

8
2ej.



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

FACULTAD DE INGENIERIA

**FECHADO POR TRAZAS DE FISION DE ESQUIRLAS
DE VIDRIO EN TOBAS DE CAIDA EN ESTUDIOS DEL
CUATERNARIO.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO GEOLOGO

P R E S E N T A :

ANDRES ROMULO GARCES CHAVEZ



MEXICO, D. F.

1997.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-I-037

SR. ANDRÉS ROMULO GARCES CHAVEZ
Presente

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor Ing. Jorge Nieto Obregón y que aprobó esta Dirección para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de Ingeniero Geólogo :

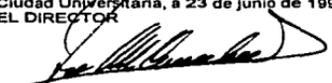
FECHADO POR TRAZAS DE FISION DE ESQUIRLAS DE VIDRIO EN TOBAS DE CAIDA EN ESTUDIOS DEL CUATERNARIO

	RESUMEN
I	INTRODUCCION
II	TRAZAS DE FISION
III	ESQUIRLAS DE VIDRIO
IV	MUESTRAS COLECTADAS
V	METODOLOGIA
VI	ESTABILIDAD DE TRAZAS
VII	CORRECCION DE LA EDAD
VIII	PRESENTACION DE RESULTADOS
IX	INTERPRETACION
	CONCLUSIONES
	RECOMENDACIONES
	BIBLIOGRAFIA
	ILUSTRACIONES

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que se deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar examen profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Ciudad Universitaria, a 23 de junio de 1997
EL DIRECTOR


ING. JOSE MANUEL COVARRUBIAS SOLIS

JMCS*RLR*gtg.

**FECHADO POR TRAZAS DE FISION DE
ESQUIRLAS DE VIDRIO EN TOBAS DE CAIDA
EN ESTUDIOS DEL CUATERNARIO**

ANDRÉS RÓMULO GARCÉS CHÁVEZ

A mis padres

Manuel Garcés y Trinidad Chávez

A mis hermanos

Juan, Gabino, Cruz, Trini, Felipe, Manuel, Adrián, Veneranda, Isabel y Manolo.

AGRADECIMIENTOS

Quiero manifestar un profundo agradecimiento al Ing. Jorge Nieto Obregón por la dirección de esta tesis, de la misma manera al Dr. Miguel Balcázar García, al Ing. Emiliano Campos Madrigal, al M. en C. Gilberto Silva Romo y al Ing. José Luis Arcos Hernández por la revisión de la misma y por su participación como sinodales.

De igual forma agradezco a la División de Ingeniería en Ciencias de la Tierra de la Facultad de Ingeniería y al Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ) las facilidades brindadas y el apoyo otorgado para la realización de este trabajo.

También expreso mi agradecimiento a Lupita Contreras y Juan José Ramírez por su valiosa participación en la asesoría y colaboración en los trabajos de laboratorio.

Finalmente mi agradecimiento a mis compañeros y amigos por su apoyo moral y el tiempo brindado a la presente investigación.

ÍNDICE

Resumen

I INTRODUCCIÓN

Antecedentes

Objetivos

II TRAZAS DE FISIÓN

Origen

Fisión Espontánea del ^{238}U

Fisión inducida del ^{235}U

Tamaño y forma

Grabado

Geometría de las trazas grabadas

Eficiencia de grabado

Isótopos radiactivos

Ecuación de la Edad

Error asociado al cálculo de la edad

Las trazas de fisión en vidrio

Método de la población-sustracción

Aplicabilidad

III ESQUIRLAS DE VIDRIO

Tipos de esquirlas

Ambiente de formación

1

1

2

3

3

3

4

5

5

5

6

7

7

9

10

11

12

14

14

14

IV MUESTRAS COLECTADAS	16
Localización	16
Marco geológico regional	17
Geología local	19
V METODOLOGÍA	23
Pruebas preliminares	23
Láminas delgadas	23
Identificación de esquirlas	23
Procesado de las muestras	23
Separación mineralógica	24
Disgregación	24
Trituración y molienda	24
Tamizado	24
Lavado y secado	24
Imán	24
Separación por líquidos pesados	25
Separación magnética	25
Separación bajo el microscopio	25
Aplicación del Método de la Población-Sustracción	26
Irradiación en el reactor nuclear	26
Contenedor y arreglo de las muestras	26
Montaje de esquirlas de vidrio	27
Montaje en resina	27
Corte	27
Desbaste	27
Pulido	28
Grabado	28
Irradiación con ^{252}Cf	28
Condiciones de grabado	28
Grabado de las micas	29
Conteo de trazas	29
VI ESTABILIDAD DE TRAZAS	31
VII CORRECCIÓN DE LA EDAD	33
Meseta isocrónica y meseta isotérmica	34
ITPFTD	34

VIII PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	36
IX INTERPRETACIÓN	49
CONCLUSIONES	53
RECOMENDACIONES	54
BIBLIOGRAFÍA	55

RESUMEN

Se fecharon cuatro unidades piroclásticas del Cuaternario por el Método de Trazas de Fisión (Fission-Track Dating) en esquirlas de vidrio contenidas en depósitos de tobas de caída. Las muestras en estudio corresponden a tres localidades: 1) Delegación Alvaro Obregón, D. F. (muestra LA-3P-1); 2) Ciudad de Aguascalientes, (muestras AGS y ZOY); y 3) Poblado de Huaniqueo, Mich (muestra HUA).

Las edades obtenidas se consideran *edades mínimas* en virtud de que dichos resultados requieren de una corrección por borrado parcial de trazas. Sin embargo una estimación realizada respecto al diámetro de trazas espontáneas e inducidas indica que la media en ambos casos es aproximadamente la misma (8μ). De comprobarse estadísticamente el valor de la media permitiría sustentar que las edades obtenidas son edades de formación.

Se obtuvo una edad de 600 mil años ($\pm 70,000$) (Delegación Alvaro Obregón muestra LA-3P-1) para depósitos de caída emitidos posiblemente por el vulcanismo que dio origen a la Sierra de las Cruces y considerados de la Formación Tarango (Arellano, 1951).

Por otro lado en la Ciudad de Aguascalientes se obtuvieron dos edades: una de 570 mil años ($\pm 70,000$) (muestra AGS) para la Toba Aguascalientes (Hernández-Láscares, 1981) que la ubica dentro del Pleistoceno; y otra de 300 mil años ($\pm 30,000$) (muestra ZOY) para la Toba Zoyatal (Hernández-Láscares, op. cit.), esta última puede considerarse como un depósito distal emplazado en depresiones topográficas en una época posterior al depósito de la Toba Aguascalientes o bien como una roca que ha sufrido borrado parcial por calentamiento posterior al de su formación posiblemente originado por la Falla Oriental de Aguascalientes (FAO) (Lermo et al., 1994)

Finalmente se reporta una edad de 270 mil años ($\pm 30,000$) para las emisiones volcánicas correspondientes a la muestra HUA, en el Poblado de Huaniqueo que indica una edad muy joven (Pleistoceno) sustentada por la morfología apreciable en la zona.

Las edades reportadas son congruentes con edades paleontológicas (Dalquest y Mosser, 1974 y Ferrusquía-Villafraña, 1978) y estratigráficas (Hernández-Láscares, 1981 y Montellano-Ballesteros, 1992; Lermo et al. Op. cit.) reportadas en trabajos anteriores.

El método de trazas de fisión en esquirlas de vidrio es ampliamente recomendado para estudios del Cuaternario en depósitos de tobas de caída.

I

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES

El descubrimiento de la radiactividad y los subsecuentes trabajos de los esposos Curie, Rutherford, Soddy, Thompson, Ramsay y otros, tuvo un profundo efecto en la geología ya que permitió establecer las bases de la Geocronología (Faure, 1986). A partir de dichas investigaciones se establecen los mecanismos fundamentales de decaimiento radiactivo que son: 1) Decaimiento por emisión de partículas alfa; 2) Decaimiento por emisión de partículas beta negativas (negatrones); 3) Decaimiento por emisión de partículas beta positivas (positrones); 4) Decaimiento por conversión interna o emisión de rayos gamma; 5) Decaimiento por captura electrónica y 6) Decaimiento por fisión nuclear espontánea (Faure, op. cit.). La fisión nuclear espontánea ocurre solo en ciertos isótopos de elementos pesados ($A > 230$ y $Z > 90$) (Crowley et al, 1989).

En la década de los 40's se establecen los métodos de fechado producto de la investigación del decaimiento radiactivo de algunos de los isótopos inestables que existen en la naturaleza como son el método de K-Ar, el de Rb-Sr y el de U,Th-Pb que constituyen la columna vertebral de la Geocronología (Faure, op. Cit.). Los avances tecnológicos y la aplicación de estos métodos como fuente de información en estudios geológicos ha permitido el desarrollo de nuevas técnicas que ofrecen mejores resultados así como el surgimiento de otros métodos radiométricos; de tal manera que en la década de los 60's surge el método de fechado basado en el decaimiento por fisión espontánea del ^{238}U , conocido como método de fechado por trazas de fisión (Faure, op. Cit.)

Por otro lado con respecto a los trabajos realizados en el Laboratorio de Trazas de Fisión de la Facultad de Ingeniería de la UNAM implementado por Nieto-Obregón en 1982 se han realizado estudios de fechado en apatitas (Valero-Reyes y Treviño-Montemayor, 1989; Hernández-González, 1993;) así como interpretaciones con base en las edades obtenidas aplicadas a estudios sobre la historia térmica cuyo análisis permite establecer la historia de levantamiento y sepultamiento en cuencas sedimentarias (Nieto-Obregón, Proyecto UNAM-PEMEX en preparación). Así mismo se han realizado estudios de fechado en vidrios volcánicos (Arcos-Hernández, 1992) y zircones (Tenorio -Hernández, 1992). Estas investigaciones han permitido establecer las instalaciones y equipo adecuados para el desarrollo del método de trazas de fisión en estudios geológicos en la Facultad de Ingeniería de la UNAM.

OBJETIVOS

El presente trabajo tiene como objetivo la aplicación del método de fechado por trazas de fisión en esquirlas de vidrio a fin de obtener la edad en dichos materiales. En el mismo sentido este estudio intenta reafirmar la metodología e instrumentación (utilizada en trabajos anteriores en esta Facultad) con la intención de valorar y propiciar el uso del método de trazas de fisión como una excelente herramienta para obtener la edad de vidrios en estudios de tefracronología. La calibración del flujo de neutrones recibido durante la irradiación nuclear a través del uso de dosímetros y estándares (roca o mineral de edad conocida) utilizados por Hernández-González (1993) permitirá comprobar los resultados y consecuentemente las edades reportadas al concluir la presente investigación serán confiables.

La presente investigación pretende obtener edades radiométricas en depósitos volcánicos de probable edad Plio-Cuaternaria con la intención de delimitar los rangos de edades relativas determinadas hasta el momento con estudios paleontológicos y estratigráficos en las zonas de estudio.

TRAZAS DE FISIÓN

ORIGEN

Las trazas de fisión son el efecto de la trayectoria que siguen los fragmentos nucleares durante el proceso de fisión. La fisión ocurre cuando el núcleo de un átomo de un elemento radiactivo se rompe en dos partes y consecuentemente se forman dos núcleos con carga positiva (i.e. fragmentos de fisión) de masas más pequeñas que dan lugar a átomos de otra especie. Los fragmentos de fisión son lanzados a la estructura atómica que los circunda y viajan en la misma dirección pero en sentidos opuestos como se representa en la figura II.1. La fisión espontánea libera una energía de 200 MeV en forma de energía cinética. Algunos neutrones y partículas alfa también son liberados en cada fisión individual. La fisión nuclear espontánea ocurre en el uranio, torio y en muchos de los nucleidos pesados artificiales. Los fragmentos de fisión generados pueden tener masas diferentes (>> 99% de probabilidad) comúnmente el de mayor tamaño tiene una masa atómica de 140 en tanto que el menor cuenta con una masa atómica de 95 (en la mayoría de los casos); la probabilidad de que estas partículas obtengan masas iguales es muy remota (<<1%).

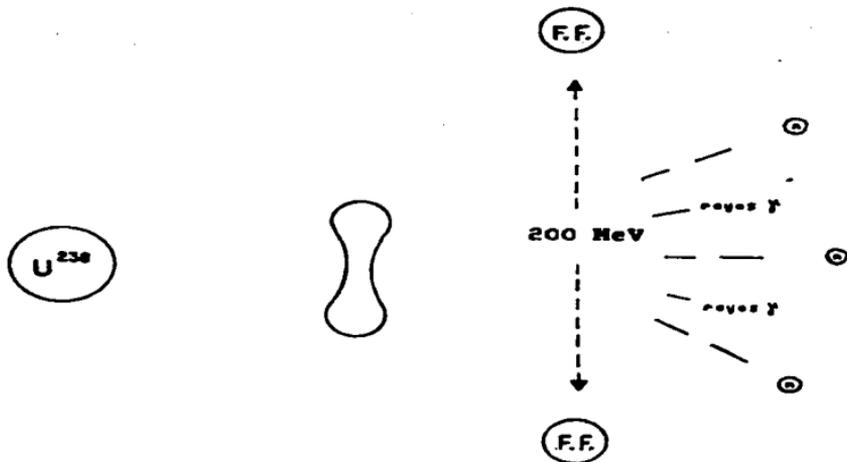
La formación de trazas ocurre porque los fragmentos de fisión (cargados positivamente) ionizan en su recorrido a los átomos más cercanos debido a la fuerte carga positiva de las masas nucleares, lo cual genera una fuerza eléctrica repulsiva entre ellos (de acuerdo a la ley de Coulomb) que propicia su desplazamiento y genera una zona de daño en la red cristalina. Finalmente las partículas desplazadas experimentan un proceso de rebote elástico, pero no consiguen regresar por completo a su posición original, de esta manera se preserva la región dañada por el paso de los fragmentos de fisión como se muestra en la figura II.2. A la preservación de estas zonas de daño se les conoce como trazas de fisión.

FISIÓN ESPONTÁNEA DEL ^{238}U

A pesar de que existen muchos nucleidos en la naturaleza que se fisionan espontáneamente (^{234}U , ^{235}U , ^{238}U , ^{227}Th , ^{228}Th , ^{230}Th , ^{231}Th , ^{232}Th , y Th^{234}), sólo el ^{238}U contribuye significativamente a la formación de trazas espontáneas en minerales y vidrios debido a que:

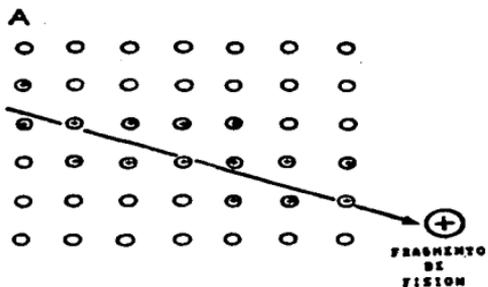
- 1) Tiene una vida media relativamente corta por fisión espontánea (aproximadamente 1×10^{10} años)
- 2) Su vida media por decaimiento de partículas alfa es relativamente amplia (aproximadamente 4.5×10^9)
- 3) Comprende el 99.3% del uranio natural.
- 4) La tasa de producción de trazas espontáneas de los otros isótopos es significativamente muy pequeña (Crowley et al., 1989)

FISION ESPONTANEA

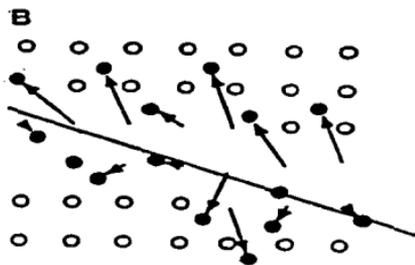


F.F. = Fragmento de Fisión

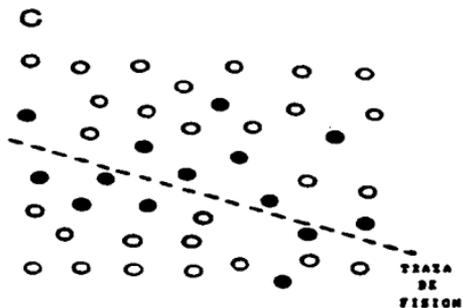
FIGURA II.1. Ejemplo esquemático de la fisión espontánea del ^{238}U . Se producen dos fragmentos de fisión que se repelen violentamente en sentido contrario; liberándose una gran cantidad de energía, neutrones y rayos gamma. (Tomado de Tenorio, 1992)



IONIZACION



**REPULSION
COULOMBIANA**



**ESFUERZO
ELASTICO**

FIGURA II.2. Mecanismo de formación de las trazas, la teoría más aceptada es "Ion Explosion Spike" propuesta por Fleischer, 1975. (Tomado de Tenorio, 1992)

Se ha comprobado que la formación de trazas espontáneas en el ^{238}U es varios órdenes de magnitud mayor que en otros isótopos de acuerdo a estudios realizados por Naeser (in Crowley et. al., op. cit.) quien toma para su análisis concentraciones obtenidas por Rogers y Adams (1967, Tabla 90-D-1) en apatitas con un promedio de 55 ppm y 70 ppm de uranio y thorio respectivamente y demuestra la consideración exclusiva del ^{238}U para la obtención de fechamiento por el método de trazas de fisión (como se observa en la Tabla II.1). Los materiales naturales que preservan las trazas y que se han estudiado en investigaciones geológicas con excelentes resultados son: apatita, zircón y vidrio

ISÓTOPO	N (átomos x cm^{-3})	λ_D (años $^{-1}$)	λ_{SF} (años $^{-1}$)	$d\rho/dt$ (tr x cm^{-3} x años $^{-1}$)
^{238}U	4.4×10^{17}	1.55×10^{-10}	7×10^{-17}	30.8
^{235}Th	3.3×10^{15}	9.84×10^{-10}	3.65×10^{-16}	0.01
^{232}Th	5.7×10^{17}	4.95×10^{-11}	6.9×10^{-22}	0.0004

TABLA II.1. Densidad de trazas generada en apatitas a partir de la fisión espontánea de ^{238}U , ^{235}Th , ^{232}Th . Donde "N" es la concentración atómica; λ_D es la constante de decaimiento total (esto es la constante de decaimiento por partículas alfa (λ_α) más la constante de decaimiento por fisión espontánea (λ_{SF})); λ_{SF} es la constante de decaimiento por fisión espontánea y $d\rho/dt$ es la variación de la densidad de trazas con respecto al tiempo para una unidad de volumen.

Fuente: Tomada de Naeser; in Crowley et. al.; 1989

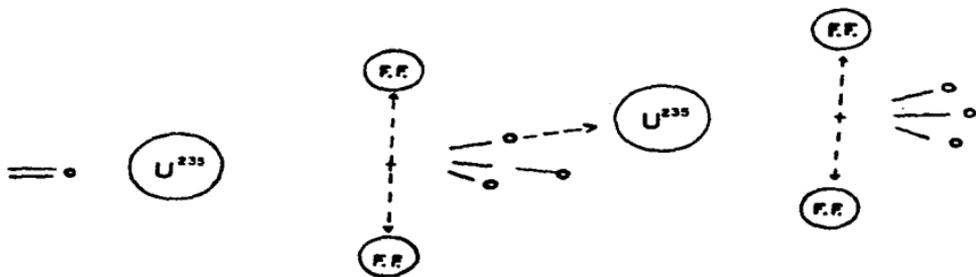
FISIÓN INDUCIDA DEL ^{235}U

La fisión del ^{235}U se induce en un reactor nuclear para lo cual se irradia la muestra con neutrones térmicos. Este proceso tiene como finalidad conocer la concentración de uranio en los materiales a fechar. Los demás isótopos de U y Th tienen muy pocas posibilidades de ser fisionados por los neutrones térmicos (Crowley et. al., op. cit.).

En el proceso de fisión inducida, el núcleo de un átomo de ^{235}U absorbe un neutrón térmico; inmediatamente después se fragmenta en dos núcleos más pequeños y en otros neutrones térmicos como se esquematiza en la figura II.3.

Un neutrón térmico es un neutrón lento o de baja energía (su energía cinética es de 0.03 eV; similar a la energía de las moléculas de un gas a temperatura ambiente). Los neutrones rápidos que normalmente se liberan durante la fisión inducida en las barras de combustible nuclear en el reactor se convierten en

FISION INDUCIDA EN UN REACTOR NUCLEAR



○ = Neutrón

F.F. = Fragmento de Fisión

FIGURA 11.3. Ejemplo esquemático de la fisión inducida del isótopo ^{235}U , esto ocurre en un reactor nuclear mediante una reacción en cadena automantenida y controlada. El ^{235}U absorbe un neutrón térmico, se fisiona y libera neutrones que son rápidamente frenados y absorbidos por otros isótopos ^{235}U sucesivamente. (Tomado de Tenorio, 1992)

neutrones térmicos (i.e. disminuyen su velocidad) por medio de colisiones elásticas con ciertos materiales moderadores; principalmente con el hidrógeno que contiene el agua (Crowley et. al., op. cit.).

Aunque la fisión espontánea del ^{238}U y la fisión inducida del ^{235}U por medio de neutrones térmicos son procesos muy diferentes, los fragmentos de fisión producidos en ambos casos son similares en masa y energía y por consiguiente se producen trazas de fisión similares en los minerales y vidrios. (Crowley et al. op. cit.)

TAMAÑO Y FORMA

El tamaño de las trazas de fisión es extremadamente pequeño e imperceptible aún con la ayuda de un microscopio óptico, razón por la cual se les conoce como trazas latentes; estas fueron observadas por primera vez con un microscopio electrónico por Silk y Barnes (1959). Se conoce poco de su estructura y dimensiones, sin embargo se sabe que tienen forma cilíndrica de paredes irregulares con un diámetro de 15 a 40 angstroms y una longitud de 15 μm (Albrecht, 1984).

GRABADO

Las trazas latentes son reveladas mediante la aplicación de la técnica de grabado, dicha técnica permite aumentar el tamaño de los diámetros de las trazas latentes haciendo posible su observación en un microscopio óptico.

El grabado consiste en someter las muestras a un ataque químico en una solución diluyente definida durante un tiempo determinado. Este proceso se sustenta en la acción destructiva de los ácidos cuya actividad desbasta preferentemente las paredes de las trazas existentes en la superficie expuesta al desarrollar una velocidad de ataque mayor en estos rasgos como se muestra en la figura II.4. De esta manera el comportamiento de la solución ácida en la disolución de la superficie expuesta presenta una velocidad de ataque en la superficie (V_G) y una velocidad de ataque en las trazas (V_T) donde V_T siempre es mayor que V_G (condición necesaria para la revelación de trazas); estas velocidades están en función de las características del material a grabar, así como de la composición, concentración y temperatura de la solución disolvente. Así mismo la profundidad de grabado en las trazas (d) se expresa como la diferencia de profundidades diluidas entre la superficie ($V_G t$) y el núcleo de la traza ($V_T t$) como se muestra en la expresión: $d = (V_T - V_G)t$ (ver figura II.4).

