

**INVESTIGACIONES QUIMICAS Y OPTICAS DE OBSIDIANAS  
GEOLOGICAS Y ARQUEOLOGICAS DE MEXICO**

E. MOSHEIM\*

E. ALTHAUS\*\*

(Recibido: 10 de marzo, 1988)

(Aceptado: 19 de julio, 1988)

**RESUMEN**

Se reporta un método físico que permite caracterizar muestras arqueológicas de obsidiana y atribuir las a sus fuentes geológicas con el objeto de reconstruir las relaciones comerciales de la época prehispánica en México.

El método utilizado es la Fotometría Microscópica, el cual mide el comportamiento de las muestras de obsidiana con la luz UV, VIS e IR cercano. Con una evaluación apropiada de los datos es posible ubicar las muestras arqueológicas en provincias de yacimientos geológicos.

Debido a que el comportamiento óptico está directamente relacionado con la composición química, se deberá concluir como condición básica que los diferentes yacimientos de obsidiana de la Faja Volcanica Mexicana (FMV) habrán de distinguirse significativamente en la composición química, de tal forma que se pueda ubicar claramente la zona de origen. Las mediciones de los elementos principales y trazas, así como la construcción de diagramas de correlación, muestran provincias de origen de las obsidianas geológicas de la FVM con que se pueden relacionar claramente las muestras arqueológicas.

Tomando en cuenta la condición arriba establecida de un quimismo apreciablemente diferente en las obsidianas geológicas tiene sentido investigar las muestras arqueológicas frente a las geológicas fotoópticamente. A través de los datos ópticos obtenidos en 108 muestras arqueológicas del Altiplano Central de México, éstas se pueden atribuir a las siguientes regiones de abastecimiento:

\* U. A. N. L., Facultad de Ciencias de la Tierra, Apdo. Postal 104, 67700 Linares, N. L., MEXICO.

\*\* Mineralogisches Institut der Universität, Kaiserstr. 12, D-7500 Karlsruhe, R. F. A.

Región Oeste de la FVM: Mesa de Las Salvias, Nayarit (también conocida como Ixtlán del Río) y secundariamente Tequila y La Primavera, Jalisco.

Región Central: San José, Michoacán (también conocida como Zinapécuaro), Cerro de Las Navajas (también conocida como Pachuca) y secundariamente Querétaro, Querétaro y Buenavista, Edo. de México, con amplias zonas de manufactura de obsidiana (también conocida como Barranca de Los Estetes u Otumba).

Región Este de la FVM: Altotonga, Veracruz; Zaragoza, Puebla y Jacal, Veracruz, con amplias zonas de manufactura de obsidiana (también conocida como Pico de Orizaba).

### ABSTRACT

A physical method is described for the assignment of archaeological obsidian samples to their geological sources for the sake of reconstruction of trade relations.

Microscope Photometry has proved to be a good method to characterize the absorption behaviour of obsidians in the range of UV, VIS, and NIR. The appropriate presentation of the data is a plot of the tangent of the slope angles of the absorption curves against the position of the extinction maximum. This procedure results in clusters of the geological sources to which the archaeological samples - after an analogous treatment - can be easily assigned.

The absorption behaviour of obsidians is directly related to their chemical composition. Therefore, it has to be clarified in advance, whether the 41 analyzed obsidians of the Mexican Volcanic Belt (MVB) vary sufficiently in their chemical composition. Major- and trace element determination and the plot of the data in correlation diagrams result in different clusters for all the analyzed Mexican obsidians.

Optical measurements can be carried out, based on the knowledge of the chemical variation. Thus, 108 obsidian artifacts of the Central Mexican Highland can be assigned to the following supply areas:

In the western part of the MVB: Mesa de Las Salvias, Nayarit (also called Ixtlán del Río) and, less important, Tequila and La Primavera, Jalisco.

In the central part of the MVB: San José, Michoacán (also called Zinapécuaro), Cerro de Las Navajas, Hidalgo (also called Pachuca), and, less important, Querétaro, Querétaro and Buenavista, Estado de México (also called Barranca de Los Estetes or Otumba) with extensive manufacturing areas.

In the eastern part of the MVB: Altotonga, Veracruz, Zaragoza, Puebla and Jacal, Veracruz (also called Pico de Orizaba) with extensive manufacturing areas.

### INTRODUCCION

En la investigación de las formas de vida de culturas prehistóricas, los objetos de estudio no son muy abundantes. Por lo tanto depende del material que, por un lado, muestre huellas de manufactura y que, por otro, se haya conservado desde el Paleolítico hasta hoy.

Debido a que el uso de los metales se generalizó hasta épocas más recientes, los objetos de investigación se reducen a instrumentos hechos con materiales que aparecen en la naturaleza, o sea, rocas duras con cantos agudos que además permiten la fabricación relativamente fácil de herramientas. Principalmente se mencionan el jade, la cuarcita, el pedernal y sobre todo la obsidiana. Los hallazgos de piezas arqueológicas muestran que rocas naturales como la obsidiana fueron preferidas como materia prima en lugar del metal. El fácil acceso al material en numerosas localidades del Altiplano Central de México, así como su fácil obtención hacen ver claramente las ventajas de la obsidiana sobre los metales que, además, tienen que ser previamente fundidos.

La obsidiana tiene dos buenas características para la fabricación de puntas de flecha y cuchillos: su dureza y la capacidad de formar cantos filosos. Con una dureza al rayado de 6, que aunque es un poco más "suave" que el pedernal, sobrepasa todos los metales no férricos y sus aleaciones y alcanza así al acero de cromo y níquel. Así se explica la gran preferencia por esta materia prima para la elaboración de herramientas de todo tipo. Por ser frágil y quebradiza exige, sin embargo, técnicas especiales de trabajo, en las que puede apreciarse la alta eficiencia de las culturas. Grandes zonas de fabricación de navajas, por ejemplo, al pie del Pico de Orizaba (en la cercanía del ejido Jacal) y en Buenavista, permiten evaluar la manufactura a gran escala de herramientas de obsidiana en la época prehispánica de México.

En contraste con otras materias primas como el pedernal, la obsidiana no se encuentra en gran abundancia, ya que está relacionada con un tipo especial de vulcanismo. Por otra parte, la distribución de la roca es amplia por sus buenas características como materia prima. También lo son los hallazgos arqueológicos de obsidiana, aun en zonas en donde no se pueden encontrar en las cercanías yacimientos naturales de ésta. Así se puede suponer que la obsidiana fue una de las primeras materias primas con que se comerció. Por esto es interesante para el antropólogo la investigación de las rutas de la obsidiana en la época prehispánica. La abundancia del material arqueológico de obsidiana, así como las buenas condiciones de afloramiento de los yacimientos naturales, ofrecen posibilidades ideales para reconstruir la distribución en México del material en bruto y del trabajado.

Mientras la investigación de la obsidiana se limitó a aspectos prehistóricos, morfológicos, histórico-artísticos y tecnológicos, los resultados fueron de poca validez. Por eso se debe recurrir a otros criterios, como las propiedades físicas y químicas para la

caracterización e identificación de material arqueológico, los cuales permiten obtener información de mayor importancia.

### OBJETIVOS

Para la identificación y clasificación de material arqueológico de obsidiana en México, se mencionan principalmente análisis químicos de elementos principales, así como de elementos trazas (entre otros: Cobean *et al.*, 1971; Ericson and Kimberlin, 1977; Hester *et al.*, 1972, 1973; Jack *et al.*, 1972; Nelson *et al.*, 1977; Nelson and Voorhies, 1980; Pires-Ferreira, 1975; Stevenson *et al.*, 1971; Stross *et al.*, 1976). Para la identificación de muestras arqueológicas por medio de la Química Analítica se debe tomar en cuenta una gran dificultad: a menudo existe muy poco material de prueba o se trata de valiosas piezas que no pueden ser destruidas. Por eso es muy importante encontrar un método que, aunque no esté exento de destrucción, permita trabajar con cantidades muy pequeñas de muestra. Un método de este tipo es la Fotometría Microscópica, que mide la transmisibilidad de la luz de una muestra, dependiendo de la longitud de onda. Este método se explicará a continuación.

El comportamiento de absorción de una muestra está relacionado directamente con su química. Como condición básica para mediciones fotoópticas se debe aclarar si los diferentes yacimientos de obsidiana de la Faja Volcánica Mexicana (FVM) se diferencian significativamente uno de otro en la química de los elementos principales y trazas, de tal manera que se puedan delimitar claramente. Así, un análisis químico exacto del material geológico sirve como base para la caracterización de muestras arqueológicas, con la ayuda de mediciones fotométricas.

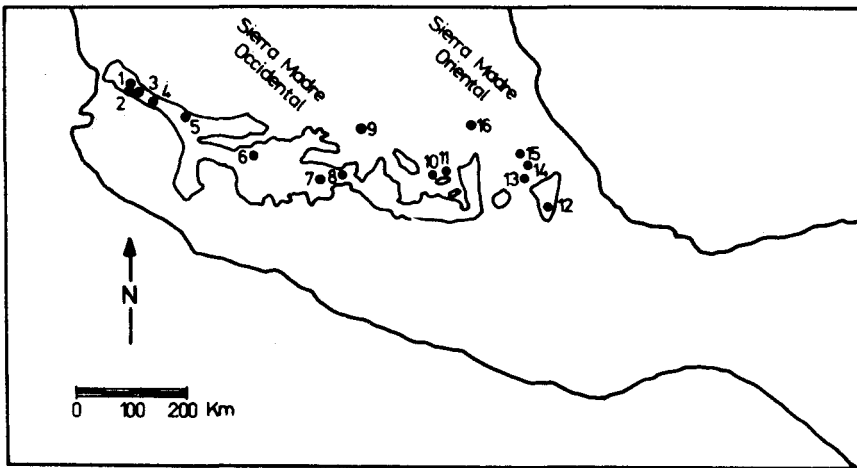
### QUIMICA ANALITICA

#### *Area de trabajo*

Los yacimientos geológicos de obsidiana se localizan en el centro de México y se encuentran repartidos a todo lo ancho de la FVM. Las indicaciones más importantes para la localización de los yacimientos las da la literatura disponible hasta hoy (entre otros: Breton, 1902; Charlton, 1969; Cobean *et al.*, 1971; Ericson and Kimberlin, 1977; Hester *et al.*, 1971, 1972; Holmes, 1900; Jack *et al.*, 1972; Nelson *et al.*, 1977; Pires-Ferreira, 1975; Rul, 1972; Spence, 1967; Spence and Parsons, 1967; Stevenson *et al.*, 1971). La posición de las localidades se puede observar en el croquis (figura

1). No se pretende un muestreo total de los yacimientos de obsidiana en la FVM, por dos razones: la inaccesibilidad de localidades remotas y la gran cantidad de yacimientos aún no registrados en la literatura. Por indicaciones de algunos colegas se llegó a unos puntos de muestreo que no se mencionan en la bibliografía existente. En total se recolectaron 41 muestras que se pueden atribuir a 21 regiones de obsidiana. Ya que los elementos principales están distribuidos homogéneamente en todos los yacimientos (Mosheim, 1979), éstos fueron muestreados de 2 a 4 veces solamente.

La Química Analítica se determinó con Fluorescencia de Rayos X (FRX): la química de los elementos principales y trazas con FRX de dispersión de longitud de onda se determinó en el Instituto de Mineralogía de la Universidad de Karlsruhe, R. F. A., y algunos elementos trazas con FRX de dispersión de energía en la Facultad de Ciencias de la Tierra de la U. A. N. L., Linares, Nuevo León, México. Las condiciones del análisis se presentan en Mosheim y Althaus (1988) (en preparación). Se enlista una selección de datos en la Tabla 1.



