



**Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo**

---

**Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Tierra**



**GEOQUÍMICA DE OBSIDIANA EN CERÁMICA Y OBJETOS PRECOLOMBINOS DEL  
CENTRO-OCCIDENTE DE MÉXICO. PROCEDENCIA Y REDES DE COMERCIO**

**Tesis**

**Que para obtener el grado de Maestra en:  
Geociencias y Planificación del Territorio**

**Presenta:**

**Arqloga. Amalia Alejandra Herrera Novelo**

**Asesor interno:**

**Dr. Pedro Corona Chávez**

**Asesor externo:**

**Dr. Jasinto Robles Camacho**

**Morelia, Michoacán**

**Julio de 2019**

## **AGRADECIMIENTOS**

- ✓ Agradezco a la beca CONACyT por el apoyo económico para realizar esta tesis.
- ✓ Al Proyecto LARQUEOC por brindarme acceso a las muestras analizadas para la realización de este trabajo
- ✓ Al Dr Victor Garduño Monroy por su apoyo en el inicio de la redacción de este trabajo.
- ✓ Al Instituto Nacional de Antropología e Historia Michoacán por facilitarme sus instalaciones para realizar parte del trabajo en los análisis de las muestras y apoyo en las salidas a campo.
- ✓ A la Universidad Nacional Autónoma de México por permitirme la realización de análisis en microsonda en las instalaciones del instituto de Geofísica Unidad Morelia.
- ✓ Al Dr Giovanni Sosa, a la Dra Noemí Salazar, al M. en C. Felipe Tenorio por su apoyo técnico en el uso de la microsonda.
- ✓ Al M. en C. José Luis Cortés por su apoyo técnico en el INAH.
- ✓ A los miembros del comité por el apoyo en la realización de este trabajo.
- ✓ Al Dr Jasinto Robles por su asesoramiento durante todo el proceso de mi maestría
- ✓ Al Dr. Pedro Corona por su apoyo y tiempo dedicado en esta tesis.

**Para mi esposo e hijo  
A mis padres  
A mi familia en Michoacán**

## ÍNDICE GENERAL

<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO</b> -----	<b>5</b>
<b>CAPÍTULO III. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS</b> -----	<b>7</b>
III.1 Justificación-----	7
III.2. Objetivo General -----	7
III.3. Objetivos específicos-----	8
<b>CAPÍTULO IV. ANTECEDENTES</b>	<b>9</b>
IV.1. Geología de la Faja Volcánica Transmexicana (FVTM)-----	9
IV.2. Zona de la FVTM de Michoacán-----	9
IV.3. Geoquímica de la Faja Volcánica Transmexicana (FVTM)-----	13
IV.4. Obsidiana en Mesoamérica-----	13
IV.5. Obsidiana en Michoacán-----	15
IV.5.1 Yacimientos de obsidiana importantes en Michoacán en la época prehispánica-----	15
IV.6. La cerámica-----	16
IV.6.1. Cerámica en Mesoamérica-----	16
IV.6.2. Cerámica en noreste de Michoacán-----	17
IV.7. Caminos y rutas comerciales en Michoacán-----	18
<b>CAPÍTULO V. ÁREA DE ESTUDIO</b>	<b>20</b>
V.1. Región Michoacán-----	20
V.2. Zonas arqueológicas con muestras seleccionadas para estudio-----	21
V.2.1. Huandacareo (La Nopalera) -----	23
V.2.2. Zacapu (región Milpillas) -----	25
V.2.3. La Mina (Álvaro Obregón) -----	27
V.2.4. Zaragoza-----	29
V.3. Yacimientos de obsidiana-----	31
V.3.1. Yacimiento de Ucareo-----	31

V.3.2. Yacimiento de Zinapécuaro-----	34
V.3.3. Yacimiento de Pénjamo, Guanajuato-----	37
<b>CAPÍTULO VI. MATERIALES SELECCIONADOS Y MÉTODOS ANALÍTICOS</b>	<b>39</b>
VI.1. Área geo-cultural de estudio-----	39
VI.2. Muestras seleccionadas para análisis-----	39
VI.2.1 Descripción de los materiales culturales por estudiar-----	39
VI.2.2 Análisis tipológico de cerámica-----	42
VI.3. Estratigrafía-----	45
VI.4. Análisis petrográfico-----	49
VI.5. Análisis por microsonda-----	50
VI.6. Análisis estadístico-----	52
VI.6.1. Análisis discriminantes-----	53
VI.6.2. Análisis de los componentes principales-----	53
<b>CAPÍTULO VII. RESULTADOS</b>	<b>55</b>
VII.1. Mineralogía modal de la cerámica-----	55
VII.2. Microanálisis de obsidiana y análisis estadístico de resultados-----	63
<b>CAPÍTULO VIII. DISCUSIÓN</b>	<b>84</b>
<b>CAPÍTULO IX. CONCLUSIONES</b>	<b>90</b>
<b>CAPÍTULO X. REFERENCIAS</b>	<b>92</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>CAPÍTULO IV. ANTECEDENTES</b>	<b>9</b>
<b>Figura 1.</b> Provincia geológica de la Faja Volcánica Transmexicana (FVTM), con la ubicación de yacimientos de obsidiana (Después de Cobean, 2002).	<b>10</b>
<b>Figura 2.</b> Región con vulcanismo reciente en el Estado de Michoacán (dominio del CVTM).	<b>12</b>
<b>CAPÍTULO V. ÁREA DE ESTUDIO</b>	<b>20</b>
<b>Figura 3.</b> Mapa de área de estudio donde se identifican las zonas arqueológicas y los yacimientos de obsidiana de donde se obtuvieron las muestras de cerámica, objetos arqueológicos y de roca in situ.	<b>22</b>
<b>Figura 4.</b> Zona arqueológica de Huandacareo (La Nopalera). Imagen tomada por Ramiro Aguayo.	<b>23</b>
<b>Figura 5.</b> Marco geológico de la zona arqueológica de Huandacareo.	<b>24</b>
<b>Figura 6.</b> Excavaciones en zonas habitacionales de Malpaís Prieto, municipio de Zacapu (Imagen de G. Roux/Proyecto Uacúsecha).	<b>25</b>
<b>Figura 7.</b> Marco geológico de Zacapu con ilustración de sitio arqueológico.	<b>26</b>
<b>Figura 8.</b> Entierro de La Mina, en Álvaro Obregón, Michoacán, donde se encontraron evidencias de un asentamiento arqueológico (imágenes tomadas por Dalia Maisner-postal/ Ramiro Aguayo Haro-hallazgo).	<b>27</b>
<b>Figura 9.</b> Geología de la zona arqueológica de la parte sur del lago de Cuitzeo, donde se ubica el sitio de La Mina.	<b>28</b>

**Figura 10.** Pirámide, juego de pelota y otras estructuras del sitio arqueológico de Zaragoza (imagen tomada por Eugenia Fernández-Villanueva). **29**

**Figura 11.** Marco geológico de la porción noroeste de Michoacán y límites con el estado de Guanajuato, donde se localiza la zona arqueológica de Zaragoza. **30**

**Figura 12.** Ubicación de los yacimientos de obsidiana considerados en el presente estudio. **31**

**Figura 13.** Ubicación y entorno geológico del yacimiento de Ucareo. **33**

**Figura 14.** Zona de desecho de talla del yacimiento de Ucareo. **34**

**Figura 15.** Ubicación y ambiente geológico del yacimiento de obsidiana de Zinapécuaro. **36**

**Figura 16.** Ambiente geológico en el entorno del yacimiento de obsidiana de Pénjamo, Guanajuato. **38**

## **CAPÍTULO VI. MATERIALES SELECCIONADOS Y MÉTODOS ANALÍTICOS 39**

**Figura 17.** Muestras de cerámica de los sitios de Huandacareo, Zacapu, La Mina y Zaragoza vistas a microscopio estereoscópico, donde se indica presencia de clastos de obsidiana. **41**

**Figura 18.** Muestras de navajillas de obsidiana de los sitios: a) Huandacareo, b) La Mina y c) Zaragoza, d, e y f) Huandacareo. **42**

**Figura 19.** Muestras de obsidiana tratadas para análisis por microsonda de electrones; donde pueden observarse los cuatro diferentes tipos de obsidiana encontradas en los sitios de Huandacareo, La Mina y Zaragoza contrastadas con una muestra del yacimiento de Ucareo; a) verde, b) negra, c) gris, obsidiana gris con bandas de color gris claro y, e) **42**

obsidiana del yacimiento de Ucareo, Michoacán.

**Figura 20.** Tipología de cerámica en Huandacareo: a) figurilla antropomorfa, b) Rojo sobre crema, c) Capujo rojo y blanco sobre crema, d) Sipiho gris engobe crema, e) Incisa negro sobre crema, f) Uricho rojo y blanco sobre bayo con negativo, g) Rojo negativo, h) Negro sobre crema y crema, i) Rojo y blanco sobre crema. **43**

**Figura 21.** Tipología de cerámica en Zacapu: a) Rojo sobre crema tipo tres palos, b) Agropecuario blanco sobre rojo, c) Negativo sobre rojo, d) Urumbecuario rojo mate, e) Agropecuario blanco y negro sobre rojo, f) Zacapu rojo, g) Zacapu café, h) Uricho bayo. **44**

**Figura 22.** Tipología de cerámica de La Mina: a) Incisas, b) Tres Palos rojo sobre crema, c) Urumbecuario rojo mate, d) Lupe pulido, e) Uricho café, f) Uricho rojo y blanco sobre crema, g) Arócutin rojo negativo, h) Tariacuri burdo, i) Uricho bayo. **45**

**Figura 23.** Ilustración de la Tipología representada en cerámica de Zaragoza: a) Nopal (anaranjado), b) Tepame (rojo), c) Chupiri (café pulido), d) Mimosa (rojo bayo), e) Capulín (rojo liso). **46**

**Figura 24.** Estratigrafía de la zona arqueológica donde se obtuvieron las muestras de cerámica y objetos arqueológicos de obsidiana en Huandacareo. **47**

**Figura 25.** Estratigrafía de la zona arqueológica donde se obtuvieron las muestras de cerámica y objetos arqueológicos de obsidiana en Zacapu. **47**

**Figura 26.** Estratigrafía de la zona arqueológica donde se obtuvieron las muestras de cerámica y objetos arqueológicos de obsidiana en La Mina. **48**

**Figura 27.** Estratigrafía de la zona arqueológica donde se obtuvieron las muestras de cerámica y objetos arqueológicos de obsidiana del sitio Zaragoza. **48**

**Figura 28.** Láminas de 30  $\mu\text{m}$  de espesor para petrografía de rocas. **50**



**Figura 29.** Soporte para muestras en láminas y núcleos. **51**

**CAPÍTULO VII. RESULTADOS** **55**

**Figura 30.** Gráfica de clasificación de las muestras a partir de un análisis estadístico con función discriminante de sitios vs porcentajes de minerales encontrados en muestras de cerámica. **61**

**Figura 31.** Clastos de obsidiana en cerámica, reconocida en láminas delgadas con uso de microscopio petrográfico: LMa, LMb y LMc = muestras del sitio La Mina; Zara, Zarb y Zarc = muestras de sitio Zaragoza; H1, H2 y H3 = muestras del sitio Huandacareo; Z1, Z2 y Z3 = muestras del sitio Zacapu. **62**

**Figura 32.** Diagrama TAS donde se puede observar la concentración de las muestras analizadas en el tipo de roca riolítica entre las series alcalina y subalcalina. **70**

**Figura 33.** Gráfica de análisis discriminante de dos variables (K<sub>2</sub>O % vs CaO %) en la que se puede observar la agrupación de las muestras de los tres yacimientos estudiados **77**

**Figura 34.** Gráfica de análisis discriminante de dos variables (MnO % vs CaO %) en la que se puede observar la agrupación de las muestras de los tres yacimientos estudiados. **78**

**Figura 35.** Gráfica de análisis discriminante de dos variables (MnO % vs FeO %) en la que se puede observar la agrupación de las muestras de los tres yacimientos estudiados. **78**

**Figura 36.** Gráfica de análisis discriminante de dos variables (K<sub>2</sub>O % vs CaO %) en la que se puede observar la agrupación de las muestras de objetos con respecto al yacimiento de donde probablemente se obtuvo la materia prima para su elaboración; con una clasificación total del 91.66%. **80**

**Figura 37.** Gráfica de análisis discriminante de dos variables (MnO % vs **81**

CaO %) en la que se puede observar la agrupación de las muestras de objetos con respecto al yacimiento de donde probablemente se obtuvo la materia prima para su elaboración; con una clasificación total del 91.66%.

**Figura 38.** Gráfica de análisis discriminante de dos variables (MnO % vs FeO %) en la que se puede observar la agrupación de las muestras de objetos con respecto al yacimiento de donde probablemente se obtuvo la materia prima para su elaboración; con una clasificación total del 91.66%. **82**

## **CAPÍTULO VIII. DISCUSIÓN** **84**

**Figura 39.** Modelo propuesto que ilustra probables rutas de extracción y comercio de la obsidiana encontradas como objetos rescatados de las zonas arqueológicas de Huandacareo, La Mina, Zacapu y Zaragoza. **89**

## **CAPÍTULO IX. CONCLUSIONES** **90**

## **CAPÍTULO X. REFERENCIAS**

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>CAPÍTULO V. ÁREA DE ESTUDIO</b>	<b>20</b>
<b>Tabla 1.</b> Línea del tiempo de ciudades importantes localizadas en Michoacán.	<b>21</b>
<b>CAPÍTULO VI. MATERIALES SELECCIONADOS Y MÉTODOS ANALÍTICOS</b>	<b>39</b>
<b>Tabla 2.</b> Relación de muestras consideradas en el presente estudio.	<b>40</b>
<b>Tabla 3.</b> Condiciones de mediciones por elemento calibrado.	<b>51</b>
<b>CAPÍTULO VII: RESULTADOS</b>	<b>55</b>
<b>Tabla 4.</b> Análisis petrográfico de muestras de cerámica del sitio de Huandacareo.	<b>55</b>
<b>Tabla 5.</b> Análisis petrográfico de muestras de cerámica del sitio de Zacapu.	<b>56</b>
<b>Tabla 6.</b> Análisis petrográfico de muestras de cerámica del sitio de La Mina.	<b>57</b>
<b>Tabla 7.</b> Análisis petrográfico de muestras de cerámica del sitio de Zaragoza.	<b>58</b>
<b>Tabla 8.</b> Estadística descriptiva del análisis petrográfico en muestras de cerámica con clastos de obsidiana.	<b>59</b>
<b>Tabla 9.</b> Análisis estadístico de correlación para resultados de análisis petrográfico	<b>59</b>
<b>Tabla 10.</b> Clasificación de las muestras a partir de un análisis estadístico con función discriminante de sitios vs porcentajes de minerales encontrados en muestras de cerámica.	<b>60</b>

<b>Tabla 11.</b> Composición química de los elementos mayores y elementos traza de muestras de objetos de obsidiana y de los yacimientos, analizados por Microsonda electrónica de Barrido	<b>64</b>
<b>Tabla 12.</b> Resumen estadístico de los análisis químicos medidos por microsonda en obsidiana cultural y geológica.	<b>72</b>
<b>Tabla 13.</b> Análisis estadístico de correlación de Pearson de los resultados de EPMA para objetos de la zona arqueológica de Huandacareo.	<b>74</b>
<b>Tabla 14.</b> Análisis estadístico de correlación de Pearson de los resultados de EPMA para objetos de la zona arqueológica de La Mina.	<b>75</b>
<b>Tabla 15.</b> Análisis estadístico de correlación de Pearson de los resultados de EPMA para objetos de la zona arqueológica de Zaragoza.	<b>76</b>
<b>Tabla 16.</b> Tabla de clasificación de las muestras a partir de un análisis estadístico con función discriminante de $K_2O$ vs $CaO$ para muestras de objetos de obsidiana.	<b>80</b>
<b>Tabla 17.</b> Tabla de clasificación de las muestras a partir de un análisis estadístico con función discriminante de $MnO$ vs $CaO$ para muestras de objetos de obsidiana.	<b>81</b>
<b>Tabla 18.</b> Tabla de clasificación de las muestras a partir de un análisis estadístico con función discriminante de $MnO$ vs $FeO$ encontrados en muestras de objetos de obsidiana.	<b>82</b>
 <b>CAPÍTULO VIII. DISCUSIÓN</b>	 <b>84</b>
 <b>CAPÍTULO IX. CONCLUSIONES</b>	 <b>90</b>

## RESUMEN

En este trabajo se presentan los resultados del estudio petrográfico y de microsonda electrónica realizados para la caracterización química de obsidiana componente de piezas arqueológicas, así como de objetos cerámicos de contexto cultural de sociedades precolombinas asentadas en la parte norte del actual estado de Michoacán, México. Los materiales seleccionados corresponden a objetos recuperados durante excavaciones realizadas en los sitios de Zaragoza (La Piedad), Zacapu, La Nopalera (Huandacareo), La Mina (Álvaro Obregón) y de yacimientos de obsidiana de Ucareo, Zinapécuaro y Pénjamo para su comparación; aunque estos sitios tuvieron auge durante el Clásico (200-650 d.C.), Epiclásico (650-900 d.C.) y hasta el momento de la conquista española (1521), es a partir del Clásico tardío- Epiclásico que se tienen mayores coincidencias culturales entre ellos.

En total se estudiaron 238 muestras de materiales culturales de los sitios descritos; 118 corresponden a cerámica, 80 a objetos arqueológicos y 40 a muestras de yacimientos de obsidiana. A partir del análisis mineralógico modal en tiestos de cerámica se determinó que existieron procesos de intercambio entre los cuatro sitios arqueológicos estudiados y se reconoce una estrecha correspondencia composicional con el entorno geológico. Esto último se interpreta como autoctonía y en menor proporción aloctonía o intercambio con otras regiones. Las muestras que contienen clastos de obsidiana en cerámica del sitio de Zaragoza muy probablemente obtuvieron la materia prima en algún sitio de la zona limítrofe Michoacán-Guanajuato, donde predominan unidades litológicas de origen volcánico-riolítico. Esta misma relación se aprecia en las cerámicas del sitio La Mina, que arrojan una clasificación con la misma composición mineralógica modal. Por su parte, las muestras de cerámica de Zacapu contrastan debido a que su clasificación por mineralogía modal indica un ambiente de dominio básico o basáltico.

Con base en los resultados obtenidos de elementos mayores por medio de la microsonda electrónica se observa que: i) los rangos de valores de Si vs. Na+K grafican en el campo riolítico dentro del diagrama TAS; ii) las muestras de Huandacareo y La Mina exhiben una afinidad con la serie sub-alcalina, mientras que las obtenidas del sitio arqueológico de Zaragoza caen dentro de la serie alcalina; iii) las relaciones del sistema CaO-K<sub>2</sub>O-FeO-MnO de los objetos arqueológicos de obsidiana procedentes de la zona arqueológica de Zaragoza indican que fueron elaborados con materia prima extraída del yacimiento de Pénjamo; los de la zona arqueológica de La Mina coinciden con la firma química del yacimiento de Ucareo y por último los del sitio arqueológico Huandacareo provienen del yacimiento de Zinapécuaro.

**Palabras clave:** Obsidiana, Firma geoquímica, microsonda electrónica de barrido, cerámica, objetos arqueológicos

## **Abstract**

This work presents the results of petrographic study and electron microprobe made for chemical characterization of Obsidian component of archaeological pieces, as well as ceramic objects of cultural context of societies pre-Columbian settled in the northern part of the current state of Michoacán, Mexico. The selected materials correspond to objects recovered during excavations at the sites of Zaragoza (La Piedad), Zacapu, La Nopalera (Huandacareo), mine (Álvaro Obregón) and deposits of Obsidian from Ucareo and Zinapecuaro Penjamo for your comparison; Although these sites had a boom during the Classic (A.d. 200-650), Epiclassic (650-900 ad) and up to the time of the Spanish conquest (1521), but major cultural matches between them are from late Classic to Epiclassic.

Total studied 238 samples of cultural materials of the sites described, 118 correspond to ceramic, 80 to archaeological objects and 40 samples of deposits of Obsidian. From analysis mineralogical modal in ceramic pots was determined that there were Exchange processes between the four studied archaeological sites and is recognized a narrow compositional correspondence with geological environment. This last is interpreted as autochthony and to a lesser extent aloctonia or Exchange with other regions. Samples containing clasts of Obsidian in ceramic of Zaragoza site most likely obtained the raw somewhere in the border area between Michoacan-guanajuato, lithological units of origin rhyolitic volcanic-dominated. This same relationship can be seen in the pottery of the site mine, which shed a classification with the same modal mineralogical composition. Furthermore, samples of ceramics of Zacapu contrast since its classification by modal mineralogy indicates a basaltic or basic domain environment.

Based on the results of major through the electronic microprobe elements is observed that: i) the ranges of values of Si vs. Na+K graphed in the field within the TAS diagram rhyolitic; (ii) samples of Huandacareo and La Mina exhibit an affinity with the sub-alkaline series, while those obtained from the archaeological site of Zaragoza fall within the alkaline series; (iii) relationships of system CaO-K<sub>2</sub>O-FeO-MnO of archaeological Obsidian objects from the archaeological area of Zaragoza indicate that they were made with raw material extracted from the site of Pénjamo; those of the archaeological site of La Mina coincide with the chemical signature of the site of Ucareo and finally the archaeological site Huandacareo come from the site of Zinapecuaro.

**Key words:** Obsidian, Geochemical signature, scanning electron microprobe, ceramics, archaeological objects

## CAPITULO I. INTRODUCCIÓN

Durante el periodo precolombino la Región Occidente y específicamente las culturas presentes en el norte y noroeste de Michoacán jugaron un papel importante en el desarrollo de sociedades organizadas desde épocas tempranas en el área cultural de la Mesoamérica. En el territorio de Michoacán existen registros de asentamientos humanos con una estructura social que data desde alrededor de 1,360-1,200 años a.C. (Oliveros y De los Ríos, 1993), comparable con el sitio de Capacha en Colima (Mountjoy, 1994). Más allá de las características de los materiales y la coincidencia de alojamiento de las ofrendas en tumbas mortuorias, un hecho que ha llamado la atención es su relación temporal y la correlación tipológica de algunos materiales cerámicos de ambos lugares, pero también por otro lado, su aparente procedencia o influencia cultural dentro de una importante red de comercio que rebasó los 1,500 km de distancia en línea recta, desde Sudamérica (Oliveros, 2006; Vázquez, 2013). En especial, se denota aún para esas épocas tempranas una conexión comercial con Centroamérica en el Valle de Motagua, Guatemala y hasta los dominios de la Sierra Madre Occidental, sin dejar de lado su interacción con las sociedades olmecas contemporáneas de la Planicie Costera del Golfo de México (Robles-Camacho y Oliveros-Morales, 2007). Por lo tanto, los vestigios arqueológicos de diferentes épocas en esta región indican que Michoacán fue habitado por sociedades organizadas desde el periodo Preclásico tardío (>1300 a.C.) y por los tarascos durante alrededor de dos siglos antes de la conquista española en 1521 (Espejel, 2013).

Es evidente en la vida cotidiana de las culturas en estudio el uso de diversos materiales al alcance, y aquellos de carácter ritual o religioso conseguido a largas distancias, por lo que, en el ejercicio de la reconstrucción de la historia se requiere del rigor científico y uso de la tecnología disponible para realizar una buena caracterización de los materiales constitutivos de los objetos arqueológicos, tanto para la determinación precisa de su naturaleza, como para su comparación con

fuentes probables de materia prima. Esto debe culminar en la propuesta de puntos probables de inicio “*de la vida útil*” de un producto y su destino final, como aporte a la reconfiguración de rutas de comercio en tiempos históricos determinados.

Entre los materiales inorgánicos comúnmente identificados en los diferentes contextos arqueológicos de las sociedades precolombinas sobresalen la lapidaria de prestigio, la cerámica y objetos labrados en obsidiana o concha; de estos, resulta de particular interés para el presente estudio la presencia de la obsidiana identificada como materia prima de objetos, así como parte de los clastos componentes del desgrasante (clastos del tamaño de arena) de algunas piezas de cerámica. Es así que, dada la naturaleza geológica asociada al vulcanismo de este material y su abundancia en contextos arqueológicos, se presenta una metodología analítica que pretende identificar la firma química de la obsidiana usada para elaborar objetos, para su comparación con los yacimientos importantes en época prehispánica, de acuerdo con diversas narrativas y estudios, como se detallará en los siguientes capítulos. Con los argumentos descritos, se proyecta además un ejercicio de caracterización de clastos de obsidiana y cristales identificados en muestras de cerámica recuperada de sitios arqueológicos del norte de Michoacán, como indicador de autoctonía o aloctonía de la materia prima. Se parte de considerar que la obsidiana es un vidrio natural formado por el enfriamiento brusco de lavas, lo cual no permite la formación de cristales (Cann *et al.*, 1969; Erickson *et al.*, 1975; Negendak *et. al.*, 1985), que por su naturaleza pétreo es resistente al intemperismo, además del variado uso que se le dio desde épocas prehistóricas; lo que permite encontrarla en diversos contextos arqueológicos como el hogar, cacería, con fines bélicos, tributo, arte (Clark, 1994; Tisoc y Ciriaco, 2009; Darras, 1994; 1996; 2014; Howes, 2014).

Aunque existen evidencias de ocupación temprana por el hombre en el norte de Michoacán desde hace aproximadamente 7,000 años (Faugère, 2011) y en otras zonas kársticas del centro-sur de Michoacán (Punzo, J.L., comunicación personal), de los más de 3,000 años de historia de ocupación por sociedades organizadas en esta parte centro-occidente de México, se han seleccionado los sitios



arqueológicos de Zaragoza (La Piedad), Zacapu, La Nopalera (Huandacareo) y La Mina (Álvaro Obregón), por tratarse de sitios con un registro histórico de actividad humana con un horizonte común del Clásico ( $\leq$  650 d.C.) - Epiclásico (650-900 d.C.) - Posclásico (900-1521 d.C.), donde además se encuentran los yacimientos de obsidiana referidos en “*La Relación de Michoacán*”, documento que narra la cotidianeidad del pueblo Purhépecha (periodo Posclásico); entre los más importantes se encuentran Zinapécuaro, Ucareo, Tungareo y Zináparo-Prieto (Cobean, 2002; Cárdenas-García y Fernández-Villanueva, 2013). Un elemento más a considerar, es el hecho de que a partir del dominio de Estado prístino establecido por Teotihuacan (200-650 d.C.), el control de yacimientos de obsidiana formó parte de la estrategia militar-comercial adoptada por las sociedades de la Mesoamérica precolombina, hasta el momento de la conquista española en 1521 (Alcalá, 2016).

Por otro lado, desde el punto de vista de su origen natural, en este caso se pretende comparar las localidades culturales con muestras de yacimientos de obsidiana contextualizados con la geología de la Faja Volcánica Transmexicana (FVTM) en esta parte del país. Este ejercicio se ha realizado ya en casos previos de estudio para determinar por medio de la técnica de microscopía electrónica de barrido con análisis de espectrometría por dispersión de electrones (EDS), la procedencia probable de materia prima empleada en artefactos de interés prehistórico e histórico labrados en obsidiana de la región mediterránea de Europa (Acquafredda *et al.*, 1999). Otro ejemplo de estudio en obsidiana es el trabajo realizado por De Francesco *et al.* (2017), quienes aplicaron la técnica de espectrometría de masas por ablación láser con emisión de un plasma acoplado inductivamente (LA-ICP-MS, por sus siglas en inglés), cuyo aporte indica que elementos químicos como Sr, Rb, Nb, Zr, Ba son útiles para discriminar entre los diferentes yacimientos, redundando en un mejor reconocimiento de la relación entre obsidiana de yacimientos y de sitios arqueológicos del área natural protegida de la Laguna de Diamante en la parte centro-oeste de Argentina y la parte alta del valle Maipo en Chile central. En México, sobresalen los trabajos realizados por

Michael D. Coe, John E. Clark, Robert H. Cobean, Alejandro Pastrana, desde la década de los 1960, con uso de las técnicas descriptivas y analíticas de precisión como la fluorescencia de rayos-X (FRX) y de espectrometría por activación de neutrones (NAA). En primera instancia la descripción tipológica y detalles de la manufactura fueron elementos discriminatorios posteriormente complementados con el análisis químico por FRX (Clark y Lee, 1990). Con base en el análisis químico por NAA realizado por Cobean (2002), se identificó a los elementos químicos que mejor respuesta ofrecen para la caracterización de yacimientos de obsidiana en la FVTM: Mn, Zr, Rb, Sr, Nb, Ba, Y, Sc, As, Ti, Th, Cs.

Con el marco descrito, se propone la aplicación de una metodología analítica basada en el estudio de piezas arqueológicas de obsidiana y clastos de obsidiana en piezas de cerámica, comparadas con muestras de yacimiento o datos geológico-geoquímicos de la región.

Es importante dejar asentado que el material arqueológico seleccionado para análisis corresponde a fragmentos de piezas tanto de cerámica (tiestos), como de fragmentos de objetos de obsidiana (navajas, puntas) recuperados en contexto cultural, pero que no son *museables*; es decir, su dimensión y calidad estética no permite un reconocimiento pleno del objeto original, para ser exhibido. Finalmente y a favor de la metodología y técnicas analíticas implementadas, es destacable el hecho de que, a pesar de ser consideradas como “*destructivas*”, será el punto de partida para implementar una metodología analítica que debe redundar en el menor daño posible a material arqueológico, pero también con la posibilidad de reconocer su firma química y estar en condiciones de proponer otras técnicas cada vez “*menos destructivas*” como podrían ser las espectroscópicas. La superficie de medición por punto es aproximada a 10µm, por lo que la preparación especial en una zona específica reducirá la superficie de sacrificio en una pieza arqueológica seleccionada para un estudio de este tipo.

## CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

Las investigaciones arqueológicas a lo largo de los años han evolucionado y se ha pasado del estatus meramente descriptivo al analítico y cuantitativo, donde los aportes de los campos de la física, la química y las geociencias entre otras, integradas en un campo de especialidad llamado *arqueometría*, hacen más confiables las interpretaciones de contexto cultural. Es el caso específico de dos de los materiales más comunes en el ámbito arqueológico mesoamericano como son la cerámica y objetos elaborados en obsidiana. Se han estudiado el tipo de materiales que conforman la pasta de la cerámica, así como la tipología, su cronología, características de cocción y su relación con el espacio donde fueron encontrados esos objetos; por su parte, las piezas elaboradas en obsidiana se relacionan casi siempre a objetos de caza, uso doméstico, actividades bélicas; sin embargo, se han encontrado además artefactos de obsidiana con fines artísticos o distintivos jerárquicos, desde objetos como bezotes, orejeras, excéntricos de obsidiana hasta piezas extraordinarias como la famosa vasija de mono de obsidiana proveniente de Texcoco (Walsh, 2004).