GEOMETRÍA DE LAS TRAZAS GRABADAS

La geometría de las trazas grabadas esta en función de la velocidad de disolución química a lo largo de la traza latente (V_t) y de la velocidad de disolución de la superficie del sólido (V_G). Si tanto V_t como V_G son constantes e isotrópicas, es decir; las mismas en cualquier dirección, entonces la relación V_G / V_t es constante

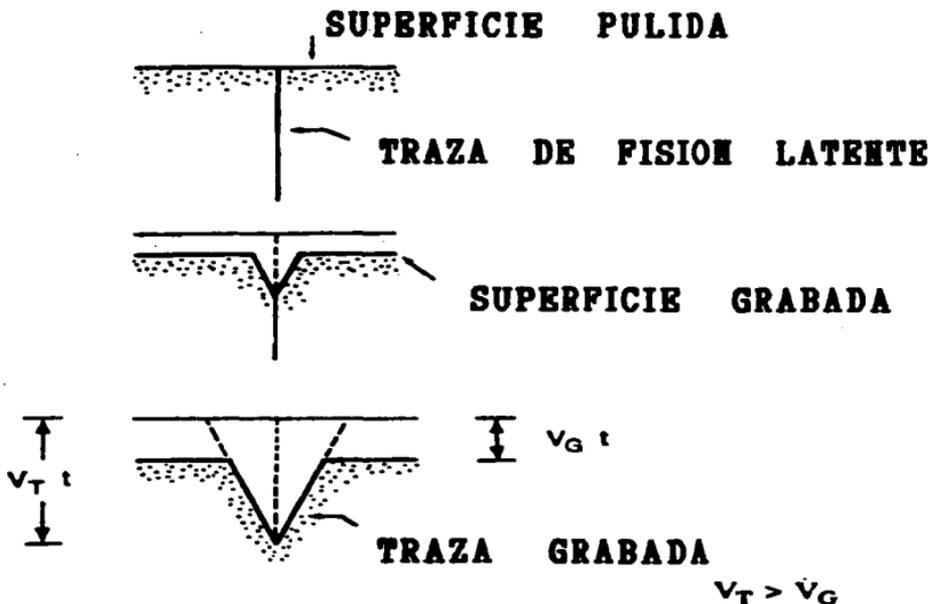


FIGURA II.4. Esquema de la evolución que presenta una traza latente al someterla al grabado. Este es un caso ideal en el que la traza incide perpendicularmente a la superficie pulida de un mineral o vidrio. (Tomado de Tenorio, 1992)

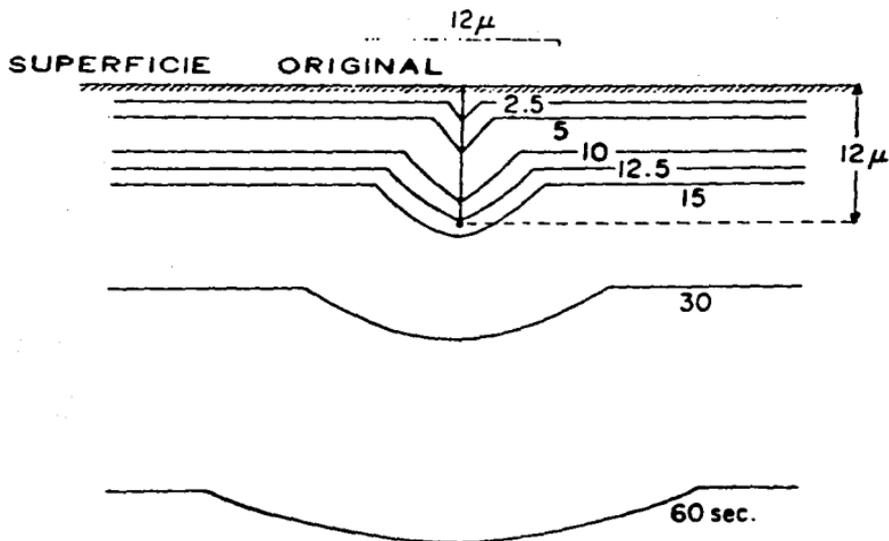


FIGURA II.5. El caso en que V_a y V_l son constantes no es un caso hipotético, es un caso real, que se cumple para distancias de grabado cortas. En la figura se muestra un modelo del grabado de un vidrio semejante a la obsidiana a diferentes tiempos. Se puede observar como después de cinco segundos la velocidad V_l no es constante y se hace más pequeña con respecto a V_a . (Tomado de Fleischer et al., 1965)

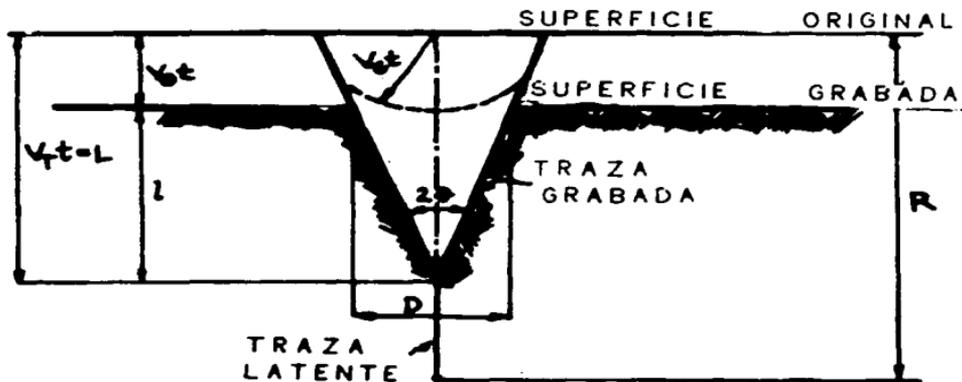


FIGURA II.6. La figura muestra el caso del grabado de una traza que es perpendicular a la superficie pulida. Para que la traza se grave es necesario que V_t sea mayor que V_a (Tomado de Arcos-Hernández, 1992).

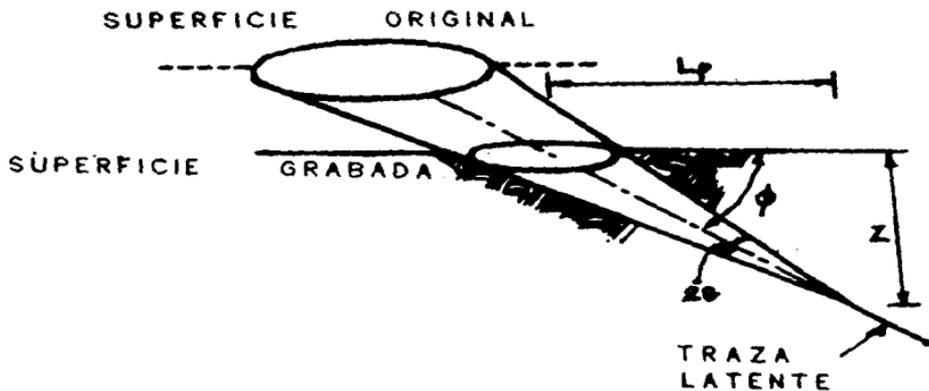


FIGURA 11.7. Trazo grabada con un ángulo de inclinación ϕ y un ángulo cóncavo θ (Tomado de Arcos-Hernández, 1992).

pero solo para distancias de grabado cortas, es decir; distancias $L = V_t t$ cortas (donde L = profundidad de la traza, V_t = velocidad de ataque en la traza y t = tiempo en que actúa el diluyente), esto se ilustra en la figura 11.5. La velocidad de ataque V_G y consecuentemente V_t son isotrópicas en los vidrios, por ser estos medios isotrópicos (Durrani y Bull, 1987).

Si se tiene el caso de que la traza intersecta perpendicularmente a la superficie pulida (figura 1.6.), se puede demostrar que el diámetro de la traza D y su longitud L son función de V_G y V_t , y además el ángulo del cono θ es:

$$\theta = \text{sen}^{-1} (V_G / V_t)$$

EFICIENCIA DE GRABADO

La variación del ángulo de incidencia entre las trazas latentes y la superficie pulida al momento del grabado es determinante en la forma que presenten las trazas una vez grabadas, de esta manera en los vidrios podemos tener formas circulares (cuando la traza latente es perpendicular a la superficie de pulido) como es el caso de la figura 11.6, y elípticas (cuando la traza latente no es perpendicular a la superficie pulida) como se ilustra en la figura 11.7; no obstante existe la posibilidad de que las trazas latentes tengan un ángulo de incidencia (ϕ) con la superficie pulida menor al ángulo θ en cuyo caso dicha traza no será detectable debido a que la traza desaparecerá al disolverse la superficie pulida atacada por la solución grabadora.

Analizando la figura 1.8. se tiene que si el ángulo θ depende de V_T y V_G y además si la componente vertical de la distancia de máxima disolución (ubicada en el centro de la traza), que es $V_t \text{sen} \phi$, es menor que $V_G t$, entonces ninguna traza aparecerá después del grabado. Pero cuando el ángulo de inclinación de la traza es igual o mayor que θ , las trazas si aparecerán, a este ángulo se le llama ángulo crítico θ_c . El parámetro denominado eficiencia de grabado (η) puede expresarse en función de θ_c de la siguiente manera :

$$\eta = 1 - \text{sen} \theta_c$$

y η representa la propiedad que tienen los sólidos de revelar sus trazas en función del ángulo cónico (θ) el ángulo de incidencia (ϕ) y la velocidad y tiempo de grabado.

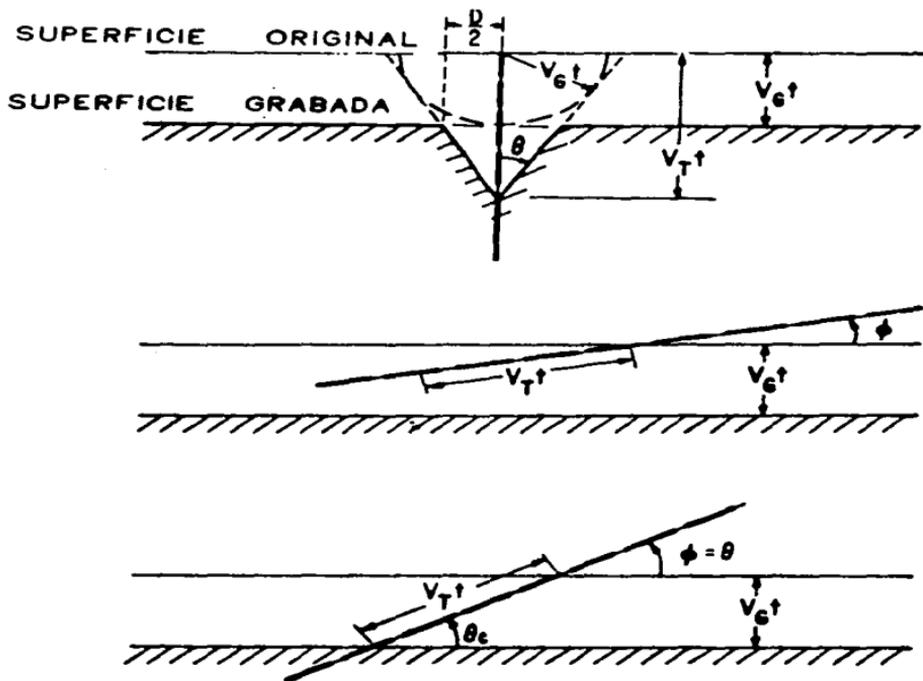


FIGURA 11.8. Cuando la traza incide de manera perpendicular a la superficie pulida su geometría está determinada por V_G y V_T . Sin embargo cuando tiene un ángulo de incidencia ϕ menor que $\text{sen}^{-1}(V_G/V_T)$, la cantidad de material a partir de la superficie pulida que se disuelve es más grande que la componente normal de la velocidad de la traza, V_T , por lo que V_G no permite el grabado de ninguna traza. De esta manera se tiene un ángulo crítico θ que es igual a $\text{sen}^{-1}(V_G/V_T)$. A partir de este ángulo (θ) y para ángulos mayores de incidencia, las trazas sí se observan después del grabado. (Tomado de Arcos-Hernández, 1992).

ISÓTOPOS RADIATIVOS

Los isótopos radiactivos son una herramienta fundamental en el cálculo de la edad absoluta de una roca o de un mineral debido a que tienen una tasa constante de decaimiento a través del tiempo geológico, de tal manera que si se conoce el número de isótopos que han decaído desde la consolidación del material será posible obtener su edad.

Las trazas de fisión espontáneas representan a los isótopos padre que han decaído puesto que son el registro de este proceso. Las trazas de fisión inducidas junto con la constante $I = {}^{235}\text{U}/{}^{238}\text{U}$ nos permite calcular la cantidad de ${}^{238}\text{U}$ y por lo tanto calcular la edad.

ECUACIÓN DE LA EDAD

El tratamiento matemático y los principios básicos que intervienen en la obtención de la ecuación de la edad han sido descritos minuciosamente en los anteriores trabajos de tesis de Valero y Treviño (1990), Arcos (1992) y Tenorio (1992); por lo que en el presente trabajo solo se mencionaran las ecuaciones fundamentales y las aplicadas para la obtención de resultados.

La constante de decaimiento lambda (λ) se interpreta como la probabilidad de que un átomo de un isótopo radiactivo decaiga en una unidad de tiempo, y será la misma para todos los átomos de esa especie.

Se tiene entonces que el número de decaimientos radiactivos por unidad de tiempo esta dado por λN ; donde N es el número de átomos padre radiactivos presentes. La proporción con la que N cambia es función del tiempo; por lo que:

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N \quad (1)$$

El primer miembro de la ecuación es negativo porque N decrece con el tiempo. Integrando (1) y resolviendo se tiene:

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (2)$$

o bien:

$$N_0 - N = N_0 (1 - e^{-\lambda t}) \quad (3)$$

donde N_0 es el número original de átomos padre.

Por otra parte, el número de átomos hijo D que han decaído en un tiempo t cualquiera es:

$$D = N_0 - N \quad (4)$$

Sustituyendo (3) en (4):

$$D = N e^{\lambda t} - 1 \quad (5)$$

Despejando t de (5) se tiene:

$$t = \frac{1}{\lambda} \ln \left[\frac{D}{N} + 1 \right] \quad (6)$$

que es la ecuación básica de la cual proviene la ecuación de la edad para el método de trazas de fisión.

Cuando el cociente inicial "átomos hijo/átomos padre" (D/N) es cero (i.e. cuando D=0) la edad es cero. Con el tiempo, el decaimiento de átomos radiactivos padre produce átomos radiogénicos hijo en el vidrio o mineral. Conociendo la constante de decaimiento de los átomos padre, solo se necesita medir la proporción de átomos padre e hijo D/N para calcular el tiempo, medido en años, que ha transcurrido desde que la roca se originó hasta el presente.

Para el método de trazas de fisión se considera que el número de trazas producidas en un mineral por la fisión espontánea del ^{238}U corresponde al número de átomos padre, N, que han decaído por el proceso de fisión lo cual a su vez es equivalente a D (átomos hijo). El número de átomos padre presentes en la muestra (N), se puede determinar a través de la relación de isótopos $I = ^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$ ($I = 7.252 \times 10^{-3}$) la cual es constante. El número de trazas producidas por la fisión inducida del ^{235}U en un reactor nuclear permite calcular con la relación anterior el contenido de ^{238}U .

Realizando las correspondientes transformaciones matemáticas debidas a los razonamientos anteriores y tomando en cuenta las variables involucradas en el proceso de irradiación en el reactor nuclear, la ecuación de la edad queda expresada:

$$t = \frac{1}{\lambda_D} \ln \left(1 + \frac{\rho_s}{\rho_i} \cdot \frac{\lambda_D \phi \sigma_I}{\lambda_F} \right) \quad (7)$$

donde :

ρ_s = Densidad de trazas espontánea de ^{238}U (trazas/cm²)

ρ_i = Densidad de trazas inducidas de ^{238}U (trazas/cm²)

ϕ = Flujo de neutrones térmicos (neutrones/cm²)

λ_D = Constante de decaimiento total de ^{238}U ($\lambda_\alpha \lambda_F$)
= 1.551×10^{-10} años⁻¹

λ_F = Constante de decaimiento por fisión espontánea de ^{238}U
= 7.03×10^{-10} años⁻¹ (Roberts et al, 1968)

σ = Sección eficaz de neutrones en la fisión inducida al ^{235}U
= 580×10^{-24} (cm²/átomos)

I = Cociente isotópico $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$ (7.252×10^{-3})

g = Factor geométrico ($g = 1$, en el método de la población-sustracción)

A = Edad (años)

ERROR ASOCIADO AL CÁLCULO DE LA EDAD

La fórmula para calcular el error de una edad obtenida por trazas de fisión es la llamada ecuación de la propagación estándar del error:

$$\sigma_a = \sqrt{\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2} \quad (8)$$

siendo:

$$\alpha = \frac{\sigma_s}{X_s}$$

$$\beta^2 = \frac{\sigma_I}{X_I}$$

$$\gamma^2 = (N_0)^{0.5}/N_0$$

donde:

X_e = número de trazas espontáneas contadas;

X_i = número de trazas inducidas contadas.

El análisis del error determinado por el método de la población-sustracción involucra el cálculo del error estándar convencional que es:

$$\sigma_s = \sqrt{\frac{\sum X_i^2 - \frac{(\sum X_i)^2}{n}}{n(n-1)}}$$

LAS TRAZAS DE FISIÓN EN VIDRIO

Los vidrios tienen una "estructura" aleatoria como se muestra en la figura 1.9 que sugiere cuatro reglas para su formación :

1. Cada ion de oxígeno deberá ser ligado con no más de dos cationes
2. El número de coordinación debe ser pequeño, cuatro o menos
3. Los poliedros de oxígeno comparten los vértices, nunca las aristas o caras.
4. Al menos tres esquinas de cada poliedro deberán ser compartidas.

A pesar de que los vidrios carecen de un arreglo atómico el trayecto de los fragmentos de fisión en su "estructura" desarrollan el mismo efecto que en los minerales (los cuales si tienen una estructura interna bien definida), por esta razón los conceptos son referidos indistintamente a vidrios y minerales.

Debido a su rápido enfriamiento los vidrios volcánicos (como las obsidias) se ven conformados con una gran cantidad de poros, los cuales son generados por la pérdida de elementos gaseosos al ser expuestos súbitamente a condiciones atmosféricas.

Las esquirlas de vidrio por otro lado resultan ser el material óptimo para esta aplicación puesto que una combinación de su tamaño y velocidad de enfriamiento que sufren al ser eyectadas por el conducto volcánico limitan el desarrollo de poros. La explosión violenta de material piroclástico en el conducto volcánico generado por la gran concentración de gases rompe las paredes de las burbujas cuya fragmentación da lugar a la formación de esquirlas.

donde:

X_0 = número de trazas espontáneas contadas;

X_i = número de trazas inducidas contadas.

El análisis del error determinado por el método de la población-sustracción involucra el cálculo del error estándar convencional que es:

$$\sigma_s = \sqrt{\frac{\sum X_i^2 - \frac{(\sum X_i)^2}{n}}{n(n-1)}}$$

LAS TRAZAS DE FISIÓN EN VIDRIO

Los vidrios tienen una "estructura" aleatoria como se muestra en la figura 1.9 que sugiere cuatro reglas para su formación :

1. Cada ion de oxígeno deberá ser ligado con no más de dos cationes
2. El número de coordinación debe ser pequeño, cuatro o menos
3. Los poliedros de oxígeno comparten los vértices, nunca las aristas o caras.
4. Al menos tres esquinas de cada poliedro deberán ser compartidas.

A pesar de que los vidrios carecen de un arreglo atómico el trayecto de los fragmentos de fisión en su "estructura" desarrollan el mismo efecto que en los minerales (los cuales si tienen una estructura interna bien definida), por esta razón los conceptos son referidos indistintamente a vidrios y minerales.

Debido a su rápido enfriamiento los vidrios volcánicos (como las obsidianas) se ven conformados con una gran cantidad de poros, los cuales son generados por la pérdida de elementos gaseosos al ser expuestos súbitamente a condiciones atmosféricas.

Las esquirlas de vidrio por otro lado resultan ser el material óptimo para esta aplicación puesto que una combinación de su tamaño y velocidad de enfriamiento que sufren al ser eyectadas por el conducto volcánico limitan el desarrollo de poros. La explosión violenta de material piroclástico en el conducto volcánico generado por la gran concentración de gases rompe las paredes de las burbujas cuya fragmentación da lugar a la formación de esquirlas.

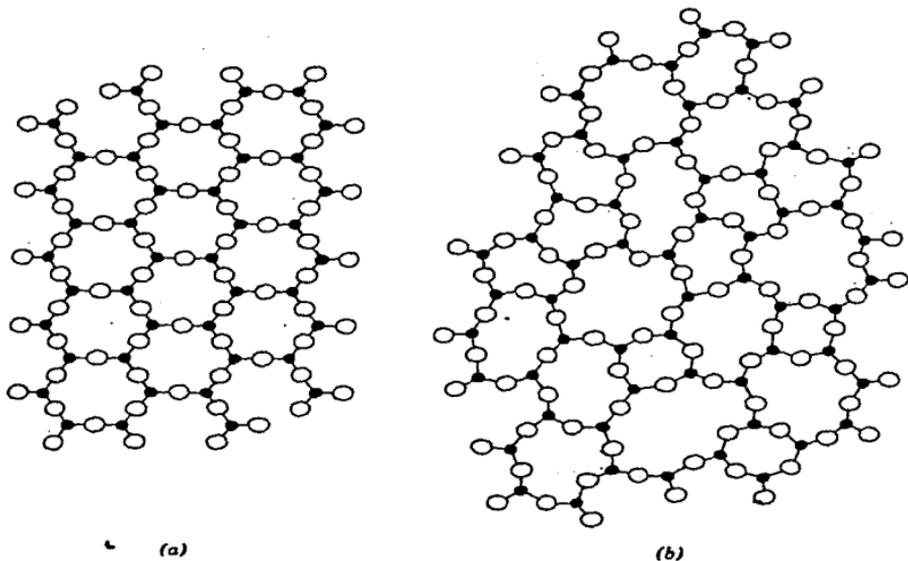


FIGURA 11.9. Comparación esquemática de (a) una estructura cristalina ordenada y (b) una red vítrea aleatoria de la misma composición. (Tomado de Kingery et al., 1960).