- |                       |                         |
|-----------------------|-------------------------|
| 1 Mesa de las Salvias | 9 Querétaro             |
| 2 Magdalena           | 10 Cerro de las Navajas |
| 3 Teuchitlán          | 11 Buenavista           |
| 4 Tequila             | 12 Jacal                |
| 5 La Primavera        | 13 Guadalupe Victoria   |
| 6 Zináparo            | 14 Altotonga            |
| 7 San José            | 15 Zaragoza             |
| 8 Ucaréo              | 16 Zacualtipán          |

Fig. 1. Localización de los puntos de muestreo de algunas obsidianas en la Faja Volcánica Mexicana.

Tabla 1  
Elementos principales y trazas de algunas obsidias de la FVM.

	San Miguel El Colorado	San José	Zinápato	Mesa d. l. Salvias	Tequila	La Primavera	Teuchitlán	Cerro d. l. Navajas	Buнавista	Jacal	Gpe. Victoria	Altotonga	Zaragoza	Zacualtipán
SiO <sub>2</sub> +	75.4	76.2	74.2	75.2	74.1	74.6	75.8	74.1	74.3	75.9	76.2	76.0	74.4	74.9
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +	10.4	12.5	13.4	12.3	12.8	11.8	11.5	10.9	13.2	12.7	12.6	11.9	12.1	12.2
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +	2.79	0.94	1.46	1.20	1.47	2.12	1.91	2.29	1.23	1.43	0.61	1.17	1.32	1.45
CaO +	0.17	0.48	1.07	0.77	0.43	0.35	0.22	0.14	1.07	0.36	0.50	0.47	0.53	0.64
Na <sub>2</sub> O +	4.6	4.1	4.0	3.7	4.3	4.3	4.7	4.8	3.9	3.8	4.2	3.7	3.8	3.2
K <sub>2</sub> O +	4.3	4.4	4.3	4.4	4.9	4.7	4.3	4.4	4.0	4.2	3.9	4.7	4.8	5.2
TiO <sub>2</sub> +	0.13	0.04	0.21	0.17	0.12	0.14	0.09	0.20	0.15	0.19	0.10	0.09	0.13	0.20
Ba +	<100	<100	655	650	<100	<100	<100	<100	795	765	950	150	505	295
Zn *	199	53	77	63	95	76	135	174	67	50	66	60	67	86
Sr *	104	10	126	119	31	46	52	82	119	31	61	18	39	52
Rb +	220	250	120	120	140	135	165	195	115	100	85	145	130	280
Y +	180	50	30	30	50	60	80	115	25	20	20	40	50	50
Zr +	1150	110	185	180	255	265	590	925	140	70	80	160	190	215
Nb +	55	30	20	20	40	60	50	80	10	10	10	25	15	20

+ Análisis con FRX de dispersión de longitud de onda.

\* Análisis con FRX de dispersión de energía.

Los datos muestran que las obsidias de la FVM no presentan diferencias muy grandes en la composición química de los elementos principales. A pesar de las pequeñas variaciones en los contenidos, se pueden separar los yacimientos en provincias por medio de diagramas de correlación. Muestras de unidades geológicas más grandes (por ejemplo, el complejo Tequila, Jalisco o Altotonga-Zaragoza, Veracruz-Puebla) forman grupos con áreas más amplias, que asimismo pueden ser delimitadas.

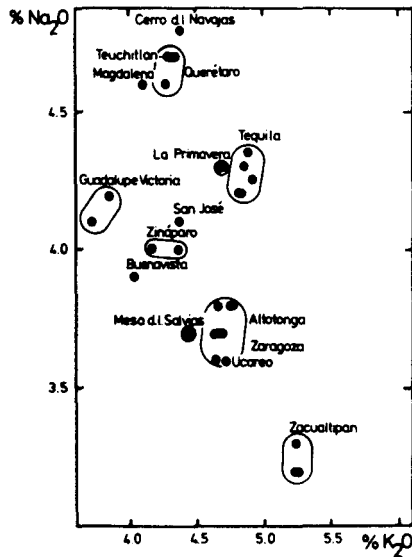


Fig. 2. Diagrama de correlación de  $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$  de las obsidias mexicanas.

Los diagramas de correlación de los elementos principales (figuras 2 a 4) muestran que los yacimientos, a pesar de su composición química granítica uniforme, presentan diferencias. Esto es válido sobre todo en los elementos alcalinos y Ca y Fe. En

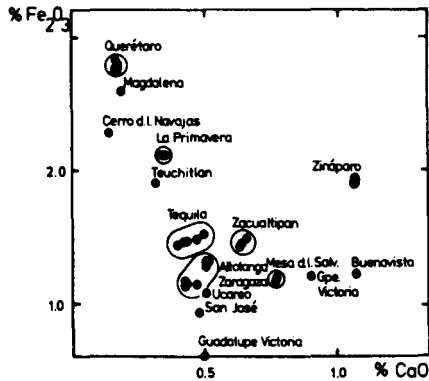


Fig. 3. Diagrama de correlación de  $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{CaO}$  de las obsidias mexicanas.

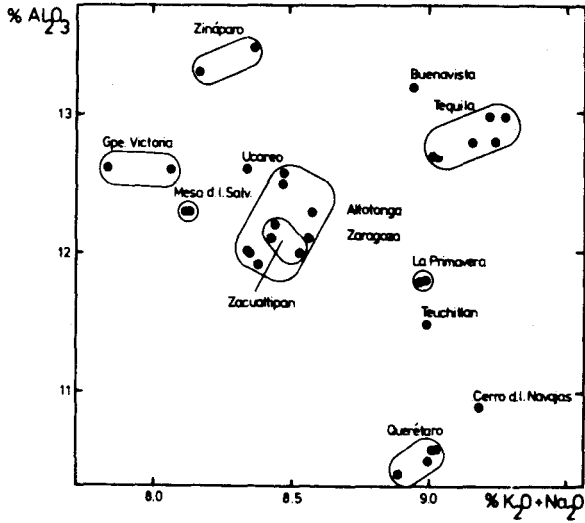


Fig. 4. Diagrama de correlación de  $Al_2O_3/K_2O + Na_2O$  de las obsidias mexicanas.

los diagramas de correlación  $Na_2O/K_2O$ ,  $Fe_2O_3/CaO$  y  $Al_2O_3/Alcalis$ , se forman grupos de grandes unidades geológicas que se diferencian claramente en yacimientos no relacionados.

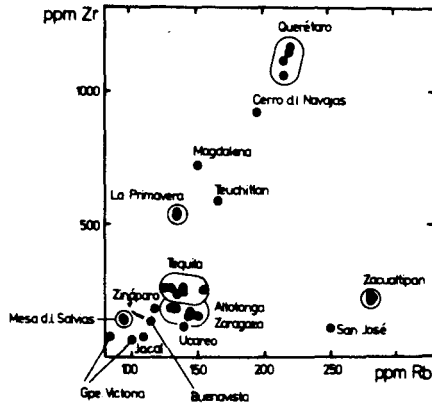


Fig. 5. Diagrama de correlación de  $Zr/Rb$  de las obsidias mexicanas.



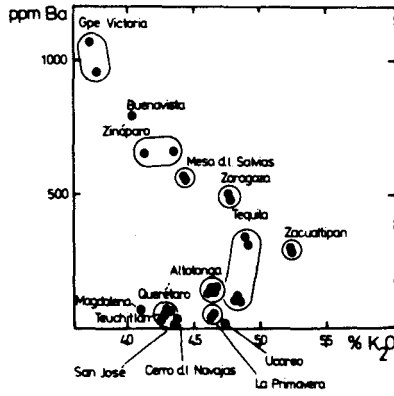


Fig. 6. Diagrama de correlación de Ba/K<sub>2</sub>O de las obsidias mexicanas.

Sin embargo, no se pueden evitar traslapes en algunos puntos o campos, de tal manera que una caracterización química de ese yacimiento parece dudosa. Ya que estos empalmes sólo se limitan a un diagrama de correlación, se eliminan dudas en la identificación de una muestra con la comparación, por lo menos, con uno o más diagramas.

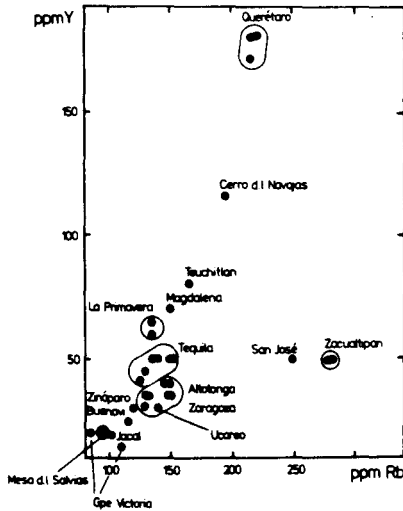


Fig. 7. Diagrama de correlación de Y/Rb de las obsidias mexicanas.

Los elementos traza Cr y Ni muestran diferencias poco significativas en las obsidianas de la FVM. Mucho más clara es la variación en los elementos Zn, Y y Nb y la diferenciación de los yacimientos que se deduce con base en el Ba, Rb y Zr (figuras 5 a 8). También aquí resultan traslapes en puntos aislados o en provincias, los que, sin embargo, se resuelven mediante la comparación con uno o varios diagramas de correlación.

### MEDICIONES OPTICAS

No pudo lograrse una determinación química del material arqueológico, pues una gran parte de las muestras está constituida por fragmentos y restos de navajas, por lo que no se cuenta con la cantidad suficiente de muestra para realizar los análisis. En este caso el trabajo deberá apoyarse en un método con el que se obtengan datos confiables a partir de pequeñas cantidades de material de prueba. A través de una preparación apropiada de las muestras es posible medir, con el método de Fotometría Microscópica, la absorción de luz de una muestra en la zona UV, Visible e IR cercano. El diferente comportamiento en la absorción nos ayuda a establecer características de las muestras entre sí.

#### *Fundamentos teóricos*

La Fotometría Microscópica es un método que, para una descripción objetiva de las muestras, registra cualitativa y cuantitativamente impresiones subjetivas como color o estructura, esto es, se investigan, con procedimientos fotoeléctricos de medición, las propiedades ópticas del material, como transmisión, absorción y extinción, y son utilizadas para la identificación de ciertas sustancias. Del grado de transmisión en la muestra examinada se puede deducir la concentración de una o más sustancias presentes y en donde la longitud de onda de la luz empleada sirve para la identificación de un cierto cromóforo.

Para una información detallada de registros cuantitativos de sustancias responsables del color, así como de la descripción matemática de todos los errores metodológicos, remitirse a Piller (1977).

#### *El microscopio fotométrico*

En la Fotometría Microscópica se utiliza, como equipo básico, un fotomicroscopio

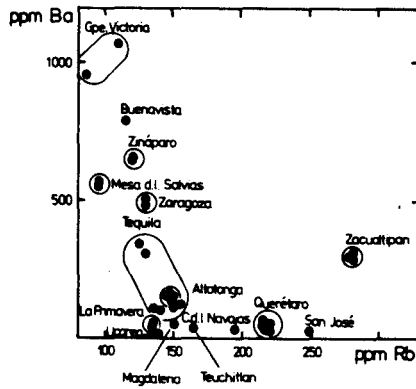


Fig. 8. Diagrama de correlación de Ba/Rb de las obsidias mexicanas.

(Phomi III, de Zeiss), equipado con fotómetro. Toda la óptica contenida en el sistema es adecuada para la medición de los rangos UV, Visible e IR cercano (aproximadamente 240-1 000 nm), esto es, las propiedades de transmisión y la condición de corrección de la óptica del microscopio establecen el rango espectral de trabajo. Un *scan* de longitud de onda programado ( $\lambda$ -*scan*) se mide con una computadora.

Para la medición, se amplifica el haz de luz generado por el fotomultiplicador y se transforma en una señal registrable que luego se normaliza con la de un estándar previamente elegido (estándar de comparación). Las condiciones para la señal del estándar y las de las muestras deben ser idénticas. Las señales son indicadas y dadas en unidades de transmisión (T) y extinción (E).