Entre las características destacables de la cerámica precolombina estudiada hasta ahora, se encuentra la naturaleza de los clastos de minerales o *desengrasante* y su matriz o *engobe*, lo cual tiene una correspondencia con la región geológica de donde fueron recuperadas las materias primas usadas para su elaboración. Uno de los muchos ejemplos podría ser el caso de estudio de cerámica del sitio de Mayapán, en la península de Yucatán, donde el engobe está conformado por minerales de montmorillonita-Ca, Si-amorfa y partículas finas de calcita, mientras que el desengrasante es principalmente calcita (Sánchez-Fortoul, 2018), acorde a la geología de ambiente kárstico de la península de Yucatán. Otro caso de estudio, se refiere al realizado recientemente en el sitio arqueológico de Tingambato, Michoacán por Castrañón-Suárez y Punzo-Díaz (2017), donde, con excepción de una de las piezas de fuente alóctona (o adquirida), fue elaborada con materia prima de una región metamórfica, el resto presenta una mineralogía

modal como hornblenda, biotita y plagioclasas sub-cálcicas, además de líticos relacionados con una provincia volcánica de ambiente andesítico; acorde a los productos dominantes en el Campo Volcánico Michoacán-Guanajuato (CVMG). En el uso y aprovechamiento de los materiales naturales, las sociedades utilizaban los recursos de su entorno y comercializaban o intercambiaban aquello de su necesidad o interés específico. En particular, gran parte de la cerámica recuperada de la región del Bajío y del norte de Michoacán concentra fragmentos de obsidiana como desengrasante, cuya procedencia podría estar asociada a algún evento piroclástico regional; esta es una incógnita interesante de abordar.

Al ser la obsidiana el objeto principal de estudio en la presente investigación, se parte de la premisa que desde el punto de vista de su composición química pueden considerarse homogéneo, por lo que es posible implementar mediciones cuantitativas con uso de la microscopía electrónica equipada con cristales analizadores y varios espectrómetros. Para los fines culturales, es importante reconocer que cada yacimiento de obsidiana presenta una firma química, la cual puede ser descodificada y comparada con la de objetos arqueológicos, a través de un tratamiento estadístico-matemático.

## **CAPÍTULO III. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS**

### **III.1 Justificación**

La obsidiana de contexto cultural precolombino es uno de los materiales inorgánicos más abundantes debido a su resistencia al intemperismo, además de su amplio uso y papel en la estrategia política de control social desde épocas teotihuacanas, como se ha descrito en párrafos anteriores. La caracterización geoquímica por medio de la microsonda electrónica, tanto de los materiales arqueológicos elaborados en obsidiana como de muestras de yacimientos localizados en el estado de Michoacán, representa una oportunidad para establecer una metodología que permita caracterizar y comparar la firma del material utilizado con diferentes fuentes geológicas. Esto debe redundar en la mejora de las metodologías analíticas aplicables ahora y en el futuro, como podrían ser las técnicas espectroscópicas. En el ámbito cultural el aporte incide en el establecimiento de posibles rutas de comercio en épocas determinadas.

Es importante mencionar que además de objetos elaborados en obsidiana (navajas, raspadores, puntas de flecha, otros), se ha identificado este tipo de vidrio como desengrasante (clastos) en cerámica precolombina, razón por la cual se plantea en el presente proyecto realizar un ejercicio complementario de caracterización mineral modal y química en clastos de cerámica proveniente de los mismos sitios arqueológicos.

### **III.2 Objetivo General**

Implementar una metodología confiable para la cuantificación de elementos químicos presentes en vidrio tipo obsidiana de objetos arqueológicos, que permita reconocer y comparar su firma con la de yacimientos naturales para aportar en la reconstrucción de redes de comercio o intercambio comercial entre sociedades precolombinas.

### **III.3. Objetivos específicos**

- Identificar yacimientos de obsidiana con alguna referencia histórica, que indique su uso en objetos culturales en épocas prehispánicas en el norte del actual territorio del estado de Michoacán para un periodo común mayor a los 600 d.C.
- Seleccionar material cultural de colecciones disponibles en el INAH.
- Caracterización de la mineralogía modal en cerámica cultural.
- Caracterizar las muestras de obsidiana de yacimientos y del patrimonio cultural con uso de la microsonda electrónica.
- Elaborar modelos de procedencia probable de la materia prima.

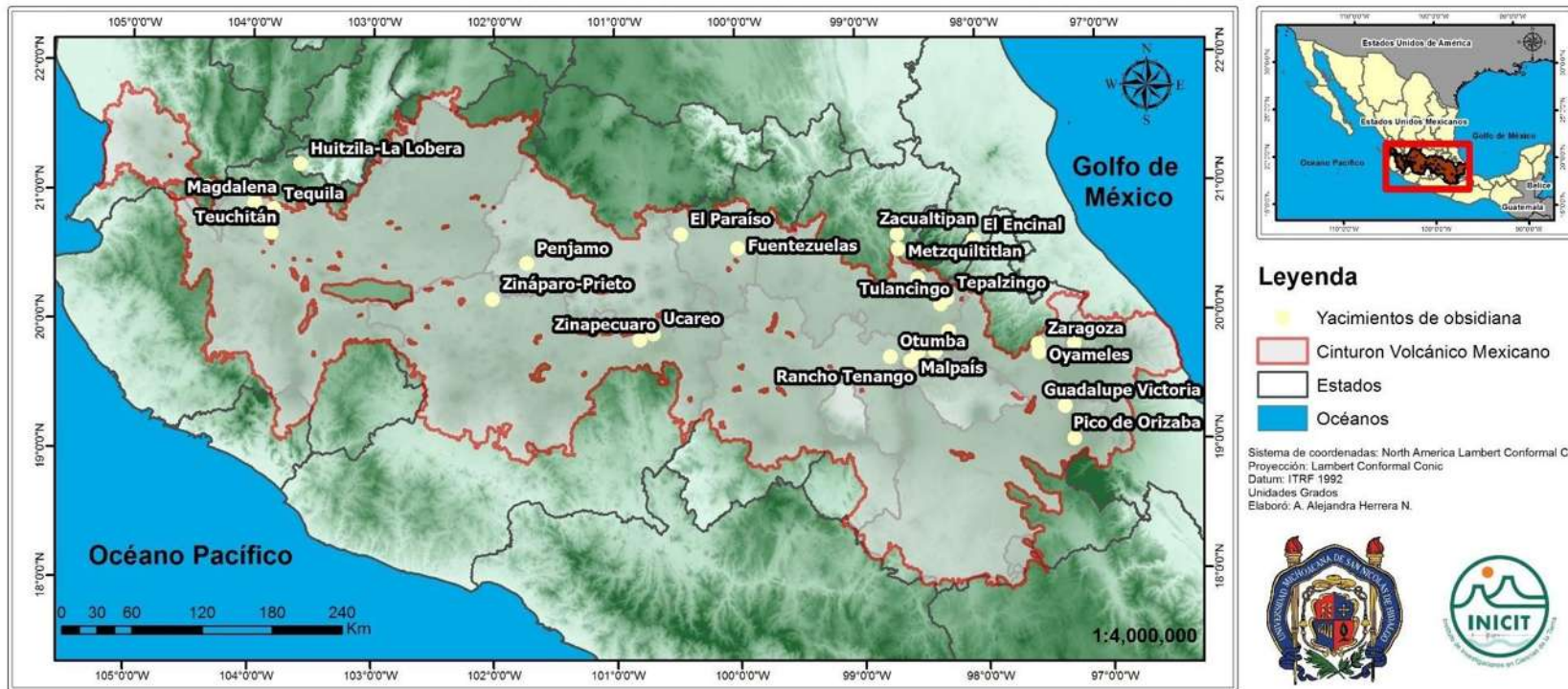
## CAPÍTULO IV. ANTECEDENTES

### IV.1. Geología de la Faja Volcánica Transmexicana (FVTM)

Para los fines del presente estudio se reconoce que la parte central de la citada provincia, también denominada Faja Volcánica Transmexicana (FVTM), es una de las dos regiones geológicas mayormente aprovechadas para la provisión de obsidiana empleada con diferentes fines en la Mesoamérica precolombina (Clark y Lee, 1990). La FVTM (**Figura 1**) está conformada por alrededor de 8000 estructuras volcánicas y su extensión abarca desde las costas del pacífico en San Blas (Nayarit) hasta el Golfo de México en Palma Sola (Veracruz) (Demant, 1978; Bernard-Romero, 2008), tiene una longitud aproximada de 1,000 km y un ancho que varía entre los 80 y 230 km (Ferrari *et al.*, 2012). Temporalidad y composición

### IV.2. Zona de estudio de la FVTM en Michoacán

En el estado de Michoacán existen zonas con diferente historia geológica, cuyos recursos naturales como la minería por sulfuros, oro, plata, magnetita, la geotermia, entre otros son precedidos por la explotación de sal y minas de obsidiana en épocas prehispánicas. En este proyecto se estudiaron los yacimientos de obsidiana de Ucareo y Zinapécuaro, además de uno ubicado en Pénjamo, en el sur del estado de Guanajuato; este último se analiza por la gran cercanía que tiene con la zona arqueológica de Zaragoza, incluida en el presente proyecto. Las zonas arqueológicas consideradas en esta investigación son: La Nopalera en Huandacareo, región de Milpillas en Zacapu, La Mina en Álvaro obregón y Zaragoza en el municipio de La Piedad (**Figura 2**).



**Figura 1.** Provincia geológica de la Faja Volcánica Transmexicana (FVTM), con la ubicación de yacimientos de obsidiana (Después de Cobean, 2002).



En el estado de Michoacán se concentra una parte importante del vulcanismo registrado en la denominada FVTM, que generó volcanes relevantes como el de Tancítaro, el Jorullo, Cerro Grande (Hernández, 1872). Es considerada una región con vulcanismo activo desde el Pleistoceno tardío al Holoceno y cerca de la ciudad de Uruapan se localizan tres zonas de concentración en la que sobresalen conos cineríticos, donde *nacieron* los volcanes Jorullo (1769) y Parícutín (1943) (Lugo *et al.*, 1985). En el mismo dominio, el sistema de fallas Morelia-Acambay se distribuye en un cinturón aproximado a los 30 km de ancho con fallas extensionales de orientación OSO hasta el ENE y del E al O formando las cuencas lacustres de Zacapu, Cuitzeo, Morelia y Acambay (Ferrari *et al.*, 1990; Martínez-Reyes y Nieto-Samaniego, 1990; Pasquaré *et al.*, 1991; Alaniz-Álvarez y Nieto-Samaniego, 1998; Garduño-Monroy *et al.*, 2001; Nieto-Samaniego, 2005; Garduño-Monroy *et al.*, 2009). Esta falla se encuentra delimitada por la falla del Bajío, que cuenta con una longitud de alrededor de 70 km, con un desplazamiento de alrededor de 2 km y que tuvo actividad volcánica principalmente durante el Eoceno y el Oligoceno. Estudios geológico-estructurales indican que la falla Morelia-Acambay comenzó al final del Mioceno con un movimiento oblicuo lateral izquierdo que luego se extendió (Ferrari *et al.*, 1990; Suter *et al.*, 1995; Garduño-Monroy *et al.*, 2001; Ferrari *et al.*, 2012). Las fallas en la parte noroeste del sistema (Lago Cuitzeo) afectan las secuencias volcánicas desde el Mioceno hasta el Plioceno (Moncayo *et al.*, 2001; Suter *et al.*, 2005; Szykaruk *et al.*, 2004).



**Legenda**

- CVM
- Cuerpos de agua
- Michoacán
- Estados

Sistema de Coordenadas: North America Lambert Conformal Conic  
 Proyección: Lambert Conformal Conic  
 Datum: ITRF 1992  
 Unidades: Grados  
 Elaboró: A. Alejandra Herrera N.



**Figura 2.** Región con vulcanismo reciente en el Estado de Michoacán (dominio de la FVTM).

### **IV.3. Geoquímica de la Faja Volcánica Transmexicana (FVTM)**

La Faja Volcánica Transmexicana se constituye por aproximadamente 8 mil centros eruptivos, en los cuales sobresalen los estratovolcanes como el Pico de Orizaba (Veracruz), el Popocatepetl (Puebla-Ciudad de México), Iztaccíhuatl, Nevado de Toluca (Estado de México), entre otros. Sin embargo, los más abundantes son los volcanes monogenéticos, cuya concentración mayor se encuentra en el Campo Volcánico Michoacán-Guanajuato (Hasenaka y Carmichael, 1985; Hasenaka, 1994), y el más conocido y joven se encuentra en el estado de Michoacán, siendo este el volcán Parícutín (Aguilar y Verma 1987). Estos últimos autores realizaron un extenso estudio geoquímico de la FVTM, donde encontraron la coexistencia de magmas de tipo calci-alcalino y alcalino, de los cuales se han nutrido los grandes estratovolcanes, sin embargo, también se encuentran magmas de tipo toleítico. En un límite tectónico de subducción es común encontrar asociados y como producto, los magmas calci-alcalinos, pero en el caso de la FVTM el proceso es más complejo, debido a la ruptura o extensión de la corteza terrestre en la zona de arco volcánico, con ascenso de magma del manto superior.

### **IV.4. Obsidiana en Mesoamérica**

La palabra obsidiana proviene del latín *obsidianus lapis*, nombre que le asigno Plinio en honor al filósofo griego Obsidio, el cual fue el primero que hizo un estudio de este material. Se le conoce generalmente en la Mesoamérica precolombina como *Ixtli*, debido al dominio de los mexicas en esa magna área hasta el momento de la conquista española, aunque en maya se le nombra *taj* y los purépechas lo conocen como *tzinapo* (Esparza, 2014).

La obsidiana es un vidrio volcánico que se caracteriza por su alto contenido de sílice y aluminio. Aunque predomina el color negro, se puede encontrar en diferentes tonalidades como gris, verde, azul, rojo y café. Es común reconocer en él una matriz homogénea o con bandas principalmente en tonos contrastantes que ilustran tendencias del flujo laminar; aunque se admite que por el proceso brusco

de enfriamiento de la lava es raro encontrar fenocristales, a menudo se reconocen a nivel microscópico fases de desvitrificación con formación de núcleos de material felsosídico o criptocristalino.

Tal como ocurrió en las sociedades antiguas de todo el mundo, la obsidiana fue un material extremadamente importante para las culturas de la Mesoamérica precolombina; podía ser usada en rituales, en la guerra como armas o en la caza de animales a partir de puntas de lanza o de flecha elaboradas; incluso como materia prima para fabricar figurillas y ornamentos artísticos; o bien, para denotar niveles sociales al elaborar bezotes de uso jerárquico. Durante las excavaciones arqueológicas es común encontrar estos materiales como elementos de ofrenda en tumbas.

En México durante la década de 1960 los arqueólogos mostraron un gran interés por los estudios de los yacimientos de obsidiana, sin embargo, no presentaban una delimitación precisa de afloramientos, por lo que debieron trabajar a la par con los geólogos para poder determinar la extensión y las características de cada yacimiento, y así crear una base de datos para poder realizar posteriormente una relación entre la procedencia de materia prima y las relaciones comerciales (Cobean, 2002; Esparza, 2014).

Para poder ponderar la información obtenida a partir del análisis de obsidiana, se toman en cuenta dos variantes: la de derrame y la de procesos eruptivos en forma de piroclastos. Cuando se trata de un derrame, la obsidiana puede contener mayor volumen y homogeneidad, sin descartar la posibilidad formación de arreglos criptocristalinos, considerados en este ejercicio como *impurezas*; para el caso de origen piroclástico el material puede ser mucho más heterogéneo y por lo tanto mostrar distintos valores de calidad, debido a la dispersión química que puede presentar (Ortega, 1980; Nieto y López, 1990).

Los yacimientos de obsidiana fueron fundamentales entre los individuos de las sociedades precolombinas, ya que este material fue usado para producir objetos de diferente uso, facilitándoles con ello la vida cotidiana (Cobean, 2002). Los afloramientos con este material fueron explotados por los pobladores asentados en las cercanías y el control territorial permitió su comercialización local y regional, dependiendo de la época que se trate, como se verá en este trabajo.

En el territorio nacional se han localizado más de 150 yacimientos de obsidiana, los cuales están ubicados desde el cerro del Pinacate (Sonora), hasta las tierras bajas de Chiapas (Cobean, 2002; Weigand *et al.*, 2003; Esparza, 2006).

#### **IV.5. Obsidiana en Michoacán**

##### ***IV.5.1. Yacimientos de obsidiana importantes en Michoacán en la época prehispánica***

El primer yacimiento importante en Michoacán es el de Zinapécuaro-Ucareo, del cual se ha obtenido obsidiana de color gris oscuro translúcido y con bandas. De acuerdo con Cobean (2002), este yacimiento puede considerarse como el segundo más importantes en territorio mexicano sólo detrás del localizado en la sierra de las Navajas en el estado de Hidalgo, ya que ha sido el proveedor de artefactos encontrados en distintas partes de Mesoamérica desde el Preclásico hasta al Posclásico tardío (Darras, 1994; 1996; 2014; 2018). El material del yacimiento de obsidiana en Zinapécuaro se halla dentro y al sur de la población del mismo nombre, ubicada al noroeste del Estado de Michoacán con las coordenadas en UTM: zona 14, 309448 m E y 2197202 m N, cuenta con una altura de 1,880 msnm. La obsidiana de esta región se caracteriza por ser de color gris oscuro, translúcida y en ocasiones suele presentar bandas finas paralelas en color gris; su textura es principalmente *nubosa* sin bandas (Argote-Espino *et al.*, 2010). Este yacimiento se asocia a una colada de lava procedente de un techo riolítico y aflora en una extensión de aproximadamente 2 km por 1.5 km. Una

extensión de ese se encuentra en la localidad de Ucareo, con características físicas similares.

El segundo yacimiento importante de Michoacán es Zináparo-Prieto, el cual ha sido explorado por Ericson y Kimberlin (1977) con implementación de análisis por activación neutrónica y recientemente retomado por Darras (1994; 2014). En estos yacimientos se han encontrado más de veinte minas de extracción de donde proviene obsidiana de color café-negro, gris o gris azulado. Un tercer yacimiento de obsidiana en esta entidad se localiza en el lugar llamado Tungareo, donde aún no se han explorado al cien por ciento sus alrededores, debido a la ausencia de minas prehispánicas; por el interés generado a partir del presente proyecto, será considerado para futuros trabajos.

## **IV.6. La cerámica**

### *IV.6.1. Cerámica en Mesoamérica*

La cerámica es el material sintético mayormente usado por el ser humano desde épocas prehistóricas, por lo que, en la Mesoamérica precolombina no fue la excepción; su cada vez más profundo estudio, permite no solamente identificar tipologías, sino tecnología empleada para su fábrica, para determinar edades y hasta se ha convertido en un elemento de juicio para proponer rutas probables de comercio (Hodge, 1992; Neff, 2003; Morales *et al.*, 2009; Gogichaichvili *et al.*, 2017). Es por tanto un producto cuyos componentes bien descodificados, puede auxiliar en el mejor entendimiento de las costumbres entre las distintas culturas.

Este material puede encontrarse relacionado a distintas actividades de acuerdo con la visión del arqueólogo, ya que puede aparecer en diferentes contextos como ofrenda, puede presentarse en fragmentos como relleno arquitectónico, o enterrado bajo los pisos de las cocinas prehispánicas, pudieron servir como contenedores de agua, de copal, de pigmentos, entre otros tantos usos.

#### **IV.6.2. Cerámica en noreste de Michoacán**

La cerámica en Michoacán se ha caracterizado por presentar diferentes técnicas de manufactura y decoración, tan antiguas como las asociadas al sitio El Opeño, donde ya se observa una técnica de elaboración muy desarrollada para su época; la tecnología cerámica se desarrolló entre los años 3,500 a. C. y 1,500 a. C. Esto ha sido inferido por la ausencia de cerámica en cuevas excavadas y por la presencia de grupos semi-sedentarios, que serían lo más cercano en temporalidad al sitio de El Opeño, con una datación máxima de 1,500 años a.C. (Oliveros, 2004; 2006). En trabajos de este autor sobresale la descripción de la decoración al negativo en cerámica, técnica identificada posteriormente en algunos materiales cerámicos de la cuenca de Cuitzeo y Zacapu. Esa presenta distintos rasgos o fases según la temporalidad de su elaboración; una de las más tempranas es la fase Mixtlán (100-400 d.C.), encontrada cerca de la cuenca de Cuitzeo y caracterizada por ser monocroma decorada o sin decoración (Carot ,1993). Otras tipologías dentro de esta fase Mixtlán son la “*Acuitzio rojo sobre negro*” y “*Ario negro sobre rojo*”, caracterizada por ser una pasta muy gruesa y dura nombrada *Jungapeo* (Snarskis, 1985). De la pasta *Jungapeo* se reconocen otros tres tipos cerámicos llamados *Boca policroma*, *Barto policromo* e *Iramuco policromo*. Estos tipos cerámicos contienen un *engobe* que presenta pulimento color crema o rojo. El último tipo reconocido es nombrado *Colmena bruñido*, que muchas veces alcanza un grado extremo de pulimento y la pasta también es *Jungapeo* (Hernández, 2006).

La segunda fase llamada *Choromuco* (400 a 700 d.C.) representa a una etapa de transición en el noreste de Michoacán (Hernandez, 2006). De esta fase se derivan los tipos cerámicos *Tirzo policromo* (conocido también como policromo de Queréndaro; sus superficies son rojas o negras y la pasta es similar a la de *Tres Palos*). La segunda tipología es la *Choro rojo-naranja*, que presenta una pasta fina o gruesa, lo cual puede complicar su diferenciación, pero se distinguen por el acabado de pulimento de engobe de color crema. El tercer tipo de esta fase es el tipo *Ramón rojo sobre café*, caracterizado por poseer en su decoración con

grecas, bandas paralelas, bandas oblicuas o curvas, pero siempre con algún decorado similar a esos.

La fase *Perales* (700 a 900 d.C.) presenta una decoración bicroma de rojo sobre café con tres tipos cerámicos característicos: uno de ellos es el *Cantinas rojo-naranja*, cuya pasta tiene una textura de media a fina. La segunda tipología lleva por nombre *Rosalinda rojo sobre café inciso*, y su pasta es color café pálido de grano fino de tamaño homogéneo con escasa inclusión de granos gruesos (Hernández, 2006). La tercera tipología es nombrada *Garita negro café*, la cual puede poseer decoración incisa u ocurrir sin decoración.

La cuarta fase nombrada *Terminal Perales* (900 a 1200 d.C.), representa una moda que provocó cambios en la fase *Perales* y con ellos también el estilo cerámico y sus decorados, llevando aparentemente a la desaparición de los tipos *Cantinas* y *Rosalinda*. En esta fase aparecen los tipos *Campo Rojo sobre Café* y *Encarnación Rojo*; en algunas zonas del estado estos tipos consistían en cajetes y molcajetes trípodes.

Finalmente, la última fase nombrada *Complejo Cumbres* (850 a 1,100 d.C.), presenta tres tipologías: *Cumbres Rojo sobre Café* y *Cumbres Rojo sobre Engobe Blanco*, caracterizadas por su pasta dura y gruesa con un pulimento incompleto. El tipo *Cumbres Naranja Policromo* es la cerámica más decorada e importante del *Complejo Cumbres*, ya que su decoración es policroma y presenta una homogeneidad en sus formas (Hernández, 2006).

#### **IV.7. Caminos y rutas comerciales en Michoacán**

A partir de la organización de las sociedades surge la posibilidad de intercambio de productos a corta y larga distancia, con la consecuente creación de las redes de comercio, aún utilizadas en épocas modernas. En Michoacán el registro de redes comerciales y de intercambio cultural a larga distancia datan del periodo Formativo medio-tardío, de acuerdo con los estudios realizados por Oliveros (2004), quien además sugiere correspondencia en costumbres con Centro y Sudamérica; en algunos casos específicos de comercio de lapidaria de prestigio



durante el Formativo tardío las distancias alcanzadas serían mayores de 1000 km en línea recta, hasta el valle de Motagua en Guatemala (Robles-Camacho y Oliveros-Morales, 2007) o bien, en distancias similares con localidades ubicadas en el suroeste de los Estados Unidos de América durante el Clásico medio (Robles-Camacho y Sánchez-Hernández, 2011). En síntesis, la ruta de comercio del Pacífico fue utilizada desde épocas tempranas para la comunicación entre las costas sudamericanas con el occidente de México. Particularmente durante el periodo Potsclásico esta relación introdujo la metalurgia en Mesoamérica (Hosler, 2016), siendo los purépechas los que transmitieron este conocimiento a otras zonas del área cultural mesoamericana (Ortiz, 2006).

## CAPÍTULO V. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio corresponde a la región limítrofe entre los estados de Michoacán y Guanajuato, donde se asentaron sociedades precolombinas que entre sus materiales de uso cotidiano se encuentra la obsidiana como materia prima para elaborar objetos como puntas de flecha, navajas, raspadores, bezotes, excéntricos. Los sitios arqueológicos seleccionados son: La Nopalera en Huandacareo, región de Milpillas en Zacapu, La Mina en Álvaro Obregón y Zaragoza en La Piedad, que desde el punto de vista geológico se encuentran dentro de la parte centro-occidente de la Faja Volcánica Transmexicana (FVTM), con una historia que data del Mioceno medio y tardío (< 21 Ma) (García-Palomo *et al.*, 2000; Ferrari *et al.*, 2000; Ferrari *et al.*, 2005; Bernard-Romero, 2008); con un episodio silíceo de finales del Mioceno con variación bimodal en el Plioceno temprano.

### V.1. Región Michoacán

En el actual territorio de Michoacán se encuentran más de 2000 sitios arqueológicos registrados hoy en día por el INAH. El antecedente más antiguo de ocupación humana prehistórica hasta ahora conocido se halla en las cuevas de Turicato y de los Portales cerca del poblado de Penjamillo; sitio arcaico localizado al noroeste de Michoacán (Faugère, 2011). Sin embargo, la ocupación humana reconocida con las más antiguas evidencias de organización social se encuentra en el sitio de El Opeño, municipio de Jacona, que se caracteriza por tratarse de una serie de tumbas con acceso de escalera labradas en depósitos de lahar (**Tabla 1**).

**Tabla 1.** Línea del tiempo de sitios importantes localizados en Michoacán.

Periodo	Intervalo de tiempo	Asentamientos importantes
Preclásico	3500 a. C.- 1 d.C.	El Opeño (Zona 13, 782385.27 E, 2206814.56 N), Cerro Curutarán (Zona 13, 783391.62 E, 2207506.77 N).
Clásico	100 d.C.-650 d.C.	Tingambato (Zona 14, 199912.77 E, 2158004.02 N), Tres Cerritos (Zona 14, 279731.18 E, 2208515.18 N), Zacapu (Zona 14, 206195.49 E, 2194329.16 N).
Epiclásico	650 d.C.-900 d.C.	Zaragoza (Zona 14, 190221.46 E, 2251826.28 N), San Felipe de los Alzati (Zona 14, 353953.59 E, 2157453.68 N), Zacapu (Zona 14, 206195.49 E, 2194329.16 N).
Posclásico	900 d.C.-1521 d.C.	Huandacareo (Zona 14, 260419.04 E, 2212571.05 N), Tzintzuntzan (Zona 14, 230132.21 E, 2171868.86 N), Ihuatzio (Zona 14, 225060.39 E, 2166900.47 N), Pátzcuaro (Zona 14, 226150.65 E, 2159739.45 N), San Felipe de los Alzati (Zona 14, 353953.59 E, 2157453.68 N), Zacapu (Zona 14, 206195.49 E, 2194329.16 N).

## V.2. Zonas arqueológicas con muestras seleccionadas para estudio

Los sitios arqueológicos considerados en la presente investigación han sido objeto de excavaciones exploratorias, y entre sus atractivos se encuentran el poseer objetos cerámicos que contenían presencia de obsidiana como parte de sus componentes y piezas líticas labradas en obsidiana.

Por su parte, los yacimientos de obsidiana considerados como referencia por sus antecedentes históricos se ubican en la región norte de Michoacán y límite con el estado de Guanajuato: Ucareo y Zinapécuaro, así como el yacimiento de Pénjamo ubicado en el estado de Guanajuato; además de estos tres yacimientos se aprovechó la información geoquímica generada por Cobean (2002) para el yacimiento de Zináparo-Prieto. Esto, para tener mayor cobertura sobre las opciones de fuentes probables de materia prima, en los casos de tratarse de procedencia autóctona (**Figura 3**).



### Legenda

-  Yacimientos de obsidiana
-  Zonas arqueológicas
-  Cuerpos de agua
-  Michoacán
-  Estados

Sistema de Coordenadas: North America Lambert Conformal Conic  
 Proyección: Lambert Conformal Conic  
 Datum: ITRF 1992  
 Unidades: Grados  
 Elaboró: A. Alejandra Herrera N.



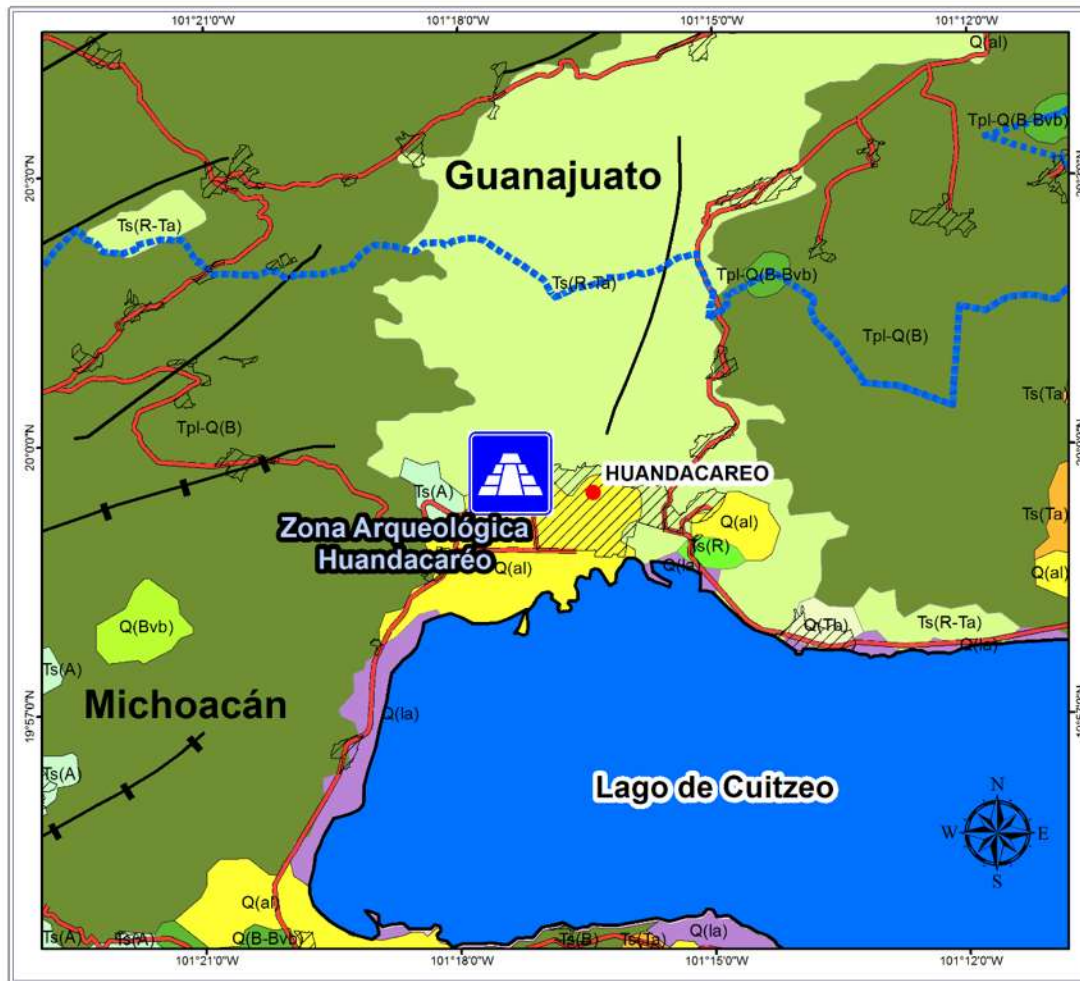
**Figura 3.** Mapa de área de estudio donde se identifican las zonas arqueológicas y los yacimientos de obsidiana de donde se obtuvieron las muestras de cerámica, objetos arqueológicos y de roca *in situ*.

