



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE MÉXICO**  

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**



**EVOLUCIÓN DEL PALEOLAGO DE TLAXCALA**



TESIS QUE PARA OBTENER  
EL GRADO DE LICENCIATURA EN  
INGENIERÍA GEOLÓGICA

Presentan:

**CHRISTIAN MUÑOZ SÁNCHEZ**  
**EDUARDO HUERTA DE LA FUENTE**

DIRECTOR DE TESIS  
M. C. GILBERTO SILVA ROMO

México

Noviembre de 2007



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 INGENIERÍA  
DIRECCIÓN  
60-I-620

**SR. CHRISTIAN MUÑOZ SÁNCHEZ**  
Presente

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor M. C. Gilberto Silva Romo y que aprobó esta Dirección para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de Ingeniero Geólogo:

**EVOLUCIÓN DEL PALEOLAGO DE TLAXCALA**

- RESUMEN
- I INTRODUCCIÓN
- II OBJETIVOS
- III REGISTRO ESTRATIGRÁFICO
- IV DISCUSIÓN DE RESULTADOS
- V CONCLUSIONES
- BIBLIOGRAFÍA
- ANEXO: MAPA GEOLÓGICO ESCALA 1:12,500

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 HABLARÁ EL ESPÍRITU"  
Cd. Universitaria, D.F., a 13 de junio de 2007  
EL DIRECTOR

MTRO. JOSÉ GONZALO GUERRERO ZEPEDA

RJPYS\*gtg  
*[Firma]*



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA  
DIRECCIÓN  
60-I-614

**SR. EDUARDO HUERTA DE LA FUENTE**  
Presente

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor M. C. Gilberto Silva Romo y que aprobó esta Dirección para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de Ingeniero Geólogo:

**EVOLUCIÓN DEL PALEOLAGO DE TLAXCALA**

- RESUMEN**
- I INTRODUCCIÓN**
- II OBJETIVOS**
- III REGISTRO ESTRATIGRÁFICO**
- IV DISCUSIÓN DE RESULTADOS**
- V CONCLUSIONES**
- BIBLIOGRAFÍA**
- ANEXO: MAPA GEOLÓGICO ESCALA 1:12,500**

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 HABLARÁ EL ESPÍRITU"**

Cd. Universitaria, D. F., a 1 de junio de 2007

EL DIRECTOR

**MTRO. JOSÉ GONZALO GUERRERO ZEPEDA**

RJPYS\*gtg

## DEDICATORIA



CHRISTIAN MUÑOZ SÁNCHEZ

*A mis padres María del Carmen y José Antonio por tanto amor, tolerancia, apoyo en los momentos difíciles, sus desvelos y su esfuerzo, dejando su vida misma para desarrollar la mía.*



EDUARDO HUERTA DE LA FUENTE

*A mis padres Enrique y Juana, por manifestarme su amor incondicional, por su ejemplo de superación y apoyo que me brindan en cada decisión que he tomado a lo largo de la carrera y por los sacrificios que hicieron para que pudiera concluir mis estudios, además, por ser parte de todos los momentos felices y tristes de mi vida.*

# AGRADECIMIENTOS



CHRISTIAN MUÑOZ SÁNCHEZ

*A Dios, por la salud y fuerza para culminar mis objetivos.*

*A la UNAM y a La Facultad de Ingeniería por darme el orgullo y la oportunidad única de pertenecer a ellas.*

*A mi novia Higríd por su amor y comprensión, espera en todo momento con los que hoy es un pilar para mi carrera y mi vida, te amo.*

*A mis hermanos Marco y Esnayder, por esos grandes momentos en nuestras vidas.*

*A mis abuelitos Candelario Guadalupe y Rosa, por el amor y cuidados por las mañanas mientras estuve con ellos.*

*A mis tíos Ricardo, Antonia Miguel, Isidro, Ana María, Martín, por sus consejos.*

*A mi tío Juan por aconsejarme y manifestarme su apoyo, siempre alentadores, hasta el último momento de la culminación de este trabajo.*

*A mis primos Gordo, Juan, Fer, Pepe, Matraca, Luis que son como mis hermanos, y que me han ayudado siempre en todo momento sin interés.*

*A quien me dio su apoyo y cariño: Esmeralda.*

*A Lalo, mi amigo y compañero de tesis, por los momentos que compartimos antes y después de este trabajo.*

*Al Ing. Alfredo Victoria por su incondicional apoyo, así como por su gran amistad, tiempo, consejos y recomendaciones, gracias.*

*Al Ing. Silva Romo por su dirección y ayuda, sin la cual no hubiese podido realizar este trabajo*

*A mis grandes amigos de todos los estudios hasta la profesión: Enrique, Christian, Nadia, Ely, Roy, Súper (David), Israel, Israel (vieja), Arturo, Fori, Ricardo, Pollo, Jorge y Eder.*

*A mis profesores de toda la carrera que gracias a sus enseñanzas formaron un profesionalista de valores y principios.*

# AGRADECIMIENTOS



EDUARDO HUERTA DE LA FUENTE

*A Dios, por darme la fuerza, la paciencia y la salud para poder llevar a cabo todas mis metas.*

*A la UNAM una de las instituciones más importantes del mundo, por brindarme una educación de calidad, donde los aspectos culturales y deportivos van de la mano. Por el orgullo que siento al recorrer sus pasillos y edificios.*

*A la Facultad de Ingeniería, porque en sus aulas adquirí los conocimientos que en un futuro me ayudarán para servir a la sociedad.*

*A mis hermanos Enrique y Esmeralda, por los consejos brindados y por estar conmigo en momentos difíciles, a mis primas Aída y Lety que más que primas, también, son como mis hermanas y que me han demostrado que puedo contar siempre con ellas. A mis sobrinas Ixchel, Alexia y Erin. A mi Miriam, por su apoyo e ideas, muchas de las cuales ayudaron para elaborar este trabajo. A Juan y Alberto.*

*A mis profesores de la UNAM, por compartir sus conocimientos en cada una de las materias correspondientes, con el único propósito de que nosotros como alumnos podamos enriquecernos con sus conocimientos y experiencias.*

*Al Ing. Silva y sinodales, por las correcciones y recomendaciones que enriquecieron el presente trabajo.*

*A mis amigos, Roberto, Arturo, Adolfo, Giovanni, Gil, Jorge, Abigail, Alfonso, Ana y Nelly, los cuales han demostrado que puedo contar con ellos en cualquier situación, que incluso han venido sin que los llamara.*

*Amigos y compañeros de la facultad: Betsabé, Amaya, Francisco, Ricardo, Mario, Juanito, David, Elidee y John y a todos aquellos que aunque no menciono han sido importantes, pues han dejado en mí recuerdos inolvidables.*

*Por último, quiero agradecer a Christian, compañero en la realización del presente trabajo, que me ha demostrado que es una gran persona y un buen amigo, por todos los momentos que hemos compartido, por aguantar los momentos tensos, de relajo, y por todas las bromas que nos hemos hecho.*

# ÍNDICE



<b>RESUMEN</b> .....	7
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	8
LOCALIZACIÓN .....	8
VÍAS DE COMUNICACIÓN .....	9
ENTORNO FISIOGRÁFICO .....	11
ANTECEDENTES .....	11
<i>Geológicos</i> .....	11
<i>Paleoecológicos</i> .....	13
CARACTERÍSTICAS DE LA DIATOMITA .....	16
HIPÓTESIS DE PARTIDA .....	20
<b>II. OBJETIVOS</b> .....	22
METAS .....	22
MÉTODO DE TRABAJO .....	23
<b>III. REGISTRO ESTRATIGRÁFICO</b> .....	25
UNIDAD LAS ROSAS .....	27
<i>Antecedentes</i> .....	28
<i>Distribución</i> .....	29
<i>Litología</i> .....	29
<i>Relaciones estratigráficas</i> .....	36
<i>Edad</i> .....	39
<i>Ambiente de depósito</i> .....	39
UNIDAD LAS CABRAS .....	39
<i>Antecedentes</i> .....	40
<i>Distribución</i> .....	40
<i>Litología</i> .....	40
<i>Relaciones estratigráficas</i> .....	41
<i>Edad</i> .....	41
<i>Ambiente de depósito</i> .....	43

UNIDAD EL LUCERO .....	43
<i>Antecedentes</i> .....	43
<i>Distribución</i> .....	46
<i>Litología</i> .....	48
<i>Relaciones estratigráficas</i> .....	50
<i>Edad</i> .....	52
<i>Ambiente de depósito</i> .....	52
UNIDAD IGLESIA VIEJA .....	54
<i>Antecedentes</i> .....	54
<i>Distribución</i> .....	55
<i>Litología</i> .....	55
<i>Relaciones estratigráficas</i> .....	56
<i>Edad</i> .....	56
UNIDAD HUILOAPAN .....	59
<i>Antecedentes</i> .....	59
<i>Distribución</i> .....	59
<i>Litología</i> .....	60
<i>Relaciones estratigráficas</i> .....	60
<i>Ambiente de depósito</i> .....	61
UNIDAD SAN SEBASTIÁN.....	61
<i>Antecedentes</i> .....	61
<i>Distribución</i> .....	62
<i>Litología</i> .....	62
<i>Relaciones estratigráficas</i> .....	62
<b>IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b> .....	64
<b>V. CONCLUSIONES</b> .....	84
<i>Conclusiones estratigráficas</i> .....	84
<i>Conclusiones geológicas</i> .....	86
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	89

---

## RESUMEN



El Paleolago de Tlaxcala está distinguido por un depósito de diatomitas originado a partir de un humedal localizado en lo que hoy es la Mina El Lucero. El origen del humedal se atribuye a una falla lístrica inferida sobre el Río de las Rosas, con un rumbo norte-sur y con un bloque de techo al oeste.

Este humedal evolucionó a un lago, en gran parte debido al cierre de la cuenca por un derrame basáltico localizado al sur-oeste de la zona de estudio, generando así una fase somera en sus inicios y una fase más profunda en su etapa final.

La falta del registro estratigráfico superior del lago y la existencia de una discordancia en la cima de las diatomitas hace suponer dos hipótesis acerca de la extinción de éste: la primera es debida a una falla localizada al sur de la zona de estudio conocida como Falla Tlaxcala, la cual, destruyó el embalse en la etapa de mayor profundidad del lago, seguida de una etapa de calma en la actividad volcánica dejando a los sedimentos bajo los efectos de intemperismo y erosión. Una segunda hipótesis sugiere que el lago fue rellenado por sedimentos hasta su desecación y posteriormente los sedimentos superiores del lago fueron erosionados creando una superficie de erosión en la cima del depósito de diatomitas.

## I. INTRODUCCIÓN



En la parte central del estado de Tlaxcala, existe un depósito de diatomita de origen lacustre de gran pureza y con un espesor de aproximadamente 25 m. La extensión aproximada del depósito es de 2 km de ancho de este a oeste y 3 km de largo de sur a norte. El cuerpo de diatomita ha sido explotado en varias minas pequeñas entre las que destacan la Mina El Lucero y la Mina Santa Bárbara.

Con base en las características de la acumulación diatomítica se ha postulado la existencia de un embalse lacustre ancestral denominado Paleolago Tlaxcala (Rico *et al.*, 1993), el cual es motivo de estudio en el presente trabajo.

### LOCALIZACIÓN

La zona de estudio se encuentra en la parte central del estado de Tlaxcala, en los municipios de Panotla, Hueyotlipan y Xaltocan; aproximadamente a unos 12 km al noreste de la ciudad de Tlaxcala; siendo la forma del yacimiento rectangular con una superficie de 20 km<sup>2</sup>, de 4 km en sentido este-oeste y 5 km en sentido sur-norte y un espesor variable aproximado de 25 metros comprendida entre las coordenadas 19° 24' latitud N y 98° 17' longitud W.

## VÍAS DE COMUNICACIÓN

Las vías de comunicación para acceder a la zona estudiada son las siguientes:

- a) Por el Sur desde la autopista 119 San Martín-Tlaxcala, en el km 20 se encuentra una desviación para continuar por una carretera en buen estado que comunica con el poblado de Temezontla, misma que conduce directamente al área de estudio que atraviesa los poblados de Temezontla y Huiloapan.

Otra opción de acceso desde el sur, es por el poblado de San Juan Totolac (al norte de la ciudad de Tlaxcala) donde se encuentra una desviación hacia el poblado de Huiloapan; el camino se encuentra en buen estado y es transitado por transporte colectivo, uniéndose al anterior aproximadamente a 2 km antes de llegar al área de estudio.

- b) Por el Norte, desde la carretera 136 México-Texcoco-Apizaco-Zacatepec aproximadamente en el km 114, se encuentra una desviación hacia el poblado de San Simeón Xipetzingo, que continúa hacia el sur por un camino en buen estado hacia el área estudiada, ésta se encuentra a 7 kilómetros (véase la figura 1)

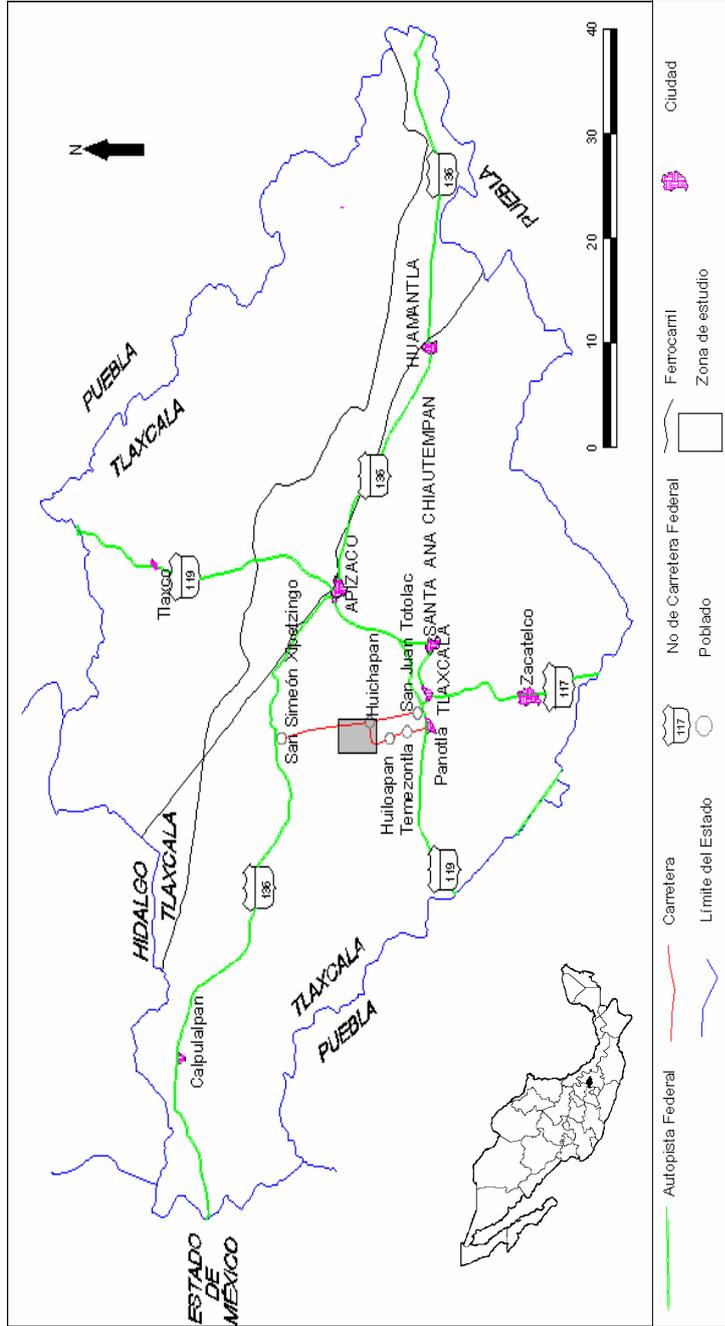


FIGURA 1. Ubicación de la zona estudiada así como las principales vías de acceso. Imagen tomada de Vilciara et al. (2006).