La medición de 34 muestras geológicas y 108 arqueológicas se llevó a cabo con un microscopio fotométrico de Zeiss en el Instituto de Mineralogía de la Universidad de Karlsruhe, R. F. A. y en el Departamento de Farmacología de la U. A. N. L. en Monterrey, Nuevo León, México.

### *Preparación de las muestras*

De las 34 muestras geológicas de obsidiana de la FVM, así como de 108 fragmentos arqueológicos de navajas del Altiplano Central de México, se prepararon laminillas gruesas de aproximadamente 150  $\mu$  de espesor. Se eligieron zonas preferentemente homogéneas, esto es, las que no muestran inclusiones visibles ni esferulitas.

Las muestras se pulieron con polvo de SiC en planos paralelos a un espesor apropiado y finalmente abrillantados con polvo de  $Al_2O_3$  (grano de  $0.3 \mu$ ). Como la preparación se realizó a mano, no se pudieron evitar diferencias en el espesor. Para la corrección del cálculo de los datos ópticos fue importante determinar exactamente las

Tabla 2a

Datos ópticos de las muestras geológicas (con el factor de la normalización de la transmisión y la posición del máximo de la extinción)

No.	$\alpha_1$	$\tan \alpha_1$	$\alpha_2$	$\tan \alpha_2$	$\frac{\tan \alpha_1}{\tan \alpha_2}$	máximo d.l. Ext. a nm	$\frac{\tan \alpha_1}{\bar{x} \tan \alpha_2}$
1 Querétaro	74.5	3.61	21.5	0.39	9.26	285	8.9
	72.5	3.17	20.5	0.37	8.57		
3 "	67.0	2.36	18.5	0.33	7.15	285	7.5
	69.5	2.67	20.0	0.36	7.42		
	71.0	2.90	20.0	0.36	8.06		
4 "	66.0	2.25	14.0	0.25	9.00	290	9.3
	66.5	2.19	13.0	0.23	9.52		
6 "	72.0	3.08	16.0	0.29	10.62	285	9.7
	72.0	3.08	19.5	0.35	8.80		
7 "	72.0	3.08	16.0	0.29	10.62	285	10.7
	74.0	3.49	18.0	0.32	10.91		
8 "	72.0	3.08	19.0	0.34	9.06	285	8.8
	70.5	2.82	17.0	0.31	9.10		
	70.0	2.75	18.5	0.33	8.33		
9 Ucareo	73.0	3.27	15.0	0.27	12.11	255	11.1
	68.5	2.54	14.0	0.25	10.16	260	
10 San José	72.5	3.17	14.5	0.26	12.19	265	13.5
	76.0	4.01	15.0	0.27	14.85		
11 Zináparo	68.0	2.48	19.0	0.34	7.29	280	6.6
	67.0	2.36	21.5	0.39	6.05	285	
12a Mesa d.l. Salvias	73.0	3.27	15.0	0.27	12.11	270	11.5
	73.5	3.38	17.0	0.31	10.90		
12b "	73.0	3.27	15.0	0.27	12.11	280	11.2
	66.5	2.30	12.0	0.21	10.95		
	72.0	3.08	16.0	0.29	10.62	275	
13 Magdalena	70.0	2.75	21.0	0.38	7.24	285	7.3
	68.5	2.54	19.5	0.35	7.26		
14 Tequila	74.5	3.61	17.0	0.31	11.65	285	11.5
	74.5	3.61	18.0	0.32	11.28		
15 "	65.0	2.14	27.5	0.52	4.12	280	3.9
	63.0	1.96	29.0	0.55	3.56		
17 "	67.0	2.36	14.0	0.25	9.44	280	9.5
	72.0	3.08	18.0	0.32	9.63	275	
18 "	30.0	0.58	8.0	0.14	4.14	275	4.0
	60.0	1.73	24.0	0.46	3.76		
19 "	77.0	4.33	14.0	0.25	17.32	270	16.1
	77.0	4.33	16.0	0.29	14.93		
20a La Primav.	69.5	2.67	22.0	0.40	6.68	280	6.7
	62.0	1.88	15.5	0.28	6.71		
	61.5	1.84	15.0	0.27	6.81		

Tabla 2a (continúa)

20b	La Primav.	71.0	2.90	18.0	0.32	9.06	275	9.1
		72.0	3.08	19.0	0.34	9.06		
21	Teuchitl.	72.0	3.08	20.0	0.36	8.56	285	8.7
		71.0	2.90	18.5	0.33	8.79		
22a	Cerro d.l.	70.0	2.75	25.0	0.47	5.85	285	5.9
	Navajas	70.0	2.75	25.0	0.47	5.85		
22b	"	71.5	2.99	29.0	0.55	5.44	290	5.1
		66.0	2.25	25.0	0.47	4.79		
23	Buonav.	68.0	2.48	16.0	0.29	8.55	260	9.5
		70.5	2.82	15.0	0.27	10.37		
29	Jacal	71.0	2.90	15.5	0.28	10.36	250	11.4
		75.0	3.73	16.5	0.30	12.43		
30	Gpe.Vict.	67.5	2.44	22.0	0.40	6.03	250	5.6
		62.0	1.88	20.0	0.36	5.22		
31	"	65.5	2.19	12.5	0.22	9.95	255	10.5
		69.0	2.61	13.5	0.24	10.88		
32b	Altotonga	75.5	3.87	14.0	0.25	15.48	275	14.7
		76.0	4.01	16.0	0.29	13.83		
33a	"	74.5	3.61	13.0	0.23	15.70	280	15.6
		75.0	3.73	13.5	0.24	15.54		
33b	Altotonga	74.0	3.49	15.0	0.27	12.93	280	13.7
		76.5	4.17	16.0	0.29	14.38		
33c	"	73.0	3.27	13.5	0.24	13.63	270	13.5
		72.0	3.08	13.0	0.23	13.39		
33d	"	75.5	3.87	14.5	0.26	14.88	275	14.2
		76.0	4.01	16.5	0.30	13.37		
34b	Zaragoza	77.5	4.51	10.0	0.18	25.06	265	25.06
37	Zacualtip.	72.0	3.08	15.0	0.27	11.41	270	12.0
		73.5	3.38	15.0	0.27	12.52		
37a	"	56.0	1.48	30.0	0.58	2.55	260	2.7
		53.0	1.33	26.0	0.49	2.71		

diferencias de espesor con un micrómetro de precisión. Las muestras así preparadas fueron medidas en rangos de longitud de onda de 240 - 740 nm. En la tabla 2 se enlistan los datos que se obtuvieron de la evaluación de las curvas de absorción.

### EVALUACION DE LOS DATOS OPTICOS

La interpretación de los datos ópticos presenta dificultades, ya que los valores de transmisión y extinción obtenidos por computadora no muestran ninguna diferencia sistemática entre las diversas obsidias. Así, por ejemplo, no se puede recurrir a las aristas de absorción como diferencia característica, ya que los valores varían entre 270 - 300 nm. Muestras iguales no presentan aristas de absorción idénticas, lo que puede explicarse por los diferentes espesores de las láminas.

La ausencia de bandas características de absorción hace también imposible la identificación de las muestras. Únicamente la posición del máximo de extinción da dife-

rencias características de cada una de las muestras. Con éstos hasta ahora únicos criterios de diferenciación, no se puede llegar a ninguna identificación confiable de las muestras.

La comparación de las gráficas de las curvas de absorción entre 240 - 740 nm, lleva asimismo a resultados incompletos, ya que todas las obsidiana presentan un trazo de curvas similar. Independientemente del lugar de procedencia de una obsidiana, todas las curvas muestran un punto de inflexión alrededor de 370 nm. Esto también se observó en obsidiana de Italia y Grecia (Mosheim, 1984). Ya que este comportamiento de absorción es sencillamente propio de la obsidiana, se elimina como criterio de diferenciación.

Sin embargo, tres ejemplos típicos de muestras geológicas de obsidiana de diferentes yacimientos de la FVM (figuras 9 a 11b), presentan diferencias ligeras en su com-

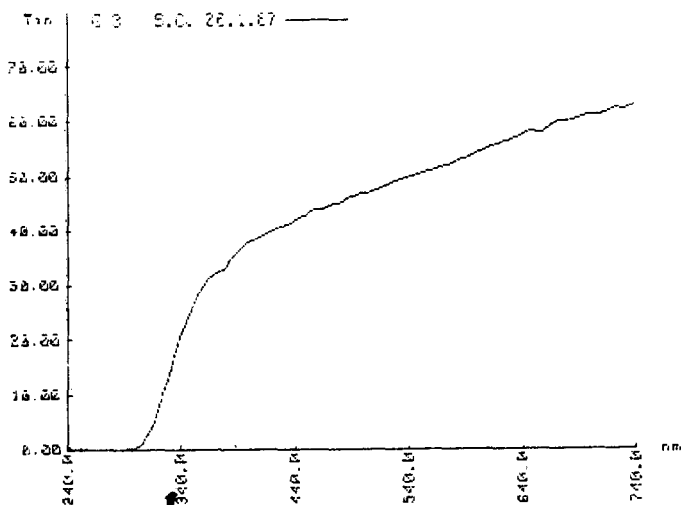


Fig. 9. Curva de absorción de una muestra de obsidiana negra, transparente y sin inclusiones (Querétaro, Querétaro).

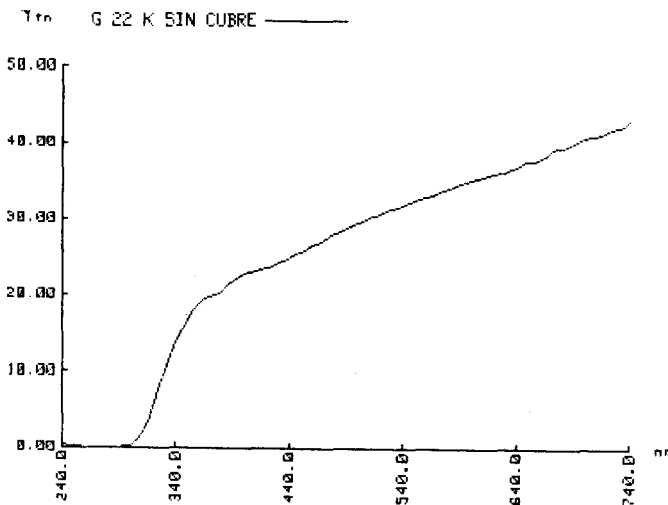


Fig. 10. Curva de absorción de una muestra de obsidiana verde, transparente y sin inclusiones (Cerro de las Navajas, Hidalgo).

portamiento de absorción. Todas las obsidianas utilizan evidentemente un lenguaje óptico cuya información debe ser descifrada. Así se observa que ambas partes de la curva, antes y después del punto de inflexión, presentan diferencias muy pequeñas en la inclinación. El trazo más o menos rectilíneo de ambas secciones permite la obtención de las líneas de inclinación, así como la tangente de los ángulos  $\alpha_1$  y  $\alpha_2$  de ambas secciones de la curva, como se muestra esquemáticamente en la figura 12. Ambas secciones de la curva se relacionan una con otra, así que del cociente del valor de ambas tangentes se obtiene un factor que puede considerarse como de normalización característica de transmisión de cada yacimiento (cf. Tabla 2a, b).

La presentación del factor de transmisión contra la posición del máximo de extinción, que también tiene valores característicos para cada yacimiento, permite determinar en la gráfica campos o provincias de diferentes tamaños, que en gran parte se pueden delimitar entre sí (figura 13). De esta forma es posible una diferenciación de las muestras geológicas de obsidiana en México.

