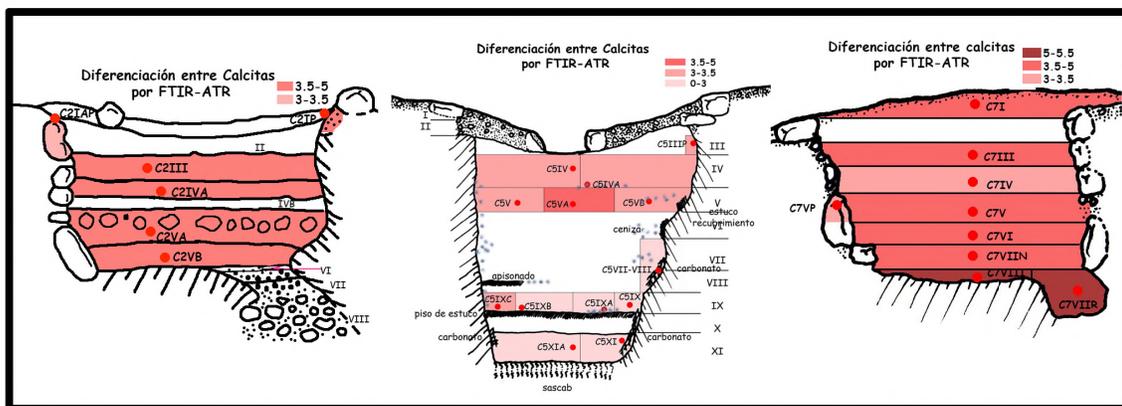


Figura 47.- Resultados de la diferenciación entre calcita natural y antropogénica de acuerdo a la metodología de Chu et al. 2008.

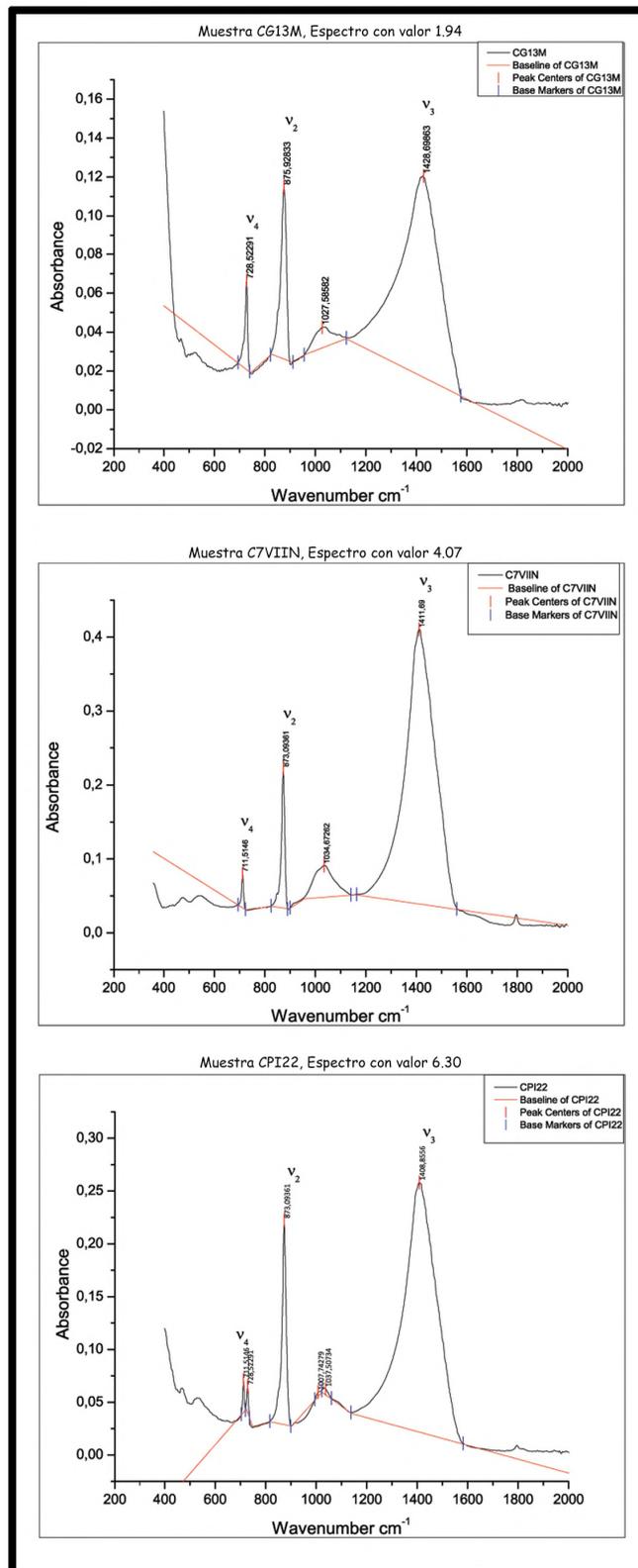
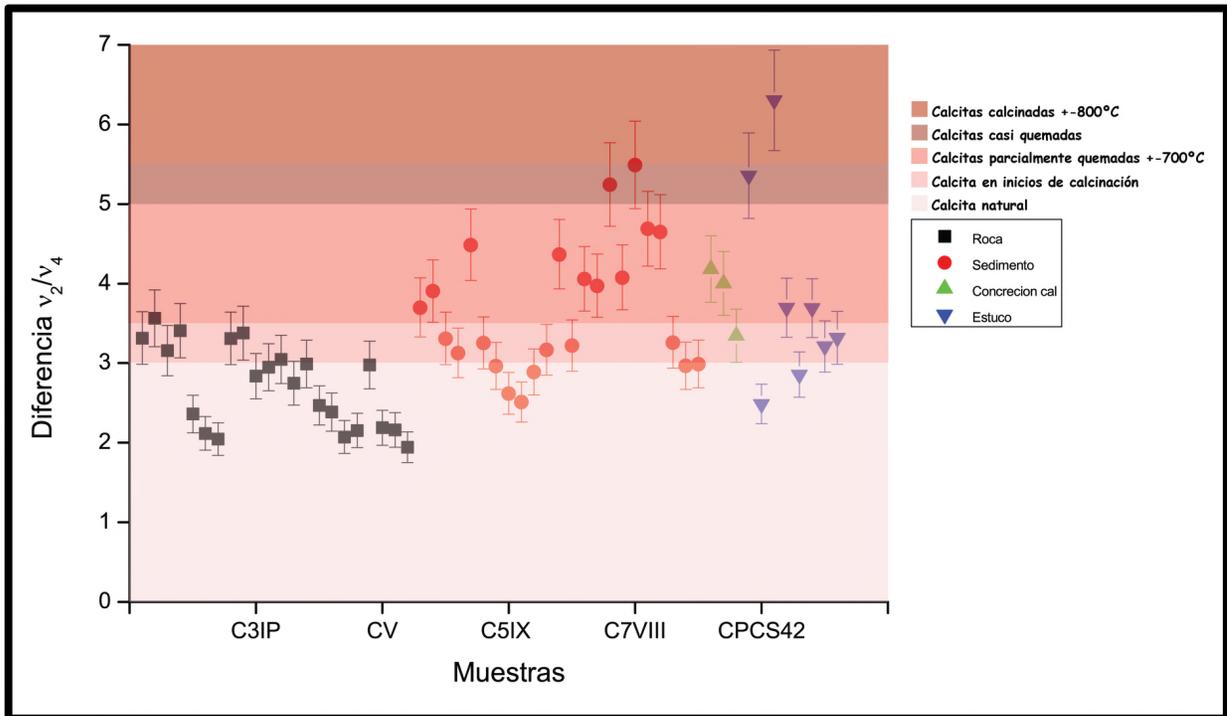


Figura 48. - Espectros del FTIR mostrando la aplicación de la metodología de Chu et al. 2008.



Gráfica 1.- Resultados de la aplicación de la metodología de Chu et al. 2008, se presentan por grupo de material, el recuadro rosa indica los valores de distinción de la calcita antropogénicas, (error del 0.1).

Por la variedad de las medidas observadas, decidimos presentar los resultados por la relación estructura/capa analizada, para poder diferenciar las zonas de concentración de los valores de materiales quemados y materiales no quemados, siendo los resultados los siguientes:

En la estructura H1 se analizó una sola muestra correspondiente a la capa II y al muro de la estructura, esto nos proporcionó un valor de 3.37 como un material parcialmente quemado.

En la estructura H2 se analizaron seis muestras de cinco capas distintas, la capa I analizada corresponde a la roca madre y a una de las piedras del muro que se encuentran mas cerca de la superficie; éstas dos muestras presentan valores 3.31 y 3.56 lo cual nos indica un material parcialmente quemado pero mas cercano a los materiales geológicos.

La siguiente capa analizada, III, se ubica en la parte media de profundidad del horno, donde el cambio de coloración de los sedimentos es evidente, su valor fue de 3.87 siendo un material parcialmente quemado mas cercano a los valores de las cenizas.

La capa IVA se ubica a 0.77 m. de la superficie y presenta un valor de 3.70 que la ubica en materiales parcialmente quemados.

La capa VA estaba formada por polvo de cal y una concreción registro un valor de 3.90 y la capa VB un valor de 4.18 lo cual nos lleva a muestras quemadas parcialmente. De la estructura H3 sólo

se analizó la capa I correspondiente a un material geológico, lo cual concuerda con la ubicación de la toma de la muestra (*Figura 47*).

En la estructura H3 únicamente analizamos una muestra proveniente de la capa III del muro de la estructura la cual arrojó un valor de 2.83, situando el material dentro de los valores geogénicos.

Para la estructura H4 se analizó una capa con dos muestras, una localizada en la cavidad lateral entre el muro y el piso y la segunda, de la tierra recuperada sobre el piso de la estructura; ambas muestras presentan valores similares de 4.65 y 4.69, proporcionando información sobre materiales parcialmente quemados a $+700^{\circ}$ C.

La estructura H5 es la que presenta mayor cantidad de capas y muestras analizadas, se trabajaron 14 muestras correspondientes a cinco capas distintas. Los resultados fueron los siguientes: La capa III corresponde al muro de la estructura y se encontró mas cercana a la superficie, presenta un valor de 3.15. La capa IV fue analizada en dos muestras distintas y presentan un valor de 3.12 y 3.31. La capa V se analizó en tres muestras y tiene los valores de 4.48, 3.40 y 3.25. La capa VII-VIII se analizó en dos muestras, la primera correspondiente a un cristal y la segunda a los sedimentos. Los valores son los siguientes, 2.36 para el cristal y 2.96 en el sedimento. La capa IX fue analizada en cuatro muestras distribuidas horizontalmente y sus valores son los siguientes 3.16, 2.88, 2.61 y 2.51 por último se analizó la capa XI con dos muestras y los valores correspondieron a 2.04 y 2.11 (*Figura 47*).

En la estructura H7 analizamos siete capas y nueve muestras; la capa I se trató de una concreción de cal y tuvo un valor de 4, la capa III tuvo un valor de 4.36, la capa IV presentó un valor de 3.22, la capa V tuvo dos muestras, una correspondiente al muro de la estructura y otra al polvo de cal; el muro tuvo un valor de 3.31 y la cal de 4.06. La capa VI presenta un valor de 3.97 y la capa VII con dos muestras tuvo los valores de 5.24 y 4.07. Por último la capa VIII presentó un valor de 5.49, lo cual ubica a las capas cercanas al piso de la estructura, como los materiales quemados y una fluctuación entre las otras capas a materiales parcialmente quemados (*Figura 47*).

Para la estructura H12 se analizaron cuatro muestras de tres capas distintas y se obtuvieron los siguientes valores: la capa II tuvo un valor de 3.26, la capa III correspondiente al muro tuvo un valor de 2.94, la capa IV tuvo dos valores de 2.96 y 3.04, valores en los cuales apenas inicia la calcinación y se encuentran mas cercanos a los materiales geogénicos.

En la estructura H14 se analizaron tres muestras de dos capas distintas y los resultados son los siguientes: la capa V presenta un valor de 3.34 en el sedimento y de 2.74 en la piedra del muro, la capa VI tuvo un valor de 2.98. Por último se analizó una sola muestras de la estructura H15 la cual presenta un valor de 2.99 y corresponde a la capa III. Los valores de las estructuras H14 y H15 son valores

geogénicos a excepción de la capa V de la estructura H14 donde se marca un valor en inicios del proceso de calcinación (*Gráfica 1*).

5.3. Rayos X

5.3.1. Fluorescencia de Rayos X (XRF)

La Fluorescencia de Rayos X permite recuperar información sobre la composición elemental de la muestra. Es una técnica analítica bien establecida que utiliza rayos X para excitar los átomos de la muestra. Éstos rayos X primarios, causan la liberación de rayos secundarios o la fluorescencia de rayos X que se analizan. La fuente de los rayos X primarios puede ser un tubo de rayos X, isótopos radiactivos, o un sincrotrón. Las longitudes de onda de los rayos X secundarios, pueden ser analizadas utilizando un espectrómetro de cristal (reflector de Bragg) o un detector de silicio-litio desplazado [Si (Li)]. La reflexión total de XRF difiere de otros tipos de fluorescencia de rayos X con respecto al ángulo en el que los rayos X golpean la muestra (Malainey 2011: 481). Ésta técnica es ideal para los materiales inorgánicos: pigmentos, tintas, metales y minerales. Proporciona concentraciones de elementos mayores, menores y trazas. (Ruvalcaba Sil 2011;

http://www.fisica.unam.mx/andrea/tecnicas_equipos/xrf.html consultado junio 25 2014)

Los análisis fueron realizados con el equipo de Fluorescencia de Rayos X portátil XRF (sistema SANDRA). El sistema de Fluorescencia de Rayos X (XRF) para análisis in situ SANDRA (Sistema de Análisis No Destructivo por RAYOS X), desarrollado en el IFUNAM, consta de tubos de Mo, Rh y W de 75 W que se pueden combinar con detectores Si- PIN y Cd-Te para analizar regiones de 0.5 a 4 mm de diámetro. (Ruvalcaba Sil 2011;

http://www.fisica.unam.mx/andrea/tecnicas_equipos/xrf.html consultado junio 25 2014).

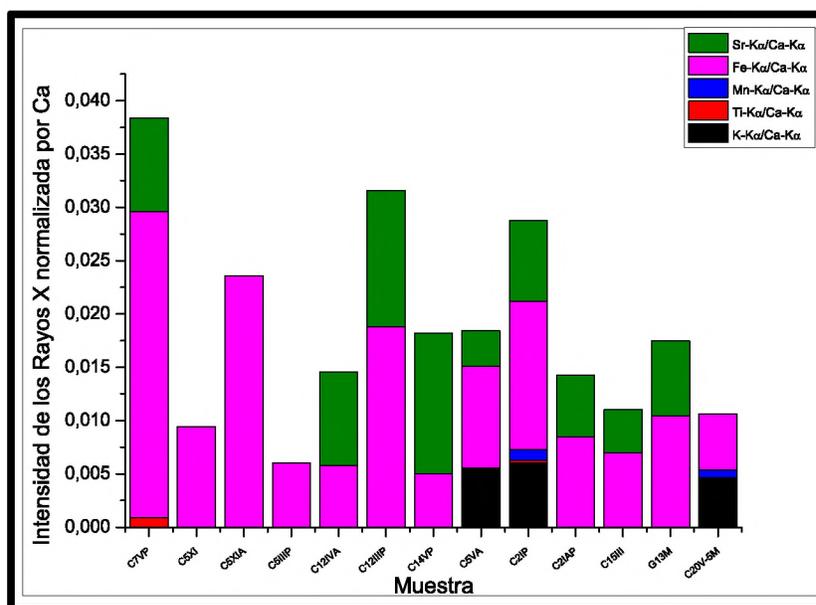
5.3.2. Resultados

Las muestras analizadas en el sistema SANDRA fueron 48, incluyendo los sedimentos, rocas y estucos específicamente las muestras provienen de las estructuras H2, H4, H5, H7, H12, H14 y H15, con estucos del Occidente y Chinikihá. Las muestras analizadas presentan los elementos Potasio (K), Titanio (Ti), Manganeseo (Mn), Hierro (Fe), Estroncio (Sr) y Calcio (Ca); los resultados fueron graficados tomando el Calcio (Ca) como el elemento normalizador; dentro de los resultados la diferencia elemental entre los muros, sedimentos y estucos no es clara puesto que todos los elementos están presentes en menor o mayor intensidad, un dato interesante fue la ausencia de Estroncio en

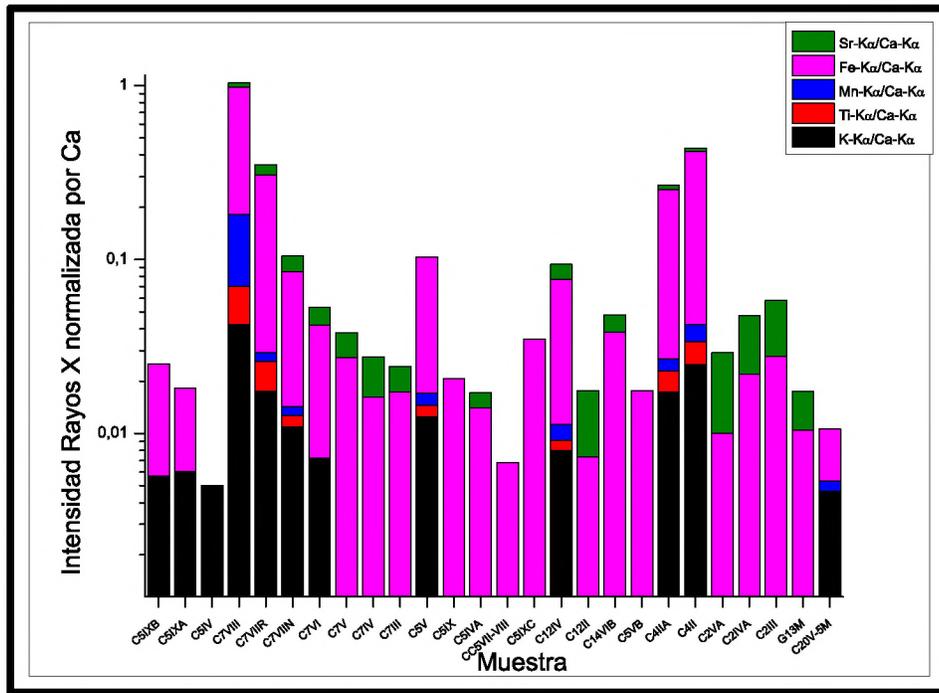
algunas de las muestras, esto llama la atención dada la circunstancia donde el Estroncio (Sr) y el Calcio (Ca) son utilizados como marcadores en algunos estudios sobre proveniencia de materiales. Resulta interesante que la muestra proveniente de una cantera moderna, cercana a la estructura H5, presente ésta ausencia de Estroncio (Sr) (*Gráficas 2, 3, 4 y 5*).