### V.2.1. La Nopalera (Huandacareo)

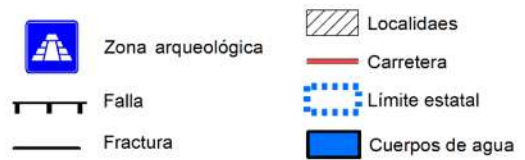
De acuerdo con la información existente, Huandacareo presenta una temporalidad que va del 900 al 1500 d.C., correspondiente al periodo Posclásico (**Figura 4**). Posee una superficie de 156 km<sup>2</sup>, coordenadas geográficas 19°59'41.87" N y 101°17'23.11" O y colinda al norte con el estado de Guanajuato. Posee un clima de Cw (Koeppen modificada por García, 1974) con lluvias durante el verano. Se ubica al norte de la FVTM, donde se presentan suelos de color negro llamados *chernozem* que se desarrollan a partir de la alteración de andesitas y rolitas (**Figura 5**) (Correa 1974; Macías-Goytia, 1990). El sitio también conocido como La Nopalera permitía conectar las regiones del Bajío con la cuenca de Zacapu; inicialmente se consideraba un área de mayor tamaño, sin embargo, hasta hoy en día se desconoce el resto del sitio, quedando expuesto sólo el área ceremonial (CEMCA/INAH, 2006).



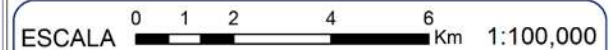
**Figura 4.** Zona arqueológica de Huandacareo (La Nopalera). Imagen tomada por Ramiro Aguayo.



### SIMBOLOGÍA



### Unidades litológicas



Sistema de Coordenadas: North America Lambert Conformal Conic  
 Proyección: Lambert Conformal Conic  
 Datum: ITRF 1992  
 Unidades: Grados  
 Elaboró: A. Alejandra Herrera N.



Figura 5. Marco geológico de la zona arqueológica de Huandacareo.

### V.2.2. Región de Milpillas (Zacapu)

La región de Milpillas en Zacapu se localiza en el norte del estado de Michoacán y sus coordenadas geográficas son 206359.39 E y 2194236.03 N, zona 14, con un paisaje de Malpaís como se ilustra en la figura 6. Se encuentra situada en una zona geológica con abundantes depósitos de eventos volcánicos de composición basáltica (**Figura 7**), en gran medida por los flujos del volcán La Crucita, que se encuentra al noroeste de la zona. El clima dominante es del tipo Cw (Koeppen modificada por García, 1974); Templado con lluvias en verano, una altitud de 2068 msnm. Su temporalidad abarca del año 100 al 600 d.C., correspondiente al periodo Clásico.



**Figura 6.** Excavaciones en zonas habitacionales de Malpaís Prieto, municipio de Zacapu (Imagen de G. Roux/Proyecto Uacúsecha).

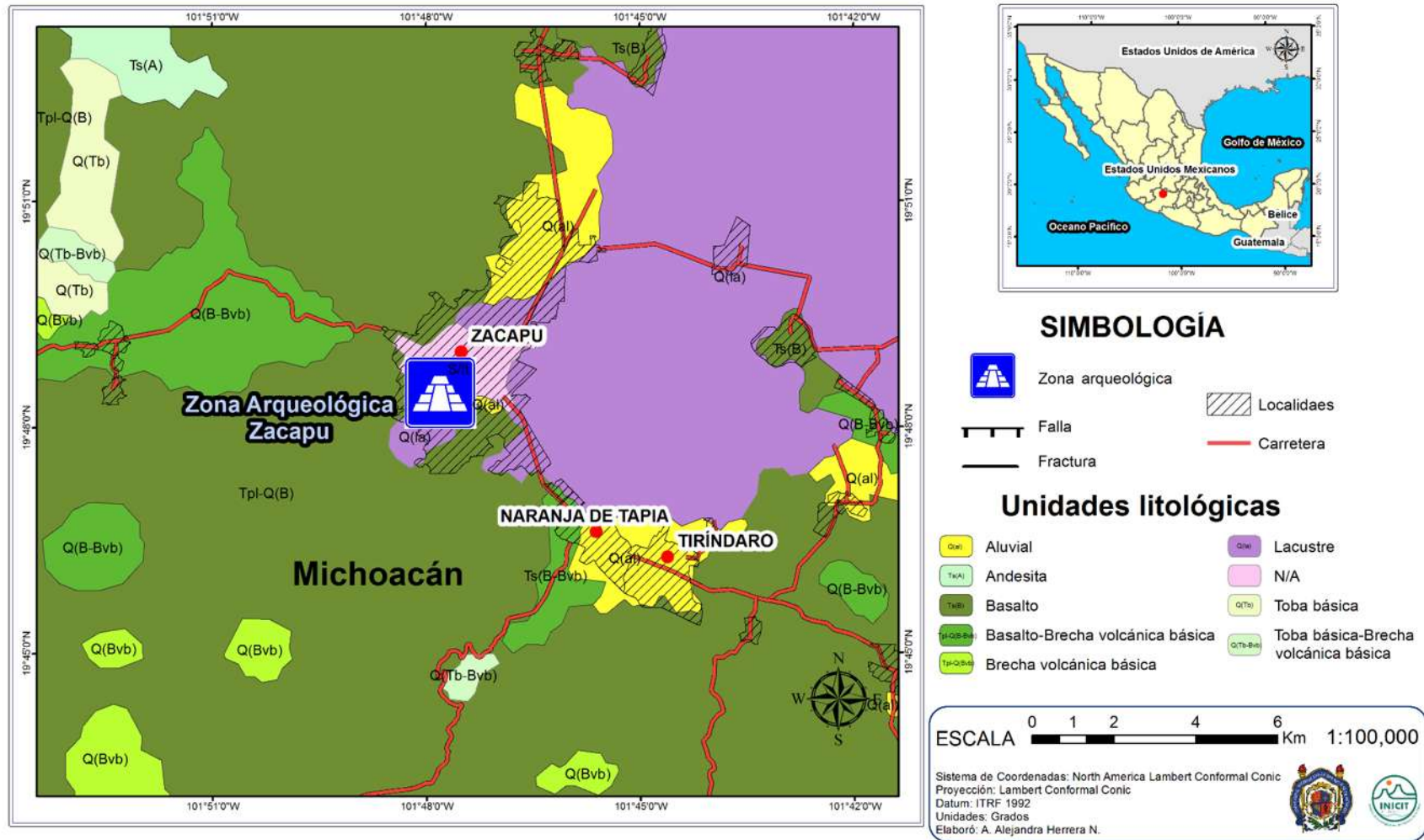


Figura 7. Marco geológico de Zacapu y sus alrededores, con ilustración de la ubicación del sitio arqueológico en la región de Milpillas.



### V.2.3. La Mina (Álvaro Obregón)

La zona arqueológica de La Mina (**Figura 8**) se encuentra en el norte del estado de Michoacán, aproximadamente a 38 km de la ciudad de Morelia y sus coordenadas geográficas son 292388.02 E y 2200368.19 N, zona 14. Esta zona se halla en un área con depósitos piroclásticos de composición félsico-intermedia, escasos derrames de lavas basálticas y depósitos lacustres por haber sido parte del lago de Cuitzeo (**Figura 9**). Presenta un clima Cw (Koeppen modificada por García, 1974); templado con lluvias en verano, una altitud de 1842 msnm. Esta zona arqueológica es de reciente descubrimiento y el estudio más destacado de la zona es el entierro donde se encontró a *Álvaro*, un hombre de mediana edad catalogado como la persona con la endodoncia más antigua en el mundo precolombino; su edad fue determinada por arqueomagnetismo y corresponde al periodo Epiclásico (647-768 d.C.; Goguitchaichvili *et al.*, 2017).



**Figura 8.** Entierro de La Mina, en Álvaro Obregón, Michoacán, donde se encontraron evidencias de un asentamiento arqueológico (imágenes tomadas por Dalia Maisner-postal/ Ramiro Aguayo Haro-hallazgo).

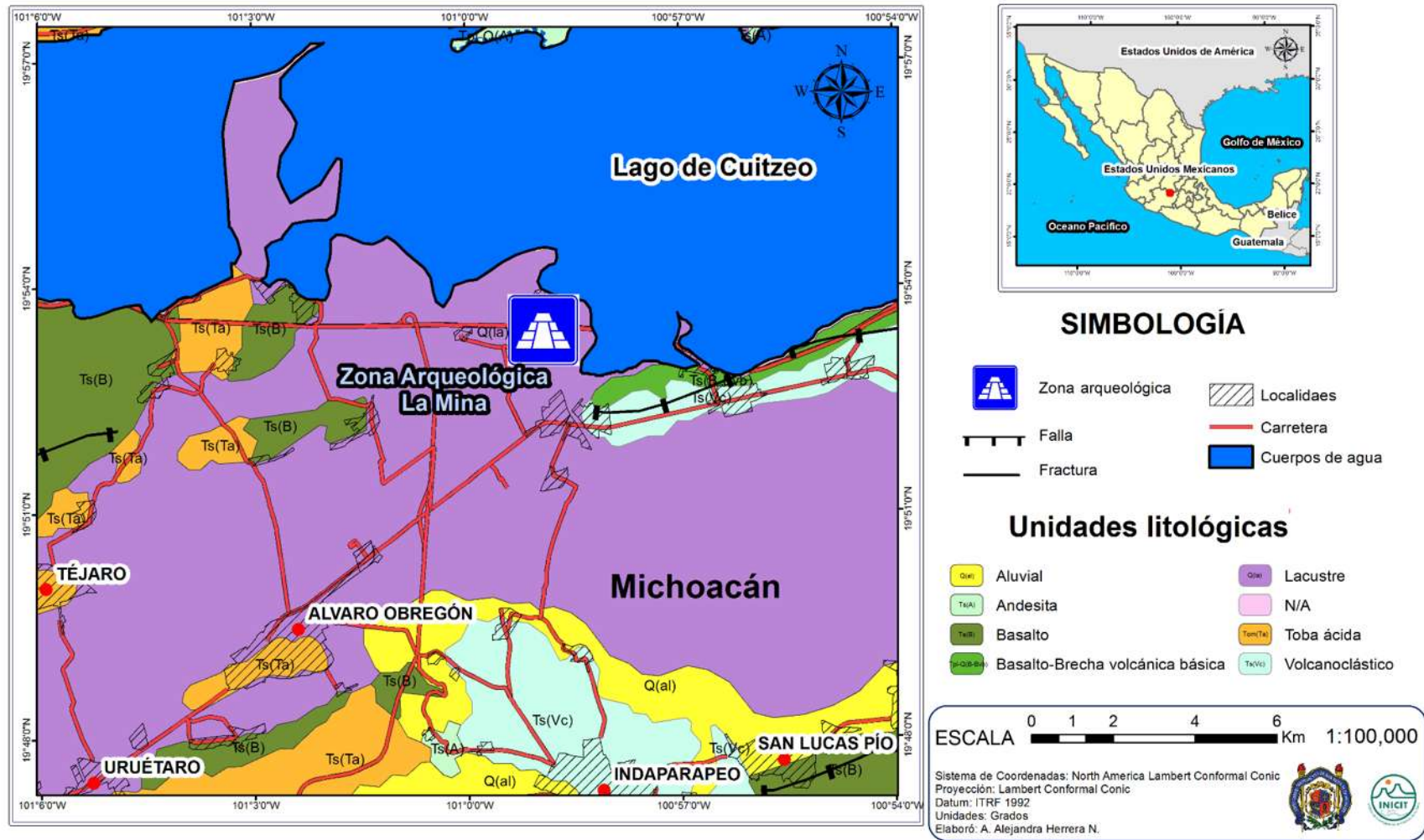


Figura 9. Geología de la zona arqueológica de la parte sur del lago de Cuitzeo, donde se ubica el sitio de La Mina.

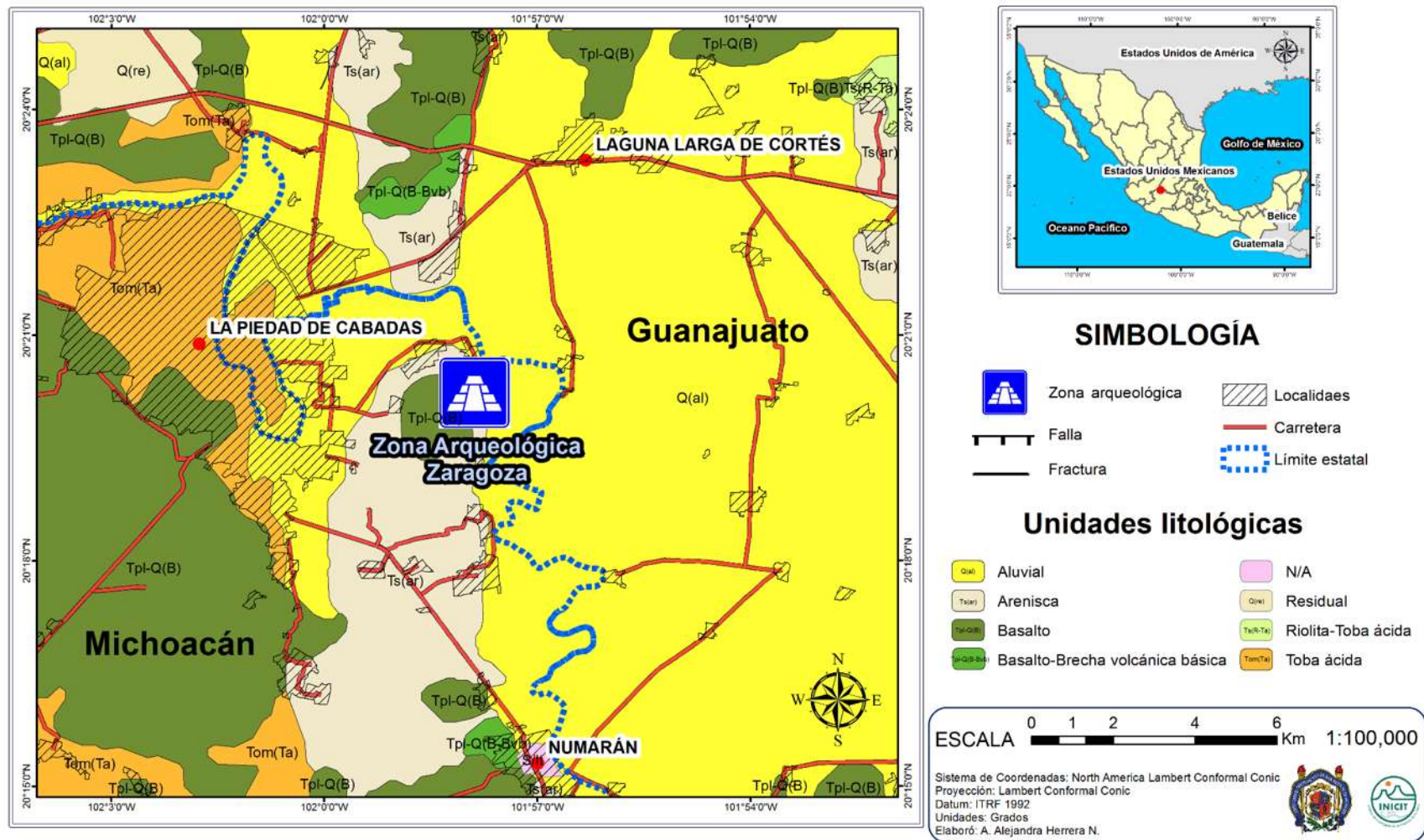
#### V.2.4. Zaragoza (La Piedad)

La zona arqueológica de Zaragoza (**Figura 10**) se encuentra en el municipio de La Piedad, al noroeste del estado de Michoacán, en los límites estatales con el estado de Guanajuato; sus coordenadas geográficas son 190225.32 E y 2252024.01 N, zona 14 (**Figura 11**); posee un clima Cw Templado con lluvias en verano (Koeppen modificada por García, 1974), una altitud de 1747 msnm. La litología de la zona se caracteriza por ser parte del graben de Penjamillo, el cual tiene una extensión de 50 km de longitud, rodeado de fallas y depósitos de ignimbritas, además de material aluvial asociado al paleoflujo y meandros del río Lerma. Este sitio presenta petrograbados y tiene una temporalidad del Epiclásico (650-900 d.C.).

En estudios previos se ha identificado la presencia de malacates, cuentas de piedra, barro y cerámica. Asimismo, otros entierros contienen piezas cerámicas que por su tipología son relacionadas con la región de Tierra Caliente, además de objetos con material de turquesa posiblemente provenientes del noroeste de México o suroeste de los Estados Unidos de Norteamérica.



**Figura 10.** Pirámide, juego de pelota y otras estructuras del sitio arqueológico de Zaragoza (imagen tomada por Eugenia Fernández-Villanueva).



**Figura 11.** Marco geológico de la porción noroeste de Michoacán y límites con el estado de Guanajuato, donde se localiza la zona arqueológica de Zaragoza.

### V.3. Yacimientos de obsidiana

En esta misma zona, y para efectos comparativos, se consideran cuatro yacimientos importantes dentro del contexto arqueológico mesoamericano: Ucareo, Zinapécuaro y Zináparo Prieto en el estado de Michoacán, además del yacimiento de Pénjamo en el estado de Guanajuato. Estos se tomaron como referencia por su cercanía con los sitios arqueológicos considerados en el presente ejercicio comparativo (**Figuras 3 y 12**).



**Figura 12.** Ubicación de los yacimientos de obsidiana considerados en el presente estudio.

#### V.3.1. Yacimiento de Ucareo

El yacimiento de Ucareo formó parte de la segunda fuente de obsidiana más importante en la Mesoamérica precolombina, por su cercanía con la de Zinapécuaro, como se reconoce en diferentes documentos históricos y a partir de *La Relación de Michoacán*; siendo este conjunto el que desplazó al yacimiento de la Sierra de Pachuca, debido a la gran extensión del afloramiento. Estudios previos han demostrado que objetos arqueológicos labrados en obsidiana encontrados en San Lorenzo Tenochtitlan en el estado de Veracruz, hasta Isla

Cerritos ubicada en Yucatán, provienen del yacimiento de Ucareo en Michoacán (Cobean, 2002).

El yacimiento de Ucareo se localiza al noreste de Michoacán y sureste del lago de Cuitzeo, por lo que su posición geográfica fue estratégica, de ahí su alta influencia en la zona lacustre de Cuitzeo y gran parte de Mesoamérica. El ambiente geológico donde se emplaza está dominado por depósitos de eventos piroclásticos de composición félsica (**Figura 13**). Hasta hoy en día se ha podido identificar que este yacimiento cuenta con tres periodos de flujo en tiempos diferentes, los cuales presentan variaciones en su composición química. Este yacimiento abarca un área aproximada de 80 km<sup>2</sup> (Nelson y Healan, 1995). Estudios previos han encontrado que la posible extracción prehispánica de obsidiana se ubica alrededor del poblado de Ucareo, a unos 1.5 km y continúa al menos hasta 2 km en línea recta. Por otro lado, también se han identificado cráteres que cuentan con hasta 10 metros de profundidad, en los cuales se pueden apreciar zonas de desecho de talla en forma de dona con varios metros de profundidad, posiblemente de trabajos prehispánicos (Healan, 1997; Cobean, 2002) (**Figura 14**).

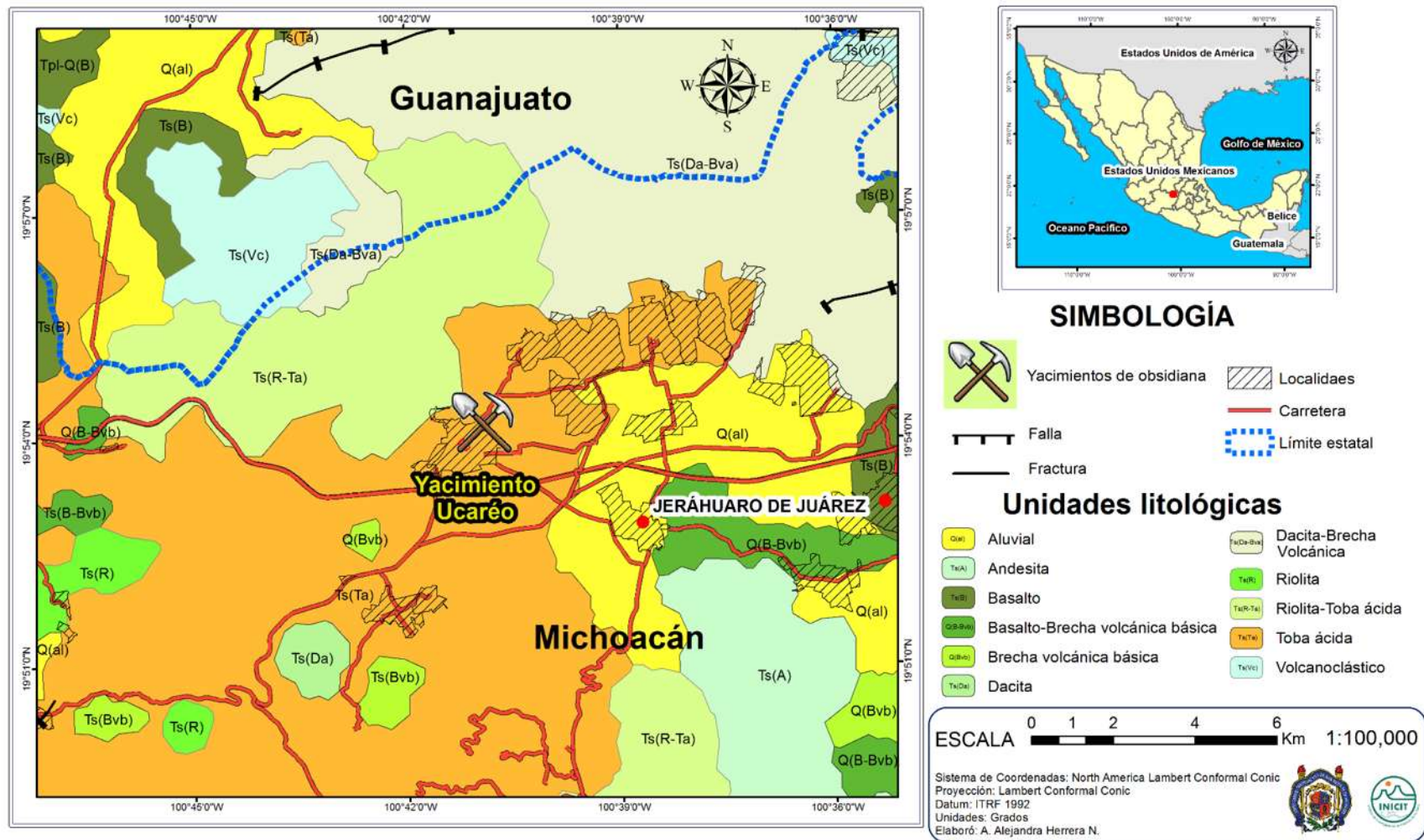


Figura 13. Ubicación y entorno geológico del yacimiento de Ucareo.

Algunos estudios han identificado que gran parte del trabajo que se realizaba en este yacimiento era para obtener núcleos y navajas. En reconocimientos se han podido encontrar desechos de navajas, lascas y núcleos.

La característica principal de esta obsidiana es su color gris oscuro a translúcido, comúnmente con bandas finas paralelas de color gris y en ocasiones presentan textura nubosa con bandas (Cobean, 2002).



**Figura 14.** Vista de una parte del yacimiento de Ucareo y algunos restos de talla.

### *V.3.2. Yacimiento de Zinapécuaro*

El yacimiento de obsidiana de Zinapécuaro se ubica al noreste de Michoacán y al sureste del lago de Cuitzeo, enmarcado en un ambiente geológico de riolita-toba ácida (**Figura 15**); este depósito es considerado junto con el de Ucareo como uno de los más importantes tanto de la región, como del centro y sur de la magna Mesoamérica. Algunos estudios sugieren relación petrogenética estrecha entre los



flujos formadores de los yacimientos de Zinapécuaro y de Ucareo; de los cuales se han identificado la exposición de al menos tres flujos generados en diferentes tiempos. Este yacimiento se encuentra en las orillas de población denominada Zinapécuaro, de donde se asignó el nombre.

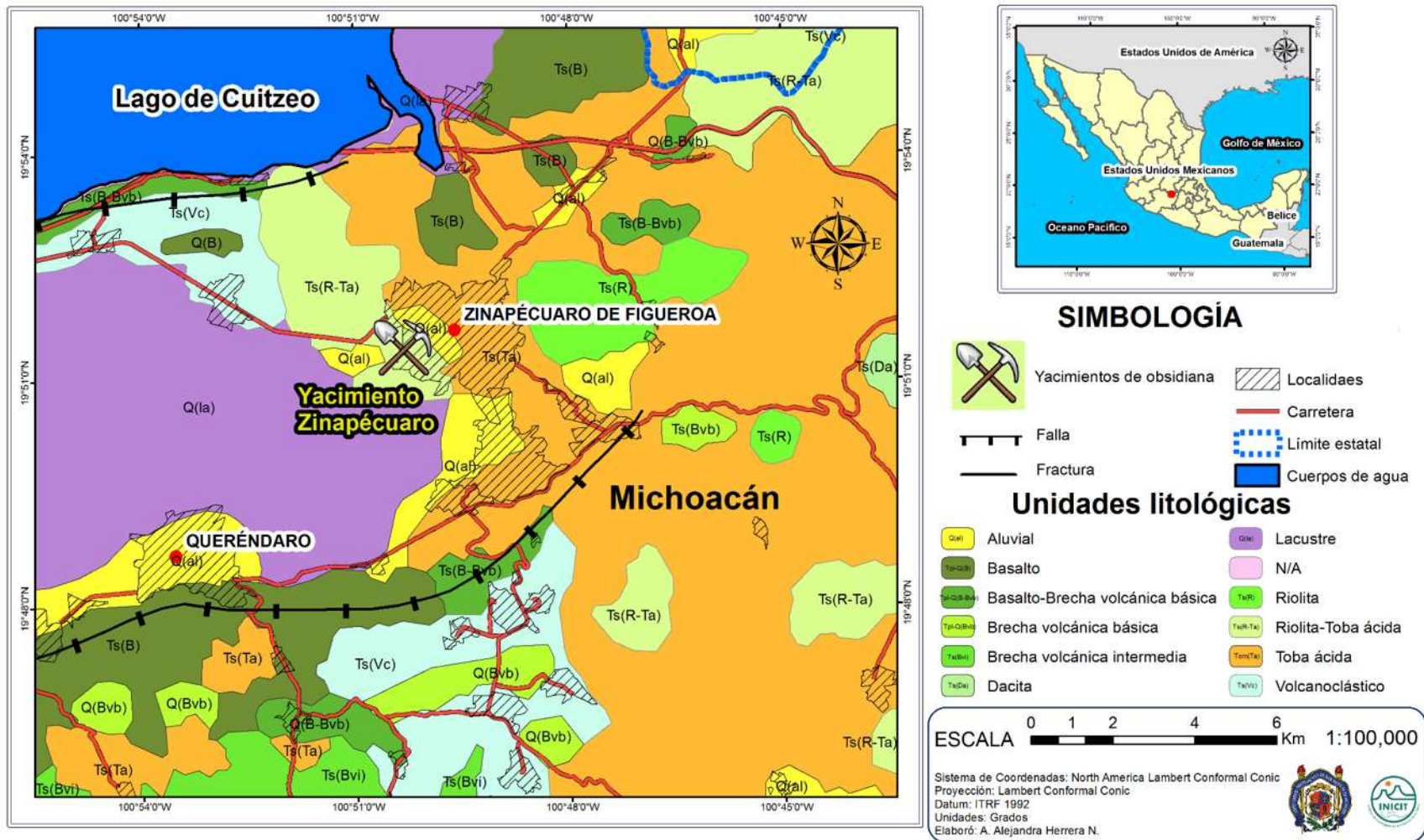


Figura 15. Ubicación y ambiente geológico del yacimiento de obsidiana de Zinapécuaro.

### *V.3.3. Yacimiento de Pénjamo, Guanajuato*

El yacimiento de obsidiana de Pénjamo se localiza al suroeste del estado de Guanajuato y al parecer fue un referente importante entre las zonas arqueológicas ubicadas a su alrededor, por su constante aprovechamiento como fuente de materia prima.

Los filones de este yacimiento se extienden hasta 9 km de radio respecto del yacimiento, por lo que su extracción se hizo a cielo abierto, en un ambiente geológico dominado por domos riolíticos y amplios depósitos de toba ácida soldada (ignimbrita) (**Figura 16**). Su mejor exposición se encuentra en las orillas de la presa de La Golondrina, localizada a un par de kilómetros al poniente del poblado de Pénjamo. Al sur de esta presa se han identificado zonas de desecho de talla prehispánica, con talleres ubicados a lo largo del yacimiento; el principal producto labrado en esos talleres eran raspadores discoidales usados probablemente para el trabajo con magueyes, sin embargo, también es posible encontrar navajas y navajillas (Cobean, 2002).