## ENTORNO FISIOGRÁFICO

De acuerdo con el mapa de las provincias fisiográficas de México (Lugo-Hubp y Córdoba, 1995), la zona estudiada queda comprendida dentro de la provincia denominada Eje Neovolcánico, a su vez dentro de la cuenca del Río Atoyac, perteneciente a la región hidrológica Río Balsas (INEGI "a", 2007), en la provincia geomorfológica del Cinturón Neovolcánico Transversal y la subprovincia geomorfológica de Cuencas y Estratovolcanes.

El paisaje del área estudiada está dominado principalmente por una planicie con pendientes suaves, que han sido rellenadas por depósitos recientes; la zona se encuentra rodeada por volcanes con alturas no mayores a 80 m y derrames basálticos.

La acción erosiva de las corrientes fluviales en los materiales poco consolidados expuestos en el área, ha formado cañadas profundas de paredes casi verticales y paralelas entre si; con un rumbo general al este; en las cuales se observan capas tobáceas dispuestas en forma horizontal, prácticamente sin deformación alguna.

## ANTECEDENTES

### *Geológicos*

Los primeros trabajos reportados en el área corresponden a la exploración de recursos naturales que realizó el Instituto

Geológico Mexicano durante los años de 1932 y 1933. Más tarde en 1941 se inició en el estado de Tlaxcala la exploración con el objetivo de estudiar los minerales no metálicos existentes en dicha región.

Se practicaron nuevas exploraciones en el municipio de Panotla con el objetivo de determinar si las acumulaciones de carbones existentes en las Barrancas de Temezontla, Huiloapan y Huexoyucan eran explotables o no; se llegó a la conclusión de que no eran económicamente explotables debido a la mala calidad de los referidos productos, esto debido principalmente a que era un cuerpo heterogéneo que presentaba laminaciones de arcilla y de poco espesor (Lozano 1946)

En el año de 1964, Ontiveros Hernández, realizó, como tesis de licenciatura, un estudio de la diatomita con el fin de determinar si era económicamente explotable. Ontiveros-Hernández (op. cit.) llegó a la conclusión de que el cuerpo de diatomitas era de muy buena calidad y económicamente explotable.

Recientemente, diversos investigadores han realizado trabajos en el área, entre ellos Vilaclara *et al.* (1993 y 2004) y Rico *et al.* (1993 y 1997), basados en el estudio de las Diatomeas y su hábitat han establecido una evolución de un lago de aguas someras a uno de aguas profundas.

*Paleoecológicos*

La laminación entre capas claras y oscuras interrumpidas ocasionalmente por bandas más gruesas de arenas volcánicas presente en las minas de El Lucero y Santa Bárbara (véase mapa geológico) ha sido motivo de diversos estudios entre los que destaca el realizado por Rico *et al.* (1995) a un bloque de 13.3 cm del socavón de la Mina El Lucero donde se lograron identificar 27 especies diferentes de diatomeas, comprendidas en 15 géneros. Las especies más abundantes encontradas en el bloque por Rico *et al.* (1995) fueron *Gomphonema olivaceum*, *Nitzschia amphibia* y *Nitzschia lanceolata*, comprendidas en los géneros de *Nitzschia* y *Cymbella*. Alrededor de un 70% de especies encontradas en el bloque indican condiciones para un lago alcalino (pH mayor a 7) mientras que un 16% fueron indiferentes al pH (pueden vivir a pH distintos). En cuanto al ambiente, la gran mayoría de especies encontradas pertenecen a especies bentónicas (viven en el fondo sobre el sustrato) y epifitas (viven sobre plantas acuáticas) y en un menor porcentaje las especies planctónicas (viven flotando en el lago). Algunas especies fueron reportadas como de agua dulce a levemente salobres, con desarrollo en ambientes con gran cantidad de nutrientes orgánicos y donde la descomposición de la materia orgánica es completa.

Por otro lado, Vilaclara *et al.* (2004) realizaron un estudio en dos muestras, una de la parte media del depósito y otra en la parte más antigua para tratar de correlacionar el cambio de las asociaciones con las láminas claras y oscuras. Vilaclara *et al.* (op. cit.) reportó que en la parte más antigua del registro, se reconocía una asociación que corresponde a una fase lacustre somera ya que abundan especies típicamente bentónicas y epifíticas mientras que en la parte media el mismo estudio reveló 62 especies, las más abundantes fueron: *Stephanodiscus niagarae*, *S. astraea*, *S. minutus*, *S. hantzschii*, *Amphora ovalis*, *Cymbella cistula* y *Cocconeis placentula*. En esta sección se determinaron cambios en las asociaciones: se alternan asociaciones planctónicas con asociaciones bentónicas.

De acuerdo con las características de las especies identificadas en los diversos estudios, llevaron a Vilaclara *et al.* (2004) a sugerir el siguiente escenario paleoambiental:

- a) Un lago más somero en sus inicios: esto de acuerdo a las especies encontradas que reflejan una fase lacustre ya que abundan especies típicamente bentónicas (Rico *et al.*, 1993) las cuales al vivir en el fondo debieron estar en un ambiente poco profundo por la necesidad de la luz para realizar la fotosíntesis.
- b) La transición lenta hacia un mayor volumen de agua: donde se encuentran tanto especies bentónicas como

planctónicas. Al aumentar el tirante de agua la cantidad de luz no era suficiente y por lo tanto se desarrollaron especies planctónicas.

- c) Un lago más profundo en su etapa final: puesto que se reportan especies de aguas profundas ya que abundan una gran cantidad de especies bentónicas y que desapareció en la parte final del Pleistoceno posiblemente a fenómenos volcánicos (Rico *et al.*, 1993).

En cuanto a las características ecológicas del lago, Benítez-Rangel *et al.* (2001) menciona que durante su etapa inicial, el lago era levemente salino, con una gran cantidad de nutrientes y considerable vegetación acuática. Durante esta etapa, pudo ser alcalino con un pH superior a 7. Hacia la etapa final no se presentan cambios en cuanto a salinidad, pH, nutrientes y temperatura.

Esta interpretación que muestra un lago somero en su etapa inicial y aguas profundas en su etapa final, contradice el modelo de evolución normal de un lago, que predice en las etapas iniciales un lago de aguas profundas y conforme va envejeciendo, los sedimentos que son transportados por diversos agentes van rellenando la cuenca poco a poco y volviéndola más somera (*op. cit.*). Esto ha abierto una nueva discusión en cuanto a la evolución del lago y las causas que originaron dicho aumento, originando diversas hipótesis acerca de estos hechos.

## CARACTERÍSTICAS DE LA DIATOMITA

La diatomita es una roca sedimentaria silícica de origen biogénico, compuesta por esqueletos microscópicos de algas unicelulares y acuáticas fosilizadas. Se forma por la acumulación de frústulas de diatomeas, principalmente se encuentra en depósitos de ambientes marinos, lacustres o pantanosos, que pueden formar grandes depósitos con un espesor suficiente para su explotación comercial.

Químicamente, la diatomita es sílice y agua de combinación, la cual varía de 2 a 10%, las impurezas más comunes son arcilla, arena, carbonato de calcio y sales solubles. Los depósitos son bancos de material pulverulento al cual también se le conoce con los nombres de tiza, tizar, tizate, kieselguhr, kieselmehl, bergnehl, tierra de diatomea y tierra diatomacea (véase la figura 2).

En cuanto a los usos que se le da a la diatomita, podemos mencionar como el más importante el de filtro ayuda, ya que se utiliza en la purificación de una gran variedad de líquidos en las industrias del petróleo, alimenticia, farmacéutica, química y en la industria cervecera, entre otras.

De acuerdo a su uso como filtro, la diatomita se divide en tres grupos (Secretaría de Economía, 2007):



FIGURA 2. Trozo de diatomita tomado de la Mina El Lucero, observe su aspecto terroso y su color blanco. Escala: lapicero de 15 cm.

*Natural:* Se utiliza principalmente en la industria de la cerveza, metales preciosos, y vinos para la separación de materiales microscópicos.

*Calcinada:* Se aplica en los extractos alcohólicos, cerveza, sidra, jugos de frutas, adhesivos, productos farmacéuticos, jarabes, tratamiento de agua, vino, levadura, antibióticos, etcétera.

*Calcinada con fundente:* Se aplica principalmente en la industria alimenticia, en la elaboración de los aceites vegetales y grasas animales, químicos orgánicos e

inorgánicos así como para la elaboración de productos para el hogar como solventes para limpieza en seco, colorantes y pinturas, aceites lubricantes, glucosa, lacas y barnices, jabón, maltosa, pectina, adhesivos, caseína, ésteres de celulosa, sidra, dextrina, grasas, gomas sintéticas, mosto de cerveza, etc.

Las propiedades físicas de la diatomita se presentan en la siguiente tabla:

Propiedades físicas de la diatomita (natural y calcinada)

<i>Propiedades</i>	<i>Diatomita</i>	
	<i>Natural</i>	<i>Calcinada</i>
Color	Gris y blanco (alta pureza)	Blanco (con fundente) y rosa
Peso específico	2.0	2.3
Área superficial	10 a 30 m <sup>2</sup> /g	0.5 a 5 m <sup>2</sup> /g
Índice de refracción	1.4 a 1.46	1.49
Dureza (Mohs)	4.5 a 5	5.5 a 6
Humedad	Varía de acuerdo al depósito (10% a 60%)	No contiene
Punto de fusión	1400° a 1750°C	Nulo
Porosidad	Alta porosidad	Nula
Conductividad	Conductividad térmica muy baja	Nula
Otras propiedades	Capacidad abrasiva suave	Nula
	Capacidad para absorber líquidos muy alta	

En la industria de la pintura la diatomita se entrelaza con la película de la pintura brindándole mayor tenacidad y mejores propiedades de lijado permitiendo controlar el grado de brillo al nivel deseado, también reduce la tendencia a la formación de grumos y asegura al mismo tiempo un secado más rápido debido a la mejor evaporación de los solventes.

En la industria del hule se utiliza en hules naturales y sintéticos para la elaboración de neumáticos, suelas, tacones, rodillos, guantes, empaquetaduras, etcétera.

En la industria de la construcción, la diatomita es utilizada en la elaboración de elementos aislantes térmicos como el ladrillo aislante, bloques y cementos, así como otros equipos de tratamiento térmico, además, la diatomita ayuda al concreto a obtener una baja capacidad de retención de agua, mejorando su calidad.

La diatomita constituye un componente abrasivo en la formulación de limpiadores para obtener el acabado de pulimento y brillo de automóviles y metales en general.

Otros usos que se la dan a la diatomita es como: desinfectante químico, limpiadores industriales de piso, en la elaboración de morteros, argamasas además de ser utilizada para modificar los lodos de perforación o para la cementación de los huecos de perforación en los pozos petroleros (Secretaría de Economía, 2007).

Los principales yacimientos comerciales mexicanos de diatomita se encuentran en el Estado de Jalisco así como en

los estados de Tlaxcala, México y Michoacán donde se registran importantes depósitos del mineral.

#### HIPÓTESIS DE PARTIDA

Existen varias hipótesis para explicar los cambios observados en el paleolago Tlaxcala, Rico *et al.* (1995) proponen que en un principio se trataba de varios cuerpos de agua o lagos someros, los cuales se fusionaron posteriormente gracias a un cambio climático que implicó pasar de una época más seca a una época con mayor humedad, lo que trajo como consecuencia que se formara una sola cuenca lacustre. Esta interpretación apunta hacia la existencia de un clima más húmedo que el actual para la zona de Tlaxcala hace 1.8 Ma, aunque la distribución de diatomeas planctónicas (indicadoras de mezcla en la columna de agua) y bentónicas parece sugerir un régimen de secas/lluvias similar al actual (Vilaclara *et al.*, 2004). En ausencia de otras evidencias (como el polen, mal preservado en el registro) que apoyen un clima similar al actual, la interpretación más común para dicho aumento de volumen en el lago se relaciona simplemente con un cambio climático (Vilaclara *et al.*, 2004). Sin embargo, tal incremento también podría atribuirse hipotéticamente a cambios geomorfológicos que pudieron haber influido en la configuración de la cuenca lacustre, aumentando el tirante del lago.

Por lo anterior, este trabajo de tesis se llevó a cabo con base en la siguiente hipótesis:

En primera instancia se generó un vulcanismo local que en conjunto con la tectónica cerró la cuenca. Esto favoreció la existencia de un lago que, junto con la actividad volcánica (que aportó sílice), propició un ambiente ideal para la existencia de las especies de diatomeas. En cuanto a la explicación de la paradoja de la fase terminal del Paleolago (su aparente desaparición súbita tras un incremento de volumen), proponemos dos hipótesis posibles:

La primera considera un desarrollo normal del lago, es decir, que terminó colmatado y la posterior erosión de la cima del relleno lacustre; de tal forma, el registro estratigráfico actual no incluye la fase somera final.

La segunda hipótesis se refiere a un posible evento tectónico catastrófico, el cual destruyó el embalse lacustre.

## II. OBJETIVOS



El presente trabajo tiene como objetivo describir y proponer un modelo geológico para explicar la evolución del Paleolago de Tlaxcala, tomando en consideración las diversas inferencias previas acerca del aumento del tirante de agua del mismo; se explicará cuáles pudieron ser las causas que provocaron dicho aumento y el contexto geológico en el cual se desarrolló el Paleolago.

22

### METAS

1. Elaborar un mapa geológico a escala 1:12,500 del área El Lucero en el estado de Tlaxcala, caracterizando cada una de las unidades geológicas expuestas en el área.
2. Elaborar una columna estratigráfica representativa de la zona donde se muestren las características geológicas y las relaciones temporales de las unidades.
3. Determinar las características generales del paleolago.
4. Interpretar cómo los aspectos geológicos intervinieron en la evolución lacustre.