Las rocas analizadas, provenientes de los muros de las estructuras contienen una abundancia de Hierro (Fe), y en algunas hay presencia de Titanio (Ti), Manganeso (Mn), Potasio (K) y Estroncio (Sr) al ser normalizadas por Calcio (Ca), llama la atención la presencia de muestras que únicamente contienen Hierro (Fe), elemento ligado a la presencia de restos arcillosos (*Gráfica 2*). Los sedimentos analizados del interior de las oquedades de las estructuras anulares elementalmente se caracterizaron por la presencia de Estroncio (Sr), Hierro (Fe), Titanio (Ti), Manganeso (Mn), Potasio (K), como en el caso anterior se ubica una ausencia de Estroncio (Sr) en algunas muestras, así como la abundancia de Hierro (Fe) en otras (*Gráfica 3*).

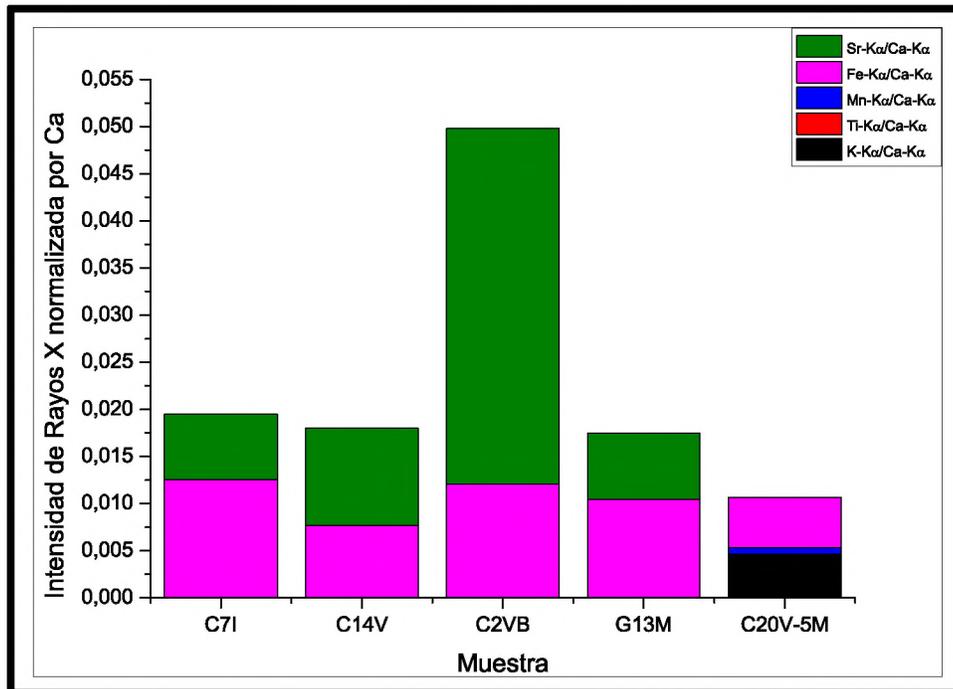
Las concreciones identificadas en las estructuras anulares fueron analizadas y sus resultados son los siguientes únicamente se identificó Estroncio (Sr) y Hierro (Fe) en las muestras. Para los estucos hemos registrado la presencia de los elementos antes mencionados, llama la atención la muestra C23V-REC por su carencia de Estroncio (Sr) puesto que este estuco proviene del recubrimiento del chultún localizado en la estructura 23-V. Otra muestra interesante es el caso de la C2FESC, la cual proviene del sitio de Santa Bárbara la cual solo presenta Hierro (Fe) y Estroncio (Sr) al igual que la muestra PBN6 (*Gráfica 4 y 5*).



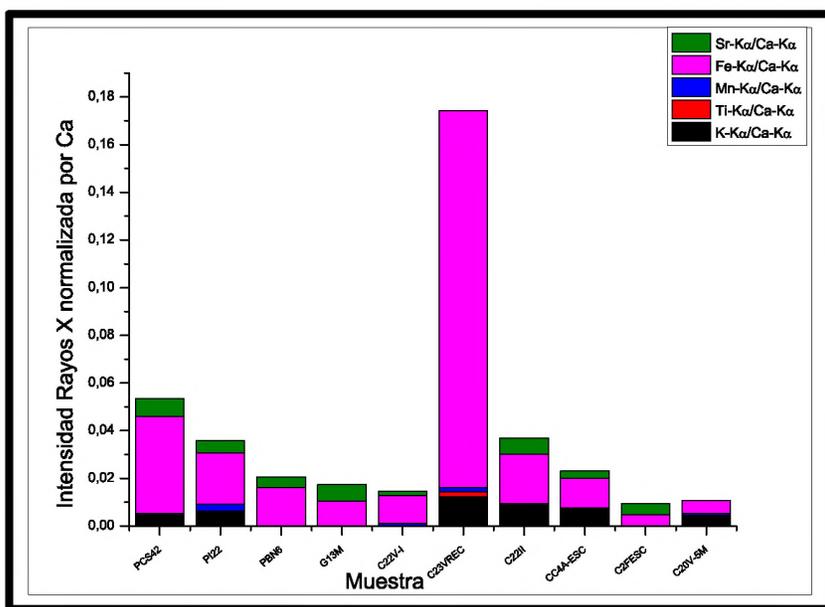
Gráfica 2.- Resultados del XRF de las rocas analizadas incluyendo las muestras G13M y C20V-5M como referencia



Gráfica 3. – Resultados de XRF de los sedimentos analizados se incluyen las muestras G13M y C20V-5M como referencia



Gráfica 4.- Resultados del XRF para las concreciones analizadas se incluyen las muestras G13M y C20V-5M como Referencia



Gráfica 5.- Resultado del XRF de los estucos analizados se incluyen las muestras G13M y C20V-5M como referencia.

Los resultados del apartado superior, son complementamos mediante la comparación de las estructuras anulares, la H2, H5 y H7 realizada a través de la distribución elemental por capa analizada, lo cual permite observar que las estructuras H2 y H7 presentan en las capas superiores una caracterización elemental muy cercana, la diferencia es notada en la estructura H7 en las capas inferiores que presenta una variación elemental. La estructura H5 se distingue de ambas por la presencia de las capas superiores con variación elemental y las capas inferiores con menor variación, aquí llama la atención que solo se presente el Estroncio (Sr) en las capas superiores de los sedimentos y que las piedras del muro y las capas inferiores carezcan de este elemento (Figura 49, 50).

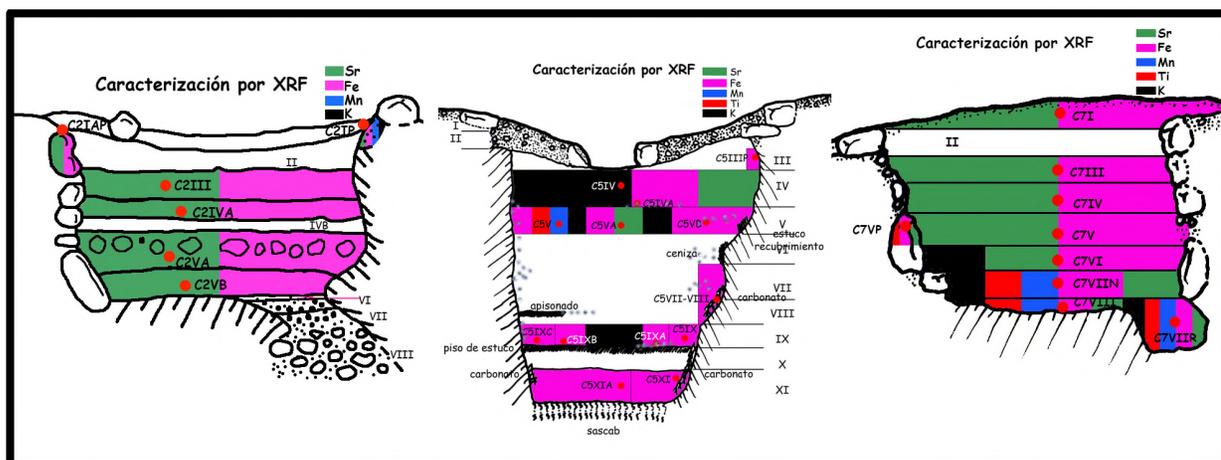


Figura 49.- Comparación de las estructuras H2, H5 y H7 de los resultados de XRF por capa analizada.

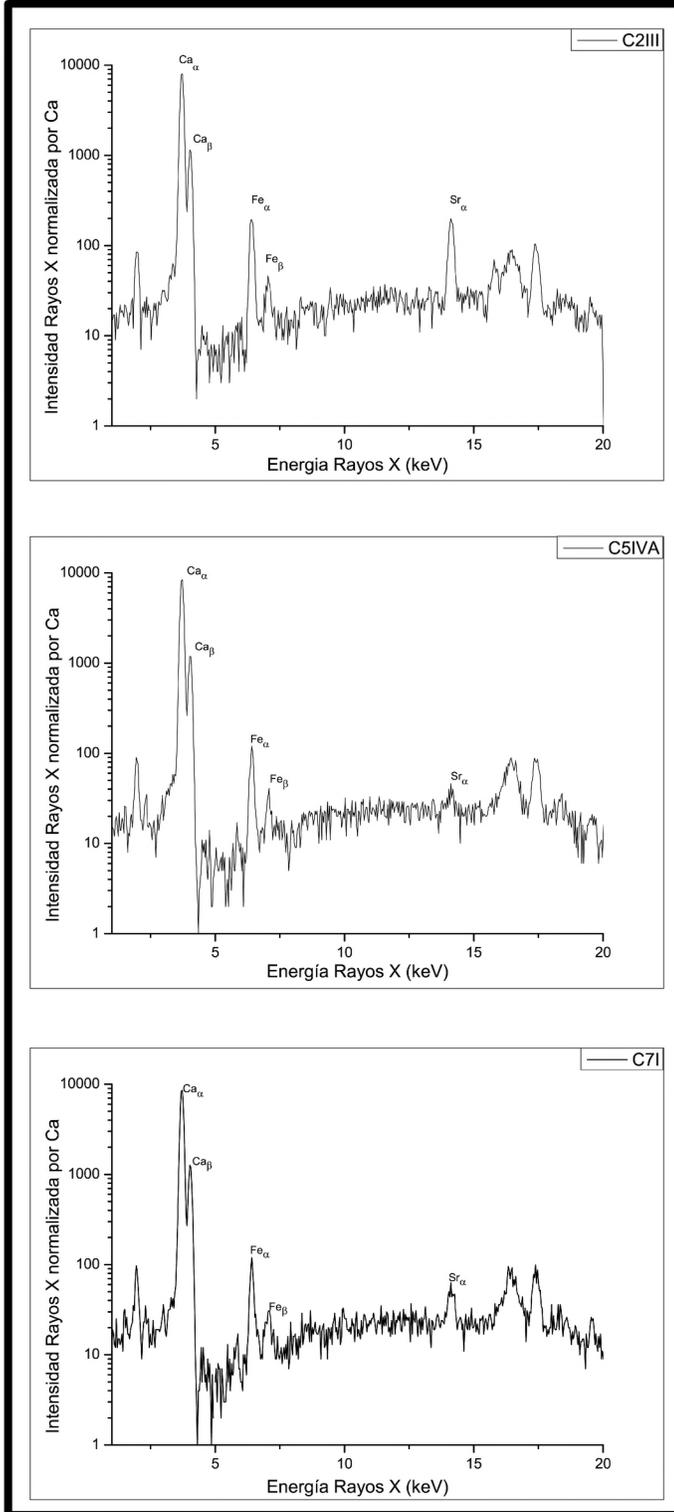


Figura 50.- Comparación de los espectros de la Fluorescencia de Rayos X (XRF) de las estructuras H2, H5 y H7

5. 4. Química

La vertiente analítica de la Química aplicada a ésta investigación, fue mediante las pruebas semi cuantitativas, desarrolladas por el Laboratorio de Prospección Arqueológica del Instituto de Investigaciones Antropológicas. Se aplicaron las siguientes pruebas: Fosfatos (presencia de desechos orgánicos), Potencial de Hidrogeno (PH) (presencia de cenizas), Residuos Proteicos (presencia de carne y sangre), Residuos grasos (presencia de aceite y grasas), Carbonatos (presencia de materiales constructivos o nixtamal) y Carbohidratos (presencia de harinas y tubérculos) (Barba et al 1991; Barba 2007; Obregón 2012, Obregón et al. 2011).

El análisis se realizó sobre 41 muestras que incluyen sedimentos y rocas provenientes del interior de las estructuras anulares; como método de control, se ingresó una caliza de referencia de la zona, para medir los valores de la muestra con respecto al ambiente natural.

Las muestras analizadas presentan valores casi idénticos en las pruebas, la evidencia de residuos grasos es casi nula, la presencia de residuos proteicos fue mínima pero se observa abundante presencia de carbohidratos. La prueba de reacción al ácido clorhídrico de los carbonatos presenta valores elevados dado el ambiente karst de la región. La prueba de fosfatos presenta valores de enriquecimiento en casi todas las muestras (*Tabla 15*).

Los valores registrados para la muestra control denominada C20V-5M son los siguientes: Fosfatos 0, Carbonatos 4, PH 9.07, Residuos Proteicos 7, Residuos Grasos 0 y Carbohidratos 0. Éstos valores indican que nuestra muestra presenta valores neutros al enriquecimiento orgánico, valor del pH nos indica la estabilidad de la calcita donde se ha registrado que inicia en un pH arriba del valor de 8 (Weiner 2010:172). Asimismo, el hecho que el valor de fosfato sea 0 en la muestra de control, indica que el enriquecimiento de las muestras es orgánico y no corresponde a algún mineral.

Las estructuras con los valores más elevados de presencia orgánica, se observan en el H7, H14 y H4, caso interesante porque los sedimentos eran de un color mas rojizo a diferencia de las otras estructuras. De éstos, el H7 se muestra con valores de enriquecimiento orgánico muy elevados, dada la cantidad de muestras analizadas y los valores que arrojan las pruebas. Lo interesante, es que éstos valores de enriquecimiento se presentan cuando las estructuras tienen un contexto de abandono o reutilización de la estructura (*Figura 53*).

La presencia de valores elevados de carbohidratos, sugiere la descomposición y afectación por las raíces de los arboles que crecieron en la zona, la excavación y la observación macroscópica confirma que los estratos contaban raíces.

Muestras	Clave	Fosfatos	Carbonatos	Residuos Proteicos	PH	Residuos Grasos	Carbohidratos
C2III	QH1	3.5	4	9	8.55	0	1
C2IVA	QH2	3	3	8	8.6	0	2.5
C2VA	QH3	3	4	9	8.62	0	1.5
C2VB	QH4	3.5	3.5	8	8.68	0	2
C2IP	QH5	1	4.5	8	8.5	0	0
C2IAP	QH6	3	4.5	8	8.62	0	1
C5IV	QH7	2	4	8	8.6	0	0
C5IVA	QH8	0.5	5	8	8.63	0	1
C5V	QH9	3.5	5	9	8.65	0	2
C5VA	QH10	3	4	8	8.58	0	1
C5VB	QH11	3	3.5	8	8.57	0	2
C5VII-III	QH12	1	4	8	8.66	0	1
C5IX	QH13	2	4.5	8	8.64	0	1.5
C5IXA	QH14	2	5	8	8.65	0	1
C5IXB	QH15	1	4.5	8	8.71	0	1
C5IXC	QH16	2	4	8	8.74	0	1.5
C5IIP	QH17	1	5	8	8.56	0	2
C5XI	QH31	0	4	9	8.92	0	0
C5XIA	QH32	0	4	8	8.88	0	0
C7I	QH18	5	4	8	8.64	0.5	2.5
C7III	QH19	3.5	4.5	9	8.54	1	2.5
C7IV	QH20	3.5	4	8	8.55	1	3
C7V	QH21	3.5	4	8	7.92	0	2.5
C7VI	QH22	4	4	8	8.51	0	3
C7VIIR	QH23	3.5	3.5	8	8.4	0	2.5
C7VIIN	QH24	3.5	3.5	9	8.37	0	4
C7VIII	QH25	4	3	8	8.39	0	2.5
C7VP	QH26	3.5	3.5	8	8.58	0	1.5
C1IIP	QH27	0.5	5	8	7.99	1.5	4
C3IP	QH28	0	5	8	8.74	0.5	2
C4II	QH29	3.5	5	8.5	8.55	0.5	4
C4IIA	QH30	3.5	5	8.5	8.49	0	3.5
C12II	QH33	2	4.5	8	8.95	0.5	3
C12IIP	QH34	2	4.5	8	8.89	0	3
C12IV	QH35	1	5	8	8.82	0.5	3.5
C12VIA	QH36	0	4.5	8	9.14	0.5	1
C14V	QH37	3.5	4.5	8	9.26	0.5	1.5
C14VP	QH38	0.5	4.5	7.5	9.06	0	1
C14VIB	QH39	3.5	5	8.5	8.89	0	3.5
C15III	QH40	1	4	8	9	0	1.5
C20V-5M	QH41	0	4	7	9.07	0	0

Tabla 15. - Resultados de las pruebas Químicas

La selección de los casos mas representativos por la cantidad de muestras analizadas corresponde a las estructuras anulares H2, H5 y H7 donde los resultados se presentan en los dibujos de los perfiles para divisar la distribución de los valores verticalmente y tratar de identificar si la fuente de enriquecimiento proviene del proceso productivo o de un proceso ajeno a la producción de cal.