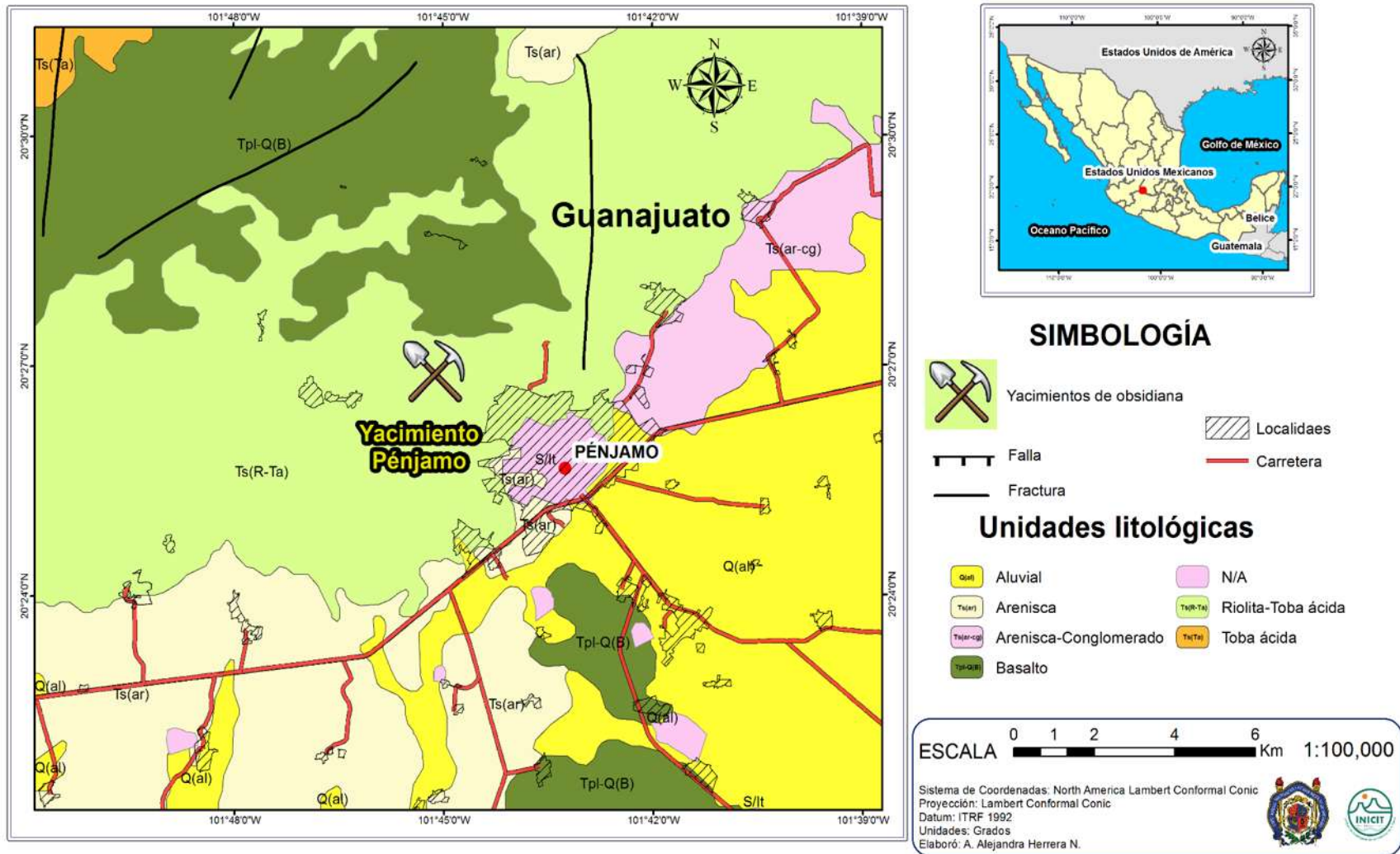


Figura 16. Ambiente geológico en el entorno del yacimiento de obsidiana de Pénjamo, Guanajuato.

## **CAPÍTULO VI. MATERIALES SELECCIONADOS Y MÉTODOS ANALÍTICOS**

### **VI.1. Área geo-cultural de estudio**

Una vez establecidos los parámetros sociales y geológicos para el presente trabajo se reconoce un área de estudio delimitada por las coordenadas 19°30'30" – 20° 30'30" latitud norte y 101°30'30" – 102°0'0" longitud oeste (**ver Figura 12**). A partir de las geolocalizaciones de estos sitios y con la ayuda de los recursos obtenidos de las capas geológicas del INEGI en escala 1:250,000, se elaboraron mapas en torno a las zonas arqueológicas y los yacimientos de obsidiana. Los mapas fueron realizados con el software ArcGIS 10.1 (ESRI, 2004) con un datum: ITRF 1992, Sistema de coordenadas: *North America Lambert Conformal Conic* y una proyección: *Lambert Conformal Conic*.

### **VI.2. Muestras seleccionadas para análisis**

Como parte del ejercicio analítico se buscaron colecciones de material arqueológico recuperado de sitios explorados en años recientes, donde fuera evidente la presencia de obsidiana como objeto y como clastos de cerámica. Se identificaron tiestos de cerámica de los sitios de La Nopalera (Huandacareo), Milpillas (Zacapu), La Mina (Alvaro Obregón) y Zaragoza (La Piedad), de los cuales se obtuvieron de entre 10 y 20 fragmentos de cada sitio; seleccionados de un grupo de muestras de vasijas incompletas o tiestos aislados, a partir de observaciones con ayuda de un microscopio estereoscópico, como se describe en los siguientes párrafos.

La inspección incluyó una descripción tipológica de los tiestos de cerámica y la búsqueda exhaustiva de clastos de obsidiana en la pasta con uso de lupa de mano con 10X de aumento; si presentaban algún material oscuro o de textura vítrea, la muestra era revisada con el microscopio estereoscópico marca Leica Zoom 2000 Model N. Z45V, donde se verificó la presencia o ausencia de obsidiana en la muestra problema.

### VI.2.1 Descripción de los materiales culturales por estudiar

En la **Tabla 2** se integran las muestras de cerámica y de objetos arqueológicos seleccionados para análisis en este trabajo. Para efectos de control se tiene un registro fotográfico, además de la descripción tipológica y datos del lugar de procedencia de cada muestra. En particular las muestras de cerámica se seleccionaron a partir de un análisis preliminar realizado con apoyo de microscopio estereoscópico, donde solamente se tomaron en cuenta piezas que contenían clastos de obsidiana (**Figura 17**).

**Tabla 2.** Relación de muestras consideradas en el presente estudio.

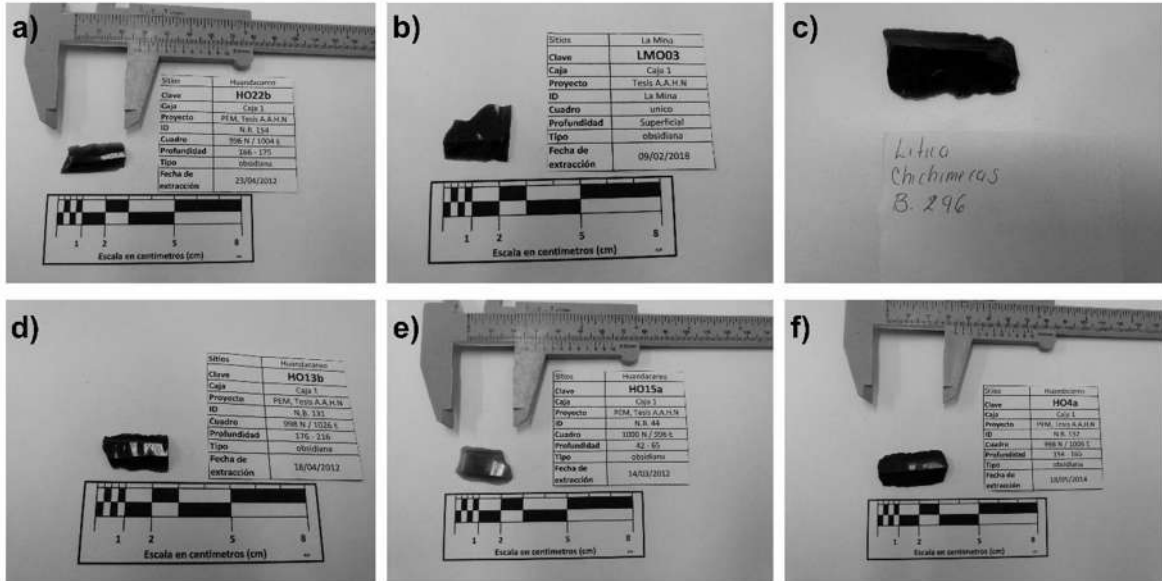
Sitio	Estado	Tipo de muestra	Tipo de análisis	Número de muestras analizadas
<b>Huandacareo</b>	Michoacán	Cerámica	Petrografía	14
			Microsonda	14
<b>Zacapu</b>	Michoacán	Cerámica	Petrografía	16
			Microsonda	16
<b>La Mina</b>	Michoacán	Cerámica	Petrografía	15
			Microsonda	15
<b>Zaragoza</b>	Michoacán	Cerámica	Petrografía	14
			Microsonda	14
<b>Huandacareo</b>	Michoacán	Objeto arqueológico de obsidiana	Microsonda	52
<b>La Mina</b>	Michoacán	Objeto arqueológico de obsidiana	Microsonda	15
<b>Zaragoza</b>	Michoacán	Objeto arqueológico de obsidiana	Microsonda	13
<b>Ucareo muestreo 2018</b>	Michoacán	Muestras de yacimiento	Microsonda	10
<b>Ucareo muestreo anterior</b>	Michoacán	Muestras de yacimiento	Microsonda	10
<b>Zinapécuaro</b>	Michoacán	Muestras de yacimiento	Microsonda	10
<b>Pénjamo</b>	Guanajuato	Muestras de yacimiento	Microsonda	10
<b>Total, muestras analizadas</b>				<b>238</b>



**Figura 17.** Muestras de cerámica de los sitios de Huandacareo, Zacapu, La Mina y Zaragoza vistas a microscopio estereoscópico, donde se indica presencia de clastos de obsidiana.

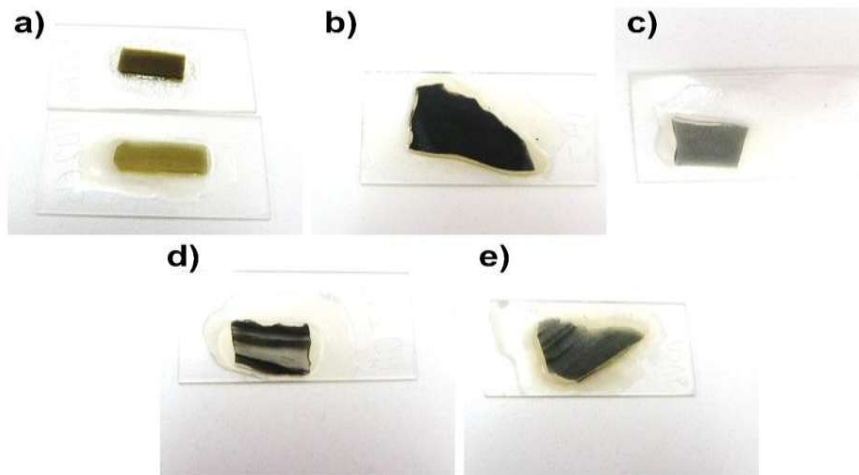
Con base en la revisión de los materiales disponibles recuperados durante temporadas de campo con excavaciones arqueológicas en áreas específicas, los principales objetos de manufactura precolombina encontrados en los sitios arqueológicos, y realizados a partir de obsidiana, fueron las *navajillas* (**Figura 18**), debido probablemente a su versatilidad de uso y *facilidad* para ser elaboradas. Para el presente proyecto se seleccionaron 52 *navajillas* de Huandacareo, 15 muestras de La Mina y 13 de Zaragoza; cabe mencionar que del sitio de Zacapu no se tuvo acceso a objetos elaborados con obsidiana.

De un total de 238 muestras analizadas tanto de cerámica como objetos de obsidiana se encontraron muestras que contenían características físicas, tipológicas, de color y texturales similares, por lo que se agruparon y se eligieron muestras representativas de cada lote, los cuales fueron analizados por petrografía como análisis preliminar al uso de microsonda.



**Figura 18.** Muestras de navajillas de obsidiana de los sitios: a) Huandacareo, b) La Mina y c) Zaragoza, d, e y f) Huandacareo.

Dentro de los objetos arqueológicos de obsidiana encontrados en los tres sitios, se identificaron cuatro diferentes tipos, los cuales se dividieron a partir de su coloración y su estructura: obsidiana verde, obsidiana grises, obsidiana grises con bandas gris claro y las obsidiana negras (**Figura 19**).

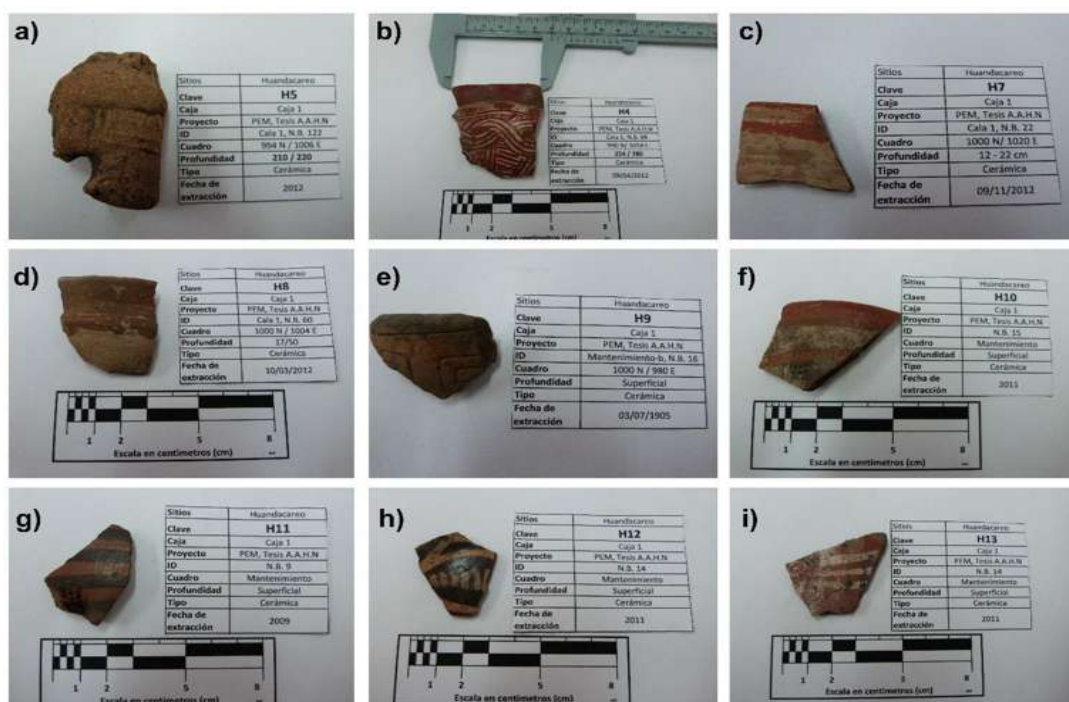


**Figura 19.** Muestras de obsidiana tratadas para análisis por microsonda de electrones; donde pueden observarse los cuatro diferentes tipos de obsidiana encontradas en los sitios de Huandacareo, La Mina y Zaragoza contrastadas con una muestra del yacimiento de Ucareo; a) verde, b) negra, c) gris, obsidiana gris con bandas de color gris claro y, e) obsidiana del yacimiento de Ucareo, Michoacán.



## VI.2.2 Análisis tipológico de cerámica

Se identificaron 14 muestras de Huandacareo que contenían clastos de obsidiana inmersa en la pasta de la cerámica con nueve tipologías diferentes, de acuerdo con informes técnicos de temporadas de campo realizadas en diferentes momentos. De esos, cinco figurillas antropomorfas, dos con decorado rojo sobre crema, un capujo rojo y decorado blanco sobre crema, un sipiho gris con engobe crema, un incisa negro sobre crema, un uricho rojo y blanco sobre bayo con negativo, un rojo negativo, un negro sobre crema y un crema, rojo y blanco sobre crema (**Figura 20**).



**Figura 20.** Tipología en cerámica de Huandacareo: a) figurilla antropomorfa, b) Rojo sobre crema, c) Capujo rojo y blanco sobre crema, d) Sipiho gris engobe crema, e) Incisa negro sobre crema, f) Uricho rojo y blanco sobre bayo con negativo, g) Rojo negativo, h) Negro sobre crema y crema, i) Rojo y blanco sobre crema.

En el caso de Zacapu se pudieron identificar 16 muestras de cerámica con ocho tipologías diferentes, identificadas como: un rojo sobre crema tipo tres palos, un agropecuario blanco sobre rojo, un negativo sobre rojo, un Urumbecuario rojo

mate, un agropecuario blanco y negro sobre rojo, cinco Zacapu rojo, cinco Zacapu café y un Uricho bayo (**Figura 21**).



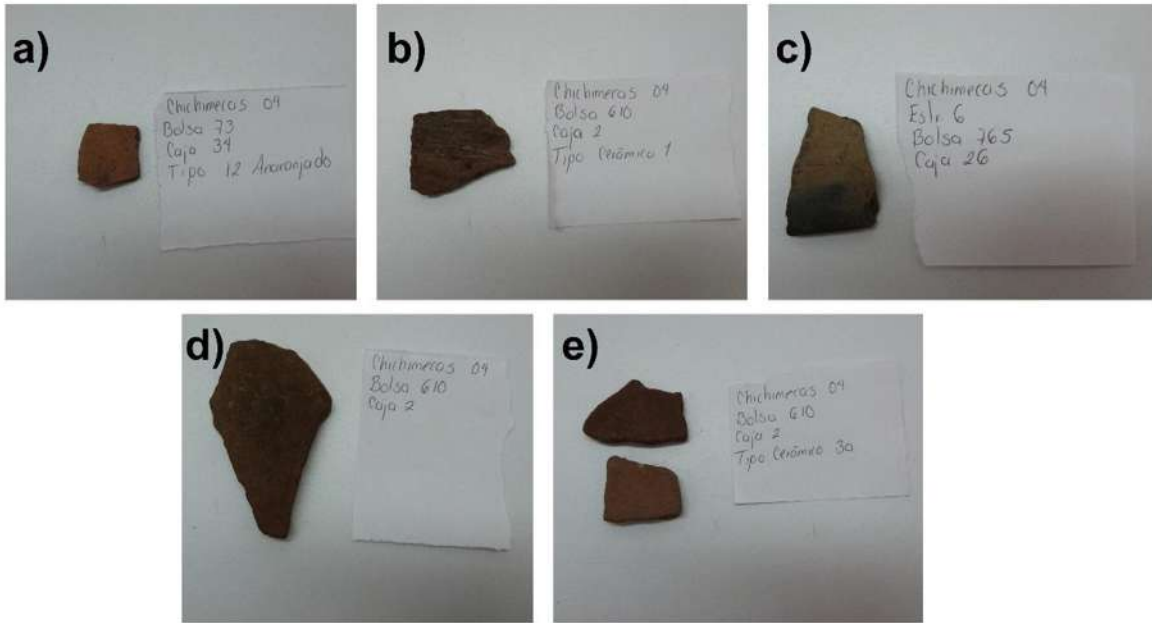
**Figura 21.** Tipología de cerámica en Zacapu: a) Rojo sobre crema tipo Tres Palos, b) Agropecuario blanco sobre rojo, c) Negativo sobre rojo, d) Urumbecuario rojo mate, e) Agropecuario blanco y negro sobre rojo, f) Zacapu rojo, g) Zacapu café, h) Uricho bayo.

En el sitio La Mina se identificaron 14 muestras de cerámica con clastos de obsidiana, relacionados a nueve tipologías diferentes conformadas por: una muestra incisa, uno de tres palos rojo sobre crema, un Urumbecuario rojo mate, dos Lupe pulido, dos Uricho café, un Uricho rojo y blanco sobre crema, tres Arócutin rojo negativo, un Tariacuri burdo y dos Uricho bayo (**Figura 22**).



**Figura 22.** Tipología de cerámica de La Mina: a) Incisas, b) Tres Palos rojo sobre crema, c) Urumbecuaro rojo mate, d) Lupe pulido, e) Uricho café, f) Uricho rojo y blanco sobre crema, g) Arócutin rojo negativo, h) Tariacuri burdo, i) Uricho bayo.

En el sitio de Zaragoza se identificaron 15 muestras de cerámica que contenían clastos de obsidiana. De ese lote se reconocieron cinco tipologías diferentes; dos Nopal (anaranjado), cuatro Tepame (rojo), tres Chupiri (café pulido), dos Mimosa (rojo bayo) y cuatro Capulín (rojo liso) (**Figura 23**).



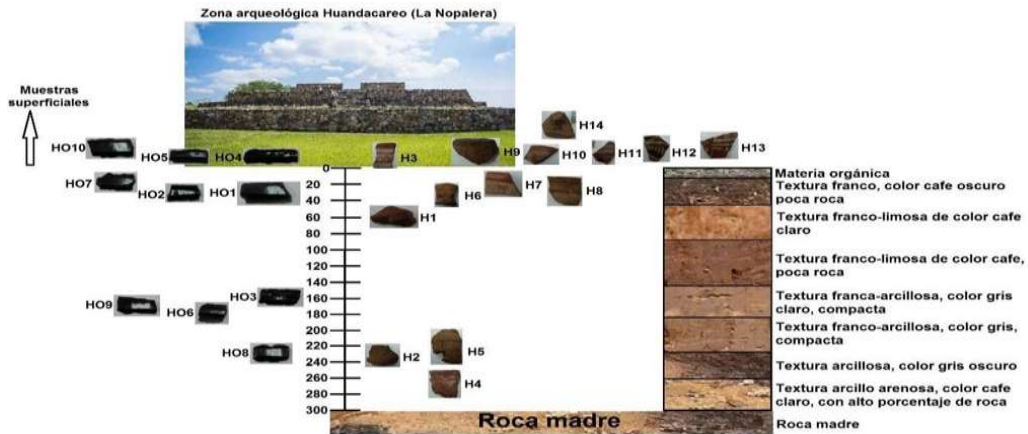
**Figura 23.** Ilustración de la Tipología representada en cerámica de Zaragoza: a) Nopal (anaranjado), b) Tepame (rojo), c) Chupiri (café pulido), d) Mimosa (rojo bayo), e) Capulín (rojo liso).

### VI.3. Estratigrafía

Para cada zona de estudio se elaboró un perfil estratigráfico con sus horizontes culturales. Este se basó en los resultados obtenidos durante el trabajo de campo llevado a cabo en trabajos previos al presente estudio, dentro de proyectos del INAH en diferentes temporadas, así como del Centro de Estudios Mexicanos y Centroamericanos (CEMCA) en la región de Zacapu. Dentro del gran número de muestras se encontró que algunas se obtuvieron de manera superficial y otras a profundidades considerables.

En el caso de Huandacareo se encontraron muestras hasta los tres metros de profundidad, siete muestras de cerámica y tres de obsidiana se encontraron superficialmente, mientras que siete muestras de cerámica y siete de obsidiana se encontraron sub-superficialmente. Cabe mencionar que la mayoría de las muestras se encuentran a una profundidad no mayor de 80 cm, teniendo un

espacio de hasta los 1.5 m sin localización de material; posteriormente a este se encontraron siete muestras (**Figura 24**).



**Figura 24.** Estratigrafía de la zona arqueológica donde se obtuvieron las muestras de cerámica y objetos arqueológicos de obsidiana en Huandacareo.

En el sitio de Zacapu se encontraron muestras hasta una profundidad de 1 m, tres muestras de cerámica y 13 muestras de cerámica bajo la superficie, empezando a los 20 cm. En este caso se encontró la roca madre al metro de profundidad -cabe mencionar que para el caso de los análisis de Zacapu no se cuenta con objetos arqueológicos de obsidiana, ya que no se tuvo acceso a este tipo de material- (**Figura 25**).



**Figura 25.** Estratigrafía de la zona arqueológica donde se obtuvieron las muestras de cerámica y objetos arqueológicos de obsidiana en Zacapu.

La zona arqueológica de La Mina es un sitio saqueado y con material removido; todas las muestras analizadas se encontraron en superficie (**Figura 26**), mientras que para el caso de Zaragoza las muestras se obtuvieron a una profundidad no mayor de un metro; cabe mencionar que a los 50 cm se encontró un piso de color blanco, posiblemente formó parte del área habitacional. En la parte superficial se encontraron 4 muestras de cerámica y 6 muestras de obsidiana, bajo la superficie se encontraron 11 muestras de cerámica y 7 muestras de obsidiana (**Figura 27**).



**Figura 26.** Estratigrafía de la zona arqueológica donde se obtuvieron las muestras de cerámica y objetos arqueológicos de obsidiana en La Mina.



**Figura 27.** Estratigrafía de la zona arqueológica donde se obtuvieron las muestras de cerámica y objetos arqueológicos de obsidiana del sitio Zaragoza.

#### **VI.4. Análisis petrográfico**

Para la caracterización textural y de mineralogía modal en cerámica fueron preparadas láminas delgadas. Se realizaron cortes de tiestos de cerámica con ayuda de una cortadora portátil y una pulidora marca *GE Motors* hasta alcanzar 3 cm de largo y 2 cm de ancho para cada tiesto, posteriormente en la cara donde quedaron expuestos los fragmentos de obsidiana se realizó un desbaste con abrasivos de carburo de silicio (SiC) de las mallas número 240, 400, 600 y finalmente 1000, sobre un cristal plano y aplicando suficiente agua durante el pulido. Para evitar contaminación de materiales y ralladura en las muestras se realizó un lavado extremo cada cambio de abrasivo; cuidando en cada proceso la integridad de los fragmentos de obsidiana.

Una vez desbastada y pulida la superficie con abrasivo de la malla 1000 se pegó la muestra sobre un vidrio liso usando resina *Araldylt*, el procedimiento se realiza mediante la mezcla 1:1 de resina con su catalizador a 40°C en vaso de precipitado precalentado con baño María a temperatura controlada. Luego de su homogeneización en parrilla a 40°C y con uso de una varilla de vidrio, se aplica sobre la superficie de la muestra problema y se deposita en portaobjetos de vidrio, tratando de evitar burbujas de aire entre la muestra y el vidrio. La muestra es secada a una temperatura ambiente aproximada a los 25°C durante 24 h para permitir la maduración adecuada del cementante. Ya secas y bien cementadas las muestras, se realiza el mismo procedimiento de desbaste con abrasivos de 240, 400, 600 y hasta 1000. Finalmente, con el abrasivo 1000 la muestra es llevada a un espesor de aproximadamente 30 µm, considerado ideal para identificar la mineralogía modal y texturas en microscopio petrográfico.

Las muestras se analizaron con un microscopio petrográfico Nikon ECLIPSE Ci POL y las imágenes fueron tomadas con una cámara INFINITY 1 Lumenera. Por último, para determinar las concentraciones de los minerales se utilizó el software Photoshop, el cual permite seleccionar todos los minerales con las mismas características ópticas y a partir del número de píxeles que ocupan dentro de la

imagen es posible obtener el porcentaje de los minerales en comparación del total del cuadrante visualizado con el objetivo seleccionado.

### VI.5. Análisis por microsonda electrónica

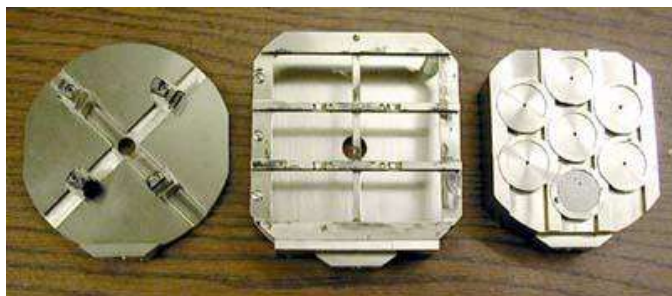
Para el análisis químico de las muestras seleccionadas se realizó un proceso de pulimento con uso de alúmina de diferentes diámetros. Las muestras de cerámica se preparan con un tamaño estándar como láminas de aproximadamente 2.7 cm X 4.6 cm de forma rectangular (**Figura 28**). Posteriormente se realizó el tratamiento de lámina para llevarla a un espesor aproximado a las 50  $\mu\text{m}$  y un diámetro aproximado a 2.54 cm (1”).



**Figura 28.** Láminas de 30  $\mu\text{m}$  de espesor para petrografía de rocas.

La mayoría de los silicatos son aislantes eléctricos por naturaleza, sin embargo, la técnica requiere que las muestras sean conductoras, por lo que para este análisis la muestra debe ser cubierta con una película delgada de un material conductor como carbón, oro o aluminio; una vez realizado esto las muestras son colocadas en soportes (**Figura 29**).





**Figura 29.** Soporte para muestras en láminas y núcleos.

Las muestras se midieron en una Microsonda marca: *Jeol*, Modelo: *JXA-N230*, *SUPERPROBE*, en el Laboratorio de Microanálisis del Instituto de Geofísica Unidad Morelia de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Las muestras problema se colocaron en la cámara de exposición a los electrones para generar un ambiente de alto vacío, con mediciones a un voltaje de aceleración de 15 kV y una corriente de sonda de  $9.9 \times 10^{-9}$  A. Las condiciones de mediciones para cada estándar se describen en la **Tabla 3**. Una vez logrado el vacío requerido se buscan las condiciones ideales, como la aceleración actual de tensión, enfoque del haz de electrones. Enseguida, se realizó el análisis cuantitativo de los elementos químicos en la obsidiana; medibles en las condiciones actuales de la microsonda de electrones.

**Tabla 3.** Condiciones de medición por elemento calibrado.

	Elemento	Rayo X	Cristal	Acc.v	Corriente(A)	Pico	Fondo	Estándar	Elemento	Estándar
1	Ti	Ka	PETL	15	9.956E-009	10	5.0 (s)	1	TiO <sub>2</sub>	Rutile
2	Ba	La	PETL	15	9.993E-009	10	5.0 (s)	2	BaO	Baryte
3	Ca	Ka	PETL	15	9.972E-009	10	5.0 (s)	3	CaO	Obsidian
4	Nb	La	PETL	15	9.956E-009	10	5.0 (s)	4	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Rutile
5	Sr	La	PETL	15	1.000E-008	10	5.0 (s)	5	SrO	Celestine
6	Fe	Ka	LIFL	15	9.960E-009	10	5.0 (s)	6	FeO	KE-12
7	Mn	Ka	LIFL	15	9.981E-009	10	5.0 (s)	7	MnO	Garnet-Spessartine
8	K	Ka	PETJ	15	9.999E-009	10	5.0 (s)	8	K <sub>2</sub> O	Obsidian
9	Na	Ka	TAP	15	9.992E-009	2	5.0 (s)	9	Na <sub>2</sub> O	Albita
10	Zr	La	PETJ	15	9.963E-009	10	5.0 (s)	10	ZrO <sub>2</sub>	Zircon
11	Si	Ka	TAP	15	1.034E-008	10	5.0 (s)	11	SiO <sub>2</sub>	KE-12
12	Al	Ka	TAP	15	9.974E-009	10	5.0 (s)	12	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Obsidian
13	Mg	Ka	TAP	15	9.985E-009	10	5.0 (s)	13	MgO	A-99

## VI.6. Análisis estadístico

Para identificar afinidades entre la obsidiana de piezas arqueológicas con las de yacimientos, se hizo necesario emplear diagramas usados para responder preguntas en el campo de la petrología, así como el uso de herramientas de la estadística para reconocer semejanzas o diferencias entre grupos de datos. Como se describió en apartados anteriores, cada yacimiento presenta una firma química que puede ser descodificada a partir de la cuantificación de determinados elementos mayores (% peso) y traza (ppm) por diferentes técnicas analíticas, tal como se constató en el estudio realizado por Acquafredda *et al.* (1999).