## MÉTODO DE TRABAJO

En primera instancia se realizó un estudio fotogeológico con base en fotografías aéreas verticales a escala 1:35,000 del área, mismas que fueron adquiridas en el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI), en las fotografías se marcaron los contactos de las posibles unidades existentes en la región, que posteriormente se transfirieron en un mapa para tener dicho mapa como base del trabajo geológico de campo.

Se realizó una investigación bibliográfica acerca de la zona, así como de las características y usos de la diatomita, encontrando artículos de revistas, resúmenes de simposiums y tesis previas.

Durante el trabajo de campo se realizaron diversos caminamientos estratégicos en el área estudiada con el fin de verificar los contactos marcados en el mapa previo así como describir las unidades aflorantes y sus límites; las localidades descritas se ubicarán con un receptor GPS referido al elipsoide GRS 80.

Se buscaron los límites laterales de la diatomita con el fin de poder establecer la configuración y posible extensión del Paleolago de Tlaxcala.

Durante el trabajo de campo se colectaron muestras de las localidades descritas de las cuales se seleccionaron algunas para realizarles estudios petrográficos, la selección

de estas muestras se basó en el grado de alteración de cada una así como las de mayor representación de cada unidad.

Con base en el estudio en campo se realizaron modificaciones al mapa geológico previo para actualizarlo con las unidades propuestas así como los rasgos observados y la simbología correspondiente.

Después del trabajo de campo, se escribieron y discutieron los resultados obtenidos tanto en el campo como en los estudios petrográficos, tomando en consideración las relaciones estratigráficas entre las unidades así como su litología.

Se concluye acerca de la evolución del paleolago, proponiendo un modelo en el cual se explican los fenómenos que llevaron a un aumento en el tirante así como su extinción.

### III. REGISTRO ESTRATIGRÁFICO



El paleolago motivo de este estudio se desarrolló asociado a en un ambiente volcánico. El cuerpo diatomítico presenta horizontes volcánicos y está constreñido por unidades volcánicas. En la región han quedado registros de dos ambientes completamente diferentes.

El primer ambiente se adjudica a una etapa volcánica anterior y posterior al establecimiento del Paleolago Tlaxcala, dejando rastros claros de este evento, mismos que son descritos más adelante. El segundo ambiente es el de tipo lacustre, representado por el depósito de diatomitas. Para fines descriptivos y de estudio, se dividió la sucesión estratigráfica expuesta en la región del paleolago, en seis unidades informales, cuatro de carácter volcánico, una sedimentaria y otra de depósitos recientes (véase el mapa geológico).

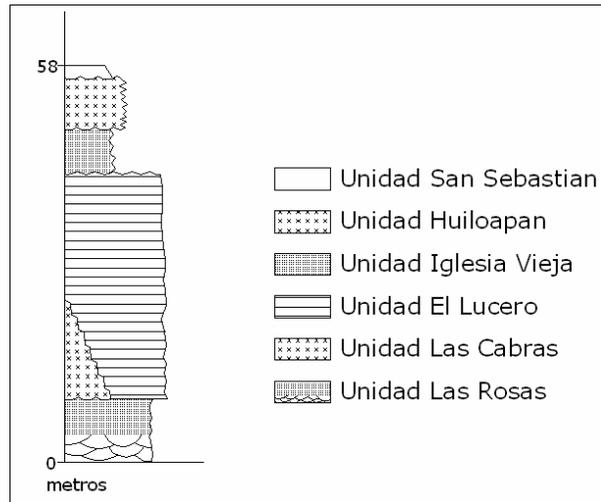
Las unidades en que se subdividió la sucesión en orden de la más antigua a la más joven son las siguientes:

- a) Unidad de Las Rosas: Constituida principalmente por tobas y arenas volcánicas; esta unidad aflora en el cauce del Río de las Rosas y es la más antigua de la región y la de menor exposición.

- b) Unidad Las Cabras: Consta de un derrame basáltico que aflora a lo largo del Río Jilotepec. Es una unidad de poca extensión que sobreyace a la Unidad Las Rosas únicamente en la porción sur de la zona.
- c) Unidad El Lucero: Esta unidad es la de principal interés, por ser el cuerpo de diatomita formada en el Paleolago, además de estar superpuesta a la Unidad Las Rosas en la porción central y norte de la zona. En este trabajo hemos denominado de ésta manera al conjunto de secciones abiertas que en trabajos anteriores se han denominado Mina El Lucero (sección inferior) y Mina Santa Bárbara (sección superior). Consideramos que ambas secciones representan diferentes tiempos en el paleolago y, por ello, permiten describir la evolución.
- d) Unidad Iglesia Vieja: La unidad consta únicamente de tobas más recientes a las de la Unidad Las Rosas, además de ser la más extensa de la región, sobreyaciendo a la Unidad El Lucero.
- e) Unidad Huiloapan: Está constituida por derrames basálticos de un vulcanismo reciente, además de tener una fuente de emisión diferente a la Unidad Las Cabras, cubriendo una gran extensión en el sureste de la zona de estudio.
- f) Unidad San Sebastián: Consiste en paleosuelos y depósitos recientes, siendo la unidad más joven.

En la figura 3 se muestra la columna estratigráfica de la zona estudiada.

FIGURA 3. Columna estratigráfica de la zona estudiada.



27

En los siguientes párrafos se hace una descripción más detallada de cada unidad presente, describiendo su ubicación, mineralogía, estructuras, edad probable, así como sus relaciones estratigráficas.

#### UNIDAD LAS ROSAS

La unidad más antigua de la sucesión es un paquete de 14 m sin que esté expuesta su base, en los cuales se reconocen dos miembros:

La parte inferior consta de arenas volcánicas de 4 m de espesor aproximadamente, con estratificación cruzada, de color gris claro.

La parte superior de la unidad consta de tobas poco consolidadas de 10 m aproximadamente, color beige en la parte superior de la unidad y que están presentes a lo largo del Río de las Rosas, de donde se toma el nombre de la unidad.

#### *Antecedentes*

Ontiveros-Hernández (1964) reportó en el fondo de las cañadas de la Yegua y del Lucero, algunos afloramientos que se encuentran ligeramente alterados en arcilla. Ontiveros-Hernández (1964) no reporta ninguna diferencia entre las tobas que se encuentran debajo de las diatomitas y las que se encuentran arriba, que en este trabajo se asignan a la Unidad Iglesia Vieja.

La Unidad Las Rosas que se describe, corresponde únicamente con algunos metros de la parte alta de la sucesión Tepeticpac (por lo que se toma un nombre diferente del registro estratigráfico), descrita por Vilaclara *et al.* (2006) como una sucesión de 144 m caracterizada por horizontes de tobas, así como tefras conformadas por materiales piroclásticos subaéreos con estratificación laminar cruzada,

además de ocurrencias fluviales con arenas medias a gruesas con estratificación cruzada.

#### *Distribución*

Esta unidad es la de menor área de afloramiento en la zona, ya que sólo se observa en el Río de las Rosas en su sector con mayor profundidad de disección, donde se presentan algunos saltos hasta de 6 m de altura, lo que impide seguir la unidad y su mejor caracterización.

La unidad está expuesta a lo largo del Río de las Rosas en el tramo comprendido entre las cañadas del Tizatl y el Lucero y en las cañadas Ixtlahuatenco y Chalcom en el sur del área, en la ladera norte del Cerro de San Mateo cerca del poblado del mismo nombre, donde se observan los horizontes basales de la unidad. También se reconocieron otros afloramientos no cartografiados de la Unidad Las Rosas al norte del Cerro San Mateo en las cañadas de Chalcom e Ixtlahuatenco en los que la sección no aflora debido a la poca profundidad que aún presentan (localidades CE-10, CE-11).

#### *Litología*

La Unidad Las Rosas presenta dos miembros: el miembro basal está conformado por un depósito tipo “surge” y el

superior consiste en cenizas de caída de color blanco a beige. El miembro basal aflora a lo largo del Río de las Rosas.

Este miembro basal consiste de una capa de arenas volcánicas con tamaños de grano que van desde 1 mm hasta los 5 mm con algunos fragmentos líticos de diversos tamaños que van desde 1 cm hasta 10 cm, las arenas volcánicas tienen un promedio en tamaño de 3 mm. Mientras que el color de éste varía entre el beige claro a oscuro y crema. Algunos de los minerales reconocidos en láminas delgadas son: las plagioclasas, como la oligoclasa y se encuentran en gran parte alteradas a arcilla; también se observan algunos fragmentos de vidrio volcánico en una textura piroclástica.

Los rasgos primarios de la base presentan un cambio gradual en la estratificación y granulometría, observándose estratificación cruzada algunos metros antes de la Cañada de San José en la localidad CE-07, donde se observan algunas gravas entre la laminación cruzada (véase la figura 4) y antidunas (véase la figura 5) en lo que expresa un régimen de flujo alto (Prothero y Schwab, 1999). Por otro lado, los horizontes presentan una mala selección y algunos clastos que interrumpen la secuencia. Siguiendo aguas abajo sobre el Río de las Rosas, cerca de la Cañada de San José, se observan horizontes con estratificación paralela y planar; en este sector, la unidad se presenta menos consolidada, como se muestra en la figura 6.

FIGURA 4. En el Río de Las Rosas (localidad CE-08), la unidad Las Rosas presenta laminación cruzada en la cual resaltan algunos fragmentos líticos. Escala: martillo de 41cm.

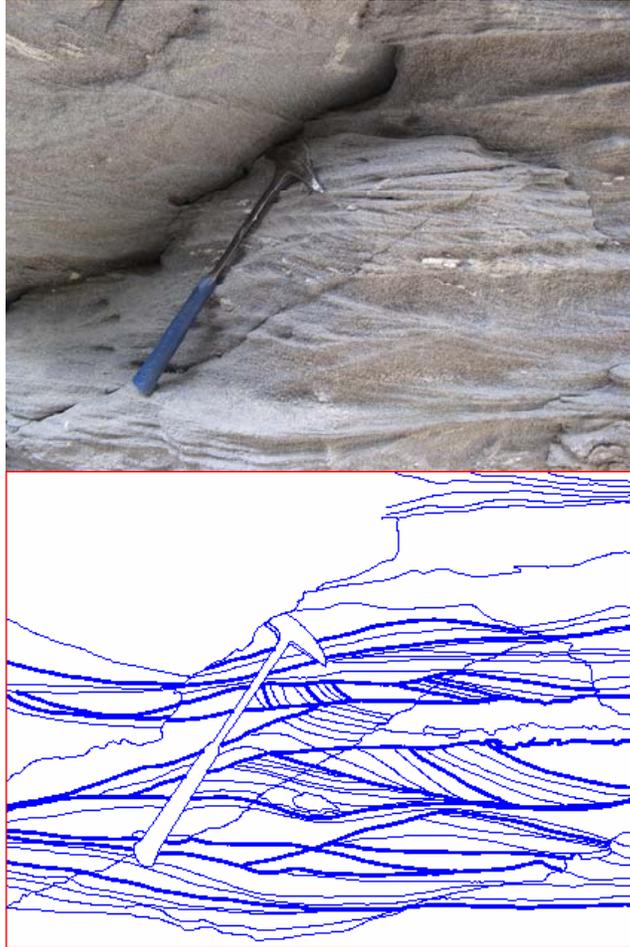


FIGURA 5. Detalle de la Unidad Las Rosas observado al pie del Cerro Las Rosas, correspondiente a una estructura tipo "surge". En el esquema se muestra la disposición de las láminas que presentan una estratificación cruzada. Escala: martillo de 41 cm.



FIGURA 6. Es notoria la secuencia de cenizas en estratos de espesores variados, debajo del estrato más competente de 30 cm de color blanco se observan los depósitos tipo "surge" con laminaciones paralelas sobre el Río de Las Rosas y la Cañada La Yegua



33

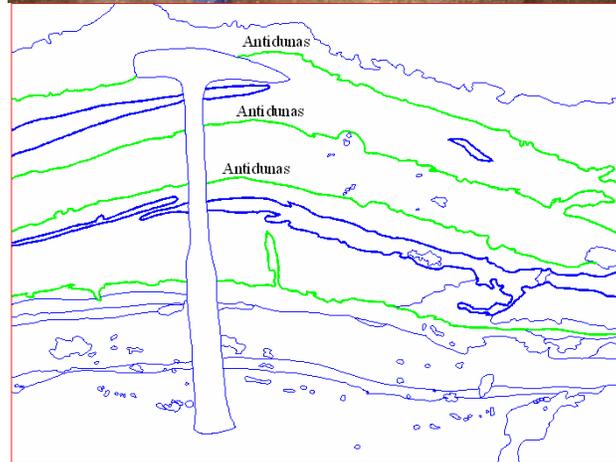
FIGURA 7. Esquema que muestra el arreglo interno de un depósito tipo surge, tomada de Fisher y Shmincke, (1984)



Este tipo de estructuras están asociadas a depósitos tipo “surge” que han sido definidos por Sparks y Walker (1973) como un flujo de piroclastos formados en la base de la columna eruptiva y que viajan durante las erupciones hidroclásticas, pero con una mejor clasificación que la presentada por la mayoría de los flujos, así como un mayor enriquecimiento —comúnmente en cristales y fragmentos líticos— comparados con estos últimos (véase la figura 7).

El miembro superior de la Unidad Las Rosas se constituye de cenizas de composición ácida a intermedia por el mayor contenido de plagioclasas sódicas y que varían en color desde un blanco al fresco y un color beige en las zonas meteorizadas (en algunos casos ya se ha alterado a arcilla). Este miembro de la unidad está expuesto a lo largo del Río Las Rosas y en las cañadas confluentes; en lo que refiere al extremo sur de la zona se registra un horizonte de poco espesor (1 m) entre las cañadas de Chalcom y de Ixtlahuatenco. En un estudio petrográfico del miembro superior de la Unidad Las Rosas se observó que las tobas presentan plagioclasas como oligoclasas alteradas a arcilla y un pequeño porcentaje de vidrio volcánico. En el miembro se presentan estructuras primarias, de corte y relleno, de carga y canales, desarrolladas en horizontes delgados de tobas intercalados con arenas volcánicas, como se observa en el punto CE-07 cerca de la cañada del Tizatl (véase la figura 8).

FIGURA 8. En la fotografía se observan antidunas en la Unidad Las Rosas formadas por un régimen de flujo alto. Las antidunas están desarrolladas en horizontes de ceniza volcánica de 7 cm aproximadamente intercalados con horizontes de arena volcánica ubicados en la cabecera del Río de las Rosas y la cañada del Tizatl, en la localidad CE-07.