La estructura H2 muestra un enriquecimiento en residuos proteicos de valor 1, en las capas III y VA que corresponden a zonas donde en la excavación se identifico la presencia de tierra gris suponemos que ceniza. Los valores de carbohidratos presenta en la capa IVA el mas alto, en esta capa la excavación registra presencia de tierra gris, el segundo valor de 2 se localizo en las concreciones de material blanco de la capa VB. Los fosfatos se presentan en la capa III y VB el valor mas alto de 3.5 las capas en distancia son la mas superior y la localizada sobre la roca madre. Las capas medias presentan un valor de 3. En cuanto al pH siguiendo a Weiner (2010:172) tenemos valores arriba de 8 lo cual nos marca la presencia de calizas estables. Los Carbonatos aunque presentan variación en el nivel de las concreciones de material blanco y tierra gris con los valores mas bajos de 3, las restantes capas corresponden a valores elevados del medio ambiente donde se encuentran las estructuras (Figura 51).

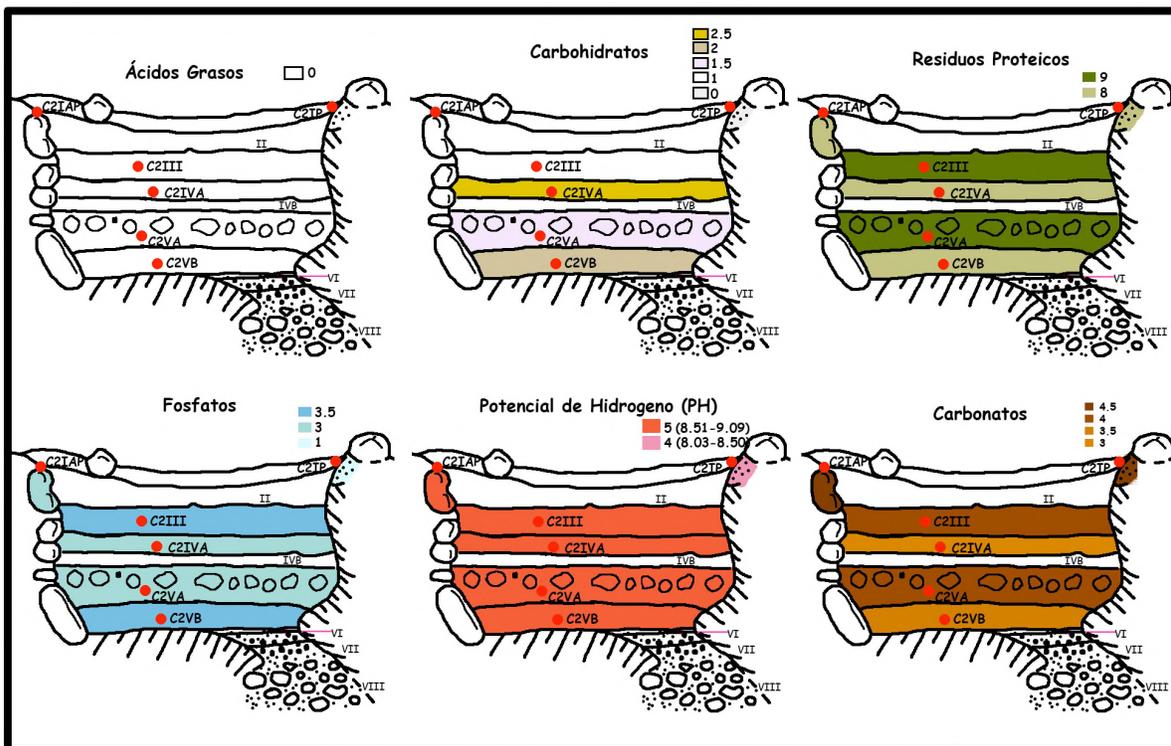


Figura 51. - Resultados de las pruebas Químicas de la Estructura H2

Los resultados de la estructura H5 son los siguientes, los niveles de ácidos grasos son nulos con valor de 0, los carbohidratos presentan valores medios de 2 en una escala de 0-4, valor localizado en la capa V y la IIIP, la primera la excavación registra presencia de tierra gris oscura (ceniza?) y la segunda corresponde a la pared de la estructura. Los residuos proteicos presentan valor de 1 en dos capas, parte de la V y en la XI, una en el nivel medio y otra en el nivel mas profundo de la estructura. Los fosfatos registran el valor mas alto como 3.5 y el valor menor en 0, el dato que llama la atención es que la capa V es la única con el valor de 3.5 lo cual repite en residuos proteicos, carbohidratos y carbonatos, a nivel de pH los valores corresponden a mayor a 8 teniendo una estabilidad en la calcita (Weiner 2010:172) (Figura 52).

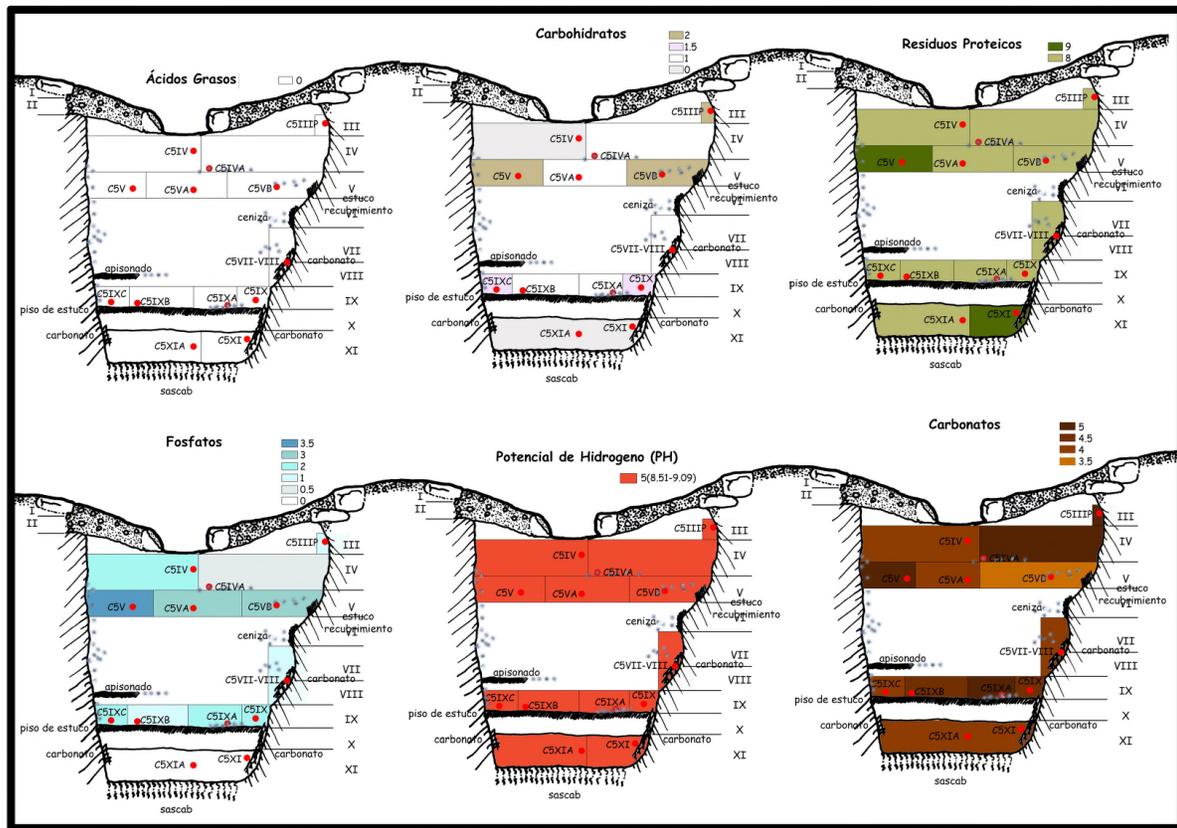


Figura 52. - Resultados de las pruebas Químicas de la Estructura H5.

La estructura H7 tiene los enriquecimientos orgánicos mas abundantes, correspondiendo a lo registrado en la excavación, como un caso de reutilización o remoción de los sedimentos al interior de la estructura, otra característica interesante es la presencia de los valores similares en residuos proteicos, carbohidratos, fosfatos, pH y carbonatos en las capas inferiores (VIIN, VIIR y VIII) los

cuales corresponden a sedimentos rojizos. Los ácidos grasos a diferencia presentan su valor mas elevado en las capas III y IV en la zona media de la excavación, aunque también se relaciona a carbohidratos y residuos proteicos. En cuanto al pH tenemos valores estables mayor a 8 pero también un valor menor a 8 inestable que ha sido ligado por el FTIR a un valor de ceniza Weiner (2010:172) menciona que el valor inestable de 8 es relacionado a un proceso diagenético de las cenizas relacionados con la presencia de calcita. Además, llama la atención que la excavación marca esta capa como una mezcla de tierra gris (ceniza) con material blanco (cal) (Figura 53).

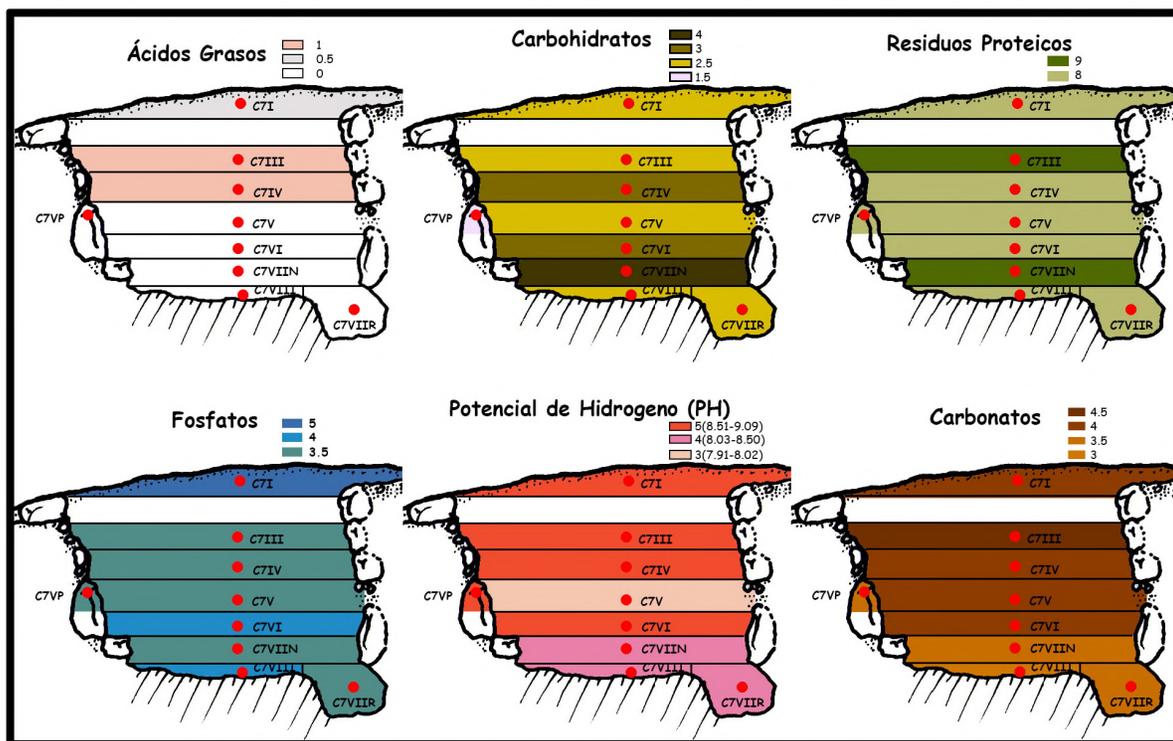


Figura 53. - Resultados de las pruebas Químicas de la Estructura H7

5.5. Arqueomagnetismo

La técnica del Arqueomagnetismo es el estudio de la magnetización retenida en ciertos materiales culturales, con el fin de obtener una perspectiva de las actividades humanas del pasado. El método se basa en el estudio del campo magnético terrestre o geomagnético (CTM). Los resultados de las investigaciones en materiales del pasado, para los geofísicos, contribuye a la reconstrucción y al estudio de las variaciones globales y locales del CMT, mientras que para la historia humana constituye fundamentalmente una herramienta de datación. Sin embargo, el arqueomagnetismo va más allá de las

aplicaciones cronológicas, pudiendo aportar información para los estudios paleoambientales y de procedencia de objetos o materiales (Gogichaishvili 2014:1).

Es de importancia para la arqueología debido a que la dirección y la intensidad del campo geomagnético cambia con el tiempo y las actividades humanas pueden afectar la magnetización. Los materiales ricos en partículas de hierro en la roca, arcilla, o tierra que se calienta a alta temperatura en un sitio arqueológico, adquirirían una magnetización que refleja el campo geomagnético de la época de la ocupación. Aunque se usa principalmente como una técnica de datación, se puede examinar los patrones de calentamiento y enfriamiento de artefactos entre otras características (Malainey 2011: 160; Sternberg 1997: 323, 2001: 74).

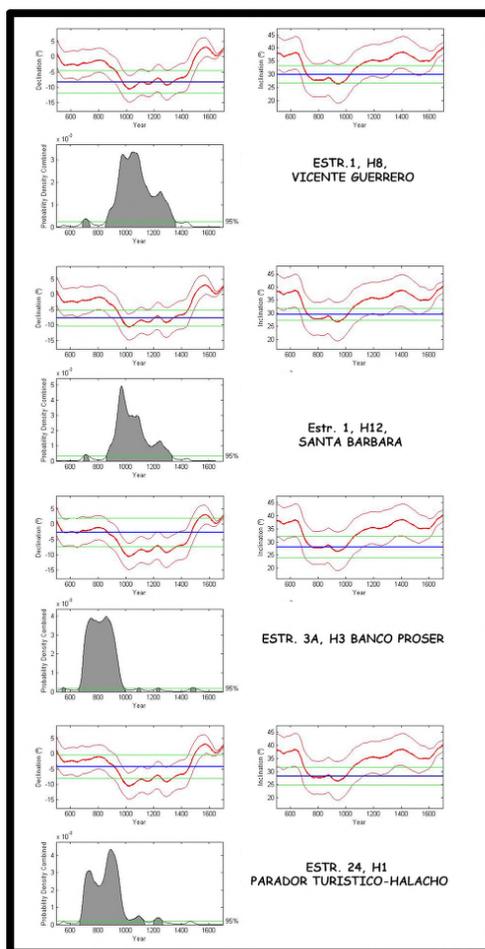
El método depende de dos fenómenos físicos: En primer lugar, el campo magnético de la tierra (CMT) cambia con el tiempo tanto en *intensidad* como en *dirección* (inclinación y declinación). La declinación es el ángulo entre el norte magnético y el geográfico; la inclinación es el vector de campo geomagnético y plano horizontal (Aitken 1990); la intensidad del campo determina, por ejemplo, la fuerza de atracción de una aguja de brújula al polo magnético, del mismo modo la fuerza de la magnetización adquirida por los minerales magnéticos. En segundo lugar, ciertos eventos específicos pueden causar que los minerales magnéticos presentes en objetos arqueológicos queden permanentemente magnetizados, registrando las propiedades del CMT correspondientes a ese momento (Gogichaishvili 2014; Linford 2006).

En ese sentido, a diferencia de otras técnicas como el radiocarbono que permiten calcular una magnitud de tiempo, ésta se trata de una transferencia de cronología o de un método correlacional, que establece equivalencias de edad, usando propiedades independientes del tiempo. Para ello, es necesaria una curva de referencia de validez regional, construida con base en otras mediciones. Cuando la curva está compuesta de una gran cantidad de datos comparativos, la determinación de edad de un nuevo objeto puede ser de mayor precisión que otras técnicas de datación (Gogichaishvili 2014).

Hay dos mecanismos principales de magnetización que afectan a los objetos y sedimentos arqueológicos e históricos, la *remanencia detrítica* –también llamada *depositacional*– (DRM) y la *termorremanente* (TMR). Es necesario tomar en cuenta que en el estudio de la termorremanencia, el evento datado es el de la última vez en que la muestra se calentó a una temperatura alta, es decir que en el caso de una vasija de uso doméstico, no necesariamente se trata del momento de su confección. Si la temperatura de calentamiento final del objeto fue más baja que la alcanzada en las previas, se podrían datar las distintas exposiciones al fuego, aunque cuando la última es más fuerte, borra las señales previas (Gogichaishvili 2014).

En ésta investigación, se utilizó como método de datación el arqueomagnetismo, a través de la toma y análisis de 93 muestras provenientes de ocho estructuras, éstas son la H1, H2, H3, H5, H7, H8, H12 y H14. Los análisis llevados a cabo por el Dr. Gogichashvili y el Dr. Morales indicaron primero que la H5, no presentó evidencia de quemado, las muestras fueron tomadas en las piedras que formaban el muro interior de la estructura en la oquedad pero a nivel de superficie. Segundo, las estructuras se agrupan en dos temporalidades distintas; y por último, fue posible fechar la Estructura H8 no excavada, gracias a un pozo de saqueo, esto nos indica que estuvo expuesta a un evento de uso de fuego.

En cuanto a las dataciones realizadas por las pruebas arqueomagnéticas, los hornos se agrupan en dos temporalidades, la primera del 900-1100 d. C., para el clásico terminal y la segunda en 1600 d. C., para el periodo colonial. Las estructuras donde la última quema esta registrada en el periodo Clásico Terminal (850-1000 d.C.), son la H1, H3, H8 y H12. Las estructuras fechadas para el periodo colonial son la H2, H7 y H14 (*Gráfica 9, Gráfica 10*).



Gráfica 6.- Resultados de Arqueomagnetismo, grupo temporal del Clásico Terminal (850-1000 d. C.)