La génesis de estos materiales favorecen una alta concentración de uranio además de una distribución homogénea las cuales son condiciones fundamentales para la aplicación del método de fechado por trazas de fisión.

Sin embargo es importante mencionar que existen otros materiales vítreos cuyas condiciones de formación propician el desarrollo de enormes cantidades de poros (pómez) lo que impide la obtención de paredes significativamente gruesas para realizar el conteo.

MÉTODO DE LA POBLACIÓN-SUSTRACCIÓN

Existen varios métodos para determinar la edad mediante trazas de fisión entre los cuales se tienen :

1. Método del detector externo
2. Método de la población
3. Método de la población-sustracción

El **método del detector externo** se usa para fechar minerales cuya concentración de uranio no es homogénea y no puede ser usado para fechar vidrios, porque los vidrios y el material usado como detector externo (muscovita) tienen diferente eficiencia de grabado, lo cual impide un conteo acertado en la estimación de trazas fósiles o inducidas (Naeser, 1989).

En cuanto al **método de la población** que en estudios anteriores se aplicaba para fechar vidrios ha caído en desuso debido a que en el desarrollo de su metodología se calientan los vidrios con objeto de borrar sus trazas espontáneas, lo cual afecta las características del material además de hacer difícil su manejo durante el proceso de montaje porque los vidrios se vuelven quebradizos (Naeser, 1989).

Por las razones descritas anteriormente se decidió emplear para el presente estudio el método de la población-sustracción que se describe a continuación.

El **método de la población-sustracción** (Naeser et al, 1980) consiste en separar el concentrado de esquilas en dos fracciones (ver figura 1.10) de las cuales una es irradiada en un reactor nuclear de investigación TRIGA MARK III tipo alberca, posteriormente ambas son montadas por separado en resina epóxica para ser sometidas a un ataque químico el cual debe realizarse al mismo tiempo para cuidar detalladamente y garantizar idénticas condiciones de grabado.

La parte final del método es el conteo de trazas con lo que obtenemos la densidad de trazas espontáneas (ρ_s) a partir de la muestra no irradiada y la densidad de trazas inducidas más espontáneas ($\rho_s + \rho_i$) de la muestra irradiada y ρ_i se obtiene de la diferencia $(\rho_s + \rho_i) - (\rho_s)$.

MÉTODO DE LA POBLACIÓN-SUSTRACCIÓN

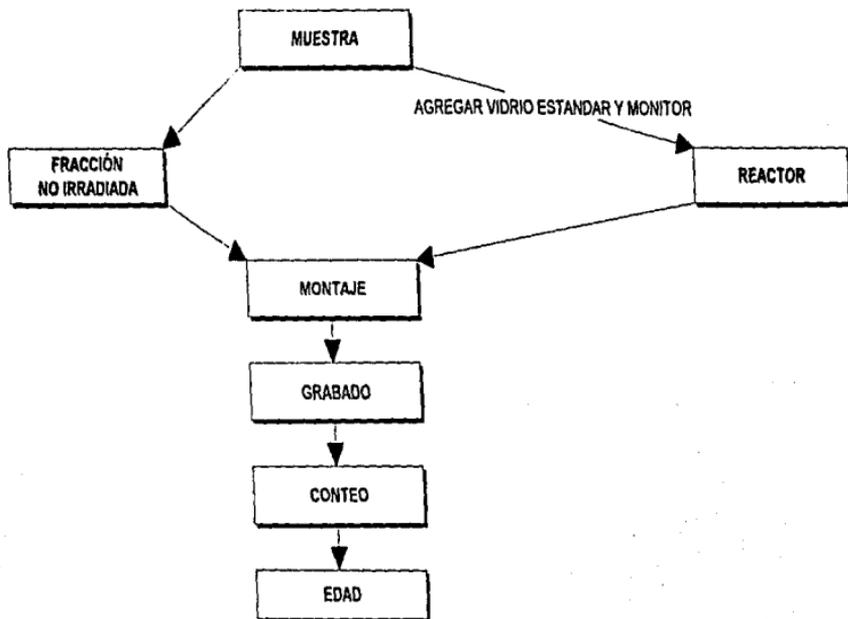


FIGURA II.10. Diagrama de preparación de muestras para su fechado por el método de la población-sustracción (Tomado de Crowley et. al., 1988).

Este método examina cada grano bajo el microscopio de esta manera la edad se obtiene de una gran número de fragmentos de vidrio (un mínimo de 50). En este caso la contaminación es monitoreada y si es necesario revisada por análisis de microsonda electrónica. Una composición química homogénea indica un solo evento eruptivo con una gran probabilidad de contenido de uranio uniforme.

APLICABILIDAD

El fechado por trazas de fisión tiene diversos campos de aplicación debido a la basta información que proporciona el análisis de las edades obtenidas. Los resultados que se obtienen mediante este método son referidos a edades de enfriamiento que no siempre corresponden a la edad de formación de la roca. De esta manera se han desarrollado estudios sobre la historia térmica cuyo análisis permite establecer la historia de levantamiento y sepultamiento en cuencas sedimentarias; así como estudios de tefracronología en secuencias volcánicas.

Por otro lado una interpretación detallada del fechado con trazas de fisión permite ubicar anomalías paleotermales asociadas a yacimientos minerales así como yacimientos petroleros asociando temperaturas favorables para la generación de hidrocarburos (ventana del petróleo).

Además el método permite la obtención de edades reales de formación de la roca; para lo cual se han desarrollado técnicas que permiten identificar cuando la edad obtenida es menor que la edad de formación y métodos de corrección cuya aplicación garantiza la obtención de una edad real.

Respecto al fechado en esquiras de vidrio el método se aplica con frecuencia en estudios del Cuaternario especialmente en los depósitos piroclástico de cenizas de calda. El desarrollo de la tefracronología (Naser and others, 1981 ; Westgate and Naser, 1985 ; Naser and Naser, 1988) ha ayudado a establecer la secuencia eruptiva de centros volcánicos y a fechar estratos ofreciendo de esta manera una de las líneas de investigación más útiles en geología.

Además el método resulta una excelente opción para fechar minerales y vidrios naturales o sintéticos de edades jóvenes en estudios arqueológicos que permiten inferir lugares de procedencia o técnicas desarrolladas en la elaboración de dichos materiales en los diferentes períodos culturales.

El método de trazas de fisión ofrece algunas ventajas sobre otros métodos radiométricos de fechado; así por ejemplo para fechar estratos de tefra los métodos de K-Ar, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ y ^{14}C debido a sus procedimientos y metodología no separan algunas partículas contaminantes (en el fechado convencional de K-Ar, por ejemplo, comúnmente es necesario un análisis de roca total) que pueden presentarse durante la erupción, depositación o ser introducidas por retrabajo posterior o por actividad biológica en los depósitos de tefra; en este sentido, el fechado por trazas de fisión es un método muy específico en el cual los granos

son individualmente analizados y contados, lo que facilita el reconocimiento y permite la eliminación de partículas contaminantes.

De acuerdo a los fundamentos que sustentan el método de fechado por trazas de fisión pueden obtenerse edades para todo el registro geológico utilizando diferentes materiales (minerales y vidrios) como muestras de estudio aplicando técnicas diferentes para cada caso; sin embargo este método también tiene sus limitaciones en tanto que solo se pueden fechar exitosamente apatitas, zircones y vidrios y de acuerdo a las características de formación de los diversos tipos de roca estos minerales quedan restringidos a ambientes geológicos muy específicos.

ESQUIRLAS DE VIDRIO

Las esquirlas de vidrio consisten en delgadas paredes de dos o más burbujas desarrolladas por el carácter del magma silíceo que se rompen al ser eyectadas. Existen diferentes formas y tamaños de acuerdo a su ambiente de formación.

TIPOS DE ESQUIRLAS

Hay principalmente tres tipos: (1) formas de luna o de cuchara unidas por sus caras convexas de tal manera que en conjunto tienen forma de "Y" (en sección basal) y representan el remanente de la unión de tres burbujas; (2) forma de platos unidos por sus caras convexas; y (3) fragmentos pumíticos pequeños con estructura celular o fibrosa compuesta de cavidades circulares o elongadas de paredes vitreas; los tipos (1) y (2) son comúnmente llamadas esquirlas de paredes de burbujas y el tipo (3) se conoce como esquirlas pumíticas. El tamaño de estos fragmentos tiene un rango de 15μ a 500μ .

Las esquirlas pumíticas se desarrollan de magmas riolíticos de alta viscosidad con temperaturas menores a 850°C mientras que las esquirlas de paredes de burbuja se forman en magmas riolíticos de baja viscosidad a temperaturas mayores a 850°C (Izett, 1981). A continuación se describe el ambiente de formación de las esquirlas de paredes de burbuja.

AMBIENTE DE FORMACIÓN

Las esquirlas de vidrio se acumulan en los depósitos de caída formados a partir de explosiones magmáticas ocasionadas por erupciones piroclásticas consideradas dentro de los procesos volcánicos primarios. Estos depósitos se originan de la fragmentación del magma y la roca por la actividad volcánica explosiva.

Los depósitos de caída se forman una vez que el material magmático ha sido explosivamente eyectado por el conducto volcánico, produciendo una columna eruptiva formada por tefra y gas que se eleva a la alta atmósfera. La geometría y tamaño del depósito refleja las dimensiones de la columna eruptiva y la velocidad y dirección de los vientos al momento de la emisión (Walker, 1973b ; Wilson et al, 1978). A medida que la pluma se expande los piroclastos caen por la influencia de la gravedad a distancias variables dominados por la intensidad y dirección del viento dependiendo de su tamaño y densidad.

Los fragmentos mayores son lanzados a gran velocidad sin que el viento influya en su trayectoria; otros fragmentos de grano fino se generan por elutriación en la cima de los flujos piroclásticos conformando nubes ardientes que dan origen a depósitos de caída; dicho proceso puede tener un volumen y una dispersión comparable con la erupciones columnares.

Los depósitos de caída son secuencias estratificadas que localmente mantienen espesores uniformes. En general los depósitos piroclásticos son mal clasificados sin embargo los depósitos de cenizas de caída son relativamente bien clasificados debido a la selección que se lleva a cabo durante su transporte. Algunas veces muestran estratificación laminar que depende del comportamiento de la columna eruptiva, en cambio su depósito nunca permite la formación de estratificación cruzada o discordancias.

IV

MUESTRAS COLECTADAS

El presente trabajo se desarrolló en tres zonas donde se ubicaron cuatro muestras para su fechado. La primera de ellas denominada "**LA-3P-1**" se ubica en la Delegación Álvaro Obregón en el Distrito Federal, la segunda fue llamada "**HUA**" y se encuentra en la región de Huaniqueo en el estado de Michoacán, en tanto que las muestras "**AGS**" y "**ZOY**" fueron colectadas en la Ciudad de Aguascalientes.

LOCALIZACIÓN

MUESTRA LA-3P-1

Se ubica en la Delagación Álvaro Obregón del Distrito Federal (Fig. IV.1). La muestra LA-3P-1 fue colectada en la Colonia "*Las Águilas, Ampliación Tercer Parque*" cuyo acceso se puede realizar por el Periférico (Fig. IV.2) continuar por la Avenida Centenario hasta la Calzada de las Águilas para llegar al andador 12 que nos conduce a un arroyo donde se encuentra el afloramiento muestreado.

MUESTRA HUA

Fue colectada sobre el afloramiento ubicado al pie de la carretera número 15 México-Guadalajara pasando la desviación a Morelia en el poblado de Huaniqueo (fig. IV.3.).

MUESTRA AGS

Fue colectada en la Ciudad de Aguascalientes en un pequeño afloramiento ubicado al costado sur del circuito exterior justo en la curva que se presenta al sureste del mapa de la Ciudad (figura IV.4.).

MUESTRA ZOY

Fue colectada en la Ciudad de Aguascalientes a un costado de la Falla Oriental de Aguascalientes a medio kilómetro del cruce con el circuito exterior en el sur de la Ciudad.

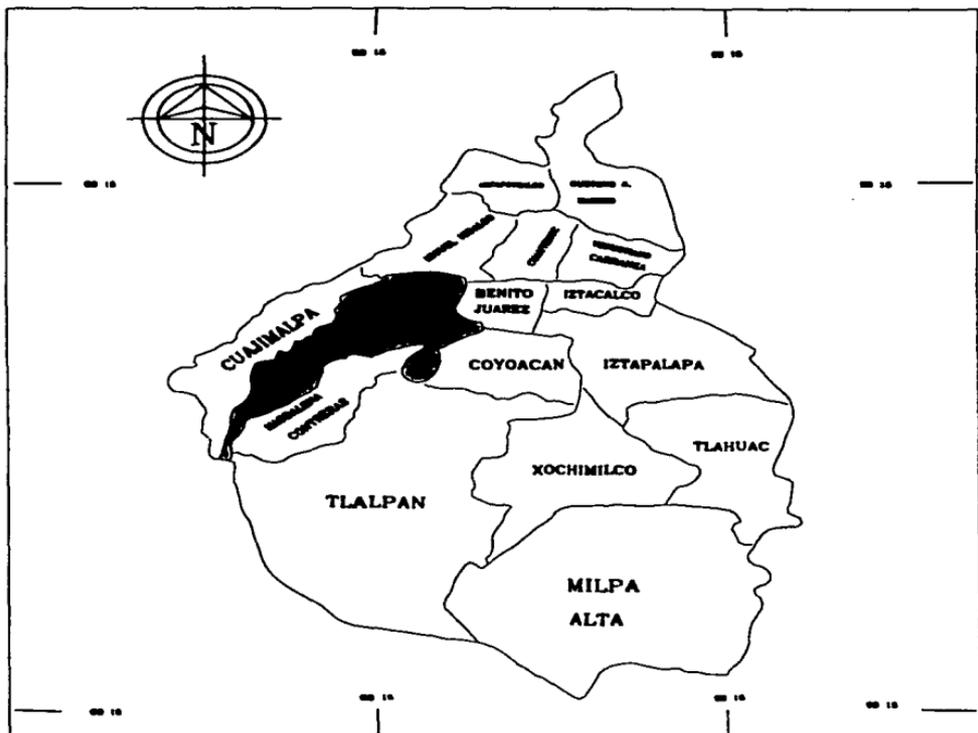


FIGURA IV.1 PLANO DE LOCALIZACION : DELEGACION ALVARO OBREGON
FUENTE : TESIS PROFESIONAL ROMERO ESTRADA, 1997.

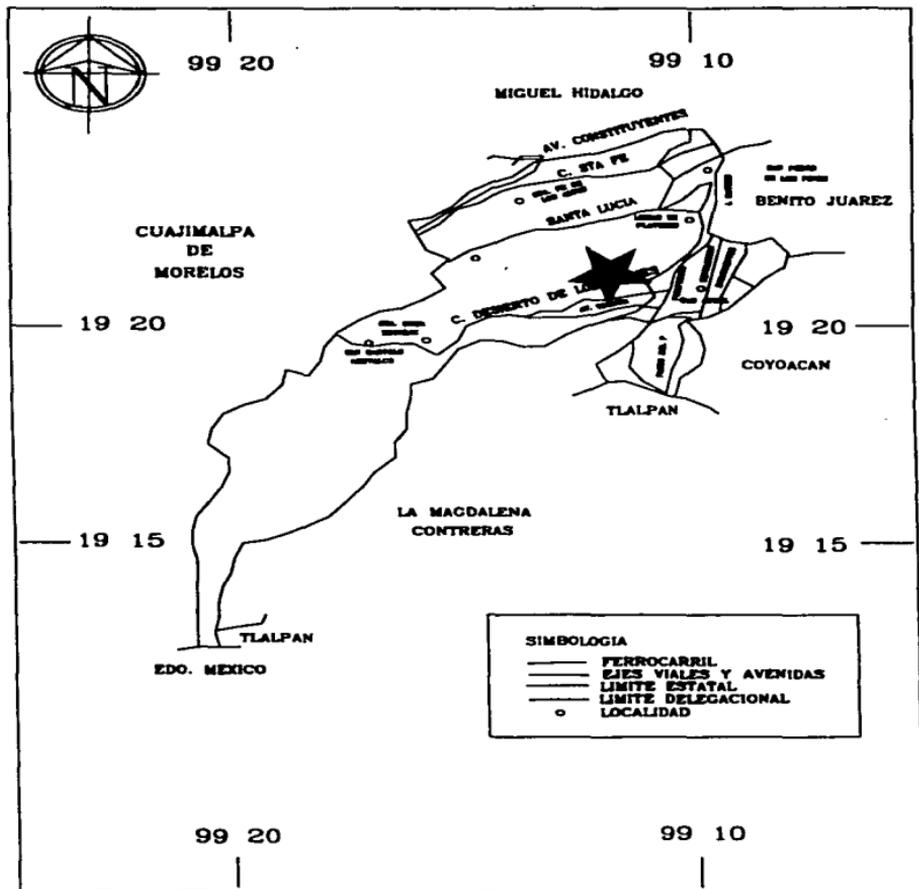


FIGURA IV.2 VIAS DE COMUNICACION DELEGACION ALVARO OBREGON
Fuente : Tesis Profesional, Romero Estrada, 1997

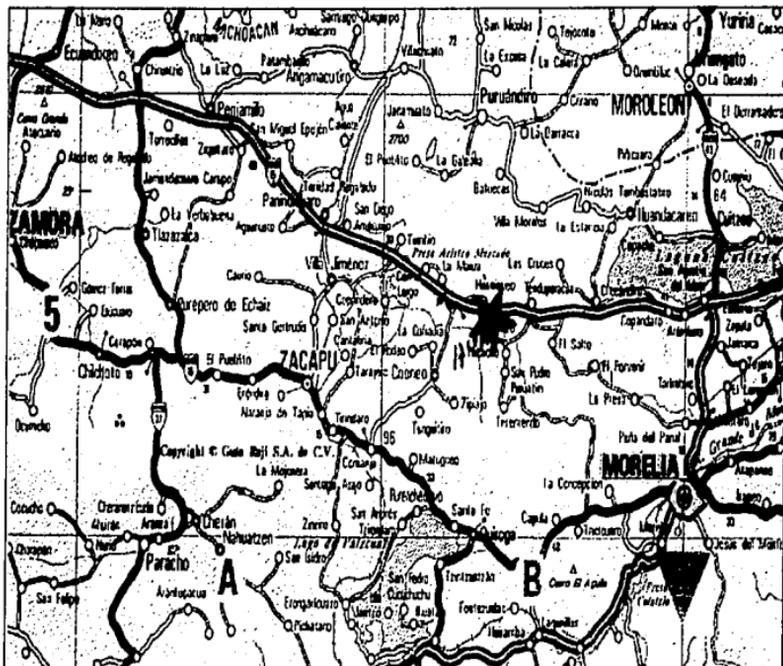


FIGURA IV.3. Plano de localización. Huaniqueo, Mich.
 Fuente: Por las carreteras de México. Guía Roji. 1995-96

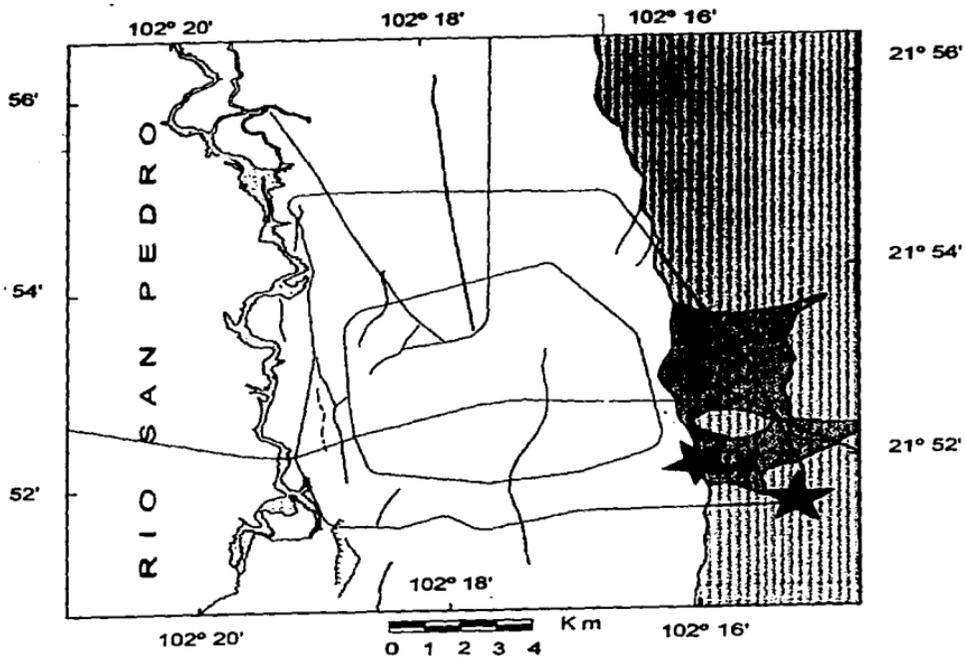


FIGURA IV.4. Plano de localización. Ciudad de Aguascalientes. Ags.
Fuente: Lermo et al. 1994

Las coordenadas geográficas de los sitios de colección de muestras se presentan en la tabla IV.1.

MUESTRA (LOCALIDAD)	LATITUD NORTE	LONGITUD OESTE
LA-3P-1 (Alvaro Obregón)	19° 21' 13"	99° 13' 25"
HUA (Huaniqueo)	19° 51' 44"	101° 30' 17"
AGS (Aguascalientes)	21° 51' 33"	102° 15' 13"
ZOY (Aguascalientes)	21° 51' 54"	102° 16' 03"

TABLA IV.1. Coordenadas geográficas de la ubicación de las muestras colectadas

MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

La primera zona de estudio (correspondiente a la muestra La-3P-1) está ubicada en la provincia geológica de la Faja Volcánica Trans-Mexicana (FVTM) que representa la unidad volcánica más importante de México (Ortega Gutiérrez, et. al., 1992) como se ilustra en la figura IV.5.

Esta faja cruza de este a oeste la República Mexicana entre los paralelos 19° y 21°, desde las costas de Colima y Nayarit hasta el Estado de Veracruz. Tiene una longitud de aproximadamente 1000 kilómetros con una amplitud variable de 50 a 250 kilómetros y está formada por una gran variedad de rocas de tipo calccalcalino cuya edad abarca del Cenozoico Superior al Reciente. Dentro de la FVTM hay un importante número de aparatos volcánicos activos, señalados por distintos autores. Mooser (1958) presenta una lista de trace volcánicos que han tenido una actividad histórica. Morán (1984) hace mención de los principales aparatos volcánicos de la FVTM tanto de los volcanes activos, como de algunos otros que no lo están pero que son importantes. Nelson (1990) hace una mención de los volcanes activos de México con base en su propio trabajo. El Centro Nacional para la Prevención de Desastres (CENAPRED, 1994) publica un folleto acerca de los volcanes, debido a la reciente actividad del Popocatepetl, en el cual menciona aquellos volcanes que han desarrollado algún tipo de actividad eruptiva en tiempos históricos (Cervantes y Molinero, 1995).