De este modo se hace claro que los depósitos “surge” (miembro inferior) tienen una configuración de “dunas” y “antidunas” de una coloración más oscura, a diferencia de las tobas que no presentan estructuras internas y son de un color beige (véase la figura 9).

#### *Relaciones estratigráficas*

Sobre la margen Oeste de Río de las Rosas, en las proximidades de su confluencia con la Cañada San José, la Unidad Las Rosas subyace concordantemente a la Unidad El Lucero. En el contacto se observa un horizonte de ceniza de color negro de 10 cm en promedio, y con granulometría de 1 a 2 mm, formado principalmente por cuarzo y plagioclasas en una matriz vítrea (véase la figura 10). La mayoría de los cristales de cuarzo y algunos fragmentos de vidrio son muy angulosos, por lo que se infiere una fuente de origen a poca distancia. Esta misma capa de cenizas negras se puede observar en la Mina El Lucero, donde la ceniza negra se encuentra sobreyaciendo a la ceniza de color beige y por debajo de la diatomita.

En la margen oriental del Río de las Rosas, la Unidad El Lucero no se acumuló, de tal forma, la Unidad Las Rosas está cubierta directamente por la Unidad Iglesia Vieja, que se depositó de forma discontinua. Se infiere entonces que el lago tuvo su límite oriental aproximadamente a la longitud del Río de las Rosas.

FIGURA 9. a) Piroclastos de 1 a 3 cm con estratificación cruzada presentes a lo largo del Río de las Rosas en la parte inferior del cauce en el punto CE-07, en el esquema es apreciable que los depósitos “surge” presentan una estratificación en forma de dunas y antidunas.

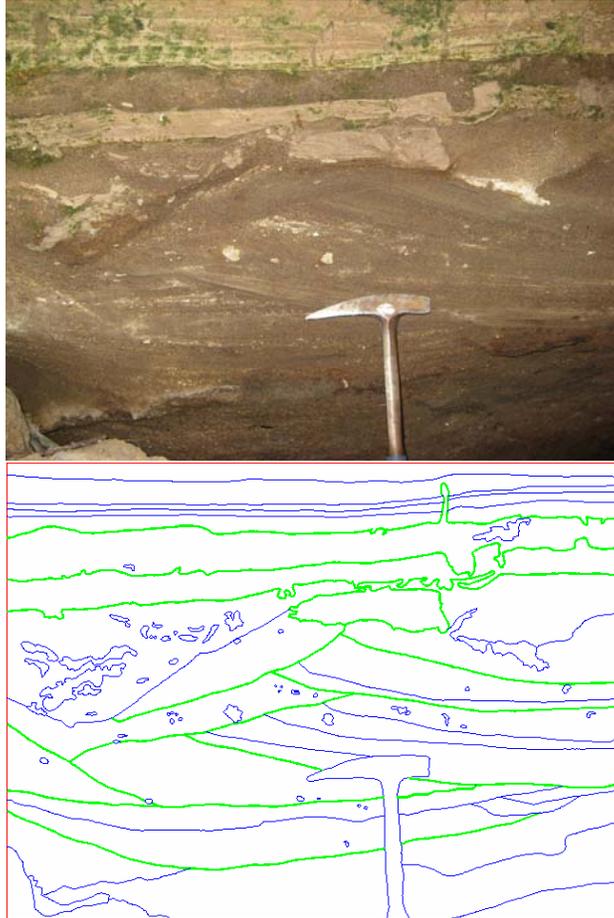


FIGURA 10. A la altura de la cintura de Christian Muñoz, se puede observar el contacto inferior de la Unidad El Lucero con la capa guía de ceniza de color negro, que representa la cima de la Unidad Las Rosas, afloramiento en la Cañada de San José (Localidad CE-16).



En la Mina El Lucero, en el frente oeste de la explotación, las tobas de la unidad presentan un contacto concordante con las diatomitas de la Unidad El Lucero y se encuentran inclinadas; se obtuvo un rumbo general al norte con un echado de 15 grados hacia el este.

#### *Edad*

La Unidad Las Rosas es la más antigua en el área de estudio; no se sabe con exactitud su edad, pero es mayor a 2.6 Ma, dado que se encuentra subyaciendo a la Unidad Las Cabras, unidad para la cual Solleiro-Rebolledo y Sedov (2007) reportan una fecha isotópica de 2.6 Ma.

#### *Ambiente de Depósito*

En cuanto al ambiente de depósito es continental, dominado por una actividad volcánica asociada con el levantamiento de la Faja Volcánica Transmexicana cambio las condiciones morfológicas (Vilaclara *et al.*, 2006). Los depósitos “surge” se desarrollaron en condiciones subaéreas de caída libre durante el vulcanismo; en la última etapa de la actividad volcánica comienza a depositarse la ceniza volcánica.

#### UNIDAD LAS CABRAS

Como Unidad Las Cabras se considera a unos derrames basálticos de principio del Cuaternario, expuestos en una pequeña cascada de 7 m en el sector sur del área, en la

localidad el Salto de las Cabras (punto CE-01) rasgo orográfico del cual se tomó el nombre para la unidad.

#### *Antecedentes*

Vilaclara y Silva-Romo (2005) describieron una unidad de rocas ígneas extrusivas consideradas del Cuaternario, compuesta por lapilli y cenizas, así como basaltos andesíticos que conforman derrames aislados, con conos cineríticos y de basalto.

40

#### *Distribución*

Como se ha mencionado con anterioridad la Unidad Las Cabras, aflora principalmente en el Salto de las Cabras y se puede observar a lo largo del Río Jilotepec hacia el suroeste, también aflora en la unión de las cañadas de San Sebastián y Jilotepec, y en la base del Cerro de San Cristóbal, donde se encuentra fracturado. Otro afloramiento de la unidad se encuentra en el sector poniente de la base del Cerro del Águila.

#### *Litología*

En general la unidad, consta de un flujo basáltico de color negro, con una textura afanítica. El basalto presenta un fracturamiento columnar y se observa sin alteración. La unidad presenta un espesor de 20 m aproximadamente a lo largo del río.

*Relaciones estratigráficas*

Su contacto inferior de carácter discordante con la Unidad Las Rosas se puede observar en el Cerro del Águila dónde se presenta el derrame basáltico sobre un flujo piroclástico (véase la figura 11). Este derrame se encuentra rellenando una superficie de erosión labrada en la unidad piroclástica. En los Cerros de San Cristóbal e Iglesia Vieja, la Unidad Las Cabras se encuentra cubierta de manera discordante por la Unidad Iglesia Vieja. En la zona suroeste del área de estudio en la cañada El Salto de las Cabras, se infiere que la unidad subyace a la Unidad El Lucero ya que las minas de Ixtotenco y San Sebastián se encuentran topográficamente por encima del basalto aunque este no aflore.

Se interpreta que el afloramiento de la Unidad Las Cabras corresponde con el límite suroeste del paleolago.

*Edad*

Solleiro-Rebolledo y Sedov (2007) obtuvieron una edad isotópica de 2.6 Ma, lo cual corresponde a la base del Cuaternario de acuerdo a la propuesta de escala geocronológica de la Comisión Estratigráfica Internacional (Internacional Commission Stratigraphy) (2007). Cabe señalar, que en dicha escala el Gelasiano se lleva a discusión para ser considerado como parte del Cuaternario.

FIGURA 11. Contacto entre el basalto de la Unidad Las Cabras sobre los piroclastos de la Unidad Las Rosas; afloramiento sobre el cauce de la cañada El Salto de las Cabras, fotografía tomada en la localidad CE-01. Escala: martillo de 41 cm.



*Ambiente de depósito*

El basalto se acumuló en condiciones continentales en una etapa de constante actividad volcánica y se le atribuye a un vulcanismo proveniente del Cerro del Águila (Ontiveros-Hernández, 1964).

## UNIDAD EL LUCERO

La Unidad El Lucero está formada por un cuerpo de diatomita de aproximadamente 25 m de espesor, el cual aflora en las cañadas de San José, La Yegua, Las Rosas, el Tizatl y el Lucero. En las dos últimas se encuentran las minas de Santa Bárbara y El Lucero respectivamente. El nombre de la Unidad se tomó de la Cañada el Lucero por ubicarse en ésta la Mina El Lucero.

Entre la época de depósito y la actual, el cuerpo diatomáceo sólo se ha compactado, sin experimentar ningún otro proceso diagenético notable.

*Antecedentes*

Larios y Lozano (1941) consideran que existió un gran lago en la porción central del Estado de Tlaxcala, dentro del cual se originaron los grandes depósitos lacustres, considerando

entre ellos al depósito de diatomita del área de San Simeón, nombrado así por Ontiveros-Hernández (1964) por la cercanía al poblado del mismo nombre (ubicado al sur del área), pero que en este estudio se nombra Paleolago Tlaxcala. Ontiveros-Hernández (1964) describió la diatomita con bandas de color blanco o beige bastante pura, con algo de ópalo, vidrio y cuarzo, mientras que las bandas estrechas de color café o beige oscuro, son más pobres en diatomita y más ricas en arcilla, ópalo, vidrio y cuarzo.

44

Vilaclara *et al.* (2004) reconocen una alternancia en la laminación entre diatomeas bentónicas y planctónicas e identifican dos zonas, la inferior (Mina El Lucero) donde abundan diatomeas bentónicas y la superior (Mina Santa Bárbara) donde abundan diatomeas planctónicas sugiriendo una transición hacia un mayor volumen de agua.

En lo que respecta a la explotación del yacimiento de diatomita, la Unidad El Lucero presenta varias obras mineras, como las Minas de El Lucero, Santa Bárbara, Ixtotenco y San Sebastián todas ellas sin explotación actual. Las dos primeras son las de mayor desarrollo y se pueden visitar.

- El Lucero: Localizada en el norte de la zona, con coordenadas UTM: 14Q, 0574251mE, 2146320mN, es la principal y más grande de la región. Se encuentra en la Cañada el Lucero, presenta varios avances, el más importante se encuentra en la margen sur y alcanza un

desarrollo de 25 m con dos frentes situados a 8 m de la bocamina, aunque actualmente se encuentra abandonada.

- ▶ Santa Bárbara: Se encuentra en la cañada del Tizatl en la porción sureste de la región, con coordenadas UTM: 14Q, 0574366mE, 2144812mN; presenta una pequeña obra con un desarrollo de unos 5 m de avance y 15 m de avance lateral aproximadamente, igualmente hoy se encuentra abandonada.
- ▶ Ixtontenco: Se encuentra en la ladera este del Cerro de San Cristóbal con coordenadas UTM: 14Q, 0573298mE, 2145055mN y que durante algún tiempo fue explotada por la compañía poblana Diatomex, teniendo desarrollos de hasta 80 m que hoy se encuentran derrumbados y abandonados.
- ▶ San Sebastián: Se encuentra al suroeste de la región y al sur de la mina de Ixtotenco en la misma ladera del Cerro de San Cristóbal, estas minas constituyen las obras más antiguas, quizá daten de principios de este siglo, aunque no se sabe con exactitud el año; actualmente se encuentran destruidas por derrumbes y hundimientos, por lo que están abandonadas.

45

La Unidad El Lucero es un cuerpo formado de diatomitas, con unas reservas probables de 50,000,000 m<sup>3</sup> y unas reservas probadas de 20,000,000 m<sup>3</sup> (Ontiveros-Hernández, 1964), considerado como uno de los más

importantes del país, sin embargo este ha sido abandonado y actualmente el 99.9% de la producción en el país, se realiza en el Estado de Jalisco. El precio de la diatomita varia desde 35.71 dólares hasta 1,149.5 por tonelada métrica, dependiendo del uso.

Un factor importante para la explotación, es la tecnología ya que se requiere de ésta para el beneficio de la diatomita. En muchos casos la explotación a pequeña escala solo abarca hasta la etapa de extracción. Esto ha provocado que el mercado de la diatomita se encuentre dominado por empresas corporativas internacionales ya que cuentan con la tecnología necesaria para su beneficio, dejando así al pequeño minero sin oportunidad para competir.

En el Estado de Tlaxcala, uno de los principales problemas para la extracción de la diatomita, es la falta de caminos y la ubicación del yacimiento, ya que este se encuentra en una zona de difícil acceso por las cañadas con paredes casi verticales, dejando al depósito sin oportunidad de ser explotada a pequeña escala por los pobladores de la región.

#### *Distribución*

La Unidad El Lucero aflora desde las cañadas de Chalcom y de Ixtlahuatenco en el sur, hasta la Cañada de las Rosas en el norte y desde las márgenes del Río de las Rosas al oriente

hasta la base del Cerro de San Cristóbal en el oeste (véase mapa geológico en el anexo).

Hacia el norte los últimos afloramientos de diatomita se encuentran en la Cañada de las Rosas. Más al norte, en la Cañada San Gabriel, la unidad desaparece y sólo se observan las tobas de las unidades Las Rosas e Iglesia Vieja que le subyacen y sobreyacen respectivamente. Hacia el sur, las últimas manifestaciones se observan en las cañadas de Chalcom y de Ixtlahuatenco. En estas cañadas se presenta una capa de diatomita de aproximadamente 30 cm, entre las tobas de las unidades Las Rosas e Iglesia Vieja. No fue posible cartografiar con exactitud el límite sur ya que la diatomita aparece desde el inicio del cañada y esos afloramientos no son cartografiables a la escala del mapa.

Hacia el oeste, las últimas manifestaciones de la unidad se presentan en las minas de San Sebastián y de Ixtotenco en la base del Cerro de San Cristóbal, donde no se observa con exactitud su límite, sin embargo debe estar entre estas minas y la Cañada de Jilotepec, donde ya no afloran las diatomitas de la Unidad El Lucero. Hacia el suroeste el límite del embalse lacustre se pierde cerca del Salto de las Cabras.

En el sector noroeste, donde no existe ningún accidente topográfico que permita observar la Unidad El Lucero (Véase mapa geológico), ésta se encuentra cubierta por suelo y depósitos recientes.

*Litología*

La Unidad El Lucero se presenta con una laminación en la que alternan láminas claras y oscuras. Dicha alternancia de colores ha sido motivo de diversos tipos de estudios entre los resultados obtenidos se tiene: las bandas de color blanco o beige contienen diatomita bastante pura, con algo de ópalo, vidrio y cuarzo, mientras que las bandas estrechas de color café o beige oscuro, son más pobres en diatomita y más rica en arcilla, ópalo, vidrio y cuarzo (Ontiveros-Hernández, 1964). Esta alternancia de capas se puede observar en las minas de El Lucero, Santa Bárbara, Ixtotenco y San Sebastián (derrumbada), según se aprecia en la figura 12

Las láminas claras están constituidas por diatomitas de color blanco, de aspecto terroso, muy deleznable con una dureza no mayor a 2 en la escala de Mohs, mientras que las láminas oscuras están constituidas por cenizas; posiblemente de composición intermedia a félsica, ya que en los estudios petrográficos, gran parte de los minerales se encuentran alterados a arcillas, y sólo se reconocen algunos microcristales de oligoclasa y fragmentos de vidrio.