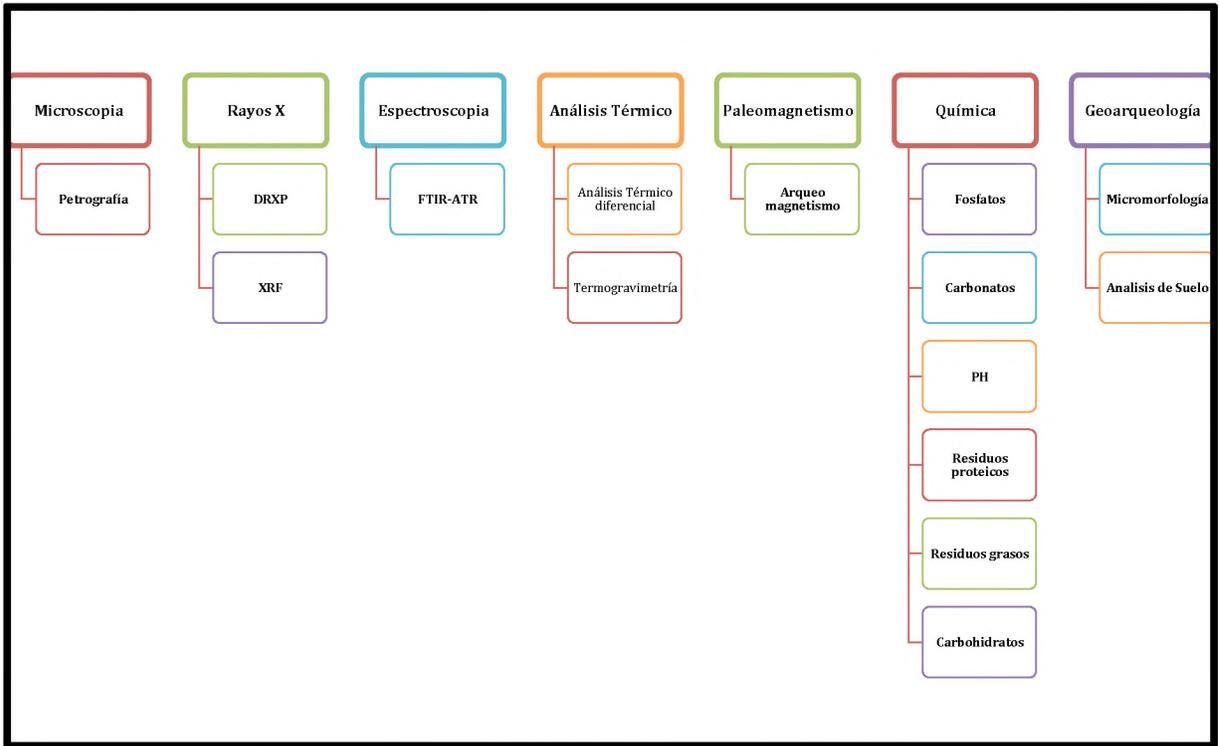


Figura 54. - Ruta ideal de análisis de estructuras expuestas al calor.

Capítulo 6.- Discusión y Consideraciones Finales

6.1. Discusión de los Resultados

En éste capítulo, retomamos los resultados de los análisis con la finalidad de responder a las preguntas de investigación, hipótesis y objetivos planteados, los cuales retomamos en estos momentos.

- *¿Éstas estructuras son hornos utilizados para la producción de cal?*
- *¿Cuáles son los indicadores arqueológicos que permiten definir un horno para la producción de cal?*

Los objetivos fueron:

- Construir un indicador arqueológico
- Definir la función de un rasgo arqueológico
- Caracterización de los materiales recuperados al interior y exterior de los rasgos arqueológicos: distinción de materiales y definición de temperaturas.

La hipótesis final surge del cuestionamiento sobre atribuir una función específica a las estructuras anulares como hornos para producir cal a partir del contexto arqueológico.

La respuesta que obtuvimos hasta éste momento, con la metodología utilizada nos sugiere que las estructuras fueron utilizadas para un proceso que implicaba el uso del fuego, es decir presencia de un **horno**, con un registro de calizas que sirvieron para producir cal y desechos derivados de esta producción.

En los resultados de los análisis químicos, registramos los residuos orgánicos en los sedimentos y muros de las estructuras, que permiten sugerir que en las estructuras, el final de la capa III y principios de la capa IV se marca un cambio en la concentración de residuos. Estratigráficamente la excavación en éstas capas, marca un cambio de coloración de la tierra a un gris oscuro-claro asociado con la presencia de cenizas observadas macroscópicamente. Podemos, de ésta manera, sugerir que los procesos tafonómicos que sufren las estructuras, proporcionan un enriquecimiento mayor en las capas superiores, que en las inferiores, con excepción de la estructura H7, donde el contexto presenta un movimiento que sugiere su utilización como basurero en algún punto de su historia, reforzado por la datación arqueomagnética que ubica a la estructura en una última quema para el periodo Colonial.

En cuanto a la composición elemental, los datos son interesantes en cuanto a la presencia de trazas de Magnesio (Mg), y la falta de Estroncio (Sr), rasgos que pueden ayudarnos a localizar las fuentes de materia prima utilizadas en éstas estructuras. Éstos cambios elementales a primera instancia tienen su origen en la formación geológica de la península y a la edad de formación, pero se necesitan

los datos de la geoquímica de la península para poder delinear las áreas de procedencia de material y poder entender los cambios en la composición elemental de las muestras analizadas.

En éstos momentos, los mejores resultados en cuanto a la diferenciación de los materiales quemados de los naturales, proviene de la metodología de Chu et al. 2008, Las muestras permiten fijar los valores que sirven para diferenciar entre materiales quemados, parcialmente quemados y geológicos (ver Gráfica 1). El detalle que tenemos que considerar, por los casos de estucos y sedimentos con valores menores y más cercanos a los materiales geológicos, es decir menores a 3, es considerar el intervalo temporal de los materiales que estamos analizando. La metodología fue creada a partir de materiales del Medio Oriente con temporalidades que se acercan a los 14, 000 años de antigüedad, en nuestro caso las muestras más antiguas tienen 2000 años, lo cual representa una variación considerable.

En el caso, por ejemplo, de los estucos de Chinikihá, donde dos presentan valores de 5.5-6 y uno de 2. 48, pudimos llegar preliminarmente a que la consistencia, dureza y conservación de los estucos con valores elevados, era mejor en referencia al estuco con valor menor, el cual se encontraba muy mal conservado y sufría un deterioro muy grande; esto podría deberse al momento constructivo, los primeros fueron tomados en la estructura principal y el último en un anexo, cabe aclarar que la investigación sigue su curso, por tanto, sólo podemos hacer más sugerencias⁹. Trasladando esta observación al estudio en general de los estucos, la diferencia entre los valores podría servir para vincular la calidad del proceso pirotécnológico de la cal con la eficacia en el desempeño de los productos elaborados en ella. Aparentemente a mayor temperatura de calcinación de las calizas, los estucos presentan las mejores propiedades mecánicas; pero faltaría evidencia para asegurar que la diferencia en el desempeño de los morteros utilizados no deriva de otros factores.

El objetivo de definir la función de los contextos excavados fue cumplido, sugiriendo que estas estructuras fueron un horno para producir cal, al menos en la región del Occidente de las Tierras Bajas Mayas, investigaciones que están siendo llevadas a cabo por Seligson (2014) en la región del Puuc nos proporcionara datos y evidencia del funcionamiento de las estructuras anulares en esa región.

Al caracterizar los materiales que hemos recuperado planteamos nuevos desafíos dirigidos a la ubicación de fuentes de materia prima utilizados en las estructuras anulares, la ausencia del estroncio es en estos momentos el rasgo mas relevante. Para la definición de las temperaturas-objetivo planteado- obtenemos datos parciales solo del FTIR, pero la lección aprendida es que la experimentación cuando

⁹ Estas consideraciones preliminares surgen de la discusión con el Dr. Mauricio Obregón y la estudiante Eos López encargados de las excavaciones y toma de las muestras en campo de la estructura analizada. Esperamos que futuros análisis de otras muestras permitan cotejar la información preliminar del área de Chinikihá.

trabajamos con la pirotecnología es el paso a seguir por lo tanto hacemos el planteamiento de una propuesta mas adelante.

Por último, la construcción de un indicador es la parte mas difícil del trabajo arqueológico puesto que va en la dirección de una conjunción de los datos de las excavaciones, las técnicas de análisis y las teorías seguidas por los investigadores. En el caso de la producción de cal, la puesta en duda de la utilización de los hornos, surge no de una ausencia de ellos en el registro arqueológico sino en la carencia de un reconocimiento adecuado de los mismos y sino se tiene un reconocimiento de estos rasgos menos aún datos de excavación completos. Pero el aspecto que causo mas daño a este tema fue la falta de precisión terminológica para expresar la existencia de estos rasgos, lo que se aprecia en la publicación de estructuras circulares en lugar de anulares. Además, los planos y mapas de los rescates actuales que podrían servir a los investigadores para paliar la inexactitud terminológica no son publicados.

Ante estos puntos, los resultados de esta investigación han llegado a lo siguiente, el reconocimiento de las estructuras anulares en el campo, se logra por la presencia de un hundimiento en la zona central de la estructura y la presencia de al menos un alineamiento circular de piedras visible en la superficie, en algunos casos tenemos la presencia de los dos alineamientos de piedras en la superficie dando la forma anular.

Estas estructuras reconocemos que pueden ser fácilmente confundidas con cimientos habitacionales a simple vista, pero aquí entra la siguiente característica las dimensiones, en la mayoría de los casos que investigamos el diámetro exterior era de 4 m. y el diámetro interior de 2 m. en la zona del hundimiento, esta ultima característica permite descartar el uso habitacional de la estructura. Otra diferencia entre la habitación y el horno es en el registro, un cimiento habitacional los muros se encuentran en la superficie y en los hornos los alineamientos se encuentran parcialmente enterrados esto debido a que en realidad estos alineamientos forman una banqueta. El registro puede ser ayudado por la presencia de los patrones que hemos identificado con respecto a otras estructuras arqueológicas.

La teoría sobre la pirotecnología y la excavación va ligada primero si lo que buscamos son vestigios de una acción del fuego, debemos tener presente los tipos de residuos a localizar: cenizas, fragmentos de piedra calcinada, sin calcinar, restos de carbón y diferentes colores en la sedimentación en algunos casos la presencia de algunas arcillas puede conceder un color mas rojizo a los sedimentos; las cenizas pueden tener un color blanco-gris. Por tanto, según mi experiencia y mis errores en la excavación, necesitamos definir capas métricas de entre 0.05-0.10 m. máximo porque en un proceso productivo de caliza tenemos o podríamos tener los siguientes escenarios:

- un horno donde la calcinación sea completa;

- un horno con un acomodamiento de piedras para iniciar la calcinación;
- un horno donde los productos de la calcinación fueran retirados y
- un horno donde las evidencias indiquen una reutilización.

Las capas métricas en 0.10 m. máximo ayudan a definir las capas de formación de contexto las cuales a simple vista en algunos casos no son claras, puesto que la variación en la coloración de los sedimentos en algunas ocasiones son apenas perceptibles, por tanto, la excavación necesita primero controlar y registrar y después identificar plenamente los cambios de coloración. Además de considerar los factores medioambientales: la lluvia, el sol y la exposición al aire de los sedimentos causan cambios que pueden afectar la definición de las capas sino somos rigurosos en el registro.

La matriz de Harris ayudan a definir estos procesos de formación del contexto diferenciando las capas antropogénicas de las naturales, la afectación de los animales y la vegetación abundante de la selva con raíces profundas. La excavación también tendrá un impacto directo en los análisis para caracterizar y diferenciar los materiales; en el diámetro promedio de las estructuras anulares que es 2 m. la toma de muestras debe considerar los sedimentos desde el centro hasta el muro al igual que las piedras y restos de otros materiales, esto con la finalidad de poder diferenciar las temperaturas como ha sido registrado en quemas experimentales donde el centro a la pared hay variación (Morales et al. 2011), este punto también recibe influencia del arqueólogo y su intuición para tener la cantidad de muestras representativas de la estructura anular. Esto considerando únicamente el interior de la estructura anular. La actividad productiva suponemos debió incluir la zona alrededor de la estructura anular incluyendo la banqueta y las áreas cercanas, por tanto el muestreo debe también incluirlas.

Por último, como presentamos las técnicas adecuadas proporcionan información para definir la producción de cal, idealmente hemos hecho la propuesta de una metodología que incluye datación, distinción de temperaturas de calcinación, perfiles mineralógicos e identificación de residuos orgánicos. La realidad de la metodología ideal (*Figura 54*) que proponemos se ve afectada por los costos de operación e implementación de todas las técnicas y análisis que mencionamos por tanto reducimos esta metodología para presentar una real donde desde mi experiencia estos análisis pueden ser realizados cubriendo los elementos que necesitamos analizar y definiendo si alguna de las muestras necesita un análisis más complejo o puntual (*Figura 55*).

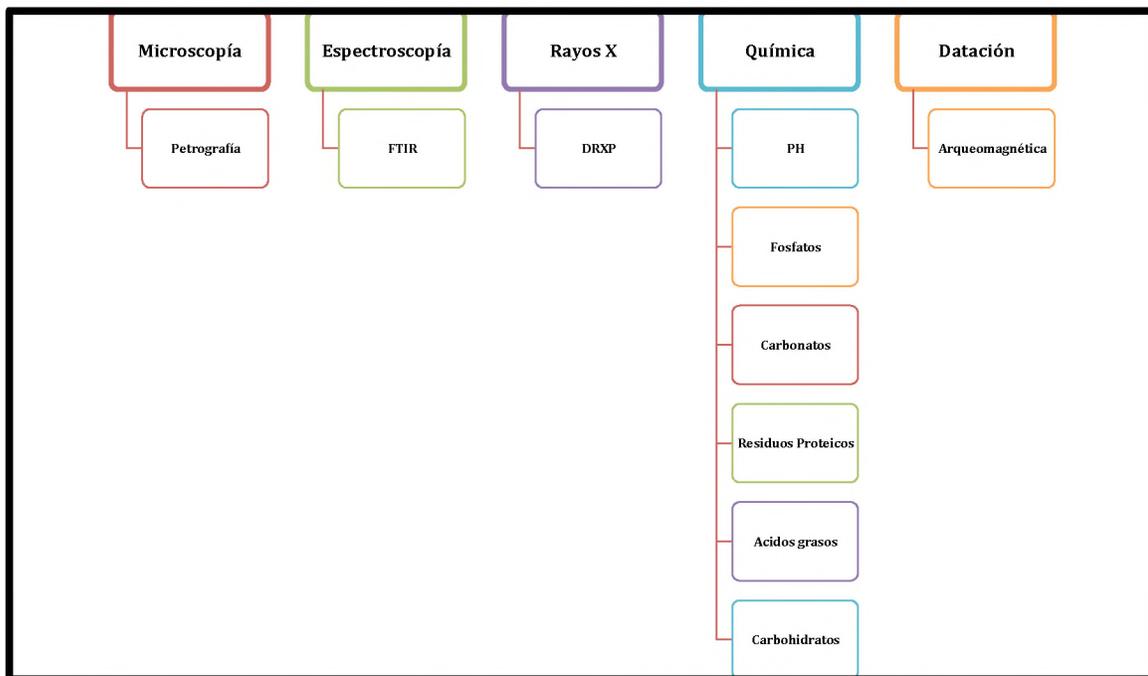


Figura 55.- Metodología propuesta para el análisis de las estructuras anulares (hornos)

Identificar un horno arqueológico es básicamente un aspecto del registro, pero la identificación y estudio de la zona de producción, es una técnica analítica que ayuda a definir el área de influencia y teóricamente el control del fuego se vincula con aspectos económicos y sociales, por tanto esta propuesta vista de manera global, es mucho más abarcadora y auspicia investigaciones de largo aliento. El área Maya representa un reto en cuanto a que el ambiente kárstico y húmedo borra algunas huellas visibles del registro arqueológico.

Por supuesto, con los objetivos cumplidos, los resultados de la investigación dieron visibilidad a los hornos y propuestas de investigación donde los aspectos sociales, económicos y experimentales son considerados en los puntos del siguiente apartado.

6.2. Consideraciones Finales

La investigación en éste primer paso, necesita cerrarse; tres años de trabajo -un año en el campo y dos años en la maestría- fueron suficientes para poder presentar un balance de lo que tenemos hasta éste momento con respecto a la investigación de las zonas de producción de cal en el área Maya. En esta investigación planteamos nuevas líneas a seguir, nuevos rasgos arqueológicos que rastrear y considerar, nuevos análisis que implementar y una investigación que continuar.

La conclusión de esta investigación permite presentar la distribución de los patrones de asentamiento de las estructuras anulares, la tipología y la expresión de los rasgos arqueológicos de combustión siguiendo la propuesta de Mentzer (2014: tabla 2).