La técnica estadística para determinar variables múltiples es utilizada para encontrar correlaciones entre diferentes grupos de datos, los cuales cuentan con más de dos variables a analizar para la toma de decisiones y un número de dimensiones iguales que el número de variables o parámetros. En este caso los elementos encontrados tanto en las muestras de obsidiana de la cerámica con los elementos encontrados en las muestras de los yacimientos. En las gráficas bimodales de correlación generadas, los grupos con resultados similares forman una nube en el espacio XY, con puntos pertenecientes a los valores de las concentraciones de elementos de cada obsidiana con un *centroide* que es calculado matemáticamente. La forma de estas agrupaciones se integra por la correlación entre los elementos y con ello es posible identificar agrupaciones entre las muestras de obsidiana encontradas en la cerámica y la obsidiana de los yacimientos. Cuando estos agrupamientos se superponen o tienden a centroides cercanos indicarán que se trata de la misma obsidiana y con ello sería posible determinar el lugar de procedencia probable de la pasta de cerámica.

El principio de las variables múltiples es el siguiente:

Las variables múltiples establecen la relación de una variable dependiente  $Y$  con respecto de una variable  $X$  ( $X_1, X_2... X_n$ ) en un espacio multidimensional. El coeficiente  $\beta$  es el incremento de  $Y$  en unidades al aumentar  $X$ . La ecuación de

regresión múltiple incluye un dato por cada predictor  $\beta_1, \beta_2, \beta_n$  (Aiken y West, 1991).

$$Y = a + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n + e$$

Ec. 1

Dónde:  $Y$  = variable independiente;  $a, \beta_1 X_1, \beta_2 X_2, \beta_n X_n$  = valores o parámetros desconocidos a estimar y  $e$  = *error de la predicción*.

Los análisis de variables múltiples se harán con el software *Statgraphics plus 5.1*

#### *IV.6.1. Análisis discriminantes*

Se realizará un análisis discriminante para validar la formación de grupos de muestras con base en un conjunto de variables independientes. Es una técnica de clasificación y asignación de elementos a un grupo. La clasificación de los elementos de una población o grupo se lleva a cabo con las funciones lineales o cuadráticas (Lévy *et al.*, 2003).

#### *VI.6.2. Análisis de los componentes principales*

El Análisis de Componentes Principales es un método estadístico en el cual se realiza una síntesis de información o reducción de la dimensión de los números de las variables. Esto es, ante un conjunto de datos con diversas variables o parámetros a analizar, el objetivo es reducirlos a un número menor, siempre y cuando se pierda la menor cantidad de información. Posteriormente los nuevos componentes principales o variables con mayor peso son una combinación lineal de las variables originales con las variables mejor adaptables al método, y con esto independiente entre ellas. Un parámetro clave en este método es la interpretación de los factores, ya que no se interpreta por sí sola, sino que se deduce con la observación de la relación de los factores con las variables iniciales.

Por lo que, se buscan  $m < p$  variables o parámetros que sean combinaciones lineales de las  $p$  originales y que estén correlacionadas entre sí, recogiendo la

mayor parte de la información o variabilidad de los datos para deducir los resultados.

Con el marco descrito, en las anteriores técnicas se propone la aplicación de una metodología analítica basada en el estudio de piezas arqueológicas de obsidiana y clastos de obsidiana en piezas de cerámica, comparadas con muestras de yacimiento o datos geológico-geoquímicos de la región. Como parte inicial de este trabajo se considera la caracterización de cerámica a partir de su mineralogía modal, que servirá como guía al aplicar la técnica de microsonda con análisis por espectrometría de dispersión de longitud de onda (WDS), con la interpretación de sus resultados. A pesar de considerar a los elementos traza como los mejores indicadores de firma química para yacimientos de obsidiana, los elementos mayores pueden serlo también, con base en los principios descritos e implementando la metodología de procesado adecuada. Se buscará concentrar la metodología analítica en elaborar curvas de calibración a partir de estándares confiables y de reconocimiento mundial entre laboratorios de esa especialidad.

Es importante dejar asentado que el material arqueológico seleccionado para análisis corresponde a fragmentos de piezas tanto de cerámica (tiestos), como de objetos de obsidiana (navajas, puntas) de contexto cultural, pero que no son *museables*; es decir, su dimensión y calidad estética no permite un reconocimiento pleno del objeto en original, para ser exhibido. Finalmente, y a favor de la metodología y técnicas analíticas implementadas, es destacable el hecho de que, a pesar de ser consideradas como “*destructivas*”, será el punto de partida para implementar una metodología analítica que debe redundar en el menor daño posible al material arqueológico, pero también con la posibilidad de reconocer su firma química y estar en condiciones de proponer otras técnicas cada vez “*menos destructivas*” como podrían ser las espectroscópicas. La superficie de medición por punto es aproximada a 10µm, por lo que la preparación especial en una zona específica reducirá la superficie de sacrificio en una pieza arqueológica seleccionada para un estudio de este tipo.

## CAPÍTULO VII. RESULTADOS

### VII.1. Mineralogía modal de la cerámica

Se realizó el análisis petrográfico de 59 muestras de cerámica con el fin de identificar y cuantificar la mineralogía modal que conforma el desgrasante que junto con las arcillas dieron forma a la pasta necesaria para elaborar cerámica ornamental y/o utilitaria encontrada en los sitios referidos.

Los clastos de obsidiana forman parte de esos componentes (criterio de selección). El sitio de Huandacareo muestra porcentajes de entre 50% y 80% de matriz arcillo-limosa y un porcentaje entre 20% y 50% de clastos. La presencia de feldespatos y plagioclasas es predominante: entre 31% y 65% de feldespatos; entre 12% y 42% de plagioclasas, además de 11% a 22% de anfíboles y de 4 a 18% de piroxenos (**Tabla 4**).

**Tabla 4.** Análisis petrográfico de muestras de cerámica del sitio de Huandacareo.

Muestra	Matriz (%)	Clastos (%)	Lítica (%)	Qz (%)	Fk (%)	Pl (%)	Mi (%)	An (%)	Px (%)	Ol (%)	Otros
H1	60	40	38	0	52	21	0	15	12	0	0
H2	60	40	34	0	51	21	0	17	11	0	0
H3	80	20	36	0	51	26	0	11	12	0	0
H4	70	30	29	0	52	17	0	13	18	0	0
H5	50	50	31	0	50	22	0	16	12	0	0
H6	70	30	28	0	63	12	0	18	7	0	0
H7	65	35	39	0	58	15	0	13	14	0	0
H8	60	40	37	0	65	13	0	11	11	0	0
H9	55	45	39	0	32	42	0	22	4	0	0
H10	70	30	39	0	43	21	0	12	13	11	0
H11	75	25	34	0	31	31	0	17	13	8	0
H12	70	30	36	0	52	20	0	11	17	0	0
H13	75	25	37	0	47	16	0	12	17	8	0
H14	50	50	39	12	46	17	0	10	10	5	0
<b>PROMEDIO</b>	<b>65</b>	<b>35</b>	<b>35</b>	<b>1</b>	<b>50</b>	<b>21</b>	<b>0</b>	<b>14</b>	<b>12</b>	<b>2</b>	<b>0</b>

Para el sitio de Zacapu las cerámicas presentan porcentajes de entre 50% y 75% en la matriz limo-arcillosa de la pasta, contra un porcentaje de entre 25% y 45% de

clastos. En este caso la presencia de feldespatos y plagioclasas predominan, con porcentaje de entre 43% y 63% para feldespatos, contra 10% y 32% de plagioclasas; además de entre 7% y 24% de anfíboles y de 0 a 22% de piroxenos, además de un 0% a 15% de cuarzo (**Tabla 5**).

**Tabla 5.** Análisis petrográfico de muestras de cerámica del sitio de Zacapu.

Muestra	Matriz (%)	Clastos (%)	Lítica (%)	Qz (%)	Fk (%)	Pl (%)	Mi (%)	An (%)	Px (%)	OI (%)	Otros
Z1	65	35	10	7	63	23	0	7	0	0	0
Z2	70	30	10	0	43	11	0	24	22	0	0
Z3	75	25	10	0	43	28	0	17	12	0	0
Z4	75	25	10	0	48	21	0	13	18	0	0
Z5	65	35	40	0	48	23	0	15	14	0	0
Z6	60	40	10	0	48	22	0	16	14	0	0
Z7	65	35	38	0	49	22	0	15	14	0	0
Z8	70	30	35	0	47	23	0	16	14	0	0
Z9	50	50	5	0	46	32	0	16	6	0	0
Z10	65	35	10	0	49	24	0	19	8	0	0
Z11	65	35	5	10	50	10	0	12	11	7	0
Z12	55	45	5	15	46	15	0	10	8	6	0
Z13	65	35	10	10	44	21	0	13	12	0	0
Z14	60	40	5	6	52	15	0	16	5	6	0
Z15	65	35	10	0	45	22	0	14	13	6	0
Z16	60	40	10	7	54	13	0	8	11	7	0
<b>PROMEDIO</b>	<b>64</b>	<b>36</b>	<b>14</b>	<b>3</b>	<b>48</b>	<b>20</b>	<b>0</b>	<b>14</b>	<b>11</b>	<b>2</b>	<b>0</b>

La serie de muestras de cerámica del sitio La Mina registra porcentajes de 50% a 65% en la matriz limo-arcillosa de la pasta, contra un porcentaje entre 35% y 45% de clastos, de los cuales la presencia de cuarzo es la más abundante, seguido de plagioclasas (6%-24%) y feldespatos (11% a 45%); entre 0% y 18% de anfíboles, 6% a 18% de piroxenos, además de un 0 a 7% de olivino y un rango altamente variable de cuarzo (10% a 57%) (**Tabla 6**).

**Tabla 6.** Análisis petrográfico de muestras de cerámica del sitio de La Mina

Muestra	Matriz (%)	Clastos (%)	Lítica (%)	Qz (%)	Fk (%)	Pl (%)	Mi (%)	An (%)	Px (%)	Ol (%)	Otros
LM1	60	40	20	57	17	12	0	6	7	1	0
LM2	60	40	20	55	18	13	0	6	6	2	0
LM3	60	40	25	48	12	17	0	8	9	6	0
LM4	55	45	0	52	18	6	0	7	12	5	0
LM5	50	50	28	35	18	12	0	15	15	5	0
LM6	60	40	35	38	11	21	0	10	18	2	0
LM7	65	35	28	10	45	18	0	12	11	4	0
LM8	65	35	34	12	42	20	0	9	10	7	0
LM9	55	45	35	12	31	24	0	18	15	0	0
LM10	60	40	28	38	18	14	0	14	16	0	0
LM11	55	45	24	43	20	18	0	7	6	6	0
LM12	55	45	18	46	18	17	0	9	6	4	0
LM13	60	40	60	21	29	16	0	9	18	7	0
LM14	65	35	34	48	14	23	0	0	10	5	0
<b>PROMEDIO</b>	<b>59</b>	<b>41</b>	<b>28</b>	<b>37</b>	<b>22</b>	<b>17</b>	<b>0</b>	<b>9</b>	<b>11</b>	<b>4</b>	<b>0</b>

Las muestras cerámicas de Zaragoza (cerro Chichimecas) presentan porcentajes de entre 50% y 70% de matriz arcillo-limosa de la pasta, con porcentaje entre 30 y 50% de clastos; de los cuales la presencia de cuarzo (8%-38%) sobresale por su abundancia, con un porcentaje de entre 9% y 42% de feldespatos, de entre 14 y 28% en plagioclasas, entre 7 y 25% de anfíboles, de entre 7 y 21% de piroxenos, además de entre un 1 y 9% de olivino (**Tabla 7**).

**Tabla 7.** Análisis petrográfico de muestras de cerámica del sitio de Zaragoza.

Muestra	Matriz (%)	Clastos (%)	Lítica (%)	Qz (%)	Fk (%)	Pl (%)	Mi (%)	An (%)	Px (%)	OI (%)	Otros
Chi1	65	35	20	28	17	22	0	12	13	8	0
Chi2	60	40	26	38	9	16	0	25	10	2	0
Chi3	60	40	23	33	12	19	0	24	11	1	0
Chi4	70	30	18	31	14	21	0	13	19	2	0
Chi5	60	40	31	28	18	14	0	13	21	6	0
Chi6	50	50	35	33	12	28	0	11	7	9	0
Chi7	60	40	24	28	13	31	0	14	11	3	0
Chi8	50	50	35	35	14	26	0	14	7	4	0
Chi9	50	50	32	38	18	22	0	11	9	2	0
Chi10	60	40	58	8	42	20	0	11	17	2	0
Chi11	55	45	34	10	39	22	0	12	16	1	0
Chi12	55	45	36	33	19	22	0	9	16	1	0
Chi13	50	50	43	34	16	28	0	7	13	2	0
Chi14	50	50	48	32	17	27	0	8	14	2	0
Chi15	50	50	48	34	17	27	0	8	12	2	0
<b>PROMEDIO</b>	<b>56</b>	<b>44</b>	<b>34</b>	<b>30</b>	<b>18</b>	<b>23</b>	<b>0</b>	<b>13</b>	<b>13</b>	<b>3</b>	<b>0</b>

En síntesis, para el total de las muestras de cerámica precolombina de los sitios comparados se obtuvieron porcentajes de entre 50% y 80% de arcilla-limos como matriz de la pasta, 20% a 50% de clastos, con un porcentaje de entre 6% y 65% de feldespatos, 6% a 42% de plagioclasas, entre 0% y 25% de anfíboles, de entre 0 y 22% de piroxenos, además de entre un 0 y 11% de olivino y de entre un 0 a 57% de cuarzo (**Tabla 8**).



**Tabla 8.** Estadística descriptiva del análisis petrográfico en muestras de cerámica con clastos de obsidiana.

	Matriz (%)	Clastos (%)	Lítica (%)	Qz (%)	Fk (%)	PI (%)	An (%)	Px (%)	OI (%)
<b>Promedio</b>	61.19	38.81	27.44	17.37	34.85	20.25	12.73	12.00	2.80
<b>Mediana</b>	60	40	31	10	42	21	12	12	2
<b>Varianza</b>	58.91	58.91	187.08	337.62	284.41	39.50	22.30	19.28	9.34
<b>Desviación Estándar</b>	7.68	7.68	13.68	18.37	16.86	6.29	4.72	4.39	3.06
<b>Coefficiente de Variación</b>	0.13	0.20	0.50	1.06	0.48	0.31	0.37	0.37	1.09
<b>Error Estándar</b>	1.00	1.00	1.78	2.39	2.20	0.82	0.61	0.57	0.40
<b>Mínimo</b>	50	20	0	0	9	6	0	0	0
<b>Máximo</b>	80	50	60	57	65	42	25	22	11
<b>Rango</b>	30	30	60	57	56	36	25	22	11
<b>Sesgo</b>	0.27	-0.27	-0.10	0.59	-0.08	0.58	0.40	-0.12	0.77
<b>Sesgo Estandarizado</b>	0.83	-0.83	-0.32	1.84	-0.26	1.82	1.26	-0.37	2.40
<b>Curtosis Estandarizada</b>	-0.78	-0.78	-0.65	-1.72	-2.37	2.26	1.36	0.10	-0.95

El análisis con correlaciones de Pearson indica que existe una correlación directa entre los elementos de Qz vs Fk, Qz vs An, Fk vs OI y An vs OI, todos ellos con una  $r^2$  de entre 0 y 0.0437 y en todos con una relación directamente inversa a la pendiente (**Tabla 9**).

**Tabla 9.** Análisis estadístico de correlación para resultados de análisis petrográfico.

	Qz (%)	Fk (%)	PI (%)	An (%)	Px (%)	OI (%)
<b>Qz (%)</b>						
<b>Fk (%)</b>	-0.8793					
	0					
<b>PI (%)</b>	-0.213	-0.1076				
	0.1053	0.4171				
<b>An (%)</b>	-0.4653	0.1915	0.1679			
	0.0002	0.1463	0.2037			
<b>Px (%)</b>	-0.1682	-0.0298	-0.1849	0.1256		
	0.2029	0.8227	0.1608	0.3434		
<b>OI (%)</b>	0.2384	-0.2636	-0.1759	-0.33	-0.0745	
	0.069	0.0437	0.1826	0.0107	0.5747	

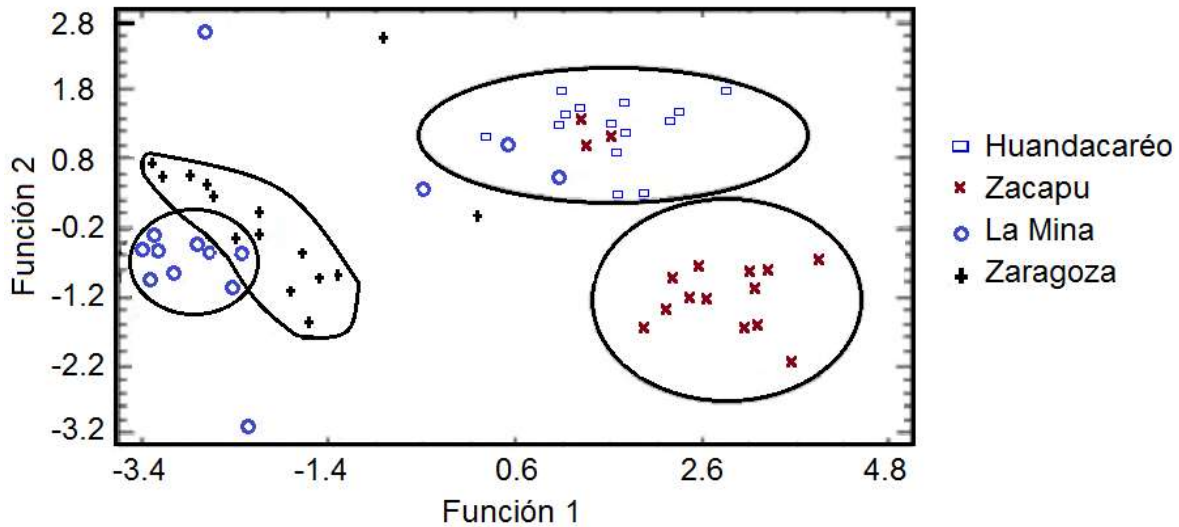
Como parte del tratamiento de los datos, se realizó un análisis de función discriminante donde se tomó como variable dependiente o de clasificación a los sitios y como variables independientes a los porcentajes de minerales encontrados a partir del análisis petrográfico. En ellos se pudo encontrar una clasificación correcta del 100% de las muestras de Huandacareo, un 81% de clasificación correcta del sitio de Zacapu, un 71% de muestras clasificadas correctamente en el sitio de La Mina y un 87% de muestras bien clasificadas en el sitio de Zaragoza, con una clasificación total del 84.75% (**Tabla 10**). Esto indica que la variación de los minerales utilizados en la cerámica de los cuatro sitios es alta; interpretando que la materia prima provenía de diferentes sitios. Sin embargo, se pudo encontrar en el sitio de Zacapu tres muestras que contienen relaciones minerales similares a la cerámica de Huandacareo, tres de La Mina también tienden a los porcentajes de minerales encontrados en Huandacareo, uno de La Mina con particularidades comunes al de Zaragoza y dos de Zaragoza con similitudes a Huandacareo. Se observa una correspondencia de propiedades mineralógicas entre cerámicas del sitio de Huandacareo y de los sitios de Zacapu, La Mina y Zaragoza (**Figura 30**).

**Tabla 10.** Clasificación de las muestras a partir de un análisis estadístico con función discriminante de sitios vs. porcentajes de minerales encontrados en muestras de cerámica

<i>Sitio</i>	<i>Tamaño de grupo</i>	<i>Predicho</i>			
		<b>Huandacareo</b>	<b>Zacapu</b>	<b>La Mina</b>	<b>Zaragoza</b>
<b>Huandacareo</b>	14	<b>14</b> <b>100%</b>	0 0%	0 0%	0 0%
<b>Zacapu</b>	16	3 19%	<b>13</b> <b>81%</b>	0 0%	0 0%
<b>La Mina</b>	14	3 21%	0 0%	<b>10</b> <b>71%</b>	1 8%
<b>Zaragoza</b>	15	2 13%	0 0%	0 0%	<b>13</b> <b>87%</b>

Porcentaje de casos correctamente clasificados: 84.75%

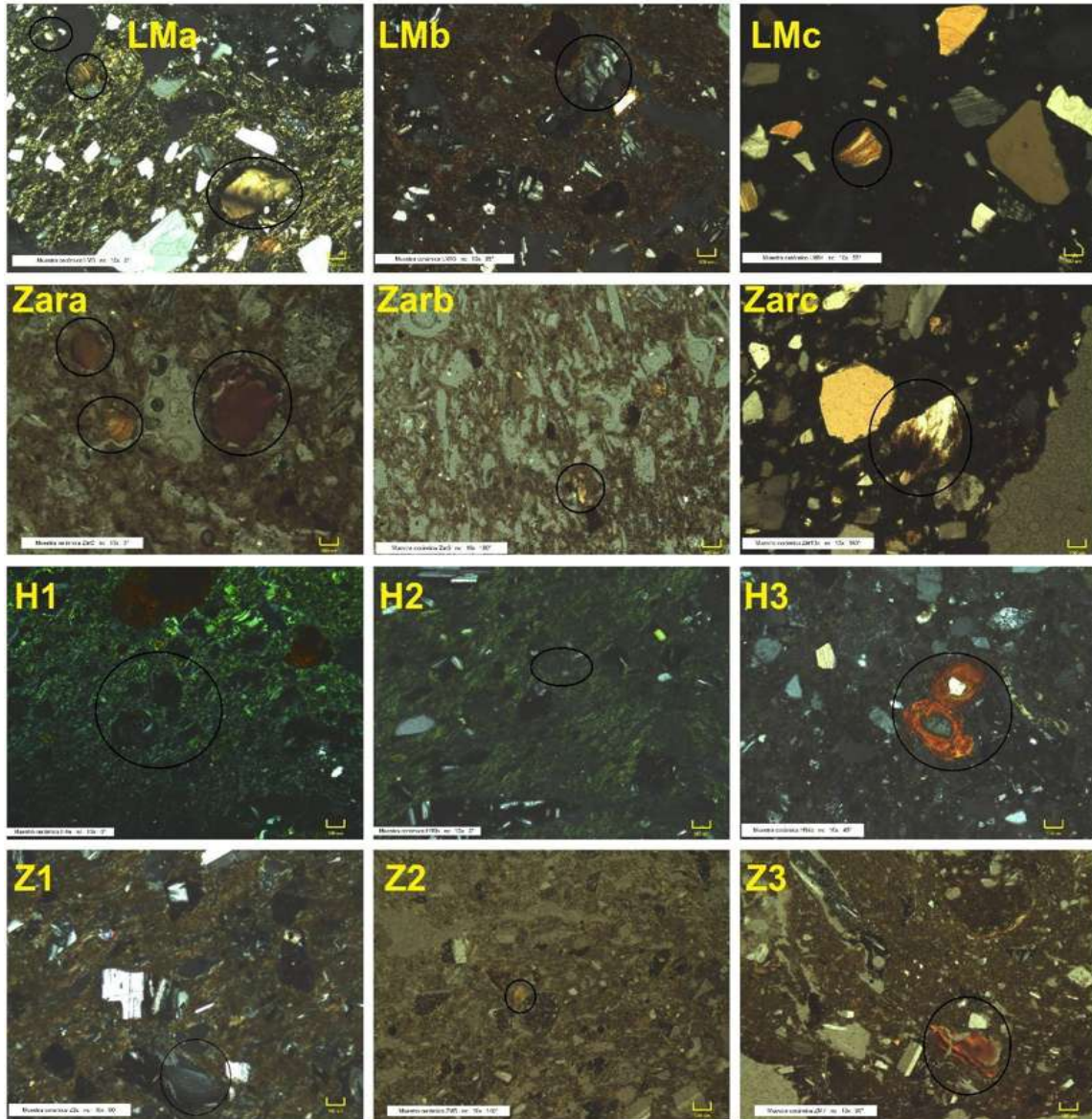
Variable dependiente (clasificación): Sitio; Variables independientes: Qz, Fk, Pl, An, Px y Ol



**Figura 30.** Gráfica de clasificación de las muestras a partir de un análisis estadístico con función discriminante de sitios vs. porcentajes de minerales encontrados en muestras de cerámica, donde: Huandacareo tiene una clasificación correcta de 100%, Zacapu 81%, La Mina 71% y Zaragoza un 87%, y en conjunto cuenta con una clasificación correcta total de 84.75%. Variable dependiente (clasificación): Sitio; Variables independientes: Qz, Fk, Pl, An, Px y Ol.

Con el análisis petrográfico se pudo certificar la presencia de clastos de obsidiana a partir de sus microtexturas e isotropía. El porcentaje promedio de la obsidiana con respecto al total de lítica de cada muestra fue de entre 2 y 7%, mostrando una mayor tendencia y concentración en las muestras de La Mina, seguidos de Zaragoza, Huandacareo y Zacapu, respectivamente (**Figura 31**).

Con los antecedentes de cuantificación por mineralogía modal y atendiendo a la geología con su volcanismo local y regional, serán analizados los fragmentos de obsidiana con el fin de identificar su composición química y probable correlación.



**Figura 31.** Clastos de obsidiana en cerámica, reconocida en láminas delgadas con uso de microscopio petrográfico: LMa, LMb y LMc = muestras del sitio La Mina; Zara, Zarb y Zarc = muestras de sitio Zaragoza; H1, H2 y H3 = muestras del sitio Huandacareo; Z1, Z2 y Z3 = muestras del sitio Zacapu.

A partir de la caracterización y cuantificación de la mineralogía modal representada por clastos del tamaño de arena presentes en cerámica cultural, se reconocieron tendencias de los *protolitos* (rocas y sus piroclastos asociados; con efectos de erosión) proveedores de la materia prima para elaborar los objetos de cada sitio arqueológico. En este caso, para cada zona arqueológica se descartaron las muestras que el análisis discriminante indicaba similitud de resultados hacia otra zona arqueológica, para evitar un sesgo en la medición. Con

estos resultados se observa que la cerámica de la zona arqueológica de Huandacareo contiene clastos dominantes en rocas y piroclastos de composición andesítica; los clastos en las piezas de la zona arqueológica de Zacapu tienden a un *protolito* de composición basáltica; mientras que los clastos en cerámica de los sitios arqueológicos de La Mina y Zaragoza tendrían un *protolito* de base riolítica (piroclastos félsicos y domos erosionados).

Es importante aclarar que el yacimiento de Zináparo Prieto no fue analizado en el presente trabajo, pero para comparación se tomaron en cuenta los confiables resultados de análisis químicos realizados por Cobean (2002), quien identificó además varios talleres de talla de obsidiana cercanos a la zona arqueológica de Milpillas y otros sitios alrededor del afloramiento principal.

## **VII.2. Microanálisis de obsidiana y análisis estadístico de resultados**

Las condiciones del equipo empleado en este estudio para la medición química en muestras de obsidiana de contextos cultural y geológico, permiten hasta ahora la determinación precisa de elementos mayores y algunos elementos traza (**Tabla 11**).

**Tabla 11.** Composición química de los elementos mayores y elementos traza de muestras de objetos de obsidiana y de los yacimientos, analizados por Microsonda.