En el contacto entre las Unidades Las Rosas y El Lucero, se observa una capa tobácea de color negro con un espesor de aproximadamente de 10 cm, esta capa se ha encontrado también en algunas barrancas y constituye un horizonte guía en el reconocimiento del contacto entre esas

unidades. En el este de la región en la mina Santa Bárbara, se observa en el contacto entre la Unidad El Lucero y la Unidad Iglesia vieja un paleosuelo (véase la figura 13).

FIGURA 12. Intercalación de diatomitas con cenizas volcánicas dentro de la Mina Santa Bárbara, Observe la numeración es parte de un estudio de diatomitas realizado por Vilaclara *et al.* (2004) en los horizontes más representativos de ceniza para distinguir eventos.

49



FIGURA 13. Contacto discordante entre la Unidad El Lucero (abajo) y la Unidad Iglesia Vieja en la entrada de la mina de Santa Bárbara en la localidad CE-06 donde se puede observar en la discordancia el desarrollo de un paleosuelo. La discordancia se señala con la línea discontinua.

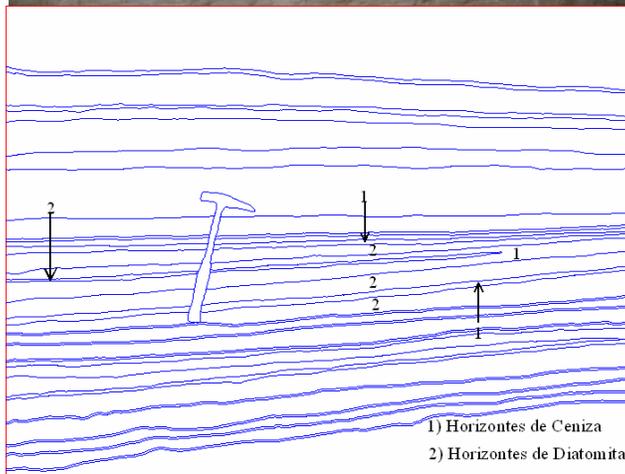


50

#### *Relaciones estratigráficas*

Por lo general, los estratos de diatomita se observan horizontales; sin embargo en la Mina El Lucero presentan pequeñas discordancias con un acuñaamiento de 3 grados (véase la figura 14), donde se observa una discontinuidad angular, mientras que en otro sector al noroeste de la mina se observan las capas con una inclinación aproximadamente de

FIGURA 14. A lo largo de la Mina El Lucero se aprecian diversos acuñamientos de los horizontes de ceniza y diatomita. En el esquema se puede observar el acuñamiento de los horizontes en la parte central de la diatomita dentro de la Mina El Lucero. Escala: Martillo de 41 cm de largo.



15°, provocados por el desplazamiento lístrico de una falla normal de rumbo norte-sur y con echado al oeste. La falla debió estar ubicada al este de la mina, esta relación se presenta en el contacto concordante entre la Unidad El Lucero y Las Rosas. Los estratos laminares que sobreyacen a los horizontes basales inclinados 15°, definen pequeñas discordancias angulares, de tal forma se acuñan y presentan menor inclinación; estos rasgos se repiten hasta que las láminas más jóvenes aparecen en posición horizontal (véase la figura 15). Este contacto no se logra observar a lo largo de toda la mina.

52

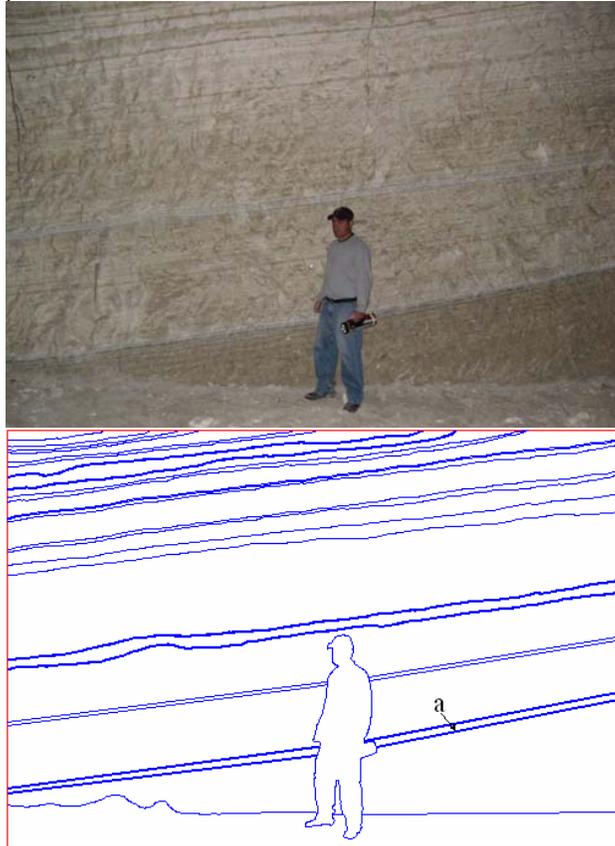
#### *Edad*

Benítez-Rangel *et al.* (2001) considera que los grandes depósitos de diatomita en el Paleolago Tlaxcala corresponden al Pleistoceno (hace menos de 2 Ma). Esta inferencia es relativamente consistente con la edad reportada por Solleiro-Rebolledo y Sedov (2007) para los basaltos de la Unidad Las Cabras que subyace a la Unidad El Lucero.

#### *Ambiente de depósito*

Las diatomeas encontradas en la columna de la Unidad El Lucero han permitido establecer que el Paleolago Tlaxcala se

FIGURA 15. En el sector poniente de la Mina El Lucero se observa el horizonte guía de ceniza negra de grano medio (a), que marca el contacto concordante entre las tobas de la Unidad Las Rosas y las diatomitas de la Unidad El Lucero; por encima y enseguida de esta ceniza, se observa una inclinación de  $15^\circ$  de los horizontes mientras definen pequeñas discordancias angulares repitiéndose con menor inclinación hasta que las láminas más jóvenes aparecen en posición horizontal.



formó en un ambiente lacustre de aguas dulces alcalinas con un pH mayor a 7 (Benítez-Rangel *et al.* 2001). Las aguas de estos lagos parecen haber sido de escasa mineralización y los organismos se sirvieron de la sílice que en gran cantidad contenían los depósitos piroclásticos. Durante su depósito, las condiciones de salinidad, temperatura y nutrientes, se mantuvieron constantes, no así su profundidad, ya que al inicio se reconoce una profundidad somera (Mina El Lucero), mientras que para etapas finales se reconoce un lago de aguas más profundas (Mina Santa Bárbara) (véase el mapa geológico en el anexo).

54

#### UNIDAD IGLESIA VIEJA

La unidad está formada por tobas de composición intermedia a félsica de color blanco y beige, a la distancia se puede confundir con la diatomita por el color claro, pero vista de cerca se observa la diferencia entre la diatomita y la ceniza por la textura y la mejor consolidación de la Unidad Iglesia Vieja; que aflora en el Cerro Iglesia Vieja (localidad CE-04) rasgo del cual se toma el nombre para la unidad, por encontrarse cubierto en su mayoría de tobas.

#### *Antecedentes*

Vilaclara *et al.* (2006) describen que sobre los depósitos lacustres de Tlaxcala se presenta una unidad de tobas y

derrames considerados del Cuaternario, las cuales presentan distintos niveles de desarrollo edáfico, la unidad volcánica consiste en tobas de lapilli y cenizas, basaltos andesíticos que conformaron derrames aislados, así como conos cineríticos y conos de basalto. En la sección de Tepectipac, la unidad sobreyace a la sucesión de tobas y paleosuelos que localmente presentan horizontes de silcretas.

#### *Distribución*

La unidad se encuentra ampliamente distribuida en toda la región, como se observa en el mapa geológico y se extiende más allá del perímetro del área estudiada.

#### *Litología*

La unidad consta de tobas cristalinas, en las que se presentan plagioclasas como la oligoclasa y otros minerales con un reemplazamiento por arcillas, además de vidrio volcánico. Sus mejores afloramientos se presentan en las cañadas de Ixtlahuatenco y Chalcom, a diferencia del norte donde aparece con mayor grado de alteración y con un espesor de suelo hasta de 10 m aproximadamente.

En cuanto a su estructura, es masiva, de color blanco a beige debido a contaminación del suelo que se encuentra encima, lo que hace variar un poco la composición en

comparación con la unidad de tobas inferiores, dado que contiene una buena cantidad considerable de materia orgánica que origina este color más oscuro.

#### *Relaciones estratigráficas*

Iglesia Vieja se superpone de manera discontinua en algunos sectores a la Unidad El Lucero, este rasgo es observable con mayor claridad en la Cañada el Lucero, donde es apreciable una superficie de erosión formada por una paleo-corriente con una dirección S20°W (véase figura 16). En otros sectores, como en las cañadas de Chalcom e Ixtlahuatenco, la Unidad Iglesia Vieja subyace de manera concordante a la Unidad San Sebastián (véase la figura 17).

56

#### *Edad*

La Unidad Iglesia Vieja puede ser interpretada como un depósito muy reciente, probablemente de las últimas etapas de vulcanismo de las estructuras más cercanas, como La Malinche, Popocatepetl y el Iztaccihuatl.

FIGURA 16. Entrada a la mina de El Lucero donde se observa una discordancia en la localidad CE-17, donde la unidad Iglesia Vieja sobreyace discordantemente a la Unidad El Lucero. Observe el paleocanal de rumbo general S20°W relleno por la Unidad Iglesia Vieja, lo que es un indicador de la evolución geológica del lago.

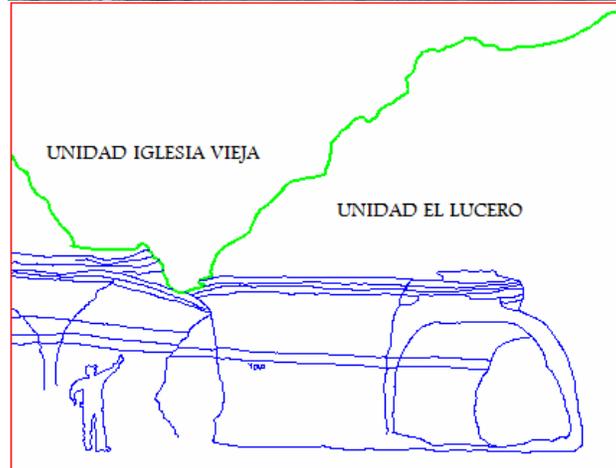


FIGURA 17. Al Sur de la región, en la cañada Ixtlahuatenco se encuentra la capa de diatomita de 30 cm de espesor aproximadamente entre las unidades Las Rosas e Iglesia Vieja, es notable el contraste del estrato blanco de diatomita limitado por las unidades inferior y superior de cenizas volcánicas encontradas en toda la región, así como la superposición de un paleosuelo localidad descrita en la localidad CE-10



58



## UNIDAD HUILOAPAN

Una de las unidades más recientes que hay en la región es la Unidad Huiloapan, debiendo su nombre a la cercanía con el poblado homónimo; la unidad está conformada por derrames basálticos que rellenan una paleotopografía.

*Antecedentes*

Dentro de la unidad se menciona la existencia de un material pétreo el cual se utiliza como material dimensionable frecuentemente en la Ciudad de Tlaxcala, por la facilidad con que se puede labrar en bloques y en lajas de sección regular, empleándose como material de construcción y como piedra de ornato. Por otra parte, los conos cineríticos son explotados para obtener agregados pétreos (Vilaclara y Silva-Romo, 2005), muestra de ello se comprobo al observar en el Cerro del Águila donde existe un tajo a cielo abierto para extracción de tezontle, de igual forma, en el Cerro de San Mateo existe otro tajo a cielo abierto donde se extrae el mismo material.

*Distribución*

Esta unidad se puede observar al suroeste en el Cerro del Águila y al sur en el poblado de San Mateo, extendiéndose hacia el norte hasta las barrancas de Chalcom e Ixtlahuatenco

como varios derrames o flujos, hacia el este, la encontramos en el poblado de Huiloapan extendiéndose en una línea hacia el norte hasta el Cerro de las Rosas donde tiene forma de “lengua”. También se expone en la Cañada de los Gatos al norte del poblado de Huiloapan (ver mapa geológico). Los derrames basálticos son de gran magnitud lateralmente, afloran en el Cerro de El Águila y en el Cerro de San Mateo en el sur y al norte en el Cerro de las Rosas.

#### *Litología*

La Unidad Huiloapan se encuentra representada por flujos basálticos, muy alterados, de un espesor aproximado de 5 a 20 m; presentan color rojizo y pardo debido al intemperismo.

#### *Relaciones estratigráficas*

Esta unidad se encuentra superpuesta a la Unidad Iglesia Vieja de manera discontinua, su contacto sobre las tobas indica que éstas habían estado sujetas a erosión y que los basaltos rellenaron antiguas depresiones o bien se depositaron sobre mesas preexistentes. Hacia el sur en las cabeceras de la cañada de San Mateo la unidad se encuentra en pendiente debido a que los flujos se depositaron sobre tobas que han sido erosionadas; aunque esta última ubicación

se encuentra fuera del área estudiada. El contacto entre la Unidad Huiloapan y la Unidad Las Cabras es discordante.

#### *Ambiente de depósito*

En la zona las estructuras volcánicas presentes, son el Cerro del Águila y el Cerro de San Mateo, estos dos aparatos volcánicos pudieron haber sido los responsables del origen de estos derrames, además de que se encuentran en la zona sur del área, y los derrames parecen provenir del sur.

La estructura volcánica del Cerro de las Rosas, al este de la zona estudiada, pudo haber generado los derrames que se encuentran cubriendo a la unidad de tobas, y que posteriormente se unen a los derrames en el Cerro del Águila.

#### UNIDAD SAN SEBASTIÁN

La Unidad San Sebastián, consiste en paleosuelos y depósitos recientes que se encuentran rellenando algunas superficies, tomando el nombre de la Mina San Sebastián, ubicada en la ladera este del Cerro de San Cristóbal.

#### *Antecedentes*

Tomando como base los conceptos de Solleiro-Rebolledo y Sedov (2005), el estudio de los paleosuelos en sucesión volcánicas, han sido usados con éxito para entender el

cambio ambiental y representan una fuente importante de información, sin estar exentos algunas veces de contradicciones en comparación con los registros lacustres, ya sea por el tipo de volcanismo que puede esconder las características climáticas del momento.