En ésta investigación definimos cinco patrones de recurrencia de las estructuras anulares:

- El primero -identificado también en Sayil (Sabloff y Toutellot 1991) y Kiuic (Seligson 2014)- es el de Cantera/Sascabera-Complejo Doméstico-Estructura Anular-Montículo *Ch'iich* (Figura 56).
- El segundo Complejo Doméstico-Estructura Anular-Montículo *Ch'iich* (Figura 56)
- El tercero Estructura Anular- Montículo *Ch'iich*- Plataforma Baja/Nivelación (Figura 57)
- El cuarto Complejo Palaciego-Estructura Anular-Complejo Palaciego (Figura 58)
- El quinto Estructura Anular-Montículo *Ch'iich* (Figura 59)

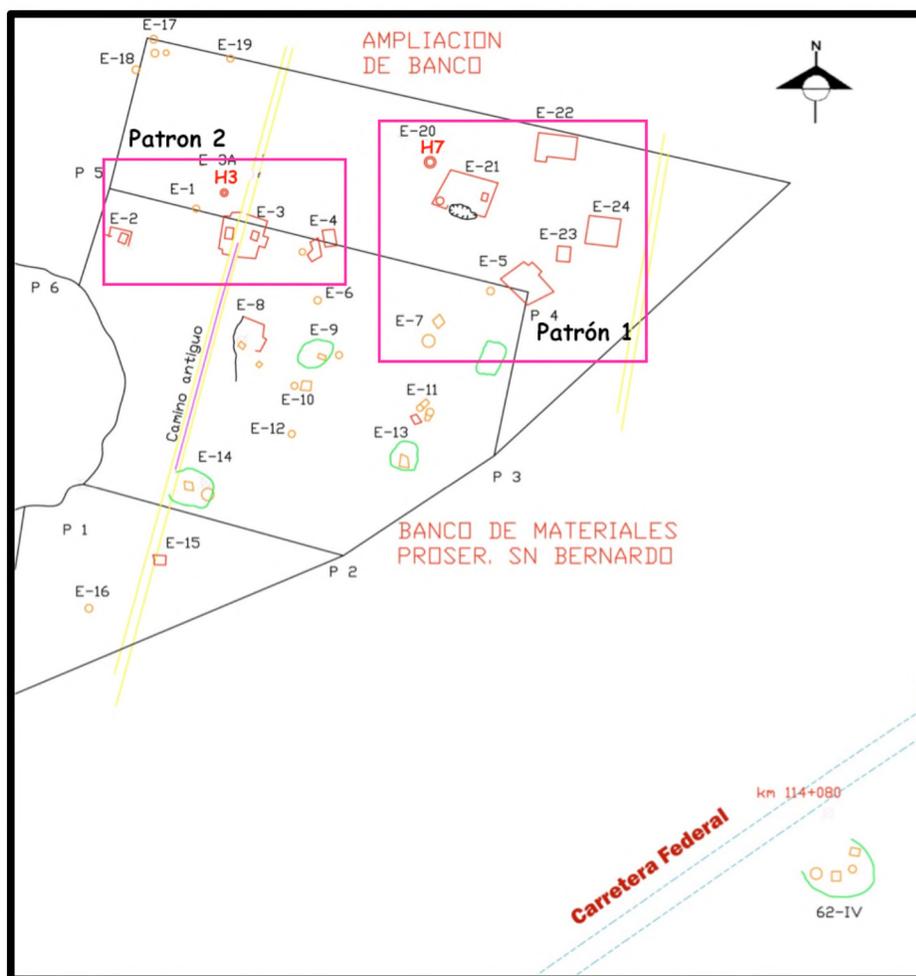


Figura 56. - Plano con la ubicación de los patrones de distribución 1 y 2 de las estructuras anulares identificados (Modificado a partir de Uc Gonzales y Morales Uh 2010)

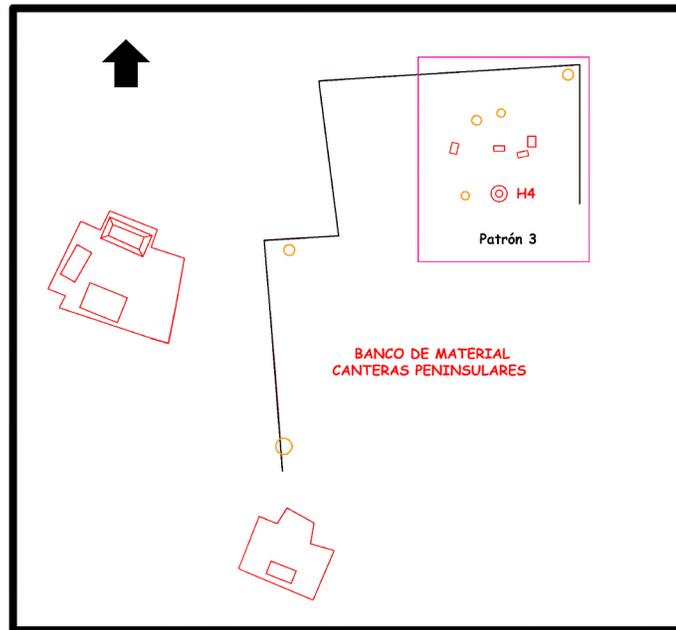


Figura 57. - Plano con ubicación del patrón de distribución 3 de las estructuras anulares (Modificado de Uc Gonzales y Morales Uh 2010)

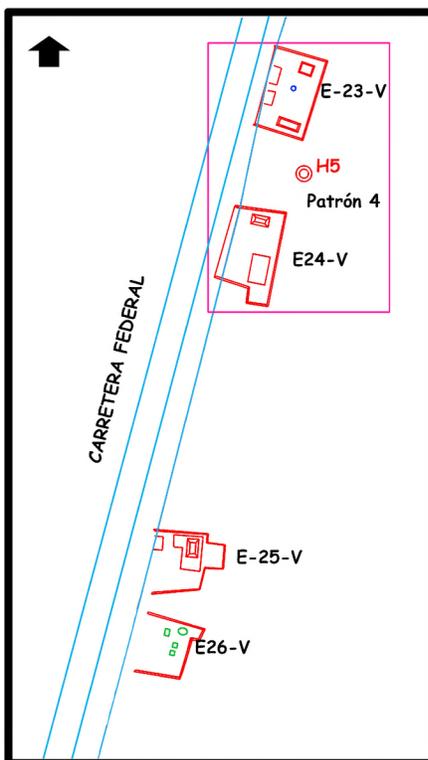


Figura 58. - Plano mostrando el patrón de distribución 4 de las estructuras anulares (modificado de Uc Gonzales y Morales Uh 2010)

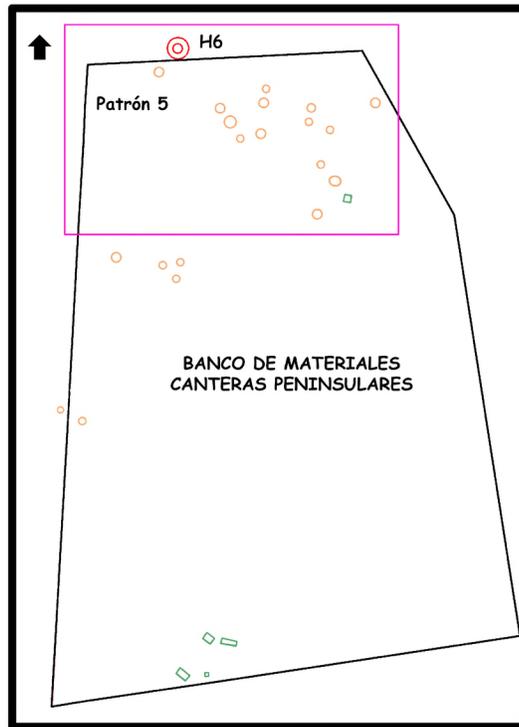


Figura 59. – Plano de ubicacion del patrón 5 de distribucion de las estructuras anulares (Modificado de Uc Gonzales y Morales Uh 2010)

La tipología que podemos definir es en cuestión de forma al interior de la estructura, en todos los casos las estructuras de la zona Occidente presentan la banqueteta, pero presentan algunas variaciones al interior de la oquedad.

- **Tipo 1.-** Estructura Anular donde la oquedad se encuentra construida en mitad muro de piedras y mitad tallada en la roca madre. La forma final de la oquedad es de un cono, en algunas localizamos una oquedad menor en el fondo de la estructura anular perforando la laja.
- **Tipo 2.-** Estructura anular donde la oquedad es construida con muros de piedras desplantando sobre la roca madre con la cual se mezclan en algunas zonas del muro, presentan una oquedad menor en uno de los costados entre el muro y la roca madre.
- **Tipo 3.-** Estructura anular construida con muros de piedra desplantando de la roca madre.
- **Tipo 4.-** Estructura anular donde la oquedad fue completamente tallada en la roca madre y las piedras del muro solo se encuentran en la parte superior del interior y en el exterior formando la banqueteta.

La presencia de éstos patrones, tipos y los resultados de los análisis de las muestras permitió siguiendo la propuesta de Mentzer (2014) identificar los rasgos de expresión arqueológica de un proceso pirotecnológico en las estructuras anulares (*Tabla 16*); la cual presentamos a continuación:

Factor	Expresión Arqueológica	Rasgos identificados en Estructuras Anulares
Fase 1: Antes de la combustión		
Localización del espacio de combustión	Posición del área de combustión con respecto de otras áreas de actividad, estructuras o límites del sitio	Construcción de una estructura arquitectónica, asociada a estructuras domesticas y de explotación de materia prima
Composición del sustrato	Materiales antropogénicos alterados por el calor variables, sedimentos geogénicos o roca madre	Combinación de materiales dentro de la oquedad, presencia de materiales con huellas de fuego y de materiales geogénicos y raíces de plantas
Forma del Sustrato, modificado o natural	Forma del rasgo en el perfil o planta, naturaleza del contacto entre la combustión por productos y el sustrato, explotación de la morfología de la roca madre	La construcción de la estructura anular es realizada en algunos casos con la roca madre como base de uno de los muros y al interior de la oquedad se ubica entre la capa III y IV la mezcla de materiales naturales acumulados y materiales con huella de fuego
Tamaño del área de combustión	Forma del rasgo en el perfil o la planta	Definición el área de combustión se confina a la oquedad de la estructura anular
Elección del combustible	Morfología y composición materiales combustibles calcinados y carbonizados (plantas, hueso, carbón), presencia o ausencia de fitolitos, composición de las inclusiones no combustibles, producción de carbón contra ceniza.	Registramos trazas de carbón (aun sin identificar el tipo de planta) y cenizas
Fase 2: Durante la combustión		
Actividades de mantenimiento del calor	Tamaño, Forma e intensidad de quemado	Suponemos que dado el tamaño promedio de la estructura entre 2 m. de diámetro y 1.5 m. de profundidad, y los resultados de infrarrojo tenemos evidencia de temperaturas medias entre los 700-800° C. siguiendo la tabla 40.1 de McDonnell (2001:496), la atmosfera predominante es oxidante con un control medio.
Adiciones de combustible	Alto volumen de material quemado	La presencia de tierra gris, distribuida a través de la mayoría de las capas combinado con los valores de pH sugiere la presencia de madera como materia prima. Ahora la cantidad de combustible todavía no puede ser contabilizado en las estructuras anulares.
Redistribución / tendiendo el combustible	Intensidad de quemado Forma del rasgo en el perfil y planta Distribución de los elementos quemados vertical y lateralmente	La intensidad del quemado varia entre los 700-800° según los resultados del FTIR. La evidencia de la excavacion revela la presencia de materiales quemados en la oquedad. Está evidencia del fuego es visible en los muros de la estructura, en la distribución de los sedimentos siendo el final de la capa III un marcador de cambio en el color de la tierra. La presencia de mayor evidencia de quemado se ubica sobre los pisos de laja o estuco y en las oquedades menores localizadas en estos pisos.

Tabla 16. - Inclusión de las estructuras anulares en la tabla 2 de Mentzer (2014: 623-624, traducción propia).

Factor	Expresión Arqueológica	Rasgos identificados en Estructuras Anulares
Fase 2.- Durante la Combustión		
Función del área de combustión	Presencia de materiales no combustibles	Se encuentran materiales no quemados en las capas superiores por acumulación de restos vegetales y sedimentación natural por el paso del tiempo entre la utilización y la excavación de la estructura
Luz/Calor	Zona de lanzamiento	Sin definir
Cocimiento	Restos de comida (hueso, té, concha, semillas)	Evidencia de restos orgánicos según los resultados de las pruebas químicas, pero no concluyentes con restos de comida.
Disposición de los desechos	Artefactos líticos quemados y desecho de talla	No hay presencia directa de artefactos quemados, solamente en estructuras cercanas elementos asociados a la fabricación de estucos, en la estructura H12, y H5.
Tratamiento del calor/ manufactura de herramientas		Sin evidencia
Disponibilidad de oxígeno	Relación de carbón/ ceniza	Evidencia de presencia de ambos pero sin contabilización de la relación entre ambos materiales
Bajo	Relación alta de carbón a ceniza	Sin definición
Alto	Relación baja de carbón a ceniza	Sin definición
Fase 3: Extinción		
Perdida de combustible	Completa combustión, Baja relación de carbón a ceniza	Sin definición
Extinción por agua	Combustión incompleta,	Sin definición
	Relación alta de carbón a ceniza, Redistribución relacionada al agua, Clasificación del tamaño del grano, Cementación o disolución.	
Perdida de Oxígeno	Combustión incompleta, Relación alta de carbón a ceniza.	Presencia de piedras sin calcinar completamente en las estructuras H3, H5, H7, H15
Sofocado con sedimentos	Combustión incompleta, Relación alta de carbón a ceniza, Sedimento quemado parcialmente en la parte superior de los materiales quemados con contacto violento?	Sin definición
Viento	Combustión incompleta o rápida	Sin definición
Materiales quemados removidos	Materiales carbonizados o calcinados distribuidos sobre una amplia área con alteración de calor de contacto de otros materiales	Sin definición
Fase 4: Después de combustión		
Actividades humanas	Re trabajado, alteración del rasgo morfológico	Las alteraciones en la forma de la estructura pueden ser evidenciadas por el desplome de los muros interiores de la oquedad y en el caso de la estructura H7 la remoción del contexto y presencia de residuos orgánicos que sugieren su reutilización.

Tabla 16.- Continuación

Factor	Expresión Arqueológica	Rasgos identificados en Estructuras Anulares
Fase 4: Después de combustión		
Nuevo fuego construido directamente arriba de la vieja estructura de combustión Limpieza del fogón	Rasgos de combustión apilados, espesor, capas de ceniza micro laminadas	En la estructura H5 presencia del piso quemado y piedras semi quemadas las cuales suponemos forman parte de una nueva quema incompleta. Sin definición clara, únicamente la estructura H4 parece haber sido limpiada al abandono.
Pisoteo	Depósitos de ceniza sueltos no estratificados, depósitos rake-out, truncamiento de los rasgos de combustión en el perfil Compactación, vacíos planos, rotura <i>in situ</i> de hueso y carbón	Sin definición
Construcción de áreas de reposo	Combustión dispersa por productos, mezcla con materiales de reposo	Sin definición
Re trabajo/erosión	Mezcla general de materiales quemados o no quemados, pérdida de morfología y estratigrafía interna del área de combustión	En la estructura H7 se registra una mezcla de los sedimentos
Agua	Laminación, clasificación textural, depósitos de retraso y disolución/cementación de ceniza.	Sin definición
Bioturbación de Insectos o animales	Microestructuras de canal, cámaras, migas o granulares, restos fecales, madrigueras y características de paso.	Sin definición clara, en algunos casos fue posible registrar la presencia de nidos de hormigas como en el caso del H5 pero en otros casos no fue posible.
Viento	Eliminación/ aventar de materiales del tamaño del cieno, depósitos de retraso	Sin definición
Procesos coluviales	Laminaciones, clasificación textural y esquila.	Sin definición
Crioturbación	Fragmentación de materiales quemados, desarrollo de micro estructura lenticular, granular o platy.	Sin definición
Entierro	Rasgos de combustión o depósitos enterrados por materiales biogénicos, geogénicos y antropogénicos	En los casos excavados las primeras capas corresponden a humus y material vegetal acumulado por procesos naturales.
Crecimiento de plantas	Desarrollo de una micro estructura de canales, formación de hypocoatings de calcita	Sin definición
Humedad	Diagénesis	Sin definición
pH Bajo	Disolución de carbonato y pérdida de volumen	El pH que hemos identificado es en valores arriba de 7, y no en valores menores a 5 cuando el carbonato se disuelve.
pH Alto	Disolución de silicatos y re cristalización de ceniza	El pH se esta entre 8-9.

Tabla 16.- Continuación

Factor	Expresión Arqueológica	Rasgos identificados en Estructuras Anulares
Fase 4: Después de combustión		
Agua saturada por carbonatos	Petrificación o cementación, pérdida de porosidad debido al desarrollo de vacío en los rellenos.	Sin definición
Soluciones fosfatadas	Replazo Iso volumétrico de ceniza por minerales fosfatados secundarios y costras	Sin definición
Modificación en la estructura de los materiales (agregado)		La acción del fuego y el calor permite detectar cambios en las propiedades magnéticas por medio de la datación arqueomagnética.

Tabla 16.- Continuación

La definición de los patrones, tipología y rasgos de expresión arqueológicos permite sugerir las futuras líneas de investigación así como las propuestas de estudio y uso de las estructuras anulares que contemple el proceso de investigación arqueológico desde el inicio hasta el final, pasando de la prospección, excavación al análisis.

6.3. Futuras líneas de investigación

Los resultados de la caracterización elemental y mineralógica, nos guían a un **Estudio de Proveniencia** de las Fuentes de Materia Prima explotadas en tiempos prehispánicos; estudio que necesita considerar la geoquímica de la región y los estudios geológicos y geoarqueológicos disponibles para el área Maya.

La datación arqueomagnética ofreció un dato interesante que no hay que perder de vista; la presencia de dos temporalidades, una prehispánica y otra colonial en estructuras arquitectónicamente similares, permite plantear un **Estudio Histórico** de los Cambios y Persistencias Tecnológicas en la región occidental de las Tierras Bajas Mayas del Norte.

La caracterización de las muestras sugiere un **Estudio Integral de las Estructuras Anulares** de distintas zonas del Área Maya (Puuc, Chenes, Cono Sur, Costa Oriental, entre otras), que permitan registrar las funciones de las estructuras, utilizando la **propuesta metodológica** presentada en éste trabajo.

Ésta investigación considera necesario realizar un **Estudio sobre tecnología**, que utilice la metodología de Chu et al. 2008 (FTIR-ATR), con las modificaciones y refinamientos que se requieren por las temporalidades y ambientes diversos; para vislumbrar los cambios tecnológicos asociados a las

temperaturas de producción en la cal y sus productos tanto en el área Maya como en el resto de Mesoamérica.

Integrar un **Estudio de los hornos mediterráneos**, siguiendo la propuesta de estudio de las estructuras anulares, con la finalidad de registrar los cambios de temperatura, características estructurales de la materia y los métodos de extracción y preparación de la cal.

Con los datos que hemos aportado, podemos después de construir un indicador arqueológico, iniciar **las investigaciones de los sistemas de producción** de cal en los aspectos sociales, es decir la cantidad de energía invertida contra las horas de trabajo y la cantidad de gente produciendo, lo cual nos proporciona los aspectos económicos y sociopolíticos de este sistema productivo.