<b>Muestra</b>	<b>LM5</b>	<b>LM12</b>	<b>LM14</b>	<b>LM10</b>	<b>ZM8</b>	<b>ZM2</b>	<b>ZM7</b>	<b>ZM5</b>	<b>CH16</b>
<b>SiO<sub>2</sub></b>	58.13	53.40	75.56	75.00	54.25	51.35	51.17	54.12	75.54
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0.11	0.04	0.19	0.18	0.01	0.14	0.11	0.12	0.21
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	26.07	29.38	11.58	11.38	29.21	30.56	31.28	29.43	11.52
<b>MnO</b>	0.04	0.08	0.08	0.01	0.08	0.02	0.02	0.00	0.02
<b>MgO</b>	0.03	0.08	0.01	0.02	0.06	0.31	0.20	0.14	0.01
<b>CaO</b>	7.72	11.29	0.18	0.19	11.06	10.72	13.11	10.28	0.19
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	6.16	4.29	4.30	4.69	4.86	3.38	3.58	5.19	4.77
<b>K<sub>2</sub>O</b>	0.67	0.23	4.53	4.58	0.25	0.46	0.16	0.18	4.67
<b>BaO</b>	0.06	0.03	0.00	0.01	0.01	0.06	0.04	0.01	0.05
<b>Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	0.00	0.11	0.09	0.28	0.04	0.04	0.09	0.03	0.01
<b>SrO</b>	0.04	0.12	0.03	0.02	0.01	0.09	0.04	0.07	0.07
<b>ZrO<sub>2</sub></b>	0.07	0.02	0.02	0.07	0.02	0.14	0.10	0.05	0.05
<b>FeO</b>	0.59	0.71	2.54	2.59	0.65	1.83	0.81	0.88	2.60
<b>Total</b>	<b>99.69</b>	<b>99.775</b>	<b>99.12</b>	<b>99.00</b>	<b>100.50</b>	<b>99.08</b>	<b>100.71</b>	<b>100.50</b>	<b>99.71</b>

<b>Muestra</b>	<b>CH14</b>	<b>CH13</b>	<b>CH12</b>	<b>H4</b>	<b>H6</b>	<b>H14</b>	<b>H3</b>	<b>HO17b</b>	<b>HO8b</b>
<b>SiO<sub>2</sub></b>	75.71	55.27	56.93	52.59	51.73	52.75	51.29	77.64	76.26
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0.19	0.07	0.03	0.06	0.28	0.06	0.09	0.07	0.12
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	11.59	28.58	27.58	28.82	28.99	30.20	31.14	13.13	13.45
<b>MnO</b>	0.10	0.06	0.01	0.04	0.01	0.03	0.01	0.04	0.04
<b>MgO</b>	0.03	0.00	0.04	0.10	0.25	0.08	0.11	0.04	0.13
<b>CaO</b>	0.22	10.27	9.44	11.50	10.95	12.55	13.22	0.54	0.74
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	4.62	5.11	6.00	4.61	3.86	3.92	3.96	3.84	4.06
<b>K<sub>2</sub>O</b>	4.58	0.43	0.32	0.24	0.50	0.20	0.12	4.82	4.51
<b>BaO</b>	0.02	0.06	0.02	0.02	0.06	0.03	0.00	0.07	0.00
<b>Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	0.03	0.04	0.08	0.02	0.00	0.04	0.04	0.00	0.01
<b>SrO</b>	0.13	0.06	0.13	0.02	0.01	0.12	0.05	0.04	0.07
<b>ZrO<sub>2</sub></b>	0.05	0.10	0.03	0.02	0.18	0.05	0.03	0.02	0.23
<b>FeO</b>	2.51	0.46	0.39	0.98	2.29	0.86	0.73	0.65	0.90
<b>Total</b>	<b>99.76</b>	<b>100.52</b>	<b>100.99</b>	<b>99.02</b>	<b>99.11</b>	<b>100.89</b>	<b>100.79</b>	<b>100.88</b>	<b>100.51</b>

Muestra	HO8b	HO5b	HO26b	HO23a	HO20b	HO21b	HO2b	CHIO4	CHIO1
SiO <sub>2</sub>	76.26	77.10	75.24	76.85	77.60	75.97	77.09	76.78	76.67
TiO <sub>2</sub>	0.12	0.07	0.23	0.05	0.05	0.11	0.09	0.13	0.19
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.45	13.11	11.86	12.93	13.28	13.83	13.08	11.65	11.73
MnO	0.04	0.02	0.17	0.01	0.00	0.02	0.06	0.04	0.08
MgO	0.13	0.04	0.06	0.01	0.02	0.10	0.02	0.01	0.03
CaO	0.74	0.51	0.14	0.48	0.56	0.66	0.48	0.15	0.21
Na <sub>2</sub> O	4.06	3.60	5.25	3.69	3.17	4.18	3.89	4.56	4.55
K <sub>2</sub> O	4.51	4.82	4.60	4.67	4.63	5.05	5.12	4.42	4.49
BaO	0.00	0.05	0.02	0.02	0.07	0.11	0.01	0.05	0.01
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.01	0.08	0.03	0.02	0.06	0.05	0.01	0.03	0.04
SrO	0.07	0.06	0.26	0.05	0.04	0.02	0.07	0.02	0.01
ZrO <sub>2</sub>	0.23	0.04	0.22	0.14	0.05	0.05	0.04	0.04	0.11
FeO	0.90	0.71	2.19	0.71	0.60	0.78	0.78	2.40	2.46
<b>Total</b>	<b>100.51</b>	<b>100.19</b>	<b>100.26</b>	<b>99.63</b>	<b>100.12</b>	<b>100.93</b>	<b>100.74</b>	<b>100.26</b>	<b>100.59</b>

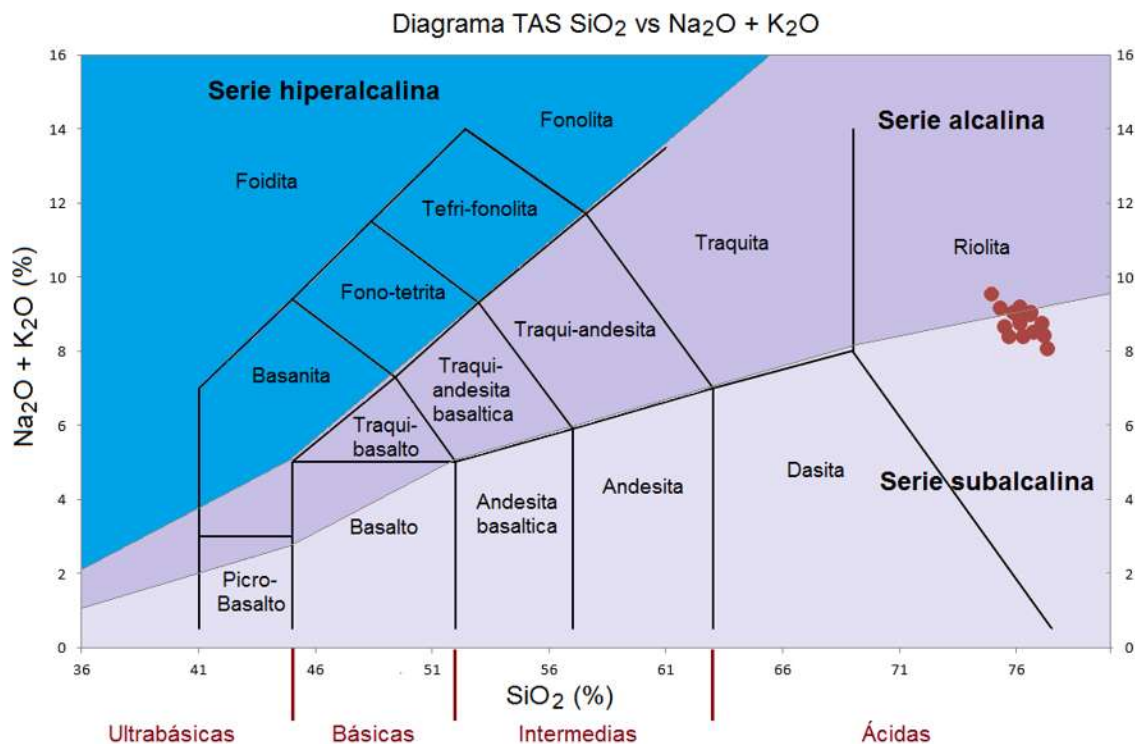


Muestra	CHIO5	CHIO8	CHIO12	CHIO2	LMO11	LMO13	LMO4	LMO7	YZ1
SiO <sub>2</sub>	75.98	76.17	77.10	75.77	77.03	77.23	77.55	77.69	77.00
TiO <sub>2</sub>	0.13	0.13	0.13	0.15	0.06	0.08	0.07	0.10	0.08
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.47	11.58	11.76	11.72	13.00	12.94	13.25	13.41	13.09
MnO	0.11	0.07	0.09	0.07	0.06	0.00	0.05	0.00	0.01
MgO	0.01	0.02	0.01	0.02	0.03	0.03	0.01	0.04	0.02
CaO	0.19	0.22	0.15	0.19	0.53	0.50	0.46	0.50	0.49
Na <sub>2</sub> O	4.57	4.81	4.67	4.52	3.78	3.94	3.91	3.31	4.21
K <sub>2</sub> O	4.51	4.66	4.39	4.70	4.99	4.90	4.83	4.95	4.43
BaO	0.03	0.04	0.06	0.00	0.01	0.04	0.00	0.00	0.06
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.03	0.00	0.02	0.04	0.06	0.00	0.03	0.09	0.02
SrO	0.04	0.08	0.00	0.07	0.13	0.01	0.09	0.17	0.11
ZrO <sub>2</sub>	0.09	0.13	0.00	0.05	0.00	0.04	0.00	0.03	0.09
FeO	2.40	2.47	2.22	2.53	0.80	0.71	0.64	0.70	0.67
<b>Total</b>	<b>99.55</b>	<b>100.36</b>	<b>100.59</b>	<b>99.82</b>	<b>100.49</b>	<b>100.41</b>	<b>100.89</b>	<b>100.99</b>	<b>100.26</b>

<b>Muestra</b>	<b>YZ9</b>	<b>YZ4</b>	<b>YZ2</b>	<b>YU2</b>	<b>YU10</b>	<b>YU6</b>	<b>YU7</b>	<b>YP6</b>	<b>YP1</b>
<b>SiO<sub>2</sub></b>	77.02	77.12	76.96	76.57	77.48	76.32	76.79	76.12	76.54
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0.06	0.07	0.05	0.04	0.06	0.07	0.09	0.10	0.14
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	13.11	13.00	13.10	13.06	13.11	12.83	12.88	11.87	11.71
<b>MnO</b>	0.02	0.00	0.07	0.02	0.00	0.01	0.07	0.03	0.05
<b>MgO</b>	0.00	0.02	0.02	0.05	0.04	0.01	0.04	0.01	0.01
<b>CaO</b>	0.49	0.50	0.49	0.51	0.44	0.53	0.52	0.20	0.17
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	3.95	3.65	4.03	3.53	4.29	3.51	3.56	5.06	4.20
<b>K<sub>2</sub>O</b>	4.96	4.77	4.65	4.98	4.75	4.97	4.75	4.44	4.29
<b>BaO</b>	0.06	0.02	0.02	0.05	0.06	0.02	0.05	0.05	0.04
<b>Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	0.01	0.06	0.03	0.06	0.03	0.02	0.09	0.02	0.05
<b>SrO</b>	0.01	0.06	0.04	0.18	0.01	0.02	0.11	0.12	0.02
<b>ZrO<sub>2</sub></b>	0.02	0.09	0.04	0.07	0.04	0.13	0.04	0.02	0.07
<b>FeO</b>	0.69	0.58	0.65	0.75	0.63	0.62	0.65	2.05	2.14
<b>Total</b>	<b>100.40</b>	<b>99.96</b>	<b>100.15</b>	<b>99.87</b>	<b>100.93</b>	<b>99.05</b>	<b>99.64</b>	<b>100.09</b>	<b>99.42</b>

Muestra	YP10	YP7	YACU6	YACU2	YACU5	YACU1
SiO <sub>2</sub>	77.36	76.58	76.32	77.18	76.38	76.83
TiO <sub>2</sub>	0.13	0.12	0.07	0.07	0.09	0.09
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.65	11.57	12.79	13.01	12.79	12.71
MnO	0.04	0.06	0.00	0.01	0.05	0.07
MgO	0.00	0.00	0.03	0.03	0.03	0.02
CaO	0.15	0.16	0.51	0.54	0.53	0.48
Na <sub>2</sub> O	4.83	4.74	3.71	3.72	3.65	3.39
K <sub>2</sub> O	4.38	4.33	4.98	4.75	4.94	4.82
BaO	0.02	0.06	0.04	0.01	0.01	0.05
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.00	0.06	0.12	0.03	0.08	0.07
SrO	0.02	0.01	0.01	0.15	0.01	0.08
ZrO <sub>2</sub>	0.00	0.16	0.00	0.00	0.00	0.05
FeO	2.23	1.95	0.74	0.84	0.76	0.73
<b>Total</b>	<b>100.81</b>	<b>99.81</b>	<b>99.33</b>	<b>100.34</b>	<b>99.30</b>	<b>99.40</b>

En la **figura 32** se presenta el diagrama TAS (Total Alcalis Silica), que relaciona el contenido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ) con los elementos alcalinos ( $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ ). Los datos grafican en el dominio de rocas con tendencia riolítica principalmente; el carácter subalcalino (calci-alcalino) y algunos casos alcalinos son respuestas comunes en la FVTM. Específicamente los datos de las muestras de objetos arqueológicos de Huandacareo y de La Mina grafican dentro la serie subalcalina, mientras que las muestras obtenidas del sitio arqueológico de Zaragoza caen dentro del dominio alcalino (**Figura 32**).



**Figura 32.** Diagrama TAS donde se puede observar la concentración de las muestras analizadas en el tipo de roca riolítica entre las series alcalina y subalcalina.

Con el marco geoquímico descrito, se realizaron análisis de estadística descriptiva para identificar la variación entre los datos (**Tabla 12**). Se utilizaron los valores porcentuales de los elementos mayores medidos por microsonda electrónica para todos los objetos arqueológicos analizados; donde es posible identificar los promedios, medias, medianas, varianza, desviación estándar, coeficiente de variación, error estándar, mínimo, máximo, sesgo estandarizado y curtosis estandarizada. Los datos muestran que para el caso del  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{SiO}_2$  y el  $\text{Al}_2\text{O}_3$  se

cuenta con una desviación estándar menor al 10%, lo cual indica que estos óxidos tienen una variación muy baja entre los diferentes sitios, por lo que no es posible realizar una identificación específica de la procedencia de los objetos arqueológicos a partir de estos elementos mayores; en el caso de  $K_2O$  es viable una configuración de interpretación aceptable con otros elementos, como se verá más adelante.

**Tabla 12.** Resumen estadístico de los análisis químicos medidos por microsonda en obsidiana cultural y geológica.

	<i>TiO<sub>2</sub></i>	<i>BaO</i>	<i>CaO</i>	<i>Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub></i>	<i>SrO</i>	<i>FeO</i>	<i>MnO</i>	<i>K<sub>2</sub>O</i>	<i>Na<sub>2</sub>O</i>	<i>ZrO<sub>2</sub></i>	<i>SiO<sub>2</sub></i>	<i>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	<i>MgO</i>
Promedio	0.11236 8	0.0227368	0.384789	0.0257368	0.0602105	1.38574	0.0381053	4.64074	4.06484	0.059	76.4179	12.4918	0.0331053
Mediana	0.114	0.017	0.477	0.015	0.063	0.824	0.033	4.586	3.964	0.043	76.612	12.983	0.021
Media	0.10286 2	0.013666	0.328742	0.01683	0.0512944	1.17362	0.022583	4.63675	4.03738	0.0433358	76.4148	12.4655	0.0194022
Varianza	0.00223 636	0.00050753 8	0.040068	0.00052620 5	0.00096117 5	0.64915	0.0014041	0.039175	0.23468 8	0.001796	0.49785 1	0.6864	0.0013207 7
Desviación Estándar	0.04729 01	0.0225286	0.20017	0.0229392	0.0310028	0.80569 8	0.0374713	0.197927	0.48444 6	0.0423792	0.70558 5	0.82849 3	0.0363423
Coefficiente de Variación	42.08%	99.08%	52.02%	89.13%	51.49%	58.14%	98.34%	4.26%	11.92%	71.83%	0.92%	6.63%	109.78%
Error Estándar	0.01084 91	0.00516842	0.045922 1	0.0052626	0.00711254	0.18484	0.0085965 1	0.045407 5	0.11114	0.0097224 6	0.16187 2	0.19006 9	0.0083375 1
Mínimo	0.049	0.001	0.123	0.002	0.012	0.647	0.001	4.378	3.225	0.004	74.955	11.48	0.002
Máximo	0.193	0.088	0.736	0.09	0.115	2.498	0.166	5.012	4.982	0.151	77.35	13.705	0.137
Sesgo Estandarizado	0.58764 5	<b>3.29006</b>	0.084031 8	<b>2.59057</b>	0.440176	0.72880 4	<b>4.1075</b>	0.234407	0.15111 8	1.30948	- 1	- 3	<b>3.44413</b>
Curstosis Estandarizada	-1.20952	<b>3.00402</b>	-1.27133	1.92494	-0.698995	-1.70358	<b>6.47028</b>	-1.16126	0.80006 7	-0.379519	0.55201 1	-1.64404	<b>3.20643</b>

Se realizaron análisis de correlaciones de Pearson para identificar algún tipo de correlación entre pares de elementos mayores para las muestras de objetos arqueológicos de obsidiana separados por cada sitio arqueológico. Con este análisis fue posible identificar los pares de elementos mayores que contenían buenas correlaciones estadísticas; se consideraron  $r^2$  mayores a 0.8 y valores-P o errores estadísticos inferiores a 0.05. Posteriormente se compararon los resultados para cada zona arqueológica y se determinaron los elementos que muestran correlaciones, con el fin de realizar análisis discriminantes para graficar los resultados y encontrar posibles formaciones de grupos con respecto de los centroides obtenidos de los yacimientos. En este caso sólo fue posible determinar tres correlaciones entre los pares de elementos mayores que coincidían para las tres zonas arqueológicas, estas fueron CaO vs. K<sub>2</sub>O, CaO vs. MnO y FeO vs. MnO **(Tablas 13 a la 15)**.

**Tabla 13.** Análisis estadístico de correlación de Pearson de los resultados de EPMA para objetos de la zona arqueológica de Huandacareo.

		TiO <sub>2</sub>	BaO	CaO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SrO	FeO	MnO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	ZrO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO
TiO <sub>2</sub>	r <sup>2</sup>													
	Valor-P													
BaO	r <sup>2</sup>	0.1108												
	Valor-P	0.7939												
CaO	r <sup>2</sup>	-0.4234	<b>0.7362</b>											
	Valor-P	0.2959	<b>0.0373</b>											
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	r <sup>2</sup>	-0.3202	0.1423	0.4078										
	Valor-P	0.4394	0.7367	0.3159										
SrO	r <sup>2</sup>	0.182	-0.4127	-0.5862	-0.6426									
	Valor-P	0.6663	0.3096	0.1267	0.0858									
FeO	r <sup>2</sup>	<b>0.8866</b>	-0.2852	-0.7671	-0.3002	0.371								
	Valor-P	<b>0.0033</b>	0.4936	0.3263	0.47	0.3656								
MnO	r <sup>2</sup>	<b>0.842</b>	-0.3809	<b>-0.8221</b>	-0.3289	0.4498	<b>0.9926</b>							
	Valor-P	<b>0.0087</b>	0.3518	<b>0.0123</b>	0.4263	0.2635	<b>0</b>							
K <sub>2</sub> O	r <sup>2</sup>	-0.225	-0.1431	<b>0.9029</b>	-0.5509	0.2236	-0.321	-0.2731						
	Valor-P	0.5921	0.7353	<b>0.0471</b>	0.157	0.5945	0.4382	0.5129						
Na <sub>2</sub> O	r <sup>2</sup>	<b>0.86</b>	-0.1114	-0.5883	-0.0175	0.2218	<b>0.9066</b>	<b>0.8852</b>	-0.3525					
	Valor-P	<b>0.0062</b>	0.7929	0.125	0.9672	0.5976	<b>0.0019</b>	<b>0.0035</b>	0.3918					
ZrO <sub>2</sub>	r <sup>2</sup>	0.5591	-0.5202	-0.6877	-0.5227	0.5275	0.6523	<b>0.8098</b>	0.3295	0.5223				
	Valor-P	0.1497	0.1863	0.0594	0.1838	0.1791	0.0796	<b>0.0486</b>	0.4255	0.1842				
SiO <sub>2</sub>	r <sup>2</sup>	<b>-0.8242</b>	-0.1042	0.3183	-0.2422	0.0786	<b>-0.7895</b>	<b>-0.7367</b>	0.5839	<b>-0.9259</b>	-0.2742			
	Valor-P	<b>0.0119</b>	0.806	0.4423	0.5633	0.8532	<b>0.0198</b>	<b>0.0371</b>	0.1286	<b>0.001</b>	0.511			
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	r <sup>2</sup>	-0.5595	0.6844	<b>0.9654</b>	0.505	-0.606	<b>-0.8442</b>	<b>-0.8911</b>	0.0579	-0.6158	<b>-0.7451</b>	0.3741		
	Valor-P	0.1494	0.0612	<b>0.0001</b>	0.2018	0.1113	<b>0.0084</b>	<b>0.003</b>	0.8917	0.1041	<b>0.0339</b>	0.3613		
MgO	r <sup>2</sup>	0.4827	<b>0.832</b>	0.5527	0.1928	-0.5141	0.0892	-0.0197	-0.3457	0.2239	-0.2942	-0.4911	0.4153	
	Valor-P	0.2257	<b>0.0104</b>	0.1554	0.6474	0.1924	0.8336	0.9631	0.4016	0.5941	0.4793	0.2165	0.3063	



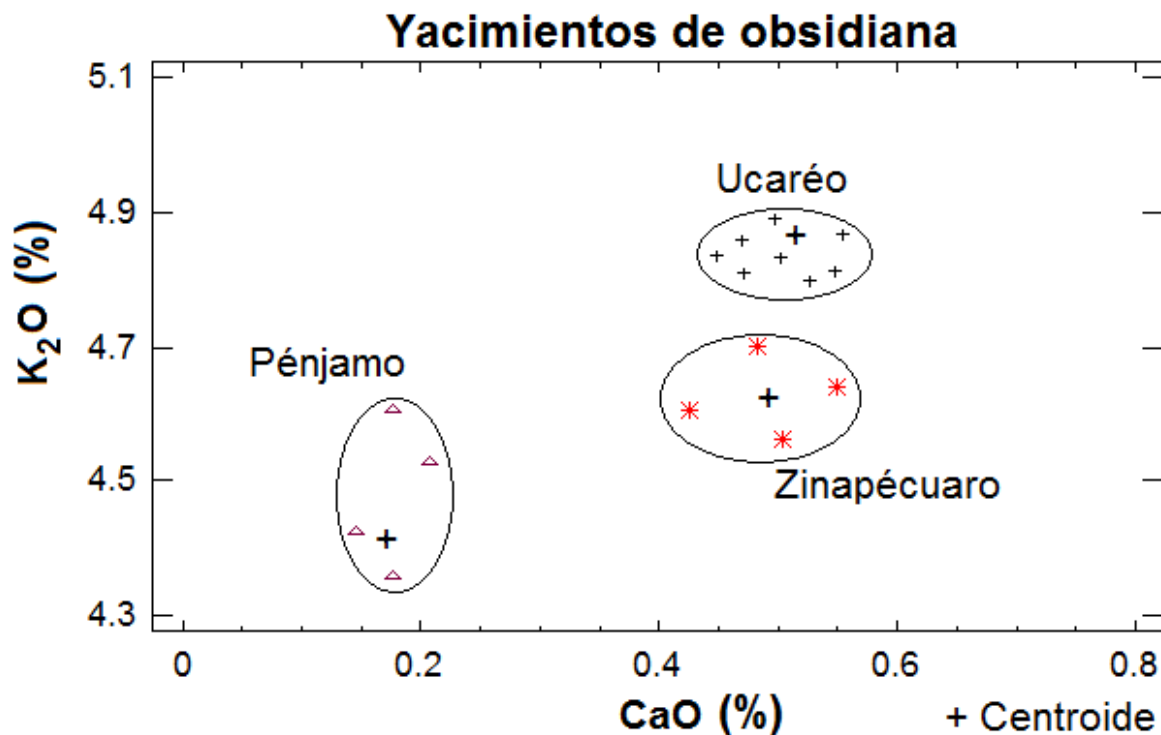
**Tabla 14.** Análisis estadístico de correlación de Pearson de los resultados de EPMA para objetos de la zona arqueológica de La Mina.

		TiO <sub>2</sub>	BaO	CaO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SrO	FeO	MnO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	ZrO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO
TiO <sub>2</sub>	r <sup>2</sup>													
	Valor-P													
BaO	r <sup>2</sup>	0.6188												
	Valor-P	0.3812												
CaO	r <sup>2</sup>	0.4985	0.5256											
	Valor-P	0.5015	0.4744											
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	r <sup>2</sup>	0.7354	0.4131	0.9069										
	Valor-P	0.2646	0.5869	0.0931										
SrO	r <sup>2</sup>	0.8496	0.1234	0.3855	0.7373									
	Valor-P	0.1504	0.8766	0.6145	0.2627									
FeO	r <sup>2</sup>	0.5828	0.6103	<b>0.9929</b>	0.9168	0.4266								
	Valor-P	0.4172	0.3897	<b>0.0071</b>	0.0832	0.5734								
MnO	r <sup>2</sup>	-0.3637	0.3937	<b>-0.9722</b>	-0.6455	-0.7751	<b>-0.9936</b>							
	Valor-P	0.6363	0.6063	<b>0.0278</b>	0.3545	0.2249	<b>0</b>							
K <sub>2</sub> O	r <sup>2</sup>	0.3121	-0.5049	<b>-0.9366</b>	0.0497	0.6778	-0.3521	-0.6461						
	Valor-P	0.6879	0.4951	<b>0.0336</b>	0.9503	0.3222	0.6479	0.3539						
Na <sub>2</sub> O	r <sup>2</sup>	-0.3224	0.1322	-0.7401	-0.832	-0.5969	-0.6873	0.8712	-0.1908					
	Valor-P	0.6776	0.8678	0.2599	0.168	0.4031	0.3127	0.1288	0.8092					
ZrO <sub>2</sub>	r <sup>2</sup>	0.9129	0.8427	0.7204	0.7903	0.6202	0.797	-0.155	-0.0979	-0.3179				
	Valor-P	0.0871	0.1573	0.2796	0.2097	0.3798	0.203	0.845	0.9021	0.6821				
SiO <sub>2</sub>	r <sup>2</sup>	0.0891	-0.724	-0.3049	0.0567	0.5721	-0.3317	-0.7682	0.9398	-0.3701	-0.2881			
	Valor-P	0.9109	0.276	0.6951	0.9433	0.4279	0.6683	0.2318	0.0602	0.6299	0.7119			
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	r <sup>2</sup>	0.3438	-0.3344	0.4964	0.7155	0.7282	0.4501	<b>-0.9869</b>	0.5143	-0.9385	0.1961	0.6639		
	Valor-P	0.6562	0.6656	0.5036	0.2845	0.2718	0.5499	<b>0.0131</b>	0.4857	0.0615	0.8039	0.3361		
MgO	r <sup>2</sup>	0.613	0.6393	<b>0.9865</b>	0.9178	0.4417	<b>0.999</b>	-0.3191	-0.3441	-0.6657	0.823	-0.3392	0.4321	
	Valor-P	0.387	0.3607	<b>0.0135</b>	0.0822	0.5583	<b>0.001</b>	0.6809	0.6559	0.3343	0.177	0.6608	0.5679	

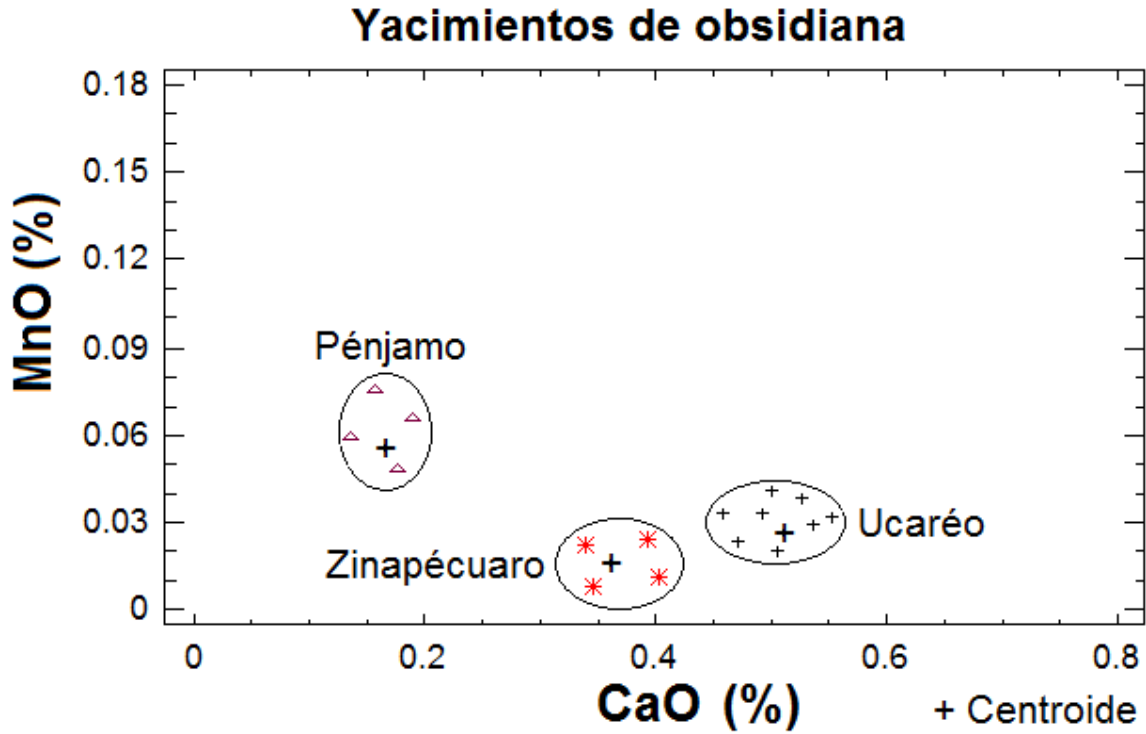
**Tabla 15.** Análisis estadístico de correlación de Pearson de los resultados de EPMA para objetos de la zona arqueológica de Zaragoza.

		TiO <sub>2</sub>	BaO	CaO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SrO	FeO	MnO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	ZrO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO
TiO <sub>2</sub>	r <sup>2</sup>													
	Valor-P													
BaO	r <sup>2</sup>	0.433												
	Valor-P	0.3318												
CaO	r <sup>2</sup>	<b>0.817</b>	0.2695											
	Valor-P	<b>0.0249</b>	0.5589											
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	r <sup>2</sup>	-0.3461	-0.2201	-0.4703										
	Valor-P	0.447	0.6354	0.2869										
SrO	r <sup>2</sup>	-0.4489	0.0743	-0.1587	-0.607									
	Valor-P	0.3123	0.8742	0.7339	0.1484									
FeO	r <sup>2</sup>	<b>0.8949</b>	0.4205	<b>0.9113</b>	-0.2385	-0.346								
	Valor-P	<b>0.0065</b>	0.3475	<b>0.0043</b>	0.6065	0.4471								
MnO	r <sup>2</sup>	0.4151	0.1838	<b>0.9468</b>	<b>-0.9172</b>	0.508	<b>0.9908</b>							
	Valor-P	0.3545	0.6932	<b>0.0289</b>	<b>0.0036</b>	0.2444	<b>0.0074</b>							
K <sub>2</sub> O	r <sup>2</sup>	<b>0.8736</b>	0.0725	<b>0.9335</b>	-0.4151	-0.3465	<b>0.8583</b>	0.4835						
	Valor-P	<b>0.0102</b>	0.8772	<b>0.0021</b>	0.3544	0.4464	<b>0.0134</b>	0.2717						
Na <sub>2</sub> O	r <sup>2</sup>	0.6961	0.2072	0.4338	-0.387	-0.144	0.5854	0.4099	0.5091					
	Valor-P	0.0824	0.6557	0.3308	0.391	0.7581	0.1673	0.361	0.2432					
ZrO <sub>2</sub>	r <sup>2</sup>	-0.6709	0.1297	-0.3067	0.0902	0.6614	-0.3526	-0.1391	-0.5808	-0.5953				
	Valor-P	0.099	0.7816	0.5034	0.8476	0.1057	0.4379	0.7662	0.1715	0.1585				
SiO <sub>2</sub>	r <sup>2</sup>	-0.0868	0.1305	-0.3723	0.073	0.1912	-0.0784	0.1319	-0.3296	0.4321	0.1014			
	Valor-P	0.8532	0.7804	0.4108	0.8764	0.6813	0.8673	0.778	0.4703	0.333	0.8287			
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	r <sup>2</sup>	-0.2415	0.0461	-0.5596	-0.1903	0.3962	-0.4144	0.2245	-0.4907	0.4015	-0.0078	<b>0.804</b>		
	Valor-P	0.6019	0.9217	0.1915	0.6827	0.3789	0.3554	0.6284	0.2636	0.3719	0.9867	<b>0.0293</b>		
MgO	r <sup>2</sup>	0.7151	0.679	0.3075	0.1203	-0.6341	0.5334	-0.1003	0.3406	0.4076	-0.5427	-0.0098	-0.1013	
	Valor-P	0.0709	0.0935	0.5023	0.7973	0.1261	0.2176	0.8306	0.4547	0.3641	0.2081	0.9834	0.8289	

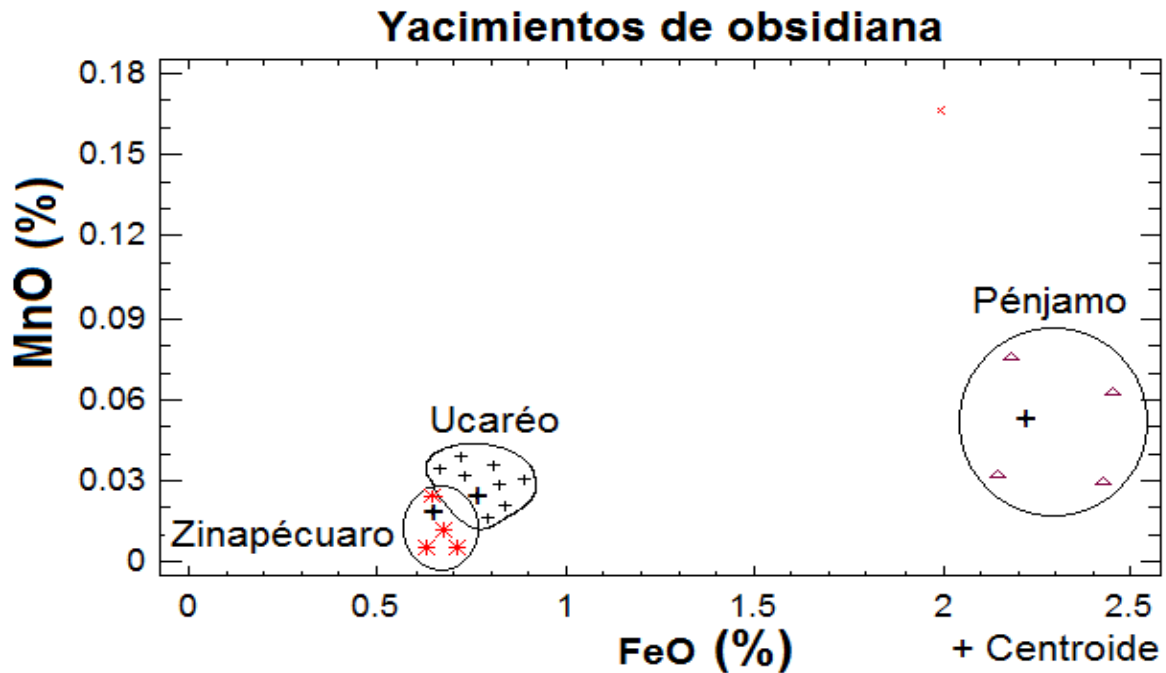
A partir de los resultados de medición química en muestras de yacimientos de obsidiana se realizaron pruebas discriminantes mediante análisis de Pearson, sólo con los valores que presentan mejor correlación: CaO vs. K<sub>2</sub>O, CaO vs. MnO y FeO vs. MnO (**Figuras 33 a la 35**). Esto, para identificar el centroide de cada agrupación y la superficie que estas cubren dentro de la gráfica discriminante.