El volcanismo de la FVTM se debe a la interacción de la Placa de Cocos con la Placa Norteamericana (Demant, 1978). Al subducirse la Placa de Cocos bajo la

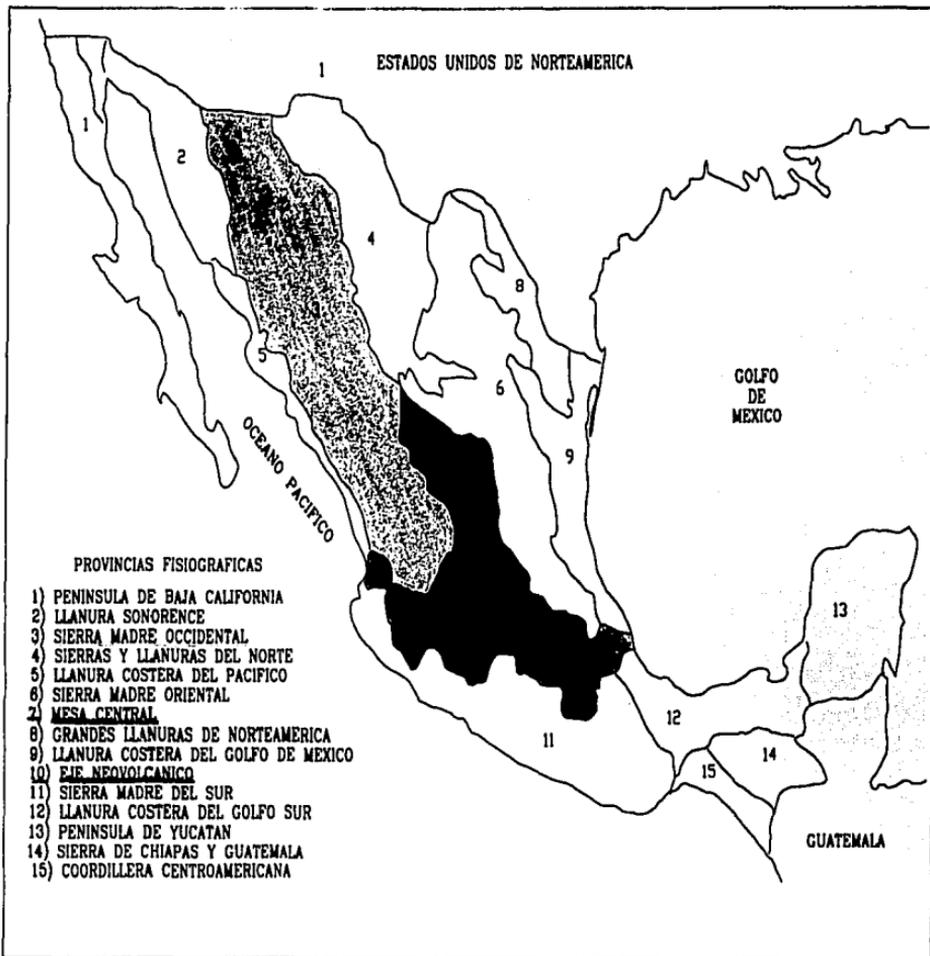


FIGURA IV.5 PROVINCIAS FISIGRAFICAS DE MEXICO (INEGI, 1981 H. QUINONES)

Placa Norteamericana se dan condiciones de presión y temperatura que producen tanto la fusión parcial de la corteza oceánica como la fusión parcial de la corteza continental. El magma puede ascender directamente desde la zona de fusión parcial de la corteza hasta la superficie (como es el caso de la Sierra de Chichinautzin) o llegar a cámaras magmáticas intermedias y de ahí salir a la superficie (como el caso del Popocatepetl) (Cervantes y Molinero, 1995).

La Cuenca de México se encuentra en la parte central de la FVTM entre los 98° 15' y 99° 30' W y los 19° 00' y 20° 00' N. Cuenta con una longitud de aproximadamente 110 kilómetros (N-S) y una amplitud de 80 kilómetros (E-W). La altitud oscila entre 2240 a 2390 m.s.n.m. Hacia su parte centro-oriental se encuentra la Sierra Chichinautzin, que está constituida por productos piroclásticos y derrames lávicos emitidos por una gran cantidad de centros volcánicos de composición andesítico-basáltica (Lugo, 1984). La estratigrafía general del área está compuesta por tres períodos principales de actividad volcánica (Delgado y Martín del Pozo, 1993). Al oeste se tiene la Sierra de Las Cruces compuesta por volcanes poligenéticos de gran tamaño de composición andesítico-dacítica, al suroeste se encuentra el complejo volcánico del Ajusco, de composición andesítico-dacítica, y al sur el Grupo Chichinautzin que presenta un volcanismo monogenético de composición basáltica (Cervantes y Molinero, 1995).

La localidad de Huaniqueo (referida para la muestra HUA) se encuentra fisiográficamente en la Faja Volcánica Trans-Mexicana descrita anteriormente para la muestra LA-3P-1.

El Estado de Aguascalientes (referido para la muestras AGS y ZOY) pertenece a dos Provincias Fisiográficas de tal manera que la porción occidental corresponde a la Provincia Fisiográfica de la Sierra Madre Occidental en tanto la región este esta alojada en la Provincia Fisiográfica de la Mesa Central (Fig. IV.5.).

Desde el punto de vista geomorfológico es contrastante la topografía situada al oeste del Valle de Aguascalientes, con elevaciones superiores a los 2,800 msnm (Sierra Fría), en comparación con los lomeríos situados al este del valle donde las elevaciones difícilmente rebasan los 2050 msnm. El drenaje también marca un contraste, puesto que mientras la zona occidental presenta un patrón dendrítico e irregular, la región este muestra un desarrollo paralelo en su red fluvial siguiendo una orientación preferencial N30E.

Esta orientación paralela del drenaje comunmente se interpreta como heredada de un control estructural responsable de fracturas que siguen esa orientación. Por supuesto que el rasgo geomorfológico principal lo constituye la Falla Oriental de Aguascalientes separando las dos regiones de lomas y valles de manera tajante.

GEOLOGÍA LOCAL

DELEGACIÓN ÁLVARO OBREGÓN

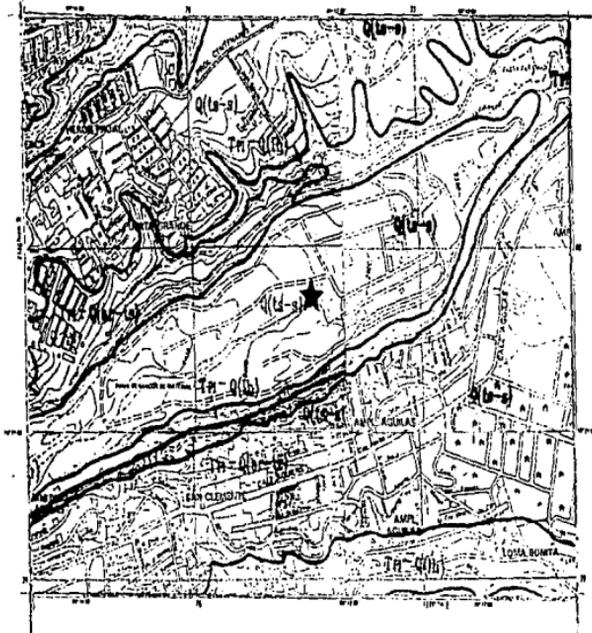
La conformación geológica de la Delegación Alvaro Obregón corresponde a un conjunto de rocas volcánicas y epiclásticas cenozoicas descritas como ocho conjuntos litológicos (Campos et al., 1994) como se ilustra en la figura IV.6. La más antigua corresponde a rocas andesíticas y dacitas del Mioceno, T_M (A), las cuales están expuestas en la porción suroeste de la Delegación; tienen una expresión morfológica serrana y forman parte del conjunto morfoestructural de la Sierra de las Cruces.

El segundo conjunto litológico de edad Terciario Plioceno-Cuaternario, T_{PI-Q} (op) consiste en una secuencia piroclástica y epiclástica compuesta principalmente por intercalaciones de conglomerados, fanglomerados y brechas de fragmentos volcánicos con matriz areno-arcillosa, que presentan cohesión pero están pobremente cementados. A continuación se presenta una intercalación de material volcánico y volcanosedimentario de composición silícica de arenas pumíticas de tamaños variables y en espesores que no sobrepasan los 2 m, su edad es Terciario Plioceno-Cuaternario, T_{PI-Q} (ar-ts).

La cuarta unidad con una edad Terciario Plioceno-Cuaternario, T_{PI-Q} (lh) está formada por una acumulación caótica de fragmentos de roca volcánica de composición andesítica y de pómez cuyos diámetros van desde el tamaño de arena hasta bloques de más de medio metro; por lo general los fragmentos tienen bordes angulosos y formas variadas; los clastos se encuentran inmersos en una matriz arcillo-tobácea con diversos grados de compactación. La siguiente secuencia de edad Terciario Plioceno-Cuaternario, T_{PI-Q} (ts-s) representa la unidad más extendida en la delegación y está constituida por una acumulación de tobas silícicas emitidas en varios eventos eruptivos espaciados en el tiempo, de tal forma que cada paquete tobáceo presenta desarrollo edáfico; así después de cada emisión se formó un horizonte de suelo, tiene un espesor variable que puede medir hasta 10 m. La muestra LA-3P-1 fué tomada de esta secuencia.

En el sureste de la Delegación se extiende una gran loza rocosa, Q_b , conformada por basáltos y andesitas basálticas que aparentemente fluyeron del volcán Xitle. Estos derrames basálticos recientes (edad Cuaternario) aparecen intercalados con algunos horizontes de tezontle y presentan y presentan estructuras primarias como túneles de lava y chimeneas de explosión.

En el lecho de algunos ríos y en las desembocaduras de las cañadas se reconocieron depósitos de materiales fluviales del Cuaternario, Q_{al} , consistentes en arenas y grabas de rocas ígneas andesíticas y dacíticas y fragmentos piroclásticos de pómez. La unidad está dispuesta conforme a cintas fluviales. Las partes más bajas de la Delegación están cubiertas por acumulaciones lacustres, Q_{la} , como aquellas que se extienden en el centro de la Cuenca de México.



LEYENDA

UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS

Q(la-s)

TOBAS ALTERADAS, HORIZONTES DE
POMEZ Y SUELOS ARCILLOSOS

**Tr-Q
(h)**

LAHARES CONSISTEN EN UNA ACUMULACIÓN CAÓTICA
DE FRAGMENTOS DE DIVERSOS TAMAÑOS EN UNA
MATRIZ TOBACCA Y DE ARCILLAS

**Tr-Q
(ar-s)**

INTERCALACIÓN DE DEPÓSITOS VOLCÁNICOS Y
VOLCANOSEDIMENTARIOS COMPUESTOS POR
ARENAS PLÁNCICAS, TOBAS ARENOSAS Y ARCILLOSAS

FIGURA IV.6.

GEOLOGÍA LOCAL EN LA ZONA DE LA DELEGACIÓN
ALVARO OBREGON (muestra LA-3P-1)

ESCALA 1:10,000

TOMADO DE CAMPOS et al (1994)

HUANIQUEO

Las unidades estratigráficas de los alrededores del poblado de Huaniqueo se presentan en la figura IV.7 que corresponde a una región de la carta Morelia escala 1:250,000, afloran diversos tipos de rocas volcánicas y sedimentarias de edad Terciaria y Cuaternaria.

AGUASCALIENTES

La ciudad y el área circunvecina de Aguascalientes se encuentra ubicada sobre los sedimentos aluviales y rocas volcánicas afectadas por fallamientos normales asociados al desarrollo del Graben de Aguascalientes (Lermo y Nieto, 1994).

El área urbana de la ciudad de Aguascalientes traslapa el límite oriente del graben. Este límite se conoce como Falla Oriental de Aguascalientes (FOA). Dicha falla separa burdamente los lomeríos del bloque oriental del graben de la región senciblemente más plana correspondiente al valle donde se localiza la mayor parte del área urbana (Lermo y Nieto, Op. Cit.). En la ciudad de Aguascalientes afloran cuatro depósitos litológicos (Fig. IV.8).

Riolita Ojo Caliente

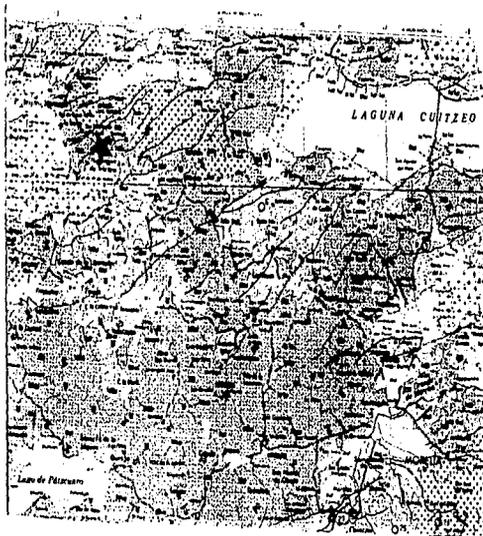
Al oriente de la Falla (FOA) se localiza la unidad estratigráfica más antigua corresponde a un paquete ignimbritico (referido informalmente por Hernández Láscars (1981), como Riolita Ojo Caliente) de pequeños afloramientos situados alrededor de la loma donde esta situado el Balneario de Ojo Caliente. Dicha ignimbrita presenta colores rosados y pardos en superficie fresca y de coloraciones cremosas en superficie intemperizada.

La roca esta conformada por cuarzo, feldespatos potásicos, plagioclasa y fragmentos líticos en una matriz granular. De acuerdo a los análisis químicos reportados por Hernández Láscars (Op. Cit.) es de composición riolítica (73% y 75% de SiO₂) y la apariencia morfológica del afloramiento pertenece a las manifestaciones ignimbriticas oligo-miocénicas de la Sierra Madre Oriental y de la Mesa Central.

El único afloramiento accesible a esta unidad se puede observar en la Calzada Revolución al norte del Balneario. Tiene una distribución irregular en el área, formando desniveles muy pronunciados. Solo un comportamiento estructural anómalo podría explicar el afloramiento tan reducido y su distribución tan irregular en el subsuelo.

Toba zoyatal

Es una secuencia de sedimentos clásticos aluviales, fluviales y de piedemonte, intercalados con tobas de caída (air fall tuff), de composición riolítica (70% de SiO₂; Hernández Láscars, Op. Cit.) que descansa discordantemente sobre el paquete ignimbritico. Esta toba presenta una textura vitroclástica y sus



LEYENDA

UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS

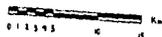
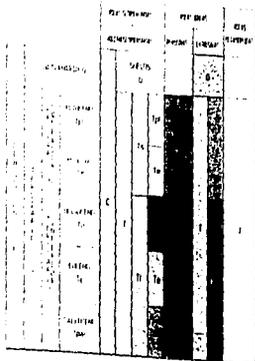


FIGURA IV.7.

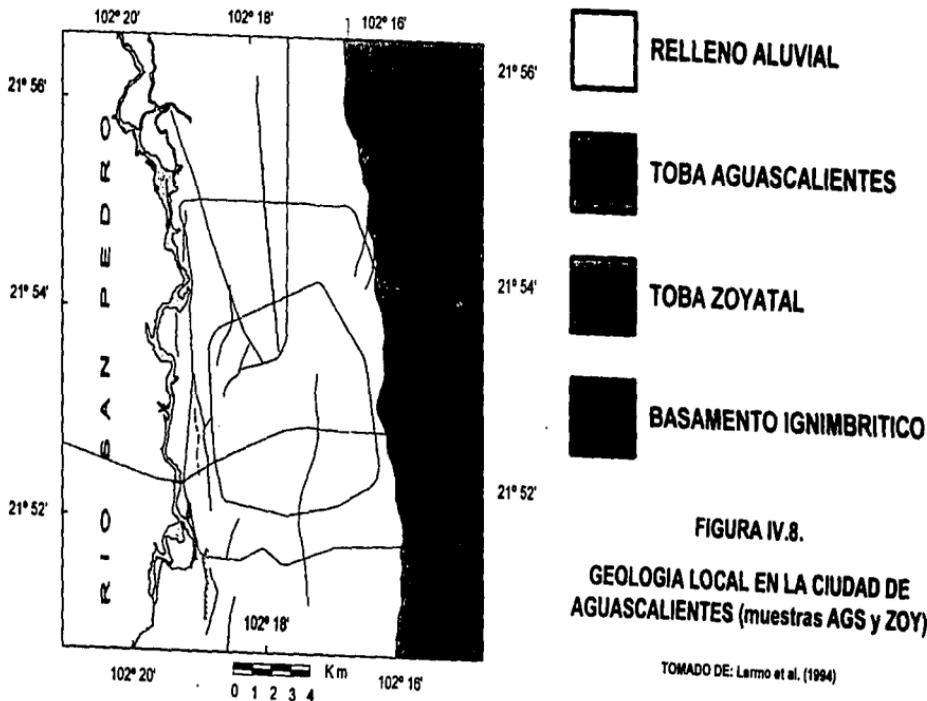
GEOLOGIA LOCAL EN EL POBLADO DE HUANIQUEO
(muestra HUA)

ESCALA: 1:250,000

TONAJEO DE HOJA MORELIA, INEGI

LEYENDA

UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS



componentes primarios son cuarzo, plagioclasas, fragmentos líticos y fragmentos vítreos o espículas de vidrio (glass shards). Su edad se estima con base en la presencia de fauna de vertebrados de edad Miocénica Media (i.e. aprox. 15 Ma) presentes en los conglomerados (Mooser, 1974).

La distribución de esta unidad está restringida a la parte inferior de los cauces de los arroyos que bajan de las lomas hacia el oriente de la ciudad hasta su contacto con la Falla Oriental de Aguascalientes.

Su contacto con la ignimbrita es inferido alrededor de la loma de Ojo Caliente donde aflora dicho Paquete Ingimbrítico, no obstante se ha confirmado con perforaciones realizadas alrededor del lugar. Su contacto superior es difícil de identificar por dos razones:

- 1). El desarrollo urbano sobre esta unidad y la unidad suprayacente (Toba Aguascalientes) han cubierto la mayor parte de estos afloramientos,
- 2). El contacto discordante entre estas dos unidades se refiere a paquetes litológicos muy similares (i.e. conglomerados aluvionales), haciendo su distinción en el campo sumamente difícil.

Sin embargo algunos rasgos morfológicos observados con fotografías aéreas permiten ubicar dicho contacto como se dedujo en estudios realizados por Nieto y Lermo (Op. Cit.). De tal manera que dentro del área es posible ubicarlo sobre el Arroyo El Cedazo a un costado de la Unidad Habitacional Infonavit Morelos, justo al oeste de la calle Mariano Hidalgo.

Toba Aguascalientes

Esta unidad consiste de sedimentos clásticos aluviales de mediana o pobremente clasificados intercalados con horizontes de tobas con textura vitroclástica, cuyos minerales esenciales son cuarzo, feldespatos potásico, oligoclasa, fragmentos líticos y espículas de vidrio. La composición de esta roca es riolítica como se deduce del análisis químico reportado por Hernández Láscaros (Op. Cit), con un porcentaje de 74.5% de SiO_2 . Lermo y Nieto (Op. Cit.) encontraron la presencia de cuarzo beta, indicador de un rápido enfriamiento (desde temperaturas mayores a 574 °C hasta temperatura ambiente).

En el afloramiento la roca presenta una coloración café grisacea en superficie intemperizada y de color cremoso en superficie fresca. La matriz presenta cementante de carbonato de calcio ($CaCO_3$), posiblemente relacionado al mismo proceso que deposita el caliche sobre los aluviones cuaternarios.

Su contacto inferior es sensiblemente horizontal y discordante sobre la Toba Zoyatal. Su espesor reportado en los arroyos es de 15 a 20 metros, aunque sus intercalaciones con los sedimentos de piedemonte, aluviones y coluviones no permite establecer un espesor definitivo. Sin embargo tomando en cuenta las

cotas más altas en las que se encuentra esta unidad se puede estimar que es de por lo menos 100 metros. En esta unidad se ha reportado una rica fauna del Pleistoceno Superior (i.e. <0.5 M.a. Montellanos-Ballesteros, 1990).

Relleno de Aluvión

Esta unidad es la más ampliamente extendida en el área y muy posiblemente este interestratificada con la Toba Aguascalientes, haciendo en ocasiones muy difícil distinguirla de los productos piroclásticos de esta unidad. Consiste de los productos aluvionales y depósitos de piedemonte que rellenan la porción central del graben. Su espesor total no se conoce pero en el centro del valle los espesores sumados de esta unidad y de las Tobas Zoyatal y Aguascalientes rebasa en algunos casos los 400 m. Los registros y descripciones de algunos pozos sugiere que el espesor total medido corresponde casi exclusivamente a estos aluviones.

En los flancos del valle sobre todo donde el terreno es más impermeable, es frecuente encontrar el desarrollo de caliche en forma de costras que en algunos casos puede llegar a medir más de 10 cm. En estos lugares el desarrollo de suelo es prácticamente nulo y solo se llega a desarrollar el "horizonte C". El desarrollo de suelo sin embargo es bastante bueno en el centro del graben, lo cual esta bien ejemplificado por los abundantes cultivos que a su vez es indicativo de una edad y permanencia más prolongada de esta unidad en el centro del valle.

METODOLOGÍA

PRUEBAS PRELIMINARES

El fechamiento por el método de trazas de fisión en esquirlas de vidrio requiere la realización de pruebas preliminares en las muestras a fechar a fin de valorar sus características y estimar la posible aplicación del método. Para ello se desarrollan inspecciones en dos procedimientos que se describen a continuación.

Láminas Delgadas. Es necesario hacer una lámina delgada de cada muestra para su observación microscópica con objeto de comprobar la existencia de material vítreo y considerar su porcentaje. Debido al grado mínimo de compactación y a la fácil disgregación de este material (tobas de calda) su procesamiento requiere materiales y cuidados esenciales en su elaboración. (Descripción breve)

Identificación de Esquirlas. Una vez analizada la lámina delgada del material elegido es necesario saber si los constituyentes vítreos reúnen las características esenciales para ser fechados. En este caso se requiere que dichos componentes sean esquirlas de vidrio. Para ello es necesario procesar una pequeña porción de la muestra y de observarla al microscopio.

