



# UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO



## INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN CIENCIAS DE LA TIERRA MAESTRÍA EN GEOCIENCIAS Y PLANIFICACIÓN DEL TERRITORIO

### “ANÁLISIS BIOESTRATIGRÁFICO Y PALEOAMBIENTAL DE LA CALDERA LA PRIMAVERA, JALISCO”

TESIS

Que para obtener el grado académico de  
**MAESTRA EN GEOCIENCIAS Y PLANIFICACIÓN  
DEL TERRITORIO**

Presenta

**ROSA LILIA DORANTES ZAVALITA**

Asesor: Dra. Isabel Israde Alcántara

*Morelia Michoacán, febrero 2018*



## Tabla de contenido

RESUMEN.....	1
ABSTRACT .....	2
CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN.....	3
1.1 JUSTIFICACIÓN .....	4
1.2 HIPÓTESIS .....	5
1.3 OBJETIVOS.....	5
CAPITULO 2. ANTECEDENTES .....	6
CAPITULO 3. ÁREA DE ESTUDIO .....	11
3.1 UBICACIÓN Y VÍAS DE ACCESO.....	11
3.2 ÁREA DE PROTECCIÓN DE FLORA Y FAUNA LA PRIMAVERA (APFFLP).....	12
3.3 FISIOGRAFÍA .....	13
3.4 CLIMA .....	13
3.5 HIDROLOGÍA .....	14
3.6 SUELO .....	14
CAPÍTULO 4. MARCO TEÓRICO .....	16
4.1 DIATOMEAS (BACILLARIOPHYTA) .....	16
4.1.1 CARACTERÍSTICAS.....	17
4.1.2 REPRODUCCIÓN .....	17
4.1.3 CLASIFICACIÓN.....	19
4.1.4 ECOLOGIA .....	22
CAPÍTULO 5. MARCO GEOLÓGICO.....	25
5.1 GEOLOGÍA REGIONAL.....	25
5.2 GEOLOGÍA LOCAL.....	26
Complejo Volcánico La Primavera (CVLP).....	26
5.3 CAMPO GEOTÉRMICO LA PRIMAVERA (CERRITOS COLORADOS) .....	35
CAPÍTULO 5. METODOLOGÍA.....	40
5.1 TRABAJO DE GABINETE .....	40
5.2 TRABAJO DE CAMPO.....	41
5.3 LABORATORIO.....	42
DIATOMEAS .....	42
MINERALOGÍA.....	44

<b>MICROSCOPIO ELECTRÓNICO DE BARRIDO (Scanning Electron Microscopy-SEM)</b> .....	46
<b>CAPÍTULO 6. RESULTADOS</b> .....	48
<b>ESTRATIGRAFÍA</b> .....	48
COLUMNA SUR CENTRAL .....	48
COLUMNA NORTE .....	59
<b>DIATOMEAS</b> .....	65
COLUMNA SUR CENTRAL .....	65
COLUMNA NORTE .....	73
<b>MINERALOGÍA</b> .....	80
DIFRACCIÓN RAYOS X.....	80
ESPECTOMETRÍA DE INFRARROJO .....	84
<b>CAPITULO 7. DISCUSIÓN</b> .....	85
<b>Columna Sur Central</b> .....	85
<b>Columna Norte</b> .....	88
<b>CAPITULO 8. CONCLUSIONES</b> .....	99
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	102
<b>ANEXOS</b> .....	108

## RESUMEN

---

La Caldera La Primavera (CLP) ubicada en el sector Oeste de la Faja Volcánica Transmexicana, posee los relictos de la existencia de un antiguo lago desarrollado en su interior durante el Pleistoceno, dentro del estadio isotópico MIS 5 (a y b), caracterizado por un periodo interglacial de condiciones ambientales cálidas y semiáridas.

El paleolago de la Primavera inició hace 90Ka (Estadio 1), como un cuerpo de agua somero con escasas diatomeas pennales destacando *Campylodiscus clypeus*, *Mastogloia smithii*, *Entonomeis paludosa* y *Achnantes minutissima*, que indican condiciones de alta concentración iónica del agua y la presencia de macrofitas. Especies centrales encontradas en la cima de esta secuencia (*Cyclotella meneghiniana* y *Pseudocyclotella primaverensis*) sugieren un pobre incremento en el tirante de agua. Para los 89.8 ka el ingreso al lago de una Pómez Gigante interrumpe su desarrollo; el material algareo analizado dentro de la matriz de este horizonte corroboró un cuerpo de agua somero. Posteriormente el emplazamiento del domo el Nejahuete dividió la secuencia lacustre en dos cuerpos el lago Sur Central y el lago Norte.

En el Estadio 2 se reinició la sedimentación en ambos lacustres siendo más fluviodeltaica en la zona Norte, mientras que en la región Sur Central, se desarrolló un lago más estable con sedimentación limoarcillosa donde abundan *Cyclotella m.* y *Pseudocyclotella p.* indicando alcalinidad y un ligero aumento de la profundidad. En el área norte el aporte volcanoclástico y la sedimentación lacustre disminuyó; las diatomeas centrales dominan junto con *Achnantes minutissima*, lo que sugiere un lago somero de aguas ricas en Na, neutro- alcalinas, con moderada a alta conductividad y presencia de manantiales.

Para el Estadio 3, la sedimentación lacustre en la zona norte se substituyó por un sistema fluvial dominado por depósitos de arenas con cenizas intercaladas. Mientras que en la zona sur un sistema fluvial de mayor energía, se reemplazó paulatinamente por un sistema de menor intensidad. Las diatomeas centrales disminuyeron y formas pennales como *Campylodiscus c.*, *Epithemia argus* y *Rhopalodia gibba* indican que se estableció un sistema límnic con formación de ciénegas aisladas que marcan la desaparición del lago asociado al levantamiento del terreno con un depósito de tefra que cubre al antiguo lago hace 79ka

La revisión precisa y mundial de una diatomea central que abunda en la fase de máximo desarrollo lacustre, ha dado lugar a sugerir una nueva especie de diatomea “*Pseudocyclotella primaverensis*”.

La actividad tectónica dentro de la caldera está manifestada con la presencia de sismitas en el Estadio 1, 2 y más débilmente en el 3.

En los depósitos lacustres, hay evidencias también episodios de incendios forestales asociados a fulgoritas entre los 80-79 ka.

### Palabras clave:

*Paleolago, Pómez Gigante, Nejahuete, diatomeas, somero*

## ABSTRACT

---

The La Primavera Caldera (CLP) located in the western sector of the Trans-Mexican Volcanic Belt, has the relicts of the existence of an ancient lake developed in its interior during the Pleistocene, within the isotopic stage MIS 5 (a and b), during an interglacial period characterized by warm and semi-arid environmental conditions.

The Primavera ancient lake began 90Ka (Stage 1), as a body of shallow water with scarce diatoms characterized by *Campylodiscus clypeus*, *Mastogloia smithii*, *Entonomeis paludosa* and *Achnantes minutissima*, indicating conditions of high ionic concentration in a macrophyte rich lake. Centrales diatoms found at the top of this sequence (*Cyclotella meneghiniana* and *Pseudocyclotella primaverensis*) suggest a short increase in water level. For the 89.8 ka the arrival into the lake of a giant pumice interrupts its development; the algae material analyzed within the matrix of this horizon corroborated a body of shallow water. Successively the extrusion of the Nejahuete dome divided the lacustrine sequence in two bodies the South Central lake and the North lake.

In Stage 2, sedimentation was reinitiated in both paleo-lakes, being more fluviodeltaic in the Northern zone, while in the South Central region, a more stable lake dominated by silty-clayed sedimentation, with *Cyclotella m* and *Pseudocyclotella p.as* dominating diatoms indicating and a slight increase in depth and alkalinity conditions into the lake. In the northern area the detrital contribution decreased permitting the diatoms development with central diatoms *Achnantes minutissima* dominating, suggesting a shallow lake of Na-rich, neutral-alkaline waters, with moderate to high conductivity and presence of springs.

For Stage 3, lacustrine sedimentation in the northern zone was replaced by a fluvial system dominated by sand deposits with interbedded ash. While in the southern zone a fluvial system of greater energy, it was replaced gradually by a system of lower energy. Central diatoms decreased and pennales increased being characteristic *Campylodiscus c.*, *Epithemia argus* and *Rhopalodia gibba* indicating again that a limnic system was established with the formation of isolated marshes that recorded the disappearance of the lake associated with a ground lift (around 79 ky).

The revision of an unknown central diatom that dominate in the phase of maximum lacustrine development, permit to suggest a new diatom species "*Pseudocyclotella primaverensis*".

The tectonic activity inside the caldera is manifested with the presence of seismites at the stage 1, 2 and more weakly en Stage 3.

Also in the lacustrine deposits are evident forest burning episodes associated to fulgurites between ca. 80and 79 ky.

### Keywords

*Paleolake, Giant Pumice, Nejahuete, diatoms, shallow*

## CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN

---

La Caldera La Primavera inició su formación hace 95 ka (Mahood, 1980 y 1981; Walker *et al.*, 1981) cuando una erupción explosiva arrojó 23 km<sup>3</sup> de magma (Wright *et al.*, 1981) en forma de corrientes piroclásticas conocida como la Toba Tola definida como la unidad sincaldérica. Posterior a ello ocurrió el colapso del techo de la cámara magmática debido a su violento vaciamiento. En la depresión que se formó (cuyo diámetro oscila entre los 11 km) se inició el desarrollo un lago, que vio su progreso interrumpido por un horizonte de Pómez Gigante; sucesivamente se reinició la actividad fluviolacustre, que concluyó cuando se reactiva la cámara magmática hace 75-60 ka originando el levantamiento del terrero y la sucesiva extinción del lago (Mahood, 1980).

La Primavera ha sido objeto de diversos estudios debido al potencial geotérmico que alberga, sin embargo es poca la importancia que se ha dado a los sedimentos del paleolago que conserva en su interior. Como parte del Proyecto 15 del CemiGeo se ha retomado la exploración geológica de la CLP con la finalidad de enriquecer los estudios previos y definir el sistema geotérmico para mejorar su explotación en un futuro. El conocer a detalle la estratigrafía del lacustre e identificar las especies de diatomeas contenidas en él, permitirán entender la evolución ambiental y ayudar a comprender el contexto geológico en que se desarrolló este complejo volcánico.

Autores como Mahood (1980) y Maciel (2006) sugieren la existencia de un lago profundo que se formó casi de forma inmediata en la depresión originada después de la extrusión de la Toba Tala. Ellos infirieron que el paleolago tuvo un tirante de agua considerable para poder explicar la presencia de numerosos fragmentos de Pómez Gigante, así como de la matriz que los soporta.

En particular los lagos de origen volcánico en zonas caldéricas conforman almacenes potenciales de materiales alogénicos y autigénicos, por lo que poseen un registro continuo de los eventos volcánicos, tectónicos y climáticos que han ocurrido en sus sedimentos a nivel local y regional (Israde, 2010).

Las investigaciones paleoecológicas basadas en asociaciones de diatomeas, proveen valiosa información en la reconstrucción de los ambientes sedimentarios debido a su abundancia y

sensibilidad a los cambios ambientales (Téllez, 2002). Las diatomeas son algas conformadas por sílice que pueden encontrarse en hábitats acuáticos y semiterrestres, soportar temperaturas de 0°C hasta 80°C, y sobrevivir en aguas con pH que van desde ácidos hasta alcalinos. Gracias a su tamaño y caparazón silíceo permanecen millones de años intactas (Téllez, 2002)

En este trabajo se abordará un estudio bioestratigráfico de una secuencia lacustre que nos ha permitido obtener evidencias de los procesos que convivieron en este lago, incluyendo aspectos climáticos, de actividad geotérmica, volcánica y de eventos sísmicos. El desarrollo del lago extinto de la Primavera se muestra en Estadios para una mejor comprensión de su evolución dentro de un ambiente de vulcanismo activo.

Los resultados de esta tesis, ayudarán a comprender la evolución geológica ocurrida en La Caldera Primavera y sus alrededores desde el Pleistoceno tardío hasta la desaparición del paleolago, originado por la resurgencia de la cámara magmática hace aproximadamente 70 Ka (Mahood, 1981).

## **1.1 JUSTIFICACIÓN**

Los depósitos lacustres de la Caldera La Primavera han sido poco estudiados, si bien se ha caracterizado de forma general la estratigrafía existente de la zona, no se ha realizado la columna estratigráfica detallada de los depósitos del paleolago para obtener el contexto deposicional en que se formaron. Determinar las condiciones paleoambientales en que se desarrolló el lago, ayudará a la reconstrucción de la historia geológica de La Caldera La Primavera y por ende a comprender la evolución del Campo Geotérmico que se almacena en ella.

## **1.2 HIPÓTESIS**

La Caldera de la Primavera conserva el registro de fluctuaciones de ciénegas a lagos dentro de ella, interrumpidas continuamente por emisiones vulcanoclásticas. El análisis de los proxies lacustres permitirá reconstruir el ambiente que caracterizó al Pleistoceno en esa zona.

## **1.3 OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

Realizar la reconstrucción paleoambiental y bioestratigráfica del paleolago al interior de la Caldera La Primavera.

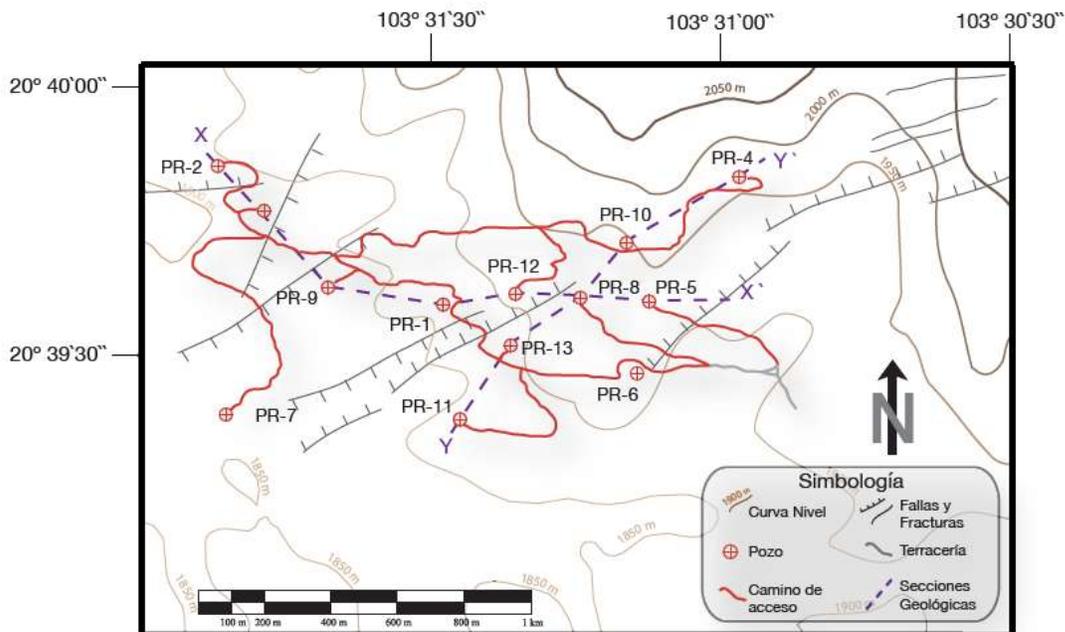
### **Objetivos particulares:**

- Levantamiento de columnas estratigráficas detalladas de la secuencia del lago al interior de la CLP.
- Caracterizar las facies lacustres y su correlación bioestratigráfica. Asociarlas a la distribución espacial, duración de los eventos y procesos sedimentarios ocurridos en el paleolago.
- Identificar diatomeas a nivel de especie para inferir paleoclima y paleoambiente.
- Incluir proxies (mineralogía) que en conjunto con la taxonomía de las diatomeas, ayuden a inferir la evolución paleoambiental.

## CAPITULO 2. ANTECEDENTES

La Comisión Federal de Electricidad (CFE) realizó en la década de los 70's una serie de estudios geológicos, geofísicos y geoquímicos para determinar el potencial geotérmico en la Caldera La Primavera (CLP), específicamente en la zona conocida como “Cerritos Colorados”, esta zona, según Rocha (2013) destaca por la presencia de fumarolas, manantiales calientes y alteraciones hidrotermales.

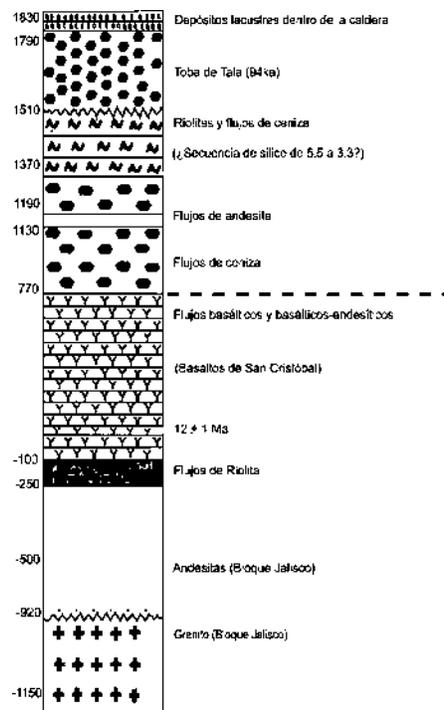
Después de una minuciosa campaña de exploración, CFE inició en 1980 la primera etapa de perforación en la zona central sur de la Caldera, dando como resultado los pozos exploratorios: PR-1, RC- 1, PR- 2, PR- 3, PR-4 y PR-5; para 1984 la segunda etapa de barrenación continuó con los pozos PR- 7, PR-8, PR- 9, PR-10, PR- 11, PR- 12, PR- 13 y por último el PI-1, el único pozo perforado con fines de inyección y cuya construcción finalizó en 1989 (Figura 1).



**Figura 1.** Ubicación y acceso a la zona de pozos de La Primavera- Cerritos Colorados (Tomado de Rocha, 2013).

Con base en los 13 pozos efectuados en Cerritos Colorados, CFE propuso la columna estratigráfica completa de la zona, donde se observa un basamento granítico a la base sobreyacido por las andesitas del bloque Jalisco, flujos de riolita, flujos basáltico andesíticos, flujos de ceniza y riolitas, estos niveles en conjunto conforman la Unidad Precaldérica; posterior a ellos esta unidad se depositó la Toba Tala (Unidad Sincaldérica) y coronando la secuencia, se presentan depósitos lacustres con un internivel de Pómez Gigante que representan la Unidad Poscaldérica (Figura 2).

Entre los estudios más distintivos y de carácter geológico de la Caldera La Primavera destacan los realizados por Mahood (1977; 1979; 1980; 1981a; 1981b; 1985); Mahood y Drake (1982); Mahood *et al.*, (1983); Mahood y Ferriz, (1986); Mahood y Halliday (1988). Ellos definieron a La Primavera como una caldera volcánica cuya formación inició hace 140, 000 años (Mahood, 1981a), cuando una cámara magmática en ascenso originó un abombamiento de la superficie, de lo cual resultó la aparición de dos zonas de fracturas “circulares” no concéntricas a través de las cuales surgieron los primeros domos y flujos riolíticos (Mahood, 1981a).



**Figura 2.** Perfil generalizado de la CFE de la Primavera- Cerritos Colorados. Edades propuestas a la derecha y elevaciones (m) a la izquierda (tomado de Ferrari *et al.* 1999, 76)

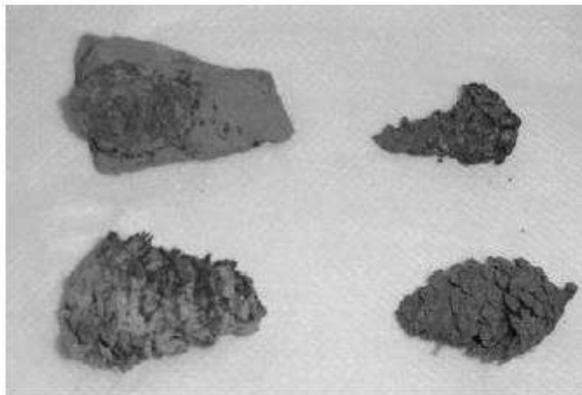
Alatorre Zamora y Campos Enríquez (1992), aportaron un estudio gravimétrico y elaboraron un modelo estructural 3D en el que definen una estructura subsuperficial asimétrica de la caldera: una depresión mayor que en su mitad norte, y un alto estructural en forma de boomerang hacia el sur; determinan también que las unidades volcánicas basamentales están afectadas por lineamientos NW-SE, mientras que el sistema NE-SW afecta a las unidades someras.

En 1992 Maciel Flores y Rosas Elguera propusieron un modelo geológico del campo geotérmico (Figura 3) e infirieron la porosidad promedio del yacimiento en 47.7%, con lo que obtienen una masa efectiva aproximada de 544.94 millones de toneladas de mezcla (33% vapor, 67% agua) resultando un volumen de 179.83 millones de toneladas de vapor que podrían generar 100 MW en un periodo de vida de 17 años.

Existe un único análisis paleoambiental para la Caldera La Primavera, Maciel Flores (2006) en su tesis doctoral realizó una estimación de las condiciones climáticas para los últimos 40,000 años (Tabla 1); utilizando fósiles de fragmentos de ramas y conos de pinos (*Pinus luzmariae*, *Pinus teocote*, *Pinus douglasiana*, *Pinus durangensis*, *Pinus leiophylla* y *Pinus montezumae*) colectados en tefras (figura 3), dedujo que la temperatura en la zona ha incrementado de 2° a 3°C y la precipitación ha disminuido entre 100 y 200 mm a partir del Pleistoceno Tardío. Así mismo, midiendo las inclinaciones de las capas, propone que las más jóvenes presentan una ligera inclinación (2°) mientras que las más antiguas poseen inclinaciones de hasta 35°, llegando a existir contactos entre dos capas con diferente inclinación, lo que indica que el levantamiento del paleolago inició desde que comenzó el desarrollo del cuerpo de agua. Maciel Flores (2006), calculó un ascenso del centro del paleolago de 149 m, debido a la resurgencia de la cámara magmática.

Especies fósiles registradas en la Caldera de la Primavera		
Especie encontrada como fósil	Especie presente en La Primavera	Especie presente en la Sierra del Bajío
<i>Pinus montezumae</i> Lamb.		X
<i>Pinus durangensis</i> Martínez		X
<i>Pinus leiphylla</i> Schiede ex Schltdl. & Cham		X
<i>Pinus luzmarie</i> Pérez de la Rosa	X	X
<i>Pinus teocote</i> . Schltdl & Cham.		X
<i>Pinus douglasiana</i> Martinez.	X	X

**Tabla 1.** Comparación de las especies fósiles y especies actuales de la Sierra del Bajío (Maciel Flores, 2006).



**Figura 3.** Conservación real de conos de pino de la CLP (Maciel, 2006).

Rocha (2013), estudia la distribución de las alteraciones hidrotermales presentes en el campo geotérmico, definiendo cuatro asociaciones principales de alteración: argílica, fílica o sericítica, propilítica y argílica avanzada (Figura 4). De igual forma propuso que el flujo subterráneo de los fluidos hidrotermales se encuentra controlado principalmente por el fracturamiento, favoreciendo el flujo en dirección SE- NW.

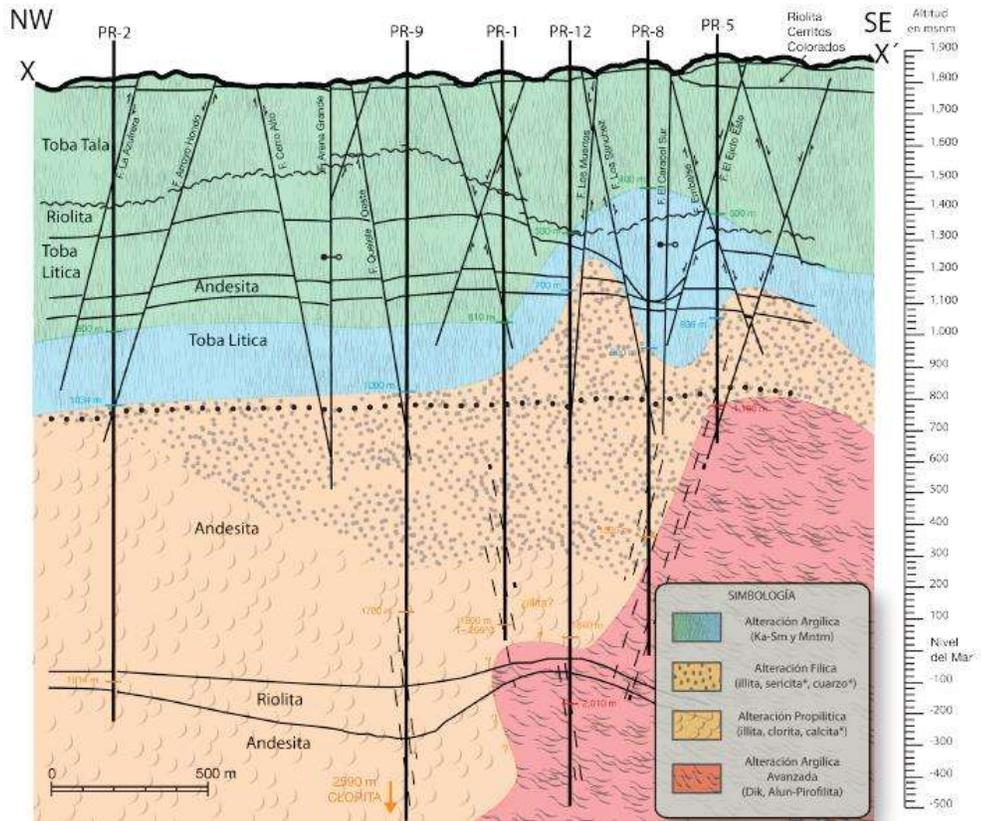


Figura 4. Tipos de alteración presentes en el campo geotérmico de Cerritos Colorado (Rocha, 2013)

# CAPITULO 3. ÁREA DE ESTUDIO

## 3.1 UBICACIÓN Y VÍAS DE ACCESO

La Caldera La Primavera (Figura 1), se localiza en la porción occidental - central de la República Mexicana, en el estado de Jalisco, hacia el Oste de la ciudad de Guadalajara; limitada por las coordenadas UTM: 2 295 000 y 2 270 000; 635 000 y 662 500(Datum NAD 27) en un rango altitudinal de 1400 a 2225 msnm aproximadamente (Flores, 2004). Queda situada al centro de un conjunto de cinco valles: Tala, Tesistán, Toluquilla, Atemajac y San Isidro Mazatepec pertenecientes a los municipios de Zapopan, Tala, y Tlajomulco de Zúñiga (SEMARNAT, 2000).

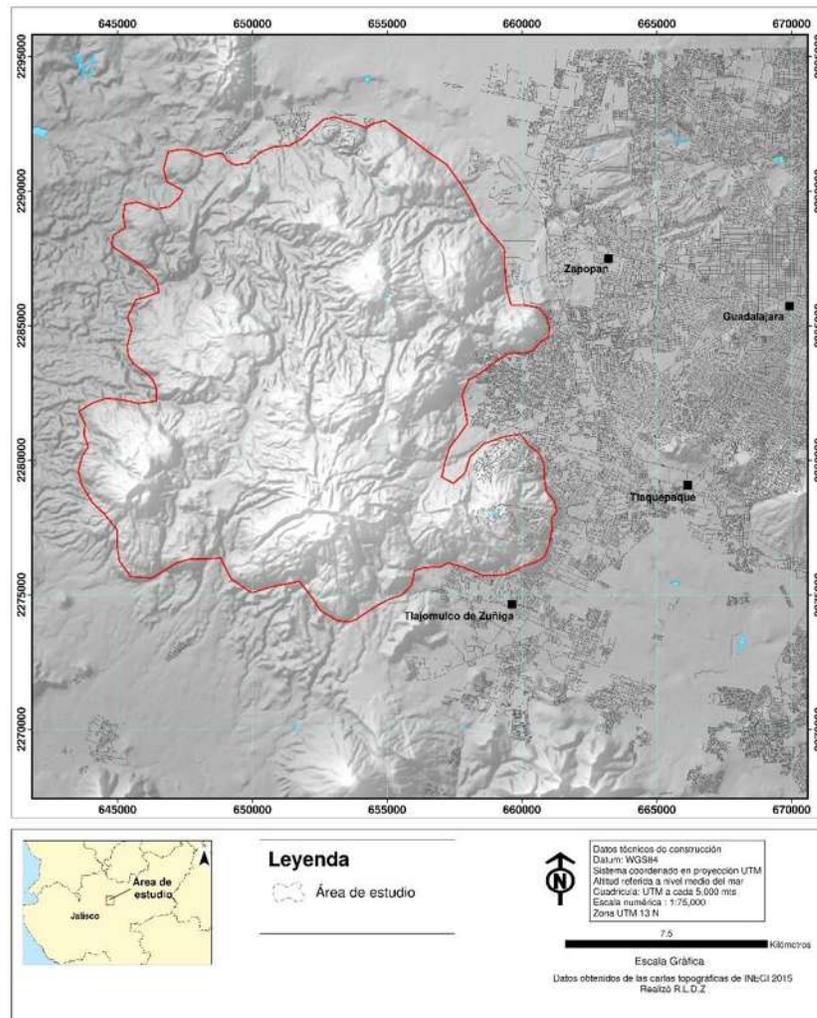


Figura.5. Ubicación de la zona de estudio, Caldera La Primavera.

Las principales vías de comunicación, son a partir de caminos de terracería que inician de las carreteras Guadalajara – Colima, Guadalajara – Tepic y Tala – Tlajomulco de Zúñiga y del periférico de la Zona Metropolitana de Guadalajara. El acceso a la parte central de la caldera (en la cual queda ubicado el campo geotérmico Cerritos Colorado) es por el periférico poniente de la ciudad de Guadalajara, donde se toma la prolongación de la avenida Otero en dirección a San Isidro Mazatepec; posteriormente se sigue un camino de terracería en el cual se localiza a los 9.6km una desviación al Norte, que después de recorrer 5km nos ubica en la zona geotérmica (Rocha, 2013).

### 3.2 ÁREA DE PROTECCIÓN DE FLORA Y FAUNA LA PRIMAVERA (APFFLP)

En 1934, bajo el mandato del Presidente Lázaro Cárdenas, se declaró como zona de protección forestal un área de aproximadamente 10,000 km<sup>2</sup> que bordeaban a la ciudad de Guadalajara incluido el Bosque La Primavera. Para 1980 la superficie protegida queda establecida como actualmente se conoce, conformada por 30,500 ha dentro de los municipios de Tala, Zapopan y Tlajomulco de Zúñiga (SEMARNAT, 2000).

MUNICIPIO	% SUPERFICIE DEL ANP
Zapopan	54.0
Tala	35.0
Tlajomulco	11.0

**Tabla 2.** Área natural protegida en porcentajes por municipio de la Caldera La Primavera (SEMARNAT en el 2000).

El 7 de junio de 2000 se publicó en el Diario Oficial de la Federación el acuerdo mediante el cual se dota al Área Natural Protegida con una categoría acorde con la legislación vigente (Figura 6), quedando con el carácter de Área de Protección de Flora y Fauna "La Primavera" (SEMARNAT, 2000).

De acuerdo a la Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2000), la Sierra de la Primavera posee aproximadamente 1,000 especies de flora, entre las que se localizan 11 especies de encinos, 5 de pino y aproximadamente 59 especies de orquídeas; de igual forma se considera reservorio de algunas especies de flora endémicas del Estado de Jalisco tales

como *Mamillaria jaliscana* y *Agave guadalajarana*. En el área protegida se reportan al menos 29 especies de mamíferos donde destaca la presencia de puma *Felis concolor*, el jaguarundi (*Felis yagouaroundi*), el gato montés (*Linx rufus*) y venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*).

### 3.3 FISIOGRAFÍA

Considerada una de las erupciones riolíticas más recientes, La Primavera queda ubicada en en la Faja Volcánica Transmexicana, dentro del Bloque Jalisco. Las geoformas que constituyen su paisaje son mesetas, cerros, colinas irregulares y montañas que siguen el fracturamiento de la caldera, originando una topografía semicircular que sobresale de su entorno de menores altitudes (SEMARNAT, 2000). El cerro de las Planillas y San Miguel son los dos puntos más altos presentando 2250 msnm. La influencia de las fuerzas denudatorias fluviales y tectónicas han originado diferentes rangos de pendientes existentes, cuyo grupo dominante (Tabla 3) va de 50- 100% (SEMARNAT, 2000).

<b>Rangos de pendiente para la CLP</b>	
<b>Rango de pendiente (%)</b>	<b>Área del ANP (%)</b>
0-1	0.20
1-5	4.96
5- 10	20.42
10- 20	31.36
20-50	10.29
50-100	32.77

**Tabla 3.** Rangos de pendientes de la Caldera La Primavera, específicamente para el Área Natural Protegida (UdeG, 1988)

### 3.4 CLIMA

De acuerdo a la clasificación climática de Köppen (modificada por E. García para la República Mexicana) existen dos climas principales en la CLP: templado- subhúmedo y semicálido subhúmedo. Estos se caracterizan por la presencia de precipitaciones en verano e invierno, cuyos rangos anuales oscilan de 800 a 1,000 mm, incluyendo lluvias invernales que

representan 5% de la precipitación total. Basados en las características torrenciales que presentan las lluvias, el 77% de ellas se consideran de tipo erosivo (SEMARNAT, 2000). Con una temperatura media anual de 20.6°C, enero es el mes más frío y junio el más cálido. El promedio anual de humedad es de 63%, mientras que los vientos principales con velocidades de hasta 53 km/h proceden del suroeste (SEMARNAT, 2000).

### **3.5 HIDROLOGÍA**

La Primavera queda ubicada entre tres cuencas independientes Río Grande Santiago, Río Ameca y San Marcos; dentro de un área divisoria de tres acuíferos poco profundos: San Marcos, Tesistán-Atemajac-Toluquilla y Ahualulco-Río Salado-Ameca (Venegas, 1988).

Un aproximado de 20 corrientes permanentes nacen en el bosque y drenan al oeste hacia la cuenca del río Ameca. Las Tortugas, Salado, Ahuisculco, Zarco, Las Ánimas, La Villa y Agua Caliente se consideran los ríos y arroyos principales de La Primavera; donde domina un sistema dendrítico, radial y semiparalelo; con densidades de corrientes en riolitas de 1.81 por km<sup>2</sup>, mientras que en pómez y toba de 2.3 por km<sup>2</sup> (SEMARNAT, 2000).

### **3.6 SUELO**

Los tipos de suelos que conforman la zona de estudio están representados por dos tipos: REGOSOLES que conforman el 92% y son originados del intemperismo de las pómez, riolitas y tobas; y LEPTOSOLES (8%) derivados de procesos erosivos. La profundidad máxima efectiva para ambos queda de la siguiente manera: el 47% de la superficie supera los 60 cm, 44% presenta un espesor de 10 a 30 cm y el 9% restante exhibe de 30 a 60 cm de grosor (SEMARNAT, 2000).

Los colores de los suelos de La Caldera varían de amarillo, café pálido hasta rojizo. Aproximadamente el 80% de ellos está compuestos por bajos niveles de materia orgánica (<2%) y arcillas (<15%), lo que no es común en un suelo de bosque; originando un pH de 5.5 debido a los débiles valores de Ca y Mg (SEMARNAT, 2000).