**Figura 33.** Gráfica de análisis discriminante de dos variables (K<sub>2</sub>O % vs. CaO %) en la que se puede observar la agrupación de las muestras de los tres yacimientos estudiados.



**Figura 34.** Gráfica de análisis discriminante de dos variables (MnO % vs. CaO %) en la que se puede observar la agrupación de las muestras de los tres yacimientos estudiados.



**Figura 35.** Gráfica de análisis discriminante de dos variables (MnO % vs. FeO %) en la que se puede observar la agrupación de las muestras de los tres yacimientos estudiados.

Se realizaron análisis discriminantes para identificar las posibles agrupaciones de los datos de muestras de objetos de obsidiana de las diferentes zonas arqueológicas y se contrastaron con los resultados de las agrupaciones de las muestras de los yacimientos y sus dominios en las gráficas discriminantes. Esto, se hizo para identificar los espacios donde grafican las muestras y para identificar alguna relación entre los objetos arqueológicos con las posibles fuentes de extracción de la materia prima.

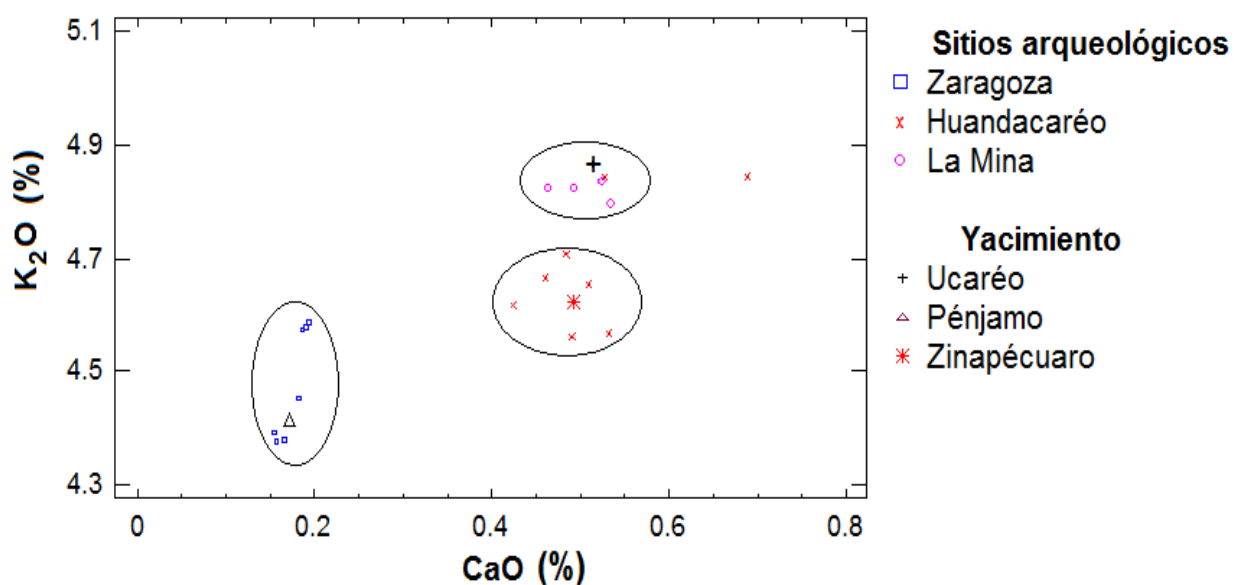
Los resultados muestran tres relaciones entre elementos: el primero  $K_2O$  con  $CaO$ , donde se puede identificar la formación de tres grupos principales; en cada uno de ellos se identificó el *centroide* del yacimiento estudiado y alrededor de estos la agrupación de las muestras problema afines. Con esta herramienta es posible determinar, que las muestras de objetos arqueológicos obtenidas de la zona arqueológica de Zaragoza provienen del yacimiento de Pénjamo, mientras que las de la zona arqueológica de Hunadacareo provienen del yacimiento de Zinapécuaro y las muestras de objetos de obsidiana obtenidas de la zona arqueológica de La Mina provienen del yacimiento de Ucareo. Sin embargo, la muestra HO26b, la cual presenta una diferencia en color (verde claro), muy diferente a todas las muestras analizadas, además de la muestra HO6b perteneciente a las muestras obtenidas de la zona arqueológica de Huandacareo, presentan quimismo similar al de las muestras de yacimiento de Ucareo. Esta misma tendencia de agrupaciones se observa para los análisis discriminantes realizados con los elementos  $MnO$  vs.  $FeO$  y  $MnO$  vs.  $CaO$ , todas ellas con una clasificación correcta del 91.66 % **(Tablas 16 a 18 y Figuras 36 a 38)**.

**Tabla 16.** Tabla de clasificación de las muestras a partir de un análisis estadístico con función discriminante de K<sub>2</sub>O vs. CaO para muestras de objetos de obsidiana.

<b>Actual</b>	<b>Tamaño de Grupo</b>	<b>Predicho</b>		
		<b>Zaragoza</b>	<b>Huandacareo</b>	<b>La Mina</b>
<b>Zaragoza</b>	7	7 100%	0 0%	0 0%
<b>Huandacareo</b>	8	0	6 75%	2 25%
<b>La Mina</b>	4	0	0	4 100%

Porcentaje de casos correctamente clasificados: 91.66%

Variable dependiente (clasificación): Sitios arqueológicos; Variables independientes: K<sub>2</sub>O (%) vs. CaO (%)



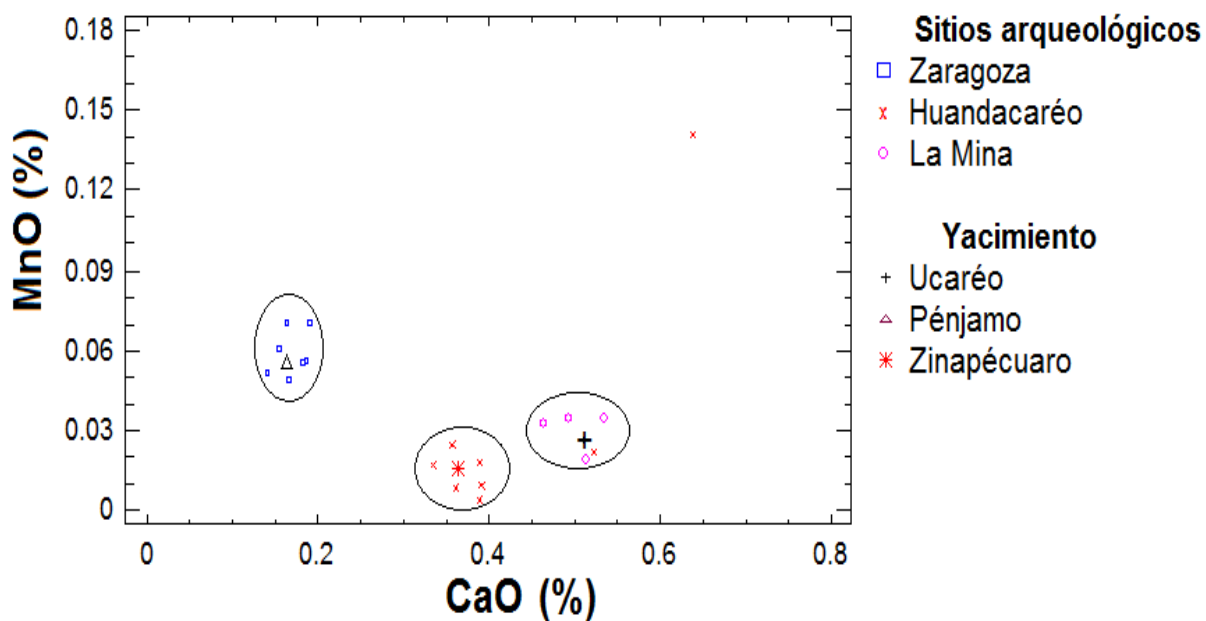
**Figura 36.** Gráfica de análisis discriminante de dos variables (K<sub>2</sub>O % vs. CaO %) en la que se puede observar la agrupación de las muestras de objetos con respecto al yacimiento de donde probablemente se obtuvo la materia prima para su elaboración; con una clasificación total del 91.66%.

**Tabla 17.** Tabla de clasificación de las muestras a partir de un análisis estadístico con función discriminante de MnO vs CaO para muestras de objetos de obsidiana

<i>Actual</i>	<i>Tamaño de Grupo</i>	<i>Predicho</i>		
		<i>Zaragoza</i>	<i>Huandacareo</i>	<i>La Mina</i>
<b>Zaragoza</b>	7	7 100%	0 0%	0 0%
<b>Huandacareo</b>	8	0	6 75%	2 25%
<b>La Mina</b>	4	0	0	4 100%

Porcentaje de casos correctamente clasificados: 91.66%

Variable dependiente (clasificación): Sitios arqueológicos; Variables independientes: MnO (%) vs CaO (%)



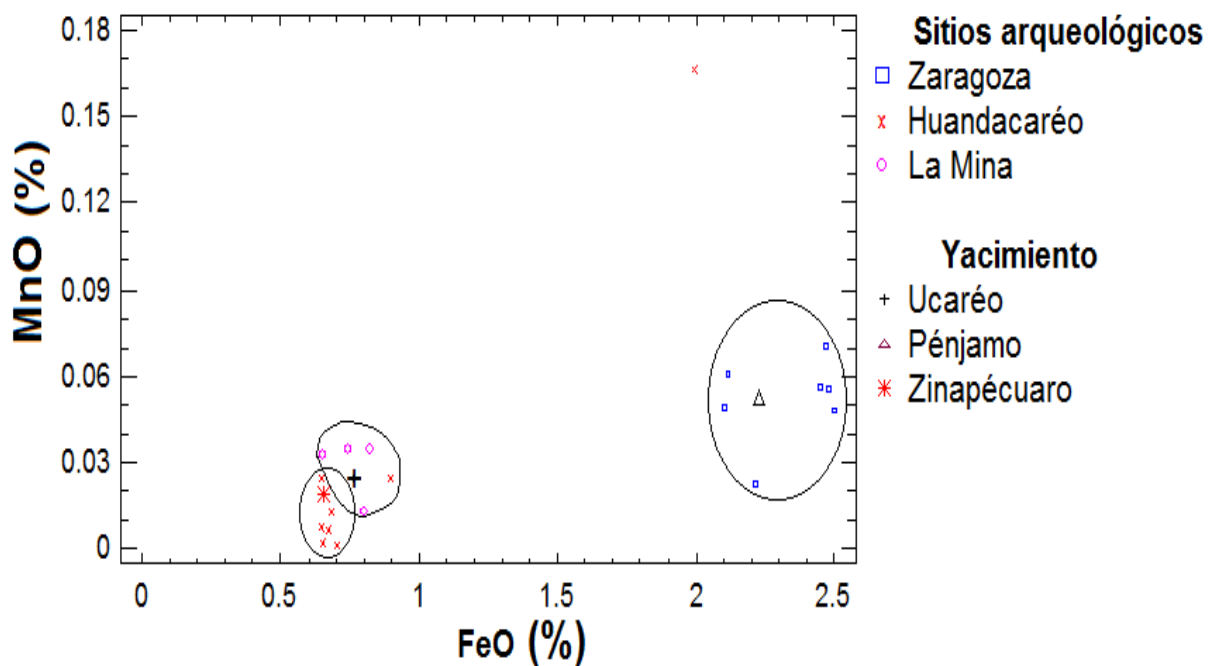
**Figura 37.** Gráfica de análisis discriminante de dos variables (MnO % vs. CaO %) en la que se puede observar la agrupación de las muestras de objetos con respecto al yacimiento de donde probablemente se obtuvo la materia prima para su elaboración; con una clasificación total del 91.66%.

**Tabla 18.** Tabla de clasificación de las muestras a partir de un análisis estadístico con función discriminante de MnO vs. FeO encontrados en muestras de objetos de obsidiana.

<b>Actual</b>	<b>Tamaño de Grupo</b>	<b>Predicho</b>		
		<b>Zaragoza</b>	<b>Huandacareo</b>	<b>La Mina</b>
<b>Zaragoza</b>	7	7 100%	0 0%	0 0%
<b>Huandacareo</b>	8	0	6 75%	2 25%
<b>La Mina</b>	4	0	0	4 100%

Porcentaje de casos correctamente clasificados: 91.66%

Variable dependiente (clasificación): Sitios arqueológicos; Variables independientes: MnO (%) vs FeO (%)



**Figura 38.** Gráfica de análisis discriminante de dos variables (MnO % vs. FeO %) en la que se puede observar la agrupación de las muestras de objetos con respecto al yacimiento de donde probablemente se obtuvo la materia prima para su elaboración; con una clasificación total del 91.66%.



Los resultados obtenidos hasta este nivel de la investigación permiten identificar relaciones químicas o firmas que indican correspondencia entre fuentes de extracción de materia prima con objetos elaborados en épocas prehispánicas, y recuperados de lugares específicos. De esta forma, los objetos de obsidiana encontrados en la zona arqueológica de Huandacareo se correlacionan geoquímicamente con las del yacimiento de Zinapécuaro, mientras que las piezas recuperadas del sitio La Mina corresponden mejor químicamente a las del yacimiento de Ucareo. Finalmente, los objetos arqueológicos encontrados en el sitio de Zaragoza presentan mayor afinidad con el yacimiento de Pénjamo. De manera complementaria, y atendiendo a las referencias citadas, los objetos arqueológicos encontrados en la zona arqueológica de Zacapu corresponden mejor con la firma geoquímica obtenida por Cobean (2002) para el yacimiento de Zináparo-Prieto. Cabe mencionar que sólo una muestra encontrada en La Mina corresponde al yacimiento de Zinapécuaro, a diferencia de todas las demás muestras encontradas en este sitio que corresponden al yacimiento de Ucareo.

## CAPÍTULO VIII. DISCUSIÓN

Las civilizaciones de Mesoamérica se desarrollaron con la aparición de objetos o herramientas que promovían la facilidad en las tareas del quehacer diario. Los avances tecnológicos registrados en Mesoamérica correspondían en gran medida a un nivel paleolítico (primordialmente herramienta a base de rocas pulidas), si bien se podían utilizar rocas de diferente tipo, la obsidiana se utilizó principalmente por su condición vítrea (dureza 5 en la escala de Mohs y facilidad para moldearse), además de la amplia disposición del material. Aunque se reconocen más de 150 afloramientos de obsidiana en diferentes regiones de México, los yacimientos dentro de la región de la Mesoamérica precolombina se limitan a dos zonas volcánicas: el más importante en la Faja Volcánica Transmexicana, donde se concentran actualmente los estados de Veracruz, Puebla, Hidalgo, Estado de México, Michoacán, Guanajuato, Jalisco, Colima y Nayarit; el segundo localizado en el sur, en territorio de los actuales países de Guatemala, El Salvador y Honduras. Cada uno de los yacimientos registrados en esas zonas representa una fuente potencial de materia prima, por lo que las inferencias culturales deben ser bien fundamentadas.

En la mayoría de los asentamientos Mesoamericanos se pueden encontrar objetos labrados en obsidiana, y hasta hoy en día uno de los métodos más utilizados para identificar la procedencia de estos materiales se basa en observaciones físicas con reconocimiento de propiedades como color y la textura (Gaxiola y Clark, 1989; Arechavaleta y Dolores, 1990; Pastrana, 1993; Serra-Puche *et al.*, 1994).

Aunque se ha empleado la microscopía electrónica de barrido (MEB) para analizar obsidiana cultural en años recientes, en este trabajo se pretendió desarrollar una metodología más precisa a partir del análisis con microsonda de electrones en obsidiana geológica y cultural, complementado con revisiones petrográficas para determinar la firma geoquímica que permita identificar la(s) fuente(s) probable(s) de la materia prima usada para su elaboración y con ello contribuir al trazo de rutas de intercambio o redes de comercio en épocas precolombinas. En este caso,

entre sociedades que compartieron un periodo histórico de al menos 800 años (600 d.C-1521 d.C.).

Los yacimientos de obsidiana que se encuentran en el estado de Michoacán jugaron un papel crucial en la elaboración de artefactos arqueológicos que fueron utilizados con diferentes fines en la Mesoamérica precolombina. Este tipo de objetos (materiales pétreos) son los que mejor respuesta ofrecen para realizar la reconstrucción de posibles patrones de intercambio, ya que fueron de los más utilizados en las épocas prehispánicas, y debido a que este material no cambia sustancialmente su composición química. La condición de entierro de las piezas y su interacción permanente con agua produce modificaciones en la superficie, por lo que es necesario eliminar esa parte micrométrica dañada para poder obtener resultados confiables.

Estudios previos, como el de Esparza en 2017, identificaron que la obsidiana fue utilizada con fines comerciales o de intercambio en la época prehispánica; menciona que el material lítico de obsidiana que fue extraído de los yacimientos de Ucareo-Zinapécuaro, en el estado de Michoacán (Filini, 2010) y han sido encontrados en varios lugares de la magna área de Mesoamérica. Este yacimiento abasteció probablemente a lugares como San Lorenzo Tenochtitlan en Veracruz, el Mirador en Guatemala, Tula en Hidalgo, entre otros. Las evidencias identificadas mediante artefactos de materia prima procedente de Michoacán, indican un intercambio o comercio a larga distancia. Estudios realizados por Cobean en 2002 sugieren la utilización de FRX y NAA para obtener las concentraciones elementales de las obsidianas como una posible técnica analítica para la obtención de la firma geoquímica en las obsidianas. La segunda de ellas “no destructiva”, sin embargo, hoy en día se ha podido demostrar que la técnica de microsonda electrónica puede determinar con buena precisión la composición química de los materiales de obsidiana y la superficie de preparación experimental puede ser de unas cuantas micras. Aunque el método permite exploraciones con mediciones químicas confiables en áreas de 10 $\mu$ m de diámetro, regularmente se

requiere de la preparación de superficies de varios mm, lo cual convierte a la técnica en parcialmente destructiva. En favor del método y del presente estudio se ha pretendido demostrar la viabilidad de un método capaz de identificar la firma química de la materia empleada para elaborar objetos en obsidiana, para minimizar en el futuro daño a piezas de valor estético o museográfico; es decir, una vez reconocida la eficiencia del método, sólo se requerirá de la preparación de una superficie de unas cuantos milímetros o hasta micras de diámetro.

Por su parte, estudios arqueológicos han demostrado la posibilidad de identificar el lugar de fábrica de cerámica arqueológica y posible temporalidad a partir de tipologías, forma, temperaturas de cocción, color, entre otras (Pollard y Vogel, 1993; Boucher y Palomo, 2012; Szilágyi *et. al.*, 2012; Pereira *et. al.*, 2013; Gonzalez y Avendaño, 2014; Obando y Jimenez, 2016; Ramirez, 2016; Lizardo, 2018), sin embargo, cuando se requiere de un análisis exhaustivo del lugar de Para determinar la procedencia de la materia prima usada para elaborar piezas arqueológicas, es necesario recurrir a los análisis físicos y químicos de los materiales. Un problema que hoy en día se tiene, es que la mayoría de los análisis son destructivos, por lo que en muchas de las ocasiones las pruebas se realizan a clastos o *pedaceras* de objetos arqueológicos para no destruir piezas *museables*, que son parte del patrimonio cultural de la Nación. Una opción más, aunque aleatoria, es la separación de obsidiana como clastos en cerámica, para su análisis químico y tratamiento químico-estadístico similar. En este último tema, la experiencia tenida en este proyecto indica que el método no funciona mientras no se cuente con mayores referencias geológicas y muestras comparables; es decir, que la química de la obsidiana incluida en la matriz de pasta cerámica analizada, aunque de estadística aceptable, presenta variaciones indescifrables hasta este momento y de poca utilidad para el presente estudio.

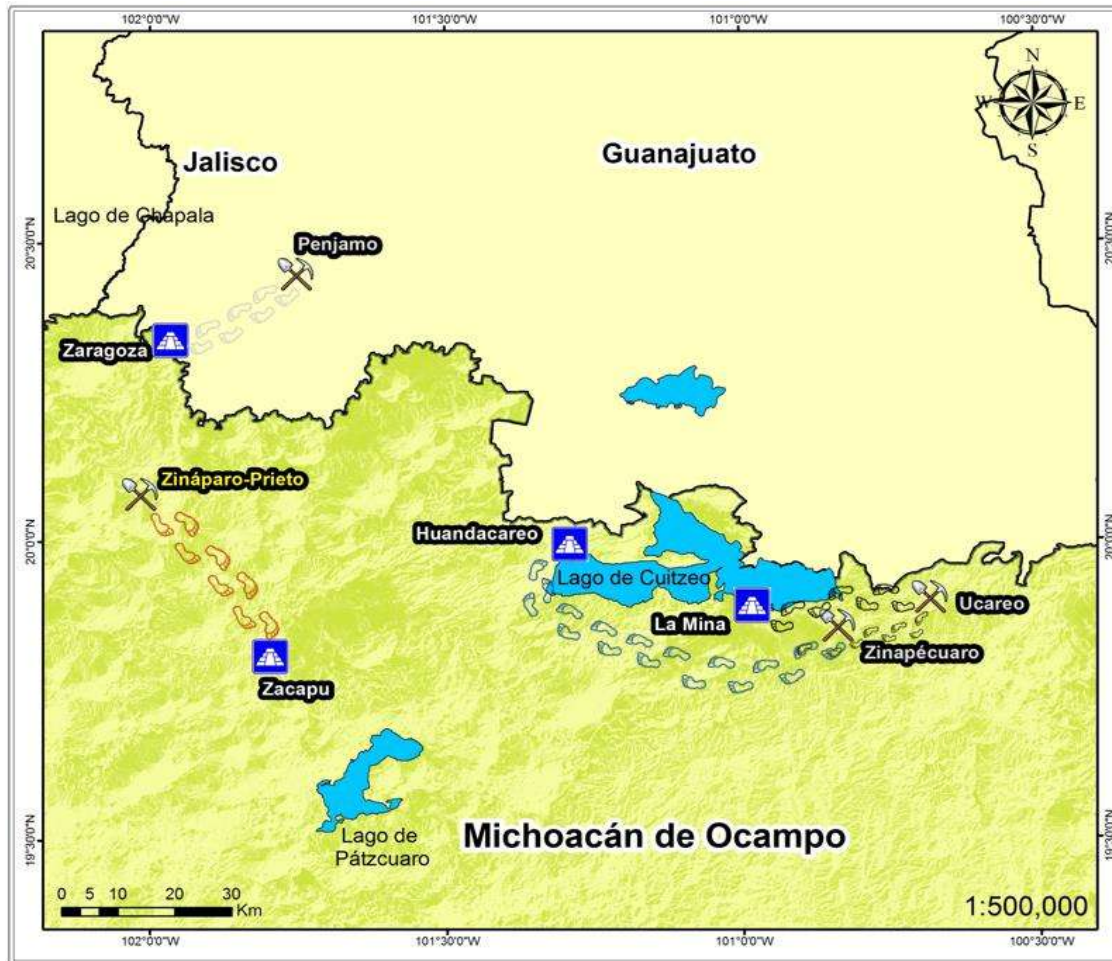
Los resultados obtenidos del análisis de obsidiana por microsonda demuestran la eficiencia del método, con apoyo de un procesamiento estadístico adecuado y uso de diagramas aplicados en la petrología de rocas ígneas. Los resultados obtenidos

a partir del análisis estadístico y uso del diagrama TAS ( $\text{SiO}_2$  vs.  $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ ), indican que todas las obsidias analizadas corresponden a eventos volcánicos de composición riolítica: las muestras de Huandacareo y La Mina grafican dentro la serie sub-alcalina, mientras que las muestras obtenidas del sitio arqueológico de Zaragoza caen dentro de la serie alcalina. La firma química de yacimientos y de piezas arqueológicas elaboradas con obsidiana, consideradas en el presente estudio, fue descodificada a partir de las relaciones  $\text{MnO}$  vs  $\text{CaO}$ ,  $\text{MnO}$  vs  $\text{FeO}$ ,  $\text{CaO}$  vs  $\text{K}_2\text{O}$ . Una explicación que puede darse a la relación estrecha entre esos elementos, es debido a su comportamiento fisicoquímico; todos ellos son de afinidad electrónica similar y sus radios atómicos son compatibles en el caso de K-Ca (metales alcalino y alcalino térreo) y los metales de transición Fe-Mn.

De este modo, y luego del tratamiento estadístico de las relaciones descritas en el párrafo anterior, se interpreta que en la mayoría de los casos privó el uso de la *Ley del Mínimo Esfuerzo*, con incógnitas de orden social por discutir; los objetos arqueológicos de obsidiana procedentes de la zona arqueológica de Zaragoza fueron elaborados con materia prima extraída del yacimiento de Pénjamo; los de la zona arqueológica de La Mina provienen del yacimiento de Ucareo y por último los del sitio arqueológico Huandacareo provienen del yacimiento de Zinapécuaro, con excepción de la muestra HO6B, la cual presenta características físicas y de componentes elementales idénticos a los de yacimientos de Ucareo, y sólo una muestra encontrada en la zona arqueológica de Huandacareo no se agrupó con ningún yacimiento en particular, lo cual y de acuerdo a la confiabilidad estadística del método, sugiere una fuente de materia prima diferente a las consideradas en el presente estudio.

Los resultados obtenidos en la presente investigación permiten proponer un modelo de procedencia probable de materia prima de obsidiana de objetos recuperados de los sitios de Zaragoza, Huandacareo, La Mina y Milpillas, de yacimientos cercanos, como se ilustra en la **Figura 39**, con algunas excepciones descritas en los apartados previos.

Una actividad que deberá considerarse en el futuro para mejorar estas interpretaciones será el registro de las huellas de trabajo para identificar su fábrica. Esto redundará en la reconstrucción más certera de rutas comerciales en épocas prehispánicas determinadas, con estadías probables en localidades de lapidarios especializados en labrado de obsidiana o certificación del tallado *in situ*. Finalmente, es importante decir que las mejores interpretaciones en contextos arqueológicos se logran cuando existen dataciones de los horizontes culturales y se tiene la certeza de dónde se obtuvieron los objetos; en el presente estudio se maneja información genérica debido a que aunque las piezas arqueológicas provienen de excavaciones arqueológicas controladas, no se cuenta con fechas o temporalidades determinadas con técnicas como  $^{14}\text{C}$ , termoluminiscencia (TL) o arqueomagnetismo, por citar algunas. Este es un criterio que debe obligar en las futuras exploraciones en sitios arqueológicos a presentar fechas con edades absolutas.



**Leyenda**

-  Yacimientos de obsidiana
-  Zonas arqueológicas
-  Cuerpos de agua
-  Michoacán
-  Estados

Sistema de Coordenadas: North America Lambert Conformal Conic  
 Proyección: Lambert Conformal Conic  
 Datum: ITRF 1992  
 Unidades: Grados  
 Elaboró: A. Alejandra Herrera N.



**Figura 39.** Mapa que ilustra probables rutas de extracción y comercio de la obsidiana encontrada como objetos rescatados de las zonas arqueológicas de Huandacareo, La Mina, Zacapu y Zaragoza. La relación Milpillas-Zináparo es deducida de fuente bibliográfica.

## CAPÍTULO IX. CONCLUSIONES

A partir del análisis de los sitios arqueológicos involucrados en el presente estudio se reconoce una correspondencia temporal entre ellos, desde aproximadamente los 600 d.C. y hasta la conquista española (1521). Esto permite realizar análisis de materiales culturales con la posibilidad de identificar posibles redes de comercio o de intercambio.

De esta forma, los resultados obtenidos del análisis mineralógico modal realizado a partir de observaciones petrográficas en tiestos de cerámica prehispánica, demuestran que existió intercambio comercial entre los cuatro sitios arqueológicos estudiados. Asimismo, se reconoce un intenso aprovechamiento de materia prima local (autoctonía) para la elaboración de cerámica, de acuerdo con el análisis geológico de cada zona. Se identificó que los minerales encontrados en muestras del sitio de Huandacareo comparten patrones composicionales hasta en un 100%; en el caso de Milpillas, en Zacapu, el 81% de las muestras contienen la misma mineralogía, mientras que el 19% de las muestras cuentan con especímenes muy similares a las cerámicas de Huandacareo. En el caso de muestras de La Mina el 71% presentan mineralogía similar a los de su región, mientras que el 21% tienden a la mineralogía del sitio de Huandacareo y el 8% a las de Zaragoza. Por último, el sitio arqueológico de Zaragoza muestra un 87% de elementos similares a los de su región y el 13% a los minerales de las cerámicas de Huandacareo, por lo que a partir de estos resultados se puede inferir que el sitio arqueológico de Huandacareo funcionó como un referente importante y receptor en una red de comercio entre los sitios involucrados en el presente estudio.

La configuración de mineralogía modal permite identificar una probable correspondencia comercial entre los sitios de Milpillas (100-600 d.C.) y La Nopalera (Huandacareo), lo cual sugiere que este último sitio pudo ser ocupado en una temporalidad mucho menor al determinado hasta ahora.



Los yacimientos de obsidiana que se encuentran en el estado de Michoacán jugaron un papel importante en la elaboración de artefactos arqueológicos utilizados con diferentes fines y en diferentes épocas. Es justamente en estos materiales donde la metodología analítica por microsonda de electrones aporta información analítica que permite identificar la firma química, y su tratamiento estadístico facilita el reconocimiento de la fuente geológica probable de la materia prima empleada para elaborar objetos precolombinos en obsidiana.