Por último, es necesario llevar a cabo el **Estudio Experimental** de las estructuras anulares, donde se incluya la réplica constructiva y funcional con quemas experimentales. En ésta investigación realizamos una propuesta ideal para éste estudio (*Figura 60*). Esquemáticamente tenemos lo siguiente:

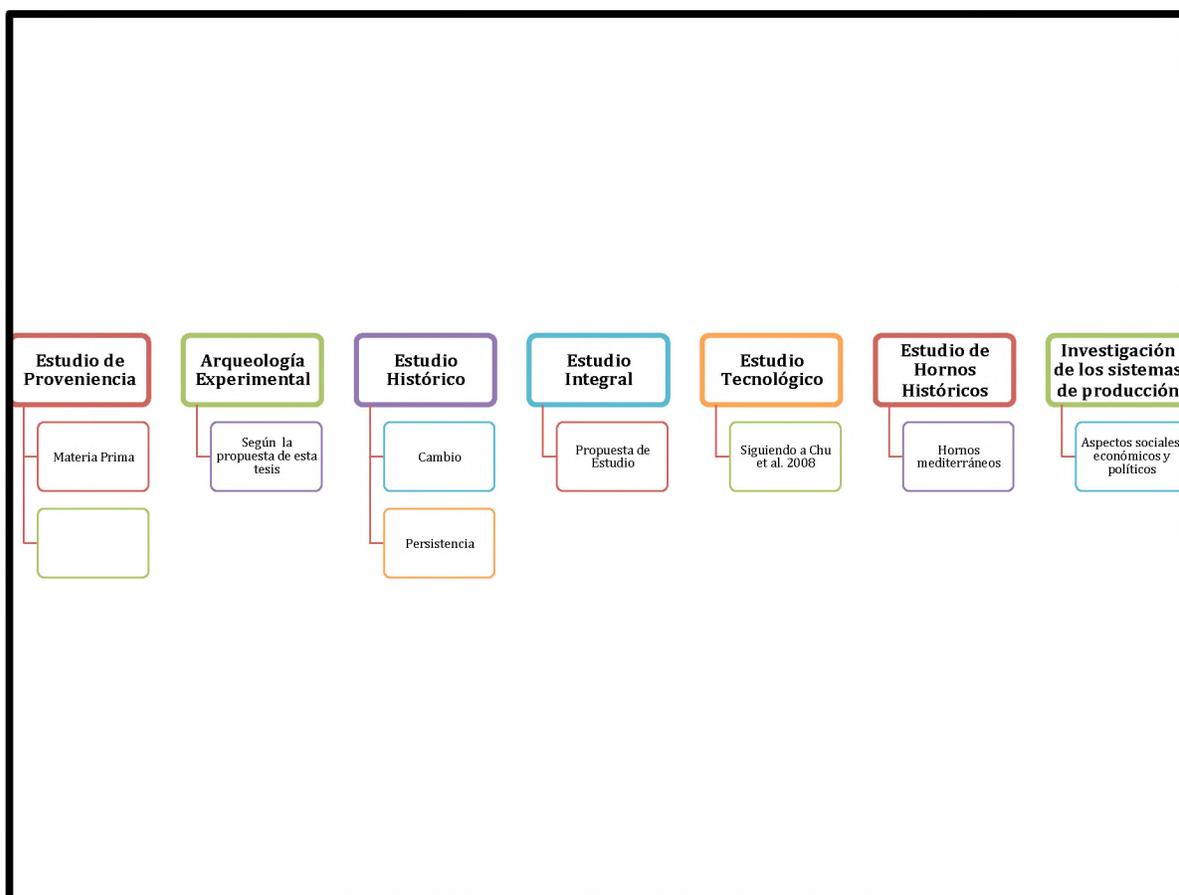


Figura 60. - Propuestas de Investigación a futuro

6.4. Propuesta Estudio Integral de las Estructuras Anulares: Del Campo al Laboratorio

La propuesta de estudio integral considerada a partir de los patrones, tipología y rasgos expresados en el registro arqueológico contempla la integración de los métodos básicos arqueológicos como la prospección, excavación y análisis pero con el objetivo de identificar las estructuras donde fue utilizado el fuego. Por tanto, proponemos que la prospección necesaria es la geofísica, donde se contemple la susceptibilidad magnética y la mineralogía magnética, con la finalidad de obtener los diferentes tipos y grados de magnetización de los sedimentos (Mentzer 2012: Tabla1), éste tipo de estudio se ve reforzado por la acertada datación paleomagnética. Ésta prospección será trazada en el espacio delimitado por el tipo de patrón que estemos investigando.

La excavación contemplará el trazo de una retícula de control y la utilización de la matriz de Harris como medio de control estratigráfico, y de registro de los procesos tafonómicos. La exploración también contemplará las técnicas micro morfológicas, para registrar los patrones de cambio a nivel de laminas delgadas. La retícula de control necesita incluir los rasgos arquitectónicos presentes de acuerdo al patrón de distribución que estemos excavando. Para el control de material, se propone una toma de muestras para análisis tanto a nivel horizontal como a nivel vertical; horizontalmente se propone toma de muestras a 0.50 m de distancia y a nivel vertical de acuerdo a las capas estratigráficas registradas por medio de la matriz de Harris; si no es posible, dado el contexto, se proponen excavaciones por capas de 0.05-0.10 m de grosor con la finalidad de cubrir los restos y enriquecimientos de los materiales.

A nivel de análisis, se propone realizar la ruta metodológica ideal presentada en el capítulo 5, la cual incluye los análisis espectroscópicos, químicos, térmicos, paleomagnéticos y microscópicos que han resultado para la caracterización de los materiales inorgánicos y orgánicos. Es importante considerar dentro de los análisis, la datación de las muestras por medio de pruebas de radiocarbono o paleomagnéticas (*Figura 61*). Esta es la propuesta ideal, a nivel real hay que considerar la disponibilidad de tiempo y recursos económicos para llevar a cabo la investigación, en Yucatán la gran mayoría de los proyectos dependen de los salvamentos y rescates (tiempo y dinero limitado), por tanto la parte mas significativa es la recuperación de las muestras para analizar. Los resultados de esta investigación permiten sugerir las pruebas del FTIR y de Residuos Orgánicos para realizar cuando los presupuestos de investigación están limitados. La cantidad de muestras dependerá de los contextos y los intereses de los investigadores.

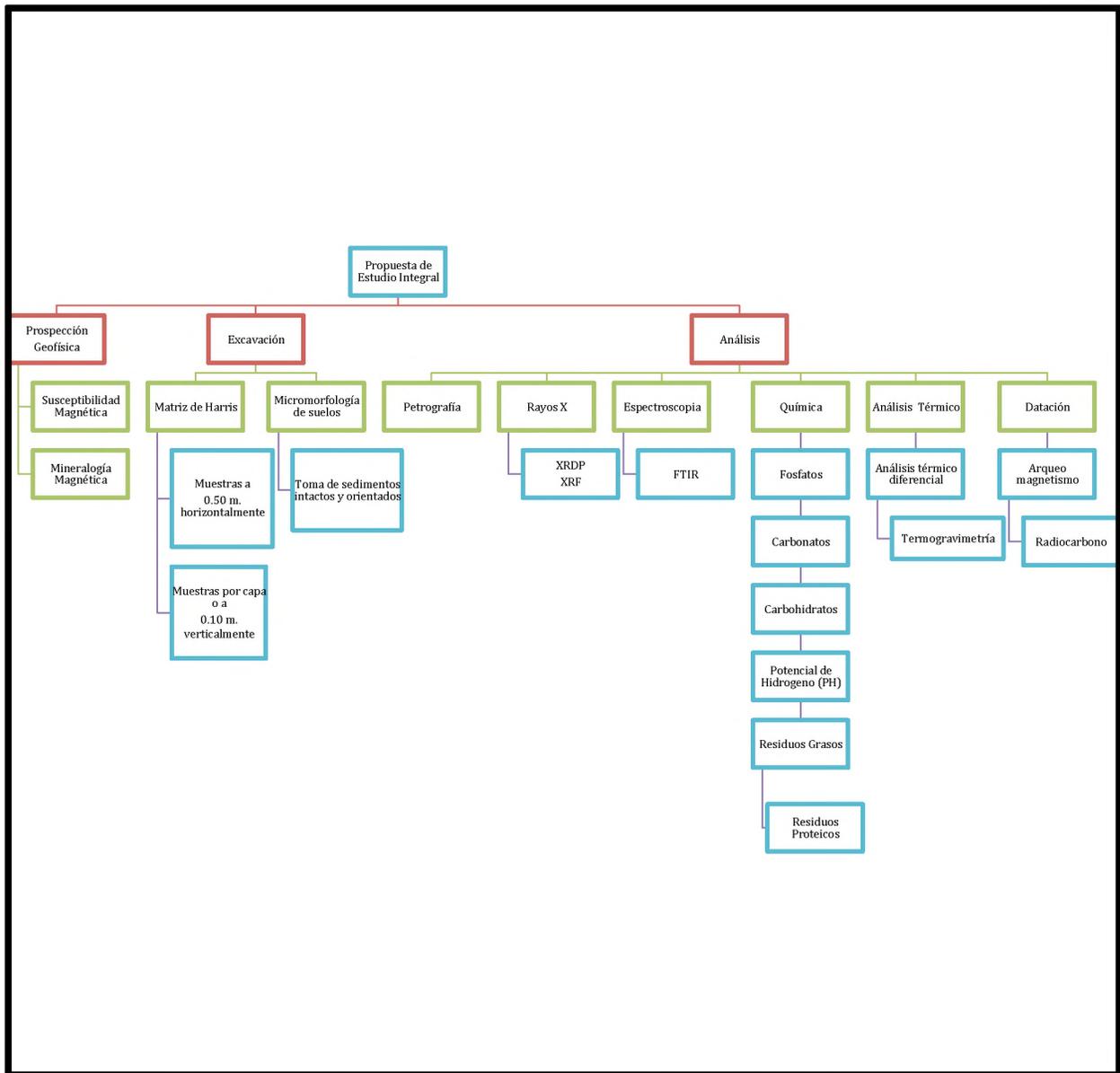


Figura 61. - Esquema de Estudio Integral e Ideal de una Estructura Anular

6.5. Propuesta de Funcionamiento de las Estructuras Anulares: Arqueología Experimental

La propuesta de funcionamiento que hacemos, nace a partir de la sugerencia que indica que las estructuras fueron utilizadas para un proceso pirotécnológico. Dos referencias se acercan en forma a las estructuras anulares que investigamos y son la propuesta de funcionamiento de Wingate (1985: 72) y

la propuesta de Goren y Gorin Morris (2008); en ambos casos se trata de hornos para producción de cal.

En el primer caso, Wingate (1985) describe un horno construido por medio de una excavación en la tierra y que tenía las siguientes medidas: 2.75 m de largo por 2.50 m de ancho y entre 1.5 a 2 m de profundidad, donde las labores de quemado duran alrededor de 24 horas y se utilizan piedras de entre 10-15 cm. El acomodamiento de la piedra y la madera dentro del horno es alternado entre capas de madera y piedra, al nivel de superficie las rocas son acomodadas dejando una abertura para ventilación, en éste caso, el centro de la estructura no se cubre con la madera, sino que se deja un espacio para la circulación del aire. La madera utilizada en la quema, según el autor, es una mezcla de madera seca y húmeda (*Figura 62*).

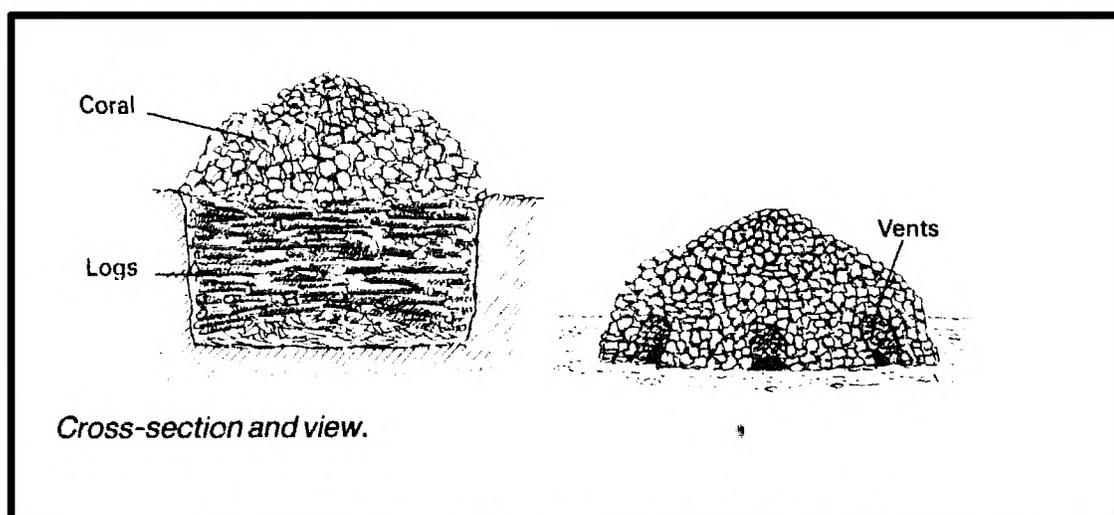


Figura 62. - Esquema de un horno presentado por Wingate (1985:72)

La segunda propuesta es realizada por Goren y Goring-Morris 2008, los autores construyeron un horno excavándolo en la tierra de forma cilíndrica, que midió 2.5 m de diámetro y 0.75 m de profundidad, se utilizaron piedras de entre 8 cm (+-) y trozos de madera y estiércol como combustible. El acomodamiento siguió la propuesta de Wingate (1985), dejando un espacio de vacío al centro de la construcción y cerrando el horno con el domo construido con las piedras para quemar. Se registró una temperatura máxima de 870° C. y la quema se hizo por lo menos durante 24 horas (*Figura 63*).

Ésta propuesta además de llevar a cabo la quema de calizas para obtención de cal, presenta el estudio de los procesos tafonómicos que sufren los hornos al ser abandonados, impactados por la acción del medio ambiente y los humanos. Los autores regresaron nueve años después y excavaron la

estructura que habían construido; con la finalidad de estudiar los cambios en los materiales quemados, éstos estudios fueron hechos mediante técnicas micromorfológicas.

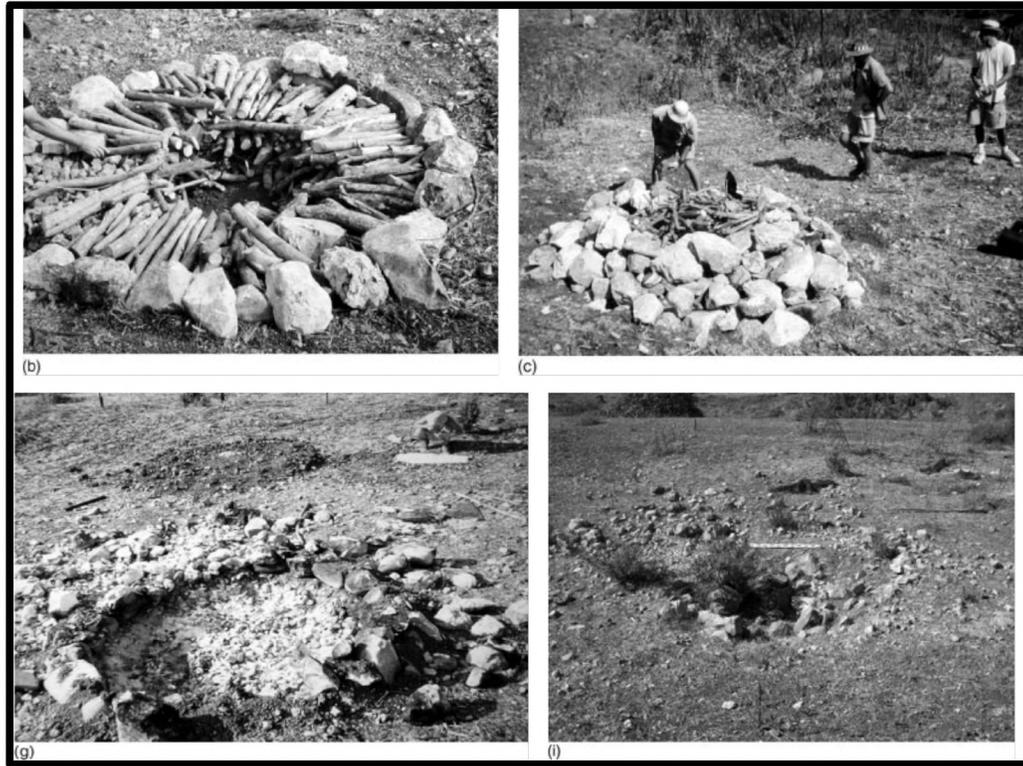


Figura 63. - Procesos de construcción y quema que reportan Goren y Goring-Morris 2008(786-788)

Para el área Maya, dos registros de hoyos llaman la atención y fueron hechos por Schreiner 2001(367-368) y Wernecke (2005:171), donde presentan esquemas similares de cómo quemar calizas, la diferencia es el acomodamiento de la piedra y la madera (Figura 64).

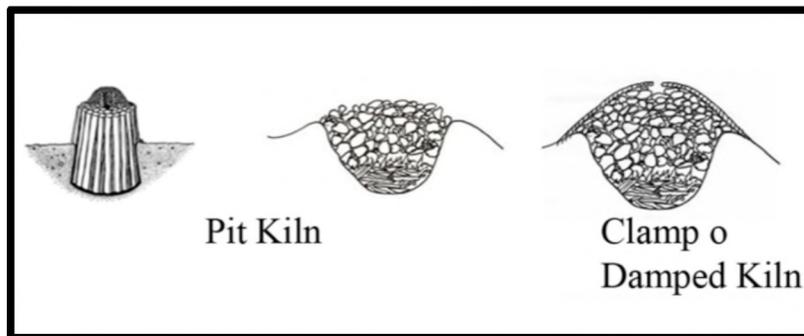


Figura 64.- Registro de funcionamiento de hoyos de quema en el área Maya Schreiner 2001:367-368 y Wernecke 2005:171

Las estructuras anulares que registramos y exploramos para esta investigación, comparten rasgos en tamaño y forma con la estructura presentada por Wingate (1985) (*Figura 62*), la cual puede ser propuesta como una forma de utilización de las estructuras anulares en el área Maya.