Este proceso requiere una disgregación de la muestra con la ayuda de un mortero para después lavarla y secarla a temperatura ambiente, puede ser necesario el uso de ácido clorhídrico o fluorhídrico para disolver el cementante o los fragmentos adheridos a las paredes de las esquirlas empleando concentraciones muy bajas (5%) para evitar un posible daño a los fragmentos de interés.

Se valoran los resultados obtenidos y se decide si la muestra es óptima para su fechado o bien si no reúne las características requeridas. Cuando los componentes vítreos resulten ser pómez el método no puede ser aplicado debido a la gran porosidad de este material que dificulta la observación de trazas de fisión en su superficie. Si las características de la muestra resultan aceptables para su fechado se inicia el proceso descrito a continuación.

PROCESADO DE LAS MUESTRAS

El desarrollo del método de fechamiento por trazas de fisión requiere una separación mineralógica cuyo objetivo es concentrar una muestra de esquirlas de vidrio a partir de la roca colectada en campo, para lo cual se emplean algunas técnicas de separación y desarrollo de procesos físicos químicos y mecánicos basados en las propiedades de densidad, atracción magnética y afinidad química de los minerales.

SEPARACIÓN MINERALÓGICA

Este proceso pretende la obtención de un concentrado de esquistas de vidrio a partir de muestras obtenidas en campo y consiste en varias etapas a desarrollar, cada una de las cuales requiere precisión en su preparación e intervalos de tiempo adecuados para llevarse a cabo que van desde minutos hasta semanas de trabajo y consiste en disgregar, separar y seleccionar los vidrios para su fechado. A continuación se describen las etapas de trabajo seguidas en el laboratorio; este procedimiento se esquematiza en la figura V.1.

- 1) *Disgregación.* El proceso se inicia al someter la roca en ácido con el fin de disgregar el material. Se emplea ácido fluorhídrico HF o clorhídrico HCl a concentraciones muy bajas (1% o 2%) dependiendo de la resistencia de la roca durante intervalos de tiempo de 1 minuto a fin de estimar una nueva exposición en el ácido o la continuación del proceso. Se inicia con 1 kg de muestra (aproximadamente).
- 2) *Trituración y molienda.* Una vez disgregada la roca se coloca en un mortero de fierro y se tritura hasta obtener fragmentos pequeños (menores a 2 mm) destinados al mortero de porcelana para continuar con el proceso de molienda el cual se realiza lentamente y sin aplicar tanta fuerza para evitar que las esquistas se fracturen, de esta manera preservamos un mayor volumen y consecuentemente una mayor superficie en los vidrios.
- 3) *Tamizado.* Para concentrar las partículas del tamaño deseado es necesario tamizar la muestra, en este caso se obtuvo una fracción de -30+40 mallas equivalente a un rango de 250μ a 500μ (Brent et al, 1992).
- 4) *Lavado y Secado.* Con la muestra en la malla 40 se coloca el tamiz bajo el chorro de agua para quitar las arcillas adheridas a los fragmentos mayores; posteriormente se vierte en una solución de HCl al 2% para eliminar el CaCO_3 presente en las paredes de las esquistas lo cual nos permite reconocerlas con mayor facilidad al momento de la selección; para rocas cuyo cementante no sea CaCO_3 , se aplica una operación similar pero en este caso se emplea HF al 2% durante y minuto; posteriormente la muestra es colocada en un embudo forrado con papel filtro para que escurra la mayor cantidad de agua, al cabo de 30 minutos se prepara una charola con una cama de papel en donde se extiende la muestra y se deja el tiempo necesario para su total secado (1 o 2 días). El secado se realiza a temperatura ambiente, este aspecto es fundamental para evitar el borrado de trazas que pudiera ocasionarse a temperaturas mayores.
- 5) *Imán.* Con el fin de quitar los minerales magnéticos presentes en la muestra, se procede a utilizar un imán que permita su fácil separación. Para ello se dispone del separador magnético cuya versatilidad nos permite usarlo como un simple imán de tal manera que colocamos una hoja de papel y se expone la muestra aproximando las partículas al campo magnético, al final del proceso obtenemos

SEPARACIÓN MINERALÓGICA

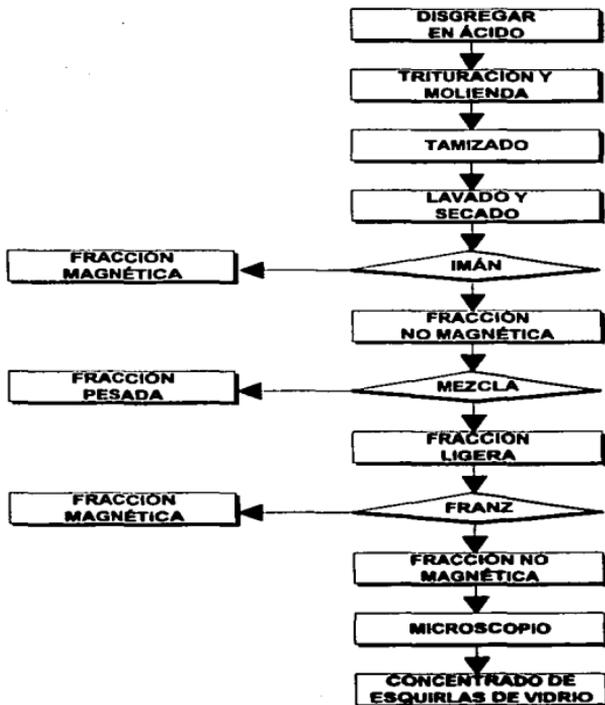


FIGURA V.1. Diagrama de las etapas desarrolladas en el laboratorio durante la separación mineralógica

una fracción magnética (adherida a la hoja de papel) y otra fracción no magnética.

- 6) *Separación por líquidos pesados.* Se prepara una mezcla de bromoformo y acetona con una densidad de 2.42 g/cm^3 , esta solución se vierte en un embudo de separación, se agrega la fracción no magnética y se agita con el fin de que las partículas queden embebidas en dicha preparación; al término de unos minutos se observa una clara separación por diferencia de densidades de tal manera que obtenemos parte de la muestra flotando en la mezcla (fracción ligera) y otra parte en la base del embudo (fracción pesada). Las esquirlas de vidrio se concentran en la fracción ligera.
- 7) *Separación Magnética.* Cuando la muestra esta perfectamente seca y ventilada en el extractor durante dos o tres días, se continua la separación magnética iniciada con el imán haciéndose pasar por el separador magnético a 0.2 Amperes; con objeto de quitar los minerales magnéticos presentes en la fracción ligera de tal manera que se obtienen dos fracciones una magnética y otra no magnética; este proceso se repite a 0.4 y a 0.6 Amperes haciendo pasar la fracción no magnética obtenida en la sesión previa.
- 8) *Separación Bajo el Microscopio.* Esta es la etapa final del la separación mineralógica y sin duda la que requiere de más tiempo. Se utiliza la fracción no magnética y consiste en seleccionar manualmente bajo el microscopio estereoscópico las esquirlas de vidrio, lo cual se lleva a cabo con la ayuda de un portaobjetos excavado donde se va recopilando el material elegido. Preferentemente las esquirlas de vidrio seleccionadas deben ser transparentes e incoloras. Se recomienda obtener un concentrado de esquirlas de vidrio de 0.25g debido a las pruebas y al riesgo de perder muestra durante todo el proceso.

APLICACIÓN DEL MÉTODO DE LA POBLACIÓN-SUSTRACCIÓN

La aplicación del método de la población-sustracción nos lleva al cumplimiento del objetivo esencial del presente trabajo, es decir la obtención de la edad para lo cual se desarrollan los pasos mostrados en la figura 1.10; el desarrollo del método involucra varias y diversas etapas de laboratorio sustentadas en conceptos de física nuclear, química y estadística.

El método de la población-sustracción inicia con una preparación de la muestra seleccionada donde se persigue conocer la concentración de uranio; posteriormente se crea un dispositivo que nos permita manipularla para encontrar los parámetros requeridos en el método de fechado; además establece una técnica para revelar las trazas, las cuales representan la parte esencial en la determinación de la edad y finalmente se cuantifican de manera sistemática estos rasgos que nos llevan a la obtención de resultados.

Para ello es necesario: (1) irradiar parte de la muestra (la mitad del concentrado de esquiras de vidrio) con una emisión de neutrones lentos, (2) montar los vidrios en un dispositivo que haga posible la cuantificación del área de los mismos, (3) someterlos a un proceso de grabado para revelar las trazas y (4) realizar un conteo de ellas a fin de obtener la densidad de trazas espontánea p_s y la densidad de trazas inducida p_i , usando el método del contador de puntos. (Amanjiy y Westgate, 1982).

Irradiación en el Reactor Nuclear.

Este proceso se lleva a cabo con el fin de provocar la fisión nuclear del ^{235}U mediante la emisión de neutrones lentos y consecuentemente la formación de trazas inducidas en los vidrios; éste se realiza en un reactor nuclear de investigación TRIGA MARK III tipo alberca. El sitio mas adecuado para esta irradiación es el Sistema de Irradiación Rotatorio para Cápsulas (SIRCA) (Oregel, Tesis profesional en preparación) debido a que los vidrios requieren flujos del orden de 10^{15} neutrones/cm²seg y el SIRCA cuyo flujo es de 10^{12} neutrones/cm²seg permite alcanzar dicho flujo si se exponen las muestras durante 1000 segundos. Esta irradiación se efectuó en las instalaciones del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ) ubicado en Salazar, Estado de México.

Contenedor y arreglo de las muestras. El contenedor es un dispositivo dentro del cual se colocan las muestras para su irradiación, estas tienen un arreglo definido que nos permita medir su posición (altura) dentro del recipiente. Se debe irradiar además de las muestras en estudio un estándar de edad conocida para comprobar los resultados obtenidos; en este caso se uso la muestra UT 462 correspondiente a una muestra de tefra de la localidad de Lake Tapps, U.S.A., cuya edad se ha calculado en 650,000 años (Shandhu y Westgate, 1992).

También deben colocarse en la cima y en la base del arreglo los vidrios corning glass que son los dosímetros, los cuales se cubren con muscovita (como detector externo) y se envuelven con plástico esterilizado. La finalidad de colocar los dosímetros en el arreglo es estimar el flujo de neutrones. En el presente estudio se usaron dosímetros de vidrio (corning glass) de 12 ppm.

Las esquirlas de vidrio se colocan en pequeños moldes y se sellan con parafilm para evitar cualquier contaminación o pérdida de la muestra. Estos moldes fueron fabricados con resina epóxica en el Laboratorio de Yacimientos Minerales de esta Facultad. La preparación del arreglo de las muestras para su irradiación requiere esterilizar el material utilizado, así como el uso de guantes para evitar el contacto con las muestras y los dispositivos empleados. El arreglo y la distribución de las muestras dentro del contenedor se ilustra en la figura V.2.

Montaje de Esquirlas de Vidrio.

Debido al tamaño y forma de las esquirlas de vidrio y a la necesidad de medir una área significativa de ellas para llevar a cabo el conteo de trazas y consecuentemente obtener su densidad es indispensable montar este material en resina a fin de lograr una superficie plana (que llamaremos pastilla) para facilitar su medición bajo el microscopio. La preparación de estas pastillas consiste en lo siguiente :

- 1) **Montaje en resina.** Con la ayuda del microscopio las esquirlas de vidrio se colocan dentro de un molde de forma cilíndrica y se distribuyen de tal manera que ocupen la mayor área posible de su base, a continuación se vierte la resina teniendo cuidado de no desplazar los vidrios cuando ésta cae sobre ellos ; una vez que se ha llenado el molde, se verifica que la muestra haya permanecido en el fondo y se deja endurecer durante 24 horas. Al día siguiente, cuando la resina se ha solidificado, se obtiene una pastilla con el material deseado en una de sus caras.
- 2) **Corte.** Se realiza para obtener una pastilla de 1mm de altura cuyas bases superior e inferior resulten estar en planos paralelos, para ello es necesario pegar la pastilla en un portaobjetos sobre dos puntos de pegamento procurando que el pegamento no toque las esquirlas y de esta manera despegar fácilmente el portaobjetos una vez realizado el corte.
- 3) **Desbasto.** Inicia con una observación microscópica alternando luz reflejada y luz transmitida con el propósito de visualizar la dimensión de las esquirlas y su superficie expuesta sobre la base de la pastilla. Este proceso pretende exponer la mayor área posible de los vidrios lo cual requiere de una valoración conjunta de los fragmentos montados. Con el fin de obtener una superficie lisa ya que después del montaje suelen obtenerse superficies irregulares primero se asientan las muestras sobre un vidrio (tableta de vidrio) usando el abrasivo de 320, esta operación es manual y se siguen trayectorias de "ocho" hasta conseguir una superficie lisa. Después de asentar las pastillas se procede al

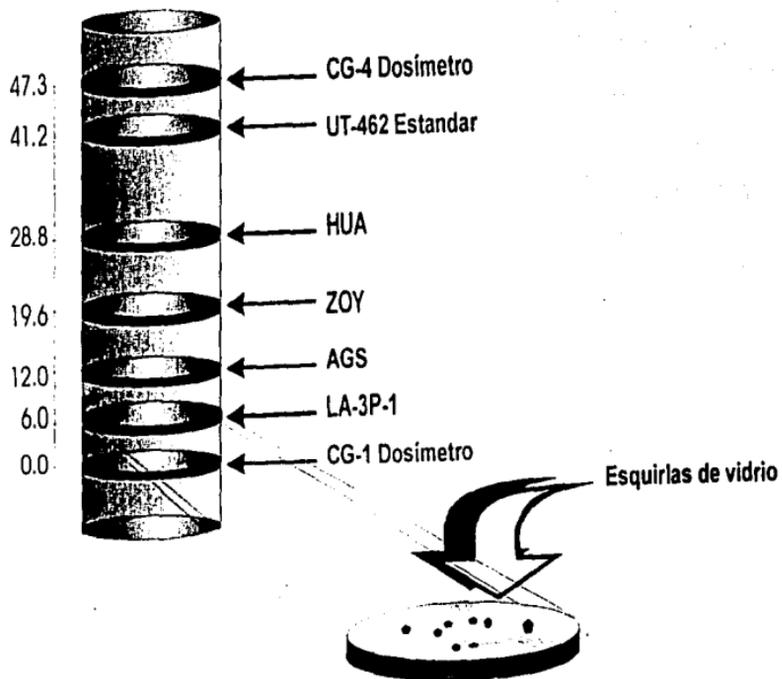


FIGURA V.2. Arreglo y distribución de muestras dentro del contenedor para ser irradiadas en el reactor nuclear.

desbaste sobre un disco de fieltro con carburo de silicio malla 320, 600 y 1 000 usados consecutivamente en discos diferentes; primero se utiliza el abrasivo malla 320 hasta conseguir una superficie plana y descubrir la máxima área vítrea disponible; posteriormente se usa el abrasivo malla 600 con el cual se desvanecen los surcos formados; finalmente se concluye con el abrasivo malla 1 000 para eliminar los defectos y obtener una superficie más fina. Es importante lavar perfectamente la pastilla cuando se decide cambiar de abrasivo para evitar contaminar los discos de trabajo; además la observación al microscopio es fundamental y debe realizarse tantas veces como se juzgue conveniente durante todo el proceso para evitar errores o la pérdida de la muestra.

- 4) *Pulido*. El pulido tiene como propósito suavizar la superficie de las pastillas y eliminar el rayado del abrasivo ocasionado durante el desbaste. En este caso se usan discos de fieltro y de paño, pasta de diamante de 9μ y de 1μ y polvo de alúmina de 1μ ; se inicia con un disco de fieltro y pasta de diamante de 9μ hasta obtener un cambio importante en la textura de los vidrios y conseguir desvanecer totalmente el rayado; a continuación se aplica la pasta de diamante de 1μ sobre disco de fieltro durante el tiempo suficiente en tanto no se distingan al microscopio diminutas oquedades o muescas de microlitos o minúsculas burbujas, el término de la preparación concluye al eliminar estas imperfecciones microscópicas (Técnica desarrollada en el Laboratorio de Yacimientos Minerales por Ramírez Estrada, J.J.)

Grabado.

El proceso de grabado requiere un tratamiento previo antes de someter las muestras al ataque químico. Este tratamiento consiste en una irradiación con fragmentos de californio ^{252}Cf , que se describe a continuación.

Irradiación con ^{252}Cf . Este proceso se efectúa con el fin de garantizar la existencia de trazas para tener la seguridad de revelarlas al momento del grabado; consiste en someter las muestras a una irradiación en una fuente de ^{252}Cf dentro de la *cámara versátil de irradiación* (Balcazar y Pineda, 1981). Este dispositivo emite fragmentos de fisión y partículas alfa que pegan sobre la superficie de las esquiras y ocasionan daños significativos equivalentes a las trazas de fisión. Se colocaron las pastillas en los diferentes canales de irradiación del sujetador de la fuente de ^{252}Cf a 60° , 75° y 90° a fin de ser fácilmente identificables una vez iniciado el proceso de grabado. El tiempo de irradiación para esta prueba fue de 10 horas 40 minutos. Es necesario elaborar una pastilla de cada muestra, tomando una pequeña porción del concentrado de esquiras, cuyo uso será exclusivo para determinar las condiciones de grabado; es decir, que dichas pastillas no habrán de considerarse para el conteo de trazas

Condiciones de grabado. Para grabar los vidrios se prepara una solución de ácido fluorhídrico (HF) al 24% a temperatura ambiente y se procede a determinar el

tiempo de exposición de las muestras en dicho solvente. Para esta prueba se requiere una solución de 10 ml que se conforman de 4.59 ml de ácido fluorhídrico y 5.41 de agua. El tiempo de grabado es fundamental en esta prueba a tal grado que un intervalo corto resulte insuficiente para revelar las trazas o por el contrario un tiempo excesivo las destruya por completo. Para ello es necesario hacer una inspección minuciosa bajo el microscopio utilizando luz reflejada y detectar algún rasgo de referencia en las superficies de las esquirlas; posteriormente las muestras se sumergen en la solución de ácido fluorhídrico previamente preparada durante intervalos de 10 segundos alternando la observación microscópica cuidadosa al término de cada exposición en el ácido.

Cuando el tamaño de las trazas nos permite distinguir las fácilmente se suspende el grabado y se procede a medir sus diámetros en forma sistemática. El objetivo es continuar el grabado el tiempo necesario que nos permita obtener un promedio en el diámetro de las trazas de 6μ a 8μ (Westgate, 1989).

Grabado de las micas. El objetivo de colocar muscovita en el arreglo de las muestras previo a su irradiación en el reactor nuclear consiste en determinar el flujo de neutrones recibido para cada muestra. Para determinar el flujo de neutrones es necesario grabar las micas a fin de realizar un conteo de trazas en ellas. Las muscovitas utilizadas como detectores externos de los vidrios CG-I y CG-IV se grabaron durante 30 minutos con HF al 48% (Hernández G., 1993).

Conteo de trazas

Se aplica el método de "*contador de puntos*". Se requiere una retícula de 2X2, un aumento de 500X y un contador de puntos que permita el desplazamiento del campo del microscopio. Se obtienen dos valores fundamentales : (i) el número de trazas y (ii) el área del vidrio sobre la cual ocurrió esta traza, con los cuales se calcula la densidad de trazas.

Para cada campo del microscopio se observa si el cruce de los hilos de la retícula cae en vidrio o en resina y se anota en el registro, cuando el cruce de los hilos cae en vidrio se cuentan las trazas observables dentro del área comprendida por la retícula, en caso contrario ; es decir, si el cruce de los hilos cae en resina no se contabilizan las trazas que puedan presentarse en algún fragmento vítreo visible dentro del campo.

Una vez concluido el conteo obtenemos los siguientes datos :

n = número de campos observados

c = área del campo

v = número de campos en vidrio

t = número total de trazas contadas

X = área total observada

= (número de campos observados) (área del campo)

= (n) (c)

Y = proporción del área que es vidrio

= número de campos en vidrio / número de campos observados

= v / n

A = área del vidrio

= XY

= (número de campos observados) (área del campo) (número de campos en vidrio) / (número de campos observados)

= (n) (c) (v) / (n)

A = (c) (v)

ρ = densidad

= (número total de trazas contadas) / (área del vidrio)

ρ = (t) / (C) (v)

ESTABILIDAD DE TRAZAS

Las trazas de fisión latentes representan una zona de daño que deja la radiación en el arreglo de átomos de una sustancia sólida no conductora (vidrios o minerales) la cual genera un estado energéticamente inestable. La geometría original del sólido que sufre un desarreglo con el paso de los fragmentos de fisión tiende a restaurarse gradualmente en el tiempo geológico como un fenómeno natural.

Este fenómeno es conocido como *borrado* y se manifiesta con la reducción de la longitud de trazas latentes, la disminución de la velocidad de grabado y por ende la densidad de trazas se ve disminuida de igual forma. El borrado es fundamental en el fechamiento por trazas de fisión; puesto que estas no constituyen un sistema cerrado de retención desde el punto de vista de su estabilidad y consecuentemente la edad obtenida puede ser más joven que la edad de formación de las roca.

El factor más importante en la estabilidad de trazas es la temperatura (Fleischer et al, 1964b, 1965b) aunque también se han estudiado las presiones hidrostática y confinada, soluciones intergranulares e ionización por radiación, además se ha concluido que el borrado puede efectuarse incluso a la presión atmosférica (Fleischer et al, 1965b)

El borrado se ha explicado a partir del estudio de los defectos puntuales (point-defect) en la estructura atómica de los detectores. De acuerdo a Fleischer y Brown (1953) los defectos puntuales son espacios vacíos (vacancies) y átomos intersticiales cuya ocurrencia puede darse por muchos procesos cuando viajan a través de la red cristalina y se combinan con otros.

Los espacios vacíos (vacancies) migran a través del arreglo atómico e intercambian su lugar con átomos vecinos, mientras que los átomos intersticiales saltan entre los átomos vecinos y ocupan otros lugares intersticiales. Adicionalmente estos elementos pueden desplazarse hacia otros defectos atómicos tales como defectos extendidos o dislocaciones o bien migrar a superficies estructurales. Para que la migración se lleve a cabo debe existir la energía que permite su movimiento la cual es generada por una excitación térmica cuando se calienta el material.

Las trazas de fisión en apatitas y zircones son usadas en un amplio rango en estudios de análisis de cuenca. El borrado de estos rasgos y los resultados del fechamiento y la medición de longitudes de trazas puede ser usado para reconstruir la historia térmica de la cuenca desde la deposición y el enterramiento de los sedimentos, hasta el enfriamiento relacionado al levantamiento y la erosión.