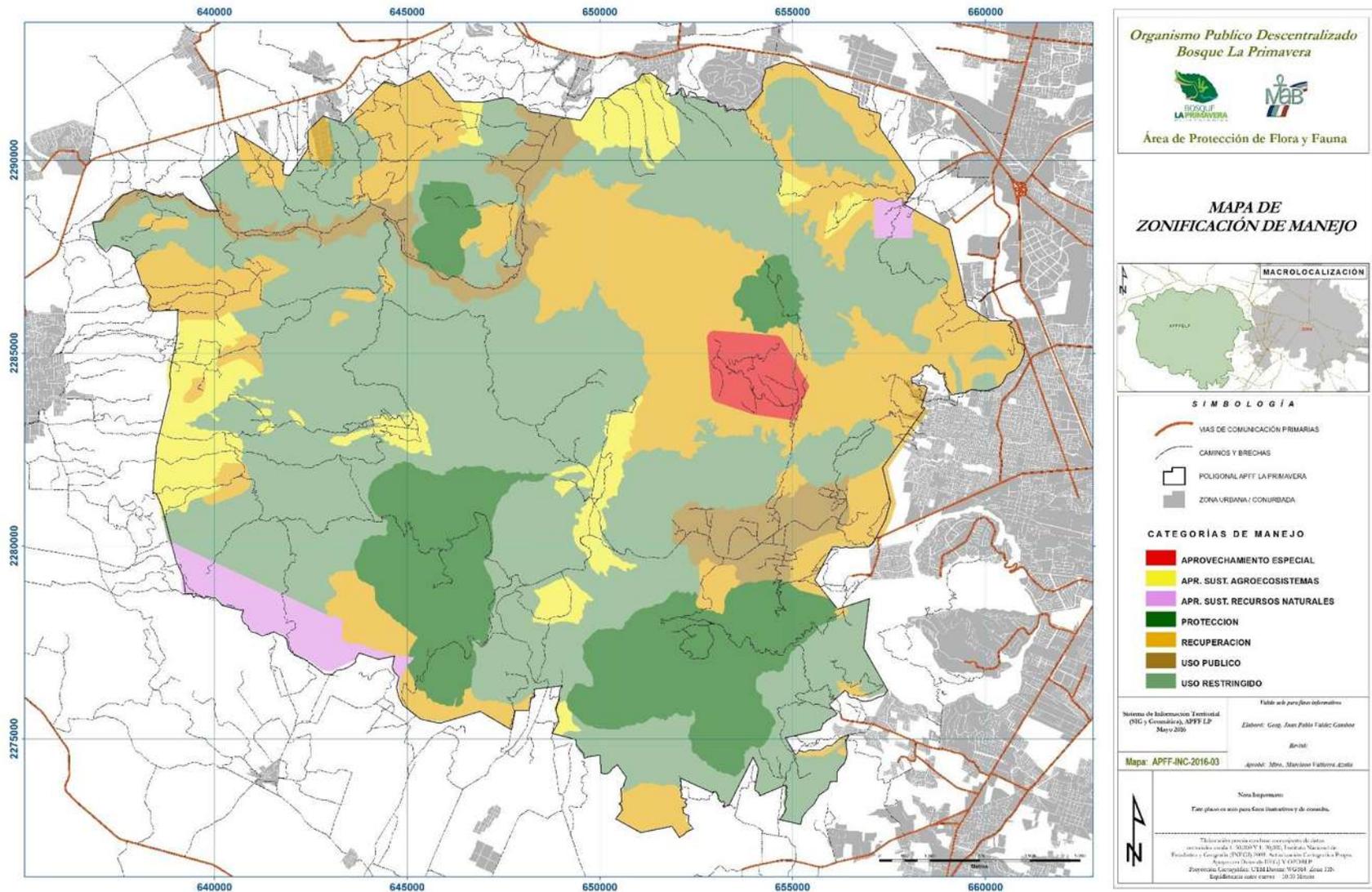
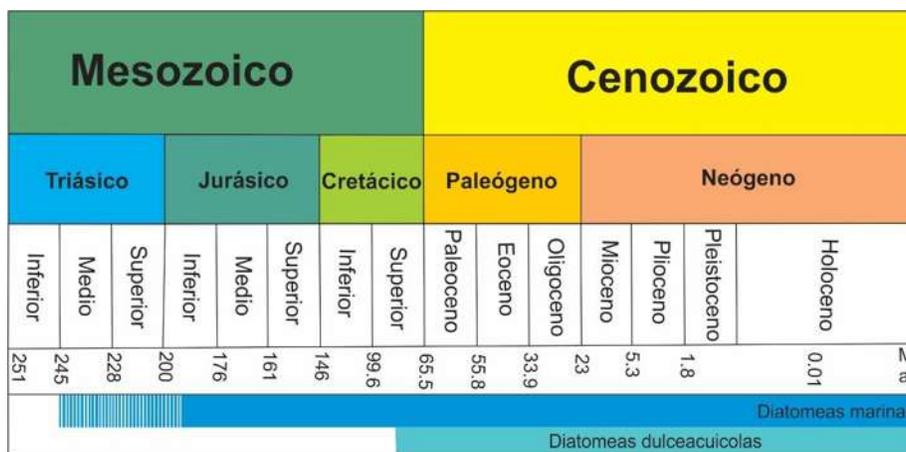


Figura 6. Mapa de Zonificación y manejo del Bosque de La Primavera (Consejo Nacional de Áreas Naturales Protegidas, 2014)

## CAPÍTULO 4. MARCO TEÓRICO

### 4.1 DIATOMEAS (BACILLARIOPHYTA)

Las bacillariophytas comúnmente llamadas diatomeas, son algas cuyo registro fósil inicia desde el Jurásico (Figura 7), aunque por métodos moleculares se ha estimado su origen desde el Triásico, hace aproximadamente 240 Ma (Medlin *et al.*, 1997). Las formas marinas son las más antiguas, mientras que las formas dulceacuícolas aparecen durante el Cretácico superior (70 Ma).



**Figura 7.** Origen de las diatomeas en el tiempo geológico (Tomado de [http://www.geofisica.unam.mx/laboratorios/institucionales/paleolimnologia/sitio\\_web/diatomeas.html](http://www.geofisica.unam.mx/laboratorios/institucionales/paleolimnologia/sitio_web/diatomeas.html)).

Las hipótesis propuestas sobre el origen de las diatomeas explican que sus ancestros, las pre-diatomeas eran organismos que carecían de pared silíceo y eran comunes en agua marinas someras, viviendo de forma planctónica (Sims *et al.* 2006). Medlin (2004), propone que las pre-diatomeas pudieron quedar atrapadas en pozas salinas tras el retroceso de los mares después de inundar los continentes, aquellas que sobrevivieron a la desecación tuvieron que adaptarse a un ambiente semiterrestre, evolucionar para ser capaces de metabolizar el sílice y así crear su protección opalina que les permitiera resguardar su célula en estado de reposo hasta que la zona se inundara nuevamente.

No hay un número definitivo de las especies existentes de diatomeas. La estimación es del orden de  $10^4$  según Guillard y Kilham (1977), mientras que Mann y Droop (1996) señalaron, que esta estimación se elevaría a por lo menos  $10^5$  si se utiliza el concepto de especies (Stormer, 2004).

### 4.1.1 CARACTERÍSTICAS

Las diatomeas son microorganismos unicelulares (2-500  $\mu\text{m}$ ), eucarióticas, pigmentadas y fotosintéticas, aunque algunas pueden vivir heterotróficamente en la oscuridad si se suministra una fuente adecuada de carbono orgánico. Contiene los mismos organelos que otras algas eucarióticas (núcleo, dictosomas, mitocondrias, plastidios, etc.), pero lo que las diferencia es su pared celular, compuesta por sílice opalino ( $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ) (Stormer, 2004).

La pared es multipartida, compuesta por dos valvas cóncavas que están unidas por un cinturón conectivo o cingulo, todo en conjunto es denominado frústula. Cada frústula tiene una valva formada justo después de la división celular y una valva más vieja, que puede existir por varios ciclos celulares. La valva más vieja, es llamada epitheca (epivalva), mientras la valva más nueva es la hipoteca (hipovalva). La parte del cingulo asociado a la hipoteca también se conoce como hipocingulo y la unida a la epitheca es nombrada epicingulo (Figura 8). La hipoteca siempre subyace a la epitheca, (Stormer, 2004).

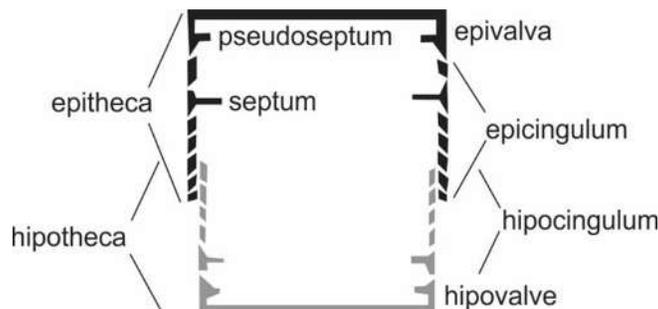


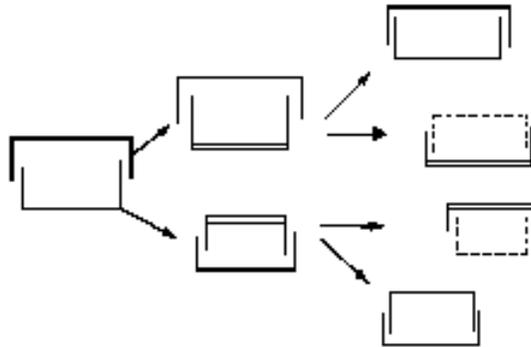
Figura 8. Estructura de la frústula de una diatomea (Graham y Wilcox, 2000)

### 4.1.2 REPRODUCCIÓN

La reproducción de estas algas es de tipo asexual (multiplicación vegetativa) y sexual.

- **Reproducción asexual (Multiplicación vegetativa).** Las diatomeas inician su ciclo de reproducción por bipartición, el cuerpo plasmático comienza a aumentar de tamaño ocasionando la separación de las valvas y la división del plasma en dos células hija (Figura 9). Una de ellas, mantiene el tamaño el tamaño original de la célula madre, mientras que la otra disminuye su dimensión; este proceso se repite hasta que

el tamaño de la diatomea ya no permite la división celular, entonces inicia la reproducción sexual (Round *et al.*, 1990).

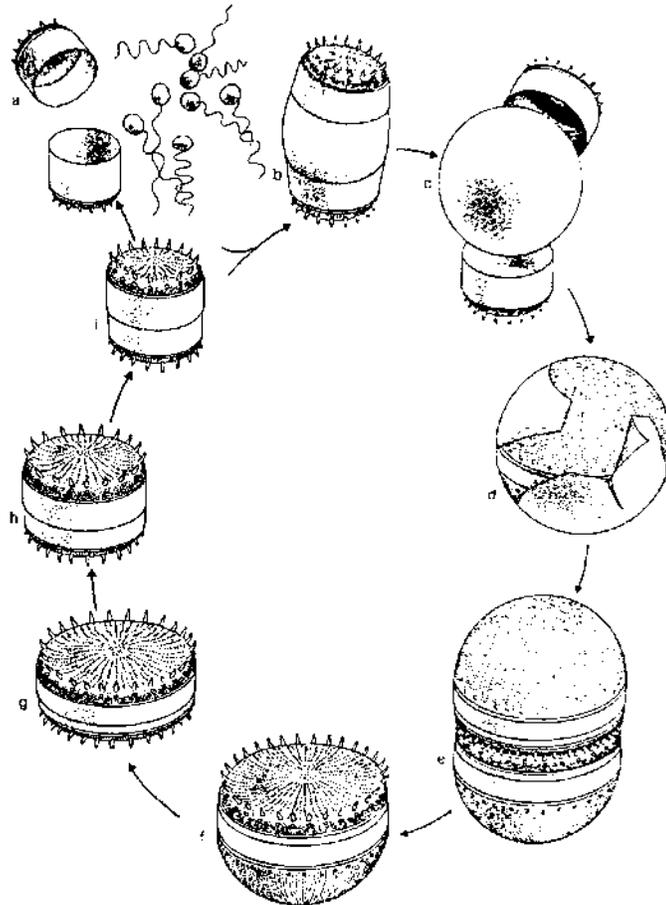


**Figura 9.** Reproducción asexual de las diatomeas. El patrón de estrías y areolas se mantienen a través de las generaciones (Tomado de: [http://www.cubaeduca.cu/medias/cienciatodos/Libros\\_1/ciencia2/35/htm/SEC\\_7.HTM](http://www.cubaeduca.cu/medias/cienciatodos/Libros_1/ciencia2/35/htm/SEC_7.HTM))

- **Reproducción sexual (oogamia e isogamia).** Una vez que la bipartición termina, el tamaño debe ser restaurado por la formación de auxoesporas (Figura 10). Este proceso produce recombinación y variabilidad genética. Para las formas centrales, la reproducción ocurre por oogamia, a diferencia de las formas pennales, que lo hace por isogamia (Round *et al.*, 1990).
  - *Oogamia:* en este proceso los gametos femeninos no móviles son fertilizados por pequeños espermias móviles flagelados. Los flagelos crecen en pares cerca de los núcleos después de la meiosis<sup>1</sup>, para volver a dividirse y dar lugar a los espermias uniflagelados.
  - *Isogamia:* ambos gametos carecen de flagelos y son idénticos en estructura y tamaño. Para que la unión se lleve a cabo es necesaria la existencia de gametos provenientes de dos estirpes diferentes pero que sean compatibles. Una vez que los gametos se unen, originan un cigoto.

---

<sup>1</sup> Proceso de división celular, propio de las células reproductoras, en el que se reduce a la mitad el número de cromosomas.

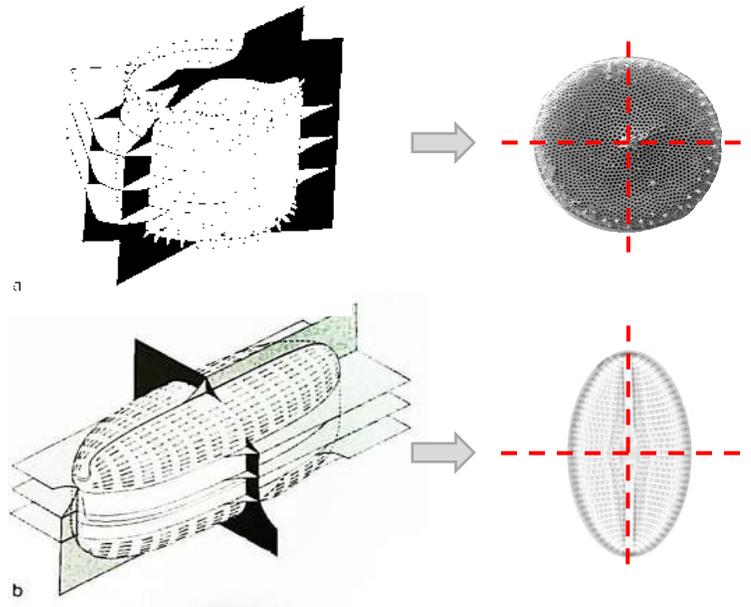


**Figura 10.** Ciclo de vida de una diatomea; basado en *Stephanodiscus* excepto que la posición de la auxospora (c) y la formación de los gametos móviles (a) no ha sido visto en este género en particular. (d) Ruptura de la pared auxoesporar para desplegar la célula inicial. (e) Primera división de la célula inicial para formar dos nuevas hipovalvas espalda con espalda. (f) Una célula inicial valvar. (g) Una célula formada después de varias divisiones. (h), (i) Reducción del tamaño. (i) Célula pequeña que dará lugar a otro gameto femenino o masculino (Round *et al.*, 1990)

### 4.1.3 CLASIFICACIÓN

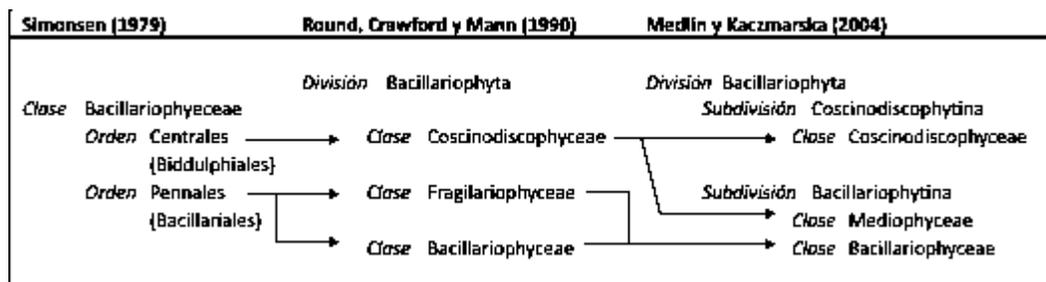
Las relaciones evolutivas de las diatomeas y sus nombres (taxonomía) se han basado en sus frústulas silíceas, que se caracterizan por estar altamente ornamentadas. La pared celular define la clasificación taxonómica de los géneros y especies en el grupo y presenta una enorme variación de formas, simetría, tipo de estructura de la pared, poros, procesos, espinas y arreglo de estas estructuras, u otras características citológicas que pueden variar en número y configuración (Cox, E.J. 2011). De lo anterior, las diatomeas se dividen en dos grupos principales:

- 1) *Coscinodiscophyceae* o **diatomeas céntricas**, cuyas frústulas tienen simetría radial (alrededor de un punto). Son incapaces de moverse y son comunes en el plancton.
- 2) *Bacillariophyceae* o **diatomeas pennales**, con simetría bilateral (alrededor de una línea). Pueden moverse a través de superficies o arriba y abajo dentro de los sedimentos gracias a una estructura denominada rafe (Figura 11).



**Figura 11.** Simetría de las diatomeas a) centrales y b) pennales. Principales ejes axiales de las frústulas (Round *et al.*, 1990).

Diversos autores han propuesto modelos de clasificación de las bacillariophytas de acuerdo a los atributos presentes en sus valvas (Tabla 12), con ello han logrado sintetizar y facilitar la identificación de las diatomeas hasta poder llegar a categorizarlas dentro de un género o inclusive especie.



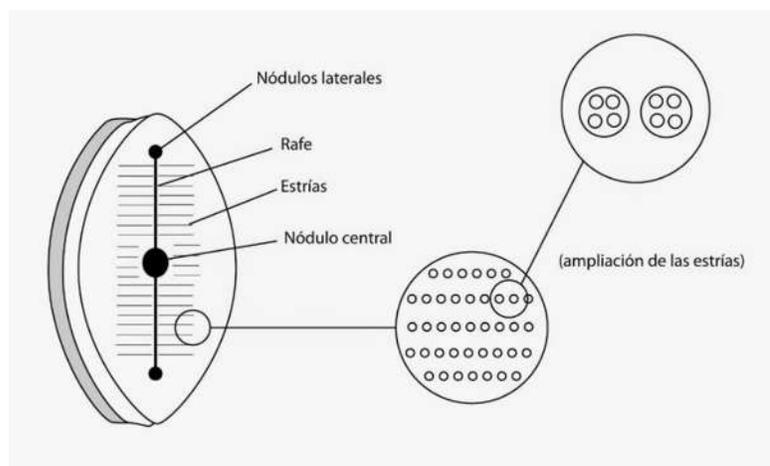
**Figura 12.** Cuadro comparativo de los sistemas de clasificación propuestos a lo largo del tiempo: Simonsen (1979), Round, Crawford y Mann (1990); Medlin y Kaczmarska (2004). Tomado de Caballero y Maidana (en prensa).

**Diatomeas centrales.** Su subdivisión se basa en la posición, ausencia o presencia de rimopórtulas, fortupórtulas, así como en la disposición y arreglo de los areolos en el manto valvar (Tabla 4).

<b>CENTRICAS</b>	Sin Cuernos, sin ocelos, si hay espinas son cortas	Areolas con foramen externo	Con procesos reforzados	<i>Thalassiosira</i>
				<i>Cyclotella</i>
				<i>Stephanodiscus</i>
				<i>Cyclostephanos</i>
			Sin procesos reforzados	<i>Aulacoseira</i>
		Sin procesos reforzados, areolas con foramen interno	Muchos procesos labiados en todas partes	<i>Melosira</i>
			<i>Hyalodiscus</i>	
	Procesos labiales marginales		<i>Actinocyclus</i>	
	Con pseudocelos		<i>Hydrosera</i>	
			<i>Terpsinoe</i>	
	Con ocelos	<i>Pleurosira</i>		
Con Cuernos, con o sin ocelos, si hay espinas son largas		<i>Urosolenia</i>		
		<i>Chaeotoceros</i>		
		<i>Acanthoceras</i>		
		<i>Acanthoceras</i>		

**Tabla 4.** Clasificación de especies centrales con base a la presencia o ausencia de diversas estructuras (KAO, 2016)

**Diatomeas pennales.** Su clasificación considera principalmente la ausencia o presencia de rafe (unirrafídea o birrafídea), la simetría de las valvas, el patrón de estrías, morfología del ápice, presencia de costillas, entre otras estructuras (Figura 13).



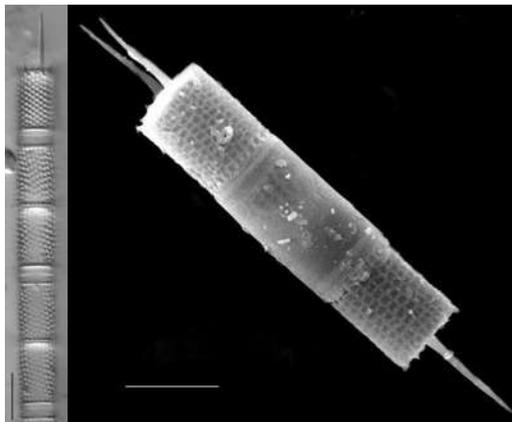
**Figura 13.** Esquema de los componentes de una diatomea penal. La disposición de estas estructuras permite la clasificación taxonómica detallada de este grupo (Tomado de: <http://elmodernoprometeo.blogspot.mx/2014/04/algas-division-heterokontophyta.html>)

#### 4.1.4 ECOLOGIA

Consideradas un grupo cosmopolita, las diatomeas viven en hábitats acuáticos y semiacuáticos. Son sumamente abundantes en el fitoplacton y fitobento de aguas marinas y dulces. Tanto en lagos como en el mar, las diatomeas pueden reducir el silicato a muy bajas concentraciones o hasta que sea indetectable por métodos estándar.

El crecimiento y comportamiento de las diatomeas planctónicas está sujeto a dos influencias especiales predominantes. La primera es la disponibilidad de sílice, cuando la célula necesita construir sus frústulas. La segunda es la tendencia de las células de las diatomeas a hundirse, a menudo muy rápidamente, como resultado de la alta densidad de sus paredes silíceas (Round *et al.*, 1990).

Las diatomeas planctónicas son invariablemente tan densas o más densas que el agua; en aguas tranquilas, generalmente se hunden rápidamente fuera de la zona fótica, se depositan en el sedimento y allí se conservan. Para evitar el hundimiento, las bacillariophytas forman largas cadenas, estructuras en formas de zigzag o estrella que están unidas por sus espinas de sílice (Figura 14).



**Figura 14.** *Aulacoseira granulata*, diatomea central planctónica que forma colonias uniéndose a otros ejemplares de la misma especie por medio de sus espinas de sílice. (tomado de: [https://westerndiatoms.colorado.edu/taxa/species/aulacoseira\\_granulata](https://westerndiatoms.colorado.edu/taxa/species/aulacoseira_granulata))

Las diatomeas bentónicas, son mucho menos entendidas que las diatomeas planctónicas. El bentos es más diverso que el plancton, tanto en términos de números de especie y formas de vida presentes. Las comunidades de diatomeas bentónicas son más difíciles de muestrear y cuantificar que los del plancton y así han sido ignorados por los ecólogos. Dentro del bentos

puede hacerse una división entre las diatomeas que viven adheridas al sustrato, en rocas, plantas, sobre o dentro de los sedimentos, o que viven libres (Round *et al.*, 1990).

De acuerdo al modo de vida de las diatomeas, se pueden clasificar considerando diversos factores como:

### **Batimetría**

- **Euplanctónicas.** Especies que viven en suspensión en agua, dejándose transportar por las corrientes y oleaje. Algunas veces aparecen en la zona pelágica de algunos lagos.
- **Planctónicas facultativas o ticoplanctónicas:** Pasan un tiempo de su vida adheridas al sustrato y otro tiempo suspendidas en el plancton.
- **Perifíticas:** Formas litorales que viven en las zonas del margen lacustre, viven en suspensión (flotando en las orillas).
- **Epifíticas:** Se encuentran pegadas al sustrato.
  - **Epilíticas:** Adheridas a las rocas.
  - **Episámicas:** Adheridas a la arena.
- **Aerófilas:** Se desarrollan en estados de sequía y cortos periodos de humedad, aparecen generalmente en épocas de estiaje.

### **Temperatura**

- **Oligotermas:** Aquellas que viven en aguas frías (0- 15°C).
- **Mesotermas:** Especies de aguas tropicales (15- 30° C).
- **Eutermas:** Aguas más cálidas (>30°C).

### **Salinidad (concentración iónica)**

- **Oligohalobes:** Diatomeas de agua dulce (< 0.5mg/l)
- **Mesohalobes:** Prevalen en aguas salobres (0.5- 40 mg/l)
- **Halofilas:** Especímenes que viven en aguas saladas (concentraciones > 40 mg/l)

## pH

- **Acidófilas:** Ambientes ácidos ( $\text{pH} < 7$ )
- **Circumneutras:** pH en 7 o cercano
- **Alcaliófilas:** Se desarrollan en  $\text{pH} = \text{ó} > 7$
- **Alcalibiontes:** Algas desarrolladas en aguas alcalinas ( $\text{pH} > 7$ )

## Contenido de nutrientes

- **Oligotróficas:** Viven en aguas con baja concentración de nutrientes, bajo contenido mineral, pH neutros o con tendencia a la acidez, baja densidad.
- **Mesotróficas:** Habitan aguas con moderada concentración de nutrientes, medianamente mineralizadas y pH neutros.
- **Eutróficas:** Aquellas que prefieren aguas con altas concentraciones de nutrientes y alto contenido mineral, elevada turbiedad, con predominio de macrofitas flotantes.
- **Hipertróficas:** Comunes en aguas sucias, con altos contenidos de nutrientes.

## CAPÍTULO 5. MARCO GEOLÓGICO

---

### 5.1 GEOLOGÍA REGIONAL

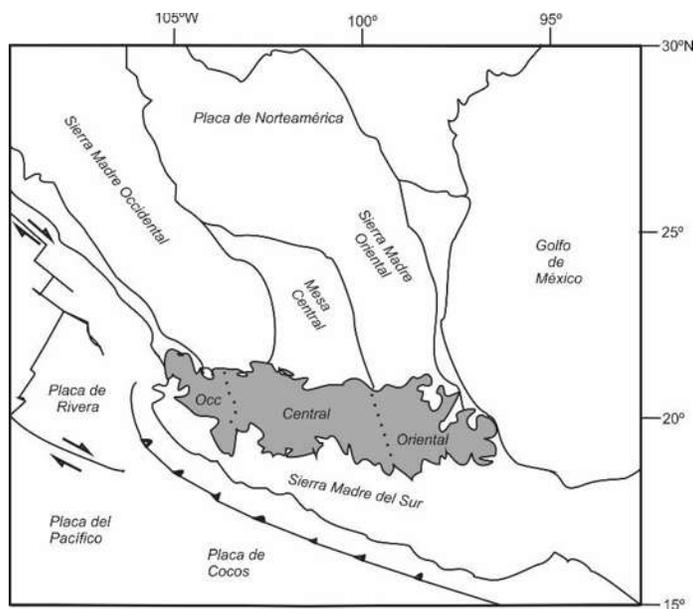
#### Faja Volcánica Transmexicana

La Faja Volcánica Transmexicana (FVTM) es definida como un arco magmático continental, constituido por cerca de 8 000 estructuras volcánicas y algunos cuerpos intrusivos, que se extiende desde las costas del Pacífico, en San Blas, Nayarit y Bahía de Banderas, Jalisco, hasta las costas del Golfo de México en Palma Sola, Veracruz (Demant, 1978). La provincia presenta ~1,000 km de longitud y altitudes que van de 80 a 230 km, y se observa distribuida con una dirección preferencial E-W en su parte central y oriental, ONO-ESE en su parte occidental, con un ángulo cercano a los 16° con respecto a la Trinchera Mesoamericana. Esta característica dio lugar a que reciba el nombre de Faja Volcánica Transmexicana (Figura 15), ya que exhibe una orientación transversal con respecto a las grandes provincias geológicas de México que presentan orientaciones preferenciales NNW-SSE (Ortega-Gutiérrez *et al.*, 1992).

La FVT se ha dividido en tres sectores de acuerdo a su geología y tectónica (Demant, 1978; Pasquaré *et al.*, 1988): una porción occidental que va de la costa del Golfo de California al punto triple de los rifts de Zacoalco, Chapala y Colima (Allan, 1986); una porción central comprendida entre este punto y el sistema de fallas Taxco-San Miguel de Allende (Alaniz-Álvarez *et al.*, 2002a); y una porción oriental entre este sistema y la costa del Golfo mexicano.

De un modo muy general, se sintetiza la historia geológica de la FVT en cuatro episodios principales: a) el emplazamiento de un arco de composición intermedia durante el Mioceno medio y tardío, b) un episodio máfico durante el Mioceno tardío, c) un episodio silíceo a finales del Mioceno, que llegó a ser bimodal durante el Plioceno temprano, y d) el emplazamiento de un arco a partir del Plioceno tardío (Gómez-Tuena *et al.*, 2005; Ferrari *et al.*, 2012).

Cabe mencionar que la Faja Volcánica Transmexicana es una de las zonas más importantes y estudiadas debido a su complejidad geológico-tectónica y a los grandes asentamientos urbanos e infraestructura que ahí se encuentran (Rocha, 2013).



**Figura 15.** Ubicación de la Faja Volcánica Transmexicana (gris), principales provincias geológicas de México y placas tectónicas actuales (Gomez- Tuena, 2005).

## 5.2 GEOLOGÍA LOCAL

### Complejo Volcánico La Primavera (CVLP)

Ubicado en la porción occidental - central de la República Mexicana, el Complejo Volcánico La Primavera queda localizado dentro de la provincia fisiográfica de la Faja Volcánica Mexicana, (FVM), casi en el límite con la Sierra Madre Occidental (SMO) (Ferrari, 2000 y Ferriz, Mahood, 1986, Ferrari y Rosas-Elguera, 2000 y Alatorre-Zamora, 1992); en las cercanías del punto triple conformado por el Rift Colima, Rift Tepic- Zacoalco y el graben de Chapala (Maciel, 1981; Maciel y Rosas-Elguera, 2006 y Maillol, *et al.*1997).

La historia de la CLP se remonta hace 120- 140 Ka (Mahood, 1980; Mahood y Ferriz, 1986), cuando inicia la erupción de lavas riolíticas (definida como Unidad Pre-caldérica por Maciel y Rosas, 1992) subyacente por un paquete andesítico de 1.5 km de espesor, con edades 9 y

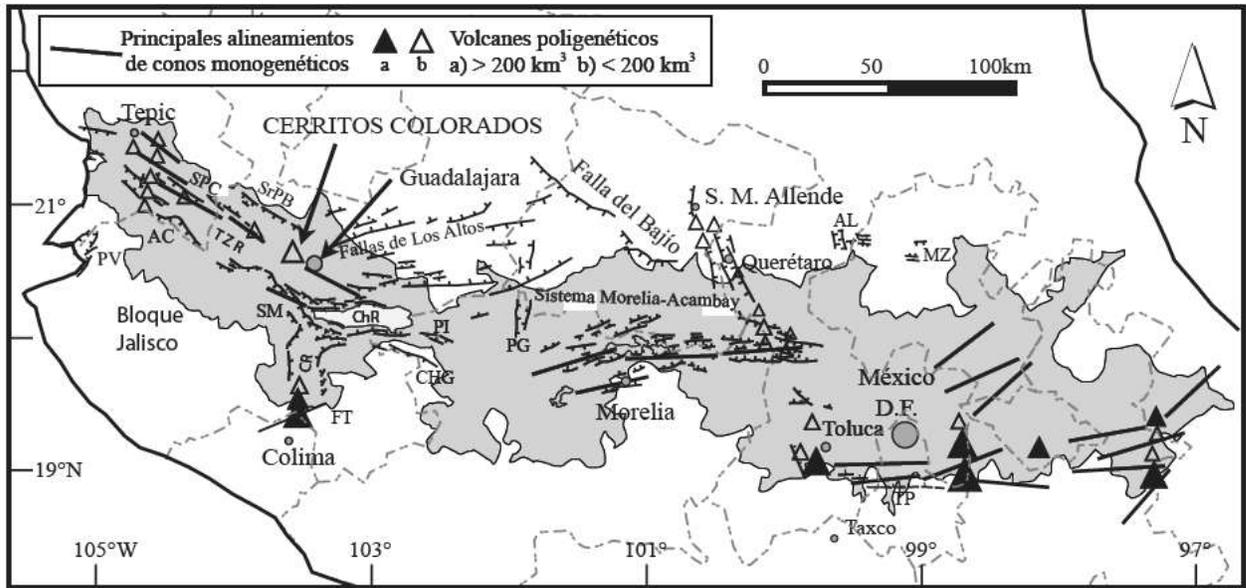
2.5 Ma (Mahood y Ferriz, 1986; Maciel y Rosas, 1992) y que se considera la unidad en que se aloja el yacimiento geotérmico.

Posteriormente (hace 95 000 años) comenzó el emplazamiento de domos y flujos de ceniza de composición riolítica denominada Toba Tala (Unidad Sin-caldérica), cuyo volumen estimado de 32 a 40 Km<sup>3</sup> (Mahood, 1980; 1981) cubrieron un área de 700 km<sup>2</sup> (Gutiérrez Negrín, 1991). El acelerado vaciamiento provocó el colapso del techo de la cámara magmática (Mahood, 1980; Alatorre-Zamora y Campos-Enríquez, 1992; Maciel y Rosas, 1992) dando origen a una caldera con un diámetro aproximado de 11km en cuya depresión comienza a establecerse un lago (Unidad Post- Caldérica).

La actividad lacustre se vio interrumpida por erupciones de domos centrales a los cuales se adjudica un horizonte de pómez gigante, que posiblemente se formó por la fragmentación de los domos, los bloques de pómez se depositaron en el paleolago que posteriormente reanudó su desarrollo (Mahood, 1980).

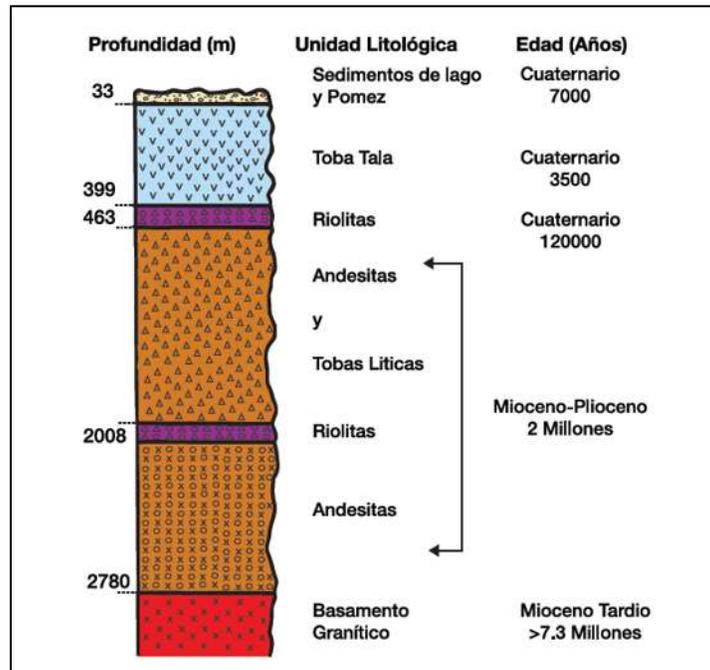
Subsecuentemente (25, 000 ka más adelante) ocurrió un levantamiento debido al aporte de nuevo magma a la cámara, formándose así la morfología actual, desapareciendo el lago y emplazando los últimos domos y lavas riolíticas. Los domos más recientes tienen edades que fluctúan entre los 20,000 y 25,000 años (Mahood, 1981a).