Experimentalmente consideramos necesario construir una estructura anular y quemar en ella de acuerdo al acomodamiento de Wingate (1985), no obstante, es importante contemplar un experimento a largo plazo como el realizado por Goren y Goring-Morris (2008) para registrar la diferenciación de los procesos de afectación que sufren los materiales quemados con el paso del tiempo. Lo ideal será combinar la quema experimental con la propuesta de Chu et al. (2008) y registrar los cambios en los espectros de FTIR, en los materiales antes de la quema, después de la quema y con el paso del tiempo, después del abandono y la excavación de los restos de la estructura construida. Éste análisis y los análisis micromorfológicos de láminas delgadas como proponen los investigadores, permitirán diferenciar los cambios en las calizas quemadas al momento y un tiempo después de que sufren el proceso de calcinación. En cuanto al tiempo de abandono, ellos utilizaron nueve años, pero considerando el clima desértico del Medio Oriente, y el clima tropical del Área Maya, podríamos reducir a la mitad del tiempo, es decir, a 4.5-5 años del abandono (*Figura 65*).

La propuesta está diseñada para obtener información sobre materia prima y energía utilizada para construir una estructura anular; así como para tener los cálculos de la cantidad de combustible y roca caliza necesarios para producir cal en una de estas estructuras. El registro de la temperatura lo asociamos al funcionamiento del horno y la calidad de los materiales producidos.

Los primeros análisis de FTIR y micromorfológicos van en la dirección correcta para obtener y así compararlos con las muestras para así vislumbrar cambios tecnológicos y de preparación de la cal y sus derivados. Por tanto, la información obtenida permite refinar nuestras excavaciones de los contextos anulares con las mejoras analíticas al disponer de datos comparativos en distintos momentos de tiempo y poder ir definiendo la metodología que hemos propuesto.

Por último, la revisión actual de los planos arqueológicos de Yucatán permitirá conocer la realidad registrada por los arqueólogos y redefinir las clasificaciones de las estructuras que pudieran ser hornos para la producción de cal. El avance en la investigación de la producción de cal será posible con la publicación de mapas y artículos con referencia a las estructuras anulares, esto será el primer paso, es importante considerar que el desarrollo de la arqueología yucateca necesita tomar en cuenta las técnicas arqueométricas para avanzar y estar al nivel mundial de la ciencia arqueológica. Los recursos financieros pueden ser minimizados por convenios y apertura a las ciencias naturales e interdisciplinariedad dentro de las investigaciones arqueológicas. Por último, este pensamiento no

significa que no reconozca los esfuerzos llevados a cabo en la arqueología yucateca, sino solo es una llamada de atención sobre algunos aspectos que necesitan ser reconsiderados.

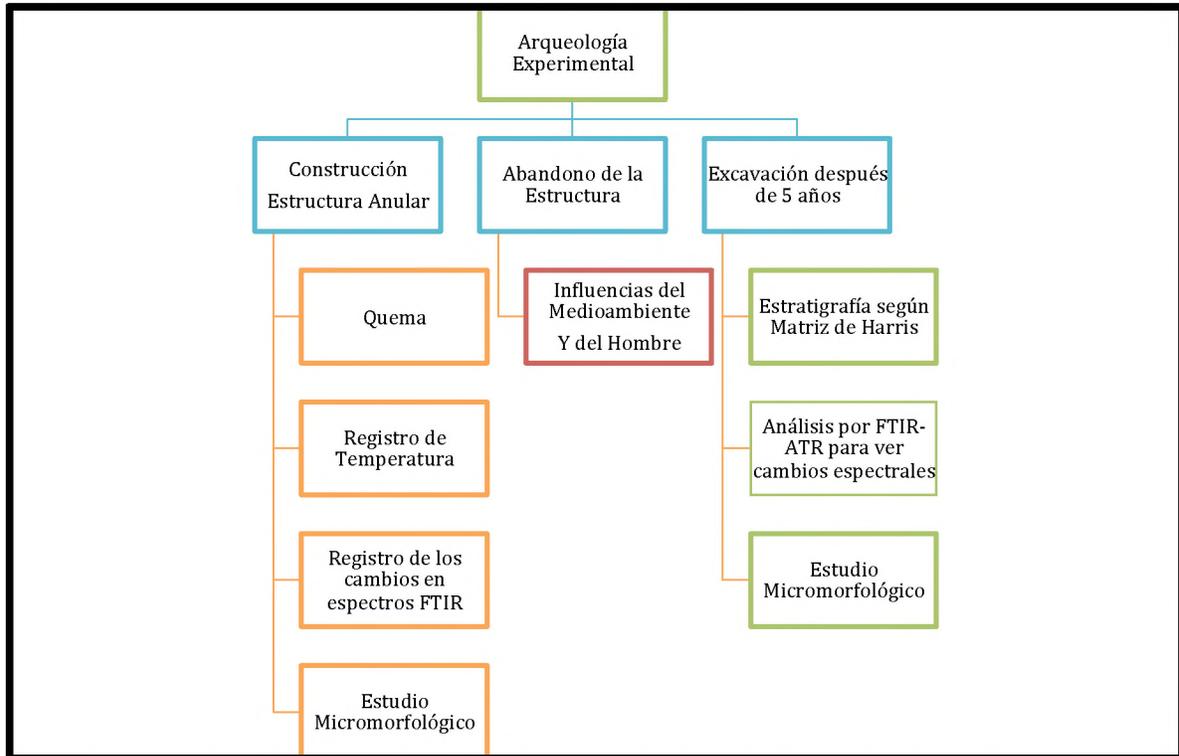


Figura 65. - Propuesta de Funcionamiento de las Estructuras Anulares

Referencias Citadas

- Abrams, Eliot M.
1994 *How the Maya Built their World: Energetics and Ancient Architecture*. University of Texas Press. Austin.
- Abrams, Elliot M. y Ann Corinne Freter
1996 A Late Classic Lime-plaster Kiln from the Maya Centre of Copan, Honduras, *Antiquity* 70: 422-428.
- Aitken, M. J.
1990 *Science-based Dating in Archaeology*. Harlow, Longman, Inglaterra.
- Alonso Olvera, Alejandra
2013 Agregados de Morteros y Conglomerados de Cal. En *La Cal. Historia, Propiedades y Usos*. Editado por Luis Barba Pingarrón e Isabel Villaseñor Alonso. Pp. 21-47. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Antropológicas, Asociación Nacional de Fabricantes de Cal A. C. México.
- Aldeias, Vera, Paul Goldberg, Dennis Sandgathe, Francesco Berna, Harold L. Dibble, Shannon P. McPherron, Alain Turq y Zeljko Rezek
2012 Evidence for Neandertal use of fire at Roc de Marsal (France). *Journal of Archaeological Science* 39:2414-2423.
- Alperson-Afil, Nira
2012 Archaeology of Fire: Methodological Aspects of Reconstructing Fire History of Prehistoric Archaeological Sites. *Earth-Science Reviews* 113:111-119.
- Ancona Aragón, Iliana, Eunice Uc González y Raúl Morales Uh
2013 Residencias Habitacionales de Elite en la Periferia de Oxkintok: La Evidencia Cerámica. Ponencia presentada en el *Encuentro Internacional de los Investigadores de la Cultura Maya*, Campeche, Campeche.
- Barba Pingarrón, Luis Alberto
2013 El Uso de la cal en el mundo prehispánico mesoamericano. En *La Cal. Historia, Propiedades y Usos*. Editado por Luis Barba Pingarrón e Isabel Villaseñor Alonso. Pp. 21-47. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Antropológicas, Asociación Nacional de Fabricantes de Cal A. C. México.
- 2007 Chemical residues in lime- plastered archaeological floors. *Geoarchaeology* 22(4):439-452.
- Barba Pingarrón, Luis ALberto, Roberto Rodriguez y José Luis Córdova
1991 Manual de técnicas microquímicas de campo para la arqueología. Cuadernos de Investigación. Instituto de Investigaciones Antropológicas, Universidad Nacional Autónoma de México
- Barba Pingarrón, Luis Alberto y José Luis Córdova Frunz
2010 *Materiales y Energía en la Arquitectura de Teotihuacan*. Instituto de Investigaciones Antropológicas, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F.

- 1999 Estudios Energéticos de la Producción de Cal en Tiempos Teotihuacanos y sus Implicaciones. *Latin American Antiquity* 10 (2): 168-179.
- Barba, Luis, Jorge Blancas, Linda Manzanilla, Agustín Ortiz, Donatella Barca, Gino Crisci, Domenico Miriello y Alessandra Pecci
 2009 Provenance of the Limestone Used in Teotihuacan (Mexico): A Methodological Approach. *Archaeometry* 51 (4): 525-545.
- Bedolla Arroyo, Juan Alberto
 2010 *Caracterización física Mecánica de los morteros de cal apagada. Propuesta de morteros según su uso y función ante los agentes comunes de deterioro*. Tesis de doctorado. Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo. Morelia.
- Betsen Evjenth, Silje
 2012 Size Matters: Preliminary Results from an Experimental Approach to Interpret Middle Stone Age Hearths. *Quaternary International* 270: 95-102
- 2014 Using Pyrotechnology: Fire-related Features and Activities with a Focus on the African Middle Stone Age. *Journal of Archaeological Research* 22:141-175.
- Boaretto, Elisabetta y Kristin M. Poduska
 2013 Materials Science Challenges in Radiocarbon Dating: The Case of Archaeological Plasters. *JOM: the Journal of Minerals, Metals & Materials Society* 65 (4): 481-488.
- Castanzo, Ronald A.
 2004 Proyecto de los hornos de Tepeaca. Informe entregado a FAMSI.
- Castanzo, Ronald A. y J. Heath Anderson
 2004 Formative Period lime kilns in Puebla, México. *Mexicon*, XXVI: 86-90.
- Carran, Dorn, John Hughes, Alick Leslie y Craig Kennedy
 2012 The Effect of Calcination Time upon the Slaking Properties of Quicklime. En *Historic Mortars. Characterisation, Assessment and Repair*, editado por Jan Válek John J. Hughes Caspar J.W.P. Groot, pp. 283-295, RILEM Bookseries, Springer. New York, London
- Cervera Díaz, Carlos
 2011 *Estructura 53-A*. Informe técnico. Centro INAH-Yucatán, Mérida.
- Chatfield, Melissa
 2010 Tracing Firing Technology through Clay Properties in Cuzco, Peru. *Journal of Archeological Science* 37:727-736.
- Chu, Vikki, Lior Regev, Steve Weiner y Elisabetta Boaretto
 2008 Differentiating between Anthropogenic Calcite in Plaster, Ash and Natural Calcite using Infrared Spectroscopy: Implications in Archaeology. *Journal of Archaeological Science* 35:905-911.
- Dana J. D. y Hurlbut J. R.

- 1960 *Manual de Mineralogía*. Editorial Reverte 2a edición. México, Buenos Aires.
- Derrick, Michele R., Dusan Stulik y James M. Laundry
 1999 *Infrared Spectroscopy in Conservation Science*. The Getty Conservation Institute, USA
- Dunning, Nicholas P.
 1992 *Lords of the Hills: Ancient Maya Settlement in the Puuc Region, Yucatán, México*. Monographs in World Archaeology No. 15. Prehistory Press. Madison, Wisconsin.
- 1991 Soil and Settlement in the Sayil Valley: A Preliminary Assessment. Appendix 1. En *The Ancient Maya City of Sayil: The Mapping of a Puuc Regional Center*. Editado por J. Sabloff y G. Tourtellot. Middle American Research Institute. Publicación 60. Tulane University, New Orleans.
- Freidel, David y Jeremy Sabloff
 1984 *Cozumel. Late Maya Settlement Patterns*. Academic Press. Orlando
- Frierman, J. D.
 1971 Lime Burning as the Precursor of Fired Ceramics. *Israel Exploration Journal* 21(4): 212-216.
- García Gil, Gerardo y Eduardo Graniel Castro
 2010 Geología. En *Biodiversidad y Desarrollo Humano en Yucatán*. Editado por R. Duran García y M. Méndez González. Pp.4-6. CICY, PPD-FMAM, Conabio, Seduma, Mérida, Yucatán.
- Garza Tarazona, Silvia y Edward B. Kurjack
 1980 *Atlas Arqueológico del Estado de Yucatán*. Instituto Nacional de Antropología e Historia. Mexico
- García Campillo, José Miguel
 1994 Comentario general sobre la epigrafía en Oxkintok. En *VII Simposio de Investigaciones Arqueológicas en Guatemala, 1993*; editado por J. P. Laporte y H. Escobedo. Pp. 586-599. Museo Nacional de Arqueología y Etnología, Guatemala.
- Galan, Isabel, Fredrik P. Glasser y Carmen Andrade
 2013 Calcium carbonate decomposition. *Journal of Thermal Analytic Calorim* 111:1197-1202
- Gillot, Céline
 2014 The Use of Pozzolanic Materials in Maya Mortars: New Evidence from Río Bec (Campeche, Mexico). *Journal of Archaeological Science* 47: 1-9.
- Gogichaishvili, Avto
 2014 Arqueomagnetismo. Informe entregado al Centro INAH-Yucatán.
- Goren, Y., y A.N. Goring-Morris
 2008 Early Pyrotechnology in the Near East: Experimental Lime-Plaster Production at the Pre-Pottery Neolithic B Site of Kfar HaHoresh, Israel. *Geoarchaeology: An International Journal* 23 (6): 779-798.
- Goren, Yuval y Paul Goldberg

- 1991 Petrographic Thin Sections and the Development of Neolithic Plaster Production in Northern Israel. *Journal of Field Archaeology* 18 (1): 131-138.
- Gourdin, W. H., y W. D. Kingery
1975 The Beginnings of Pyrotechnology: Neolithic and Egyptian Lime. *Journal of Field Archaeology* 2(1/2): 133-150
- Grove, David C. y Ann Cyphers Guillén
1987 The Excavations. En *Ancient Chalcatzingo*, editado por David C. Grove. Pp. 21-55. University of Texas Press. Austin.
- Hallsworth, C. R. y R. W. O'B. Knox
1999 *BGS Rock Classification Scheme, Vol. 3 Classification of Sediments and Sedimentary Rocks*. British Geological Survey Research Report, RR 99-03. Nottingham, UK.
- Hansen, Eric Floyd
2000 *Ancient Maya Burnt-Lime Technology: Cultural Implications of Technological Styles*. Tesis de doctorado Universidad de California, Los Ángeles.
- Hauptmann, Andreas y Ünsal Yalcin
2000 Lime Plaster, Cement and the First Puzzolanic Reaction. *Paléorient* 26(2): 61-68.
- Hueda-Tanabe, Y., A.M. Soler-Arechalde, J. Urrutia-Fucugauchi, L. Barba, L. Manzanilla, M. Rebolledo-Vieyra, A. Goguitchaichvili
2004 Archaeomagnetic Studies in Central Mexico-Dating of Mesoamerican Lime-Plasters. *Physics of the Earth and Planetary Interiors* 147: 269-283
- Hutson, Scott R., Travis W. Stanton, Aline Magnoni, Richard Terry y Jason Craner
2007 Beyond the Buildings: Formation Processes of Ancient Maya Houselots and Methods for the Study of Non-Architectural Space. *Journal of Anthropological Archaeology* 26:442-473
- Hutson, Scott R. y Richard E. Terry
2006 Recovering Social and Cultural Dynamics from Plaster Floors: Chemical Analyses at Ancient Chunchucmil, Yucatán, México. *Journal of Archaeological Science* 33: 391-404.
- Karkanias, Panagiotis
2007 Identification of Lime Plaster in Prehistory Using Petrographic Methods: A Review and Reconsideration of the Data on the Basis of Experimental and Case Studies. *Geoarchaeology: An International Journal* 22(7): 775-796.
- Karkanias, Panagiotis, Ruth Shahack-Gross, Avner Ayalon, Mira Bar-Matthews, Ran Barkai, Amos Frumkin, Avi Gopher, Mary C. Stiner
2007 Evidence for Habitual Use of Fire at the End of the Lower Paleolithic: Site-Formation Processes at Qesem Cave, Israel. *Journal of Human Evolution* 53:197-212.
- Kingery, W. David, Pamela B. Vandiver y Martha Prickett
1988 The Beginnings of Pyrotechnology, Part II: Production and Use of Lime and Gypsum Plaster in the Pre-Pottery Neolithic near. *Journal of Field Archaeology* 15 (2): 219-244.
- Kingery, W. David, Pamela B. Vandiver, y Tamar Noy

- 1992 An 8,500-Year-Old Sculpted Plaster Head from Jericho (Israel). *MRS Bulletin* 17 (01): 46-52.
- Letourneux, Jean-Pierre y Serge Feneuille
 2012 Mineralogical and Microstructural Analysis of Mortars from Kushite Archaeological Sites. En *Historic Mortars. Characterisation, Assessment and Repair*, editado por Jan Válek John J. Hughes Caspar J.W.P. Groot, pp. 37-47, RILEM Bookseries, Springer. New York, London.
- Littmann, Edwin R.
 1957 Ancient Mesoamerican Mortars, Plasters and Stuccos: Comalcalco Part. I. *American Antiquity* 23(2):135-140
- 1958 Ancient Mesoamerican Mortars, Plasters and Stuccos: Comalcalco Part. II. *American Antiquity* 23(3): 292-296.
- 1958a Ancient Mesoamerican Mortars, Plasters and Stuccos: The Composition and Origin of Sascab. *American Antiquity* 24(2): 172-176.
- 1959 Ancient Mesoamerican Mortars, Plasters and Stuccos: Las Flores, Tampico. *American Antiquity* 25(1): 117-119.
- 1959a Ancient Mesoamerican Mortars, Plasters and Stuccos: Palenque, Chiapas. *American Antiquity* 25(2): 264-266.
- 1960 Ancient Mesoamerican Mortars, Plasters and Stuccos: The Puuc Area. *American Antiquity* 25(3): 407-412.
- 1960a Ancient Mesoamerican Mortars, Plasters and Stuccos: The Use of Bark Extracts in Lime Plasters. *American Antiquity* 25(4): 593-597.
- 1962 Ancient Mesoamerican Mortars, Plasters and Stuccos: Floor Constructions at Uaxactun. *American Antiquity* 28(1): 100-103.
- 1966 The Classification and Analysis of Ancient Calcareous Materials. *American Antiquity* 31(6): 875-878.
- Linford, P.
 2006 *Archaeomagnetic Dating. Guidelines on Producing and Interpreting Archaeomagnetic Dates*. Swindon, English Heritage, Reino Unido.
- Luque, Ana, Giuseppe Cultrone and Eduardo Sebastián
 2010 The Use of Lime Mortars in Restoration Work on Architectural Heritage. En *Materials, Technologies and Practice in Historic Heritage Structures*, editado por Maria Bostenaru Dan, Richard Pikryl y Ákos Török, pp. 197-208. Springer London, New York.
- Mackinnon, Jefferson y Emily May
 1990 Small-scale Maya Lime Making in Belize Ancient and Modern. *Ancient Mesoamérica* 1: 197-203.
- Magnoni, Aline, Scott R. Hutson y Bruce H. Dahlin

2012 Living in the City: Settlement Patterns and the Urban Experience at Classic Period Chunchucmil, Yucatán Mexico. *Ancient Mesoamerica* 23(02): 313-343

Magnoni, Aline, Scott R. Hutson y Travis Stanton

2008 Landscape Transformations and Changing Perceptions at Chunchucmil, Yucatán. En *Ruins of the Past: The Use and Perception of Abandoned Structures in the Maya Lowlands*, Editado por Travis Stanton and Aline Magnoni. Pp. 193-222. University Press of Colorado, Boulder.