#### *Distribución*

Unidad que se encuentra principalmente rellenando superficies y cubriendo a la Unidad Iglesia Vieja en la porción oeste de la zona (véase mapa geológico); tiene un área de afloramiento que simula un rectángulo con un rumbo NW-SE, y es paralelo a la carretera pavimentada que atraviesa la zona de estudio, se observan afloramientos buenos al pie del Cerro San Cristóbal, fuera de las minas de San Sebastián e Ixtotenco.

#### *Litología*

Esta unidad consta de depósitos recientes, con desarrollo de paleosuelos y materia orgánica como raíces. El espesor de la unidad no supera los 2 m en su parte más amplia.

#### *Relaciones estratigráficas*

Presenta una relación discordante con cualquiera de las unidades al oeste de este lugar, en las minas de San Sebastián

e Ixtotenco en el Cerro de San Cristóbal se encuentra un suelo bastante erosionado, dado que su color es pardo claro indicando una mezcla casi homogénea con cenizas volcánicas y un espesor de aproximadamente 50 cm en comparación con los mencionados en otras áreas, donde llegan alcanzar hasta 1 m (véase la figura 18).

En general podemos encontrar suelos y paleosuelos en toda la zona de estudio; en gran parte se encuentra rellenando algunos sectores que han sufrido erosión y por tanto su contacto es discordante y discontinuo en algunas zonas, como en la Mina Santa Bárbara.

63

FIGURA 18. Vista de las minas de Ixtotenco en la localidad CE-03, al pie del Cerro San Cristobal donde se puede observar en la línea discontinua el espesor de suelo como contacto superior de la diatomita.



## IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS



El origen de los depósitos tipo “surge” reconocidos en la Unidad Las Rosas, se podría asociar a un evento eruptivo de La Malinche; sin embargo, existen evidencias que demuestran lo contrario, entre las cuales podemos mencionar la dirección de emplazamiento norte-sur y una edad mayor de los depósitos “surge” a los emitidos por el volcán La Malinche.

Los depósitos tipo “surge” son divididos en tres zonas (Fhiser y Schmincke, 1984), de acuerdo a las características de estructura y clasificación de las partículas. Estas zonas son:

*Capas ondeadas.* Son capas con superficies onduladas o inclinadas que incluyen una gran variedad de formas como dunas y antidunas, así como laminaciones cruzadas internas. Esta zona se encuentra cerca de la fuente de emisión y las partículas se encuentran pobremente clasificadas.

*Capas masivas.* Éstas son más gruesas y se encuentran más pobremente clasificadas que las anteriores. Tienden a ser internamente masivas con estructuras internas vagas que dan una estratificación plana o de ondas.

*Capas planas paralelas.* En éstas, el contacto inferior y superior es generalmente plano y paralelo entre una y otra. Estas capas son concordantes y continuas. Normalmente es la zona más alejada de la fuente de emisión y por tanto la mejor clasificada ya que solo llegan las partículas más finas dejando las más pesadas en el camino (véase la figura 19).

En algunos casos, la primera y segunda zona se consideran como una sola, ya que son las más cercanas a la fuente de emisión y donde las partículas son separadas por gravedad en la corriente turbulenta que los acarrea, dejando sólo dos zonas.

Los depósitos tipo “surge” que afloran en la zona estudiada presentan una mejor clasificación de sur a norte y las estructuras son de dunas y antidunas, paralelas y en la misma dirección (véase la figura 20). Esta configuración que presenta el depósito “surge” hace suponer que la fuente de emisión que los originó, se encuentra al sur de la zona estudiada. La Malinche, que es el único aparato volcánico cercano capaz de originar estos depósitos, se encuentra al sureste de la zona, por lo que, en cuanto a dirección se refiere, La Malinche no los pudo haber originado.

Otro factor a considerar es la distancia. Los registros acerca de las distancias que puede abarcar un depósito tipo “surge” tienen un promedio de unos 5 km de radio alrededor de la fuente de emisión. Sin embargo, se han registrado eventos que han alcanzado hasta 10 km de distancia como el

volcán Halemaumau situado en Hawai (Swanson y Christiansen, 1973), otro caso es el depósito situado en la localidad de Bishop Tuff, California, el cual, alcanzó una distancia máxima de 15 km respecto al cráter. La Malinche se encuentra aproximadamente a 25 km de la zona estudiada.

FIGURA 19. Los depósito tipo surge se dividen en tres zonas y quedan distribuidas con respecto de la fuente de emisión. (Figura tomada de Fisher y Shmincke, 1984)

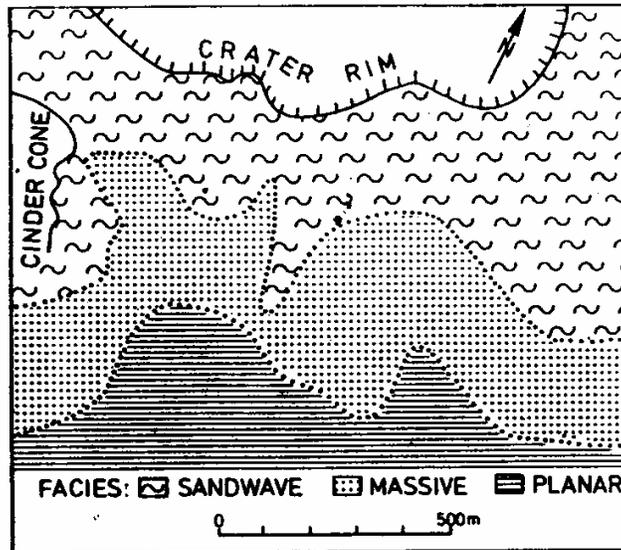
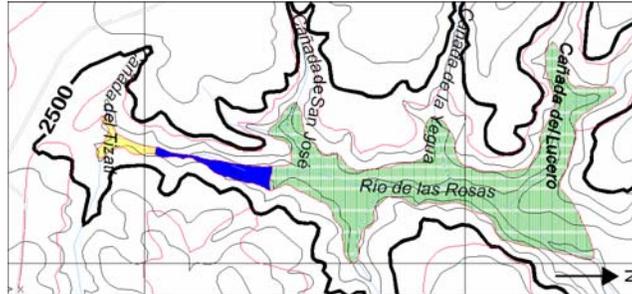


FIGURA 20. Aquí se puede observar las zonas en que está dividido el depósito surge de la zona estudiada. Se observa que la zona planar se encuentra al norte; mientras que la ondeada está en el sector sur, lo cual sugiere una posible fuente de emisión proveniente desde el sur.



67

Por otro lado, La Malinche está formada por domos (Castro-Govea, 1999) que le han dado la forma actual y posiblemente, la ruptura de uno de éstos, fue lo que provocó que se originaran depósitos tipo “surge” a una gran distancia sin tomar en cuenta la dirección.

Pero contradiciendo lo anterior, otro factor a considerar y quizás el más importante, es la edad tanto de La Malinche como de los depósitos tipo “surge” presentes en la zona de estudio, lo cual —como se verá— indica que La Malinche es posterior a la desaparición del antiguo lago.

La edad exacta de la Malinche no se ha publicado, sin embargo, se han estudiado 14 eventos eruptivos reconocibles

(Castro-Govea, 1999), uno de los cuales corresponde a un depósito de oleada piroclástica “surge”, que se describe de masivo a estratificado, no soldado. Consiste de cenizas grises bien seleccionadas y de composición andesítica/dacítica. Estas características son similares a los depósitos encontrados a lo largo del río de las Rosas. Por lo que, son estas las únicas evidencias que se tienen para relacionar este depósito con una erupción del volcán ya que la edad de este evento eruptivo no se ha establecido con cierta exactitud.

Castro-Govea, (1999) menciona un primer evento, iniciando con la generación de la Pómez Huamantla, (no fechada aún) que consiste en dos unidades de caída y al menos un flujo piroclástico. Sus depósitos afloran hacia el sector noreste del volcán. Luego de esta, el periodo es dominado por una intensa actividad de producción de flujos piroclásticos alrededor del volcán.

Depósitos de esta actividad se han fechado aproximadamente en 45,000, 40,000 y 23,000 años. El depósito de oleada que Castro-Govea, (1999) menciona y que es similar al encontrado en la Unidad Las Rosas, se encuentra en el mismo evento en el cual surge la Pómez Huamantla, por lo cual se le podría asignar a este depósito una edad mayor a 45,000 años.

Sin embargo, decir que el depósito al que se refiere Castro-Govea, (1999) es mayor a 45,000 años, realmente no

aporta mucho a la discusión, ya que no establece una aproximación o un intervalo de edad.

Una edad máxima para el Volcán Malinche, ha sido establecida no mayor a 1 Ma (Gómez-Tuena *et al.*, 2005) quienes ubican la actividad de la Malinche dentro del vulcanismo máfico a intermedio del Plioceno tardío-Cuaternario del sector oriental de la Faja Volcánica Transmexicana bajo el cual se generó la Sierra Nevada que entre otros volcanes comprende al Popocatepetl y el complejo volcánico Iztaccihuatl.

Aunque no se ha establecido la edad exacta de los depósitos “surge” de la zona estudiada, estos son los más antiguos, ya que se encuentran subyaciendo tanto a la Unidad Las Cabras como a la Unidad El Lucero. A la primera se le ha asignado una edad de 2.6 Ma (Solleiro-Rebolledo y Sedov, 2007) mientras que la segunda se ha reportada del Plio-Pleistoceno (Vilaclara *et al.*, 2004). Siendo así, los depósitos “surge” serían pre-Cuaternarios (la base del Cuaternario no se ha definido aún pero se discute ser asignada a la base del Gelasiano hace 2.6 Ma (Internacional Commission on Stratigraphy, 2007)) mientras que los volcanes de mayor importancia (Iztaccihuatl, Popocatepetl, Malinche) son Cuaternarios, concluyendo que los depósitos surge no corresponderían a ninguno de estos.

Quizás su origen se deba a una de las numerosas estructuras monogenéticas que se pueden observar en el área

o a una estructura de éste tipo ya erosionada. El Cerro del Águila es la estructura volcánica que corresponde en cuanto a la dirección, sin embargo, este último parece haber tenido erupciones de tipo básico y los depósitos “surge” están relacionados a erupciones ácidas debido al carácter de este tipo de erupciones. Para establecer con exactitud su origen sería necesario un estudio geoquímico donde se pueda analizar la traza de los depósitos y las estructuras volcánicas cercanas.

De las tobas no se tiene una edad posible, así como tampoco una fuente de origen. Al igual que los depósitos “surge” podrían provenir de alguno de los aparatos volcánicos que abundan en la región.

La Unidad Las Rosas es la parte superior de la sucesión Tepeticpac (Vilaclara *et al.*, 2006) donde la base está formada por un flujo ignimbrítico de color negro de aproximadamente 3 m de espesor y con una edad de  $15.2 \pm 0.7$  Ma (Silva-Romo *et al.*, 2002) expuesto en la Barranca Nigos al norte de la ciudad de Tlaxcala. La sucesión continúa con dos miembros tobáceos separados por un depósito lacustre previo a la Unidad El Lucero, el miembro superior, de 144 m de espesor en Tepeticpac es para nosotros la Unidad Las Rosas, sin embargo, nosotros no logramos ver la base de esta unidad.

La Unidad Las Rosas se encuentra en contacto continuo con la Unidad El Lucero y en algunos lugares se

puede observar una capa de ceniza negra que se ubica entre las dos. Esta capa (ya descrita en el capítulo III) se encuentra cerca de su fuente de origen debido a que los cuarzos presentes no muestran condiciones de haber sido acarreados por encontrarse aún angulosos.

Por otro lado, en la Unidad El Lucero un aspecto importante a discutir es el origen de la laminación presente en las minas de la zona. Vilaclara *et al.* (1993) menciona una relación de eventos alóctonos relacionados con eventos volcánicos y autóctonos, relacionados con la secuencia lacustre para explicar el origen de las laminaciones presentes en el cuerpo de diatomita. Hace referencia que en el yacimiento han quedado registrados ciclos cortos, posiblemente de tipo “varves”, y ciclos largos asociados con actividad volcánica a gran escala durante fines del Plioceno y el Pleistoceno en Tlaxcala.

El termino “varves” (o varvas) (palabra de origen sueco que indica rayado) (Vera, 1994) se utilizó originariamente para denominar facies constituidas por la alternancia rítmica de dos litologías a escala milimétrica. En un principio se relacionaba con glaciares, que durante el invierno la superficie está helada y en verano no, sin embargo, el término “varves” se utiliza así también, para describir laminaciones rítmicas milimétricas en depósitos lacustres.

Cada ritmo en los “varves” tiene dos niveles (láminas) uno de grano mayor (arena o limo), no tan rico en materia orgánica y de color claro depositado en los meses más cálidos y el otro de grano más fino (arcilla), rico en materia orgánica y de color oscuro depositado en los meses más fríos por lo que cada ritmo representa un año. En las minas de El Lucero y Santa Bárbara, contrario a lo que se sabe, las láminas ricas en materia orgánica son de color claro las cuales contienen casi diatomita pura junto con algo de vidrio y cuarzo (Ontiveros-Hernández, 1964) mientras que las oscuras corresponden a las pobres en materia orgánica donde disminuye la cantidad de frústulas y aumenta el contenido de vidrio volcánico y cuarzo.

A primera vista las laminaciones macroscópicas del paleolago semejan “varves”. Sin embargo, la estructura más gruesa que estudiamos no se arregla en capas claras y oscuras como lo hacen los “varves” (Rico *et al.*, 1997), esto debido a que además se identificaron 3 colores diferentes de láminas; blancas, cafés y grises oscuras que no siguen un patrón de espesores a lo largo de toda la columna.

Por esta razón, es necesario encontrar un tipo de sedimentación que pueda explicar el origen de las laminaciones que presenta la Unidad El Lucero. Diferentes causas pueden resultar en una sedimentación laminada, como reacciones bioquímicas, depositación diferencial o tormentas ocasionales (McDuff y Hallam, 1967). Sin embargo las

laminaciones observadas a través de Tomografía Axial Computarizada (Rico *et al.*, 1997) muestra laminaciones homogéneas sin variaciones laterales o interrupciones y muestra un ordenamiento de láminas claras y oscuras aparentemente a escala pequeña que podrían ser asociadas con años.

Estas laminaciones se pudieron haber originado por dos posibles causas (Rico *et al.*, 1997):

- Ceniza aportada desde la cuenca durante periodos intensos de lluvia.
- Diagénesis de ceniza volcánica introducida.

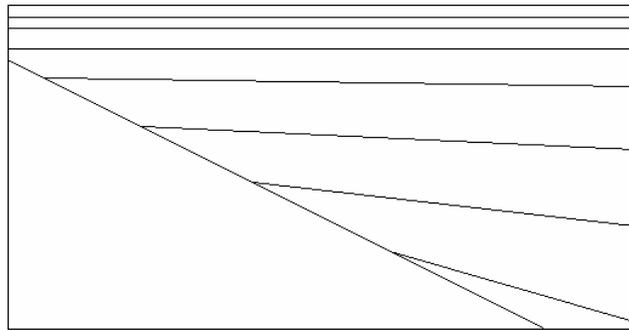
Aunque para confirmar estas hipótesis, habría que realizar estudios más detallados de las laminaciones de tobas presentes en la Unidad El Lucero.