Los productos de la Caldera La Primavera son de composición ligeramente peralcalina con alto contenido de sílice (Mahood 1981, Mahood y Ferriz, 1986), el cual varía entre 75 y 77.5 %, se estima un volumen total de material 60 Km<sup>3</sup> (Walker, 1981; Mahood 1983) que fue emitido en forma de domos y flujos de lava, flujos de ceniza y depósitos de caída (Mahood, 1980; Walker, 1981).



**Figura 16.** Relaciones entre los principales sistemas de fallas del Mioceno- Cuaternario y el volcanismo de la FVT. Rift TZR Tepic- Zacoalco; PV: graben de Puerto Vallarta; SPC: graben San Pedro- Ceboruco; AC: semigraben de Amatlán de Cañas; SrPB graben Santa Rosa- Plan de Barrancas; SM falla de San Marcos; CR: rift de Colima; Ft: sistema de fallas Tamazula; ChR: rift de Chapala (Gomez- Tuena, 2005). Ubicación de Cerritos Colorado, campo geotérmico no productivo de la Caldera La Primavera.

La columna del complejo Volcánico La Primavera se compone de la siguiente manera:



**Figura 17.** Columna estratigráfica de la Caldera La Primavera propuesta por Gutiérrez Negrín en 1991 (Tomado de Rocha, 2013).

## **Basamento Granítico**

Representado por un cuerpo ígneo de composición granítica a granodiorítica de edad Mioceno Tardío (>7.3 Ma., Gutiérrez Negrín, 1991). Dicho basamento fue detectado durante la perforación del pozo exploratorio PR-0 a 2780 m de profundidad (JICA, 1989).

## **Andesitas y Tobas líticas (Vulcanitas cordilleranas)**

Conformadas por una secuencia de andesitas y tobas líticas, son consideradas como el basamento de la Faja Volcánica Transmexicana con edades aproximadas de 2 Ma. (Gutiérrez Negrín, 1988).

## **Lavas precaldera**

Formadas hace 140, 000 años (Mahood, 1981), compuestas en parte por material piroclástico con una matriz de vidrio, cuarzo y sanidino (Hernández, 1996).

## **Erupción ignimbrítica (Toba Tala)**

Rocas de composición riolítica, acompañadas de pómez de caída, depositadas durante una erupción pliniana y distribuidas en un área de 700 km<sup>2</sup> (López, 1991). La Toba Tala está constituida por una gran cantidad de pequeños flujos piroclásticos intracaldera. Su espesor varía de 0.5 a 70 m en el exterior de la caldera y de 200 a 700 m en el interior. Su volumen aproximado es de 32 km<sup>3</sup> (López, 1991).

La Toba Tala se encuentra dividida en tres paquetes importantes: el primer depósito, queda conformado por el primer emplazamiento y representa el 90% del volumen total; este contiene pómez blanca ligeramente soldada y variable compactación. La segunda unidad es representada por un horizonte de unos 10 m de espesor, caracterizado por contener una pómez fina de color blanco de textura afanítica, y otra pómez de color gris, más gruesa, con fenocristales aislados de cuarzo y sanidino (López, 1991). La tercera unidad tiene un espesor de 5 a 10 m, se encuentra formada por fragmentos de pómez blanca que contienen menos del 1% de cuarzo y sanidino dispersos en una matriz de grano fino color rosa pálido. En muchos

lugares, el tercer miembro muestra intercalación de flujos de ceniza laminados y capas de caída de gravedad (Hernández, 1996).

El segundo y tercer depósito ocurrieron únicamente hacia la parte central de la caldera, éstos no se depositaron fuera de la caldera, ello indica que el colapso del techo de la cámara magmática comenzó después de la primera unidad de la Toba Tala, por lo que las dos unidades siguientes fueron depositadas sólo dentro de la cuenca de colapso (Mahood, 1981b).

### **Sedimentos de lago**

Ocurrido el colapso, la depresión fue llenándose por agua y se formó un lago. Los sedimentos se fueron depositando sobre la Toba Tala y consisten mayormente en capas de 15 a 50 cm de espesor de ceniza y lapilli, con estratificación planar horizontal, cruzada de bajo ángulo y gradación de tipo normal. Posteriormente tuvo lugar una deposición de un horizonte de bloques de pómez gigante (que cubre un área de 110 km<sup>2</sup>) con espesores de 3 a 13 m de espesor, formado por el desprendimiento de la cubierta pumicítica de algunos domos que se emplazaron dentro del lago (López, 1991). Los bloques de pómez se observan inmersos en una matriz conformada por sedimentos lacustres y ceniza, con diámetros entre 0.3-6 m.

Se consideran tres paquetes de sedimentos lacustres, dos conformados por arcillas y que son a su vez separados por la pómez gigante. El paquete subyacente al nivel de pómez gigante, presenta en su parte inferior pómez retrabajada, ceniza gruesa y lapilli pumicítico con estratificaciones finas. Su espesor varía de acuerdo a la topografía existente en el momento del depósito y su cercanía a las fuentes volcánicas, alcanzando así de 1 a 30 m (López, 1991).

La altura promedio de los depósitos lacustres en la caldera de La Primavera es de 1,800 m.s.n.m. Se encuentran aproximadamente 200 m por encima del nivel de la planicie de Guadalajara (1,600 m.s.n.m) y pueden llegar a tener espesores de más 100 m (Demant, 1978).

### **Pómez Gigante (PG)**

La teoría más reciente del origen de la pómez gigante fue propuesta por Tinoco (2017), donde sugiere que hace 89.9 ka, la evolución del lago fue interrumpida por una erupción freatomagmática explosiva, cuando un magma riolítico encontró un acuífero somero (150-200m de profundidad) generando oleadas piroclásticas. Esta explosión originó una depresión en el fondo del lago y permitió la fragmentación del magma a esas profundidades. El contacto del magma con el agua originó una fragmentación no explosiva, formando bloques gigantes de pómez que al entrar en contacto con el agua se enfriaron rápidamente formando una película de vidrio a su alrededor. Estos bloques ascendieron a la superficie del lago y liberaron todos sus volátiles dando paso a la saturación de las vesículas e incremento de su peso y sedimentación hacia el fondo del lago por densidades.

### **Domos Anulares Antiguos (centrales)**

Posterior al colapso de la caldera, la actividad volcánica continuó a lo largo de las fracturas en anillo: un arco en el margen NE del lago y otros en la parte media del lago. Los domos Nejahuete y Las Pilas son los primeros que se originan en esta etapa, seguidos por los domos El Alto, El chato y el Burro (López, 1991).

En los domos Nejahuete y El Alto sus conductos de alimentación originaron un segundo domo, dando lugar a domos compuestos. Simultáneamente a los domos anteriores, se da la extrusión de domos riolíticos sobre el anillo formado por la falla caldérica, dando lugar a los domos Pinar de la Venta, La Lobera, El Chapulín y El Tule; estos aparatos tienen aproximadamente 10% de fenocristales y en conjunto alcanzan un volumen de 5 km<sup>3</sup> de magma (Rocha, 2013).

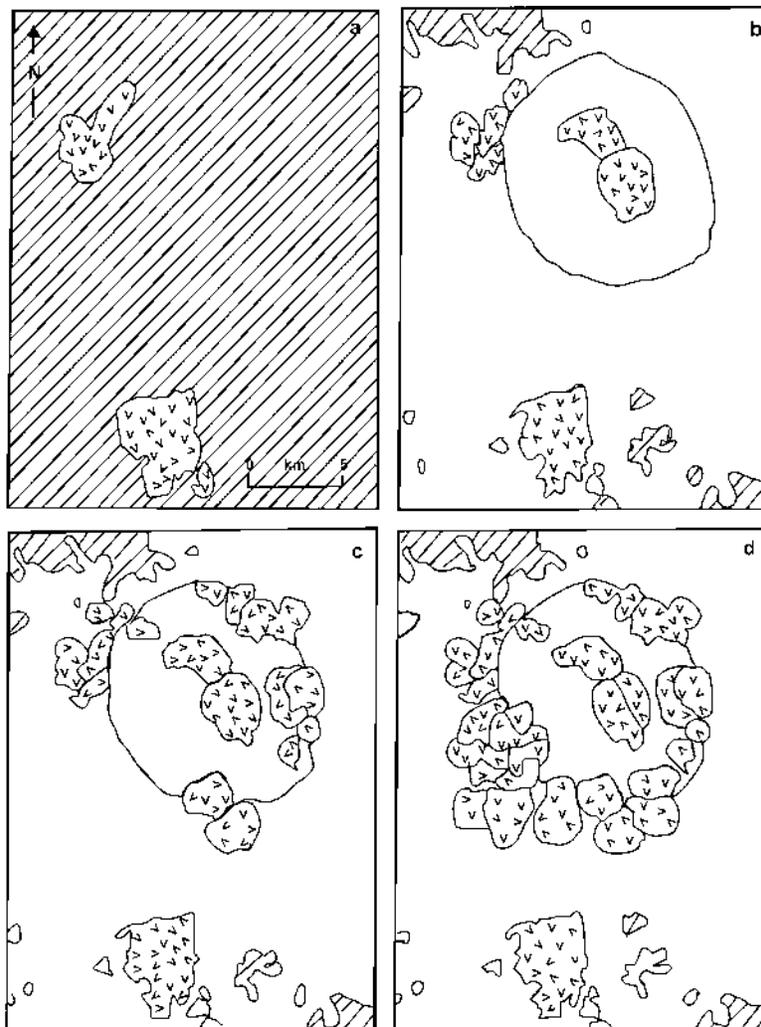
### **Domos Anulares recientes (Sur- Suroestes)**

En el sector S y SW del CVLP surgen los últimos domos de composición riolítica y de texturas afíricas: El Pedernal, Agua de Victoriano, El Culebreado y el Ixtahuatonte; constituyen un volumen aproximado de 3 km<sup>3</sup> de magma expulsado hace 70 000 años (López, 1991).

### Sistemas de Lavas Arco Sur

Conformado por los domos San Miguel, Llano Grande, Las Planillas, Colorado, Tajo y Colli se estima un volumen total emitido de  $7\text{km}^3$  en esta secuencia (Figura 18). De acuerdo a las edades obtenidas por Mahood (1980) se observa una migración de la actividad volcánica de Oeste a Este (Figura 19).

Los domos Tajo de 0.268 Ma y Colli con 0.0319 Ma (Tabla 5), con base en los fechamientos de Mahood (1980) se registran como las estructuras más jóvenes del CVLP, estableciendo además que el Domo Colli es la única estructura que presenta una química diferente al resto de las que componen las Lavas Arco Sur, por esta razón interpreta que es esta la más joven de todas (Gómez, 2015).



**Figura 18.** Cronología generalizada volcánica del CVLP, inicio de su formación a los 120 ka (Mahood, 1980). a) Pre Caldera; b) Toba Tala, colapso de la caldera, paleolago y domos centrales; c) Domos riolíticos en arcos no concéntricos de la caldera; d) Domos más recientes hacia el Sur de la caldera.

<b>Cronología de eventos en el CVLP</b>
I. Basamento Granítico.
II. Secuencia Pre-Primavera “Vulcanitas Cordilleranas”, andesitas intercaladas con tobas y escasas riolitas.
III. Lavas Precaldéricas: domos Cañón de las flores, El León, Río Salado y el Pedernal.
IV. Iginimbrita Sin- Caldérica, Toba Tala
V. Colapso de la parte superior de la cámara magmática y formación de la caldera (11 km de diámetro)
VI. Formación del lago en la parte central
VII. Depósito de sedimentos lacustres y pómez post- caldéricos. Pómez Gigante
VIII. Erupción de los domos anulares antiguos (centrales): domo El Nejahuete, El Alto, el Chato y El Burro.
IX. Erupción de los domos anulares más jóvenes (S-SW): domo El Pedernal, Agua del Victoriano, El Culebreado e Ixtahuatonte).
X. Elevación del terreno y desaparición del lago
XI. Sistemas de Lavas Arco Sur (San Miguel, Las Planillas, El Tajo y El Coli)
XII. Etapa hidrotermal y manifestaciones geotérmicas

**Tabla 5.** Cronología de eventos que conforman el Complejo Volcánico La Primavera (Modificado de Rocha, 2013)

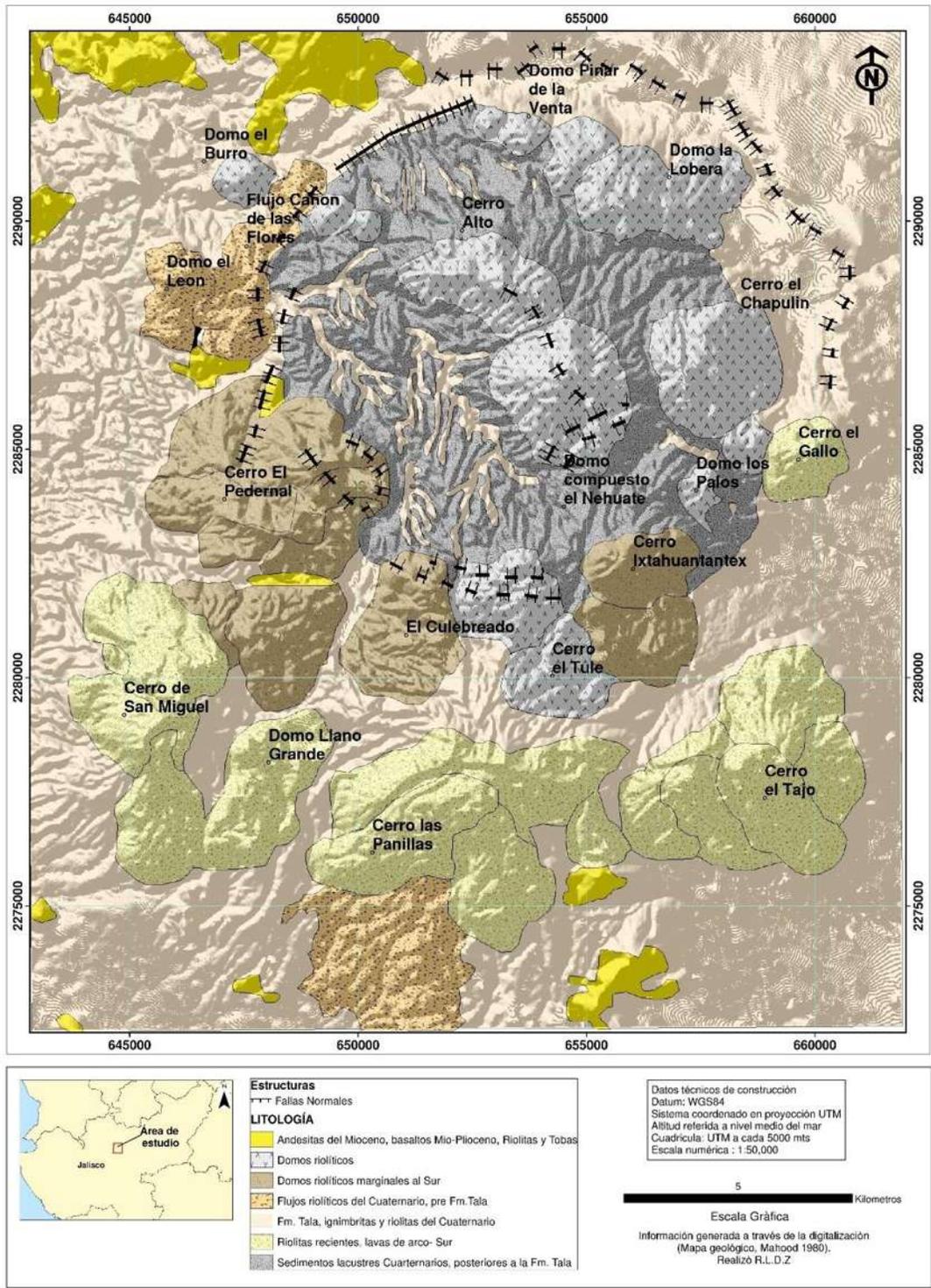


Figura 19. Mapa Geológico propuesto por Mahood (1980) para la CLP, los sedimentos lacustres se observan dentro de las fracturas concéntricas en colores gris oscuro.

### 5. 3 CAMPO GEOTÉRMICO LA PRIMAVERA (CERRITOS COLORADOS)

Un sistema geotérmico está compuesto por un área de recarga, un canal o zona de calentamiento y un área de descarga. Hidrológicamente, los sistemas geotérmicos pueden clasificarse como locales y regionales (Sigurdsson, 1987). Los sistemas locales generalmente están confinados, teniendo la particularidad de que el agua y la energía térmica se originan en la misma área; mientras que los sistemas regionales son cíclicos, es decir, los flujos deben ser capaces de descender a profundidades donde la acumulación de calor sea suficiente para que luego les permita ascender a la superficie sin gran pérdida de energía (Maciel y Rosas, 1992). La Primavera se considera un sistema geotérmico mixto, ya que el agua de lluvia que cae sobre la sierra, se infiltra por las zonas de debilidad hacia subsuelo (por encima de la fuente de calor); mientras que el fallamiento regional (NW- SE), contribuye a crear direcciones preferenciales del flujo de agua subterránea (Figura 20), permitiendo que el acuífero profundo sea recargado (Maciel y Rosas, 1992).

Ramírez *et al.* (1982) y Gutiérrez- Negrín (1988), proponen un sentido del flujo subterráneo de La Primavera de SE a NW basándose en dos argumentos principales: a) Las rocas andesíticas donde se ubica el acuífero (yacimiento potencial) tiende a profundizarse en dirección NW en relación con los pozos perforados en el centro de la caldera y b) el desnivel de 400m que hay entre la base de los depósitos lacustres (750m de espesor) de la cuenca de San Marcos en el S de la zona de estudio y los del valle de Ameca (100 m espesor) localizada hacia el E-NE de la caldera.

CFE propone que el sistema geotérmico de la Primavera está compuesto por al menos 2 acuíferos:

- ***Acuífero somero local:*** mayormente freático, con temperaturas de 70 a 120 °C, contenido en las ignimbritas de la Toba Tala. El nivel del agua en la zona de los pozos geotérmicos alcanza una altitud de 1570 a 1600 m.s.n.m (pozos PI- 1 y PR-4). Su zona de recarga se ubica en la parte central de la Sierra La Primavera, como producto de la infiltración de aguas meteóricas (Rocha, 2013).
- ***Acuífero profundo regional*** (> 1000 m de profundidad) ubicado en las andesitas inferiores hacia el SE de la caldera, con circulación de fluidos a través de fallas con

dirección NW- SE. Se manifiesta mediante los manantiales calientes y las fumarolas de la zona. Este acuífero, se profundiza hacia el SE de la caldera, quedando la zona de recarga en la localidad de Cajititlán, Jal. (Venegas, 1988).

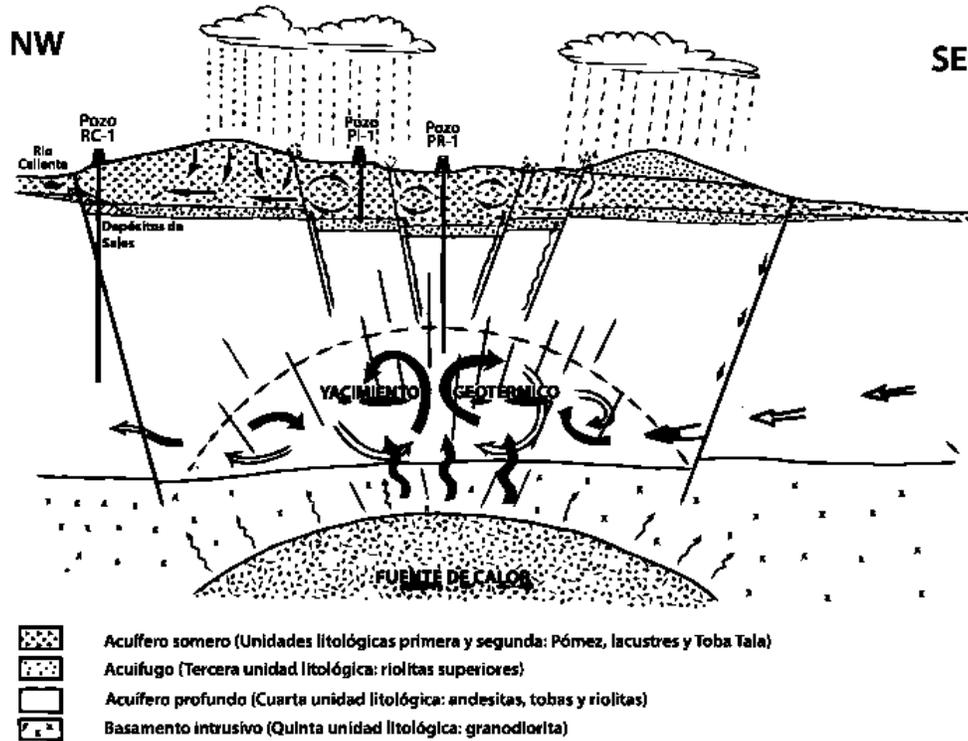
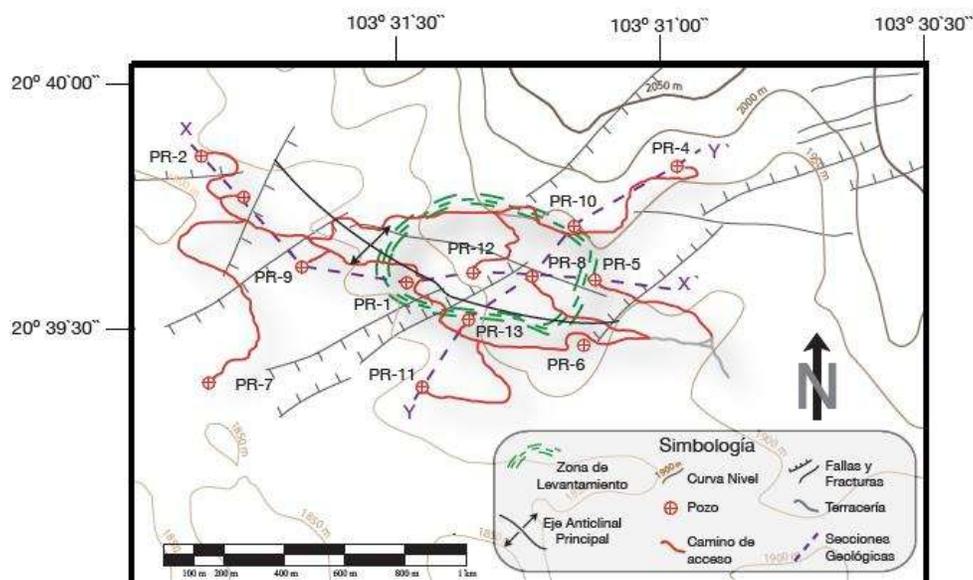


Figura 20. Modelo conceptual del campo geotérmico de la Primavera (Tomado de Maciel Flores y Rosas Elguera, 1992)

Rocha (2013) identificó mediante Espectrometría de reflectancia minerales de alteración entre los que destacan caolinita, esmectita, montmorillonita, illita, clorita, dickita, alunita y pirofilita. Con ellos, define cuatro asociaciones principales de alteración para La Primavera:

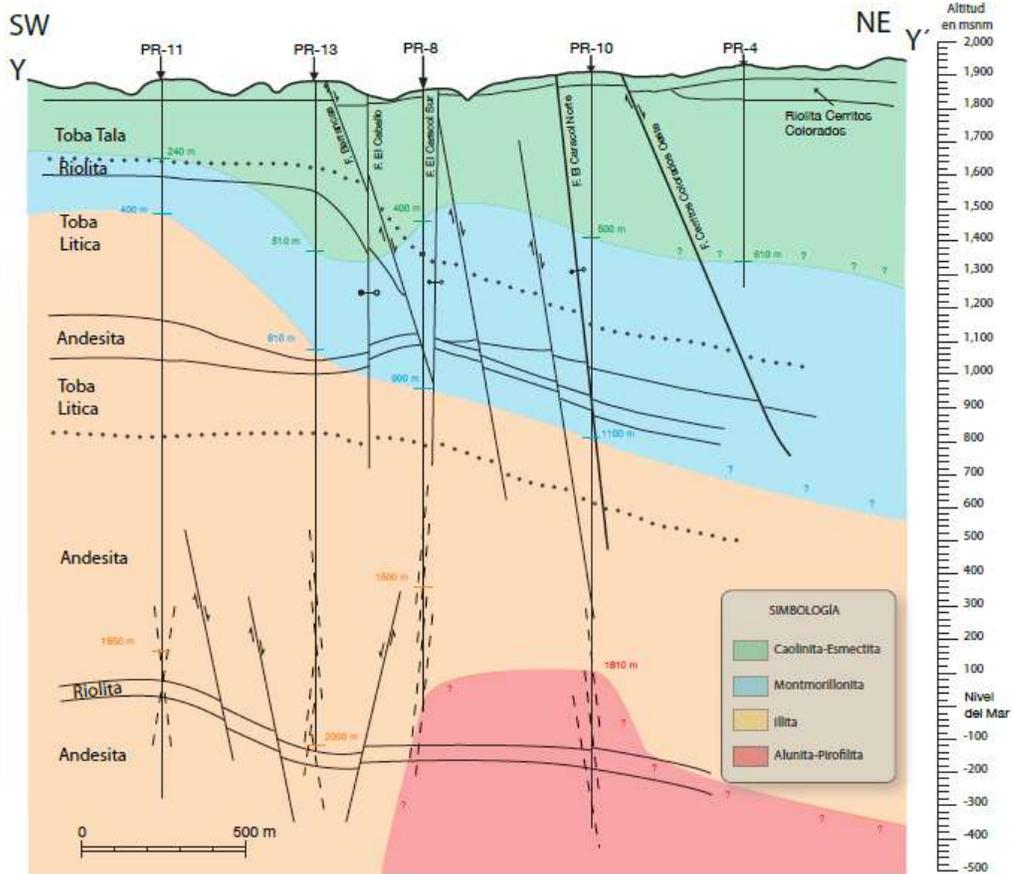
- 1) *Alteración argílica superficial*: representada por minerales como caolinita, esmectita y montmorillonita.
- 2) *Alteración argílica intermedia*: compuesta por sericita y cuarzo.
- 3) *Alteración propilítica*: marcada por la presencia de illita, clorita y calcita.
- 4) *Alteración argílica avanzada*: constituida por dickita, alunita y pirofilita.

La alteración hidrotermal del yacimiento geotérmico queda confinada principalmente al subsuelo en la zona del colapso central (Figura 21), que corresponde a la zona de mayor fracturamiento regional del sistema con una dirección predominante NW- SE la cual, junto con los eventos propios de la caldera, contribuyeron a crear direcciones preferenciales del flujo de agua subterránea. Las asociaciones minerales de alteración presentes en La Primavera (Figura 22) presentan similitudes con los regímenes geotérmicos activos como: Cerro Prieto (B.C.), Los Azufres (Mich), Los Humeros (Pue), y otras partes del mundo (Rocha, 2013).



**Figura 21.** Ubicación de las secciones X- X' y Y- Y' utilizadas para definir los perfiles de zonación de la alteración (Rocha, 2013).

Como resultado de los pozos profundos durante la etapa de exploración se determinó la existencia del recurso geotérmico, en la zona conocida como Cerritos Colorados, con una capacidad de generación de 75 MW, un comportamiento estable de la presión y la saturación del fluido en un tiempo largo, lo cual ha sido validado por la Agencia Internacional de Cooperación del Japón (JICA, por sus siglas en inglés) mediante la simulación numérica del yacimiento basada en la información geológica, geofísica y geoquímica obtenida por CFE en la zona (Rocha, 2013).



**Figura 22.** Sección Y- Y', zonación de los minerales de alteración en la Caldera La Primavera (Rocha, 2013)

Actualmente se ha retomado la exploración del Campo Geotérmico de La Primavera (Cerritos Colorados) bajo el Proyecto P15 del CeMIEGeo. El mapa geológico actualizado del CVLP fue resultado de estudios vulcanológicos, estratigráficos, geoquímicos y petrológicos que se han llevado a cabo dentro de este proyecto (figura 23).

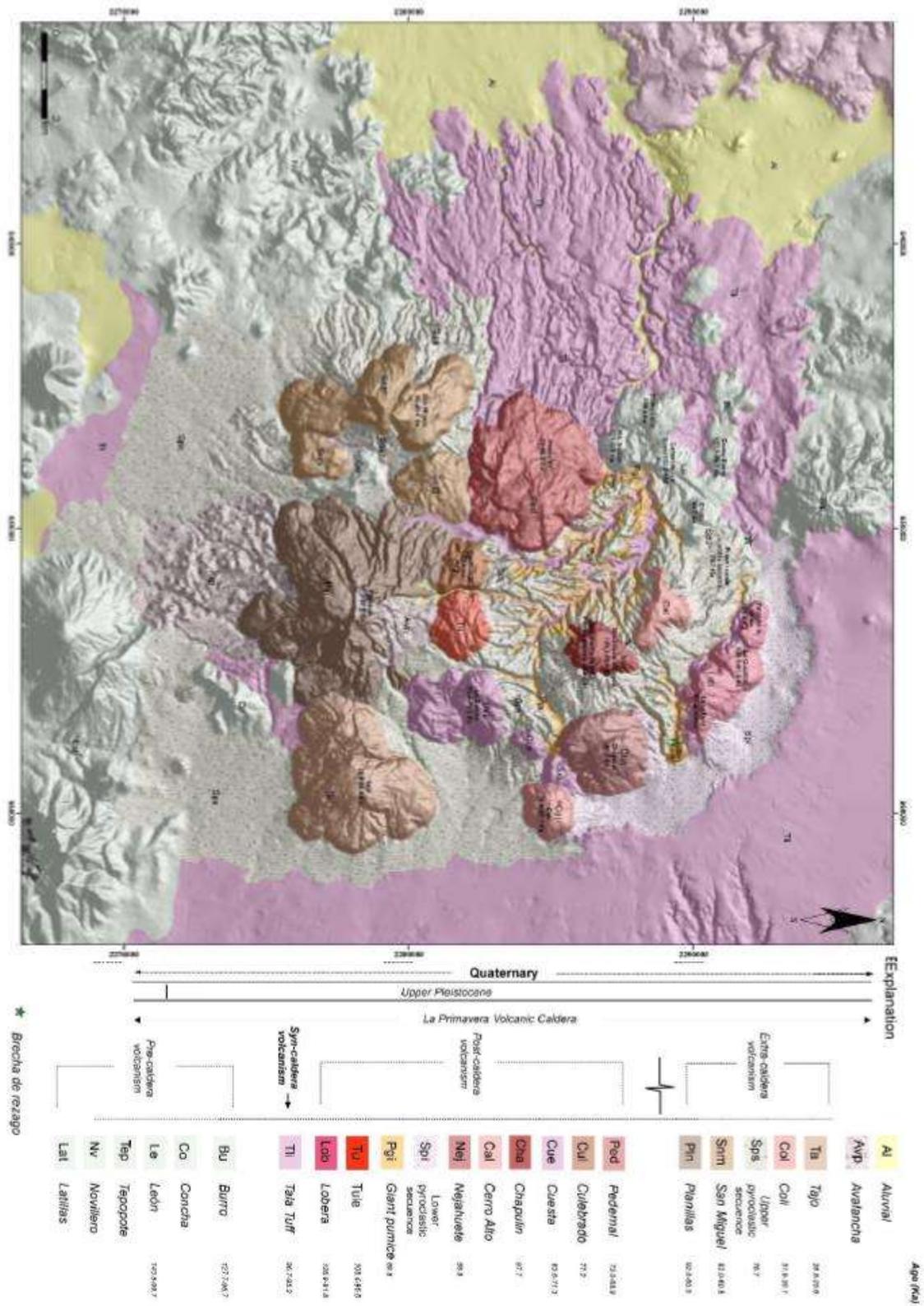


Figura 23. Mapa Geológico del Complejo Volcánico La Primavera, generado por el Proyecto P15 del CeMIE Geo (Tomado de Tinoco, 2017)

# CAPÍTULO 5. METODOLOGÍA

A continuación, se describe la metodología utilizada durante la elaboración de esta tesis (Figura 24).

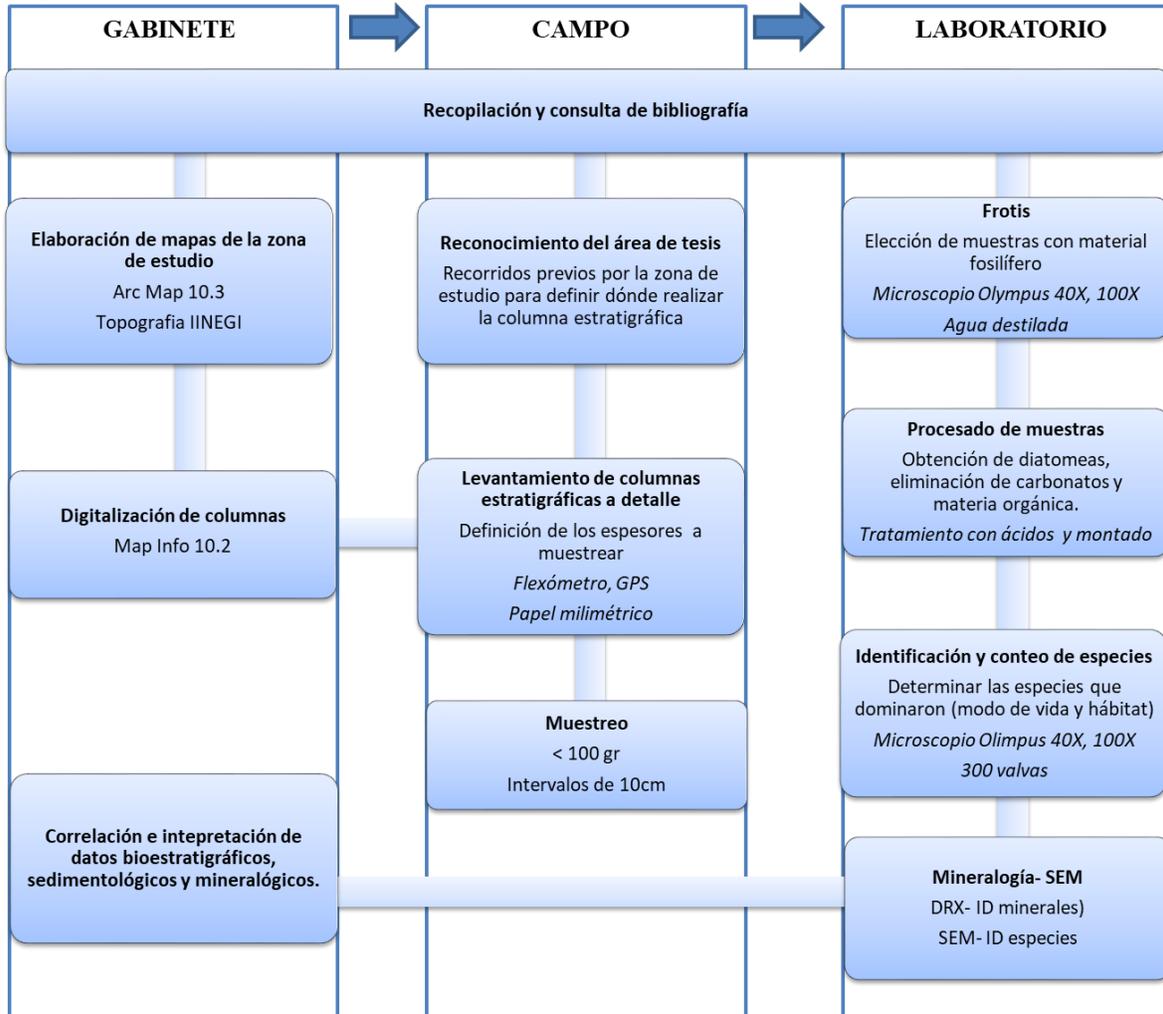


Figura 24. Diagrama de flujo con la metodología y el material a utilizado para la elaboración de esta tesis.