El borrado puede ser usado también para localizar anomalías de temperatura, tales como aquellas relacionadas a fluidos e intrusiones magmáticas (Naeser, 1979b; Gleadow et al, 1983, 1986a, 1986b; Green et al, 1989; Naeser et al, 1989a).

Las trazas de fisión son atractivas para estudios de historias térmicas de cuencas porque estas proveen información tanto de temperatura como de tiempo sobre rangos que coinciden con temperaturas de generación de hidrocarburos y temperaturas registradas en las anomalías paleotermales asociadas con algunos depósitos de minerales.

Típicamente, la información sobre historias térmicas es provista por apatitas, debido a que otros materiales como el zircón que posee una temperatura de borrado superior (alrededor de 200°C) y la mayoría de las muestras en cuencas no han sido calentadas lo suficiente para mostrar este fenómeno. De esta manera cada mineral tiene un valor de temperatura de retención de trazas llamado temperatura de cierre. La temperatura de cierre, en este caso, se refiere a la temperatura a partir de la cual todas las trazas son retenidas en un mineral cuando esta en proceso de enfriamiento, dicho valor corresponde a la temperatura en que se retiene el 50% de trazas.

CORRECCIÓN DE LA EDAD

El borrado parcial o total de trazas de fisión en minerales y vidrios volcánicos es un proceso natural que debe tomarse en cuenta para la obtención de la edad, la cual es válida si se interpreta como el tiempo transcurrido desde que la temperatura ha llegado al valor en que se obtiene el 50% de retención de trazas (equivalente a la temperatura de cierre); sin embargo cuando se pretende determinar la edad de la roca y esta ha sufrido el fenómeno de borrado se obtendrá una edad más joven. Por esta razón se han desarrollado procedimientos de corrección al utilizar este método de fechado.

Cuando los materiales se encuentran en un proceso de calentamiento las trazas de fisión empiezan a borrarse de los extremos hacia el centro por lo cual su longitud va disminuyendo cada vez hasta que desaparecen; este proceso natural fué aplicado como principio de corrección al calentar las muestras en el laboratorio bajo condiciones controladas.

El método de la meseta se fundamenta en el hecho de que las trazas inducidas empiezan a desaparecer a temperaturas más bajas y en menor tiempo que las espontáneas, ya que estas pueden haber iniciado el proceso de borrado en forma natural. Esto significa que el cociente de dividir la densidad de trazas espontáneas (ρ_s) entre la densidad de trazas inducidas (ρ_i) puede cambiar cuando la muestra en cuestión se someta a un proceso de calentamiento en el laboratorio; lo cual equivale a reproducir el fenómeno de borrado (Poupeau et al, 1979; Poupeau, 1981).

La medición de las longitudes de trazas de fisión espontáneas e inducidas y la comparación de sus distribuciones estadísticas en histogramas nos permite saber si la muestra ha sufrido un proceso de borrado, de acuerdo al siguiente criterio (Westgate, 1989):

- a) Si la distribución estadística de longitudes es unimodal (media= 3μ), bien definida y su desviación estándar es pequeña ($<2\mu$), entonces la muestra no ha sufrido un calentamiento desde la última vez que estuvo a una temperatura mayor a la de borrado total, por lo que la edad obtenida será una edad de enfriamiento real.
- b) Si la distribución estadística de longitudes es asimétrica, bimodal o irregular, entonces la muestra ha sufrido un proceso de borrado parcial o total debido a que los minerales fueron recalentados después del enfriamiento inicial.

De acuerdo al resultado obtenido en la mediación de longitudes de trazas se determina la aplicación del método de la meseta.

MESETA ISOCRÓNICA Y MESETA ISOTÉRMICA

Consiste en calentar las muestras (irradiada y no irradiada) a una cierta temperatura durante un intervalo de tiempo constante y repetir el proceso un número de veces necesario hasta obtener la respuesta esperada utilizando para cada evento una fracción de las muestras incrementando el valor de la temperatura. El análisis se lleva a cabo midiendo las densidades de trazas en ambas muestras para cada sesión de calentamiento y concentrar estos datos en una gráfica, como se muestra en la figura VII.1.

El modelo esta basado en la hipótesis que tanto los rasgos de fisión inducidos como los naturales en un mineral o en un vidrio particular comienzan a borrarse arriba de una cierta temperatura θ_1 . Si el material fue enfriado rápidamente y no ha sufrido ningún calentamiento subsecuente, entonces las trazas espontaneas empezarán a borrarse a la misma tasa que las inducidas, como se muestra en la figura VII.1.a y la relación de densidades ρ_s / ρ_i permanece constante conforme se incrementa la temperatura.

Sin embargo, cuando la muestra ha sufrido un calentamiento previo, ρ_s decrece más lentamente que ρ_i a partir de la temperatura θ_1 , y la relación ρ_s / ρ_i aumenta con el incremento de la temperatura como se muestra en la figura VII.1.b. Una vez que la temperatura ha llegado al valor θ_2 el cociente ρ_s / ρ_i toma un valor constante a partir del cual se forma una meseta.

La edad obtenida por el método de la meseta equivale a una corrección por borrado parcial de las trazas naturales durante un lento enfriamiento, por lo que representa el tiempo transcurrido desde que el material se enfrió por primera vez. Este procedimiento de corrección es conocido como *método isocrónico de la meseta* porque utiliza intervalos de tiempo iguales en incrementos graduales de la temperatura en las distintas pruebas.

Un procedimiento alternativo es mantener fijo el valor de la temperatura e incrementar paulatinamente el intervalo de tiempo para los diferentes eventos (Dakowski, 1974) se fundamenta en el mismo principio y proporciona resultados similares, es conocido como *método isotérmico de la meseta* puesto que en este caso el parámetro constante es la temperatura.

ITPFTD

Como una modificación de la meseta isotérmica, John Westgate aplicó en estudios de corrección de edades el ITPFTD (Isothermal Plateau Fission Track Dating). Westgate (1989) usó una variante del método isotérmico de la meseta, al encontrar que un solo calentamiento era suficiente para obtener el valor de la meseta, sabiendo que dicho valor es reconocido por la coincidencia en la distribución de tamaños de trazas espontaneas e inducidas en un diagrama estadístico así como por el cociente que resulta de dividir la media del diámetro de

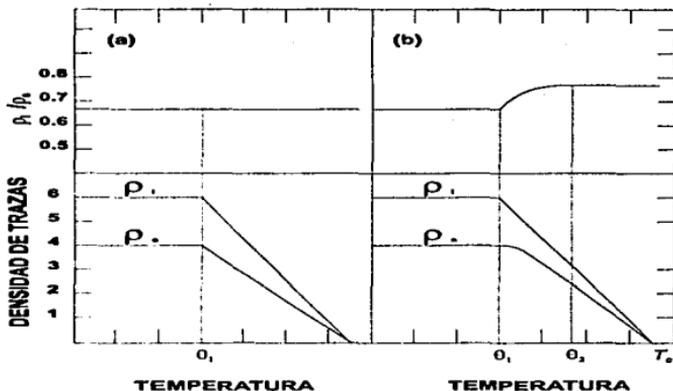


FIGURA VII.1 (a) Variación de las densidades de trazas durante el borrado (annealing) por pasos en un material que se enfrió rápidamente y no fue subsecuentemente recalentado. En este caso la desaparición simultánea de trazas espontaneas e inducidas empieza a la temperatura q_1 , después de calentar la muestra por intervalos sucesivos de una hora. Aquí el cociente r_a / r_i y la correspondiente fecha de trazas permanecen constantes hasta que todas las trazas desaparecen por calentamientos sucesivos de una hora al alcanzar la temperatura T_c .

(b) Variación de densidades de trazas de un material cuyas trazas naturales han sufrido un calentamiento previo. La muestra experimenta una desaparición de trazas espontaneas mas gradualmente que la muestra que solamente ha recibido trazas inducidas. Como resultado el cociente de densidades de trazas se incrementa arriba de la temperatura q_1 y alcanza un valor constante (i.e. de una meseta) a la temperatura q_2 . Las fechas calculadas de r_a / r_i a temperaturas de borrado arriba de q_2 son mas viejas que aquellas obtenidas abajo de q_1 y constituyen una "fecha de meseta de trazas de fisión". El incremento de r_a / r_i en esta figura fue calculado de las densidades de trazas leídas de las curvas de borrado.

trazas espontaneas λ_s , entre la media del diámetro de trazas inducidas λ_i ; el cual es muy cercano a la unidad.

Cuando las esquirlas de vidrio son expuestas a temperaturas mayores de 200°C empiezan a fracturarse haciendo muy difícil el Conteo de trazas (Naeser et al, 1980). Una corrección total de la edad por el método de la meseta puede ser realizada en condiciones de baja temperatura y un periodo largo de tiempo que asegura un daño mínimo en la estructura de los vidrios y no se presentan efectos negativos en sus condiciones de grabado. Para alcanzar el valor de la "meseta" todas las muestras se someten a un solo calentamiento de 150°C por un periodo de 30 días.

El método de Westgate es una ventaja en el sentido de que las muestras no son expuestas a temperaturas de 200°C a 250°C (usadas en el método de la meseta isotérmica) lo cual evita el daño en las esquirlas de vidrio facilitando su conteo; además simplifica el procedimiento reduciendo la cantidad de muestra requerida y el tiempo empleado para su corrección.

VIII

PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

Del proceso efectuado a las muestras en estudio de acuerdo a las pruebas preliminares, separación mineralógica, aplicación del método de la población-sustracción y análisis estadístico se obtuvieron resultados convincentes de acuerdo a las expectativas esperadas.

PRUEBAS PRELIMINARES

Se evaluaron las características de las rocas muestreadas a fin de determinar si son factibles de fecharse por el método de trazas de fisión para lo cual se realizaron dos pruebas preliminares. La primera consiste en obtener una lámina delgada de cada muestra con el objeto de saber si contienen vidrio entre sus componentes mineralógicos, mediante la observación microscópica utilizando luz natural y polarizada. La segunda prueba preliminar y definitiva es identificar si la parte vítrea de la muestra esta constituida en su mayoría de esquiras de vidrio. Además de que dichas esquiras posean un tamaño en un rango de 250μ a 500μ y sean transparentes; para ello es necesario disgregar una pequeña porción del material a analizar utilizando un mortero de porcelana para después lavar la muestra en una solución ácida a concentraciones muy bajas (HCl o HF al 2%) durante dos minutos para después enjuagarla con agua simple y dejarla secar durante un día a temperatura ambiente.

Los resultados fueron los siguientes: 1) En la Delegación Alvaro Obregón se tomaron cinco muestras (LA-3P-1, LA-3P-2, LA-3P-3, LA-3P-4 y LA-3P-5) de las cuales solo la LA-3P-1 cubrió los requerimientos esenciales para ser fechada; las cuatro muestras restantes mostraron en sus componentes vítreos una dominante abundancia de pómez y la ausencia de esquiras de vidrio por tal motivo se decidió no procesarlas; 2) En tanto del análisis preliminar aplicado a las muestras HUA, AGS y ZOY se obtuvieron resultados favorables puesto que mostraron tener las características óptimas para ser fechadas (Tabla VIII.1).

MUESTRAS CON ESQUIRLAS DE VIDRIO	MUESTRAS SIN ESQUIRLAS DE VIDRIO
LA-3P-1	LA-3P-2
HUA	LA-3P-3
AGS	LA-3P-4
ZOY	LA-3P-5

TABLA VIII.1. Presencia de esquiras de vidrio en las muestras en estudio

SEPARACIÓN MINERALÓGICA

La separación mineralógica en cada caso presento algunas variantes debido a las diferencias de cementante y contenidos arcillosos de las rocas.

DISGREGACIÓN

Para esta etapa la Toba Aguascalientes (AGS) por su alto contenido de carbonato de calcio tuvo que ser expuesta durante 15 minutos en una solución de HCl al 5% bajo la acción de un agitador de propelas automático que permitió la disolución del cementante dejando limpias las paredes de las esquistas y favoreciendo su identificación y separación en el microscopio. La Toba Zoyatal (ZOY) por otro lado se sometió a una solución de ácido fluorhídrico al 2% durante 5 minutos debido a la gran cantidad de arcillas adheridas en las paredes de las esquistas. En tanto las Alvaro Obregón (LA-3P-1) y Huaniqueo (HUA) no tuvieron mayor dificultad en su disgregación y solo basto un ligero enjuague en una solución de HCl al 2% por un tiempo menor a un minuto.

TRITURACIÓN Y MOLIENDA

La trituración y molienda se realizó en un mortero de fierro y se obtuvieron fragmentos de un tamaño menor a 2mm; después se continuó la molienda en un mortero de porcelana lo que permitió obtener un tamaño de partículas en un rango no mayor a 0.5mm.

TAMIZADO

Para obtener una fracción -30+40 se usaron los tamices de 30 y 40 mallas donde se vertió la muestra molida haciendo pasar las partículas a través de ellos, la fracción requerida es concentrada en la malla 40 para continuar el proceso.

LAVADO Y SECADO

Con la fracción -30+40 dispuesta en la malla 40 se lavó la muestra colocando el tamiz debajo del chorro de agua para filtrar las partículas finas (<40 mallas) presentes en la fracción elegida que cayeron llevadas por el agua quedando limpia la fracción deseada. A continuación se preparó una solución de ácido clorhídrico al 2% en un vaso de precipitado donde se vertió la muestra con el fin de eliminar el cementante adherido en las paredes de las partículas. Solo la muestra "ZOY" después de este proceso fue expuesta a otro lavado en solución de ácido fluorhídrico (HF) al 2% debido a la gran cantidad de partículas arcillosas adheridas en las paredes de los fragmentos obtenidos. Posteriormente la muestra se colocó durante 30 minutos en un embudo forrado con papel filtro para escurrir la mayor cantidad de agua. Al término de los 30 minutos la muestra es extendida sobre una charola forrada de papel bond y se deja secar a temperatura ambiente durante uno o dos días, según se requiera. Es muy importante no acelerar el

proceso de secado usando algún horno debido a que las trazas de fisión pudieran ser borradas, lo cual alteraría los resultados finales en el conteo.

IMÁN

Para eliminar la magnetita contenida en la fracción obtenida se utilizó el separador magnético en su modalidad de imán, esto es que dicho instrumento se habilita para ser usado como un simple imán. Se pegó un papel sobre el imán y se hizo pasar la muestra, las partículas magnéticas quedaron adheridas en el papel y las no magnéticas fueron recuperadas en una charola colocada previamente para concentrar dicha fracción.

SEPARACIÓN POR LÍQUIDOS PESADOS

Tomando en cuenta que los vidrios tienen una densidad variable pero menor a 2.42 g/cm^3 la separación mineralógica requiere de una separación por densidades utilizando una mezcla cuya densidad sea exactamente 2.42 g/cm^3 . La fracción no magnética obtenida en la etapa anterior se vierte en un embudo de separación que contiene una mezcla de bromoformo y acetona ($\rho=2.42 \text{ g/cm}^3$). Se prepararon 100 ml de mezcla para lo cual se necesitaron 22.30 ml de acetona y 77.70 ml de bromoformo. Es necesario agitar lentamente la preparación cuando se vacía la muestra para que las partículas puedan separarse perfectamente en la mezcla.

SEPARACIÓN MAGNÉTICA

Se hizo pasar la muestra perfectamente seca y ventilada en el separador magnético tipo Franz. Se realizaron tres sesiones, la primera fue con un amperaje de 0.2 obteniéndose dos fracciones de las cuales se hizo pasar nuevamente en el separador la fracción no magnética a 0.4 Amperes y se obtuvieron consecuentemente dos nuevas fracciones (una magnética y otra no magnética); finalmente se hizo pasar la muestra (fracción no magnética) en una tercera sesión a 0.6 Amperes obteniéndose dos fracciones y continuar el proceso con la fracción no magnética.

SEPARACIÓN BAJO EL MICROSCOPIO

Se colocó la fracción no magnética obtenida del separador magnético bajo el microscopio estereoscópico sobre un portaobjetos excavado y se seleccionaron las esquirlas de vidrio con la ayuda de una aguja de disección montada en una base de madera para facilitar su manejo. En esta etapa final de la separación mineralógica se obtuvieron cuatro concentrados de esquirlas de vidrio correspondientes a las cuatro muestras en estudio. Fue de notarse la abundancia de espículas de vidrio en las muestras LA-3P-1, HUA y ZOY permitió una conclusión del proceso en un tiempo relativamente corto; sin embargo la muestra AGS cuya concentración de estos fragmentos vítreos es menor hasta en un 10% exigió dedicar un mayor tiempo para obtener el concentrado, además fue necesario procesar una cantidad mayor de dicho material (4kg) para reunir el

mínimo peso requerido. Las cantidades obtenidas de los concentrados se presentan en la tabla VIII.2. El concentrado de la muestra UT-462 (Westgate, 1989) usada como estándar se tiene en existencia en el laboratorio disponible para su uso.

MUESTRA	CANTIDAD PROCESADA (kg)	CANTIDAD DE ESQUIRLAS OBTENIDAS (g)
LA-3P-1	1	0.18
HUA	1	0.24
AGS	4	0.15
ZOY	1	0.21

TABLA VIII.2. Cantidad obtenida en los concentrados de esquirilas de vidrio a partir de la cantidad procesada para cada muestra.

IRRADIACIÓN EN EL REACTOR

Con el fin de obtener la concentración de ^{235}U en los vidrios (concentrado de esquirilas de vidrio) se induce una fisión nuclear en dichos átomos de uranio. Al fisionar todos los átomos de ^{235}U se provoca la formación de trazas (trazas inducidas) cuyo conteo nos permite encontrar la concentración buscada.

La irradiación se efectuó en el reactor de investigación TRIGA MARK III tipo alberca en las instalaciones del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ).

Las muestras se sometieron a una irradiación de neutrones lentos durante 1,000 segundos en el Sistema de Irradiación Rotatorio para Cápsulas (SIRCA). Después de la irradiación las muestras siguen activadas y continúan emitiendo partículas radiactivas por tal motivo se colocan en contenedores de plomo durante seis semanas en las instalaciones de seguridad nuclear del ININ.

Contenedor y Arreglo de las Muestras.

El arreglo consiste en un contenedor cilíndrico (rabbit) de material plástico dentro del cual se colocan las muestras, el estándar y los dosímetros. Todo el manejo que conlleva a la obtención y preparación de este arreglo dentro del contenedor debe realizarse con el uso de guantes para manipular los materiales y utensilios esterilizados previamente. Las muestras se depositaron en moldes y se sellaron con parafilm con la intención de evitar la posible contaminación o pérdida del material durante la irradiación. La cantidad de muestra irradiada fue equivalente a la mitad del concentrado obtenido en la separación mineralógica. Los dosímetros

se prepararon colocando muscovita (detector externo) en una de sus caras y se envolvieron en polietileno. La muscovita usada como detector externo se corto de tal manera que tuviera la misma superficie que el vidrio. El estándar se preparó de la misma manera que el resto de las muestras ocupando un molde más en el arreglo.

Primero se colocó en la base del contenedor (rabbit) el dosímetro CG-I en posición tal que la muscovita quedara en la parte superior, posteriormente se introdujeron todas y cada una de las muestras y el estándar, finalmente en la cima del arreglo se colocó el segundo dosímetro en posición similar al primero. Una vez concluido el arreglo se cerro el contenedor y se selló con un mechero. A continuación se midió la altura de cada muestra, el estándar y los dosímetros dentro del contenedor tomando como referencia la base del mismo, La posición de las muestras en el contenedor se indica en la tabla VIII.3. (y se ilustra en la figura V.2. descrita en el capítulo de "Metodología").

MUESTRA	POSICIÓN DE LAS MUESTRAS EN EL CONTENEDOR (mm)
CG-IV (cima)	47.3
UT-462	41.2
HUA	28.8
ZOY	19.6
AGS	12.0
LA-3P-1	6.0
CG-I (base)	0.0

TABLA VIII.3. Distribución de muestras dentro del contenedor

El uso de pegamento en la preparación de los moldes donde se irradiaron las muestras ocasionó la pérdida de un estándar (moldavita) del que sólo se recuperaron cinco fragmentos impidiendo su posterior conteo debido a la mínima área resultante de este vidrio en el montaje. Afortunadamente se pensó en irradiar dos estándares por lo que la pérdida de la moldavita no impidió la comprobación de resultados que se realizó con la muestra UT-462 (Westgate, op. cit.).

MONTAJE

Se obtuvieron dos pastillas para cada muestra y para el estándar; una con esquirlas irradiadas y otra con esquirlas sin irradiar. Las pastillas son el nombre asignado al resultado del montaje de las esquirlas en resina epóxica cuyo proceso de elaboración se realizó de la siguiente manera

Montaje en resina. Se prepara un portaobjetos y un cubreobjetos perfectamente limpios y secos unidos por una gota de resina de tal manera que el cubreobjetos quede en el centro (aproximadamente) del primero, a continuación se coloca sobre ellos un molde cilíndrico, el cual no tiene tapa ni base; posteriormente las esquirlas a montar son vertidas dentro del molde y esparcidas en el centro del mismo. Por otro lado se preparan 5 ml de resina y seis gotas de catalizador mezclándolos perfectamente, evitando al máximo movimientos que puedan ocasionar la mezcla de aire y la formación de burbujas. Finalmente se vierte la resina preparada en el molde previsto evitando un fuerte impacto en la caída de la preparación sobre las esquirlas que ocasionaría una dispersión de estas partículas en toda la resina y por lo tanto la pérdida del concentrado. Después del vaciado se deja secar durante 24 horas para que la resina se endurezca.

Corte. Al día siguiente del montaje, se verifica que efectivamente la resina haya endurecido y se despega manualmente del cubreobjetos. El paso siguiente es pegar la pastilla sobre una base (portaobjetos) que permita realizar el corte deseado. Se mide 1 mm a partir de la base del vaciado de resina (donde están concentradas las esquirlas) y se marca con un color distintivo. A continuación se pega con dos puntos de pegamento (Kola loka) sobre otro cubreobjetos, esta vez adherido a un portaobjetos con pegamento (kola loka). Una vez realizado lo anterior se cortan las pastillas quedando de 1 mm de altura, para ello se usó una cortadora "petrothin".

Desbaste. Una vez obtenidas las pastillas de 1 mm de altura, se observaron al microscopio para apreciar la distribución, dimensión y superficie expuesta de las esquirlas de vidrio alternando para ello el uso de luz transmitida y luz reflejada que permite contrastar los límites de las áreas expuestas. A continuación se asientan las pastillas sobre una tableta de vidrio, usando un abrasivo de 320 mallas. Cuando se obtuvo una superficie plana se continuó el desbaste en un disco de fieltro usando consecutivamente abrasivos de 320, 600 y 1,000 en discos diferente como se indica en la metodología. Al finalizar el desbaste se consiguió obtener la mayor área vítrea y desvanecer al máximo las líneas de pulido generadas durante el propio desbaste. Fue necesario poner especial cuidado en lavar perfectamente la muestra con suficiente agua antes de utilizar otro disco con un abrasivo más fino para evitar contaminación entre los abrasivos que pudiera retrasar el avance del trabajo.