Los resultados obtenidos en esta investigación indican que las obsidianas culturales grafican como sigue: i) en el Diagrama TAS los rangos de valores de Si vs. Na+K caen en el campo riolítico, donde las muestras de Huandacareo y La Mina exhiben una afinidad con la serie sub-alcalina, mientras que las obtenidas del sitio arqueológico de Zaragoza lo hacen en el campo de la serie alcalina; ii) las relaciones del sistema CaO-K<sub>2</sub>O-FeO-MnO de los objetos arqueológicos de obsidiana procedentes de la zona arqueológica de Zaragoza indican que fueron elaborados con materia prima extraída del yacimiento de Pénjamo; los de la zona arqueológica de La Mina coinciden con la firma química del yacimiento de Ucareo principalmente, y por último los del sitio arqueológico Huandacareo provienen del yacimiento de Zinapécuaro, preferentemente.

Como se mencionó en capítulos anteriores, algunas muestras de objetos no coinciden químicamente con los dominios establecidos para yacimientos locales, por lo que se deduce una aloctonía de la materia prima, desconocida hasta el alcance del presente trabajo.

La metodología aplicada en esta investigación permite ofrecer aportes importantes en la arqueología regional. Su extrapolación a otras localidades debe ser acompañada de criterios acorde a su historia arqueológica, donde probablemente no sólo el principio del “*uso de la menor energía*” prevalezca.

## CAPÍTULO X. REFERENCIAS

- Acquafredda, P. T., Andriani S., Lorenzoni y Zanettin E., 1999. Chemical Characterization of Obsidians from Different Mediterranean Sources by Non-destructive SEM-EDS Analytical Method, *Journal of Archaeological Science* vol. 26, pp. 315-321.
- Aguilar, V., y Verma S. P., 1987. Composición química (elementos mayores) de los magmas en el Cinturón Volcánico Mexicano. *Geofísica Internacional*, 26 (2) pp.195-272.
- Aiken, L.S., y West S.G., 1991. Multiple regression: Testing and interpreting interactions. California, USA: Sage.
- Alaniz-Álvarez, S., Nieto-Samaniego, A.F., 2005. El sistema de fallas Taxco-San Miguel de Allende y la Faja Volcánica Transmexicana, dos fronteras tectónicas del centro de México activas durante el Cenozoico: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, Volumen Conmemorativo del Centenario*, 57(1), 65-82.
- Alaniz-Álvarez, S., Nieto-Samaniego, A.F., Ferrari, L., 1998. Effects of strain rate in the distribution of monogenetic and polygenetic volcanism in the Trans-Mexican Volcanic Belt: *Geology*, 26, 591-594.
- Arechavaleta, S., y De los Dolores, M. 1990. Nuevos enfoques en el estudio de la litica. *Universidad Autónoma de México, Mexico City*.
- Argote-Espino, D., Solé V. J., Lopez-García P. y Sterpone C. O., 2010. Análisis composicional de seis yacimientos de obsidiana del centro de México y su clasificación con DBSCAN. *Arqueología*. 43. 199-215.
- Bernard-Romero, B. R., 2008. Nuevos datos geoquímicos de yacimientos geotermales de alta temperatura del cinturón volcánico mexicano: Isótopos de helio, boro, nitrógeno y elementos traza. (Doctoral dissertation, Master Thesis) Universidad Nacional Autónoma de México.

- Boucher, S., y Palomo Y., 2012. Discriminación visual como determinante de estilo y asignación tipológica de la cerámica códice de Calakmul, Campeche. *Estudios de cultura maya*, 39, 99-132.
- Cann, J. R., Dixon J. E. y Renfrew C., 1969. Obsidian Analysis and Obsidian Trade. *Science in Archaeology*, D. Brothwell y E. Higgs (eds.) New York, Praeger, pp. 111-131.
- Cárdenas-García, E. y Fernández-Villanueva E., 2013. Zonas Arqueológicas de Michoacán. *Arqueología Mexicana* 21(123), pp. 61-67.
- Carot, P., 1993. Cerámica y otros objetos, complejo Loma Alta. En Charlotte Arnaud, Patricia Carot y Marie France Fauvet- Berthelot (eds.), *Arqueología de las Lomas en la cuenca lacustre de Zacapu, Michoacán, México*, México, Centre D'Etudes Mexicaines et Centraméricaines, Cuadernos de Estudios Michoacanos, (5) pp 156-159.
- Castañón-Suárez, M. A. y Punzo-Díaz, J. L., 2017. Revisando la investigación cerámica en Tingambato, Michoacán. Una propuesta de caracterización petrográfica. *Trace. Travaux et recherches dans les Amériques du Centre*, (72).
- Castellanos, O. y Ríos C., 2005. EPMA: Electronic Microprobe; Principles Of Operation EPMA: Microsonda Electrónica; principios de funcionamiento. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, 6(2), pp. 1-6.
- Clark, J. E., Lee, Jr., T.A., 1990. Intercambio de obsidiana y las primeras economías públicas en Chiapas, México. En Soto de Arechavaleta (Ed.), *Nuevos enfoques en el estudio de la Lítica*. Instituto de Investigaciones Antropológicas de la UNAM/ Universidad Nacional Autónoma de México, pp. 346-404.
- Clark, J. E., 1994. Antiguos instrumentos y ornamentos de obsidiana. En: Mari Carmen Serra Puche y Felipe Solís Olguín (coords.). *Cristales y obsidiana prehispánicos*. Siglo XXI. pp. 41-51.

- Cobean, R., 2002. Un mundo de obsidiana: Minería y comercio de un vidrio volcánico en el México antiguo/A world of obsidian: The mining and trade of a volcanic glass in ancient Mexico. Instituto Nacional de Antropología e Historia, University of Pittsburgh.
- Correa, G., 1974. Geografía del estado de Michoacán, gobierno del estado, Morelia, Michoacán.
- Darras, V., 1994. Las actividades de tallas en los talleres de obsidiana del conjunto Zináparo-Prieto, Michoacán, en E. Williams R. Novella (eds.), *Arqueología del Occidente de México*, El Colegio de Michoacán, Zamora, pp. 139-158.
- Darras, V., 1996. Economía de la obsidiana en Michoacán: modalidades de abastecimiento e implicaciones político-culturales, *Arqueología* 15, INAH, pp. 41-55.
- Darras, V., 2014. *Tecnologías prehispánicas de la obsidiana: los centros de producción de la región de Zináparo-Prieto, Michoacán, México*. Centro de Estudios Mexicanos y Centroamericanos (17).
- Darras, V., Jadot E., Espinosa-Pesqueira M., y Medina-González, 2018. Artesanos especializados en bienes de prestigio en tiempos del Malpaís. En: Grégory Pereira y Eliseo F. Padilla Gutiérrez (coords.), *La Ciudad Perdida. Raíces de los soberanos tarascos*. Instituto Nacional de Antropología e Historia/Centro de Estudios Mexicanos y Centroamericanos, pp. 71-81.
- De Francesco, A.M., Barca D., Bocci M., Cortegoso V., Barberena R., Yebra L. y Duran V., 2017. Provenance of obsidian artifacts from the Natural Protected Area Laguna del Diamante (Mendoza, Province Argentina) and Upper Maipo Valley (Chile) by LA-ICP-MS Method. *Quaternary International*
- Demant, A., 1978. Características del eje Neovolcánico Transmexicano y sus problemas de interpretación. *Revista Instituto de Geología*, 2, pp. 172-187.
- Dorado, A. C., 1989. *Petrografía básica: texturas, clasificación y nomenclatura de rocas*. Paraninfo.

- Erickson, J. E., Makishima A., MacKenzie J. y Berger R., 1975. Chemical and Physical Properties of Obsidian: A Naturally Occurring Glass, *Journal of Non-Crystalline Solids* 17, pp. 129-142.
- Ericson, J. E. y Kimberlin J., 1977. Obsidian Sources, Chemical Characterization and Hydration Rates in West Mexico. *Archaeometry* 192, pp. 157-166
- España, J. A., 1988. *Geología*. Carpeta de fichas y Guía de experiencias. Madrid, ENOSA.
- Esparza, R., 2006. Los yacimientos de obsidiana en el occidente de México (análisis geoquímico por técnicas nucleares y su repercusión en el estudio de las rutas de comercio prehispánicas). Tesis de Maestría. Escuela Nacional de Antropología e Historia.
- Esparza, R., 2014. Los estudios de la obsidiana en Michoacán. Síntesis y reflexiones. En Espejel Carbajal Claudia (editora) *La investigación arqueológica en Michoacán. Avances, problemas y perspectivas*. El colegio de Michoacán, pp. 235-258.
- Esparza, R., Jiménez M. y Tenorio D., 2017. Los caminos de la obsidiana en el Occidente de México. En Efraín Cárdenas García (editor). *Migraciones e interacciones en el septentrión Mesoamericano*. El colegio de Michoacán. Pp. 275-295
- Espejel, C., 2013. La relación de Michoacán. Narraciones históricas de los purépechas. *Arqueología Mexicana* 21(123) pp. 68-75.
- Faugère, B., 2011. El hombre temprano en el centro-norte de México: Cueva del Platanal y Cueva de los Portales, Michoacán. *IV Simposio Internacional El hombre temprano en América*. José Concepción Jiménez López, Carlos Serrano Sánchez, Arturo Gonzáles Gonzáles y Felisa J. Aguilar Arellao (eds). Instituto Nacional de Antropología e Historia, Universidad Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Antropológicas, Museo del Desierto. pp. 35-50.

- Ferrari, L., Pasquaré, G., y Tibaldi, A., 1990. Plio-Quaternary tectonics of the central Mexican Volcanic Belt and some constraints on its rifting mode. *Geofísica Internacional*, 29(1).
- Ferrari, L., Conticelli S., Vaggelli G., Petrone C. M., y Manetti, P., 2000. Late Miocene volcanism and intra-arc tectonics during the early development of the Trans-Mexican Volcanic Belt. *Tectonophysics*, 318(1), pp. 161-185.
- Ferrari, L., Orozco-Esquivel T., Manea V. y Manea M., 2012. The dynamic history of the Trans-Mexican Volcanic Belt and the Mexico subducción zone. *Tectonophysics*, (522-523), pp.122-149.
- Ferrari L., Rosas-Elguera J., Orozco-Esquivel M., Carrasco-Núñez G., Norato-Cortez T., 2005. *Digital Geologic Cartography of the Trans-Mexican Volcanic Belt and Adjoining Areas: Digital Geosciences*, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Ferrari, L., Orozco-Esquivel, T., Manea, V. y Manea, M., 2012. The dynamic history of the Trans-Mexican Volcanic Belt and the Mexico subduction zone. *Tectonophysics*, 522, 122-149.
- Filini, A., 2010. El sistema-mundo teotihuacano y la Cuenca de Cuitzeo, *Michoacán*. Colegio de Michoacán.
- Gándara, M., 2007. *El análisis teórico en ciencias sociales: Aplicación a una teoría del Origen del Estado en Mesoamérica*. Tesis doctoral, Escuela Nacional de Antropología e Historia, México.
- García, E., 1974. Distribución de la precipitación en la República Mexicana. *Investigaciones geográficas*, (5), 7-20.
- García-Palomo, A., Macías J., Garduño V., 2000. Miocene to recent structural evolution of the Nevado de Toluca volcano region, central Mexico: *Tectonophysics*, 318, pp. 281-302.
- Garduño-Monroy, V.H., Arreygue-Rocha, E., Israde-Alcántara, I., Rodríguez-Torres, G.M., 2001. Efectos de las fallas asociadas a sobreexplotación de acuíferos y la presencia de fallas potencialmente sísmicas en Morelia,

Michoacán, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, v. 18, núm. 1, 2001, p. 37-54.

Garduño-Monroy, V.H., Pérez-Lopez, R., Israde-Alcantara I., Rodríguez-Pascua, M.A., Szykaruk, E., Hernández-Madrigal, V.M., García-Zepeda M.L., Corona-Chavez P., Ostroumov, M., Medina-Veja V.H., García-Estrada G., Carranza O., López-Granados, E., Mora-Chaparros J.C., 2009. Paleoseismology of the southwestern Morelia-Acambay fault system, central México: *Geofísica Internacional*, 48(3), 319-335.

Gaxiola, G., y Clark, J. E., 1989. *La Obsidiana en Mesoamerica (Serie Arqueología 176)*. México, DF, Instituto Nacional de Antropología e Historia.

Goguitchaichvili A., G., Morales J., Aguayo Haro, R., Quiroz Castañón H., Robles Camacho J., 2017. First evidence of complex dental practice about 1300 BP in Mesoamerica revealed by absolute geomagnetic intensity. *Stud. Geophys. Geod.*, April, 7, Volume 61, Issue 2, pp 310–317.

Goldstein, J., Newbury D. E., Joy D. C., Lyman C. E., Echlin P., Lifshin E., y Michael J. R., 2003. *Scanning electron microscopy and X-ray microanalysis*. Springer. USA.

González, J. M. y Avendaño C. S., 2014. Procesos de talla y uso de la obsidiana en Las Amelias, sitio huasteco de inicios del Posclásico. *Arqueología* (45), pp. 120-159.

Hasenaka, T., 1994. Size, distribution and magma output rate for shield volcanoes of the Michoacan–Guanajuato volcanic field, central Mexico: *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 63(1-2), 13-31.

Hasenaka, T. y Carmichael, I.S.E., 1985. A compilation of location, size and geomorphological parameters of volcanoes of the Michoacan-Guanajuato volcanic field, central Mexico: *Geofísica Internacional*, 24(4), 577-607.

Healan, D., 1997. Pre-hispanic quarrying in the Ucareo-Zinapécuaro obsidian source area. *Ancient Mesoamerica*, 8 (1), pp. 77-100.

- Heinrich, K. F. J., 1965. Electron Probe Microanalysis by specimen current measurement, in *Proc. IV Congr. Inter. Optique des rayons X et Microanalyse Paris*, 159-167.
- Hernández, C., 2006. La cerámica del periodo clásico en el noreste de Michoacán. En *La Producción alfarera en el México antiguo II*. La alfarería durante el Clásico (100-700 d.C.), Beatriz Leonor Merino Carrión y Ángel García Cook (Coords.), Colección científica, Instituto Nacional de Antropología e Historia (2) pp. 313-334
- Hernández, J. M. P., 1872. Compendio de la geografía del estado de Michoacán de Ocampo. Impr. del comercio, de N. Chávez.
- Hodge, M. G., 1992. The Geographical Structure of Aztec Imperial-Period Market Systems. *National Geographic Society Research and Exploration* 8: 428–445. 2008.
- Hosler, D. 2016. Aztec Metallurgy. *The Oxford Handbook of the Aztecs*, 319.
- Howes A. y Mauricio A., 2014. Implementación y aplicación de herramientas para los estudios de procedencia de objetos arqueológicos de obsidiana. Tesis de Grado. Escuela Técnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona.
- Lévy, J., Varela J., Calvo A., y Rodríguez M., 2003. Análisis multivariado para las ciencias sociales. Madrid, España: Pearson educación.
- Linares, C., Canet C., Reyes M. y Delgado H., 2008. Microanálisis Químicos con EPMA: Composición Química de Sulfuros de Zn, Cu, Pb y Ag de Yacimientos Minerales de Zacatecas, México. *Simposio de Metrología 2008*.
- Lizardo, J. G. U., 2018. *Estudio etnoarqueológico entre los alfareros de Zinapécuaro, Michoacán y su encuentro con la técnica al negativo en la creación cerámica*, Tesis de maestría, El Colegio de San Luis A.C.
- Lugo, J., Ortiz M. A., Palacio J. L. y Bocco G., 1985. Las zonas más activas en el cinturón volcánico mexicano (entre Michoacán y Tlaxcala). *Geofísica Internacional* 24(I) pp. 83-96



- Macias-Goytia, A., 1990. *Huandacareo: lugar de juicios, tribunal*. Antonio Guzmán y Lourdes Martínez (eds). Colección Científica, serie arqueología. Instituto Nacional de Antropología e Historia.
- Martínez-Reyes, J. y Nieto-Samaniego, A. F., 1990. Efectos geológicos de la tectónica reciente en la parte central de México: Universidad Nacional Autónoma de México, *Revista del Instituto de Geología*, 9, 35-50.
- Melgarejo J. C., Proenza J. A., Galí S., y Llovet X., 2010. Técnicas de caracterización mineral y su aplicación en exploración y explotación minera. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 62(1), pp. 1-23.
- Mónaco S. L., y López, L., 2014. Estudio de la madera petrificada de la formación mesa (Pleistoceno), estado Anzoátegui, Venezuela por microsonda electrónica con análisis de rayos-X (EPMA). *Acta Microscopica*, 23(2).
- Moncayo-Estrada, R., Israde-Alcántara, I., y Garduño-Monroy, V. H., 2001. La cherehuita *Hubbsina turneri* De Buen (1941) (Pisces: Goodeidae): Origen, distribución y su uso en la regionalización de la cuenca del Lerma. *Hidrobiológica*, 11(1), 01-18.
- Moore D. M., Reynolds J. R., 1998. X-Ray diffraction and the identification and analysis of clay minerals, Oxford University Press, Inc. New York.
- Morales, J., Goguitchaichvili, A., Acosta, G., González-Moran, T., Alva-Valdivia, L., Robles-Camacho, J., y del Sol Hernández-Bernal, M. 2009. Las propiedades magnéticas y la determinación de la arqueointensidad en la cerámica precolombina de Chiapas, Mesoamérica. *Earth, planets and space*, 61 (1), 83-91.
- Mountjoy J. B., 1994. Capacha: Una cultura enigmática del Occidente de México. *Arqueología Mexicana* 2 (9), pp. 39-42.
- Neff, H., 2003. Análisis de superficies de cerámica plomada mesoamericana mediante espectrometría de masa de plasma acoplada por inducción de ablación con láser (LA-ICP-MS). *Journal of archaeological science*. 30(1),pp 21-35.

- Negendak W., Emmermann J. F., Krawczyk R., Mooser R., Tobschall F. H., y Werle D., 1985. Geological and Geochemical Investigations on the Eastern Trans- Mexican Volcanic Belt. *Geofísica Internacional*, 24(4).
- Nelson, S.A. y Healan D., 1995. Obsidians From the Ucareo and Zinapécuaro Areas, Michoacan, Mexico, *Geological Society of America*. Abstract with Programs 27, pp. 358.
- Nieto R. y López A., 1990. Contextos arqueológicos en yacimientos de obsidiana. En *Nuevos enfoques en el estudio de la lítica*. Editora María de los Dolores Soto de Arechavaleta Universidad Autónoma de México.
- Obando, L. G., y Jiménez Álvarez, S. D. P., 2016. Petrografía de la cerámica Nimún y Baca (Vajilla Celestún Roja): esfera cerámica Canbalam de la península de Yucatán, México. *Revista Geológica de América Central*, (54).
- Oliveros, A., 2006. El Opeño, Un antiguo cementerio en el occidente Mesoamericano. *Ancient Mesoamerica*, 17, pp. 251-258.
- Oliveros, J. A. y De los Ríos P. M. M., 1993. La cronología de: El Opeño, Michoacán: Nuevos fechamientos por radio carbono. *Arqueología*, Segunda época, No. 9-10, Enero – Diciembre, Instituto Nacional de Antropología e Historia, México, pp. 45-48.
- Oliveros J.A., 2004. *Hacedores de Tumbas en El Opeño, Jacona, Michoacán*. El Colegio de Michoacán/H. Ayuntamiento de Jacona, 281 p.
- Ortega J., 1980. Informe petrográfico-mineralógico de 4 muestras de obsidiana y una de pómez. Departamento de prehistoria de INAH, México, *Manuscrito inédito*.
- Ortiz-Díaz, E., 2006. Caminos y rutas de intercambio prehispánico. *Arqueología Mexicana* 14(81), pp. 37-42.
- Pasquaré, G., Vezzoli, L., Zanchi, A., 1987. Morphological and structural model of mexican volcanic belt: *Geofísica Internacional*, 26, 159-176.

- Pastrana, A., 2006. "La obsidiana en Mesoamérica", *Arqueología Mexicana*. 80, pp. 49-54.
- Pereira, G., Michelet D., y Migeon, G., 2013. La migración de los purépechas hacia el norte y su regreso a los lagos. *Arqueología Mexicana*, 21(123), 55-60.
- Pollard, H., y Vogel T. A., 1993. Late Postclassic Imperial Expansión and Economic Exchange Within the Tarascan Domain, en M.G. Hodge y M.E. Smith (eds.), *Economies and Politics in the Aztec Realm, Institute for Mesoamerican Studies*. Albany, State University of New York, pp. 447-470.
- Ramírez, A., 2016. El devenir histórico de la alfarería de Zinapécuaro, tensiones discursivas en torno al patrimonio cultural. *Nueva antropología*, 29(85), 31-52.
- Reed, S. J. B., 2005. *Electron Microprobe Analysis and Scanning Electron Microscopy in Geology (2nd Ed.)*, Cambridge University Press.
- Reed S. J. B., 1995. Electron Microprobe Microanalysis, in Philip J Potts, John F. w. Bowles, Stephen J. B. Reed, and Mark R. Cave (eds), *Microprobe Techniques in the Earth Sciences, The Mineralogical Society Series*, vol 6., p. 49-90.
- Robinson B.W., Ware N.G., Smith D.G.W., 1998. Modern electron–microprobe trace–elements analysis in mineralogy, in Cabri, L.J., Vaughan, D.J. (eds.) *Modern Approaches to Ore and Environmental Mineralogy: Ottawa, Canada, Mineralogy Association of Canada*, 153–180.
- Robles-Camacho J. y Oliveros-Morales, J.A., 2007. Estudio mineralógico de lapidaria prehispánica de El Opeño, Michoacán: Evidencias de organización social hacia el formativo medio en el occidente de México. *Arqueología*, 35. pp. 5-22.
- Robles-Camacho J. y Sánchez-Hernández, R., 2011. Presencia de amazonita en la Tierra Caliente michoacana. En: Arturo Oliveros-Morales (ed.), *Raíces culturales en la historia de La Tierra Caliente michoacana, México, El Colegio de Michoacán, A. C.*, 2011 (ISBN 978-607-7764-68-7), 111-124.

- Sánchez-Fortoul, C. G., 2018. Maya Ceramic Technology and Ceramic Socio-economy. BAR International Series 2899, 248 p.
- Serra-Puche, M. C., Olguín, F. S., y Zabé, M., 1994. Cristales y obsidiana prehispánicos. *Mexico City: Siglo Veintiuno*.
- Snarskis, M., 1985. Appendix III: Ceramic Analysis, en Shirley Gorenstein, *Acambaro: Frontier Settlement on the Tarascan-Aztec Border*, Nashville, Vanderbilt University (Publications in Anthropology, 32) pp. 207-296.
- Suter, M., Carrillo-Martínez, M., López-Martínez, M., Ferrar, E., 1995. The Aljibes half-graben—Active extension at the boundary between the trans-Mexican volcanic belt and the southern Basin and Range Province, Mexico: *Geological Society of America Bulletin*, 107, 627-641
- Szilágyi V., Gyarmati J., Tóth M., Taubald H., Balla M., Kasztovszky Z. y Szakmány G., 2012. Petro-mineralogy and geochemistry as tools of provenance analysis on archaeological pottery: Study of Inka Period ceramics from Paria, Bolivia. *Journal of South American Earth Sciences*, 36, pp. 1-17.
- Szynkaruk, E., Graduño-Monroy, V. H. y Bocco, G. 2004. Active fault systems and tectono-topographic configuration of the central Trans-Mexican Volcanic Belt. *Geomorphology*, 61(1-2), 111-126.
- Tarback E.J. y Lutgens F.K., 2000. *Ciencias de la Tierra*. Edit. Prentice Hall, edición trad. de 6ª ed. 1999, España, 616 p. (ISBN 84-8322-282-5)
- Tarback E.J. y Lutgens F.K., 2005. *Ciencias de la Tierra*. Edit. Prentice Hall, edición trad. De 8ª ed. España.
- Tísoc E. R. M. y Ciriaco R. B. S., 2009. Caracterización de huellas de manufactura en objetos lapidarios de obsidiana del Templo Mayor de Tenochtitlan. *Arqueología*, 42. pp. 118-134.
- Vázquez M. A. E., 2013. Un sitio arqueológico en las tierras bajas del norte de Yucatán: la industria lítica tallada de Aké. *Estudios de cultura maya*, 41(41). pp. 11-29.

Walsh, Jane M, 2004. La vasija de obsidiana de Texcoco, *Arqueología Mexicana* Vol. 12 Núm. 70, pp. 66-67

Weigand P., Glascock M., y Garcia A., 2003. La exploración de los yacimientos de obsidiana en el centro-oeste de Jalisco. En Eduardo Williams (coord.), *Bienes estratégicos del antiguo occidente de México*, Zamora, el Colegio de Michoacán, pp. 113-135.

## **ANEXOS**

### *Rocas ígneas*

Las rocas ígneas se forman por el enfriamiento y solidificación de un magma generado en el interior de la Tierra.

### *Rocas ígneas extrusivas o volcánicas*

Las rocas extrusivas son aquellas que se forman cuando el magma logra salir a la superficie, donde el enfriamiento rápido no permite desarrollo importante de cristales y se genera una textura de grano fino con matriz microlítica o vítrea; en función del contenido de silicio, álcalis, calcio, entre otros, las rocas pueden ser de composición riolítica, andesita o basalto. Cuando el enfriamiento de la lava es abrupto al salir a superficie, la textura que se genera es vítrea, asignándole el nombre de obsidiana.

### *Rocas intrusivas o plutónicas*

Las rocas intrusivas son aquellas que se forma en el interior de la Tierra, condición que permite el desarrollo de grandes cristales; entre ellas se encuentran el granito, la diorita y el gabro.

## **La aplicación de la arqueometría y geoarqueología**

La arqueometría es un área de especialidad multidisciplinar generada a partir de inquietudes surgidas desde el campo de la arqueología en la década de los 1950; fue a través del uso de técnicas desarrolladas en los campos de la física y la química que se intenta identificar algunas características propias de los materiales para determinar en lo posible su procedencia; además de promover su conservación, determinar su edad, entre otros (Gándara, 2007). Se incluyen también disciplinas como la geoarqueología, la arqueología experimental y la etnoarqueología. La geoarqueología puede responder preguntas de investigación arqueológica que se emplean por métodos derivados de la geología, en este caso

para conocer la firma geológica de la obsidiana de piezas arqueológicas y como desengrasante (partículas del tamaño de arena) en la pasta de la cerámica precolombina.

## **Técnicas aplicadas a la arqueología**

### *Petrografía*

El uso de técnicas empleadas en las geociencias para resolver cuestionamientos de las ciencias sociales como la arqueología, han promovido los estudios interdisciplinarios y la aplicación de distintos criterios desarrollados desde los campos de la geología, la química y la estadística. Los resultados son atractivos, si se considera que es posible reconocer la naturaleza de los materiales culturales y en algunos casos determinar la fuente probable de la materia prima. La petrografía es una de esas herramientas básicas que ha contribuido a la identificación mineral de la materia prima empleada en diversos materiales arqueológicos, cuando es posible tomar una muestra suficiente para la preparación de una lámina delgada (aproximadamente 30 micras), y su análisis mediante uso de luz polarizada generada en un microscopio petrográfico (España, 1988; Dorado, 1989).

En este trabajo la petrografía permitirá reconocer la mineralogía modal presente como desengrasante de la cerámica precolombina, así como algunos rasgos texturales distintivos de la obsidiana.

### *Microsonda*

La Microsonda (EPMA) es una técnica de análisis elemental *no destructiva* de gran precisión y sensibilidad para muestras principalmente mineralógicas y pétreas, de mayor precisión que un microscopio electrónico de barrido (SEM-EDX), ya que cuenta con unidades analizadoras adicionales (Castellanos y Ríos, 2005; Linares *et al.*, 2008; Melgarejo *et al.*, 2010; Mónaco, 2014). La principal importancia del EPMA reside en la capacidad de análisis cualitativo y cuantitativo con una resolución espacial en el orden de 1 - 2  $\mu\text{m}^2$  y con una precisión

cuantitativa de entre 0.1 y 1% en muestras sólidas previamente pulidas; su capacidad de detección en el análisis elemental es de hasta ppm (Heinrich, 1965; Goldstein *et al.*, 2003). La técnica permite obtener simultáneamente imágenes de alta resolución a partir del uso de espectrómetros de dispersión de rayos X (EDS) y espectrómetro de dispersión de longitud de ondas (WDS), además se obtienen imágenes a partir de un microscopio electrónico de barrido (SEM) y un detector de electrones retrodispersados (BSE). Estas imágenes con microscopía permiten ser inspeccionadas a gran detalle con aumentos que oscilan entre 40 hasta los 400,000 aumentos; de esta manera, es fácil identificar los contrastes de emisión entre elementos químicos de diferente número atómico.

#### *Principio de funcionamiento*

La EPMA es una técnica que consiste en la excitación de la superficie de la muestra sólida previamente cubierta con micro partículas de alta capacidad de conducción de un haz de electrones acelerados entre 10 y 30 kv; su identificación elemental es posible con un alcance de entre 1 y 2  $\mu\text{m}$  de diámetro en la muestra. Los rayos X característicos que se generan en el análisis son detectados por los espectrómetros WDS; el número de estos WDS pueden variar entre 1 y 5 dependiendo del modelo y marca de EPMA. Este mide la longitud e intensidad de los rayos-X característicos emitidos en diferentes direcciones, durante este proceso también se mide la intensidad de los electrones secundarios y electrones retrodispersados. El WDS detecta los rayos-X característicos detectando e identificando de manera cualitativa las líneas de longitudes de onda, posteriormente son comparadas con los rayos-X emitidos de los estándares (muestra con composición y concentración conocida o elementos puros), dependiendo de la intensidad y la longitud de onda emitida se puede determinar de manera cuantitativa los elementos que componen la muestra analizada (Reed, 1995; Moore y Reynolds, 1998; Reed, 2005; Goldstein *et al.*, 2003).



### *Análisis cuantitativo puntual en elementos mayores*

La EPMA identifica de manera cuantitativa volúmenes muy pequeños en el orden de 1 y 2  $\mu\text{m}^2$ , lo que es funcional cuando se desea realizar análisis puntuales sistemáticos de granos heterogéneos principalmente en muestras petrológicas y mineralógicas. Los elementos que se pueden identificar van desde el berilio (Be4) hasta el uranio (U92) y en casos de EPMA blindadas se pueden identificar elementos actínidos con mayor número atómico al uranio, sin embargo, como la muestra debe estar totalmente seca y pulida para su análisis no permite el análisis de elementos como el Hidrógeno (H1), Helio (He2) y Litio (Li3), por lo que dificulta el análisis de muestras con minerales hidratados. Los límites de detección en elementos mayores (óxidos) van del 1% y en algunos análisis se han podido detectar hasta ppm.

### *Análisis cuantitativo puntual en elementos menores o traza*

Este equipo permite cuantificar los elementos menores o traza con límites de detección entre 10 y 50 ppm, sin embargo, trabajando en condiciones muy precisas, por ejemplo, de 8 mA y tiempos de conteo de hasta 2000 s en elementos como el silicio (Si), titanio (Ti) y cromo (Cr) se han determinado límites de detección a niveles Sub-ppm (Robinson *et al.*, 1998; Melgarejo *et al.*, 2010).