## 5.1 TRABAJO DE GABINETE

Consistió en la recopilación y consulta de bibliografía, cartas topográficas y geológicas impresas, datos vectoriales, etc., con la finalidad de tener un conocimiento previo de la zona de estudio y preparar los mapas utilizados en las campañas de campo.

Una vez obtenida información en campo (columnas estratigráficas y cartografía), se procedió a digitalizarla mediante Map Info 10.2 y Corel Draw X8.

## 5.2 TRABAJO DE CAMPO

Se realizaron dos visitas al área de estudio, donde se hizo el reconocimiento de la zona y la identificación de las unidades geológicas propuestas por Mahood (1980), enfocándose en los depósitos lacustres. Se ubicaron los mejores puntos para la realización de las columnas estratigráficas, definiendo espesores, relaciones estratigráficas, granulometría, redondez, madurez textural, estructuras sedimentarias, entre otras.

El muestreo para la obtención de material micropaleontológico se llevó a cabo en intervalos de 10 cm en los sedimentos lacustres (Figura 25), mientras que en la mega pómez sólo se tomaron dentro de la matriz en la parte inferior, media y superior de este nivel. El procedimiento de muestreo consiste:

- a) Limpieza del afloramiento: se realiza utilizando espátulas y pica, con la finalidad de eliminar las zonas intemperizadas. Para obtener una mejor limpieza y evitar la contaminación de estratos superiores, se inició de la parte superior hacia la inferior (Figura 25).
- b) Descripción de la columna estratigráfica: se realiza en papel milimétrico ajustando la escala al detalle necesario. Se coloca en el eje “X” la granulometría que presentan los sedimentos del estrato (de izquierda a derecha aumenta el tamaño), mientras que en el eje “Y” se dibujan los espesores.
- c) Ubicación de la muestra en la columna estratigráfica: ello permitirá tener un mejor control a la hora de realizar las correlaciones e interpretar de manera detallada los cambios ambientales registrados en los depósitos del paleolago.
- d) Colecta de 100g de sedimentos (aproximadamente): con ayuda de una espátula se coloca el material lacustre en bolsas plásticas herméticas previamente etiquetadas, sin que el material tenga contacto humano. El orden recomendado es iniciar con los estratos inferiores hacia los superiores.



**Figura 25.** Muestreo de sedimentos lacustres en la CLP, muestro realizado cada 10 cm en las zonas de interés.

## 5.3 LABORATORIO

### DIATOMEAS

#### *1) Limpieza*

El procesado de limpieza de las muestras para la obtención de las diatomeas debe realizarse dentro de un laboratorio libre de polvo y corrientes de aire que puedan generar contaminación.

- 1) Secado durante 24 horas a una temperatura promedio de 60°C.
- 2) Se pesa 1 gramo del material seco y se coloca en un vaso de precipitado de 500ml rotulado con la clave correspondiente a la muestra.
- 3) Los sedimentos se humedecen totalmente con agua destilada y se eliminan los grumos existentes con un agitador
- 4) Dentro de una campana, se coloca el vaso de precipitado en la plancha a una temperatura suficiente para que inicie la ebullición (Figura 26).
- 5) Una vez que la muestra comienza a hervir se agrega en cantidades necesarias peróxido de hidrógeno para eliminar la materia orgánica y ácido clorhídrico al 30% para la eliminación de carbonatos. Cuando se termina la efervescencia originada por los ácidos, el vaso de precipitado se llena con agua destilada y se deja enfriar a temperatura ambiente.

- 6) Cuando el material decanta dentro del vaso de precipitado, el agua sobrante se tira y se agrega agua destilada nuevamente. Este procedimiento se repite cada 24 horas, hasta que la muestra tenga un pH de 7.



**Figura 26.** Tratamiento de limpieza de las muestras colectadas en campo, con ayuda de HCl y H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. La muestra se calienta para agilizar la digestión de los ácidos.

## **II) Montado**

Después de la eliminación de la materia orgánica y los carbonatos, la muestra se agita uniformemente y se toma líquido con una pipeta de la parte media y superior de la columna de agua. Se colocan 3 microlitros en un cubreobjetos y se deja secar. Se procede a calentar a baño maría el Nafrax (resina-pegamento) y se agrega una gota en un portaobjetos que posteriormente será cubierta con el cubreobjetos que contiene la muestra seca. Por último, la lámina se presiona poco a poco hasta eliminar las burbujas existentes.

## **III) Conteo**

Para identificar las especies dominantes en los distintos estratos de la columna estratigráfica y realizar una adecuada interpretación de las condiciones ambientales del paleolago es necesario llevar a cabo el conteo de las diatomeas por lámina preparada. Esto consiste, en realizar cierto número de barridos a lo largo del portaobjetos identificando (a nivel de especie si es posible) las diatomeas presentes y hacer la sumatoria de ellas hasta llegar a 300 valvas. Durante este procedimiento se tomaron las fotografías de las algas más representativas encontradas con ayuda de un microscopio Olympus BX50 y una cámara Olympus DP20 (Figura 27).

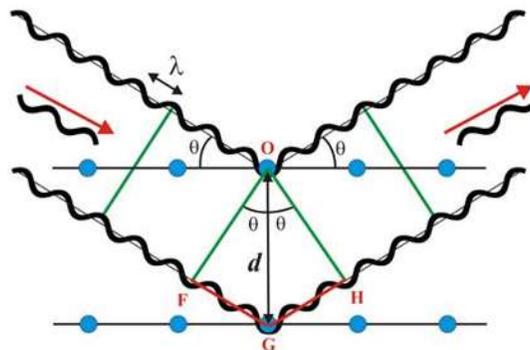


**Figura 27.** Microscopio de luz Olympus BX50, utilizado para el conteo y descripción de las diatomeas presentes en las muestras de la CLP.

## MINERALOGÍA

### Difracción de Rayos X (DRX)

Técnica analítica que permite obtener información detallada sobre la cristalografía de los minerales, así como también sobre la composición de las fases minerales en diferentes sustancias y formaciones minerales. El análisis se basa en las propiedades de los rayos X de penetrar en el interior de la sustancia y refractarse con determinada ley (Ley de Wulf) desde los planos atómicos de la red cristalina (Figura 28). La ecuación de Wulf – Bregg:  $2d \sin\Theta = n\lambda$ , donde  $\Theta$  es el ángulo de la reflexión de los rayos X del sistema determinado por los planos atómicos (hkl),  $d$  es la distancia interplanar (donde ocurre la reflexión),  $n$  es un número entero (orden de reflexión),  $\lambda$  es la longitud de onda de la radiación (Ostrooumov, 2009).



**Figura 28.** Difracción de los rayos X de acuerdo a la ley de Wulff- Bregg (tomado de: [http://www.xtal.iqfr.csic.es/Cristalografia/parte\\_05\\_5-en.html](http://www.xtal.iqfr.csic.es/Cristalografia/parte_05_5-en.html))

El análisis por difracción de rayos X cualitativo se realiza principalmente para el diagnóstico exacto de los minerales y sus mezclas, precisión de la composición de un miembro concreto en una solución sólida (isomorfa), obtención de los parámetros de la celda elemental de una estructura cristalina, entre otros (Ostrooumov, 2009).

### **Espectrometría de Infrarrojo**

Es un método de análisis cualitativo que utiliza la región infrarroja del espectro electromagnético (Figura 29) para identificar un compuesto y determinar su composición. Su principio radica en el hecho de que los enlaces químicos de las sustancias tienen frecuencias de vibración específicas que corresponden a los niveles de energía de la molécula; cada frecuencia depende de la forma de la superficie de las masas atómicas, la energía potencial de la molécula, la geometría molecular, y el acoplamiento vibracional (Skook *et al.*, 1998)

Una sustancia puede identificarse por su espectro infrarrojo que pueden ser considerados como las huellas digitales. Los espectros muestran bandas que son típicas de grupos funcionales particulares y que tienen localizaciones e intensidades específicas dentro de los espectros infrarrojos (Gómez-Murillo, 2006).

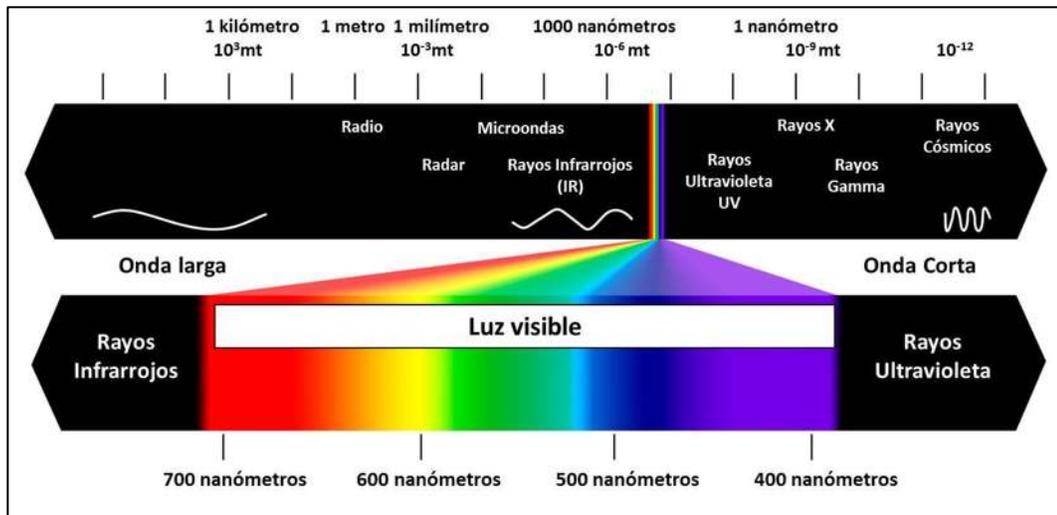


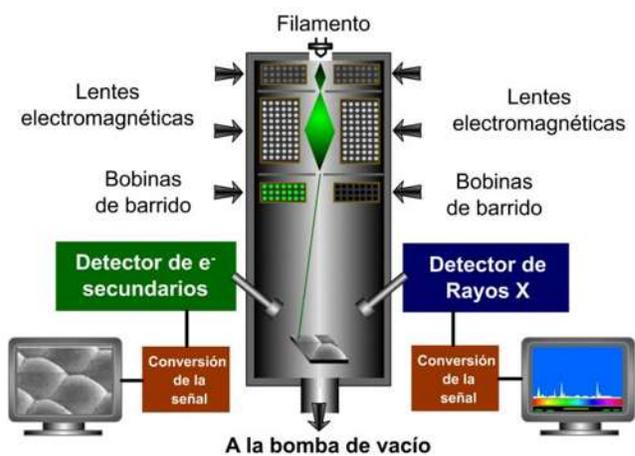
Fig. 29. Espectro electromagnético con realce de la parte óptica (tomada de <http://nexciencia.exactas.uba.ar/wp-content/uploads/2011/09/ESPECTRO-EXM.jpg>)

## MICROSCOPIO ELECTRÓNICO DE BARRIDO (Scanning Electron Microscopy-SEM)

El microscopio electrónico de barrido permite conocer la morfología superficial. Su funcionamiento consiste en un haz de electrones que atraviesa la columna de vacío mientras un generador de barrido produce el movimiento del haz, de manera que la muestra se barra punto por punto (Figura 30). La interacción entre los electrones incidentes con los átomos que componen la muestra, genera señales captadas con detectores específicos para cada una de ellas. El detector capta una señal y la convierte en una señal electrónica que es proyectada en una pantalla o CRT. El barrido del haz está sincronizado con el barrido del CRT y produce una relación uno a uno entre puntos de la muestra y puntos en el CRT; el volumen de excitación y la profundidad de penetración están en relación con el incremento de la energía del haz incidente y decrece con el incremento del número atómico (Lozano *et al*, 2014)

El SEM está equipado con diversos detectores, de los que destacan: el detector de electrones secundarios, que ayuda a obtener imágenes de alta resolución SEI (Secondary Electron Image); un detector de electrones retrodispersados que obtiene imágenes de topografía de la superficie y composición BEI (Backscattered Electron Image), y un detector de energía dispersiva EDS (Energy Dispersive Spectrometer) que ayuda a inferir la distribución de los

elementos en superficies y realizar análisis semicuantitativos mediante los Rayos X generados por la muestra.



**Figura 30.** Esquema de microscopio electrónico donde se muestran las componentes principales (Tomado de: <http://quimica.unab.cl/laboratorio-de-analisis-de-solidos-las/informacion/fundamentos-teoricos/microscopia-electronica-de-barrido-con-detector-eds-sem-eds/>)

## **CAPÍTULO 6. RESULTADOS**

---

Se describen dos columnas principales para la Caldera, la primera ubicada en el sector Sur Central, definido como la zona del depocentro por diversos autores (Mahood, 1980; Maciel, 2006) y la segunda, localizada en el área Norte de la caldera (figura 31).

### **ESTRATIGRAFÍA**

#### **COLUMNA SUR CENTRAL**

La columna más completa fue de 41m de espesor, de la cual se tomaron un total de 55 muestras (Figura 32). La unidad volcánica más antigua corresponde a la toba Tala que se presenta en esta sección como un depósito tipo “surge” con estratificación paralela. Sobreyaciendo en contacto erosivo se observa una sucesión de depósitos volcániclasticos de tonalidades beige, que se interestratifican con estratos lacustres de tonos blanquecinos y pequeñas oleadas piroclásticas que interrumpen el desarrollo del lago. Sobre este paquete, y en contacto bruscamente erosivo, se identifica el nivel conocido como la “Pómez Gigante”, que ha sido utilizada como marcador estratigráfico.

Sucesivamente la unidad anterior viene cubierta por sedimentos fluviales constituidos por conglomerados polimícticos con clastos subredondeados de tamaños de hasta guijarros; estos paquetes llegan a formar pequeños canales que presentan estratificación cruzada. Sobreyaciendo aparecen niveles intercalados de cenizas y sedimentos lacustres de tonos blanquecinos con estratificación delgada que se observan en contacto superior erosivo con depósitos fluviales conformados por conglomerados y arenas de grano medio. Coronando la secuencia se distinguen los últimos niveles lacustres de tonos ocres que son sobreyacidos en contacto angular por un depósito de caída.

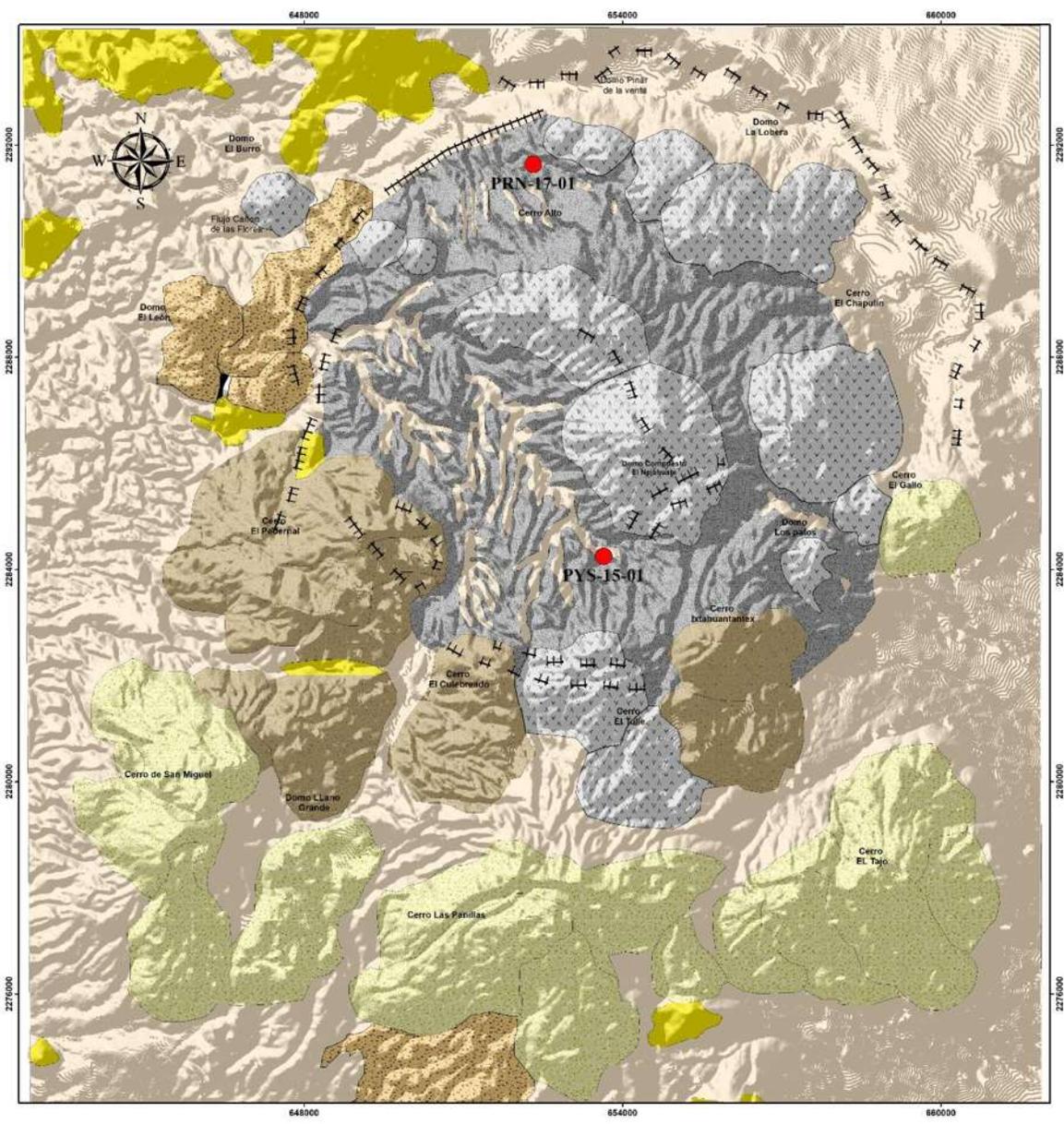


Fig. 31. Ubicación de la Columna Norte (PRN-17-01) y Columna Sur Central (PYS-15-01).

Se definieron tres episodios lacustres principales que integraron la evolución pliocuaternaria de la Caldera de la Primavera.

### **Estadio 1.**

La sucesión lacustre inicia con el depósito tipo surge de la Toba Tola, conformada por fragmentos de pómez del tamaño de gránulos con tonalidades ocre- grises y estratificación paralela. Le sobryace en contacto erosivo (con presencia de óxidos), una sucesión de intercalaciones de depósitos de ceniza y pómez de colores grisáceos, cuyos estratos exhiben generalmente gradación inversa y no superan los 5cm de espesor. Estos niveles cineríticos se interestratifican con sedimentos lacustres del tamaño de limos y arcillas de colores grisáceos-blancos con laminaciones paralelas y niveles de arenas finas- medias. Las tonalidades de este paquete son beige y sus estratos alcanzan hasta 4 cm de espesor. Algunos niveles finos intercalados muestran estructuras primarias entre las que destacan rizaduras y sismitas (Figura 33). Resaltan a los 1.60m pequeños volcanes de lodo, mientras que de los 3 a los 4m de la sección se distinguen estructuras de carga y flamas, así como pequeñas fallas lístricas.

Sobryaciendo en contacto concordante aparece una secuencia de depósitos piroclásticos que presenta tonos grises-ocres con espesores menores a 3cm. Hacia la cima la sedimentación lacustre se observa interrumpida por el horizonte de la mega pómez (Figura 34), que en este punto alcanza unos 11 m de espesor y sus clastos hasta 2m de diámetro (Figura 35); los fragmentos se observan soportados por matriz conformada por cenizas y sedimentos lacustres que aún conservan su estratificación.

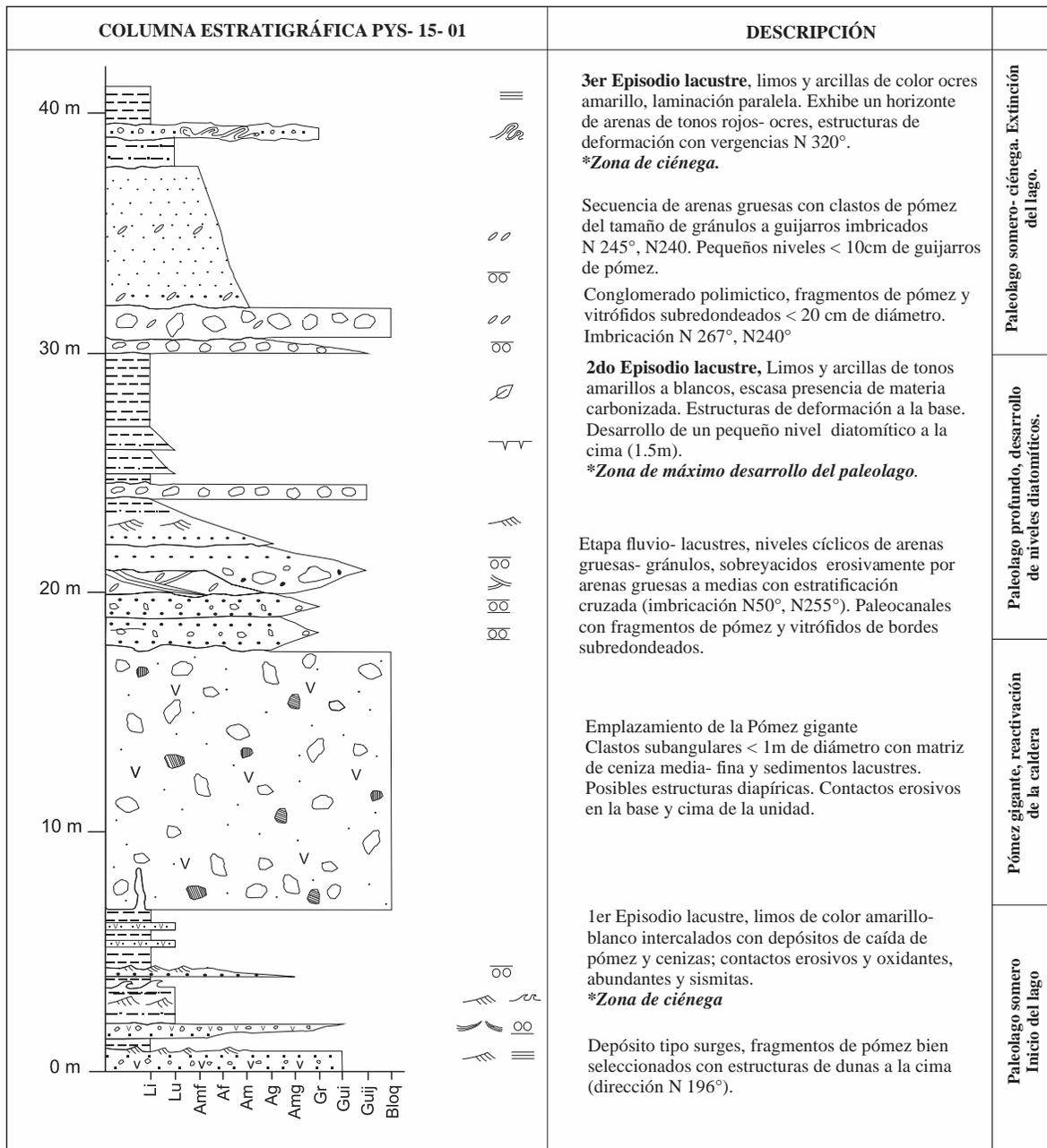


Figura 32. Columna estratigráfica generalizada de los depósitos lacustres de la Caldera La Primavera de la Zona Sur-Central. Breve descripción granulométrica al lado derecho.

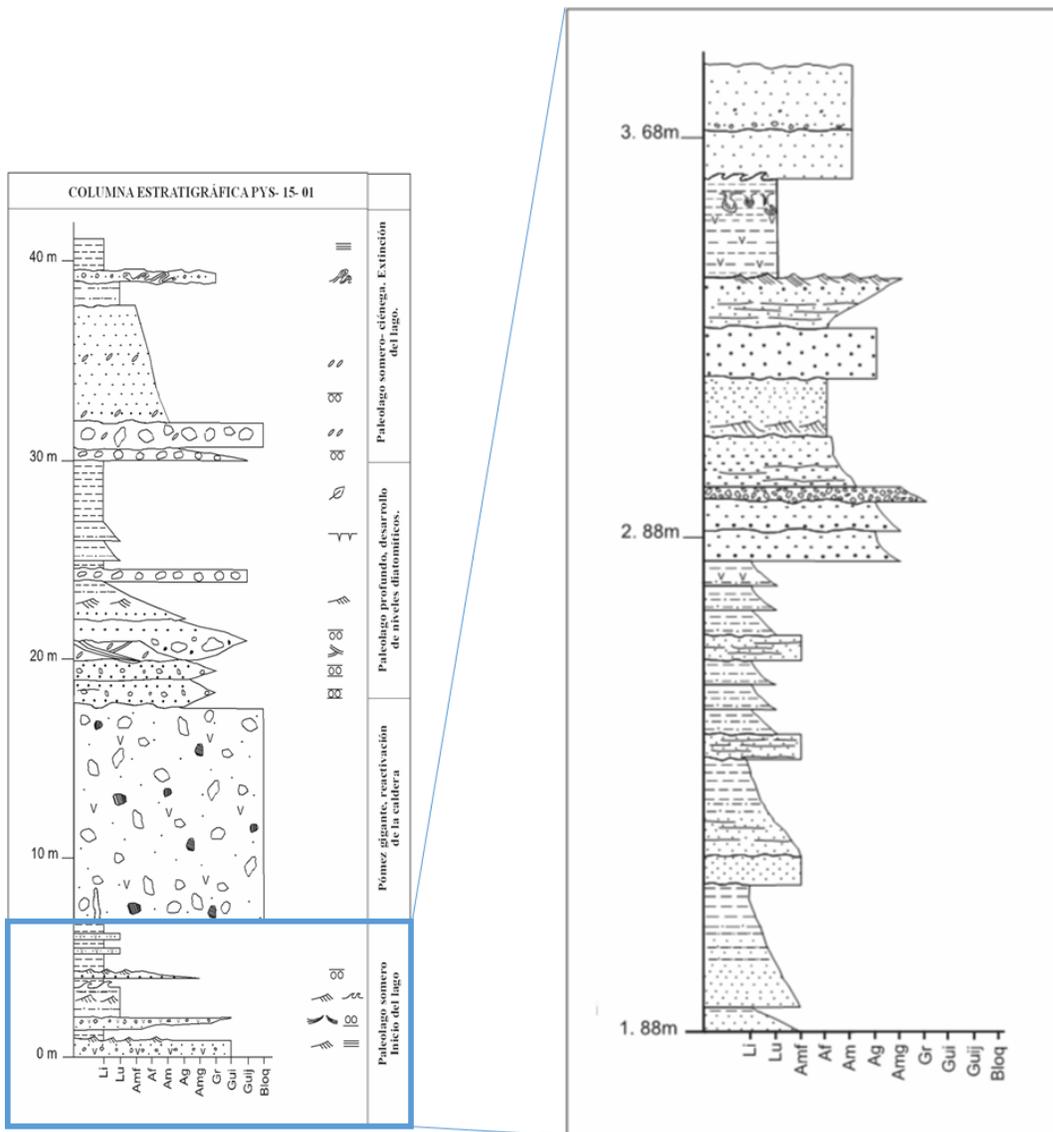


Figura 33. Detalle del Estadío 1, sedimentos lacustres interestratificados con depósitos volcánoclasticos. Destacan la presencia de estructuras primarias como rizaduras, estructuras de carga y flamas en esta sección.

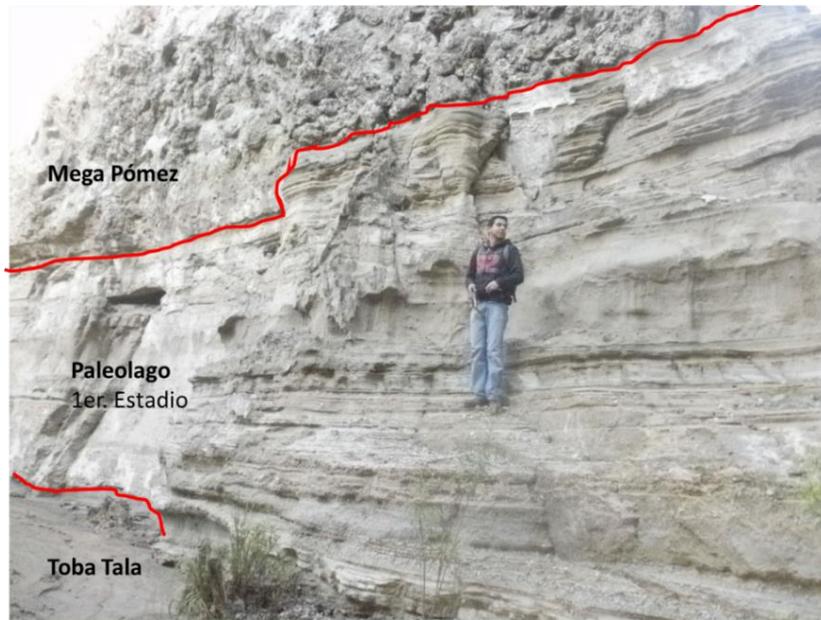


Figura 34. Sedimentos lacustres del primer estadio 1 sobreyaciendo depósitos surge de la Toba Tala. Los lacustres se observan interestratificados con depósitos de caída como cenizas y pómez, así como sedimentos fluviales. Nótese el contacto erosivo con el horizonte de la Mega Pómez.



Figura 35. a) Horizonte de mega pómez con depósitos lacustres sobreyaciendolo (Estadio 2), el depósito se observa con menos del 30% de matriz, los fragmentos de pómez con bordes angulares- subangulares alcanzan diámetros de hasta 2m. b) Detalle de la matriz compuesta por cenizas y sedimentos lacustres donde aún se observan laminaciones originales.

## **Estadio 2**

Depositado sobre la el horizonte de la Mega pómez, el Estadio 2 (Figura 36) queda caracterizado por niveles cíclicos de depósitos fluviales de tonos café, está compuesto por de arenas gruesas a gránulos con fragmentos de pómez y vidrio volcánico con bordes subredondeados a subangulares. A partir de los 19.90m se observa estratificación cruzada con clastos imbricados (N 90°) y el desarrollo de paleocanales (Figura 37) con fragmentos del tamaño de bloques subredondeados a la base de pómez y vitrófidos.

Sobreyaciendo al paquete anterior, aparecen sedimentos lacustres de color blanco, intercalados con cenizas volcánicas de tonos gris claro; laminaciones y escasas rizaduras que pueden observarse a lo largo de este intervalo, así como pequeños grietas de desecación compuestas por limos y arcillas de tonos anaranjados que denotan oxidación. Se distinguen tres niveles de materia orgánica carbonizada que representan los incendios que afectaron el bosque (Figura 38). Este estadio, se considera el nivel de máximo desarrollo del lago debido a que en él se encuentran los mayores espesores (5.5m) de los estratos lacustres más puros.

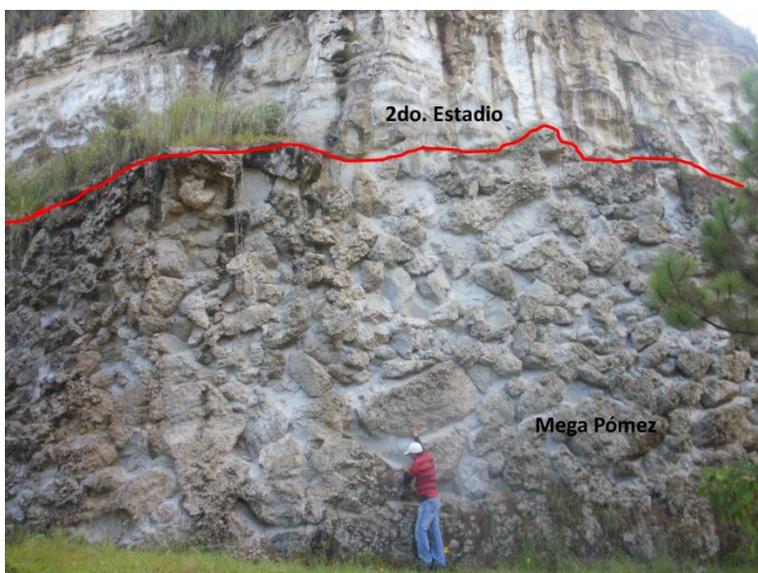


Figura 36. Horizonte de mega pómez con depósitos lacustres sobreyaciendolo (Estadio 2).