Pulido. Se utilizó un disco de paño con pasta de diamante de 9 μ hasta eliminar el rayado de la superficie ocasionado durante el desbaste. A continuación se utilizó otro disco esta vez con pasta de diamante de 1 μ que permitió obtener desvanecer todas las líneas de pulido y minúsculas burbujas propias del mismo material obteniéndose finalmente una superficie perfectamente pulida.

IRRADIACIÓN CON ^{252}Cf

Con la intención de identificar claramente las trazas de fisión durante las pruebas de grabado se llevó a cabo una irradiación con ^{252}Cf . Se preparó una pastilla para cada muestra con una fracción mínima (menos del 10%) de las esquirlas de vidrio obtenidas. Las pastillas se colocaron durante un tiempo de 10 horas y 40 minutos dentro de la cámara versátil de irradiación a diferentes ángulos de acuerdo a los canales con que cuenta dicho dispositivo como se muestra en la tabla VIII.4. La dirección de irradiación elegida para cada muestra permitió identificar con claridad las trazas generadas en las esquirlas al momento del grabado.

MUESTRA	ÁNGULO DE IRRADIACIÓN EN LA FUENTE DE ^{252}Cf
LA-3P-1	90°
HUA	90°
AGS	75°
ZOY	60°

TABLA VIII.4. Ángulo de irradiación en la fuente de ^{252}Cf

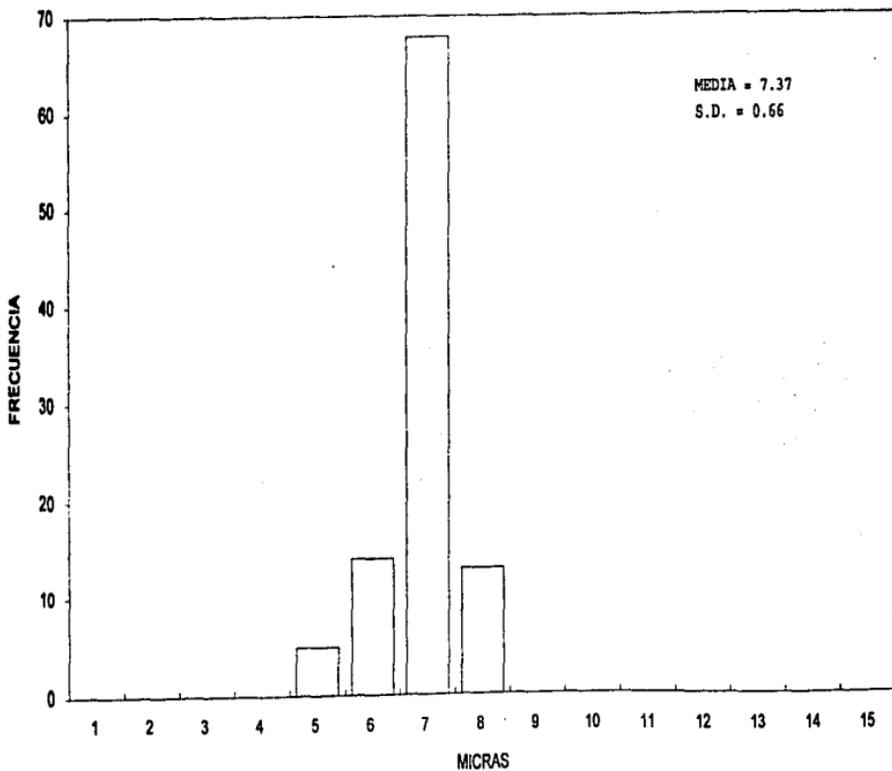
CONDICIONES DE GRABADO

Se preparó una solución con 4.59 ml de HF y 5.41 ml de H_2O como solución grabadora para los vidrios montados. Con base en la observación microscópica se hicieron varias pruebas de grabado a diferentes intervalos de tiempo. Se realizaron algunas mediciones de diámetros de trazas a fin de encontrar el valor promedio de dichos diámetros. Las condiciones de grabado (tiempo de grabado) se determinaron cuando la media de los diámetros de trazas estuvo dentro de un rango de 6μ a 8μ . Los tiempos de grabado obtenidos y aplicados a las muestras para el conteo de trazas espontáneas e inducidas se indican en la tabla VIII.5. El análisis estadístico se muestra en las gráficas VIII.1, VIII.2 y VIII.3. Las micras de muscovita se grabaron durante 30 minutos al 48% de HF según estudios previos (Hernández G., 1993).

MUESTRA	TIEMPO DE GRABADO (s)
LA-3P-1	85
HUA	80
AGS	75
ZOY	65

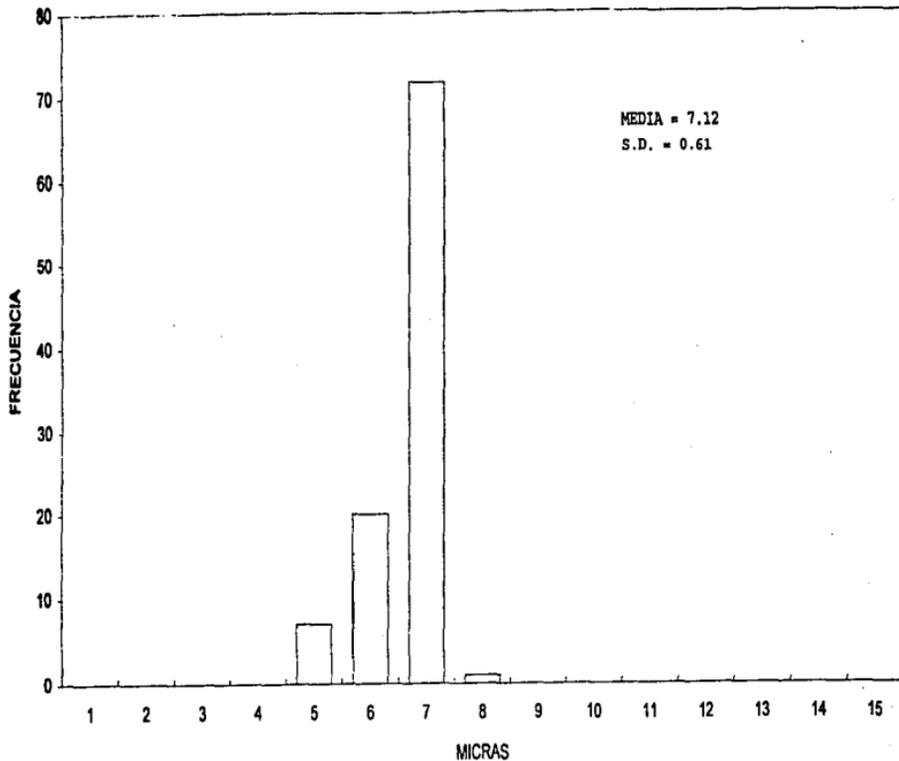
TABLA VIII.5. Tiempo de grabado

TOBA ALVARO OBREGON
DIÁMETROS DE TRAZAS DE FRAGMENTOS DE FISIÓN DE CALIFORNIO



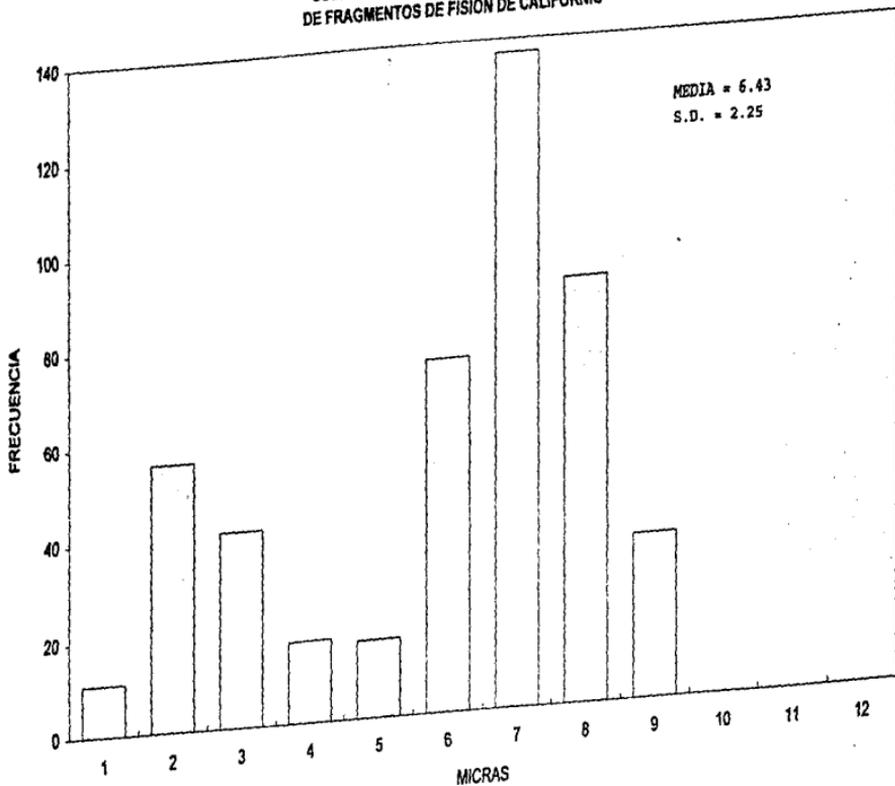
GRÁFICA VIII.1. Distribución estadística de diámetros de trazas

TOBA ZOYATAL
DIÁMETROS DE TRAZAS DE CALIFORNIO



GRÁFICA VIII.2. Distribución estadística de diámetros de trazas

TOBA AGUASCALIENTES
DIÁMETROS DE TRAZAS ESPONTANEAS Y
DE FRAGMENTOS DE FISIÓN DE CALIFORNIO



GRÁFICA VIII.3. Distribución estadística de diámetros de trazas

El estándar (muestra UT-462) se grabó durante 55 segundos de acuerdo al fechado obtenido por Sandhu y Westgate (1992).

El grabado se realizó sumergiendo al mismo tiempo la pastilla de esquiras irradiadas y la pastilla de esquiras sin irradiar para cada muestra con el fin de obtener idénticas condiciones de grabado para el revelado de trazas inducidas y espontáneas respectivamente.

CONTEO

El conteo permitió calcular las densidades de trazas espontáneas e inducidas; para ello se usó el método del "contador de puntos" descrito en la metodología. Para obtener estas densidades fue necesario calcular el área de la retícula y calibrar el contador de puntos a fin de no obtener traslape de áreas en cada conteo. Con la ayuda de un micrómetro se midió la distancia de un lado de la retícula (la retícula es cuadrada) en el campo del microscopio usando el objetivo de 50X y los oculares de 10X (esta óptica se usó en el conteo); con dicha medición se calculó el área de la retícula que resultó ser: $C = 8.82 \times 10^{-4} \text{ cm}^2$, donde "C" es el área del campo (descrito en la expresión del contador de puntos en el capítulo de metodología).

Los resultados obtenidos del "conteo de puntos" para cada muestra fueron: (1) el número de campos en que el cruce de los hilos cayó en vidrio; (2) el número total de campos contados y; (3) el número de trazas vistas en cada campo cuando el cruce de los hilos cayó en vidrio (ver Tabla VIII.6.).

MUESTRA		TOTAL DE CAMPOS	CAMPOS EN VIDRIO	TRAZAS CONTADAS
LA-3P-1	NO IRRADIADA	690	256	910
	IRRADIADA	427	138	12,228
HUA	NO IRRADIADA	272	51	35
	IRRADIADA	465	135	5,272
AGS	NO IRRADIADA	360	110	289
	IRRADIADA	420	130	9,044
ZOY	NO IRRADIADA	402	159	175
	IRRADIADA	537	203	11,173
TU-462	NO IRRADIADA	625	369	31
	IRRADIADA	640	193	414

TABLA VIII.6. Resultados del conteo

De acuerdo a los planteamientos expresados en el capítulo de metodología para el método del "contador de puntos" las áreas vítreas se calculan como:

$$A = (C)(V)$$

donde: A = área del vidrio
 C = área del campo en cm²
 V = número de campos en vidrio

y sabiendo que $C = 8.82 \times 10^{-4} \text{cm}^2$, se obtuvieron los siguientes resultados (Tabla VIII.7)

MUESTRA		CAMPOS EN VIDRIO	ÁREA VÍTREA (cm ²)
LA-3P-1	NO IRRADIADA	256	0.225792
	IRRADIADA	138	0.121716
HUA	NO IRRADIADA	51	0.044982
	IRRADIADA	135	0.11907
AGS	NO IRRADIADA	110	0.09702
	IRRADIADA	130	0.11466
ZOY	NO IRRADIADA	159	0.140238
	IRRADIADA	203	0.1790642
TU-462	NO IRRADIADA	369	0.325458
	IRRADIADA	193	0.171108

TABLA VIII.7. Áreas contadas

Siguiendo con el cálculo obtenemos las densidades de trazas espontáneas e inducidas con la expresión:

$$\rho = t / A$$

donde: ρ = densidad de trazas (t/cm²)
 t = número de trazas contadas (t)
 A = área vítrea (cm²)

Se obtuvieron los siguientes resultados (ver tabla VIII.8.)

MUESTRA	LA-3P-1	HUA	AGS	ZOY	TU-462
Densidad de trazas Espontáneas (μcm^2)	4,030.25	778.09	2,978.76	1,247.88	95.25
Densidad de trazas inducidas (μcm^2)	92,986.95	43,982.53	76,356.18	61,984.07	2,179.91

TABLA VIII.8. Densidad de trazas espontánea e inducida

Se realizó el conteo de trazas en las muscovitas (usando el método de la retícula) obteniéndose los siguientes resultados: (1) 1036 trazas en 170 campos para la mica CG-1 (colocada en la base del contenedor) y (2) 1072 trazas en 160 campos para la mica CG-IV (colocada en la cima del contenedor).

Con base en el número de trazas contadas en las micas y la posición de estas y las muestras en el contenedor (como ya se mencionó en la tabla VIII.3.) se calculó la cantidad de trazas correspondiente a cada muestra mediante el planteamiento de la ecuación de una recta a partir de dos puntos conocidos:

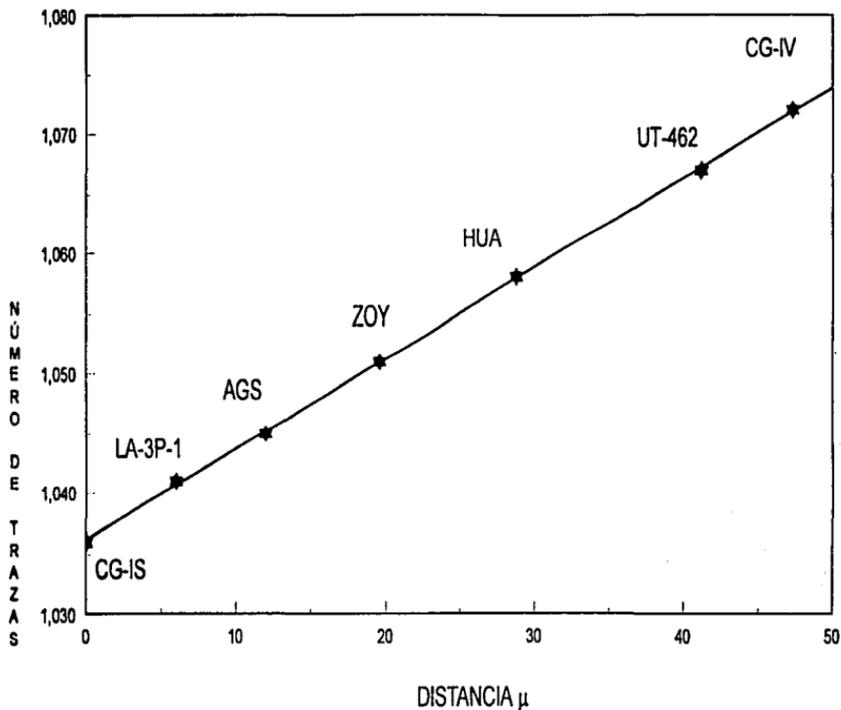
- 1) CG-I (0; 1036)
- 2) CG-IV (47.3; 1072)

y aplicando el método de regresión lineal como se muestra en la gráfica VIII.4. Los valores estimados para cada muestra se presentan en la tabla VIII.9.

MUESTRA	NÚMERO DE TRAZAS
CG-IV	1072
UT-462	1067
HUA	1058
ZOY	1051
AGS	1045
LA-3P-1	1041
CG-I	1036

TABLA VIII.9. Número de trazas estimado a partir de su distribución en el contenedor

NUMERO DE TRAZAS



GRÁFICA VIII.4. Número de trazas inferido a partir de las trazas contadas en los dosímetros

A partir del número de trazas y del área medida en las micas (muscovita) se calculó la densidad de trazas ρ_D para estas micas, se obtuvieron los siguientes resultados: (1) 19,452.002 tr/cm² para la mica CG-I y (2) 21,385.936 tr/cm² para la mica CG-IV. Tomando los valores de ρ_D obtenidos en las micas de muscovita y a partir de la posición de las muestras y de los dosímetros en el contenedor (Figura V.2 y Tabla VIII.3) se calculó la densidad de trazas ρ_D de manera similar al cálculo del número de trazas (regresión lineal); en este caso se usaron las coordenadas:

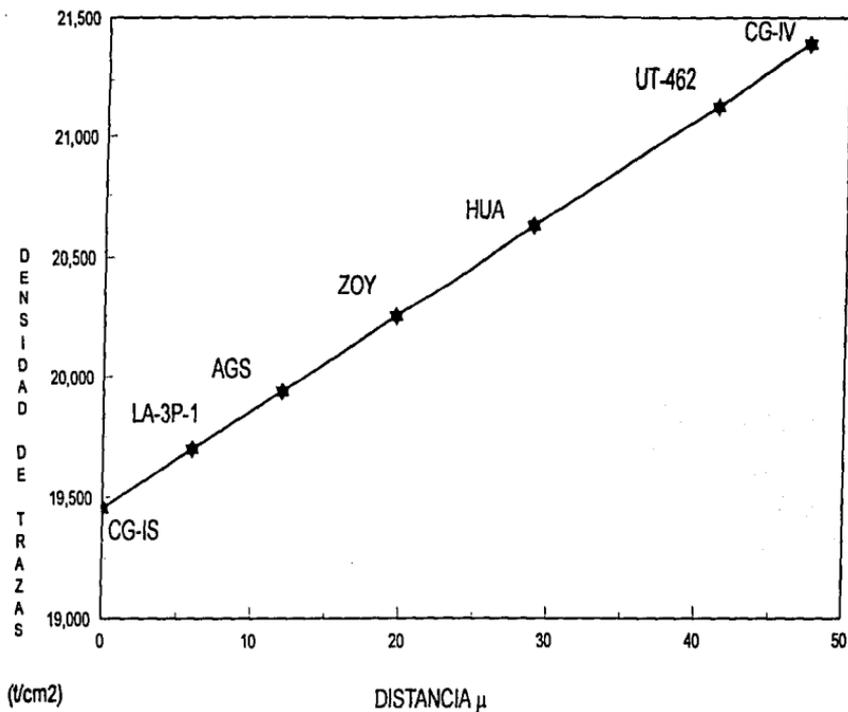
- 1) CG-I (0 ; 19,452.002)
- 2) CG-IV (47.3 ; 21,385.936)

Los resultados se muestran en la gráfica VIII.5. y se concentran en la tabla VIII.10.

MUESTRA	ρ_D
CG-IV	21,385.94
UT-462	21,136.53
HUA	20,629.54
ZOY	20,253.38
AGS	19,942.64
LA-3P-1	19,697.32
CG-I	19,452.00

TABLA VIII.10. Densidad de trazas estimada a partir de su distribución en el contenedor

DENSIDAD DE TRAZAS σ_D



GRÁFICA VIII.5. Densidad de trazas (σ_D) inferido a partir de las densidades obtenidas en los dosímetros

CÁLCULO DE LA EDAD

El flujo de neutrones se calculo primero para el estándar (muestra TU-462). A partir de la ecuación de la edad (ecuación 7 ampliamente explicada en el capítulo II) que es:

$$t = \frac{1}{\lambda_D} \ln \left(1 + \frac{\rho_i}{\rho_f} \cdot \frac{\lambda_D \phi \sigma_f}{\lambda_f} \right)$$

se despejó la variable ϕ (flujo de neutrones), quedando la siguiente expresión:

$$\phi = \frac{\rho_i \lambda_f (e^{\lambda_D t} - 1)}{\rho_f I \sigma \lambda_D}$$

el valor obtenido fue:

$$\phi = 2.58 \times 10^{14} \text{ n/cm}^2$$

Con este resultado y con la expresión :

$$\phi = \rho_D / B$$

donde:

ϕ = flujo de neutrones térmicos (n/cm²)

ρ_D = Densidad de trazas inferida de los dosímetros (n/cm²)

$B =$ _____

y son conocidos :

$\phi = 21.14 \times 10^{14} \text{ n/cm}^2$

$\rho_D = 21,136.53 \text{ n/cm}^2$

se despejó B y se obtuvo:

$$B = \rho_0 / \phi$$

quedando:

$$B = 9.99 \times 10^{-12}$$

con este valor se calculó el flujo de neutrones para todas las muestras. Los resultados se presentan en la tabla VIII.11.

MUESTRA	ϕ (n/cm ²)
UT-462	2.58
HUA	2.51811
ZOY	2.4722
AGS	2.43427
LA-3P-1	2.40433

TABLA VIII.11. Flujo de neutrones obtenido para cada muestra a partir del estándar (muestra TU-462)

Con este valor y los ya conocidos expresados en el capítulo II correspondientes a la ecuación de la edad, se calculó la edad de todas las muestras. Los resultados se expresan en la tabla VIII.12.