Sin embargo, las obsidianas geológicas muestran las similitudes de la composición

química también en el comportamiento óptico, lo que, a su vez, lleva a algunos traslapes de diferentes provincias. En la gran área de Querétaro sobresalen en la gráfica otros dos yacimientos: Teuchitlán y Magdalena, Jalisco. El yacimiento de Jocotepec se localiza entre las zonas de la Mesa de las Salvias, Nayarit, y Altotonga-Zaragoza, Veracruz-Puebla. El yacimiento de Zacualtipan, Hidalgo, sobresale en la zona de la Mesa de las Salvias. El yacimiento de Jocotepec no se toma en cuenta como proveedor de materia prima debido a la mala calidad de la obsidiana, de tal manera que disminuye la incertidumbre en la clasificación del material arqueológico.

El tamaño de los campos en la gráfica tiene diferentes causas. Los valores dispersos de muestras idénticas pueden explicarse por la sensibilidad del método. Mediciones erróneas, debido a la dispersión de la luz en la superficie de la muestra, se pueden eliminar con un pulimiento óptimo. Errores por diferencia de espesor se corrigen numéricamente. Pero no se puede evitar la dispersión de valores por la refracción de la luz, debido a microinclusiones. Por eso se debe reducir a un mínimo el área de la

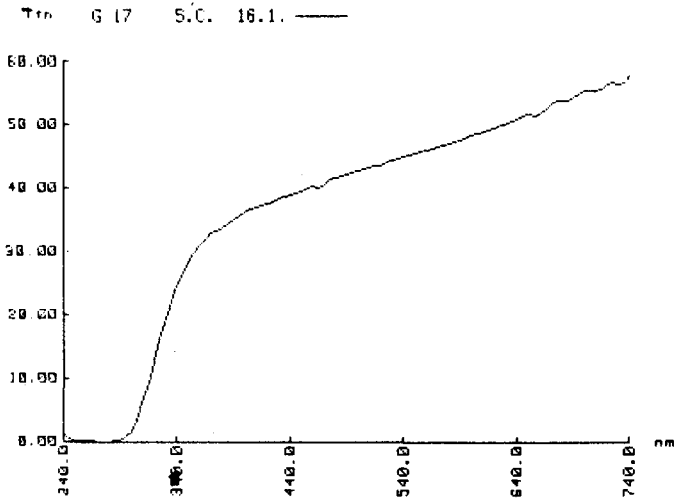


Fig. 11a. Curva de absorción de una muestra de obsidiana inhomogénea (Tequila, Jalisco). Medición en un lugar sin inclusiones.



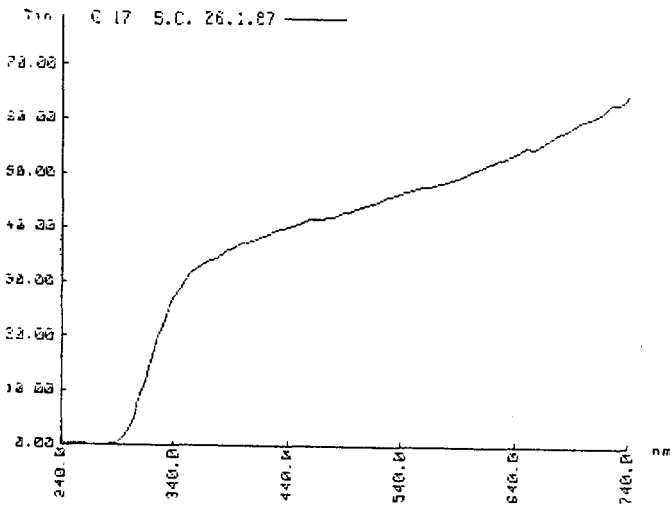


Fig. 11b. Curva de absorción de una muestra de obsidiana inhomogénea (Tequila, Jalisco). Medición en un lugar con varias y diferentes microlitas y cristalitas.

muestra a medir, o sea, realizar el análisis en el área de la muestra más homogénea y libre de inclusiones posible.

Los campos relativamente grandes en la gráfica de los yacimientos en Cerro de las Navajas, Hidalgo; Mesa de las Salvias, Nayarit; Altotonga-Zaragoza, Veracruz-Puebla y las cuatro diferentes zonas del volcán de Tequila, Jalisco, no se deben a mediciones erróneas, sino a diferente material de muestra en diversos flujos de obsidiana y, en parte, a las grandes distancias entre las localidades que pertenecen a una misma zona de abastecimiento. Son los mismos valores dispersos que también se reflejan en la química de esas muestras, aunque en menor magnitud (compárense las figuras 2 a 8). Por ejemplo, las muestras de Tequila, Jalisco, presentan pequeñas diferencias en la química, pero notables en la óptica, que se deben a las características estructurales de los vidrios. La sensibilidad del Fotómetro Microscópico y de las mediciones lleva, por naturaleza, a mayores variaciones que las investigaciones químicas.

De todas y cada una de las muestras geológicas y arqueológicas se llevaron a cabo de 2 a 4 mediciones en diferentes lugares según su homogeneidad. Cada uno de los

Tabla 2b

## Datos ópticos de las muestras arqueológicas

1	Tula	71.0	2.90	31.5	0.61	4.75	290	5.0
		71.0	2.90	29.0	0.55	5.27		
		72.0	3.08	32.0	0.62	4.97		
2	Monte Albán	75.0	3.73	14.0	0.25	14.92	260	14.6
		75.0	3.73	14.5	0.26	14.35		
		73.0	3.27	17.0	0.31	10.55		
3	" "	73.0	3.27	18.0	0.32	10.22	265	10.4
		75.0	3.73	13.0	0.23	16.22		
		75.0	3.73	14.0	0.25	14.92		
4	" "	77.0	4.33	15.0	0.27	16.04	275	15.7
		75.0	3.73	25.0	0.47	7.94		
		74.0	3.49	24.5	0.46	7.59		
5	" "	76.0	4.01	14.5	0.26	15.42	265	16.1
		76.0	4.01	13.5	0.24	16.71		
		76.0	4.01	11.5	0.20	20.05		
6	Ihuatzio	75.0	3.73	11.0	0.19	19.63	250	19.9
		77.0	4.33	15.0	0.27	16.04		
		75.5	3.87	14.0	0.25	15.48		
8	Mitla	75.0	3.73	14.5	0.26	14.35	265	15.8
		74.0	3.49	17.0	0.31	11.26		
		74.0	3.49	17.0	0.31	11.26		
9	Teotihuacan	39.0	0.81	14.0	0.25	3.24	270	12.8
		36.0	0.73	12.0	0.21	3.48		
		36.0	0.73	12.0	0.21	3.48		
10	" "	75.0	3.73	15.0	0.27	13.81	265	3.4
		74.0	3.49	15.0	0.27	12.93		
		77.0	4.33	15.5	0.28	15.46		
11	" "	74.5	4.31	14.5	0.26	16.58	270	16.5
		74.5	3.61	27.5	0.52	6.94		
		76.0	4.01	28.5	0.54	7.43		
12	" "	78.0	4.70	10.0	0.18	26.11	285	7.2
		77.5	4.51	10.0	0.18	25.06		
		76.0	4.01	17.0	0.31	12.94		
13	Tzintzuntzan	73.5	3.38	16.0	0.29	11.66	270	12.3
		73.0	3.27	32.0	0.62	5.27		
		69.5	2.68	26.0	0.49	5.47		
14	Yagul	73.0	3.27	16.0	0.29	11.28	270	5.4
		75.5	3.87	19.0	0.34	11.38		
		75.5	3.87	19.0	0.34	11.38		
15	" "	74.0	3.49	16.0	0.29	12.08	275	11.4
		73.0	3.27	14.5	0.26	12.58		
		72.0	3.08	17.0	0.31	9.94		
16	" "	74.0	3.49	18.0	0.32	10.91	270	12.3
		72.0	3.08	17.0	0.31	9.94		
		74.0	3.49	18.0	0.32	10.91		
17	" "	71.0	2.90	26.5	0.50	5.80	285	6.1
		72.0	3.08	26.0	0.49	6.29		
		72.0	3.08	26.0	0.49	6.29		
18	Cd. de Méx.	75.0	3.73	16.0	0.29	12.86	275	12.7
		75.0	3.73	16.5	0.30	12.43		
		73.0	3.27	12.5	0.22	14.86		
19	" "	76.0	4.01	14.5	0.26	15.42	245	15.1
		72.5	3.17	15.0	0.27	11.74		
		73.0	3.27	16.0	0.29	11.28		
20	" "	73.0	3.27	15.5	0.28	11.68	280	11.5
		72.0	3.08	14.0	0.25	12.32		
		72.0	3.08	14.0	0.25	12.32		
21	" "	72.0	3.08	29.5	0.57	5.40	250	12.0
		70.0	2.75	27.5	0.52	5.29		
		70.0	2.75	27.5	0.52	5.29		
22	Tepeapulco	72.0	3.08	17.5	0.32	9.63	290	5.4
		73.0	3.27	17.5	0.32	10.22		
		73.0	3.27	17.5	0.32	10.22		
23	" "	75.0	3.73	14.0	0.25	14.92	285	9.9
		76.0	4.01	14.0	0.25	16.09		
		76.0	4.01	14.0	0.25	16.09		
24	" "	75.0	3.73	14.0	0.25	14.92	270	15.5
		76.0	4.01	14.0	0.25	16.09		
		76.0	4.01	14.0	0.25	16.09		

Tabla 2b (continúa)

28	Xochicalco	75.0	3.73	27.0	0.51	7.31	285	7.6
		76.0	4.01	27.5	0.52	7.71		
29	"	77.0	4.33	16.0	0.29	14.93	265	14.4
		76.0	4.01	16.0	0.29	13.83		
30	El Tajín	76.5	4.17	9.5	0.17	24.53	270	24.5
		79.0	5.14	12.0	0.21	24.48		
31	Cempoala	70.0	2.75	32.0	0.62	4.44	290	4.5
		69.0	2.61	29.5	0.57	4.58		
32	"	75.0	3.73	10.0	0.18	20.72	250	20.9
		76.0	4.01	11.0	0.19	21.11		
33	"	72.0	3.08	14.5	0.26	11.85	270	11.5
		72.0	3.08	15.5	0.28	11.00		
34	"	62.0	1.88	23.0	0.42	4.48	275	4.7
		60.0	1.73	20.0	0.36	4.81		
35	Malinalco	75.0	3.73	18.0	0.32	11.66	290	11.5
		76.0	4.01	16.5	0.30	13.37		
36	"	75.0	3.73	11.5	0.20	18.65	270	17.8
		73.0	3.27	11.0	0.19	17.21		
37	"	76.0	4.01	16.0	0.29	13.82	270	13.6
		74.0	3.49	15.0	0.27	12.93		
38	Ixtapalapa	74.0	3.49	27.5	0.52	6.71	285	6.6
		74.0	3.49	29.0	0.55	6.35		
39	"	75.5	3.87	16.5	0.30	12.90	270	12.0
		75.0	3.73	16.0	0.29	12.86		
40	"	73.0	3.27	15.5	0.28	11.68	280	12.4
		73.5	3.38	14.0	0.25	13.52		
41	"	74.0	3.49	16.0	0.29	12.03	275	14.0
		73.5	3.38	13.5	0.24	14.08		
42	"	74.0	3.49	14.0	0.25	13.96	265	12.3
		74.5	3.61	16.0	0.29	12.45		
43	Delicias	75.0	3.73	17.0	0.31	12.03	270	4.5
		67.0	2.36	28.0	0.53	4.45		
44	"	68.0	2.48	31.5	0.61	4.07	290	9.7
		68.0	2.48	33.0	0.65	3.82		
45	"	75.0	3.73	34.0	0.67	5.57	275	14.1
		72.0	3.08	18.0	0.33	9.33		
46	Mitla	71.0	2.90	16.0	0.29	10.00	280	4.3
		74.0	3.49	14.5	0.26	13.42		
47	"	75.0	3.73	14.0	0.25	14.92	275	15.0
		68.0	2.43	30.0	0.58	4.19		
48	Tula	71.0	2.90	34.0	0.67	4.33	290	1.8
		72.0	3.08	12.0	0.21	14.67		
49	"	74.0	3.49	13.0	0.23	15.17	275	10.8
		50.5	1.21	34.0	0.67	1.81		
50	"	45.0	1.00	30.0	0.56	1.79	285	12.7
		75.0	3.73	17.0	0.31	12.03		
51	Yagul	72.5	3.17	18.5	0.33	9.61	265	16.1
		73.0	3.27	15.0	0.27	12.11		
52	"	75.0	3.73	15.5	0.28	13.32	280	12.3
		76.0	4.01	14.0	0.25	16.04		
53	"	75.0	3.73	13.0	0.23	16.22	275	10.9
		74.0	3.49	16.0	0.29	12.03		
54	"	74.0	3.49	15.5	0.28	12.46	275	10.9
		73.0	3.27	16.0	0.29	11.28		
55	"	73.0	3.27	17.0	0.31	10.55	280	
		73.0	3.27	17.0	0.31	10.55		