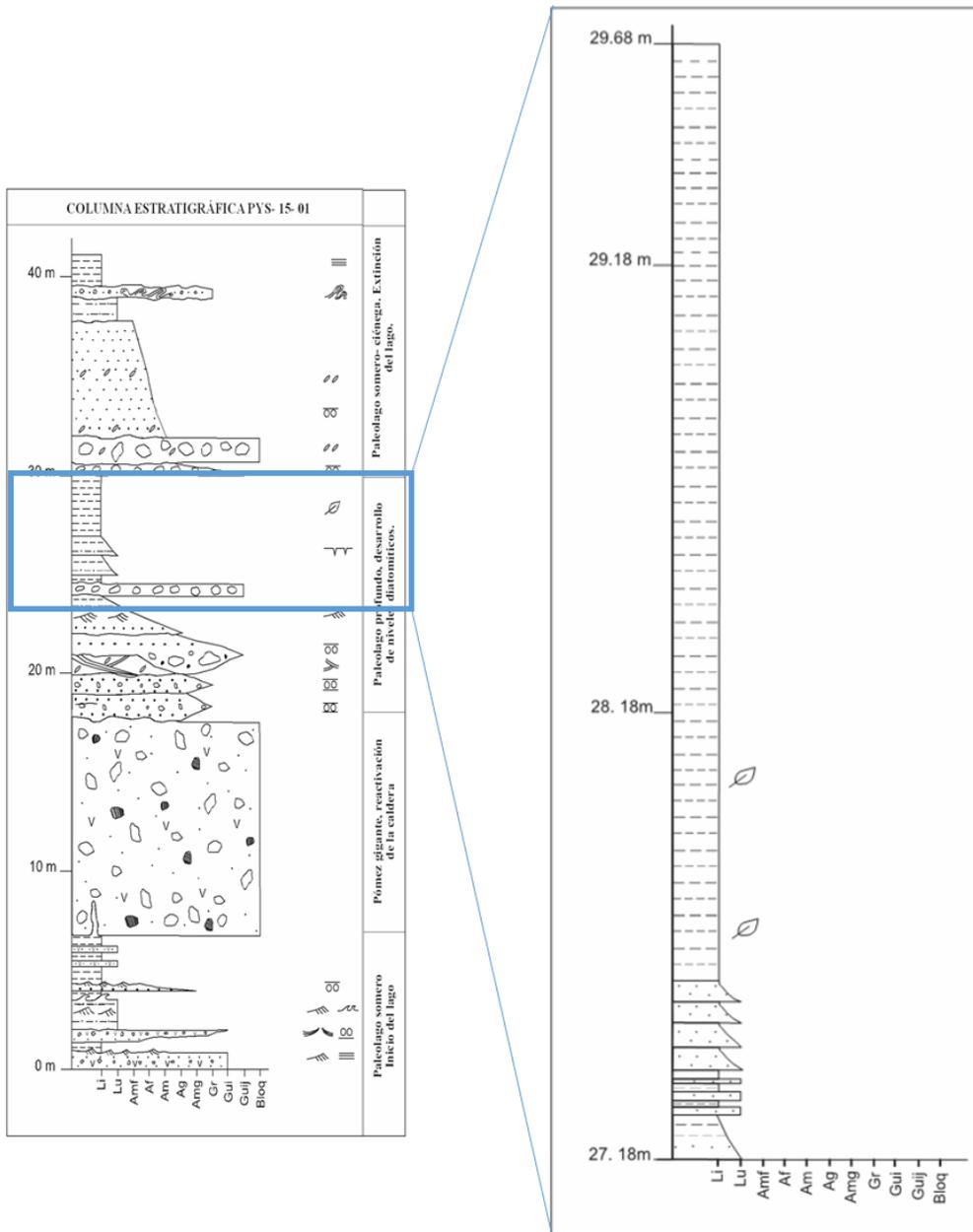


Figura 37. Estadio 2, nivel de máximo desarrollo del lago extinto de la CLP. Secuencia de sedimentos lacustres intercalados con depósitos fluviales representados por conglomerados polimícticos con matriz arenosa.

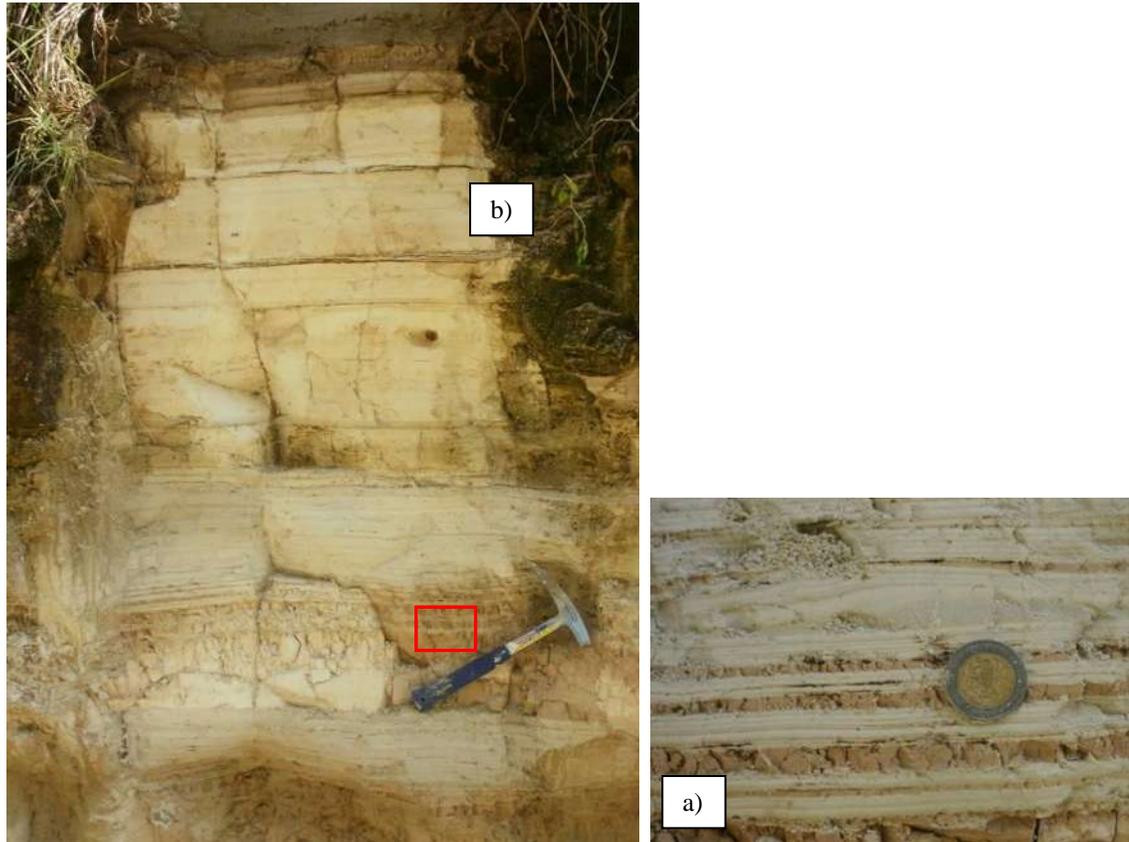


Figura 38. Diatomitas del segundo episodio lacustre. A la base se observan grietas de desecación (b) con tonos rojizos derivados posiblemente de óxidos. b) Hacia la cima se distinguen tres horizontes de carbón con espesores < a 2cm, que representan los tres incendios reportados previamente por Mahood (1980) y Maciel (2006).

### **Estadio 3**

Inicia con horizontes de conglomerados polimícticos (Figura 39) con matriz compuesta por arenas gruesas de tonalidades café y clastos subredondeados- subangulares de hasta del tamaño de bloques, la imbricación de los clastos va desde N 270° hasta N 310°. Sobreyaciendo se observan sedimentos lacustres de colores rojizos con estratificación paralela (Figura 40), estos aparecen intercalados con arenas gruesas- medias que llegan a formar slumps con vergencias N320° (Figura 41); dentro estos los niveles fluviales, se distinguen pequeños intervalos < 2cm de gránulos con gradación normal y dirección de imbricación preferencial N300°- 320°. Coronando esta secuencia, aparecen niveles de limos y arcillas de tonos ocres (debido a la presencia de óxidos) que son sobreyacidos en contacto angular por un depósito de caída.

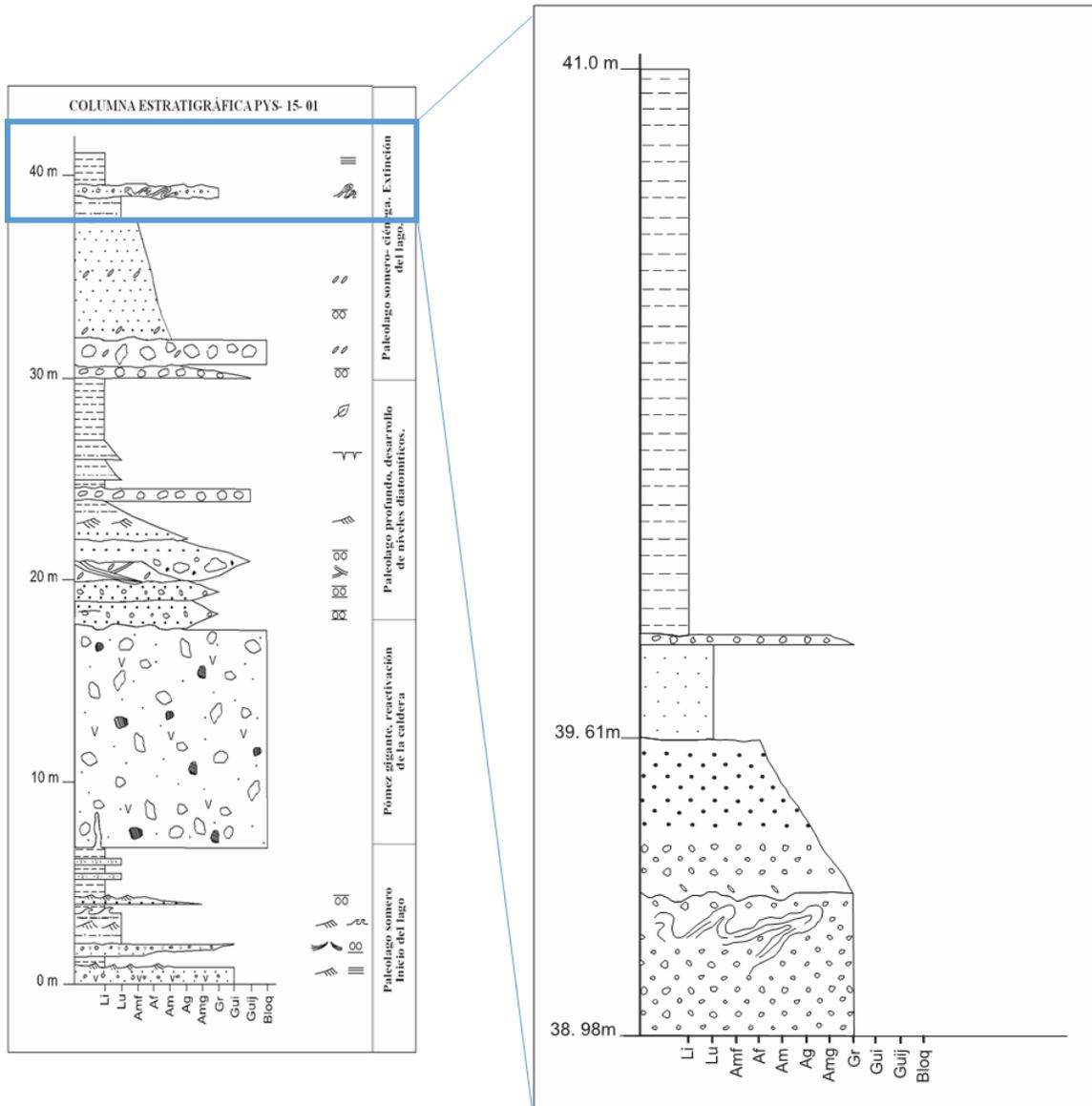


Figura 39. Detalle del Estadio 3, últimos sedimentos pertenecientes al paleolago sobreyaciendo depósitos conglomeráticos (cima Estadio 2). Se distinguen arenas gruesas- medias, interestratificadas con limos y arcillas lacustres formando estructuras de deformación tipo slupms.



Figura 40. Últimos depósitos lacustres depositados sobre los conglomerados polimícticos del Estadio 2.

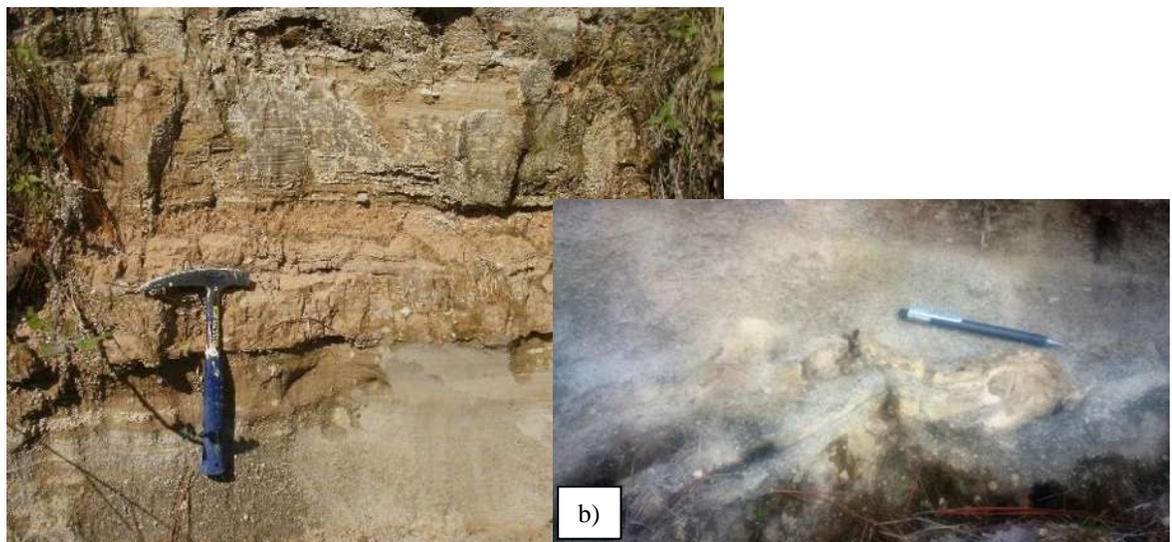


Figura 41. Detalle del último depósito lacustre de la columna PYS- 15- 01, donde se observan los tonos rojizos-anaranjados debido a oxidación. b) Slumps desarrollados en el Estadio 3 con vergencia N 320°, en intercalaciones de limos y arenas.

## COLUMNA NORTE

Para el área Norte de la Caldera La Primavera, se realizó una columna de aproximadamente 33m de espesor (Figura 42), donde se obtuvieron 29 muestras. En esta sección no fue posible identificar la Toba Tala que nos indica el inicio del desarrollo de la caldera.

La columna PRN-17-01 exhibe un pobre desarrollo lacustre en los sedimentos previos al horizonte de la Pómez Gigante, con intervalos de depósitos de caída de pómez y cenizas menores a 5cm de espesor, donde se alcanzan a distinguir algunas rizaduras.

Posterior a la Mega Pómez, se distinguen sedimentos fluviales color café, interestratificados con depósitos de caída compuestos por cenizas- gránulos de pómez y pequeños niveles de sedimentos lacustres. Sobresale el desarrollo de grandes canales fluviales con clastos del tamaño de guijarros- guijas con bordes subredondeados. El muestreo para esta zona no se llevó cada 10 cm, debido a la intermitencia del paleolago.

Sucesivamente, depósitos de cenizas de colores blanquesinos- grisáceos con sedimentos fluviales compuestos por arenas de arenas medias dominan esta parte de la columna, donde se distingue la presencia de material orgánico carbonizado y estructuras de deformación tipo slumps (sismitas).

Coronando la secuencia de la columna PRN-01-17, sedimentos fluviales junto con depósitos de caída de tonos gris claro se ven afectados por fallamiento normal, observándose la formación de pequeños grabens.

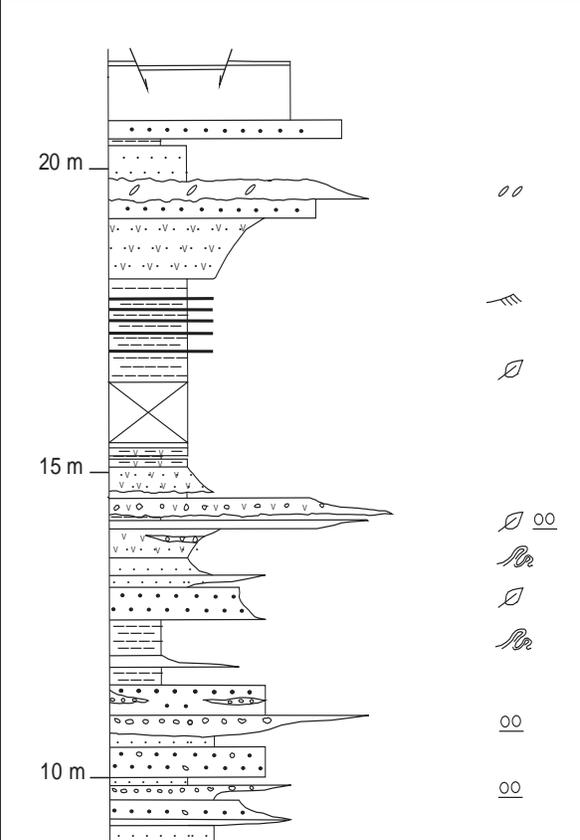
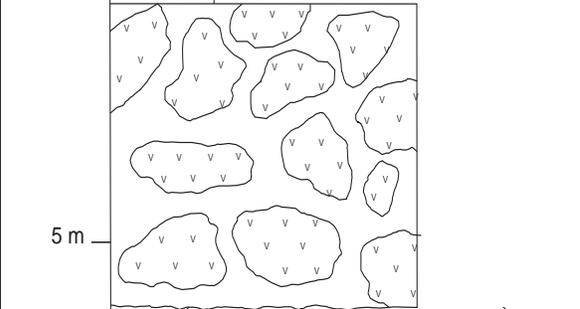
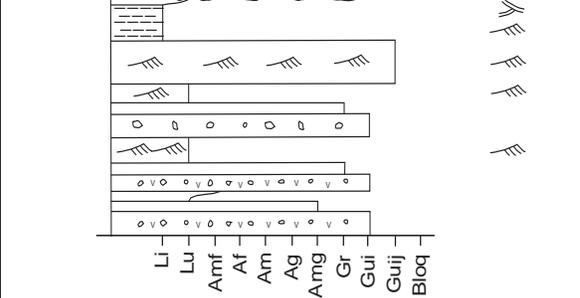
COLUMNA ESTRATIGRÁFICA PRN- 17- 01	DESCRIPCIÓN	
	<p>Depósitos volcanoclásticos y fluviales afectados por fallamiento normal. Espesor no medible</p> <p>Depósitos fluviales compuestos por arenas medias-gruesas con clastos imbricados del de pómez y vidrio volcánico; intercalados con depósitos de ceniza y en menor espesor depósitos de pómez.</p> <p><b>Sedimentos lacustres</b> interdigitados con depósitos de ceniza y fluviales compuestos por arenas medias a gruesas. Se distingue materia orgánica carbonizada.</p> <p><b>Niveles lacustres</b> poco desarrollados con laminaciones, intercalados con cenizas y sedimentos fluviales</p> <p>Sedimentos fluviales intercalados con cenizas volcánicas. Desarrollo de slumps, niveles con materia orgánica carbonizada.</p> <p>Niveles lacustres escasos, mayor depósitos fluviales con desarrollo de canales, presencia de lentes pómez.</p>	<p>Post Mega Pómez</p>
	<p><b>Mega pómez</b>, fragmentos de pómez &lt;2 m de diámetro sumergidos en una matriz conformada por ceniza y sedimentos lacustres.</p>	<p>Mega Pómez</p>
	<p><b>Nivel lacustre</b>, limos y arcillas de tonos blancos a gris, con laminaciones, rizaduras y laminaciones cruzadas a la cima.</p> <p>Depósitos volcanoclásticos, presencia de rizaduras</p>	<p>Pre Mega Pómez</p>
<p>Li Lu Amf Af Am Ag Amg Gr Gui Guj Bloq</p>		

Figura 42. Sección PRN-17-01 breve descripción sedimentológica en la columna derecha.

### **Lacustre inferior (Estadío 1)**

En la base se presentan depósitos tipo surge de colores café, con pómez del tamaño de guijas y presencia de ondulitas; sobreyaciendo en contacto concordante se observan depósitos de caída de pómez y cenizas de tonos blanquecinos con escasos niveles ocre que indican la presencia de óxidos. Sucesivamente aparece un depósito fluvial (60 cm espesor) de color café, conformado por arenas medias y gránulos de pómez con bordes subredondeados; este nivel exhibe estratificación cruzada (Figura 43) con algunos niveles de rizaduras en sus horizontes con granulometría más fina (Figura 44). Infrayaciendo a la Pómez Gigante en contacto erosivo, aparecen un paquete de sedimentos lacustres con un espesor de 58 cm, estos se presentan con laminaciones paralelas y escasas rizaduras a la cima, se distinguen escasos fragmentos de carbón. Corona la sucesión, un nivel de 11 cm de arenas muy finas con laminación paralela, de colores ocre y fragmentos de carbón más abundantes que en el intervalo anterior.

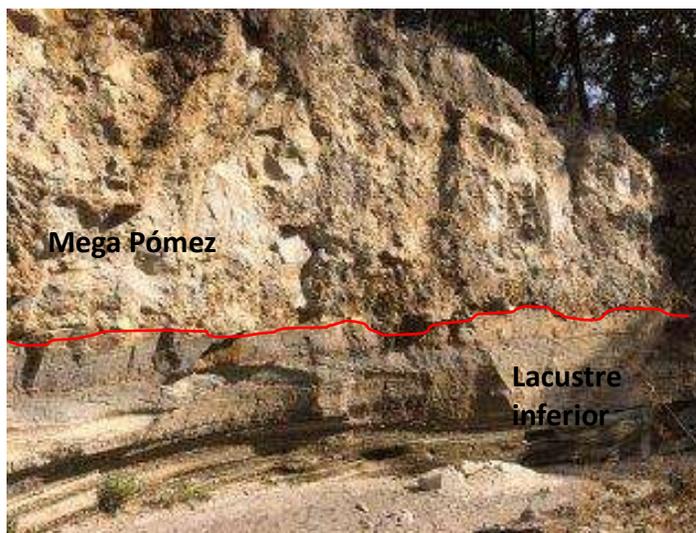


Figura 43. Afloramiento de la sección Norte realizada en la CLP donde se aprecia el contacto entre el lacustre inferior y la Mega Pómez.

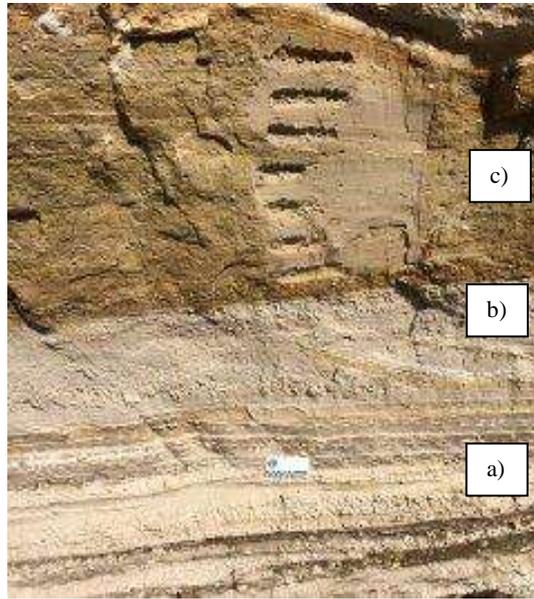


Figura 44. Sedimentos subyacentes a la Pómez Gigante. A la base depósitos tipo surge que se intercalan con depósitos de caída, formando ondulitas; b) hacia la parte media se distinguen depósitos fluviales con estratificación cruzada; c) sobreyaciendo cambia bruscamente el color a café grisáceo que pertenece a sedimentos lacustres, estos exhiben laminación paralela y escasas rizaduras, la cima pasa transicionalmente a un pequeño paquete de arenas muy finas rica en óxidos.



Figura 45. Detalle de los depósitos de caída y surge, previos al inicio del paleolago al interior de la Caldera. Nótese la formación de ondulitas indicativos de baja energía fluvial. Los clastos que se observan corresponden a guijas de pómez con bordes subredondeados.

### **Lacustre superior**

Dominado por depósitos fluviales que llegan a formar grandes canales, es escaso el desarrollo de estratos lacustres para la zona Norte de la Caldera La Primavera. Esporádicos sedimentos del paleolago aparecen interstratificados con depósitos de caída compuestos de cenizas y pómez, formando estructuras sedimentarias como laminación paralela, rizaduras y ondulitas en la parte inmediata al contacto con la Pómez Gigante (Figura 46). Posterior a ello, depósitos de cenizas de tonos gris claro- blanco dominan la secuencia; se distingue la presencia de materia orgánica carbonizada, así como estructuras de deformación representados por slumps (Figura 47). Depósitos fluviales de tonos beige- café conformados por arenas medias y guijas de pómez dominan lo que resta de la columna Norte, alternandose con incipientes laminaciones y estratos <1.5cm de sedimentos lacustres y depósitos de cenizas de color blanco. Hacia la cima de la sección, los depósitos de caída y fluviolacustres se ven afectados por fallamiento normal generando pequeños sistemas de horst y grabens (Figura 48). Los sedimentos sobreyacentes a la secuencia anterior son fluviales y están compuestos por arenas que se intercalan con depósitos de cenizas; su muestreo y descripción detallada no pudo realizarse debido a lo inaccesible del afloramiento.



Fig. 46 Detalle del lacustre superior, se observan cenizas a la base de color gris claro con laminación paralela; los sedimentos del paleolago se distinguen por ser tener granulometría más fina y colores más blanquesinos. En la imagen se aprecia la formación de ondulitas en ellos. Sobreyaciendo se exhiben depósitos fluviales que llegan a erosionar los episodios lacustres.

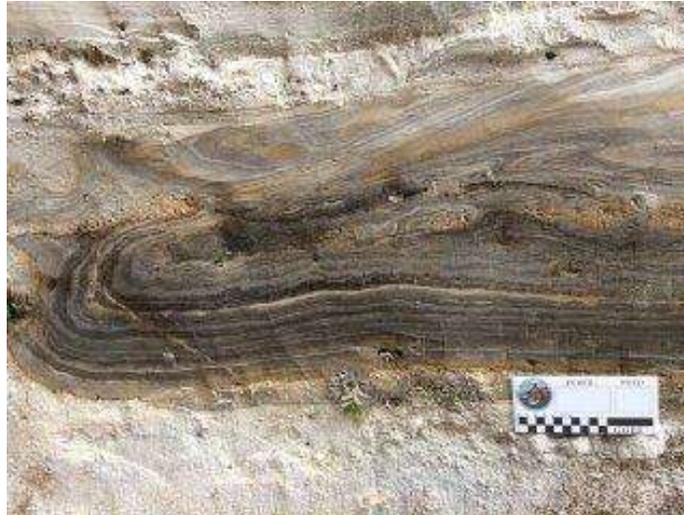


Fig. 47 Detalle de slumps contenidos en el paquete denominado lacustre superior. Esta estructura de deformación está compuesta por laminaciones de cenizas y sedimentos del paleolago, las laminaciones de color negro se deben al contenido de materia orgánica carbonizada y los tonos amarillentos son asociados a la presencia de óxidos (jarosita).



Fig. 48 Fallamiento normal en la cima de la columna Norte perteneciente al denominado “lacustre superior” PRN-17-01.

## DIATOMEAS

### COLUMNA SUR CENTRAL

#### *Conteo*

Únicamente se montaron 38 láminas de las 55 muestras obtenidas. Si bien el conteo de especies se realizó por muestra (Anexo 1a), los resultados se presentan por Estadíos (Anexo 1b, 1c y 1d), previamente identificados en la sección. Sólo se consideraron en el conteo aquellos especímenes que presentaban >50% del total de la valva conservada.

En total se contabilizaron 2170 ejemplares (Figura 49) con una diversidad de 53 especies, cuyo dominio está representado formas centrales como *Cyclotella meneghiniana* y *Pseudocyclotella primaverensis* (propuesta de nueva especie) con 50.55% y 9.91%. *Nitzschia sp.* aparece como la especie penal con mayor abundancia (10.74%), seguido de *Cocconeis placentula*, *Nitzschia palea*, *Fragilaria construens* y *Mastogloia smithii* (2.90, 2.72%, 2.44% y 2.07% respectivamente).

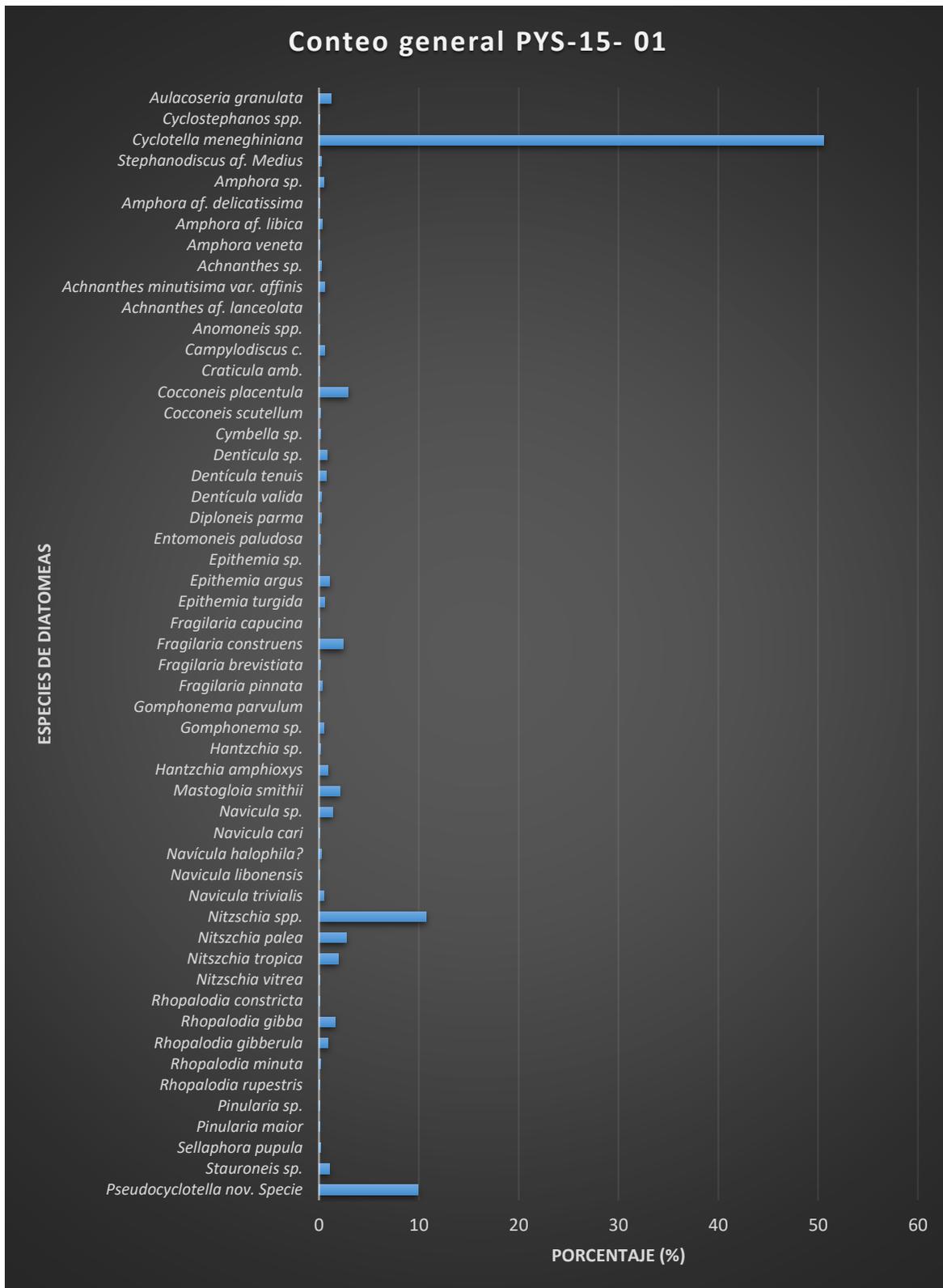


Figura 49. Conteo general de especies diatomeas contenidas en 38 muestras obtenidas en la columna PYS- 15- 01

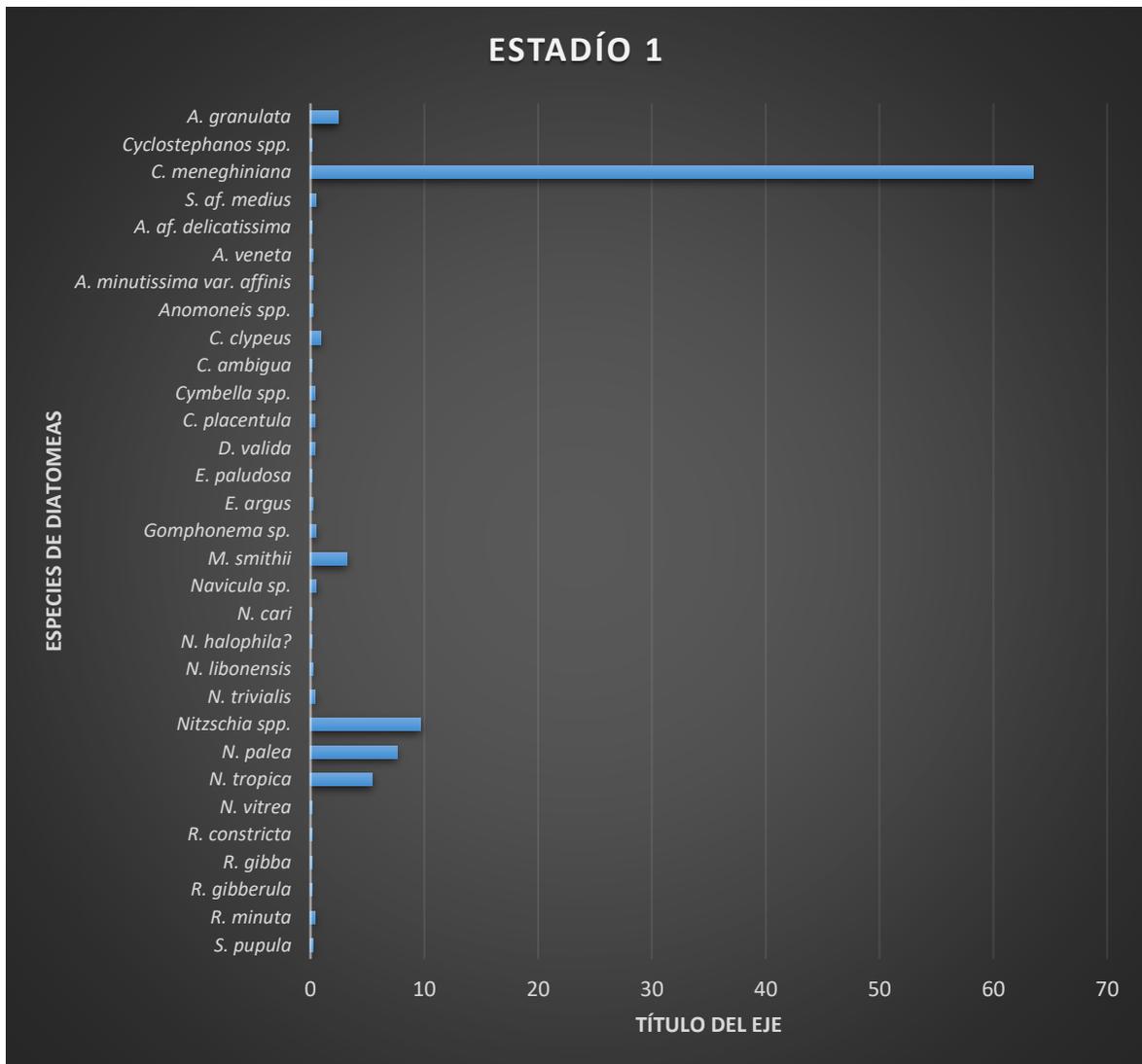


Fig. 50. Gráfica de porcentajes de las especies incluidas en el Estadio 1.

**Estadio 1:** Con un total de 775 valvas contadas en 20 muestras lacustres, se distingue el dominio de las formas centrales representada por: *Cyclotella meneghiniana* (63.48%). Formas pennales como *Nitzschia spp.*, *Nitzschia palea*, *Nitzschia tropica*, *Mastogloia smithii*, *Aulacoseira granulata* y *Campylodiscus clypeus* complementan el mayor porcentaje del ensamble de 31 especies identificadas (Figura 50).



Fig. 52. **E1.** Valvas con moderado a fuerte retrabajamiento, espículas de esponjas presentes, escasos fitolitos bien preservados, abundantes clastos de cuarzo angular.