Por otro lado y continuando con la Unidad El Lucero, los acuíñamientos que se observan en las minas y donde se pueden medir echados hasta de 15°, son un rasgo muy importante de analizar. La Unidad El Lucero presenta el acuíñamiento mayor, sin embargo, este desaparece unos cuantos metros arriba del mismo, y las láminas recobran la horizontalidad, continuando con la tendencia hasta perderse en el tope de mina.

Una posibilidad acerca del acuíñamiento presente en la mina El Lucero es que se trate del límite de una secuencia. El

patrón que sigue la terminación de las laminaciones es similar a un “onlap” y se asocia con el límite de cuencas (Vera, 1994) (véase la figura 21).

FIGURA 21. Esquema de un “onlap” donde se muestra el acuñaamiento de los estratos, aumenta el espesor de los estratos hacia el interior de la cuenca. Este tipo de estructuras se asocian a límites de cuencas.



74

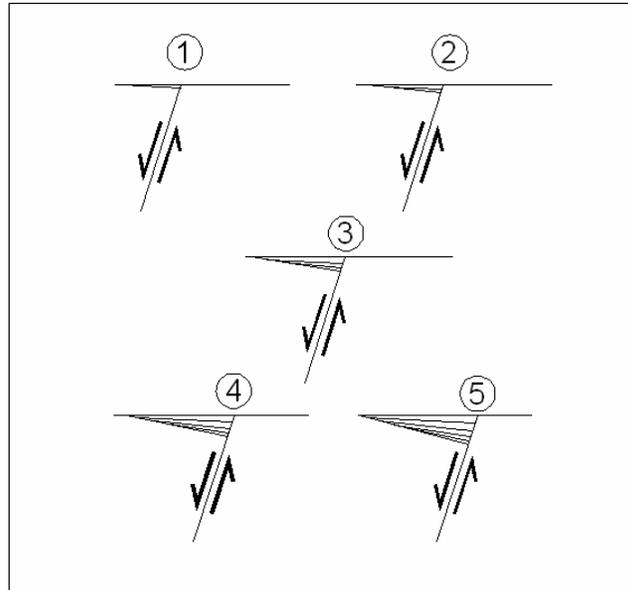
Ontiveros-Hernández (1964) menciona la existencia de una falla con un salto de 12 m, que se localiza en la cañada El Lucero, aproximadamente unos 10 m río abajo de las obras mineras del mismo nombre y con un rumbo de N45°W, dicha falla se extiende aproximadamente un kilómetro hacia el Sur; sin embargo, debido a la abundante vegetación que existe hoy en día en las cañadas, fue imposible observar dicha evidencia.

La falla mencionada por Ontiveros-Hernández (1964) parece ser posterior a la extinción del paleolago, ya que el yacimiento de diatomitas presenta varias dislocaciones asociadas a dicha falla que se observan en superficie en el área de El Paleolago de Tlaxcala. Por otro lado, para considerar una falla como la responsable del aumento del volumen de agua, tendría que haber ocurrido durante el depósito de la diatomita, como es supuesta por nosotros en este estudio.

Durante los caminamientos realizados en la zona, no se observaron cambios estructurales a gran escala, sólo se observaron fracturas de dimensiones no cartografiables y que se encuentran rellenadas por arcilla. Por ello se tendría que suponer una falla con un rumbo general sur-norte ubicada en lo que hoy es el cauce del Río de las Rosas, siendo el bloque de techo el que se encontraría al este y el bloque de piso al oeste del río, lo que hace a esta falla tipo lítrica, y que generó la inclinaciones y acuñamientos de los horizontes de la Unidad El Lucero (véase la figura 22).

Todo esto debido a que las unidades Las Rosas y El Lucero (que se encuentran en contacto de forma concordante) se encuentran inclinadas y por tanto la falla pudo haber originado el lago, provocando que las láminas se depositaran en cuñas, lo que es un factor importante en el incremento del tirante de agua.

FIGURA 22. Modelo inferido de la falla de tipo lístrica y su evolución para dar origen a la inclinación y acuñamientos dentro de la Mina El Lucero.



76

Previamente, Vilaclara *et al.* (2004) con respecto al aumento del tirante de agua en el lago han propuesto que el “incremento podría atribuirse hipotéticamente a cambios geomorfológicos que pudieron haber influido en la morfometría de la cuenca lacustre, coadyuvando a hacer el lago más profundo”, sin embargo no mencionan evidencias que pudieran apoyar su teoría. Nosotros proponemos y

reconocemos el carácter lístrico de la falla y la denominamos como Falla San José por la cercanía con la cañada de dicho nombre.

Esto supondría que el lago comenzó en las cercanías de la mina El Lucero y aprovechando la falla, el embalse fue creciendo en cuanto a volumen y extensión hasta alcanzar los posibles límites creados por los derrames de la Unidad Las Cabras. Carroll y Bohacs (1999) proponen una clasificación para Paleolagos de acuerdo a un balance climático y tectónico: “Overfilled” donde el agua dispuesta sobrepasa la capacidad de retención de la cuenca provocando el desbordamiento; “Balanced-Fill” donde el lago se encuentra en equilibrio entre la acumulación de agua y evaporación de la misma; y Underfilled la evaporación es mayor que la acumulación de agua, El Paleolago Tlaxcala no se podría clasificar debido a que no comparte las características de los tres modelos propuestos, sin embargo, el Paleolago Tlaxcala comparte algunas características de un lago “Balanced-Fill” como laminación fina y aguas dulce a salina, aunque carece de las facies común de éste.

En cuanto a asociar el aumento del tirante de agua a eventos volcánicos que hayan ayudado a retener una mayor cantidad de agua con un mismo régimen se tendría que considerar la existencia de algún evento tectónico. Los derrames volcánicos de la Unidad Las Cabras fueron previos a la existencia del lago y posiblemente ayudaron a cerrar la

cuenca, permitiendo una mayor retención de agua, mientras que los derrames de la Unidad Huiloapan son posteriores, incluso a la Unidad Iglesia Vieja, la cual se depositó después de la extinción del lago. Las cenizas intercaladas en la Unidad El Lucero representan un evento volcánico contemporáneo al depósito de la diatomita, éstos ayudaron a la supervivencia de las diatomeas por los aportes de sílice, las tobas contribuirían a rellenar la cuenca.

Para Ontiveros-Hernández (1964) sólo existe un evento volcánico en la formación de los flujos basálticos al Sur y Oeste de la zona y los asocia a un solo vulcanismo proveniente del volcán La Malinche que da la morfología en el lugar. Por otro lado Vilaclara y Silva-Romo (2005) mencionan una unidad de tobas y derrames como un evento posterior a los depósitos lacustres de la Unidad El Lucero.

En este estudio, buscando posicionar a la unidad basáltica con respecto a estos depósitos lacustres, se encontró que existe por lo menos dos eventos de actividad volcánica en la región para poder dar forma a la cuenca, en diferentes estadios que lograron en primera instancia cerrar la cuenca, seguido de una captación bastante significativa de agua a fin de lograr el depósito de la Unidad El Lucero.

Del análisis estructural es difícil establecer la posición de la Unidad Las Cabras con respecto a la Unidad El Lucero, pues no existe un afloramiento que de pauta para definir el contacto claro que muestre sus respectivas posiciones, a

excepción de uno pequeño cerca del camino de terracería (proveniente de la carretera y que conduce al Cerro del Águila), en el que se deja observar al basalto por debajo de la diatomita. Aun siendo este un rasgo de sólo decímetros, puede tomarse como un testigo confiable.

Por otro lado en la ladera Sur del Cerro El Águila se pudiera confundir la extensión de los afloramientos de las unidades Las Rosas y El Lucero, pues se observa un flujo basáltico sobreyaciendo a un material blanco y pulvurulento bastante parecido a La Unidad El Lucero, pero se trata de la Unidad Iglesia Vieja y la unidad basáltica corresponde con la Unidad Huiloapan.

En cuanto a la parte del estudio de datación, es éste el que da la seguridad para establecer la edad del derrame basáltico, puesto que, como se menciona en el capítulo anterior, fue fechado por Solleiro-Rebolledo y Sedov (2007), como del inicio del Gelasiano hace 2.6 Ma y el lago de diatomita con una edad Plio-Pleistocena (Vilaclara *et al.*, 2004) colocándolo entonces, por debajo de la Unidad El Lucero, de acuerdo con el principio de superposición.

Ahora bien, la fuente que originó este derrame no pudo haber sido algún aparato volcánico conocidos ahora como La Malinche, el Popocatepetl o el Iztaccihuatl, como han pensado algunos (Ontiveros-Hernández, 1964), pues son más jóvenes en comparación al derrame en cuestión y dado que no existe algún rasgo en común, como la composición, la

dirección de flujo, la distancia a la que se encuentra el flujo de los volcanes.

Sobrepuesta a la Unidad El Lucero se encuentra la Unidad Iglesia Vieja, depósito proveniente según Ontiveros-Hernández (1964), de volcanes fuera de la región tales como La Malinche, el Popocatepetl y el Iztaccihuatl que registran actividad volcánica durante el Pleistoceno cubriendo grandes áreas en el Estado de Tlaxcala, quedando en la región como una capa blanca de espesores variables, pues ha rellenado algunas superficies de erosión de la Unidad el Lucero. Dicha superficie de erosión da pauta a pensar que durante algún momento de la evolución geológica regional, la zona se encontró en una etapa erosiva, así que agentes como el agua desarrollaron algunas paleocorrientes. Esto indica que parte del registro estratigráfico perteneciente a la Unidad El Lucero, se perdió debido a esta erosión, por lo que se podrían formular dos posibles hipótesis acerca del registro faltante y con lo cual se podría considerar la posible extinción del Paleolago, dichas hipótesis son:

- a) El lago no llegó a su fin por un evento catastrófico, si no más bien, el lago culminó su vida como todos los lagos y fue rellenado por sedimentos. Posteriormente y debido a una pausa en la actividad volcánica, la cima de la Unidad El Lucero fue erosionada a tal grado que la parte que

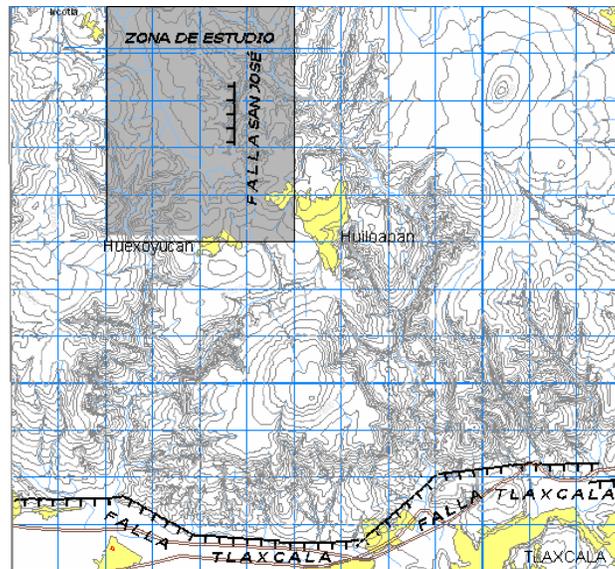
testificaría una disminución en el volumen de agua en su etapa final desapareció.

- b) El lago llegó a su fin debido a un evento catastrófico, relacionados posiblemente a eventos tectónicos como una posible reactivación de la Falla San José o inclusive, se podría tomar en cuenta la Falla Tlaxcala, ubicada el sur de la zona de estudio con un rumbo oeste-este de aproximadamente 15 km de longitud (Vilaclara *et al.*, 2006) y con un plano de falla paralelo a la autopista San Martín-Tlaxcala (véase la figura 23).

81

Ahora bien, es difícil asegurar que la Unidad Iglesia Vieja es originada por volcanes como La Malinche, Popocatepetl y el Iztaccihuatl, pues el momento de acumulación tendría que ser casi al inicio de la construcción del volcán Iztaccihuatl que es el más antiguo de los tres; por otro lado, la idea no puede ser desechada de tal manera, debido a la carencia de registros volcánicos de algún aparato volcánico cercano a la región o dentro de la misma que pudieran esclarecer la fuente de emisión de esta unidad. Para este estudio se adopta como cierto el hecho de tomar a los volcanes monogenéticos cercanos a la zona como fuente de emisión de las tobas de la Unidad Iglesia Vieja (Ontiveros, 1964).

FIGURA 23. Esquema donde se puede apreciar la ubicación de las fallas que intervienen en la evolución del Paleolago Tlaxcala, Falla San José inferida a lo largo del Río de las Rosas y la Falla Tlaxcala al sur del área estudiada cerca de la ciudad de Tlaxcala (Figura tomada de Vilaclara *et al.*, 2006).



Cabe señalar que esta relación entre las tobas de cada unidad se ha interpretado porque las tobas encontradas son bastante similares en cuanto a la textura, color y forma de emplazamiento a las encontradas en la Unidad Las Rosas de

composición intermedia a félsica, con una variación regular en la cantidad y alteración mineralógica.

El último evento eruptivo que reconocimos en la zona conformó a la Unidad Huiloapan misma que Ontiveros-Hernández (1964) considera una sola unidad posiblemente correspondiente al Plioceno, junto con los derrames que designamos como Unidad Las Cabras. Ahora bien, Vilaclara *et al.* (2006) sólo hacen mención a un conjunto de derrames aislados de basaltos andesíticos y conos de basalto ocurridos durante el Cuaternario. Como se ha mencionado, nosotros no consideramos un solo evento eruptivo en el área por el hecho de haber encontrado derrames basálticas por debajo y encima de las unidades El Lucero e Iglesia Vieja, de tal forma a la unidad basáltica por debajo de la Unidad El Lucero la denominamos como Unidad Las Cabras, con una edad de 2.6 Ma (Solleiro-Revolledo y Sedov, 2007), en tanto que acuñamos una unidad básica reciente, expuesta en toda la zona.

Como última unidad reportada en la zona se encuentra la Unidad San Sebastián, compuesta por depósitos aluviales y suelos vegetales, como hace mención Ontiveros-Hernández, (1964), cubriendo indistintamente algunas partes de la región (que en la mayoría no es cartografiable por su poca magnitud). En general, el suelo vegetal cubre gran parte de la zona oeste, encontrándose bastante erosionado y prácticamente en diversos lugares ha desaparecido.

## V. CONCLUSIONES



En el estudio de la sucesión de eventos del paleolago de Tlaxcala se consideran diversos aspectos geológicos que hacen posible la caracterización del paleolago y la propuesta del modelo de evolución que se presenta.