Tabla 2b (continúa)

54 Monte Albán	73.0	3.27	16.0	0.29	11.28	250	11.2
	74.5	3.61	17.0	0.31	11.65		
	72.5	3.17	16.5	0.30	10.57		
55 Otumba	69.0	2.61	31.5	0.61	4.28	290	4.3
	70.0	2.75	32.0	0.62	4.44		
	69.5	2.67	33.0	0.65	4.11		
56 "	71.0	2.90	33.5	0.66	4.39	285	8.8
	76.0	4.01	23.0	0.42	9.55		
	71.5	2.99	20.5	0.37	8.08		
57 "	-	-	-	-	-	-	-
58 Tenango	69.5	2.67	34.0	0.67	3.99	290	4.0
	68.0	2.48	32.0	0.62	4.00		
59 Tenango	73.0	3.27	17.0	0.31	10.55	260	10.8
	74.0	3.49	18.0	0.32	10.91		
60 "	75.0	3.73	16.5	0.30	12.43	265	12.7
	76.5	4.17	17.5	0.32	13.03		
61 "	71.5	2.99	11.5	0.20	14.95	265	14.6
	73.0	3.27	13.0	0.23	14.22		
62 "	71.0	2.90	32.0	0.62	4.68	285	4.8
	71.0	2.90	31.5	0.61	4.75		
63 "	73.0	3.27	15.0	0.27	12.11	275	11.7
	73.0	3.27	16.0	0.29	11.28		
64 "	75.5	3.87	16.5	0.30	12.90	275	12.5
	75.0	3.73	17.0	0.31	12.03		
65 Pachuca	71.0	2.90	30.0	0.58	5.00	290	5.0
	71.5	2.99	31.0	0.60	4.98		
66 Yanhuitlán	73.0	3.27	17.5	0.32	10.22	245	10.1
	72.0	3.08	17.0	0.31	9.94		
67 Tenayuca	75.0	3.73	31.0	0.60	6.22	285	5.9
	74.0	3.49	32.5	0.64	5.45		
68 "	69.5	2.67	18.5	0.33	8.09	265	7.7
	68.0	2.48	19.0	0.34	7.29		
69 "	73.5	3.38	20.0	0.36	9.39	265	9.0
	72.0	3.08	20.0	0.36	8.56		
70 Tamazunchale	68.0	2.48	20.0	0.36	6.90	270	7.4
	65.0	2.14	15.0	0.27	7.92		
71 Coyoacán	62.0	1.88	14.0	0.25	7.52	265	4.4
	71.0	2.90	34.0	0.67	4.33		
72 La Venta	71.0	2.90	33.0	0.65	4.46	290	4.8
	70.0	2.74	31.0	0.60	4.57		
73 " "	72.0	3.08	32.0	0.62	4.97	275	11.7
	74.5	3.61	17.0	0.31	11.65		
74 " "	75.0	3.73	17.5	0.32	11.66	250	9.5
	72.0	3.08	18.0	0.32	9.63		
75 Taxco	71.5	2.99	18.0	0.32	9.34	285	6.4
	75.0	3.73	30.0	0.58	6.43		
76 JiQUIPILCO	73.5	3.38	28.0	0.53	6.38	255	19.6
	75.0	3.73	10.5	0.19	19.63		
77 "	70.0	2.75	8.0	0.14	19.64	285	5.1
	70.5	2.83	30.0	0.58	4.88		
78 Calixtlahuac.	72.0	3.08	30.0	0.58	5.31	285	6.7
	76.0	4.01	31.5	0.61	6.57		
	76.0	4.01	31.0	0.60	6.68	290	

Tabla 2b (continúa)

79 Huatusco	74.0	3.49	36.0	0.73	4.78	270	4.9
	74.5	3.61	35.5	0.71	5.08		
80 "	63.5	2.01	24.5	0.46	4.37	275	4.4
	63.0	1.96	24.0	0.45	4.36		
81 Teotihuacan	-	-	-	-	-	-	-
82 San Martín	75.5	3.87	24.0	0.45	8.60	285	8.7
	75.0	3.73	23.0	0.42	8.88		
83 " "	73.0	3.27	24.0	0.45	7.27	280	7.3
	72.0	3.08	23.0	0.42	7.33		
84 Magdalena	52.0	1.28	24.0	0.45	2.84	270	3.8
	62.0	1.88	22.0	0.40	4.70		
85 Zituni	70.0	2.75	22.5	0.41	6.71	280	7.0
	72.0	3.08	23.0	0.42	7.33		
86 Ixlán d. Río	62.0	1.88	15.0	0.27	6.96	280	6.9
	61.5	1.84	15.0	0.27	6.81		
87 El Gallo	71.5	2.99	16.0	0.29	10.31	285	10.6
	73.0	3.27	16.5	0.30	10.90	290	
88 Cerro d.l.Nav.	74.0	3.49	15.0	0.27	12.93	275	13.2
	76.0	4.01	16.5	0.30	13.37		
89 San Mig.Col.	72.0	3.08	16.5	0.30	10.27	285	10.0
	72.0	3.08	17.5	0.32	9.63		
90 Buenavista	71.5	2.99	30.5	0.59	5.07	290	5.0
	69.0	2.61	29.0	0.55	4.75		
91 "	69.0	2.61	16.0	0.29	9.0	260	9.5
	71.0	2.90	16.0	0.29	10.0		
92 "	76.0	4.01	10.0	0.18	22.78	270	23.5
	77.0	4.33	10.0	0.18	24.06		
93 San Luis Pot.	71.0	2.90	19.5	0.35	8.29	265	8.6
	71.5	2.99	19.0	0.34	8.79	260	
94 "	78.5	4.92	11.5	0.20	24.60	265	22.9
	76.0	4.01	11.0	0.19	21.10		
95 Zaachila	72.0	3.08	17.5	0.32	9.63	270	10.3
	73.0	3.27	16.5	0.30	10.90		
96 "	70.0	2.75	16.0	0.29	9.48	250	9.3
	71.0	2.90	17.5	0.32	9.06		
97 Teotenango	72.0	3.08	18.5	0.33	9.33	250	9.5
	70.5	2.82	16.0	0.29	9.72		
98 "	75.0	3.73	15.5	0.28	13.32	265	12.7
	74.0	3.49	16.0	0.29	12.03		
99 Punta Eugenia	69.0	2.61	17.5	0.32	8.16	270	8.7
	71.0	2.90	18.0	0.32	9.06		
100 Cholula	67.5	2.41	16.0	0.29	8.31	260	8.6
	69.5	2.67	16.5	0.30	8.90		
101 "	75.0	3.73	17.0	0.31	12.03	250	12.6
	73.0	3.27	14.0	0.25	13.08		
102 "	70.0	2.75	32.5	0.64	4.30	290	4.4
	68.0	2.48	29.0	0.55	4.51	285	
103 "	73.0	3.27	15.0	0.27	12.11	265	13.0
	76.0	4.01	16.0	0.29	13.83	270	
104 "	75.5	3.87	15.0	0.27	14.33	275	14.9
	77.0	4.33	15.5	0.28	15.46		

Tabla 2b (continúa)

105	Cacaxtla	71.0	2.90	16.5	-0.30	9.67	250	10.0
		73.5	3.38	18.5	0.33	10.24		
106	"	73.0	3.27	30.5	0.59	5.54	290	6.2
		75.0	3.73	29.0	0.55	6.78		
107	"	73.0	3.27	15.0	0.27	12.11	265	13.0
		75.5	3.87	15.5	0.28	13.82		
108	"	74.5	3.61	15.0	0.27	13.37	280	13.9
		75.5	3.87	15.0	0.27	14.33		

No se pudo obtener datos confiables de las muestras 57 y 81 por su oscuridad.

puntos de las muestras geológicas en la figura 13 representa una medición individual de una muestra para cubrir con todos los valores extremos el comportamiento óptico de las obsidias de un yacimiento. Los puntos que representan las muestras arqueológicas son el promedio de determinaciones dobles o múltiples.

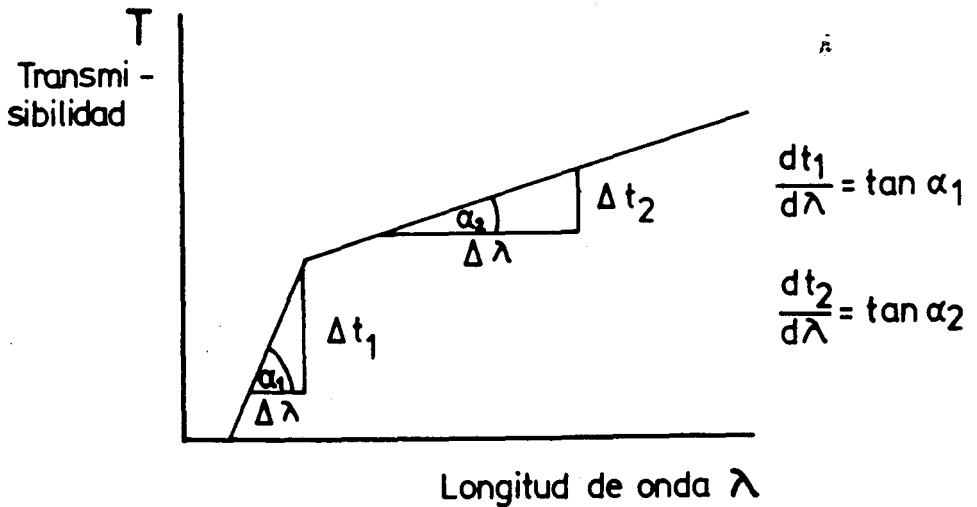


Fig. 12. Dibujo esquemático de una curva de absorción de obsidiana.