Fig. 53. **E1.** Diatomeas con moderado retrabajamiento, frústulas de *Nitzschia sp.* y *Cyclotella meneghiniana* mayoritariamente. Cuarzos con bordes angulares a subangulares

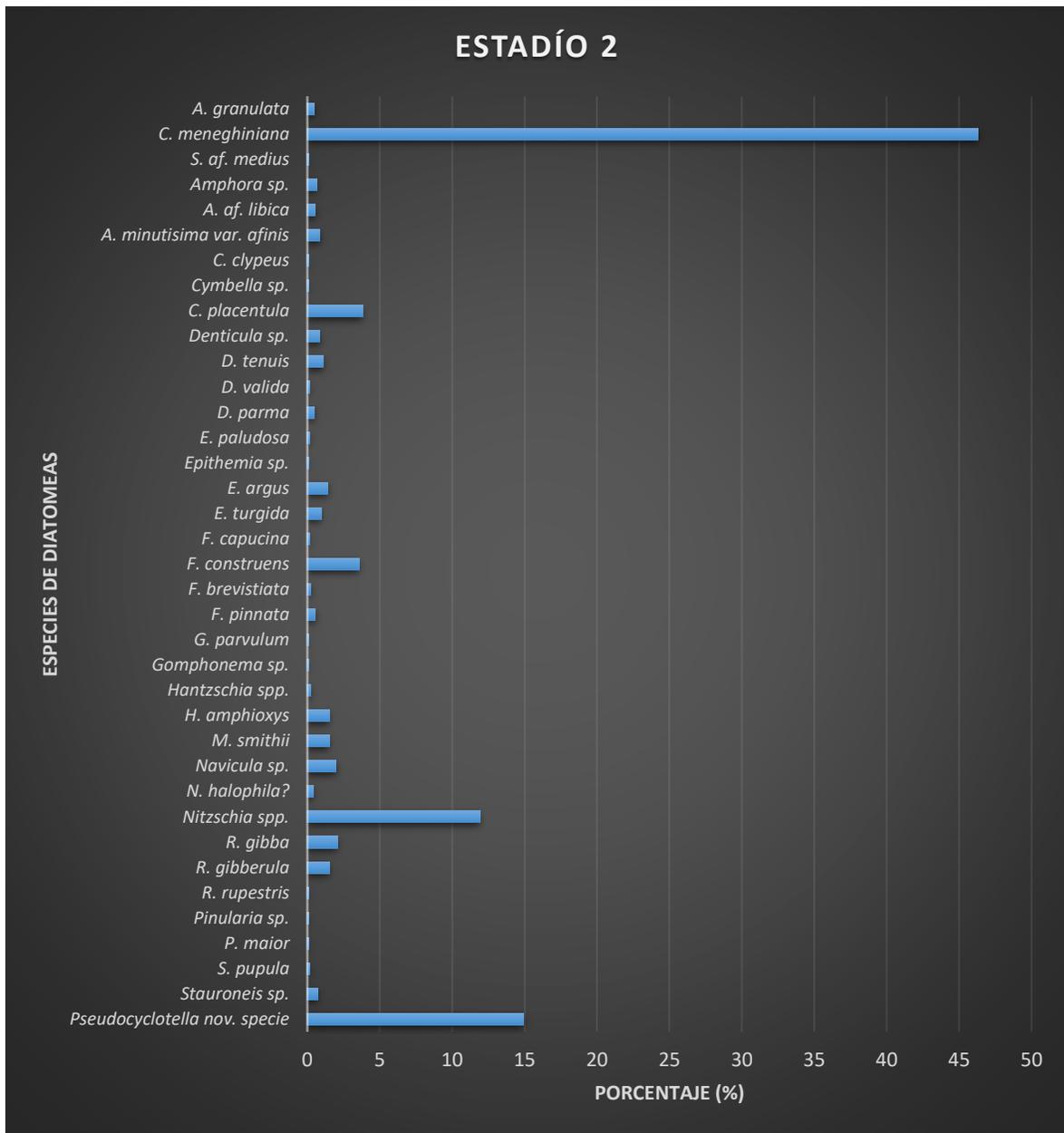


Fig.54. Gráfica porcentual del conteo de especies pertenecientes al Estadio 2

**Estadio 2:** Se realizó el conteo de 1259 ejemplares en un total de 9 muestras, donde de las 37 especies identificadas las diatomeas centrales conforman el 61.26 %. Las principales algas pennales que complementan el ensamble (33.75%) incluyen *Nitzschia sp.*, *Cocconeis placentula*, *Fragilaria construens*, *Navicula sp.*, *Rhopalodia gibba*, *Epithemia argus*, *Achnantes minutissima*, *Hantzschia amphioxys*, *Mastogloia smithii* y *Rhopalodia gibberula*.

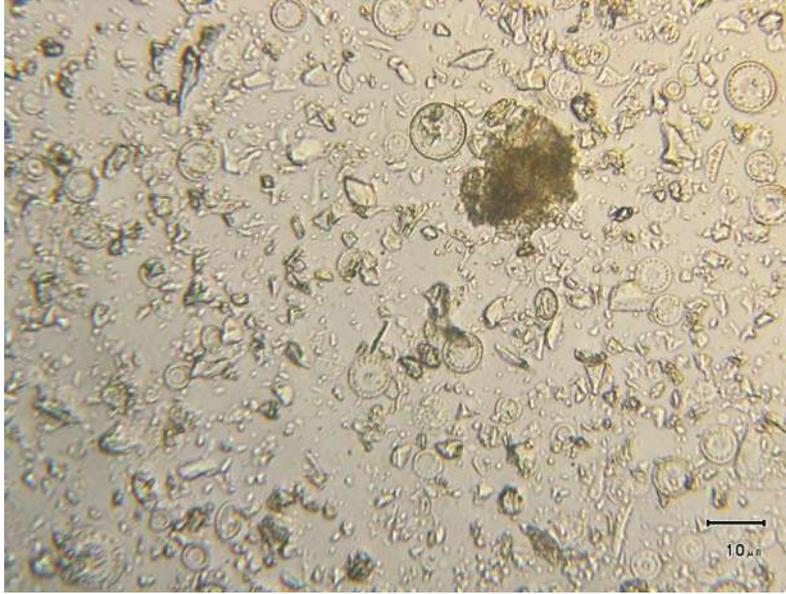


Fig. 55. **E2.** Dominio de las formas centrales para este estadio, se observan frústulas con débil- moderado retrabajamiento, espículas y fitolitos escasos, fragmentos de cuarzo con bordes angulares-subangulares.



Fig. 56. **E2.** Valvas con moderado- alto retrabajamiento, escasas espículas de esponja, fragmentos de cuarzo con bordes angulares-subangulares.

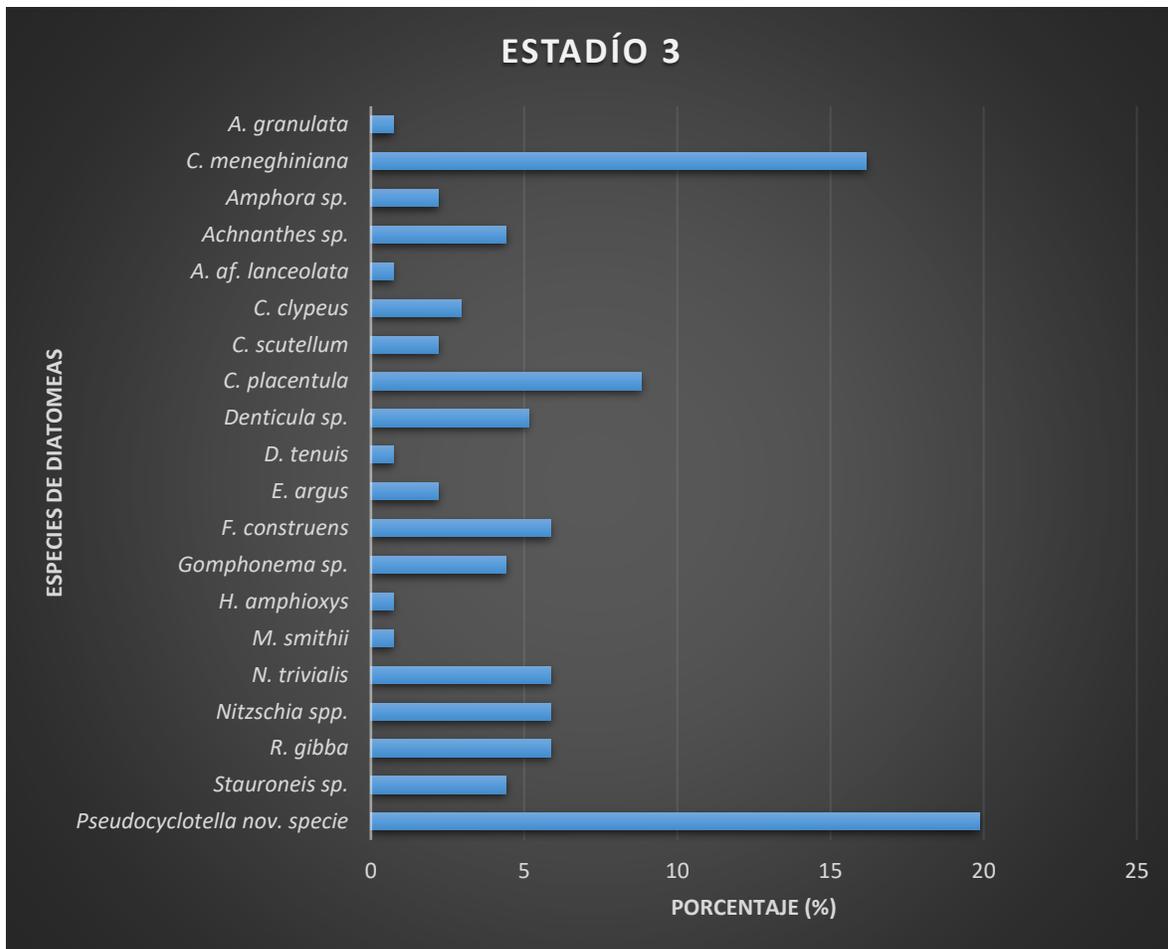


Fig. 57. Gráfico de porcentajes del conteo de diatomeas del Estadio 3.

### **Estadio 3**

Sólo se obtuvieron 6 muestras para el último episodio lacustre (Figura 57), con escaso material de bacillariophytas (136 ejemplares en total), donde predominan la que se denominará *Pseudocyclotella primaverensis* (nueva especie encontrada a nivel mundial) y *Cyclotella meneghiniana* con 19.85 y 16.17 % respectivamente; *Cocconeis placentula* 8.82% es la diatomea pennal más abundante (Figura 59); *Fragilaria construens*, *Navicula trivialis*, *Nitzschia spp.*, *Rhopalodia gibba*, *Denticula spp.*, *Achnanthes sp.*, *Gomphonema* y *Stauroneis sp?* sobresalen con porcentajes que van desde el 4 al 7%. En total se identificaron 20 especies, por lo que este nivel es el que presenta menor diversidad de diatomeas en toda la columna.



Fig. 58. **Estadio 3.** Nivel lacustre con menor diversidad de especies; valvas con débil retrabajamiento, acompañados por fragmentos de cuarzo con bordes angulares. En la imagen se observa una frustula de *Mastogloia smithii* bien preservada.



Fig. 59. **Estadio 3.** Disminución de ejemplares fosilíferos en cantidad y variedad para el último episodio lacustre. Valva de *Cocconeis placentula* sin retrabajamiento.

## COLUMNA NORTE

A lo largo de esta sección, se tomaron 28 muestras de las cuales, 5 se descartaron debido a la falta de material fosilífero. Se identificó un total de 35 especies para la columna PRN-17-01 de la Caldera La Primavera, realizando un conteo total de 3811 valvas.

Las gráficas detalladas se muestran divididas en dos paquetes: Lacustre inferior (Estadío 1), para las muestras obtenidas previas al depósito de la Pómez gigante y Lacustre Superior, que incluye los niveles del paleolago sobreyacientes a este marcador estratigráfico.

En la gráfica general (Figura 60) se observa el dominio de la nueva especie central (*Pseudocyclotella primaverensis*) con un 21.77%, *Rhopalodia gibba* y *Nitzschia sp.* son las formas penales más abundantes con 13.82 y 11.83%; *Cyclotella meneghiniana* es la segunda diatomea central más común (10.49%), *Achnanthes minutísima var. affinis* aparece como la tercera diatomea penal más frecuente con 7.50% (Anexo 2a).

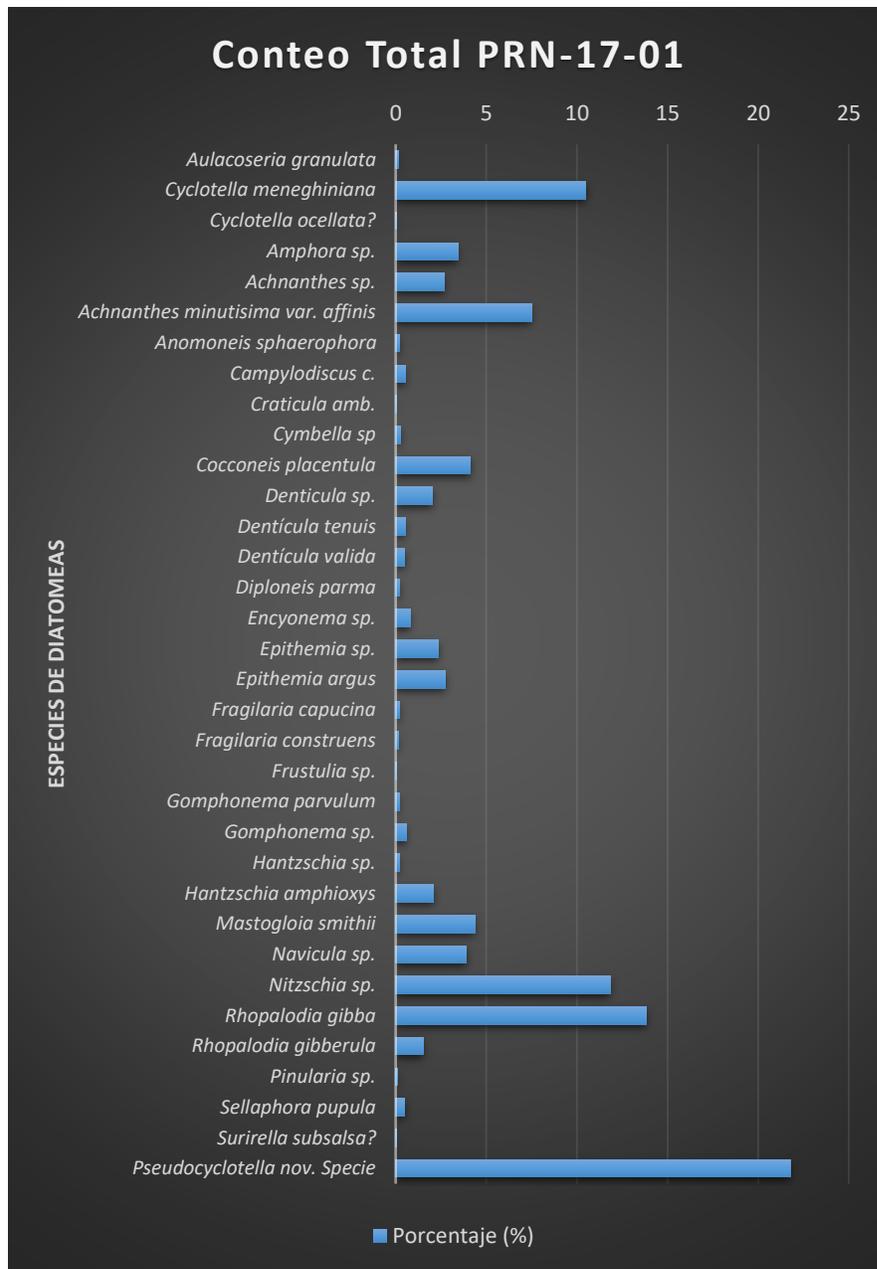


Figura 60. Gráfica de porcentaje del conteo total de especies de diatomeas obtenidas de la columna PRN-17-01.

## Lacustre inferior

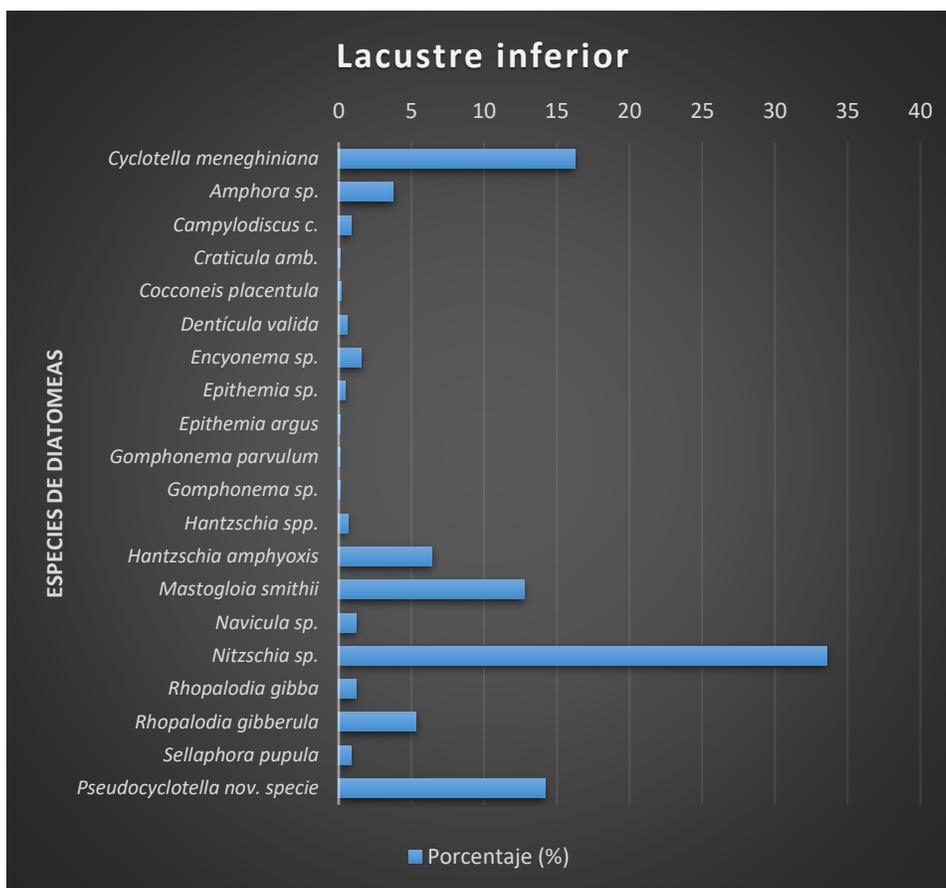


Figura 61. Porcentaje del conteo del lacustre inferior de la Columna Norte.

Únicamente se colectaron 7 muestras (N1- N7) de los sedimentos lacustres previos al depósito de la Mega Pómez. Con una diversidad de 20 especies (Anexo 2b), las diatomeas presentes se observan bien conservadas; las formas penales (*Nitzschia sp.*) dominan a la base la columna (Figura 62), siendo reemplazadas en frecuencia al contacto de la mega pómez por diatomeas centrales como *Pseudocyclotella primaverensis* y *Cyclotella meneghiniana*.

Del conteo general del Estadio 1 de la zona Norte se distingue la abundancia de *Nitzschia sp.* con 33.55%, seguido de formas centrales como *Cyclotella meneghiniana* (16.22%) y *Pseudocyclotella primaverensis* (14.21%); *Mastogloia smithii* con 12.74% (Figura 63), *Hantzschia amphioxys* con 6.42% y *Rhopalodia gibberula* con 5.32% completan la mayoría del total del ensamble fosilífero.

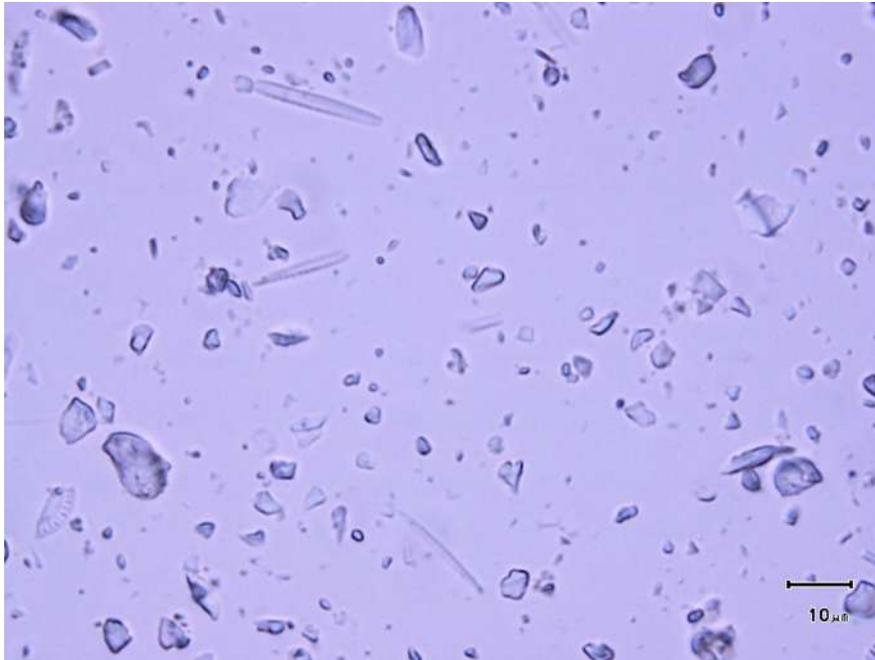


Fig.62. Valvas de *Nitzschia* sp., especie dominante en el lacustre inferior, con moderado retrabajamiento; en la esquina inferior izquierda se distingue un fragmento de diatomea central. Comúnmente los cuarzos que conforman el sedimento exhiben bordes angulares a subangulares.



Fig.63. A la izquierda se observa una diatomea central (*Cyclotella meneghiniana*) junto con una frústula de *Mastogloia smithii*, ambas valvas totalmente preservadas, acompañadas con abundantes clastos de cuarzos con bordes angulares- subangulares.

## Lacustre superior

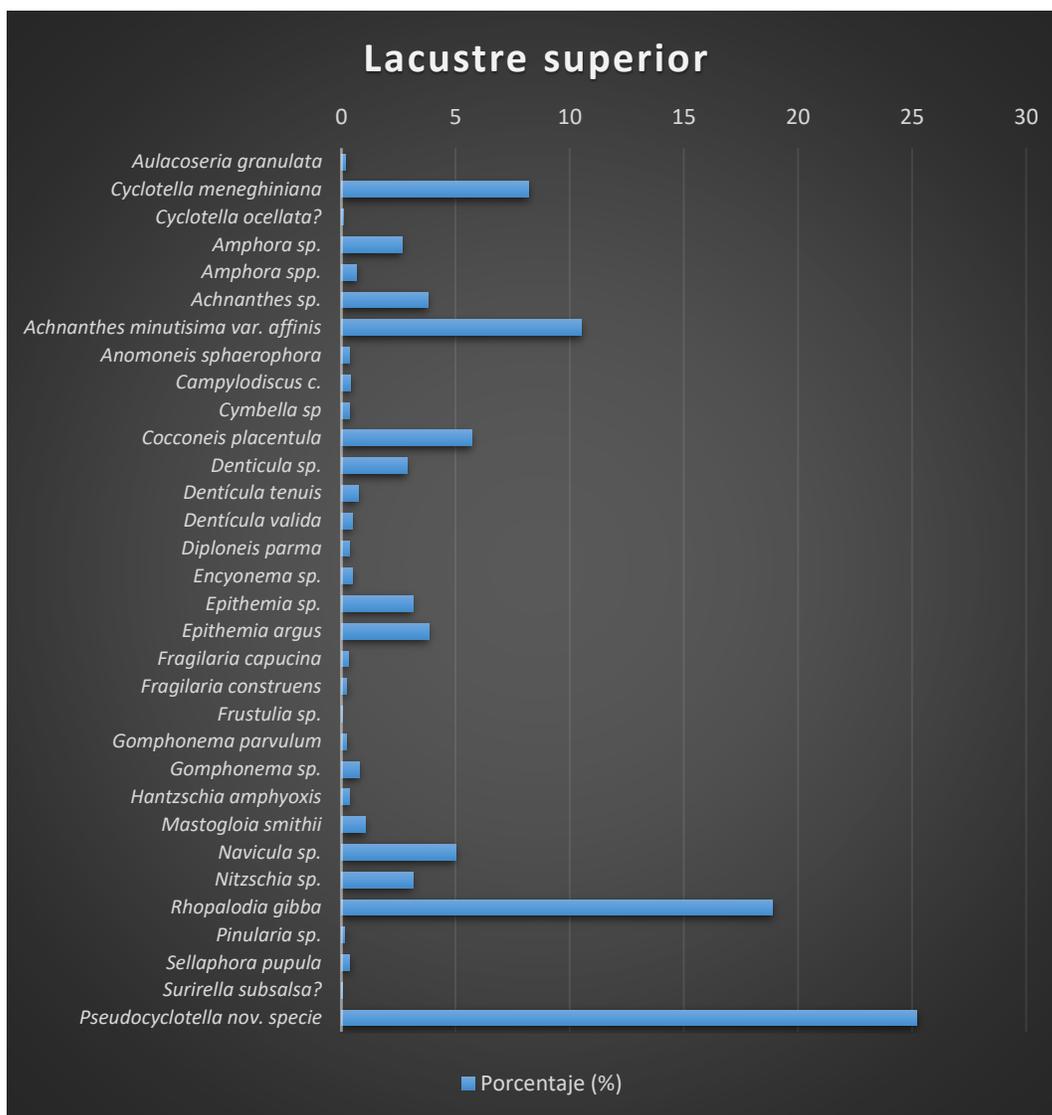


Figura 64. Gráfica porcentual del conteo realizado en el paleolago superior (Post Mega Pómez).

Se contabilizaron 2720 valvas de un total de 31 especies identificadas en los sedimentos lacustres posteriores al horizonte de pómez gigante (Anexo 2c). Se distingue el dominio de *Pseudoclytella primaverensis* (Figura 65) con 25.22%, *Rhopalodia gibba* es la forma penal más abundante para este episodio lacustre con un 18.9%, seguido de *Achnanthes minutisima var. affinis* (10.51%); *Cyclotella meneghiniana* es la segunda diatomea central más frecuente con 8.19%; *Cocconeis placentula* (Figura 66), *Navícula sp.*, *Epithemia argus* y *Achnanthes sp.* presentan porcentajes de 5.70, 5.00, 3.82 y 3.79% respectivamente.

Algunas especies encontradas en los sedimentos lacustres de la CLP y su ecología se resumen brevemente en la Tabla 6.

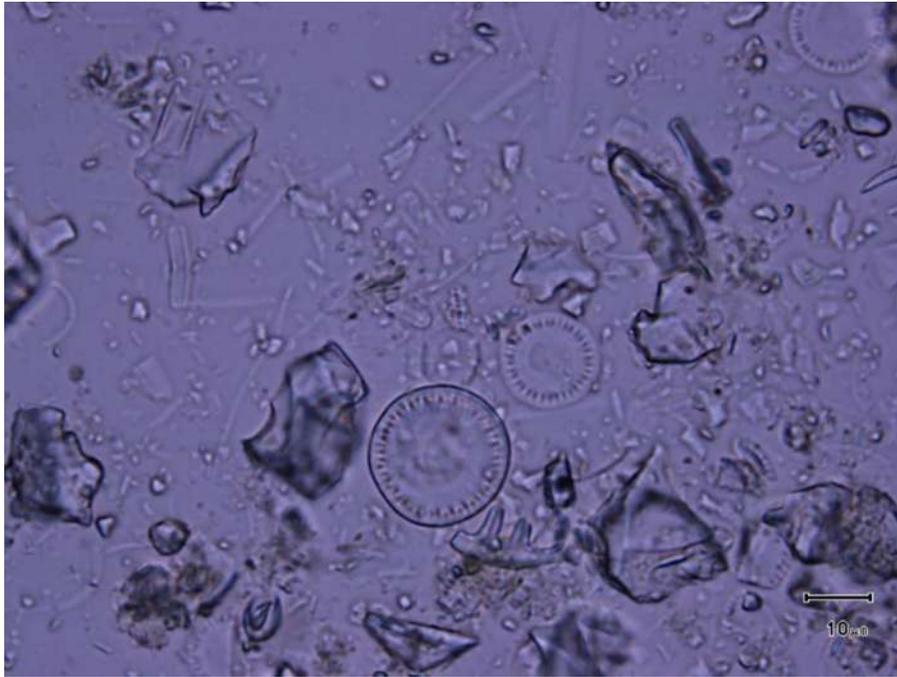


Fig. 65. Formas centrales dominan el lacustre superior, en general las diatomeas exhiben poco reabajamiento.

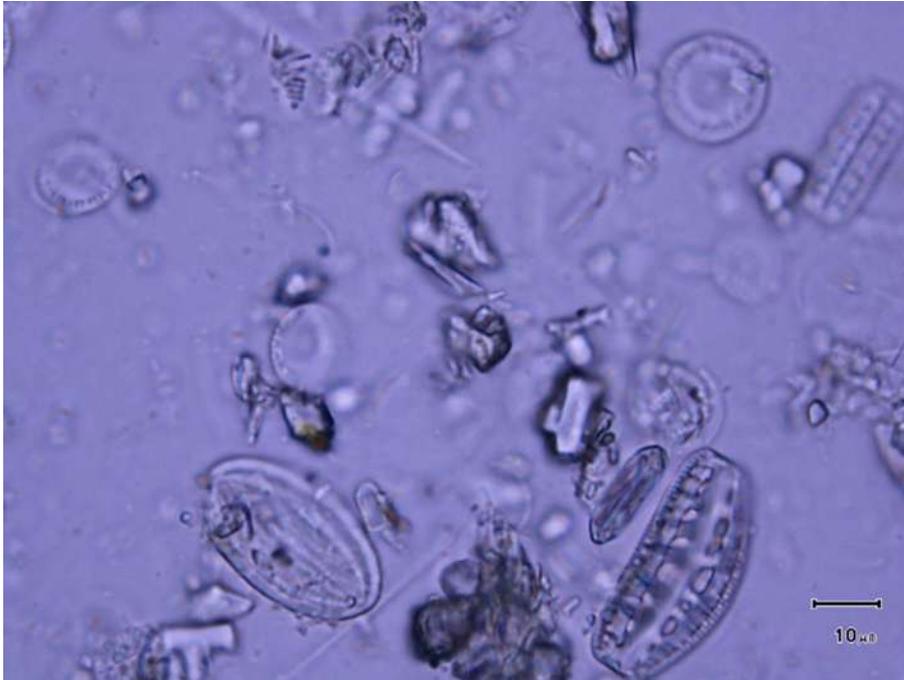


Fig. 66. En la parte central inferior derecha se aprecia *Cocconeis placentula* junto con *Epithemia sp.*, se distinguen de igual forma diatomeas centrales correspondientes a *Pseudoclycotella primaverensis* y *Cyclotella meneghiniana*.

Categoría	Especie	Hábitat	Ecología
Acidófilas	<i>*No encontradas</i>		
Bajo- neutrales	<i>A. granulata</i>	Plancton	Alta turbidez
	<i>Fragilaria capucina</i>	Ticoplancton	Aguas baja turbidez
	<i>Fragilaria construens</i>	Ticoplancton	Aguas baja turbidez
	<i>Fragilaria pinnata</i>	Ticoplancton	Aguas someras
	<i>Nitzschia palea</i>	Bentos, Ticoplancton	Aporte de materia orgánica (Amb. Ox- Red)
	<i>Espiculas de esponjas</i>	(bentos)	Estrés ambiental
Alto- neutrales	<i>Cocconeis placentula</i>	Epifita, perifita	Energía de corrientes
	<i>Achnanthes minutissima</i>	Perifita	Manantiales
	<i>Fragilaria pinnata</i>	Ticoplancton	Aguas someras. Media- alta concentración iónica
	<i>Ghomponema parvulum</i>	Perifita	Gran cantidad de macrofitas
	<i>Navicula trivialis</i>	Bentos	Aporte de materia orgánica
	<i>Nitzschia communis</i>	Epifítica, bentos	Agua con moderados nutrientes
	<i>N. fonticola</i>	Perifita	Baja salinidad
Alcalófilas	<i>Amphora ovalis</i>	Perifita, bentos	Alta conductividad
	<i>Cyclotella meneghiniana</i>	Plancton, ticoplancton, bentos	Alta conductividad
	<i>Ephitemia argus</i>	Bentos	Aporte de materia orgánica
	<i>Hantzchia apmioxys</i>	Perifítica, epifítica, bentos	Habitats aerófilos
	<i>Nitzschia amphibia</i>	Epifita, perifita	Tolerante a varias condiciones
	<i>Gomphonema parvulum</i>	Plancton, ticoplancton, bentos	Tolerante a varias condiciones
	<i>Rhopalodia gibberula</i>	Perifita, bentos	Moderada- Alta conductividad
	<i>Rhopalodia gibba</i>	Plancton, ticoplancton, bentos	Moderada- Alta conductividad
Halofilas	<i>Campylodiscus clypeus</i>	Bentos	Alta conductividad
	<i>Cymbella pusilla</i>	Ticoplancton, perifita	Alta conductividad
	<i>Entomoneis paludosa</i>	Bentos	Alta conductividad

Tabla 6. Algunas de las especies contenidas en las muestras de la Caldera La Primavera (Modificado de Caballero, 1997). Plancton= suspendidas en el agua; bentos= fija un a un sustrato sumergido; perifita= fija a un sustrato en ambiente litoral; epifita= fija a vegetación; ticoplancton= normalmente fija a un sustrato pero puede entrar en el plancton.

# MINERALOGÍA

## DIFRACCIÓN RAYOS X

Se analizaron un total de 10 muestras de sedimentos lacustres limo-arcillosos (cinco por columna estratigráfica). Únicamente se presenta en este capítulo una muestra representativa por Estadio de cada sección, a excepción del Estadio 1 donde la composición fue similar en ambas secciones.

La muestra correspondiente al Estadio 1 (Figura 67) muestra la abundancia de cuarzo, seguido en cantidad por la presencia de cloruros representados por halita; la arcilla más importante queda identificada como Halloysita, mientras que el sanidino es el feldespato más común. En menores cantidades se observa sílice oxidado o tridimita y plagioclasa tipo andesina.