### *Conclusiones estratigráficas*

La sucesión relacionada con la evolución del paleolago se subdividió en seis unidades.

Dos unidades acumuladas previamente a la formación del lago:

- a) La Unidad Las Rosas consiste en piroclastos e incluye un depósito tipo “surge” que representa un vulcanismo anterior al contemporáneo del lago, con una fuente de emisión al sur de la zona.
- b) La Unidad Las Cabras, de carácter basáltico acumulada al inicio del Estadio Gelasiano hace 2.6 Ma. (Solleiro-Rebolledo y Sedov, 2007) permite establecer una edad máxima a la sucesión diatomítica del Paleolago Tlaxcala.

Una unidad que es la de principal interés en la evolución del Paleolago.

La unidad de diatomitas que atestigua la existencia del Paleolago Tlaxcala, a la cual denominamos como Unidad El Lucero.

Tres unidades posteriores al desarrollo y extinción del paleolago; mismas que aportan datos a partir de la desaparición del lago y el relleno de la cuenca:

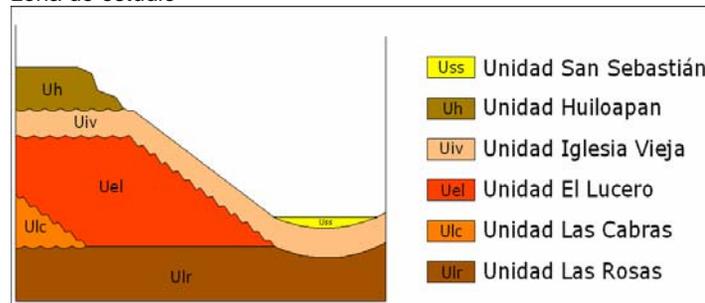
1. La Unidad Iglesia Vieja de carácter piroclástico.
2. La Unidad Huiloapan, formada por coladas basálticas.
3. La Unidad San Sebastián, consta de paleosuelos y depósitos recientes.

85

Se identificaron tres discordancias y un cambio lateral en la sucesión estratigráfica:

La primera discordancia corresponde con el límite entre la Unidad Las Rosas y la Unidad Las Cabras (véase la figura 24).

FIGURA 24. Esquema donde se muestran las relaciones estratigráficas de cada una de las unidades presentes en la zona de estudio



La segunda discordancia es la más importante, se trata de una superficie de erosión que separa a la Unidad El Lucero de la Unidad Iglesia Vieja, discordancia que da la pauta para la hipótesis de la erosión del registro de la zona somera del paleolago.

La tercera discordancia separa la Unidad Iglesia Vieja de la Unidad Huilopan.

El cambio lateral observado es el que separa a las unidades Las Cabras de la Unidad El Lucero.

Se reconoció un horizonte guía de cenizas que permite separar las unidades Las Rosas y El Lucero.

Se identificaron acuñamientos en la sucesión de la Unidad El Lucero, con base en los cuales se infiere la Falla San José, activa durante la acumulación de la Unidad El Lucero.

#### *Conclusiones geológicas*

Respecto al origen del embalse lacustre, se infiere un evento tectónico con extensión este-oeste y reflejado en la Falla San José, de tipo normal con desplazamiento lístrico, relacionada con la inclinación de los horizontes y acuñamientos en la Unidad El Lucero, observados en la Mina El Lucero. La Falla se infiere a lo largo del Río de las Rosas al este de la Mina El Lucero con rumbo norte-sur y con bloque de techo hacia el oeste.

El desplazamiento de la falla generó un incipiente embalse que aumentó sus dimensiones conforme se reactivaba la estructura, además de la colada basáltica que constituye la Unidad Las Cabras, la cual cerró la cuenca y ayudó a profundizarla. De tal forma, el tirante de agua fue aumentando, como se ha reconocido previamente por Rico *et al.* (1993).

Para el momento en que se encuentra el mayor volumen y que se ha supuesto como la culminación del lago (Vilaclara *et al.*, 2004) hemos inferido las dos hipótesis siguientes:

Como primera hipótesis se propone la evacuación del alto nivel de agua, debido a la dislocación ocasionada por la Falla Tlaxcala localizada al sur y posicionada de forma perpendicular a la Falla San José. El embalse lacustre queda en el bloque de piso, la actividad de la Falla Tlaxcala pudo provocar el desarrollo de corrientes remontantes que habrían capturado el embalse lacustre del Paleolago Tlaxcala. Esto ha sido deducido por los autores de este estudio por el hecho de tener rastros de corrientes de agua, que dan formas y estructuras de erosión por flujo de agua, además de presentar una pendiente suave pero constante en toda la zona noreste, que es interpretada como cauce del desagüe o el drenaje del Lago causados por la Falla Tlaxcala.

Una segunda hipótesis más simple es la erosión del registro estratigráfico superior del depósito, es decir, el lago

no fue evacuado de manera repentina, sino que tuvo una evolución normal, finalizando por un aporte de sedimentos que rellenaron la cuenca. Posteriormente y debido a un cese temporal de la actividad volcánica, la superficie del yacimiento de diatomita (expuesta al aire) es erosionada debido a diversos agentes como el agua, que formó algunos paleocanales como el que se encuentra sobre la mina el Lucero y algunos desarrollos de paleosuelos como en las minas de San Sebastián e Ixtotenco, representado por el contacto discontinuo de la Unidad El Lucero con la Unidad Iglesia Vieja, registrando la desaparición o dislocación de la parte superior de la Unidad El Lucero.

Después de esta etapa, comienza nuevamente la actividad volcánica, formándose así la Unidad Iglesia Vieja, la cual se encuentra rellenando la superficie de erosión en la cima de la Unidad El Lucero.

Finalmente y después de los depósitos lacustres, se origina la última etapa registrada de actividad ígnea en la región de una reciente ocurrencia, que tiene como testigo a la Unidad Huiloapan sobreyaciendo a los depósitos lacustres y tobáceos, como la Unidad El Lucero y la Unidad Iglesia Vieja respectivamente.

## BIBLIOGRAFÍA



- BENÍTEZ-RANGEL, E., Fernández-Barajas M.R. y Rico-Montiel, R., 2001. Diatomeas fósiles de las fases tempranas del paleolago Tlaxcala, mina El Lucero, *en* Primer foro de experiencias del Programa de Alta Exigencia Académica, México, D. F., México. Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México.
- CARROLL, A.R. y Bohacs, M.K. 1999. Stratigraphic classification of nascent lakes: Balancing tectonic and climatic controls. *Geology*; v. 27; no. 2, p. 99-103.
- CASTRO-GOVEA, R., 1999. Historia eruptiva reciente del volcán La Malinche. [Tesis de Maestría]: México, D. F., Posgrado en Ciencias de la Tierra, Universidad Nacional Autónoma de México, 104pp.
- FISHER, R.V. y Shmincke, H.-U., 1984. *Pyroclastic Rocks*: Pringer-Verlag, New York, 472pp.
- FRASER, G., Janik, C.J., Delgado, H., Werner C., Counce, D., Stimac, J.A., Siebe, C., Love, S.P., Williams, S.N., Fischer, T. y Johnson, L.J., 1998. Geochemical surveillance of magmatic volatiles at Popocatepetl volcano, Mexico. *Geological Society of America Bulletin*; v. 110; no. 6; p. 695-710.

- GÓMEZ-TUENA, A., Orozco-Esquivel, M.T. y Ferrari, L., 2005. Petrogénesis ígnea de la Faja Volcánica Transmexicana. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana; v. 58; no. 3; p. 227-283.
- HERNÁNDEZ-VELASCO, J., 1954. Las Diatomitas mexicanas y su empleo Industrial. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana; v. 18; p 34-53.
- INEGI. 1983. Carta Geológica Tlaxcala E14B33, Escala 1:50,000. SPP.
- INEGI. 1995. Carta Topográfica Tlaxcala E14B33, Escala 1:50,000. INEGI.
- Internacional Commission on Stratigraphy, 2007. Internacional Stratigraphic Chart.
- LARIOS, H. y Lozano, G.R., 1941. Guía para la excursión de “D Estado de Tlaxcala” Instituto de Geología. [Original no consultado, citado en Ontiveros-Hernández, A., 1964. Estudio Geológico-Económico de un yacimiento de Diatomita ubicado en la región central del Estado de Tlaxcala. [Tesis de Licenciatura]: México, D. F., Instituto Politécnico Nacional, 61pp.].
- LOZANO, R., 1946. Carta del Comité Directivo para la Investigación de los Recursos Minerales de México al Sr. Ing. Obdulio Olvera Alegre. Instituto de Ingeniería.
- LUGO-HUBP, J. y Córdova, C., 1995. Regionalización geomorfológica de la República Mexicana: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía,

- Investigaciones Geográficas; v. 25; p. 25-63.
- MCDUFF, P. y Hallam, A., 1967. Cyclic sedimentation. Elsevier, New Cork. [Original no consultado, citado en: Rico, R., Vilaclara, G., Miranda, J., y Cañetas, J., 1997. Origin of laminatons in Tlaxcala Paleolake, Mexico. Verh. Internat. Verein. Limnol; v.26; p. 838-841.].
- ONTIVEROS-HERNÁNDEZ, A., 1964. Estudio Geológico-Económico de un yacimiento de Diatomita ubicado en la región central del Estado de Tlaxcala. [Tesis de Licenciatura]: México, D. F., Instituto Politécnico Nacional, 61 pp.
- PROTHERO, R:D. y Schwab, F., 1999. Sedimentary Geology. An Introduction to Sedimentary Rocks and Stratigraphy. Freeman, New York, 559pp.
- RICO, R., Martínez, L., Fernández, M.A. Aragon, J. y Vilaclara, G., 1993 Fluctuación en las asociaciones fósiles de diatomeas del Paleolago Tlaxcala, Tlax., México, *en* First International Conference on Climatic Change in Mexico, Taxco: Guerrero, Mexico, Unión Mexicana para Estudios del Cuaternario.
- RICO, R., Martínez-López, Fernández-Barajas y Vilaclara, G., 1995. Los lagos muertos de México. Lagos y presas de México. Lanza Espino compilador. Centro de Ecología y desarrollo; p.195–209. [Original no consultado, citado en Benítez-Rangel, E., Fernández-Barajas M.R. y Rico-Montiel, R., 2001. Diatomeas fósiles de las fases

- tempranas del paleolago Tlaxcala, mina El Lucero, *en* Primer foro de experiencias del Programa de Alta Exigencia Académica, México, D. F., México. Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México.].
- RICO, R., Vilaclara, G., Miranda, J. y Cañetas, J., 1997. Origin of laminations in Tlaxcala Paleolake, Mexico. *Verh. Internat. Verein. Limnol*; v. 26; p. 838-841.
- SILVA-ROMO, G., Martiny B., Mendoza-Rosales C., Nieto-Samaniego A. y Alaniz-Alvarez, S., 2002. La paleocuenca Aztlán, antecesora de la Cuenca de México. *Resúmenes III Reunión Nacional de Ciencias de la Tierra*; v. 22; p. 149-150.
- SOLLEIRO-REBOLLEDO, E. y Sedov, S., 2007. Secuencias tefra-paleosuelos del Cinturón Volcánico Trans-mexicano: memoria pedológica de los ambientes del cuaternario. Caballero, M. y Ortega B. (Eds.) "El Cuaternario de México". Fondo de Cultura Económica. (en prensa).
- SOLLEIRO-REBOLLEDO, E. y Sedov, S., 2004. Paleosuelos del Centro de México como indicadores de condiciones ambientales durante el último Máximo Glacial. *Geos*; v. 21; no. 2; p. 352.
- SPARKS, R.S.J., Self, S. y Walker, G.P.L., 1973. Products of Ignimbrite Eruptions. *Geology*; v. 1; no. 3; p.115-118.
- SPARKS, R.S.J. y Walker, G.P.L., 1973. The ground surge deposits: a third type of pyroclastic rock. *Nature*; v. 241;

- p. 62-64. [Original no consultado, citado en Fisher, R. V. y Shmincke, H.-U., 1984. *Pyroclastic Rocks*: Pringer-Verlag, New York, 472pp.].
- SWANSON, D.A. y Christiansen, R.L., 1973. Tragic base surge in 1970 at Kilauea Volcano. *Geology*; v. 1; p. 83-86. [Original no consultado, citado en Fisher, R.V. y Shmincke, H.-U., 1984. *Pyroclastic Rocks*: Pringer-Verlag, New York, 472 p.].
- VERA, J. A. 1994. *Estratigrafía, principios y métodos*. Ed. Rueda. Madrid, España, 806pp.
- VILA CLARA, G., Rico Montiel, R., Aragón, N.J.L., Miranda, J., Oliver, A., Ruvalcaba, J.L., Cañetas, J. y Zenteno, M.A., 1993. Análisis de eventos alóctonos y autóctonos en el Paleolago Tlaxcala, Tlax., México, *en First International Conference on Climatic Change in Mexico*, Taxco: Guerrero, México, Unión Mexicana para Estudios del Cuaternario.
- VILA CLARA, G., Cuna-Pérez, E. y Martínez, G., 2004. Las condiciones paleoambientales del centro de México a inicios del Cuaternario: el caso del Paleolago Tlaxcala, *en IV Reunión Nacional de Ciencias de la Tierra*, Juriquilla: Querétaro, México, Unión Mexicana para Estudios del Cuaternario.
- VILA CLARA, G. y Silva-Romo, G., B., 2005. Cambios ambientales recientes y pasados del Estado de Tlaxcala, *en Libro de resúmenes y guías de excursiones del*

Symposium Interdisciplinario, Santa Cruz: Tlaxcala, México, División de Investigación y Posgrado, Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México y Unión Mexicana para Estudios del Cuaternario, 80 pp.

VILA CLARA, G., SILVA-ROMO, G., CUNA, E., ROBLEDO, R. y MENDOZA, C., 2006. Las cuencas lacustres Neógenas de Tlaxcala como indicadores de un pasado más húmedo en el Trópico Nortetamericano. *en* Escenarios de cambio ambiental: Registros del Cuaternario en América Latina, FCE

INEGI "a", 2007, Fisiografía

<[http://mapserver.inegi.gob.mx/map/datos\\_basicos/fisiografia/?c=553](http://mapserver.inegi.gob.mx/map/datos_basicos/fisiografia/?c=553)> (Agosto 2007).

INEGI "b", 2007, Regiones Hidrológicas de Tlaxcala

<<http://mapserver.inegi.gob.mx/geografia/espanol/estados/tlax/rh.cfm?c=444&e=10>> (Septiembre 2007).

Secretaría de Economía, 2007. Perfil de Diatomita.

<<http://www.economia.gob.mx/?P=1724>> (Agosto 2007).

## ANEXOS