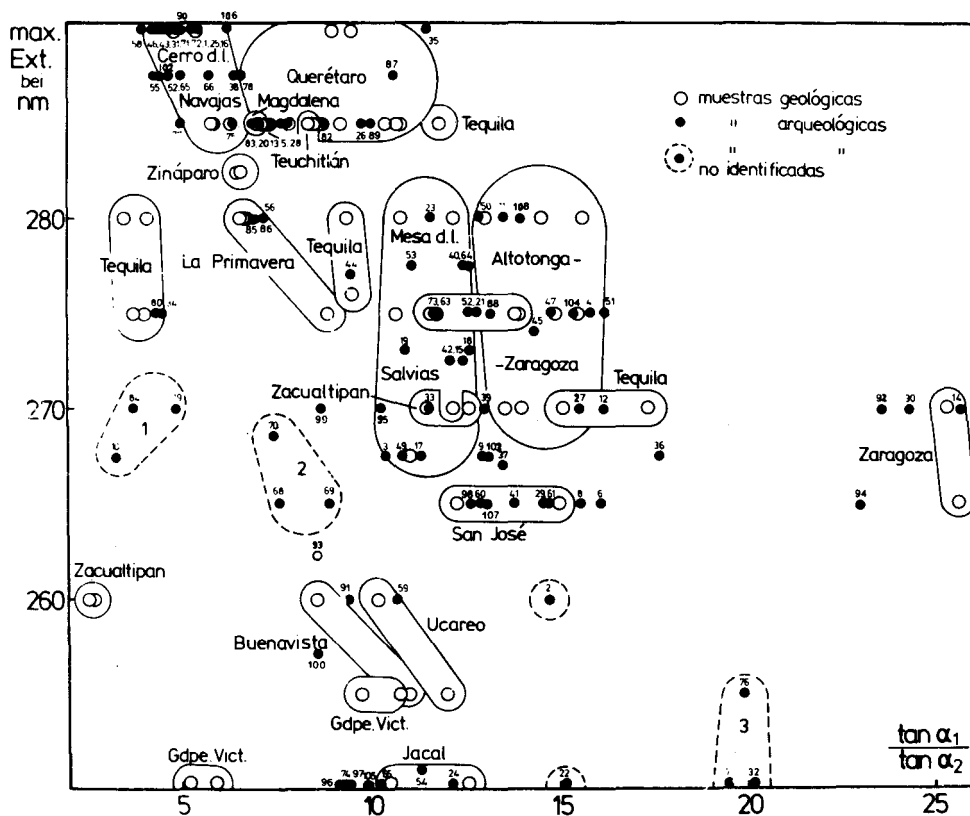


Fig. 13. Diagrama de la evaluación de los datos ópticos de las obsidias geológicas y arqueológicas en México.

La mayor parte de las 108 muestras arqueológicas se pueden atribuir a las provincias geológicas. A detalle se obtienen las siguientes agrupaciones:

Cerro de las Navajas, Hidalgo:

- ( 1 ) Tula, Hidalgo.
- ( 5 ) Monte Albán, Oaxaca.
- ( 13 ) Teotihuacan, México.
- ( 16 ) Yagul, Oaxaca.
- ( 20 ) Tepeapulco, Hidalgo.

- (25 ) Ciudad de México, D. F.
- (28 ) Xochicalco, Morelos.
- (31 ) Cempoala, Veracruz.
- (38 ) Ixtapalapa, D. F.
- (43 ) Delicias, Morelos.
- (46 ) Mitla, Oaxaca.
- (55 ) Otumba, México.
- (58 ) Tenango, México.
- (65 ) Pachuca, Hidalgo.
- (66 ) Yanhuitlán, Oaxaca.
- (71 ) Coyoacán, D. F.
- (72 ) La Venta, Tabasco.
- (75 ) Taxco, Guerrero.
- (77 ) Jiquipilco, México.
- (78 ) Calixtlahuacan, México.
- (90 ) Buenavista, México.
- (102) Cholula, Puebla.
- (106) Cacaxtla, Tlaxcala.

Querétaro, Querétaro:

- (26 ) Tepeapulco, Hidalgo.
- (35 ) Malinalco, Morelos.
- (82 ) San Martín, Querétaro.
- (83 ) San Martín, Querétaro.
- (87 ) El Gallo, Querétaro.
- (89 ) San Miguel El Colorado, Querétaro.
- (95 ) Buenavista, México.

San José, Michoacán:

- ( 6 ) Ihuatzio, Michoacán.
- ( 8 ) Mitla, Oaxaca.
- \* ( 9 ) Teotihuacan, México.
- (29 ) Xochicalco, Morelos
- \* (37 ) Malinalco, Morelos.
- (41 ) Ixtapalapa, D. F.
- (60 ) Tenango, México.
- (61 ) Tenango, México.
- (98 ) Teotenango, Morelos.
- (103) Cholula, Puebla.
- (107) Cacaxtla, Tlaxcala.



- Ucareo, Michoacán: (59 ) Tenango, México.
- Buenavista, México: (91 ) Buenavista, México.  
(93 ) San Luis Potosí, S.Luis Potosí.  
\* (100) Cholula, Puebla.
- Tequila, Jalisco: (12 ) Teotihuacan, México.  
\* (27 ) Tepeapulco, Hidalgo.  
(34 ) Cempoala, Veracruz.  
(36 ) Malinalco, Morelos.  
(44 ) Delicias, Morelos.  
(80 ) Huatusco, Veracruz.
- La Primavera, Jalisco: (56 ) Otumba, México.  
(85 ) Zituni, Querétaro.  
(86 ) Ixtlán del Río, Nayarit.
- Mesa de las Salvias, Nayarit: ( 3 ) Monte Albán, Oaxaca.  
\*(15 ) Tzintzuntzan, Michoacán.  
(17 ) Yagul, Oaxaca.  
\*(18 ) Yagul, Oaxaca.  
(23 ) Ciudad de México, D. F.  
\*(33 ) Cempoala, Veracruz.  
\*(40 ) Ixtapalapa, D. F.  
(42 ) Ixtapalapa, D. F.  
(49 ) Tula, Hidalgo.  
\*(52 ) Yagul, Oaxaca.  
(53 ) Yagul, Oaxaca.  
\*(63 ) Tenango, México.  
(64 ) Tenango, México.  
\*(73 ) La Venta, Tabasco.  
(95 ) Zaachila, Oaxaca.
- Altotonga-Zaragoza,  
Veracruz-Puebla: ( 4 ) Monte Albán, Oaxaca.  
(11 ) Teotihuacan, México.  
(14 ) Tzintzuntzan, Michoacán. .  
(21 ) Ciudad de México, D. F.

- (30 ) El Tajín, Veracruz.
- (39 ) Ixtapalapa, D. F.
- (45 ) Delicias, Morelos.
- (47 ) Mitla, Oaxaca.
- (50 ) Tula, Hidalgo.
- (51 ) Yagul, Oaxaca.
- (88 ) Cerro de las Navajas, Hidalgo.
- (92 ) Buenavista, México.
- (94 ) San Luis Potosí, S. Luis Potosí.
- (104) Cholula, Puebla.
- (108) Cacaxtla, Tlaxcala.

Jacal, Veracruz:

- (24 ) Ciudad de México, D. F.
- (54 ) Monte Albán, Oaxaca.
- (66 ) Yanhuitlán, Oaxaca.
- (74 ) La Venta, Tabasco.
- (96 ) Zaachila, Oaxaca.
- (97 ) Teotenango, Morelos.
- (101) Cholula, Puebla.
- (105) Cacaxtla, Tlaxcala.

Las muestras arqueológicas marcadas con \* se encuentran en la gráfica en la cercanía de otra provincia geológica. Por eso es posible otra atribución (*cf.* figura 13).

No se pudieron identificar tres grupos de muestras arqueológicas y seis muestras individuales, ya que las provincias geológicas faltan en la figura 13.

Grupo 1:

- (10 ) Teotihuacan, México.
- (79 ) Huatusco, Veracruz.
- (89 ) Magdalena, Jalisco.

Grupo 2:

- (68 ) Tenayuca, Hidalgo.
- (69 ) Tenayuca, Hidalgo.
- (70 ) Tamazunchale, Hidalgo.

Grupo 3:

- ( 7 ) Mitla, Oaxaca.
- (32 ) Cempoala, Veracruz.

(76 ) Jiquipilco, México.

Además las muestras:

( 2 ) Monte Albán, Oaxaca.

(22 ) Ciudad de México, D. F.

(48 ) Tula, Hidalgo.

(99 ) Punta Eugenia, B. California Sur.

Para hacer más claras estas agrupaciones, se dibujan los diferentes yacimientos geológicos de obsidiana, que se consideran abastecedores, en un croquis donde se relaciona con las localidades de hallazgos arqueológicos. La pertenencia a una provincia geológica se puede observar en la figura 13. Así se puede reconstruir fácilmente la zona de influencia de cada yacimiento (figuras 14 a 19). De estos croquis se pueden deducir las siguientes conclusiones.

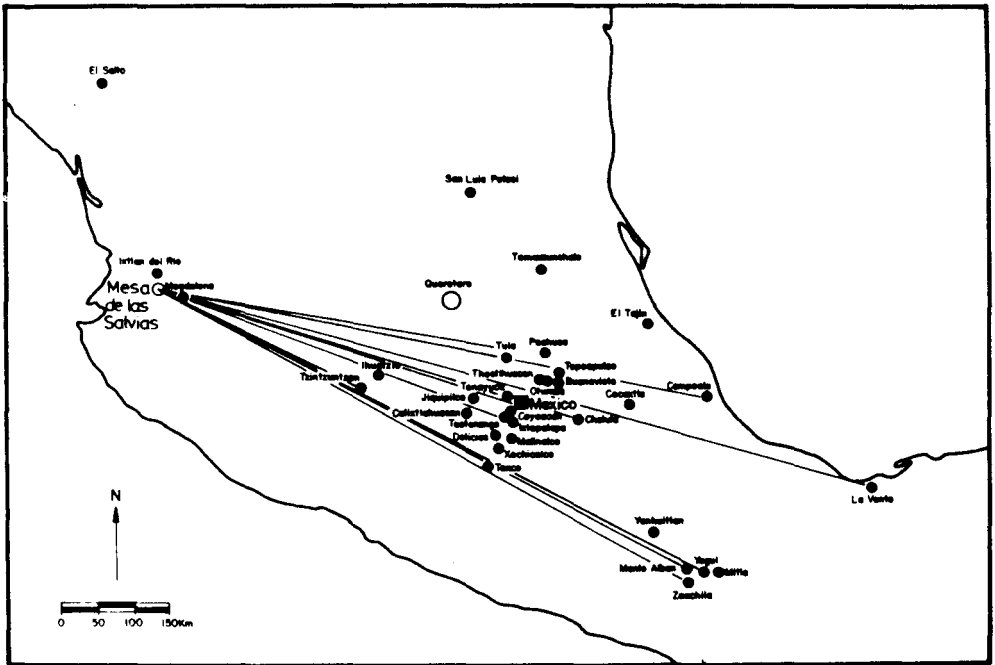


Fig. 14. El yacimiento de obsidiana de la Mesa de las Salvas, Nayarit y su región de influencia.

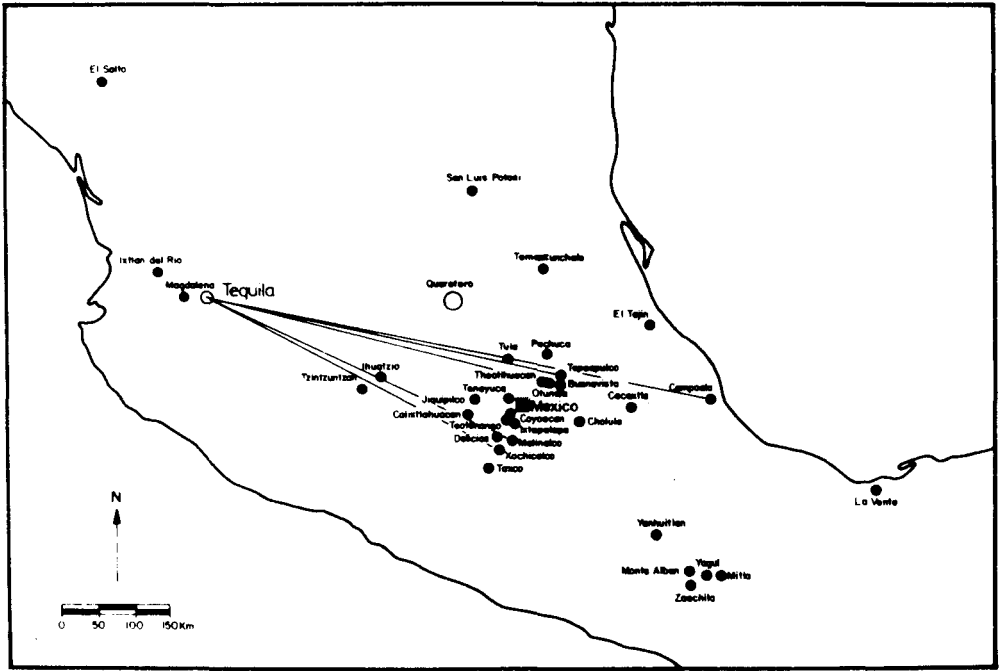


Fig. 15. El yacimiento de obsidiana de Tequila, Jalisco y su región de influencia.