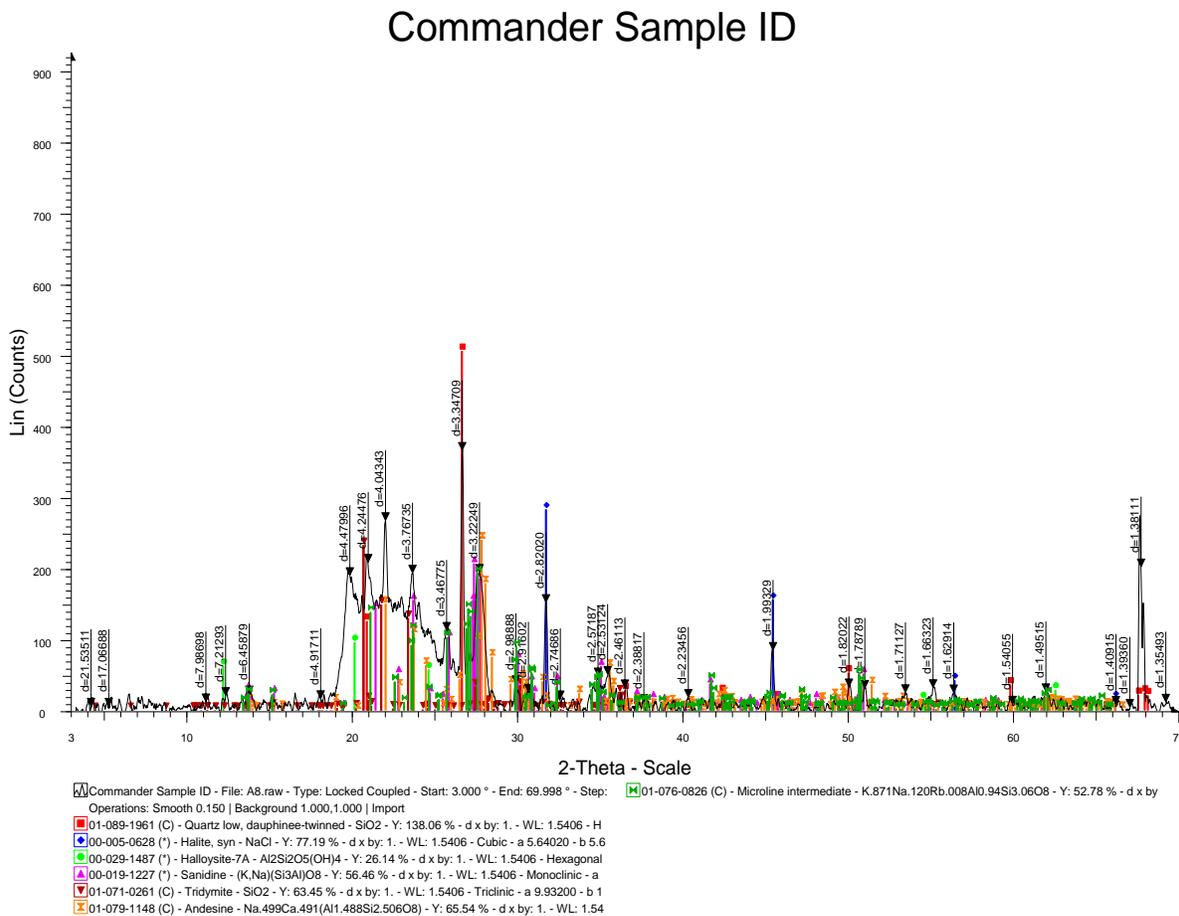


Fig. 67. Muestra A8. Representa el Estadio 1, muestra la abundancia de Qz, halita, halloysita, sanidino, tridimita y andesina

Dentro de la muestra A18 que pertenece a la zona de máximo desarrollo lacustre del sector Sur Central, sobresale la presencia de halita como mineral más abundante (Figura 68), le siguen en cantidad silicatos como tridimita y cuarzo. Dentro de las plagioclasas que caracterizan este Estadio se distinguen andesina y labradorita, mientras que la única zeolita identificada fue la clinoptilolita.

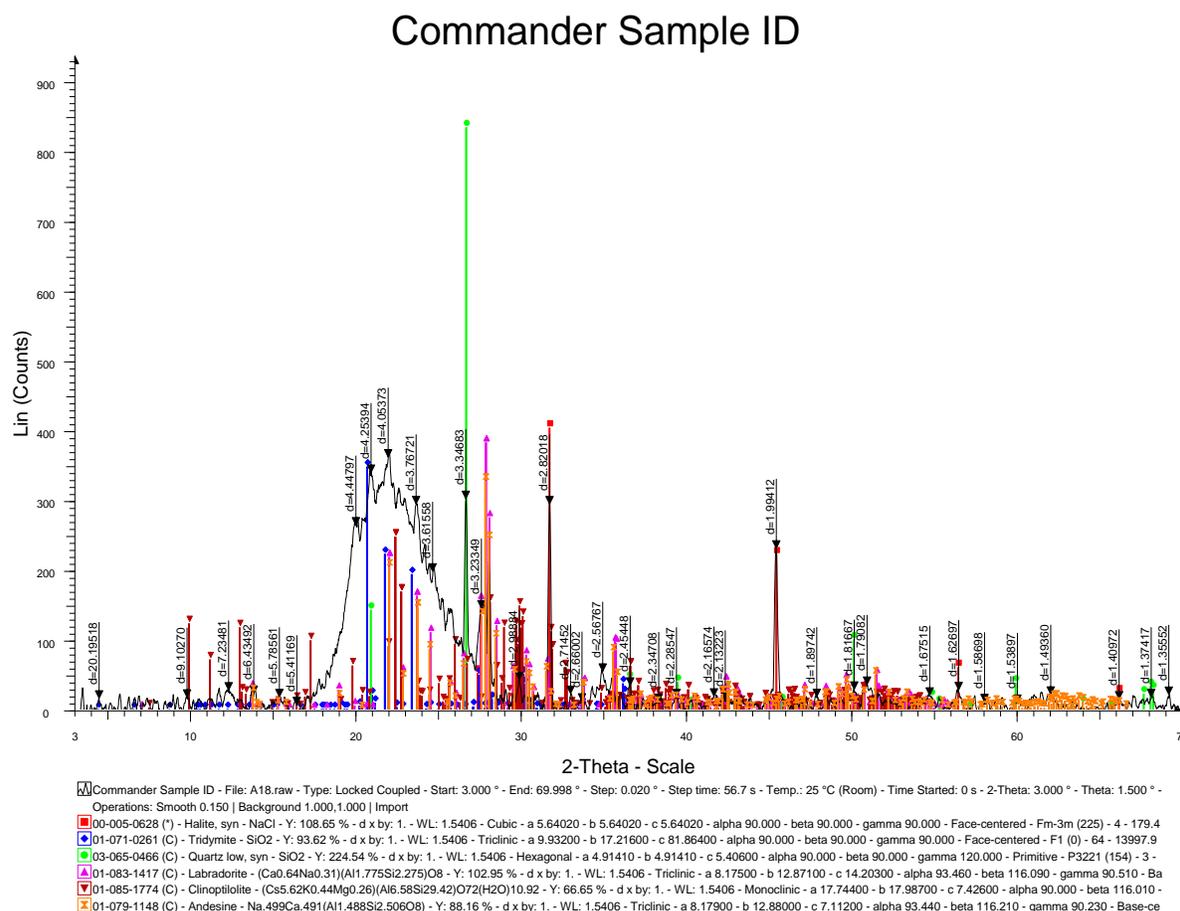


Fig. 68. **Muestra A18.** (Estadio 2, Sección Sur- Central) Dominada por halita, tridimita, cuarzo, labradorita, clinoptilolita y andesina.

En el Estadio 2 de la Columna Norte, las muestras presentan picos elevados correspondientes a silicatos representados por cuarzo y en menor cantidad tridimita (Figura 69); la biotita aparece como única mica dentro de las muestras. Zeolitas tipo mordenita y feldespatos potásicos identificados como microclina son los minerales que complementan el difractograma.

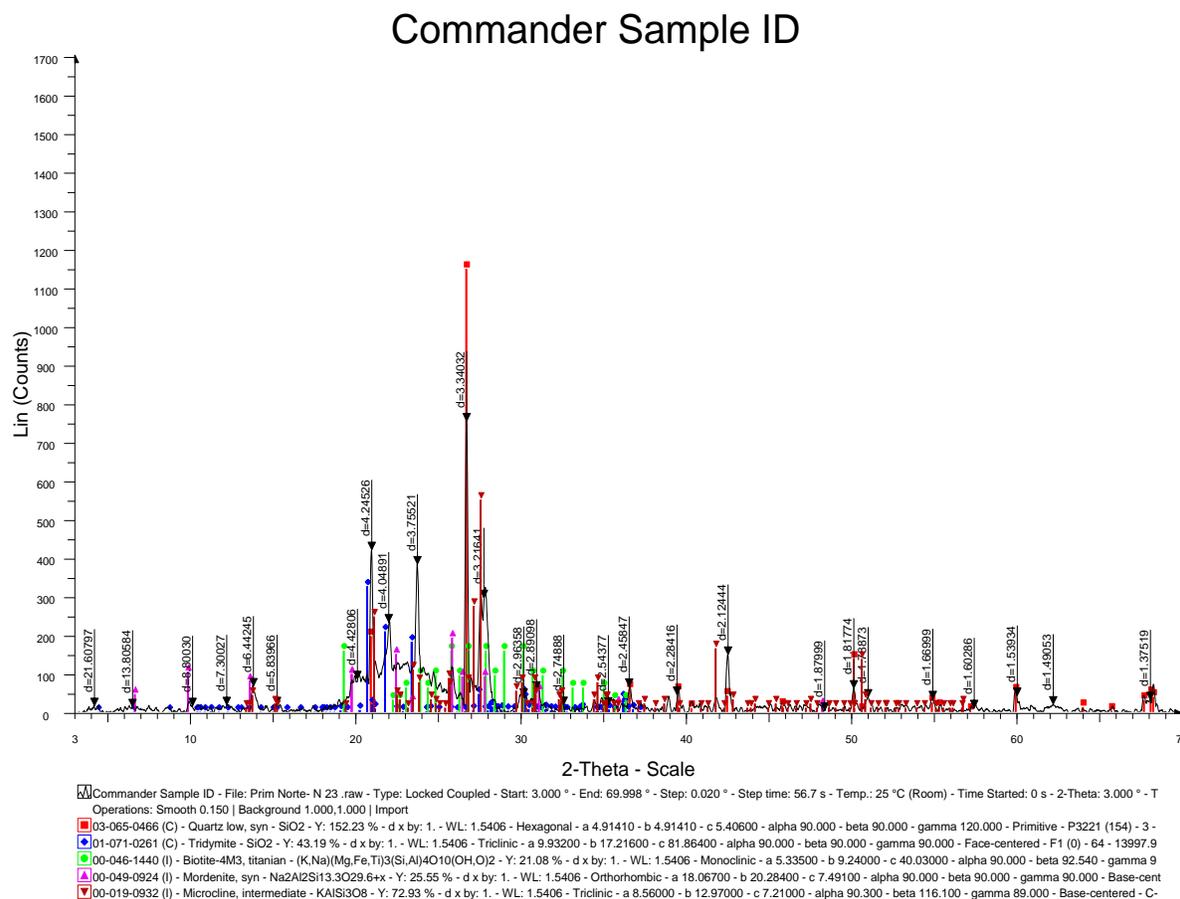


Fig. 69. **Muestra N23** (Estadio 2, Sector Norte). Representado por minerales como Cuarzo, tridimita, biotita, mordenita y microclina entre otros.

El difractograma de la muestra A25 que se ubica dentro del Estadio 3, exhibe los mayores picos de abundancia en silicatos representados por cuarzo y tridimita (Figura 70); destacan arcillas como halloysita y montmorillonita, mientras que dentro del grupo de las plagioclasas sobresale la andesina y de los feldespatos potásicos se identificó microclina.

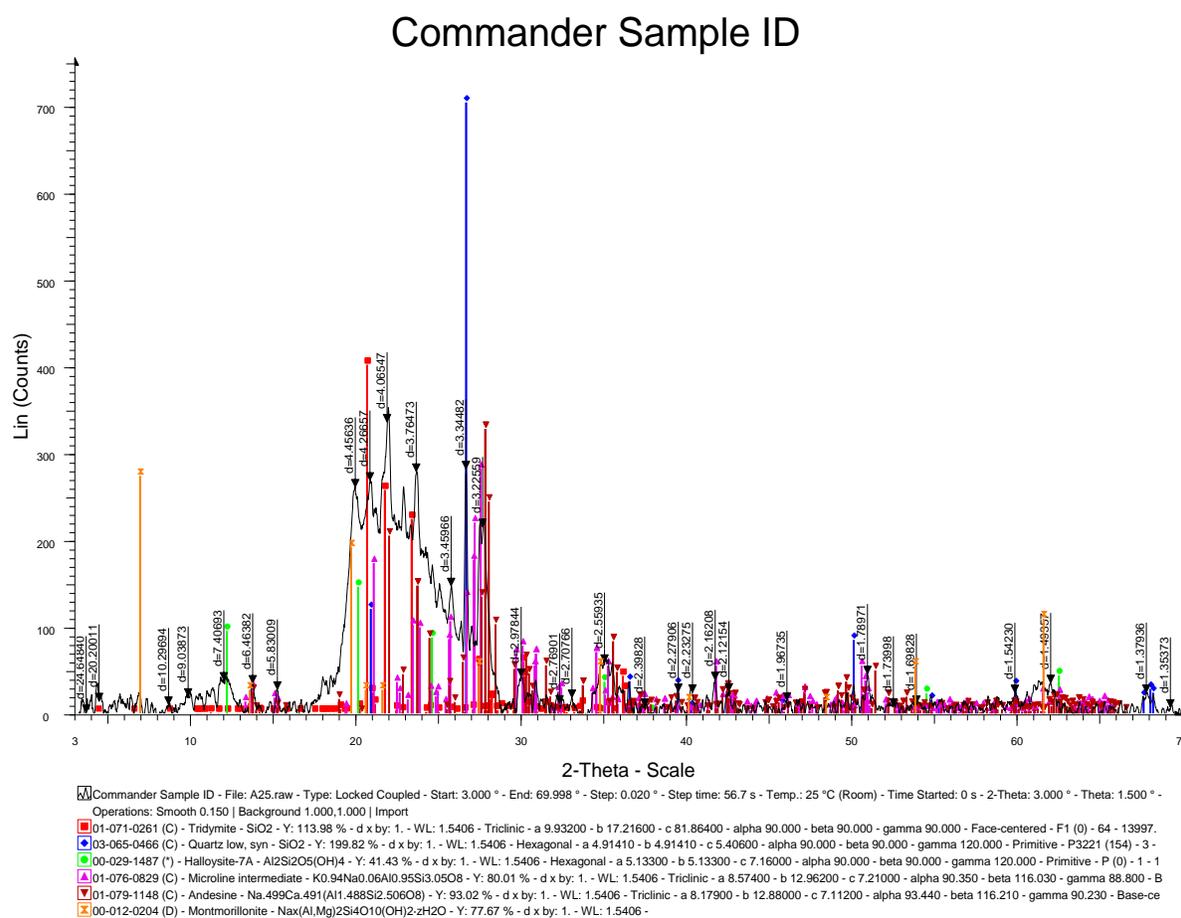


Fig. 70. **Muestra A25** (Estadio 3, Sección Sur- Central). Conformado en su mayoría por silicatos como cuarzo y trimidita, acompañado por halloysita, microclina, andesina y montmorillonita.

## ESPECTOMETRÍA DE INFRARROJO

Se seleccionaron 5 muestras de naturaleza limo arcillosa por columna. Para todas las muestras colectadas en el paleolago de la Primavera, los espectogramas arrojaron la presencia de montmorillonita, mineral perteneciente al grupo de las arcillas, consideradas importantes para determinar condiciones paleoambientales (White, 2003).

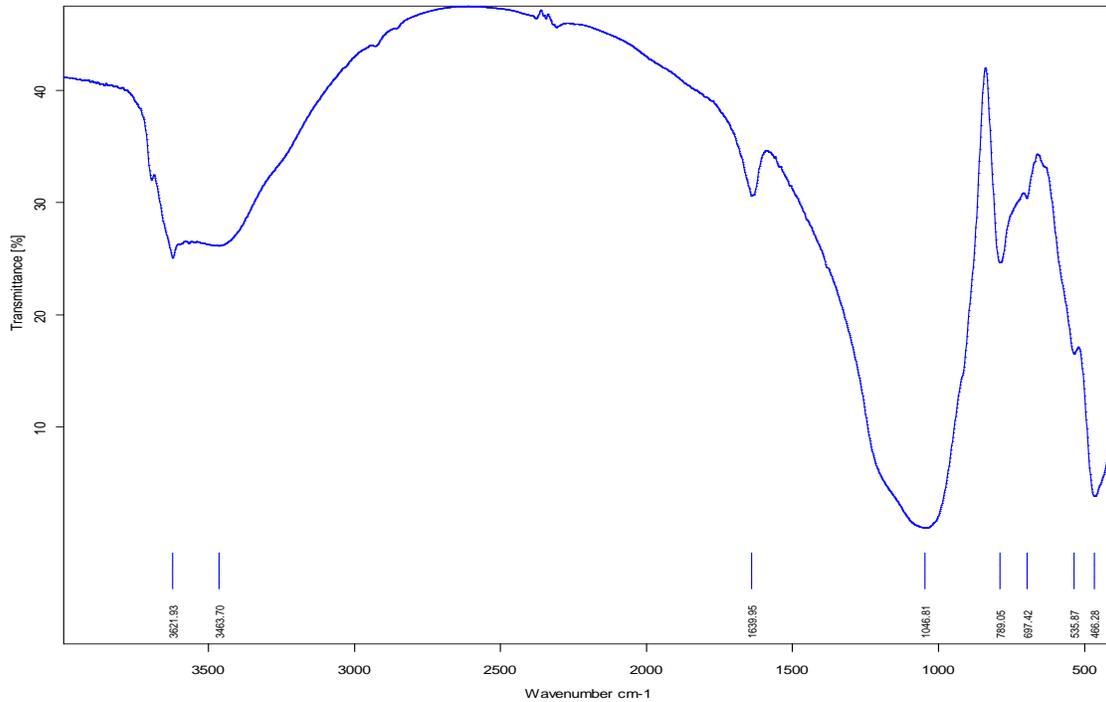


Fig. 71. **Muestra A** (Sección Sur Central). Los espectros obtenidos de las muestras analizadas indican Montmorillonita en toda la secuencia lacustre de la CLP.

## CAPITULO 7. DISCUSIÓN

---

A continuación se discuten las facies características que definen los episodios de llenado del lago y su sucesiva extinción. Estos elementos se pueden observar en dos columnas representativas.

### Columna Sur Central

Esta columna es la más representativa de la zona, en ella se distingue desde la Toba Tala hasta los últimos sedimentos lacustres que conformaron el lago. Además de ello es considerado el depocentro del lago, es decir, la zona el máximo desarrollo lacustre (Mahood 1980, 1981).

En la base se encontró un depósito de surge asociado a la Toba Tala; este viene sobreyacido en contacto erosivo por depósitos de caída que están intercalan con estratos delgados de sedimentos limoarcillosos correspondientes al denominado lacustre inferior (Estadio 1). Estructuras sedimentarias como pequeñas rizaduras se pueden relacionar a corrientes de baja energía; mientras que la presencia de sismitas en estos niveles podría estar asociada al incremento de la actividad sísmica, previo al ascenso del magma riolítico que dio origen a la Mega Pómez y el Nehajete.

En las muestras limo arcillosas se encontraron diatomeas que marcan el inicio del lago. Destaca por sus porcentajes las especies *Cocconeis placentula*, *Nitzschia* sp., *Rophalodia* sp. y *Campylodiscus clypeus*; estas formas sugieren un hábitat de aguas bajas, y una rica vegetación acuática con un tirante de agua probablemente menor a dos metros. Sucesivamente hacia la cima, -pero previo al depósito de Pómez Gigante- la litología se vuelve más fina, en este momento las diatomeas pennales son desplazadas por formas centrales como *Cyclotella meneghiniana* y *Pseudocyclotella primaverensis*, esto sugiere que la profundidad del paleolago estaba incrementándose paulatinamente antes del depósito de la Mega Pómez, pero sin llegar a ser un tirante de agua representativo. La presencia de halita en las muestras colectadas en este Estadio, se asocian y confirman un lago somero con aguas sobresaturadas que presentaba fluctuaciones y alta evaporación, lo que permitió la precipitación de las sales relacionados en periodos estacionarios.

Escasas diatomeas fueron encontradas dentro de la matriz de la Pómez Gigante, de las que destacan *Nitzschia sp.*, *Mastogloia smithii*, *Navicula sp.*, y *Aulocoseira granulata* como única especie central. Los ejemplares presentan en general moderado retrabajamiento e infieren un tirante de agua somero.

Para el Estadio 2 se detecta una propia actividad lacustre. Sin embargo, esta inicia en su base por un depósito fluvial que consiste de una serie de conglomerados polimicticos que llegan a integrarse dentro de pequeños paleocanales, estos van siendo colmatados en forma transicional por una sedimentación más fina, el lago continua extendiéndose pero sin llegar a convertirse en un cuerpo de agua profundo. Cabe destacar la presencia de grietas de desecación que muestran superficies de oxidación, indicando periodos de sequía cercanos al término de este episodio. Lo anterior se comprueba debido a la existencia de halita para estos niveles lacustres, indicando menor aporte de aguas y mayor evaporación en la caldera.

Sucesivamente hacia la cima del Estadio 2 el lago alcanza su máximo desarrollo dominando formas centrales que incluyen a *Cyclotella meneghiniana* y *Pseudocyclotella primaverensis* alcanzando porcentajes mayores al 50%. Estas diatomeas vienen acompañadas, en bajos porcentajes, por formas pennales entre las que destacan *Nitzschia sp.*, *Cocconeis placentula*, *Fragilaria construens*, *Navicula sp.*, *Rhopalodia gibba* y *Campylodiscus clypeus* entre otras. Estas asociaciones de algas sugieren aguas neutro- alcalinas, con baja turbidez y alta conductividad (Figura 72).

Se distingue en el Estadio 3 una disminución notable de la sedimentación lacustre. La base está representada por facies fluviales que incluyen conglomerados polimicticos. Estos vienen cubiertos, en contacto erosivo, por un paquete de arenas medias que pasan a limos de gruesos a finos. En estos depósitos finos el análisis micropaleontológico detectó que la variedad y cantidad de especies de algas disminuyen especialmente las formas centrales, mientras que las diatomeas penales tales como *Cocconeis placentula*, *Fragilaria construens*, *Navicula trivialis*, *Nitzschia sp.*, *Rhopalodia gibba*, *Denticula sp.*, *Achnanthes sp.*, *Ghomponema sp.*, denotan un lago de aguas neutro- alcalinas, con moderada a alta conductividad. Le acompañan a estas diatomeas espículas de esponja y fitolitos que indican abundante vegetación acuática, y una rivera cubierta de pastos. Estos restos silíceos en conjunto con las algas, indican fluctuaciones en el tirante de agua y el posible desarrollo de Ciénegas que

fragmentan el hábitat lacustre hasta la desaparición del lago, ocasionado por el levantamiento del terreno (Mahood, 1980).

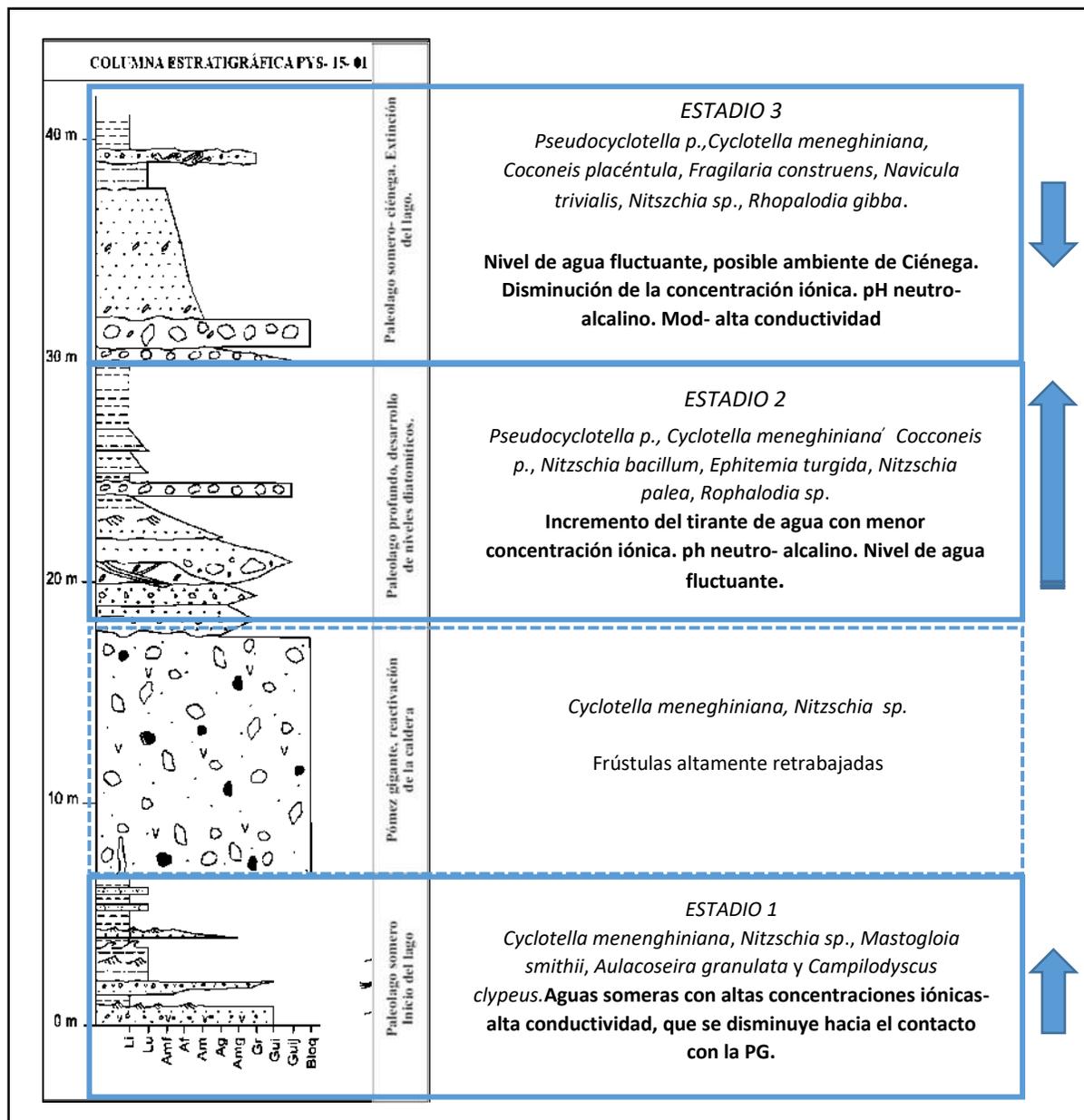


Fig. 72. Resumen de la actividad lacustre en la el lago Sur Central. Las flechas azules a la derecha indican el aumento o la disminución de la profundidad.

## Columna Norte

Mientras que en la sección Sur Central el Estadio 1 es constantemente interrumpido por depósitos volcanoclásticos, en la columna Norte el desarrollo del lago parece más continuo. El paquete lacustre queda representado por limos y arcillas de tonos blanquecinos con diatomeas que se correlacionan al nivel lacustre inferior de la columna Sur central (*Cyclotella meneghiniana*, *Nitzschia sp.*, *Mastogloia smithii*, entre otras). Por las que las condiciones ambientales son similares, es decir, se puede considerar el mismo cuerpo de agua.

Contrariamente, en el Estadio 2 (lacustre superior) para la zona norte se denota un notable incremento de la actividad fluvial que se representa por grandes depósitos de canales asociados a facies fluvio deltaicas. El desarrollo lacustre para esta área es inferior al del área Sur Central, los incipientes niveles de sedimentos del paleolago (con espesores de los estratos < 2cm) alternados con depósitos de caída muestran un desarrollo pobre del cuerpo de agua (Figura 73).

El aporte constante de drenes fluviales hacia este lago impide la sedimentación del material fino como limos y arcillas, sin embargo, en periodos de tranquilidad estos sedimentos lacustres se precipitan junto con el material algáceo.

Las diatomeas presentes (*Pseudocyclotella primaverensis*, *Cyclotella meneghiniana*, *Nitzschia sp.*, y *Mastogloia smithii*) se encuentran acompañadas por abundantes cenizas. En este momento de la evolución del paleolago se sugiere un incremento del tirante de agua en el lago somero con aguas de moderada- alta conductividad, mientras que la presencia de *Achnanthes minutissima* sugiere la presencia de manantiales y aguas bien oxigenadas ricas en Sodio (Vázquez y Caballero, 2016).

Para esta zona el Estadio 3 no pudo determinarse, la inaccesibilidad del afloramiento a los niveles superiores no permitió el muestreo y medición de los estratos.

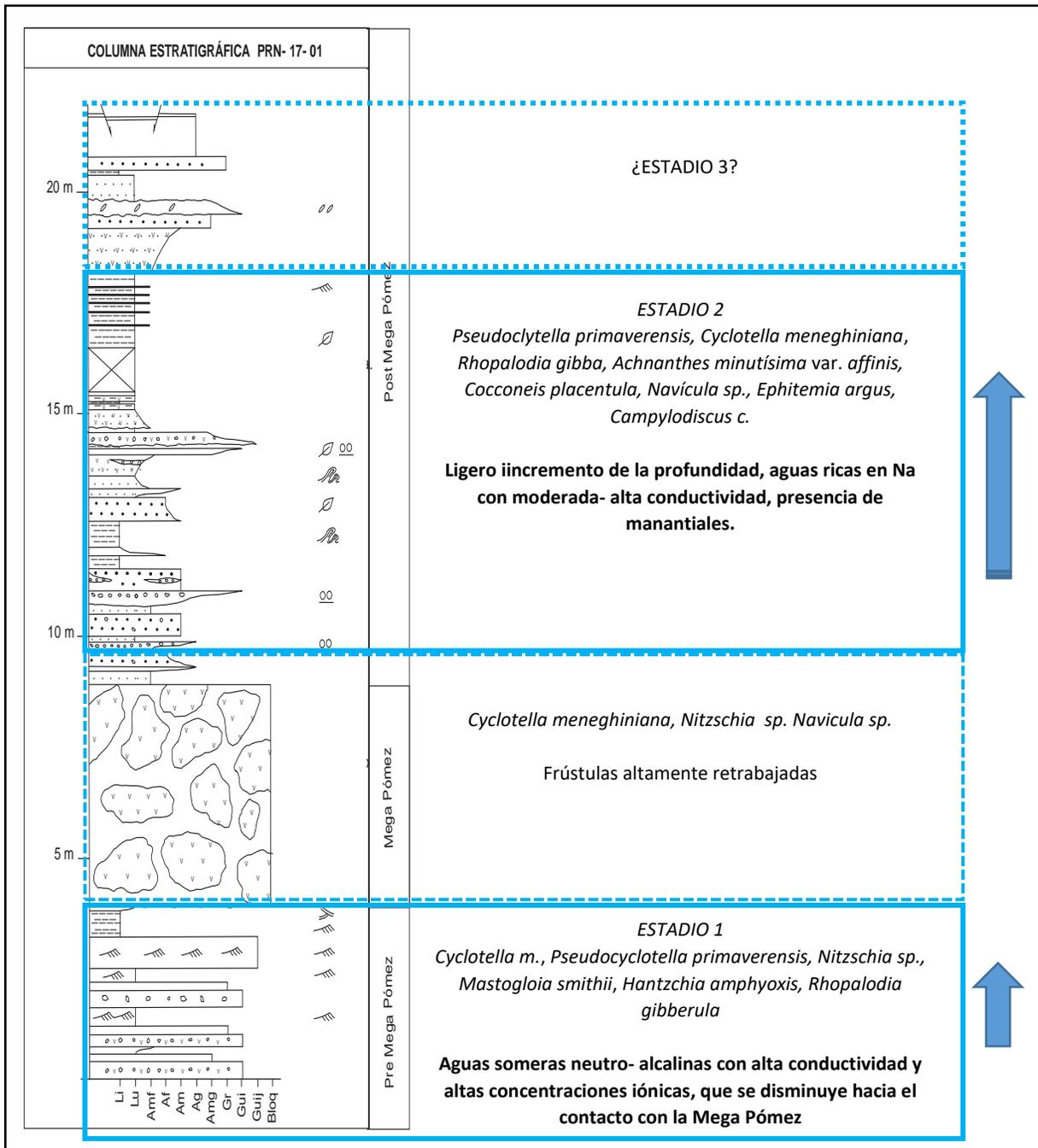


Fig. 73. Esquema simplificado del desarrollo del lacustre Norte. Las flechas azules a la derecha indican el aumento o la disminución de la profundidad.

Respecto al debate relacionado con la profundidad del lago durante la emisión de la Mega Pómez, modelos físicos experimentales realizados por White *et.al*, en el 2000 determinan el tiempo de decantación de fragmentos de pómez con 12mm de diámetro hasta en 1000 horas (figura 74).

La flotabilidad de la pómez permite que los clastos más grandes permanezcan más tiempo en la superficie del agua comparado con los fragmentos pequeños que suelen hundirse mucho más rápido; esto puede explicarse debido a la saturación de agua dentro de los poros y vesículas de la roca. Lo anterior explica porque la mayoría de los depósitos de pómez asociados a un ambiente lacustre presentan gradación inversa (Manville *et al.*, 1998).

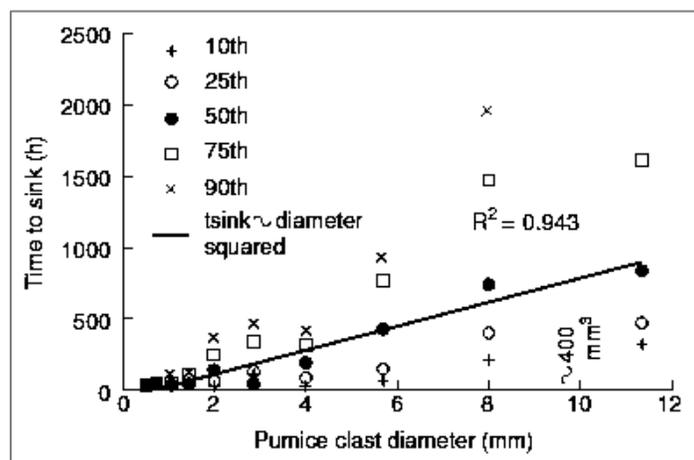


Fig.74. Gráfico del tiempo de decantación (90%) de fragmentos de pómez de hasta 12 mm de diámetro, lago Taupo (tomado de White, *et al.*2000)

Otra razón que pone en duda la teoría de un lago profundo son las arcillas que componen los sedimentos lacustres, cuyos espectros de infrarrojo señalan montmorillonita. Recordemos que este grupo ejerce un control significativo sobre la composición de los fluidos acuosos, debido a las reacciones químicas que las forman, sus capacidades de adsorción y de intercambio de iones (White, 2003). Sólo las arcillas en sentido mineralógico tienen la capacidad de intercambiar sus iones con los de la solución circundante y son capaces de concentrar elementos traza, debido a su química de superficie (los cuales proporcionan información para la interpretación de ambientes antiguos, ya que son los elementos más inmóviles). Por ejemplo Montmorillonita e illita se forman en lagos hospedados en rocas ricas en iones ferrosos, Ca y Mg (condiciones alcalinas en agua); los lagos suelen ser salados

y en ellos se forman depósitos carbonatados; indicando climas semiáridos y aguas saladas. Por el contrario la caolinita indica abundante agua (>Precipitación, < evaporación); aguas alcalinas, pH inferiores a 7 y condiciones oxidantes (White, 2003).