Magaloni Kerpel, Diana

2001 Materiales y técnicas de la pintura mural Maya. En *La Pintura Mural Prehispánica en México. II Área Maya* (Tomo III) Estudios. Coordinadora Beatriz de la Fuente y Leticia Staines Cicero. Pp. 155-198. Instituto de Investigaciones Estéticas, Universidad Autónoma de México, México D. F.

Malainey, Mary E.

2011 *A Consumer's Guide to Archaeological Science. Analytical Techniques*. Springer, New York y London.

Mallol, Carolina, Cristo M. Hernández, Dan Cabanes, Jorge Machado, Ainara Sistiaga, Leopoldo Pérez, Bertila Galván

2013 Human Actions Performed on Simple Combustion Structures: An Experimental Approach to the Study of Middle Palaeolithic Fire. *Quaternary International* 315:3-15.

Mallol Carolina, Cristo M. Hernández, Dan Cabanes, Ainara Sistiaga, Jorge Machado, Ágata Rodríguez, Leopoldo Pérez, Bertila Galván.

2014 The Black Layer of Middle Palaeolithic Combustion Structures. Interpretation and Archaeostratigraphic Implications. *Journal of Archaeological Science* 40: 2515-2537.

Martin Arana, Raúl

1987 Classic and Postclassic Chalcatzingo. En *Ancient Chalcatzingo*, editado por David C. Grove. Pp. 387-399. University of Texas Press, Austin

Mazullo S. J, C. S. Teal y Elizabeth Graham

1994 Mineralogic and Crystallographic Evidence of Lime Processing, Santa Cruz Maya Site (Classic to Postclassic) Ambergris Caye, Belize. *Journal of Archaeological Science* 21:785-795.

Medonnell, J. G.

2001 Pyrotecnology. En *Handbook of Archaeological Sciences*. Editado por D. R. Broothwell y A. M. Pollard, Pp. 493-505. John Wiley and Sons Ltd., New York.

Mentzer, Susan M.

2014 Microarchaeological Approaches to the Identification and Interpretation of Combustion Features in Prehistoric Archaeological Sites. *Journal of Archaeological Method and Theory* 21:616-668.

Miriello, D., A. Bloise y G. M. Crisci, M. Á. Cau Ontiveros, A. Pecci y M. Riera Rullan

2013 Compositional Analyses of Mortars from the Late Antique Site of Son Peretó (Mallorca, Balearic Islands, Spain): Archaeological Implications. *Archaeometry* 55(6): 1101–1121.

- Miriello, D., D. Barca, A. Pecci, R. de Luca, G. M. Crisci, L. López Luján, L. barba
 2013a Plasters from Different Buildings of the Sacred Precinct of Tenochtitlan (México City): Characterization and Provenance. *Archaeometry* 1-28. doi: 10.1111/arc.12074.
- Morales, Juan, Avto Goguitchaichvili, Bertha Aguilar-Reyes, Modesto Pineda-Duran, Pierre Camps, Claire Carvallo, Manuel Calvo-Rathert
 2011 Are ceramics and bricks reliable absolute geomagnetic intensity carriers? *Physics of the Earth and Planetary Interiors* 187:310-321
- Morris, Earl H.; Jean Charlot y Ann Axtell Morris
 1931 *The Temple of the Warriors at ChichénItzá, Yucatán*. Volumen I. Publicación 406. Carnegie Institution of Washington. Washington, D. C.
- Murakami, Tatsuya, Gregory Hodgins y Arleyn W. Simon
 2013 Characterization of Lime Carbonates in Plasters from Teotihuacan, Mexico: Preliminary Results of Cathodoluminescence and Carbon Isotope Analyses. *Journal of Archaeological Science* 40:960-970.
- Moropoulou, Antonia, Asterios Bakolas, Eleni Aggelakopoulou
 2001 The Effects of Limestone Characteristics and Calcination Temperature to the Reactivity of the Quicklime. *Cement and Concrete Research* 31: 633-639
- Obregón Cardona, Mauricio
 2012 *Arqueología del ámbito doméstico en los Andes Noroccidentales. Diferenciación social, usos del espacio y procesos de formación en dos lugares de habitación tardíos del valle de Arrubá Colombia*. Tesis de Doctorado Instituto de Investigaciones Antropológicas, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Obregón Cardona, Mauricio, Luis Alberto Barba Pingarrón, Agustín Ortiz Butrón y Liliana Gómez Lodoño
 2011 Transformaciones antrópicas del suelo en un lugar de habitación prehispánico en los Andes noroccidentales. *TRACE* 59: 90-104
- Ortiz Ruiz, Maria Soledad
 2014 Los Hornos para Cal en el Área Maya: Caracterización de una Tecnología Prehispánica. Ponencia presentada en el 79th Annual Meeting de la Sociedad Americana de Arqueología. Abril 2014.
 2013 Ideas sobre la función de los hornos de cocción en Yucatán. Ponencia presentada en el IX Congreso Internacional de Mayistas: Los Mayas en el Contexto de las Culturas Mesoamericanas. Campeche, Campeche. Junio 2013.
 2012 Informe Técnico de los Trabajos Realizados en el Banco de Material Proser km. 113+500 del Tramo IV de la Carretera Federal 180 Mérida-Campeche (Límites de los Estados de Yucatán y Campeche) Parte 2. Centro INAH-Yucatán.
 2012a Informe Técnico de los Trabajos Realizados en el Sitio de Santa Bárbara-Paraíso. Centro INAH-Yucatán.
 2012 b Informe Técnico Salvamento Arqueológico Carretera Federal 180 Mérida-Campeche (Límites de los Estados de Yucatán y Campeche). Centro INAH-Yucatán.

- 2011 Informe Técnico de los Trabajos Realizados en el Banco de Material Canteras Peninsulares km. 108+500 del Tramo V de la Carretera Federal 180 Mérida-Campeche (Límites de los Estados de Yucatán y Campeche). Centro INAH-Yucatán.
- 2011a Informe Técnico de los Trabajos Realizados en el Banco de Material Proser km. 113+500 del Tramo IV de la Carretera Federal 180 Mérida-Campeche (Límites de los Estados de Yucatán y Campeche) Parte 1. Centro INAH-Yucatán.
- Palma Linares Vladimira
- 2010 Historia de la producción de cal en el norte de la cuenca de México. *Ciencia ergo sum* 16-3: 227-234. Universidad Autónoma del Estado de México.
- Philokyprou, Maria
- 2012 The Beginnings of Pyrotechnology in Cyprus. *International Journal of Architectural Heritage: Conservation, Analysis, and Restoration* 6 (2): 172-199.
- 2012a The Earliest Use of Lime and Gypsum Mortars in Cyprus. En *Historic Mortars. Characterisation, Assessment and Repair*, editado por Jan Válek John J. Hughes Caspar J.W.P. Groot, pp. 25-35, RILEM Bookseries, Springer. New York, London
- Price Douglas T. y James H. Burton
- 2011 *An Introduction to Archaeological Chemistry*. Springer, New York
- Rapp, George
- 2009 *Archaeomineralogy*. Springer, Arizona, USA
- Redfield, Robert y Alfonso Villa Rojas
- 1962 *Chan Kom. A Maya Village*. The University of Chicago Press. Chicago, Londres.
- Regev, Lior, Kristin M. Poduska, Lia Addadi, Steve Weiner y Elisabetta Boaretto
- 2010 Distinguishing between Calcites formed by Different Mechanisms using Infrared Spectrometry: Archaeological Applications. *Journal of Archaeological Science* 37: 3033-3029.
- Rice, Prudence M.
- 1994 The Kilns of Moquegua, Peru: Technology, Excavations, and Functions. *Journal of Field Archaeology* 21(3): 325-344.
- Ringbom, Åsa, Alf Lindroos, Jan Heinemeier y Pia Sonck-Koota
- 2014 19 Years of Mortar Dating: Learning from Experience. *Radiocarbon* 56 (2): 619-635.
- Russell Bradley
- 2008 Postclassic Maya Settlement on the Rural-Urban Fringe of Mayapán, Yucatan, Mexico: Results of the Mayapán Periphery Project. Ph.D. dissertation, Department of Anthropology, The University at Albany-SUNY, Albany, New York.
- Russell Bradley W. y Bruce H. Dahlin
- 2007 Traditional Burnt-lime Production at Mayapán. *Journal of Field Archaeology* 32(4): 407-423.
- Ruvalcaba Sil, José Luis

2011 Los Artefactos nos cuentan su Historia. La Caracterización de los Materiales Arqueológicos. *Ciencias* 104: 71-77.

Rye, Owen S.

1981 *Pottery Technology. Principles and Reconstruction*. Manuals on Archaeology 4. Taraxacum, Washington.

Sabloff, Jeremy y GairTourtellot

1991 *The Ancient Maya City of Sayil: The Mapping of a Puuc Regional Center*. Middle American Research Institute. Publicación 60. Tulane University, New Orleans.

Sandgathe, Dennis M., Harold L. Dibble, Paul Goldberg, Shannon P. Mcpherron, Alain Turq, Laura Niven, Jamie Hodgkins

2011 On the Role of Fire in Neandertal Adaptations in Western Europe: Evidence from Pech de l'Azé IV and Roc de Marsal, France. *PaleoAnthropology*: 216-242.

Schreiner, Thomas

2004 Mesoamerican Lime Burning Technology: A Possible Method for Incipient Industries of the Early Near East. En *The Last Hunter-Gatherer Societies in the Near East*. Edit C. Delage. Oxford: John and Erica Hedges. BAR International Series. 1-14.

2002 *Traditional Maya Lime Production: Environmental and Cultural Implications of a Native American Technology*. Tesis para optar al grado de doctor en Filosofía en Arquitectura. Universidad de California, Berkeley.

2001 Fabricación de cal en Mesoamérica: implicaciones para los Mayas del preclásico en Nakbe, Peten. En *XIV Simposio de Investigaciones Arqueológicas en Guatemala 2000* editado por J.P. Laporte, A. C. Suasnávar y B. Arroyo, pp. 356-368. Museo Nacional de Arqueología y Etnología, Guatemala.

Sierra Sosa, Thelma Noemí y Ángel Martínez Lizarraga

2013 La utilidad de los hornos en los sitios prehispánicos de la zona sur del estado de Yucatán. Ponencia presentada en el IX Congreso Internacional de Mayistas, 27 de junio de 2013 Campeche, Campeche.

Smith, Gregory D. y Robin J. H. Clark

2004 Raman Microscopy in Archaeological Science. *Journal of Archaeological Science* 31: 1137-1160.

Soler-Arechalde, A. M., F. Sánchez, M. Rodriguez, C. Caballero-Miranda, A. Gogutchashvili, J. Urrutia-Fucugauchi, L. Manzanilla, and D. H. Tarling

2006 Archaeomagnetic Investigation of Oriented Pre-Columbian Lime-Plasters from Teotihuacan, Mesoamerica. *Earth Planets Space* 58: 1433-1439.

Stanton Travis y Aline Magnoni

2008 Places of Remembrance: The Use and Perception of Abandoned Structures in the Maya Lowlands. En *Ruins of the Past: The Use and Perception of Abandoned Structures in the*

Maya Lowlands, Editado por Travis Stanton and Aline Magnoni. Pp. 1-24. University Press of Colorado, Boulder.

Stanton, Travis W. y Socorro Jiménez

2007 La Cerámica de Santa Bárbara dentro del Contexto Socio-Político del Occidente de Yucatán. *Investigadores de la Cultura Maya* 15(II): 347-358.

Stanton, Travis

2005 *Proyecto Santa Bárbara, México*. Informe entregado a Famsi

Stanton, Travis W., Ramón Carrillo Sánchez, Teresa Ceballos Gallareta, Markus Eberl, Socorro Jiménez Álvarez y Julieta Ramos Pacheco

2003 Puuc Settlement on the Northwest Coastal Plain of Yucatán: Preliminary Research from Santa Bárbara. *Mexicon* 25: 24-33.

Sternberg, Robert S.

1997 Archaeomagnetic Dating. En *Chronometric Dating in Archaeology*. Advances in Archaeological and museum Science. Vol. 2. Editado por Taylor, R. E. y Martin J. Aitken. Pp. 323-356. Plenum Press, New York y London.

2001 Magnetic Properties and Archaeomagnetism. En *Handbook of Archaeological Sciences*. Editado por Brothwell, D. R. y A. M. Pollard. Pp. 73-79. John Willey and Sons, LTD. New York, Toronto.

Thibodeau, Megan

2013 Maya Pyrotechnology and Plaster: Integrating Micromorphology and Fourier-Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) at San Bartolo and Xultun, Guatemala. Trabajo independiente para distinción, Archaeology Department, College of Arts and Sciences, Boston University.

Uc González, Eunice y Raúl Morales Uh

2013 Distribución de los hornos de cocción y su relación con sitios del surponiente del estado de Yucatán. Ponencia presentada en el *IX Congreso Internacional de Mayistas: Los Mayas en el contexto de las culturas americanas*. Centro de Estudios Mayas, IIFL, UNAM, Campeche, Campeche del 23 al 29 de junio de 2013.

2012 Límites Territoriales de Interacción Puuc en el Surponiente de Yucatán. Ponencia presentada en el *54 International Congress of Americanists. Building Dialogues in the Americas*, Julio, Viena, Austria.

2010 *Proyecto de Salvamento Carretera Federal 180 Mérida-Campeche (Límites de los estados de Yucatán y Campeche)*. Centro INAH-Yucatán.

Varela, Carmen

1996 La Secuencia Histórica de Oxkintok: Problemas Cronológicos y Metodológicos desde el punto de vista de la Cerámica. *Revista Española de Antropología Americana* 26: 29-55.

Vázquez de Ágredos Pascual, María Luisa

2010 *La pintura mural Maya. Materiales y técnicas artísticas*. Serie Monografías 11. Centro Peninsular en Humanidades y Ciencias Sociales, Universidad Autónoma de México, Mérida.

Vidal Lorenzo, Cristina

1997 Arquitectura Maya: Un Nuevo Enfoque para la Clasificación Estilística de los Edificios del Norte de Yucatan. *Ars Longa* 7-8:15-31

Villaseñor Alonso, Isabel y Renata Schneider

2013 Principios Generales para la Preparación de Argamasas. En *La Cal. Historia, Propiedades y Usos*. Editado por Luis Barba Pingarrón e Isabel Villaseñor Alonso. Pp. 21-47. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Antropológicas, Asociación Nacional de Fabricantes de Cal A. C. México.

Villaseñor Alonso, Isabel y Luis Barba Pingarrón

2012 Los orígenes tecnológicos de la cal. *Cuiculco Nueva Epoca* 19 (55):11-41.

Villaseñor Alonso, Isabel

2010 *Building Materials of the Ancient Maya. A Study of Archaeological Plasters*. Lambert, Saarbrücken

Villaseñor Alonso, Isabel y Luis Alberto Barba Pingarrón

2011 El Estudio de Materiales Constructivos en la Arqueología Mesoamericana. *Anales de Antropología* 45:79-98.

Villaseñor Alonso, Isabel y Elizabeth Graham

2010 The use of volcanic material for the manufacture of pozzolanic plasters in the Maya lowlands: a preliminary report. *Journal of Archaeological Science* 37: 1339-1347

Villaseñor, Isabel y Clifford A. Price

2008 Technology and Decay of Magnesian Lime Plasters: The Sculptures of the Funerary Crypt of Palenque, México. *Journal of Archaeological Science* 35: 1030-1039.

Weiner, Stephen

2010 *Microarchaeology. Beyond the Visible Archaeological Record*. Cambridge University Press, Cambridge, New York.

Wernecke, D. Clark

2008 A burning question: Maya lime technology and the Maya forest, *Journal of Ethnobiology* 28 (2): 200-210.

2005 *A Stone Canvas: Interpreting Maya Building Materials and Construction Technology*. Ph. D. Dissertation. University of Texas at Austin. Austin.

Wingate, M.

1985 *Small-Scale Lime-Burning a Practical Introduction*. Intermediate Technology Publications. London.

Zouridakis, Nikolaos M., Ioannis G. Economou, Konstantinos P. Tzevelekos, Efstathios S. Kikkinides.

2000 Investigation of the Physicochemical Characteristics of Ancient Mortars by Static and Dynamic Studies. *Cement and Concrete Research* 30: 1151-1155

Base de datos

RRUFF (<http://rruff.info/>)

Mindat (<http://www.mindat.org>)