## CONCLUSIONES

(1) De las 41 muestras de 21 zonas de procedencia, solamente una parte de los yacimientos suministraron el material para la fabricación de herramientas:

Región Oeste de la FVM: Mesa de las Salvias, Nayarit (también conocida en la literatura como Ixtlán del Río) y en menor escala Tequila y La Primavera, Jalisco.

Región Central de la FVM: San José, Michoacán (conocida en la literatura como Zinapécuaro); Querétaro, Querétaro; Cerro de las Navajas (también conocido como Pachuca) y Buenavista, México (conocida también como Barranca de los Estetes u Otumba) con amplias zonas de manufactura.

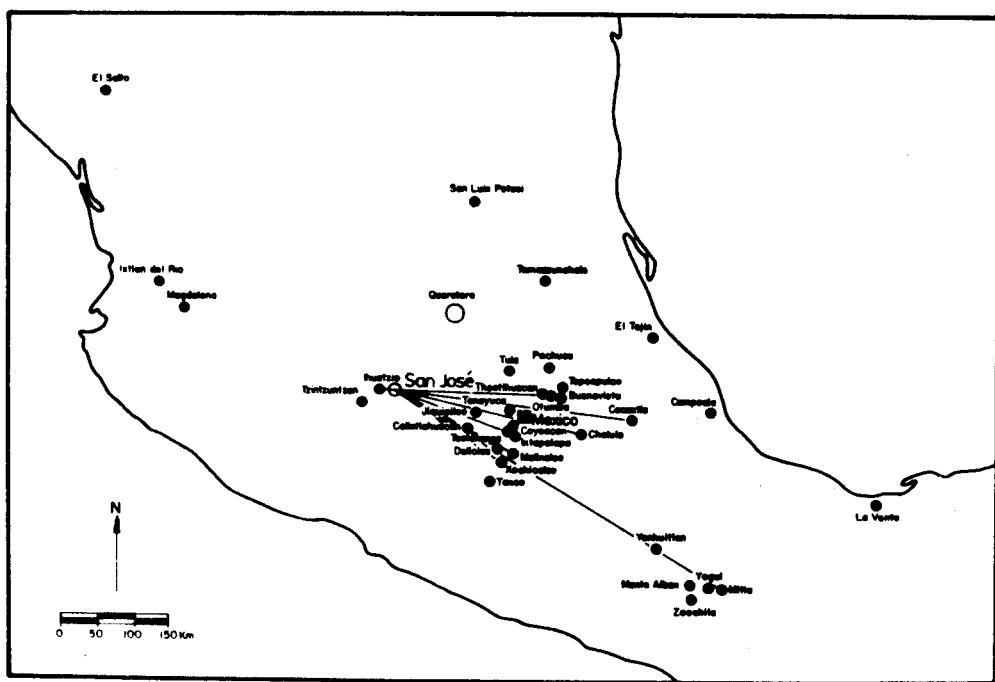


Fig. 16. El yacimiento de obsidiana de San José, Michoacán y su región de influencia.

Región Este de la FVM: Altotonga-Zaragoza, Veracruz-Puebla y Jacal, Veracruz (también conocida como Pico de Orizaba) con amplias zonas de manufactura.

(2) Como las zonas más importantes proveedoras de obsidiana y con mayores relaciones de suministro se tienen:

Al Oeste: Mesa de las Salvias, Nayarit (Ixtlán del Río).

En la Región Central: San José, Michoacán (Zinapécuaro) y sobre todo el Cerro de las Navajas, Hidalgo (Pachuca).

Al Este de la FVM: Altotonga-Zaragoza, Veracruz-Puebla.

(3) Los croquis muestran asimismo que la red de distribución en la cercanía de un yacimiento es muy densa, pero se hace más sutil con la distancia. Así, se puede

deducir que los yacimientos de la región Oeste suministraron obsidiana sobre todo a la porción Central de México, así como a Oaxaca; lamentablemente faltan hallazgos arqueológicos de la región Oeste. Lo mismo es válido para los yacimientos de Michoacán, así como para los de la porción Central, mientras que los yacimientos de la región Este proveyeron de obsidiana a las culturas de la región Este y Noreste y a las del Centro.

- (4) De la figura 13 resulta también que una parte de los hallazgos arqueológicos no se pudo identificar, esto es, faltan las provincias geológicas. Así, no se incluyeron en las mediciones ópticas los yacimientos de Tulancingo, Santa María Regla, del Cerro Pinto y otros. Además faltan totalmente los yacimientos de Guatemala, los que son importantes abastecedores de obsidiana para Oaxaca y toda la zona Sureste de México.

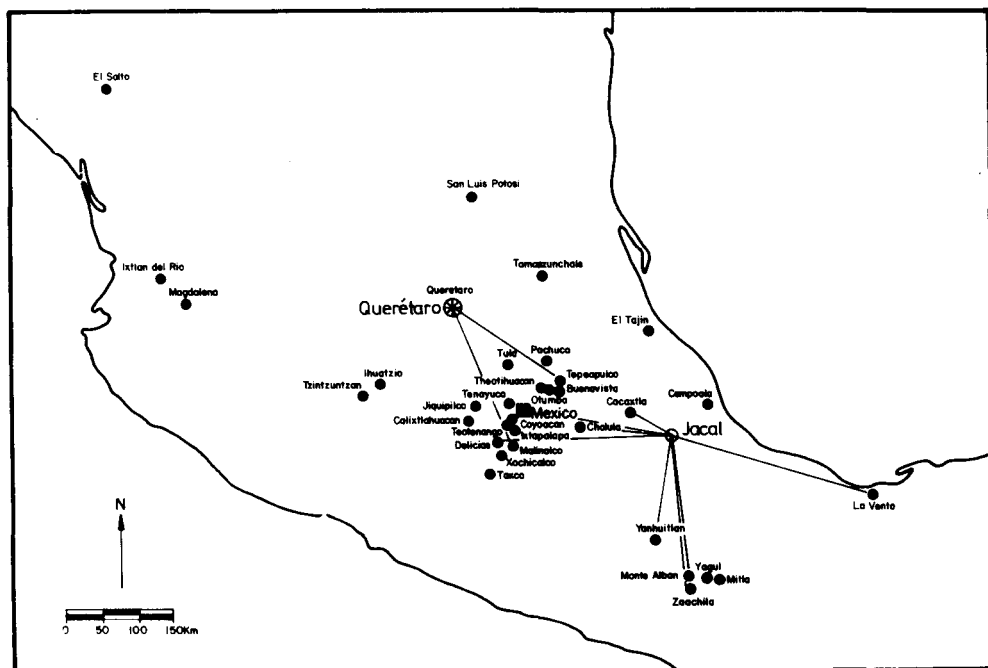


Fig. 17. Los yacimientos de obsidiana de Querétaro, Querétaro y Jacal, Veracruz y sus regiones de influencia.

- (5) Las redes de distribución especialmente amplias que se obtienen de las mediciones ópticas, por ejemplo las de Jalisco a Tabasco, a Oaxaca, o a Veracruz podrían tener, pero no necesariamente, un sistema, sobre todo porque no se pueden hacer aseveraciones cuantitativas sobre la cantidad del material del transporte. Así las líneas de conexión entre un yacimiento geológico y los diferentes sitios arqueológicos en las figuras 14 a 19 no representan relaciones comerciales sistemáticas, sino cada línea significa solamente la procedencia de una sola muestra arqueológica (o pocas muestras) de un cierto yacimiento geológico. Esta interpretación, obtenida por las mediciones ópticas, claramente no significa que los Olmecas o la gente de Oaxaca, por ejemplo, han llegado hasta Jalisco o Nayarit. Por eso es probable que estas piezas solo representen hallazgos aislados que casualmente llegaron ahí y por esto no significan ninguna relación comercial sistemática. El trueque con navajas ya trabajadas entre las culturas puede, asimismo, ser posible.

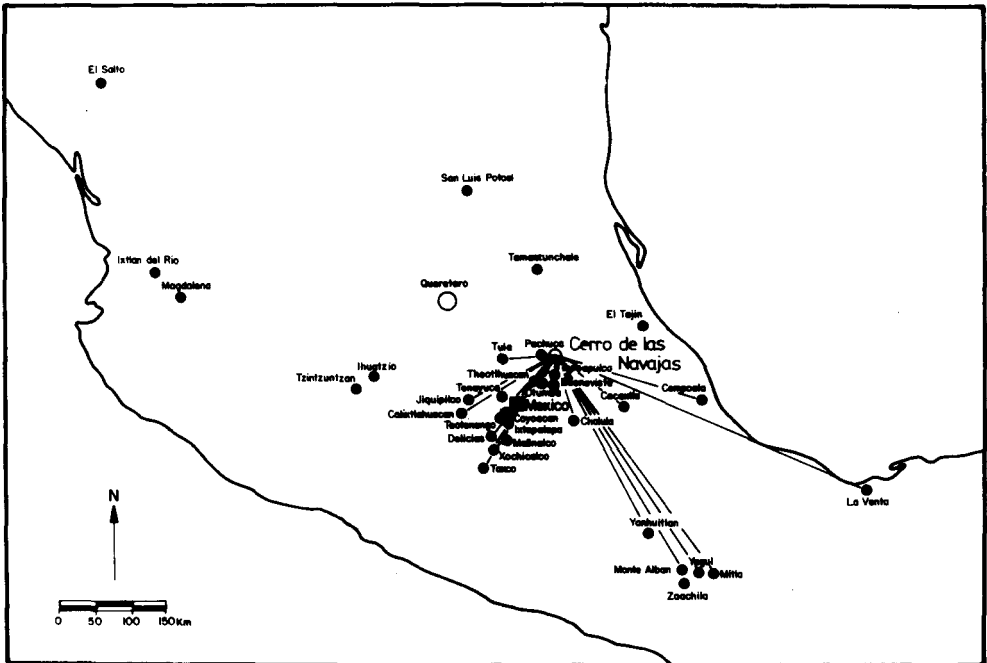


Fig. 18. El yacimiento del Cerro de las Navajas, Hidalgo y su región de influencia.

Se hace notar que todos los hallazgos arqueológicos son hallazgos superficiales, esto es, no son fechables. Por lo tanto este trabajo no pretende dar una clasificación temporal y sistemática absoluta de las relaciones comerciales encontradas, sino persigue solamente obtener información cualitativa. Así se puede considerar el trabajo como la introducción de un nuevo método para la clasificación de muestras arqueológicas. Para una interpretación arqueológica sistemática sería necesario un muestreo más amplio dentro de la estratigrafía de una excavación.