MUESTRA (LOCALIDAD)	DENSIDAD DE TRAZAS		ρD $\times 10^4$ trazas/cm ² (trazas)	FLUJO DE NEUTRONES ($\times 10^{14}$ n/cm ²)	TIEMPO DE GRABADO (s)	EDAD $\pm \sigma$ $\times 10^3$ años ($\pm \sigma$)
	ρ_B $\times 10^3$ trazas/cm ² (trazas)	ρ_I $\times 10^4$ trazas/cm ² (trazas)				
ZOY (Ags)	1.25 (175)	6.12 (11,173)	2.03 (1051)	2.4722	85	0.30 $\pm (0.03)$
AGUAS (Ags)	2.98 (289)	7.59 (9043)	19.45 (1045)	2.43427	75	0.57 $\pm (0.07)$
LA-3P-1 (Del. Alr. Obregón)	4.03 (910)	9.64 (12,228)	19.70 (1041)	2.40433	85	0.60 $\pm (0.07)$
HUA (Michoacán)	0.78 (35)	4.35 (5,272)	20.63 (1058)	2.51811	80	0.27 $\pm (0.03)$
UT-462	0.10 (31)	0.23 (414)	21.14 (1058)	2.58	50	0.65 $\pm (0.07)$
FLUJO CALCULADO PARA UT-462 $F=2.56+18$						

TABLA VIII.12. Edades obtenidas a partir del estándar UT-462

INTERPRETACIÓN

Los resultados obtenidos en el fechado de esquizas de vidrio por el método de trazas de fisión son interpretados como edades mínimas cuando no se ha aplicado la corrección de la edad. Las edades mínimas se refieren a edades de enfriamiento de los materiales fechados en virtud de que la estabilidad de las trazas de fisión esta en función de la temperatura. En este sentido las edades obtenidas contemplan la posibilidad de que las rocas hayan estado expuestas a procesos de calentamiento en tiempos posteriores al de su formación, en cuyo caso la edad obtenida será la del último calentamiento al que fue sometida dicha roca y no su edad de formación.

Sin embargo es de notarse la congruencia de las edades obtenidas (edades mínimas) con estudios previos (Mooser, 1975; Hernández-Láscares, 1981; Montellano-Ballesteros, 1992 y Mooser, 1996), que permiten sustentar la presente interpretación que asignan para todas las áreas edades del Cuaternario. Por otro lado no se aprecian en las zonas de estudio rasgos de fluidos hidrotermales, ni indicios de pirometamorfismo que hubieran sometido a las rocas a calentamientos posteriores al de su formación. Adicionalmente los rasgos morfológicos cuyas formas acusan una edad Cuaternaria es otro factor congruente con los resultados obtenidos. Este aspecto morfológico permite suponer que la roca no ha estado sepultada a profundidades cuyas temperaturas pudieran haber generado el borrado parcial (gradiente geotérmico). Por otro lado la estimación de diámetros de trazas inducidas y espontáneas muestran tamaños de $\pm 8\mu$, lo que apoya la posibilidad de que estas muestras no hayan sufrido efectos térmicos posteriores al de su depositación; y por lo tanto las fechas aquí reportadas si reflejan al edad de formación. Aunque del análisis anterior pudiera quedar exenta la Toba Zoayal debido a que en trabajos anteriores se encuentra estratigráficamente subyaciendo a la Toba Aguascalientes, lo cual se puede interpretar como que dicha toba ha estado expuesta a calentamientos posteriores al de su formación. En este sentido se interpreta como un calentamiento ocasionado por la Falla Oriental de Aguascalientes (FAO) que generó un borrado parcial de trazas en sus constituyentes vítreos.

No obstante se plantea la corrección de las edades mínimas para todas las muestras que permitirá conocer la edad real de formación de las rocas lo cual será motivo de estudios posteriores en virtud de que el tratamiento y la preparación de las muestras para llevar a cabo dicho cometido rebasa los tiempos previstos para la conclusión del presente trabajo.

La interpretación se realiza analizando individualmente las localidades de : 1) Delegación Alvaro Obregón (muestra LA-3P-1) 2) Ciudad de Aguascalientes (muestras AGS y ZOY); y 3) Poblado de Huaniqueo (muestra HUA) dentro de un marco geológico regional.

Delegación Alvaro Obregón.

La Sierra de las Cruces esta formada de una serie de estructuras volcánicas asociadas a flujos de lava, productos piroclásticos y lahares que integran una sierra elongada y abrupta orientada NNW-SSE. Las formas de esta sierra ubicada en la margen oeste de la Cuenca de México, son depresiones de horst y graben que la separan del Valle de Toluca. Las sierras que constituyen los límites de la Cuenca son las Sierras de Tezontalpan, Pachuca, Río Frío, Nevada, Chichinautzin, Zempoala y de las Cruces. La actividad volcánica fue también ampliamente distribuida dentro de la Cuenca, formando las Sierras de Santa Catarina y algunas estructuras aisladas (Mora-Alvarez, 1991). El sur de la Cuenca limitado por el campo volcánico Chichinautzin desarrollado en los últimos 700,000 años, creo las condiciones de formación de un extenso lago (Mooser et al., 1974; Urrutia-Fucugauchi et al., 1991).

La Sierra de las Cruces se caracteriza por la formación en sus estribaciones de extensos abanicos volcánicos; los cuales están formados por flujos piroclásticos de composición intermedia a ácida, capas de pómez, depósitos fluviales y paleosuelos (Mooser, Montiel y Zúñiga; 1996). que se definen como Formación Tarango (Arellano;1951)

La edad obtenida para la muestra LA-3P-1 de la Delegación Alvaro Obregón fue de 600,000 años que resulta ser congruente si tomamos en cuenta la caracterización y cartografía de las principales unidades litológicas expuestas en dicha zona (Campos et al., 1994) que corresponden a la Formación Tarango (Arellano; op. Cit.). En este sentido se estima una edad de 600,000 años para algunos eventos emitidos por el volcanismo de la Sierra de las Cruces. Sin embargo es conveniente tomar en cuenta la descripción y asociación que hace Mooser (1996) de las Sierras Mayores donde incluye entre otras a la Sierra de las Cruces y la Sierra Nevada para interpretar emisiones del Iztacchuatl o incluso las primeras emisiones del Popocatepetl contemporáneas a la Sierra de las Cruces.

AGUASCALIENTES

El valle de Aguascalientes se encuentra limitado por una contrastante topografía, de tal manera que presenta al oeste elevaciones superiores a los 2,800 msnm (La Sierra Fría por ejemplo) en tanto que al este se presentan lomerios con elevaciones máximas de 2,050 msnm. El drenaje es igualmente contrastante, pues mientras en el oeste es dendrítico e irregular, en el este tiende a ser paralelo, siguiendo una orientación preferencial N30E. Esta orientación paralela del drenaje comúnmente se interpreta como heredada de un control estructural responsable de fracturas que siguen esa orientación. El rasgo geomorfológico principal lo constituye la Falla Oriental de Aguascalientes separando las dos regiones de lomas y valles de manera tajante (Lermo et al., 1996).

Los arroyos principales tienden a ser paralelos con una orientación preferencial N20-30E y cerca del valle cambian su rumbo llegando a ser E-W hasta atravesar la Falla Oriental, después su curso se vuelve caprichoso e irregular, debido sobretodo a la pendiente mucho más atenuada en el valle que aguas arriba, hasta su unión con el Río San Pedro, corriente principal del estado (Lermo et al., 1994). La ciudad y el área circunvecina de Aguascalientes se encuentra ubicada sobre los sedimentos aluviales, rocas volcánicas y piroclásticas terciarias y cuaternarias afectadas por fallamientos normales asociados al desarrollo del Graben de Aguascalientes.

En el presente estudio se obtuvo una edad de 570 mil años para la muestra AGS tomada de la Toba Aguascalientes que resulta congruente con la edad reportada por Ferrusquía-Villafranca (1978) quien con base en estudios paleontológicos define una edad del Pleistoceno Tardío para esta unidad (Definida por Hernández-Láscares, 1981). Además se han reportado edades del Ilioiiano (Mooser y Dalquest, 1975) y del Irvingtoniano al Rancholabreano (Montellano-Ballesteros, 1992) para la fauna Cedazo del Estado de Aguascalientes.

De esta manera la Toba Aguascalientes queda determinada con una edad de 570 mil años.

Por otro lado se obtuvo una edad de 300 mil años para la muestra ZOY que corresponde a la Toba Zoyatal definida por Hernández-Láscares (op. Cit.). En este caso se han reportado edades del Mioceno Medio (Barstoviano) con base en estudios paleontológicos (Dalquest y Mooser 1974), sin embargo en estudios paleontológicos más recientes la fauna del Mioceno no ha vuelto a ser encontrada en parte debido al difícil acceso propiciado por el crecimiento urbano de la Ciudad de Aguascalientes. No obstante en la presente investigación se asigna una edad de 300 mil años correspondiente al Pleistoceno para la Toba Zoyatal. Esta edad que debería corresponder con eventos más antiguos, se puede interpretar como una unidad piroclástica emplazada en depresiones topográficas, en una época posterior al depósito de la Toba Aguascalientes. La presencia de fósiles dispersos y fragmentados del Mioceno (Dalquest y Mooser, op. Cit.), podría indicar depósito por retrabajo de sedimentos más antiguos. Alternativamente esta edad podría representar un evento de calentamiento, que necesita ser corregida por el método de la Meseta Isotérmica (Westgate, 1989).

POBLADO DE HUANIQUEO

El Poblado de Huaniqueo se encuentra dentro de una meseta volcánica de orientación E-W, en la cual predominan los derrames basálticos, numerosos conos volcánicos monogénicos y cuencas endorreicas rellenas de cenizas volcánicas. La cima de los volcanes tiene una altitud promedio de 1,500 msnm. Debido a la alta permeabilidad de los depósitos volcánicos se han desarrollado pocas corrientes superficiales consecuentemente el drenaje en esta zona es escaso y ha originado cauces de poca profundidad.

El relieve sepultado de la región fue originado por abundantes efusiones volcánicas basálticas que surgieron de fisuras, fallas y chimeneas de orientación NE-SW, estos productos volcánicos cubrieron todo el relieve anterior creando un nuevo relieve, el cual esta representado por abundantes conos volcánicos, derrames lávicos, lahares, depósitos de brechas volcánicas y ceniza, que dieron origen a axalapascos y cuencas endorreicas. El relieve montañoso esta representado por rocas volcánicas del Terciario que cubren secuencias sedimentarias del Mesozoico.

En el área afloran rocas cuyas edades varían del Terciario al Reciente. La base del Terciario se caracteriza por la presencia de sedimentos continentales que se depositaron en un ambiente de fuerte oxidación; están representados por la unidad de areniscas-conglomerados que aflora en la porción meridional de la Hoja Morelia. El terciario Superior se caracterizó por numerosos eventos volcánicos de composición ácida e intermedia, los cuales se encuentran representados por depósitos de brecha, tobas y derrames que cubrieron toda la zona. Estas unidades volcánicas fueron posteriormente erosionadas. Lo que dio lugar al afloramiento de rocas más antiguas, las cuales han sido cubiertas por los derrames basálticos cuaternarios. Los afloramientos de estas unidades se encuentran distribuidos ampliamente en el área.

La edad obtenida para la muestra HUA de un horizonte correspondiente al poblado de Huaniqueo fue de 270 mil años que la ubican dentro del Pleistoceno lo cual es congruente con los rasgos morfológicos descritos en el área.

CONCLUSIONES

El fechado de esquirilas de vidrio por el método de trazas de fisión resulta ser una excelente herramienta para obtener edades en vidrios de rocas del Cuaternario.

Las rocas Cuaternarias susceptibles de fecharse por el método de trazas de fisión son depósitos de tobas de caída con una alta concentración de esquirilas de vidrio. Los fragmentos de pómez y la obsidiana (Arcos, 1992) son muy difíciles de fechar.

La metodología e instrumentación desarrollada resulta adecuada para el procesado de las muestras.

El uso de estándares en el proceso de fechado permite la calibración del flujo de neutrones calculado en los dosímetros (muscovita) y consecuentemente las edades obtenidas quedan matemáticamente sustentadas.

Se obtuvo una edad de $600,000 \pm 70,000$ años para algunas emisiones volcánicas que conforman algunos horizontes de la secuencia de la Formación Tarango considerada parte del vulcanismo que dio origen a la Sierra de las Cruces (Mooser et al., 1996), cuya edad corresponde al Pleistoceno.

Se obtuvo una edad de $570,000 \pm 70,000$ años para la Toba Aguascalientes ampliamente distribuida en la Ciudad de Aguascalientes correspondiente al Pleistoceno.

Se obtuvo una edad de $300,000 \pm 30,000$ años para la Toba Zoyatal, por lo que se puede interpretar como producto de un evento volcánico posterior al que dio origen a la Toba Aguascalientes. Por otro lado con base en las edades reportadas en trabajos anteriores (Lermo et al., 1994) la edad obtenida en la presente investigación puede indicar un calentamiento posterior al de su formación; en este sentido se interpreta un borrado parcial por calentamiento debido a la cercanía que guarda la muestra ZOY con la Falla Oriental de Aguascalientes (FAO); en cuyo caso se requiere aplicar el método de corrección por la meseta isotérmica (ITPFTD) y por lo tanto la edad estratigráfica reportada anteriormente quedaría por confirmarse.

Se obtuvo una edad de $270,000 \pm 30,000$ años para los depósitos de tobas de caída ubicados en los alrededores del Poblado de Huaniqueo, y probablemente estos están asociados al vulcanismo de caldera del Eje Neovolcánico en el Pleistoceno Superior.

RECOMENDACIONES

Tomando en cuenta los resultados obtenidos y habiendo demostrado la efectividad del método de trazas de fisión en el fechado de esquiras de vidrio en depósitos de tobas de caída se recomienda :

Realizar la comprobación de la edad por el método de la meseta térmica (utilizado por Westgate, 1989)

Realizar un estudio cartográfico y tefracronológico en las localidades fechadas por el presente estudio. Para ello se sugiere realizar un muestreo sistemático en cada zona para los diferentes horizontes de tefra en cada depósito de tobas de caída, estableciendo espesores y descripciones para cada caso.

Obtener la mayor cantidad posible de muestra (5-10kg) con el fin de tener reserva en caso de pérdida o la necesidad de procesar una mayor cantidad de material.

La fabricación de moldes de polietileno para colocar las muestras a irradiar.

Irradiar dos o más estándares a fin de tener un mayor número de elementos que sustenten los resultados obtenidos.

Incrementar el uso del Método de Fechado por trazas de fisión en estudios del Cuaternario en esquiras de vidrio en depósitos de tobas de caída, en las zonas al norte del Eje Neovolcánico.

BIBLIOGRAFÍA

Albrecht, D., Armbruster, P., Spohr, R., Roth, M., Schauptert, K., and Stuhmann, H., 1984, **SMALL ANGLE SCATTERING FROM ORIENTED LATENT NUCLEAR TRACKS : NUCLEAR INSTRUMENTS AND METHODS IN PHYSICS RESEARCH B2**, v. 230, p. 702-705

Arcos Hernández José Luis; 1992. **FECHAMIENTO DE VIDRIOS VOLCÁNICOS POR EL MÉTODO DE TRAZAS DE FISIÓN**. Tesis Profesional. Facultad de Ingeniería. UNAM. México.

Brent V. Alloway, et. al.; 1993. **REVISION OF THE MARINE CHRONOLOGY IN THE WANAGANUI BASIN, NEW ZEALAND, B.V., NEW ZELAND**. Sedimentary Geology, 82, 299-310. Elsevier Science Publishers B. V., Amsterdam.

Campos Madrigal, E; Silva Romo, G; Arcos Hernández, J.L. y Tapia Crespo, A.; 1994. **PROYECTO: VERIFICACIÓN DE CAMPO DE LAS ZONAS DE RIESGO Y LEVANTAMIENTO GEOLÓGICO EN LA DELEGACIÓN ALVARO OBREGÓN**. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería. División de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Cas, R. A. F. Y Wright, J. V., 1987, **VOLCANIC SUCCESSIONS MODERN AND ANCIENT**, 1a.. de. Great Britain.

Crowley, K.D., Naeser, C.W., Naeser, N.D. 1989 **FISSION TRACK ANALYSIS :THEORY AND APPLICATIONS** A short course presented at the Geological Society of America Annual Meeting. St. Louis Missouri, November 4-5, 287 p.

Dalquest, W. and Mooser, O., 1974. **MIOCENE VERTEBRATES FROM AGUASCALIENTES, CENTRAL MÉXICO**. Mem. Mus, Pearce Sellards Ser. N. 21, 10 p.

Delgado-Granados, H y Martín-Del Pozo, A. L., 1993. **PLIOCENE TO HOLOCENE VOLCANIC GEOLOGY AT THE JUNCTION OF LAS CRUCES, CHICHINAUTZIN AND AHUSCO RANGES, SOUTHWEST OF MEXICO CITY**. Geofísica Internacional. Vol. 32. Num. 3, pp. 511-522.

Faure, G., 1986, **PRINCIPLES OF ISOTOPE GEOLOGY**, 2a. De., John Wiley & Sons, USA.

Fisher, R. V. Y Schmincke, H. U., 1984, **PYROCLASTIC ROCKS, SPRINGER-VERLAG, GERMANY**.

Fleisher, R.L., Price, P.B. 1964a. **GLASS DATING BY FISSION FRAGMENT TRACKS**. J. Geophys. Res. 69, p. 331-339

Fleisher, R.L., Price, P.B. and Walker, R.M. 1965a. **SOLID STATE TRACK DETECTOR: APPLICATIONS TO NUCLEAR SCIENCE AND GEOPHYSICS.** Ann. Rev. Nuc. Sci. 15.p. 1-28

Fleisher, R.L., Price, P.B. and Walker, R.M., 1975. **NUCLEAR TRACKS IN SOLIDS.** University of California Press, p. 605.

Fleisher, R. L., Crowlley, K. D., Brown, S.,Cameron, M., and Manning, J., 1987. **EFFECTS OF RADIATION DAMAGE ON THE VIBRATIONAL SPECTRUM OF DURANGO FLUORAPATITE (abstract): EOS.** v. 44, p. 1539.

Gleadow, A. J. W., Duddy, Y. R., and Lovering, J. F., 1983. **FISSION TRACK ANALYSIS: A NEW TOOL FOR THE EVALUATION OF THERMAL HISTORIES AND HYDROCARBON POTENTIAL.** Australian Petroleum Exploration Association Journal, V. 23, p. 93-102.

Gleadow, A. J. W., Duddy, Y. R., Green, P. F., and Lovering, J. F., 1986. **CONFINED FISSION TRACK LENGTHS IN APATITE: A diagnostic tool for thermal history analysis: Contributions to Mineralogy and Petrology.** V. 94, p. 45-415.

Hernández González, Gabriel, 1993. **ANÁLISIS DE TRAZAS DE FISIÓN DE APATITOS DE ROCAS IGNEAS DE LA REGIÓN SUROCCIDENTAL DEL ESTADO DE COLIMA,** Tesis de Licenciatura, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México.

Hernández Láscaras, Delfino (1981). **ESTRATIGRAFÍA DE LA REGIÓN CENTRAL DE AGUASCALIENTES, AGS. MÉXICO.** La Gaceta Geológica. Univesidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa. VolVI. Núm. 31. Ene-Jun, 1981.

Kingery, W. D., Bowen, H. K. Y Uhlmann, D. R., 1976, **INTRODUCTION TO CERAMICS, USA.**

Lermo-Samaniego, J., Nieto-Obregón, J. Y Zernaño, M., 1994. **FAULTS AND FRACTURES IN THE VALLEY OF AGUASCALIENTES. PRELIMINARY MICROZONIFICATION.** Paper Num. 1651. Eleventh World Conference on Earthquake Engineering. C.D. Room.

Mooser, Federico; Montiel, Arturo y Zúñiga, Ángel 1996. **NUEVO MAPA GEOLÓGICO DE LAS CUENCAS DE MÉXICO, TOLUCA Y PUEBLA. ESTRATIGRAFÍA, TECTÓNICA REGIONAL Y ASPECTOS GEOTÉRMICOS.** Comisión Federal de Electricidad. 1937-1996.

Montellano-Ballesteros, Marisol. (1992). **UNA EDAD DEL IRVINGTONIANO AL RANCHOLABREANO PARA LA FAUNA CEDAZO DEL ESTADO DE AGUASCALIENTES.** Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista. Vol. 9, núm. 2, 1990 (1992), p. 195-203.

Mora Álvarez, G.; Caballero Miranda, C.; Urrutia Fucugauchi, J. y Uchiumi, Sh. (1991). **SOUTHWARD MIGRATION OF ACTIVITY IN THE SIERRA DE LAS CRUCES, BASIN OF MÉXICO?. aPRELIMINARY K-Ar DATING AND PALAEOMAGNETIC STUDY.** Geofísica Internacional (1991), Vol. 30, Núm2, pp. 61-70.

Naeser, C.W., Izett, G.A. and Obradovich, J.D., 1980, **FISSION-TRACK AND K-AR AGES OF NATURAL GLASSES** : U.S. Geological Survey Bulletin 1489, 31 pp.

Naeser, C.W., Zimmermann, R.A., and Cebula, G.T., 1981, **FISSION-TRACK DATING OF APATITE AND ZIRCON: AN INTERLABORATORY COMPARISON** : Nuclear Tracks and Radiation Measurements, v.5, p. 65-72.

Naeser, C. W. and Naeser, N. D., 1988. **FISSION-TRACK DATING OF QUATERNARY EVENTS.** U. S. Geological Survey, MS 424, Box 25046, Denver Federal Center, Denver, Colorado 80225. Special Paper 227.

Rogers, J.J.W. and Adams, J.A.S., 1967 **THORIUM, IN HANDBOOK OF GEOCHEMISTRY, K.H. WEDEPOHL, ED. : SPRINGER-VERLAG, New York, p. 90-D-2**

Sandhu , A. S. and Westgate, J. A. , 1992, **ISOTHERMAL PLATEAU FISSION TRACK AGE DETERMINATIONS ON VOLCANIC GLASS SHARDS.** The New of the International Fission-Track Community, Vol. 2, Núm. 1, p. 1-24.

Silk, E.C.H. and Barnes, R.S., 1959, **EXAMINATION OF FISSION FRAGMENT TRACKS WITH AN ELECTRON MICROSCOPE** : Philosophical Magazine, v. 4, p. 970-971.

Tenorio Hernández, Luz María., 1992, **FECHAMIENTO DE ZIRCONES POR EL MÉTODO DE TRAZAS DE FISIÓN.** Tesis de Licenciatura, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México.

Romero Estrada, A. S., 1997, **EL AGUA SUBTERRÁNEA Y SU IMPACTO EN LAS ZONAS MINADAS DE LA DELEGACIÓN ALVARO OBREGÓN.** Tesis Profesional, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México.

Valero-Reyes, A. y Treviño-Montemayor, A. 1990. **FECHAMIENTO DE LA APATITA DEL CERRO DE MERCADO Y CALIBRACIÓN DEL MÉTODO DE HUELLAS DE FISIÓN.** Tesis Profesional, Facultad de Ingeniería, UNAM.