Sin embargo, se pudo demostrar que con este procedimiento es posible caracterizar muestras arqueológicas y atribuirlos a su fuente geológica. La ventaja, como ya se mencionó anteriormente, es la pequeña cantidad de muestra utilizada. La confiabilidad de los datos se determina por la sensibilidad del método. De esta manera no

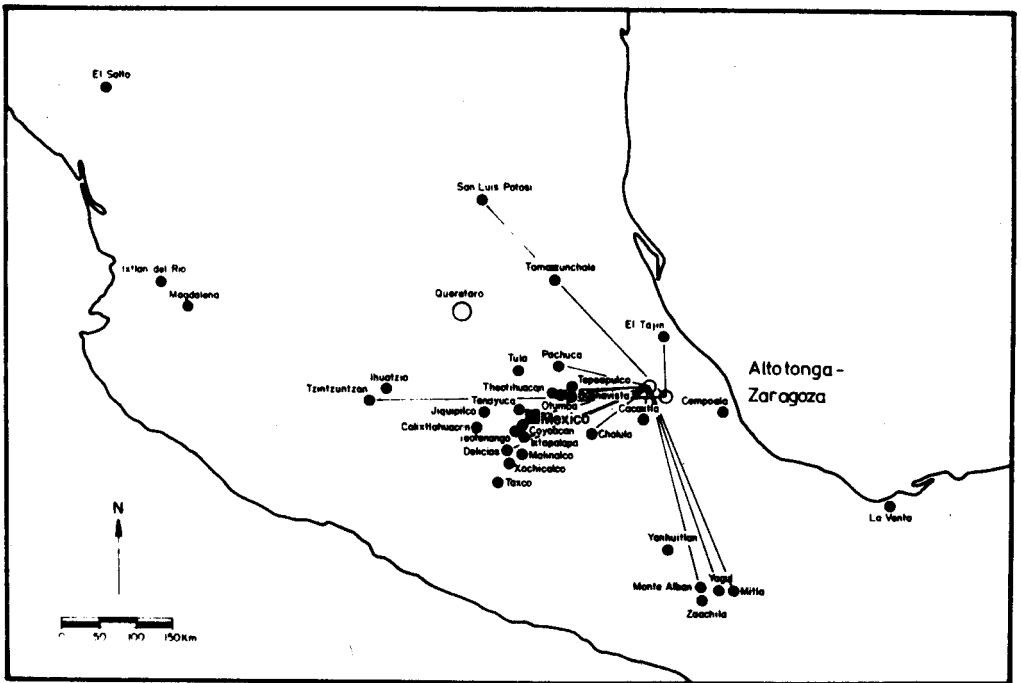


Fig. 19. Los yacimientos de obsidiana de Altotonga, Veracruz y Zaragoza, Puebla y sus regiones de influencia.



se pueden evitar zonas de traslapes de los yacimientos geológicos en la gráfica, debido a algunos valores dispersos y, con esto, el tamaño relativamente grande de algunos campos o provincias. Esta inseguridad resulta también de los análisis químicos, como ya se mostró y como se reporta en la literatura, ya que solamente se puede eliminar con la determinación de la mayor cantidad posible de elementos y sus correlaciones. Con esto, no es la Fotometría Microscópica menos confiable que las determinaciones químicas.

### CONCLUSIONES FINALES

#### *Comparación con la literatura*

En la literatura disponible sobre obsidiana los autores han llegado a resultados concordantes. Así, a partir de los análisis de elementos trazas tenemos los siguientes yacimientos como importantes proveedores de obsidiana (para mayores detalles, remitirse a la ficha bibliográfica correspondiente):

Pachuca (Cerro de las Navajas), Pico de Orizaba (Jacal), Querétaro, Altotonga, Zaragoza, Guadalupe Victoria, Otumba (Buenavista) y Zinapécuaro (San José).

Junto con los yacimientos guatemaltecos se mencionan, asimismo, algunos otros "desconocidos" (Cobean *et al.*, 1971; Graham *et al.*, 1976; Hester *et al.*, 1971, 1972, 1973; Jack and Heizer, 1968; Jack *et al.*, 1972; Nelson and Voorhies, 1980; Nelson *et al.*, 1977; Pires-Ferreira, 1975; Stross *et al.*, 1976). Las redes de distribución son igualmente más densas en las cercanías de los yacimientos geológicos y más sutiles con la distancia. Sin embargo, se mencionan hallazgos de obsidiana de Zaragoza, Puebla en Seibal, Petén, Guatemala (Graham *et al.*, 1976) y también obsidiana del Cerro de las Navajas y Otumba en Yucatán (Stross, 1968).

De las determinaciones químicas resulta, básicamente, una inseguridad: las obsidianas arqueológicas están expuestas a intensos cambios químicos debido a sus características vítreo-estructurales, que se producen después de una larga estancia en el suelo. Esto afecta principalmente a los elementos alcalinos (intercambio iónico a través de fluidos en el suelo y agua meteórica) y al Ca (intercambio iónico a través del agua del mar) (Mosheim, 1984). Así, por ejemplo, es referido por Hester *et al.* (1973) que los campos de muestras arqueológicas (en el triángulo de Zr-Sr-Rb) no corresponden completamente a los yacimientos geológicos, sino que éstos se locali-

zan un poco al lado. Esto se puede deber a una reacción química de intercambio, que puede variar el registro del espectro de los elementos de una muestra.

Según los autores mencionados, no se les confiere importancia a los yacimientos de la región Oeste de México. Pires-Ferreira (1975) apunta que éstos no se utilizaron como proveedores de materia prima. Estas aseveraciones se apoyan, sin embargo, en la determinación exclusiva de Na y Mn (NAA). En oposición figuran las aseveraciones de Ericson and Kimberlin (1977), que investigaron sistemáticamente el material arqueológico y geológico de obsidiana de Nayarit, Jalisco y Colima con base en determinaciones químicas. Ellos reportan que los yacimientos de Magdalena, Zinapécuaro (San José), Tequila y sobre todo Ixtlán del Río (Mesa de las Salvias) abastecieron al Oeste de México, como yacimientos principales. Esta información comprueba los resultados aquí presentados.

Con base en estas mediciones ópticas no se pudo comprobar en este trabajo el yacimiento Guadalupe Victoria mencionado en la literatura como importante fuente de materia prima. Esto podría deberse a que el campo representado de este yacimiento en la gráfica (figura 13) sobresale del área de Buenavista y se localiza cerca del campo de Ucareo. Interpretaciones erróneas son, pues, posibles. Con esta inseguridad se muestra uno de los límites del método fotométrico.

#### AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo fue posible gracias al apoyo financiero de la "Fundación Volkswagen", R. F. A.

Además, quisiéramos agradecer a las siguientes personas:

Por la ayuda durante el muestreo, al Dr. W. Heinrich y a la Lic. Quím. T. Orozco. Por el apoyo en la Química Analítica, al Dr. E. Karotke, del Instituto de Mineralogía y al Dipl. Min. U. Kramar, del Instituto de Petrografía de la Universidad de Karlsruhe, R. F. A.

Una gran parte de las mediciones ópticas se pudo realizar, junto con el Instituto de Mineralogía en Karlsruhe, en el Departamento de Farmacología de la U. A. N. L., Monterrey, N. L., México. Por esto agradecemos al Dr. A. Piñeyro López y al Dr. R. Roller.

Por gran parte de las muestras arqueológicas, al Prof. Dr. H. G. Buchholz, Instituto de Arqueología de la Universidad Giessen, R. F. A.

Por la ayuda en la traducción al Español del manuscrito, al Ing. J. A. Ramírez y por la revisión del manuscrito a la Dra. C. Rodríguez, al Dr. J. M. Barbarín y al Dr. C. Pola.

Finalmente, a todos los colegas y colaboradores de la Facultad de Ciencias de la Tierra de la U. A. N. L., Linares, N. L., México, por su amplio apoyo en el trabajo.

#### BIBLIOGRAFIA

- BRETON, A., 1902. Some obsidian workings in Mexico. *In*: T. R. Hester (Ed.): *Archaeol. Stud. Mesoamer. obsidian*. Ballena Press Studies in Mesoamerican Art, Archaeology and Ethnohistory, 3, 1978, 4-7.
- CHARLTON, T. H., 1969. On the identification of prehispanic obsidian mines in southern Hidalgo. *Amer. Antiq.*, 34, 176-177.
- COBEAN, R. H., M. D. COE, E. A. PERRY, Jr., K. K. TUREKIAN and D. P. KHAR-KAR, 1971. Obsidian trade at San Lorenzo Tenochtitlan, Mexico. *Science*, 174, 666-671.
- ERICSON, J. E. and J. KIMBERLIN, 1977. Obsidian sources, chemical characterization and hydration rates in West Mexico. *Archaeometry*, 19, 157-166.
- GRAHAM, J. A., T. R. HESTER and R. N. JACK, 1973. Sources of the obsidian at the ruins of Seibal, Petén, Guatemala. *Contributions, Univ. Calif. Archaeol. Facility*, 16, 111-116.
- HESTER, T. R., R. F. HEIZER and R. N. JACK, 1971. Technology and geologic sources of obsidian artifacts from Cerro de las Mesas, Veracruz, with observations on Olmec trade. *Contributions, Univ. Calif. Archaeol. Res. Facility*, 13, 133-141.
- HESTER, T. R., R. N. JACK and R. F. HEIZER, 1972. Trace element analysis of obsidian from the site of Cholula, Mexico. *Contributions, Univ. Calif. Archaeol. Res. Facility*, 16, 105-110.
- HESTER, T. R., R. N. JACK and A. BENFER, 1973. Trace element analysis of obsidian from Michoacán, Mexico: Preliminary results. *Contributions, Univ. Calif. Archaeol. Res. Facility*, 18, 167-176.
- HOLMES, W. H., 1900. The obsidian mines of Hidalgo, Mexico. *Amer. Anthropologist*, 2, 3, 405-416.
- JACK, R. N. and R. F. HEIZER, 1968. Fingerprinting of some Mesoamerican obsidian artifacts. *Contributions, Univ. Calif. Archaeol. Res. Facility*, 5, 81-100.
- JACK, R. N., T. R. HESTER and R. F. HEIZER, 1972. Geologic sources of archaeological obsidian from sites in Northern and Central Veracruz, Mexico. *Contributions, Univ. Calif. Archaeol. Res. Facility*, 16, 117-122.

- MOSHEIM, E., 1979. Homogenitätsuntersuchungen an Obsidianen - Ein Beitrag zur Erforschung prähistorischer Handelswege. Tesis de diploma, no publ., Karlsruhe, R. F. A.
- MOSHEIM, E., 1984. Chemische und physikalische Untersuchungen an geologischen und archäologischen Obsidianen der Ägäis. Tesis doctoral no publ., Karlsruhe, R. F. A.
- MOSHEIM, E. y E. ALTHAUS, 1988. Caracterización química de las obsidianas de la Faja Volcánica Mexicana (en preparación).
- NELSON, F. W., K. K. NIELSON, N. F. MANGELSON, M. W. HILL and R. T. MATHENY, 1977. Preliminary studies of the trace element composition of obsidian artifacts from Northern Campeche, Mexico. *Amer. Antiq.*, 42, 2, 209-225.
- NELSON, F. W. and B. VOORHIES, 1980. Trace element analysis of obsidian artifacts from three shell midden sites in the littoral zone, Chiapas, Mexico, *Amer. Antiq.*, 45, 3, 540-550.
- PILLER, R., 1977. Microscope Photometry. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
- PIRES-FERREIRA, J. W., 1985. Formative Mesoamerican exchange networks with special reference to the Valley of Oaxaca. In: K. V. Flannery (Ed.): *Prehistory and human ecology of the Valley of Oaxaca*. Memoirs of the Museum of Anthropology, University of Michigan, Ann Arbor, 7, 3, 1-111.
- RUL, F. G., 1972. Las minas de obsidiana del Cerro Pelón, Hidalgo. *Bol. INAH*, 11, 3, 11-16.
- SPENCE, M. W., 1967. The obsidian industry at Teotihuacan. *Amer. Antiq.* 32, 507-514.
- SPENCE, M. W. and J. R. PARSONS, 1967. Prehispanic obsidian mines in Southern Hidalgo. *Amer. Antiq.*, 32, 4, 542-543.
- STEVENSON, D. P., F. H. STROSS and R. F. HEIZER, 1971. An evaluation of X-ray fluorescence analysis as a method for correlating obsidian artifacts with source location. *Archaeometry*, 13, 1, 17-25.
- STROSS, F. H., T. R. HESTER, R. F. HEIZER and R. N. JACK, 1976. Chemical and archaeological studies of Mesoamerican obsidians. In: R. E. Taylor (Ed.): *Advances in obsidian glass studies*. Noyes Press, Park Ridge, New Jersey, 240-258.