Por lo tanto la zona Sur Central de la caldera de la Primavera (considerada el depocentro del paleolago y por ende el de mayor profundidad), adolece de algunos criterios sedimentológicos y micropaleontológicos para sustentar un la teoría de un lago profundo. Esta observación se basa en lo siguiente:

- a) La gradación inversa se daría en caso de que hubiese existido un ambiente lacustre profundo, los clastos pumiciticos más grandes deberían permanecer más tiempo en la superficie del agua ya que tienen mayor área superficial y por lo tanto requerirían hasta cientos de horas para que se saturaran de agua. Este hecho lleva a hipotizar que en el paleolago de la Primavera el nivel del agua no era lo suficiente profundo para generar este fenómeno.
- b) Desde el punto de vista micropaleontológico, en el análisis detallado por centímetro de los paquetes lacustres no se observaron especies que fueran características de ambientes profundos, es decir *Stephanodiscus niagarae* y sus formas afines indicadoras de lagos con un tirante de agua mayor a 15 metros que han sido observadas en lagos durante el Pleistoceno tardío en Chapala y Cuitzeo (Israde *et al.*, 2017).
- c) El análisis mineralógico de las arcillas arrojó la presencia de montmorillonita, que de acuerdo a White (2003) se forma en lagos hospedados en condiciones alcalinas, donde el cuerpo de agua suelen ser salado y afectado condiciones semiáridas.
- d) Para todos los Estadios 1 y 2, las muestras analizadas por DRX exhiben halita como uno de los componentes principales. Este mineral queda asociado a ambientes cálidos y secos, en lagos salados donde la evaporación es mayor que el aporte de agua y son comunes las fluctuaciones en el tirante de agua somero (Figura 75).

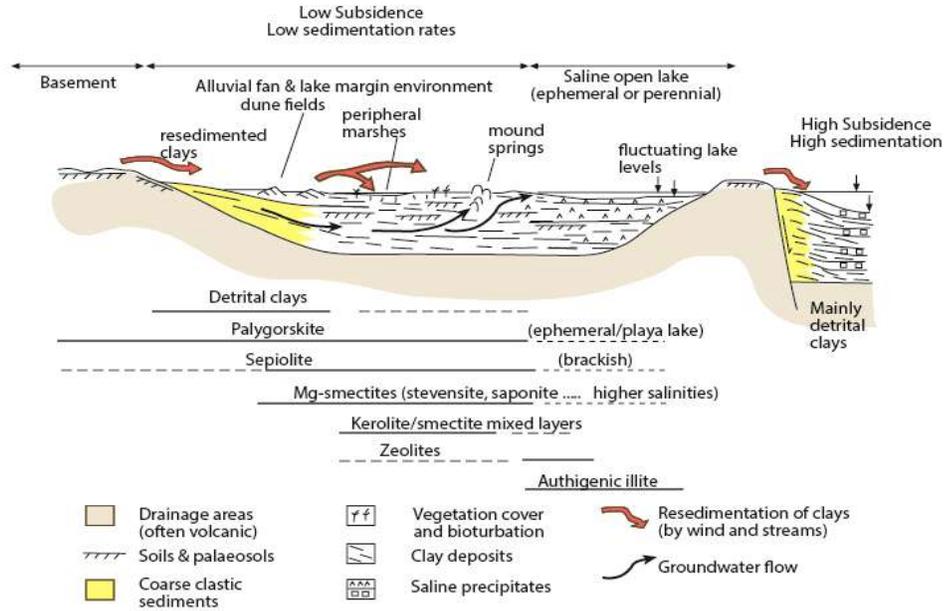


Fig. 75. Distribución de precipitaciones salinas en un lago, nótese la asociación a los niveles de fluctuación en el lacustre (Tomado de: <http://www.saltworkconsultants.com/blog/saline-clays>).

Recordemos que Maciel (2006), comparó el lago extinto de la Primavera con dos lagos cráteres actuales: Los Negritos en Michoacán y Santa María del Oro en Nayarit, ambos con un lecho lacustre irregular ya que su batimetría revela la existencia de concavidades profundas que los hacen tener pendientes fuertes y zonas relativamente planas; ello explicaría porque en los márgenes del paleolago de la Primavera la sedimentación lacustre es pobre, mientras que en el área central es más continua generando más aporte de material en la zona sur central. Sin embargo, dado las diferencias sedimentológicas, diatomeas contenidas en ambas secciones, la presencia de halita y montmorillonita, se difiere de la idea de la existencia de un cuerpo profundo.

El hecho de que se haya instaurado la caldera indica la presencia de una depresión que fue idónea para el inicio del relleno de material empezando por facies fluviales, que van cambiando a un sistema lacustre donde las condiciones climáticas permitieron su desarrollo. La actividad de la caldera continúa todo el tiempo vertiendo productos vulcanoclásticos en el paleolago y que tiene su máximo paroxismo con la emisión de la mega Pómez. En este momento ¿se genera un basculamiento? que desplazó el lago derramándose hacia el norte y la sucesiva emisión del domo Nejahuete que separó ambas secuencias lacustres son correlacionables a partir del análisis de facies sedimentarias.

El segundo episodio es posible correlacionarlo en ambos sectores debido a la presencia de material carbonizado, estos cubrieron ambos lagos y se asocian a los incendios previamente identificados por Mahood (1980,1981) y Maciel (2006). Respecto al material fosilífero reportado por Maciel Flores (2006), cuyas edades datadas por C<sup>14</sup> proporcionan edades que van de 38- 39 ka y que se encuentran situadas en estratos sobreyacientes a la Pómez Gigante, se sugiere un error en la datación de los mismos. Muestras de conos y fragmentos de carbón tomados durante este estudio en la Sección Norte, y ubicados en estratos que parecen correlacionables con los de Maciel (2006), fueron analizados con el mismo método de datación; resultando que el material orgánico supera el límite de detección del isótopo (~40, 000 años). Ello no es de extrañarse, debido a que dataciones más recientes de los depósitos de tefra que cubren los últimos depósitos lacustres arrojan edades de ~79 Ka (Sourisseau en UGM, 2016).

El tercer episodio de relleno del sistema indica el término del lago. En él, se establecen depósitos de caída que han sido observados en contacto discordante angular con los depósitos fluvio-lacustres previos.

Desde el contexto climático, el desarrollo del paleolago entre los 95 a 75- 60 ka se puede asociar con el estadio isotópico MISa y b (figura 76). En este periodo del Último interglacial las condiciones climáticas eran más idóneas para el desarrollo y progreso de cuerpos de agua, debido al incremento de la humedad continental. Diversos especialistas (Stevens, 1980; Caballero y Ortega 1998; Caballero *et al*, 1999, 2002 y 2006); han establecido que en los últimos 80 000 años las temperaturas han sufrido variaciones originando periodos más fríos y cálidos, cuyas etapas duraban de 1000- 2000 años y los cambios de temperatura diferían hasta 5°C. Las condiciones ambientales de la Primavera para el inicio del lago debieron ser más cálidas, mientras que su fin coincide con el principio del último periodo glacial (Winsconsiniano) que si bien afectó el lacustre, no originó su desaparición que se considera asociada mayormente a factores tectónicos y volcánicos.

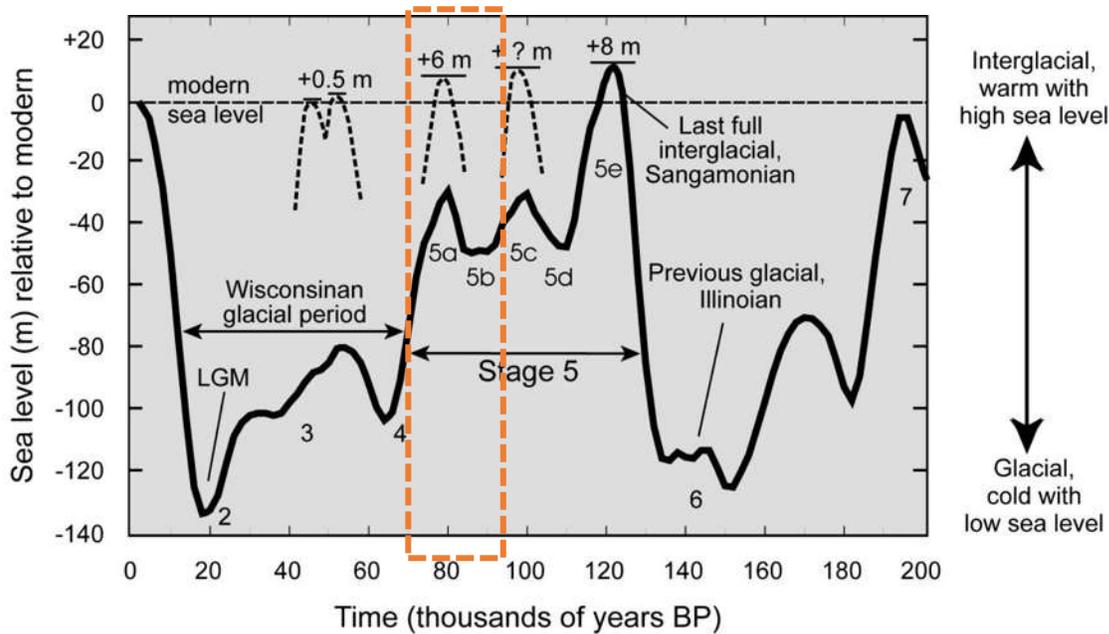


Fig.76. Detalle del MIS 5 (Marine Isotopic Stage), la línea punteada indica el tiempo donde queda comprendido la evolución del paleolago de la Primavera (tomado de: <http://www.writeopinions.com/marine-isotope-stage>)

En general los resultados mineralógicos obtenidos de las muestras seleccionadas en la Primavera, corresponden a un entorno propio del volcánico, donde el alto contenido de sílice queda explicado por la naturaleza riolítica de la caldera, al igual que las plagioclasas (andesina) y feldespatos (sanidino y microclina) que son minerales comunes en las rocas ígneas. Las arcillas presentes como halloysita y montmorillonita son el resultado de la alteración de silicatos en condiciones alcalinas como las sugeridas en la zona de estudio.

De todo lo anterior se puede resumir que el desarrollo del paleolago de La Primavera se vio principalmente afectado por la actividad volcánica de la zona (Figura 77), en segundo lugar, por el clima (último interglaciar) y en tercer lugar la tectónica. Los tres factores tuvieron distintos pesos en la evolución de la caldera, siendo en el Estadio 1 la actividad volcánica; mientras que para el Estadio 2 la influencia climática jugó un papel más importante; por último, para el Estadio 3, fue la tectónica que produce el levantamiento y cierre del ciclo limnico.

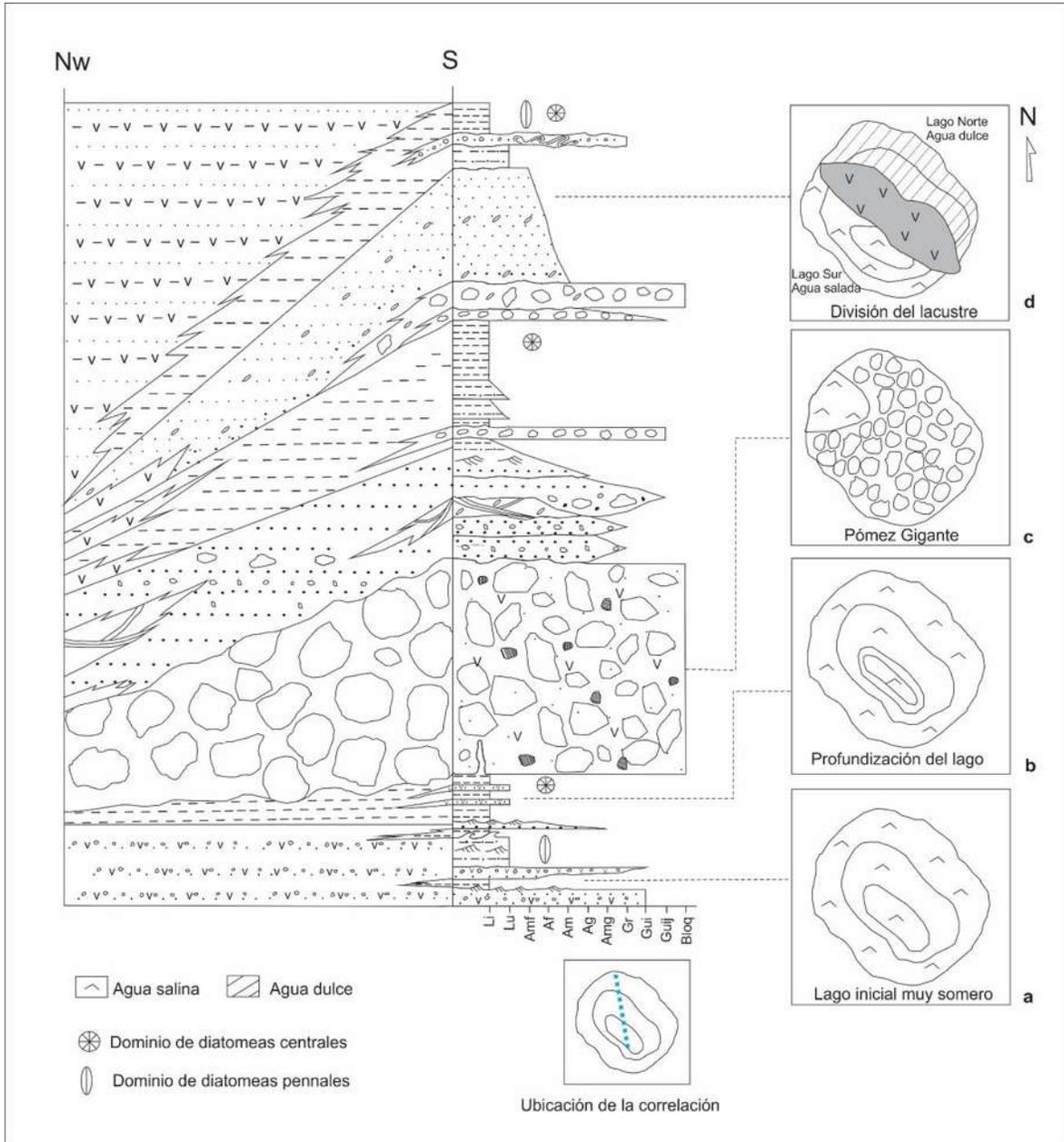


Fig.77. Esquema evolutivo del paleolago de la Primavera. Del lado derecho se observa la correlación estratigráfica entre las dos secciones. El lado izquierdo muestra el desarrollo del lacustre: a) Inicia un lago muy somero de agua salada, b) Ligero aumento del tirante de agua, c) Depósito de la Pómez Gigante, d) División de la secuencia lacustre

### *Pseudocyclotella nov. specie*

A lo largo del análisis microscópico de las algas obtenidas se observó una especie que no pudo ser identificada. Si bien esta diatomea vista desde el microscopio de luz es muy similar a *Cyclotella meneghiniana* y *Cyclotella distinguenda*, es decir, con una ondulación tangencial en el área central del manto valvar, no presenta dos patrones de ornamentación como ellas, sino tres. Al igual que *Cyclotella m.* en las diatomeas centrales de la Primavera la presencia de espinas marginales se observa solo en algunos ejemplares, esto se distinguió gracias a las imágenes obtenidas por medio del Microscopio Electrónico de Barrido (Figura 78).

*Pseudocyclotella nov. specie* hace su aparición en las muestras intermedias del Estadio 1, es decir en los sedimentos previos al depósito de la Pómez Gigante, cuando sólo existía un lacustre, aunque no se presenta desde el inicio del desarrollo del lago.

En todas las muestras revisadas, *Pseudoclytella primaverensis* (nombre propuesto en alusión al nombre de la zona de estudio) aparece acompañada de *Cyclotella meneghiniana* y su presencia se observa hasta la extinción de cuerpo de agua (ver Plancha A).

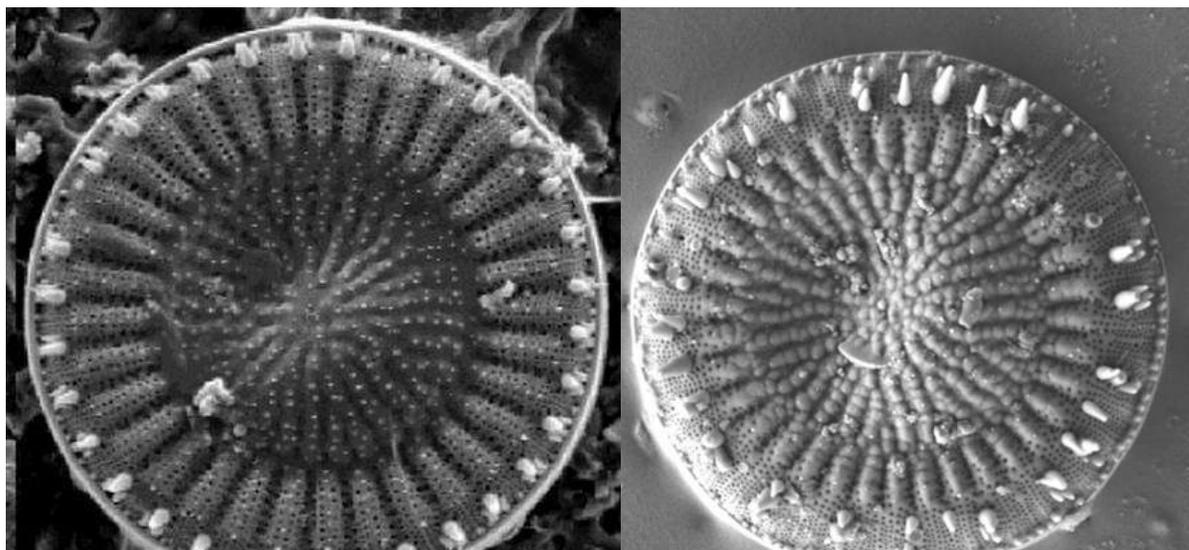


Figura 78. Comparación entre *Cyclotella meneghiniana* (a) y *Pseudocyclotella primaverensis* (b). Observe la similitud en la ondulación del manto valvar y las espinas marginales intercostilla, sin embargo, *Pseudocyclotella p.* exhibe tres patrones de ornamentación y la disposición de las espinas es ligeramente más interna; además de ello, posee tamaños que varían de 5- 20  $\mu\text{m}$ , mientras que los ejemplares de *Cyclotella meneghiniana* van de 5-43  $\mu\text{m}$  (imagen “a” tomado de: [http://portal.mapama.gob.es/id\\_tax/ficha/buscador/2/2342](http://portal.mapama.gob.es/id_tax/ficha/buscador/2/2342)).

*Pseudoclycotella primaverensis* se caracteriza por tener diámetros de 5-25  $\mu\text{m}$ ; una depresión tangencial en la parte central de la valva; tres patrones de ornamentación radiales (Figura 79); espinas intercostillas en la parte final del segundo patrón ornamental, acompañadas por 3-4 espinas menores distribuidas hacia la zona externa del manto valvar; con cingulos de 2-3  $\mu\text{m}$  de espesor (Figura 80).

Las características distintivas de *Pseudoclycotella primaverensis*, no permitieron situarla dentro de las especies reportadas en la taxonomía actual, por lo que se consultó con expertos diatomistas como Galina Khursevich, que descartan el reporte de esta especie a nivel mundial y sugirieren la posibilidad de una nueva.

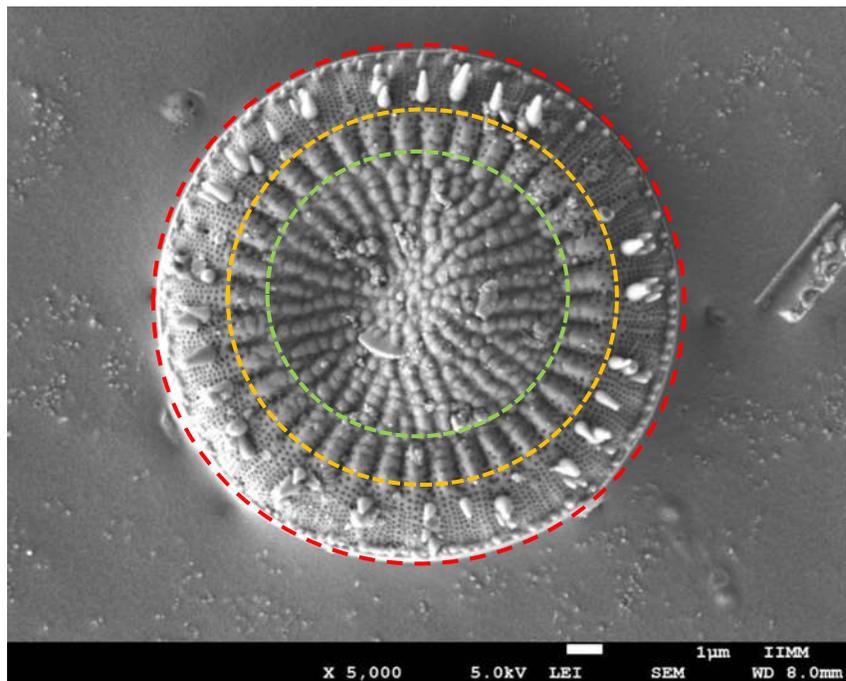


Fig. 79. 3 patrones de ornamentación distintos en el manto valvar de *Pseudoclycotella primaverensis*.

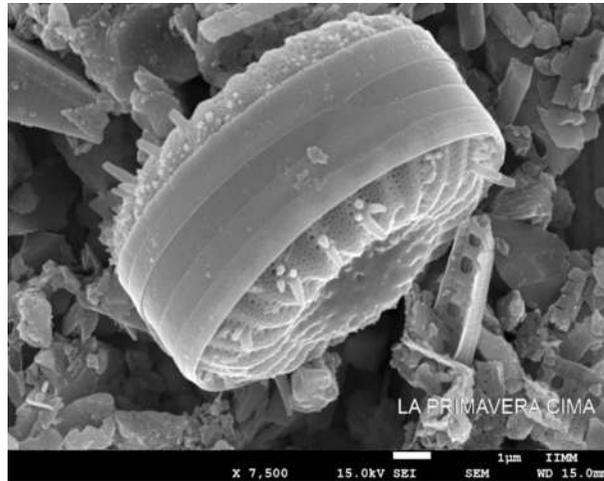


Fig 80. Detalle del epicíngulo que conecta epiteca e hipoteca de una frústula de *Pseudoclycotella primaverensis*. El cinturón conectivo, mide aproximadamente 2.5 µm.

## CAPITULO 8. CONCLUSIONES

---

Para el Pleistoceno Tardío en la Caldera La Primavera existió la presencia de un lacustre que se vio afectado por la constante actividad volcánica de la zona. El lago, inició como un cuerpo de agua somero (menor a 3 metros de profundidad), con pH de neutro a ligeramente alcalino, alta conductividad y altas concentraciones iónicas. Cuando el tirante de agua comenzó a incrementar, su desarrollo se vio interrumpido hace 89.8 Ka por una explosión hidromagmática, generando un horizonte de Pómez Gigante de composición riolítica que cubrió gran parte del lago (Tinoco, 2017); aunado a la explosión, el surgimiento de un domo en la zona central de la Caldera (conocido como El Nehajute) ocasionó que el paleolago de la Primavera se dividiera en dos cuerpos: el lago Sur Central y el lago Norte.

El lago Sur Central es el que presenta mayores espesores de sedimentación lacustre, aunque su desarrollo se ve continuamente interrumpido por la actividad volcánica de la zona y el aporte de fluviales, los depósitos lacustres se llegan a presentar en una sucesión de estratos limo arcillosos de tonos blanquecinos con laminaciones y escasas rizaduras que denotan corrientes de baja energía; la presencia de materia orgánica carbonizada corresponde a los 4 grandes incendios reportados en la CLP (Mahood, 1980 y Maciel 2006).

El conjunto de diatomeas permitió inferir un cuerpo de agua un poco más profundo que el lago inicial, con aguas sin turbidez, pH neutro con tendencia a la alcalinidad y moderada-alta conductividad. Posteriormente el lacustre comenzó con periodos de sequía que se representan por grietas de desecación con óxidos identificados en algunos estratos. La presencia de halita en las muestras mineralógicas comprueba la existencia de niveles fluctuantes en un bajo tirante de agua de un lago relativamente salado, afectado por un clima semiárido. De igual forma, la cuenca se empieza a rellenar más rápidamente y el aporte fluvial comienza a ser mayor comparado con la sedimentación lacustre, ello se ve representado por grandes niveles de conglomerados polimícticos con matriz compuesta por arenas.

Sucesivamente inicia un periodo de estabilidad que permite el depósito del último desarrollo lacustre que corresponde al Estadío 3, o la etapa final del lago; en este se distingue escasos niveles de limos y arcillas de tonos ocre intercalados con depósitos de cenizas.

Mientras el lago Sur Central se ve mayormente influenciado por depósitos volcanoclásticos, el lago Norte se desarrolla en un ambiente con dominio fluvial. Posterior al horizonte de Pómez Gigante.

La sedimentación en esta área consiste en depósitos de cenizas y pómez intercalados con pequeños niveles fluviales de arenas finas-medias. Sobreyaciendo este paquete en contacto erosivo, grandes canales rellenan la cuenca destacando arenas y guijas subredondeadas.

La energía de las corrientes fluviales después de estos niveles disminuye, y la secuencia vuelve a ser dominada por depósitos de arenas, las cuales se interdigitan con estratos de cenizas y sedimentos lacustres (estratos <2 cm de espesor); en éstos sobresale la presencia de carbón orgánico y estructuras de deformación tipo slumps.

Las diatomeas analizadas en las muestras de esta sección, sugieren un lago somero con aguas ricas en sodio, de pH neutro a alcalino, moderada- alta conductividad, así como presencia de manantiales.

Respecto al origen de los horizontes con material carbonizado dentro del paleolago y que corresponden a incendios reportados por Mahood y Maciel (1980, 2006) dentro de la caldera, posiblemente sean producto del depósito de tefras cuyas altas temperaturas pudieron generar la carbonización del bosque aledaño al paleolago. La mayoría del material carbonizado presenta alto retrabajamiento lo que sugiere, fue transportado por las corrientes fluviales que ingresaban al cuerpo de agua. Los conos de pino fosilizados dentro de la secuencia podrían considerarse que se preservaron porque se ubican en las periferias del lacustre, es decir, en las orillas del lago.

Mineralógicamente las muestras de la Primavera exhiben ensambles minerales propios de ambientes volcánicos, como silicatos (cuarzo y tridimita), plagioclasas (andesina), feldespatos (microclina y sanidino) entre otros. La importancia de la presencia de halita y arcilla tipo montmorillonita radica en que su desarrollo se ha observado asociado a ambientes lacustres someros.

Se propone una nueva especie de diatomea central encontrada en el Paleolago de la Caldera La Primavera: *Pseudocyclotella primaverensis* destaca en sus frústulas diámetros que van de

5 hasta 20  $\mu\text{m}$  cuyos cinturones conectivos ostentan grosores de 2-3  $\mu\text{m}$ . Se distingue una ondulación tangencial en el centro del manto valvar, así como tres patrones de ornamentación distintos, sus espinas se localizan en las intercostillas periferias acompañadas de tres espinas secundarias que se distribuyen de forma circular hacia el cinturón conectivo.

De todo lo anterior se concluye que factores como la ausencia de diatomeas propias de ambientes profundos en las muestras colectadas de ambos lagos y la presencia de montmorillonita en toda la secuencia lacustre (considerada una arcilla asociada a ambientes lacustres de profundidades bajas en ambientes semiáridos ) permiten descartar la teoría que existió un lago profundo para la zona de estudio.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alaníz – Álvarez, A. S., Nieto – Samaniego, A. F., Orozco - Esquivel, M. A., Vasallo, L. F. y Xu, S., 2002. **El Sistema de fallas Taxco – San Miguel de Allende: Implicaciones en la deformación post-eocénica del centro de México.** Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana. Tomo LV. Núm. 1. 12 – 19 pp.
- Alatorre – Zamora, M. A. y Campos – Enríquez, J. O., 1992. **Structure inferred from gravity and hydrological considerations.** Geofísica Internacional. Vol. 31. Núm. 4. 371 – 382 pp.
- Allan, J., Nelson, S., Luhr, J., Carmichael, I., Wopat, M. y Wallace, P., 1991. **Pliocene – Recent rifting in SW Mexico and associated volcanism: an exotic terrain in the making,** en Dauphin, J., Simoneit, B., (eds.). The gulf and peninsular province of the californias: Tulsa, Oklahoma, American Association of Petroleum Geologist, Memior. Vol. 47. 425 – 445 pp.
- Caballero, G. V y Vázquez G., 2013. **The structure and species composition of diatom.** Diatom Research. Vol. 28 (1). 77 - 91 pp.
- Cox, E. J., 2011. **Morphology, cell wall, cytology, ultrastructure and morphogenetic studies.** The diatom world. Springer Netherlands. 21 -45 pp.
- Dalu, T., Taylor, J. C., Richoux, N. B. y Froneman, W., 2015. **A re-examination of the type material of *Entomoneis paludosa*.** Fottea, Olomouc. Vol. 15 (1). 11 – 25 pp.
- Demant, A., 1978. **Características del Eje Neovolcánico Transmexicano y sus problemas de interpretación.** Instituto de Geología. Vol. 2, Núm. 2. 172 – 187 pp.
- Denys, L. y De Wolf, H., 1999. **Diatoms as indicators of coastal paleo-environments and relative sea-level change.** Cambridge University Press. 277 – 297 pp.

- Ferrari, L. y Rosas – Elguera, J., 1999. **Late Miocene to Quaternary extension at the northern boundary of the Jalisco block, western México: The Tepic – Zacoalco rift revised.** Geological society of America. 334 pp.
- Ferrari, L., Orozco – Esquivel, T., Manea, V. C. Y Manea M., 2012. **The dynamic history of the Trans – Mexican Volcanic Belt and the Mexico subduction zone.** Tectonophysics. 522 – 523, 122 – 149 pp.
- Ferriz, H. y Mahood G. A., 1986. **Vulcanismo riolítico en el Eje Neovolcánico Mexicano.** Geofísica Internacional. Vol. 25 (1). 117 – 156 pp.
- Gómez – Tuena, A., Orozco – Esquivel, M. T. y Ferrari, L., 2005. **Petrogénesis ígnea de la Faja Volcánica Transmexicana.** Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana. Vol. 57. Núm. 3. 227 – 283 pp.
- Gómez R. & Murillo R. (2006) Espectrometría de Infrarrojo. Universidad Nacional Autónoma de México, 14pp.
- Guillard, R. R.L., Kolham, P., 1977. **The ecology of planktonic marine diatoms.** En: Werner, D. (ed). The biology of Diatoms. Blackwell, Londres. 372 – 469 pp.
- Gutiérrez – Negrin, L. C. A., 1988. **The Primavera, Jalisco, México, Geothermal Field.** Geothermal Resources Council. Transactions. Vol. 12.
- Hernández – Lombardini, S. I., 1996, **Variaciones en la composición geoquímica de las rocas de La Primavera, Jalisco, como resultado de la alteración hidrotermal.** Tesis. UNAM. 62 pp.
- Israde – Alcántara, I., Velázquez – Durán, R., Lozano – García, M. S., Bischoff, J., Domínguez Vázquez, G. y Garduño – Monroy, V. H., 2010. **Evolución paleolimnológica del lago de Cuitzeo, Michoacán durante el Pleistoceno – Holoceno.** Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, Vol. 62. Núm. 3. 345 – 357 pp.

- Japan International Cooperation Agency (JICA), 1989. **Evaluación del yacimiento geotérmico en La Primavera.** 122 pp.
- López – Hernández, A., 1991. **Análisis estructural y aportes al conocimiento volcánico en La Sierra de La Primavera, Jalisco.** Tesis de maestría. UNAM. 80 pp.
- Maciel – Flores, R. y Rosas – Elguera J., 1992. **Modelo geológico y evaluación del campo geotérmico La Primavera, Jal., México.** Geofísica Internacional. Vol. 31, Num. 4. 359 – 370 pp.
- Maciel – Flores, R., 2006. **Evolución bio-geológica, durante el Pleistoceno en la Sierra de la Primavera, Jalisco, México.** Universidad de Guadalajara. Tesis de doctorado. 1 – 81 pp.
- Mahood, G. A, Truesdell, A. H. y Templos L. A., 1983. **A reconnaissance geochemical study of La Primavera geothermal area, Jalisco, Mexico.** Journal of Volcanology and Geothermal Research. Vol. 16 247 – 261 pp.
- Mahood, G. A. y Drake, R. E., 1982. **K – Ar dating young rhyolitic rocks: A case study of the Sierra La Primavera, Jalisco, México.** Geological Society of America Bulletin. Vol. 93. Núm. 12. 123 – 124 pp.
- Mahood, G. A. y Ferriz, H., 1986. **Vulcanismo riolítico en el Eje Volcánico Mexicano.** Geofísica Internacional. Vol. 25 (1). 117 – 156 pp.
- Mahood, G. A., 1980. **Geological evolution of a Pleistocene rhyolitic center – Sierra La Primavera, Jalisco, México.** Journal of volcanology and Geothermal Research. Vol. 8 (2). 199 – 230 pp.
- Mahood, G. A., 1981a. **Chemical evolution of a Pleistocene rhyolitic center: Sierra La Primavera, Jalisco, Mexico.** Contributions to Mineralogy and Petrology. Vol. 77. Num. 2. 129-149 pp.

- Mahood, G. A., 1981b. **A summary of the geology and petrology of the Sierra La Primavera, Jalisco, Mexico.** Journal of Geophysical Research. Vol. 86, Num. 10. 137-152 pp.
- Mahood, G. A., 1997. **A preliminary report on the comeditic dome and ash flow complex of Sierra La Primavera, Jalisco.** Revista Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geología. Vol. 1. Núm. 2. 177 – 190 pp.
- Mahood, G. A., Gilbert, C. M. y Carmichael, I. S., 1985. **Peralkaline and metaluminous mixed – liquid ignimbrites of the Guadalajara region, Mexico.** Journal of Vulcanology and Geothermal Research. Vol. 25. 259 – 271 pp.
- Maillol, J. M., Bandy, W. L. y Ortega – Ramírez, J., 1997. **Paleomagnetism of Plio-Quaternary basalts in the Jalisco block, western Mexico.** Geofísica Internacional. Vol. 36. Núm. 1 21 – 35 pp.
- Mann, D. G. y Droop S. J. M., 1996. **Biodiversity, biogeography and conservation of diatoms.** Hydrobiología. Vol. 336. 19 – 32 pp.
- Medlin L. K., Koistra W., Gersonde R., Sims P. y Wellbrock U., 1997. **Is the origin of diatoms related to the end - Permian mass extinction?.** Nova Hedwigia. 1-11 pp.
- Medlin, L. K. y Kaczmarska, I., 2004. **Evolution of the diatoms: V. Morphological and cytological support for the major clades and a taxonomic revision.** Phycologia. Vol. 43 (3). 245 - 270 pp.
- Ortega-Gutiérrez, F., Mitre-Salazar, L. M., Roldán-Quintana, J., Aranda Gómez, J. J., Morán-Zenteno, D. J., Alaniz-Álvarez, S. A., Nieto Samaniego, Á. F., 1992, **Carta geológica de la República Mexicana**, quinta edición escala 1:2.000,000: México, D. F., Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología; Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal, Consejo de Recursos Minerales.
- Ostroomov, M. (2009). **Mineralogía Avanzada en México.** Morelia: Boletín de la Sociedad Mexicana de Mineralogía.

- Pasquaré, G., Garduño, V., Tibaldi, A., Ferrari, L., 1988. **Stress pattern evolution in the central sector of the Mexican Volcanic Belt: Tectonophysics**. Vol. 146, 353-364 pp.
- Ramírez – Silva, Gérman, R., Casco del Razo, J. y Mata, V., 1992. **Hidrología regional de la zonal geotérmica: La Primavera, Jalisco**. CFE, Informe 14-82. 57 pp.
- Rocha – Ruíz, D. A., 2013. **Distribución de la alteración hidrotermal del campo geotérmico Cerritos Colorados, México**. Tesis para obtener el grado de Ingeniero Geólogo. Facultad de Ingeniería. UNAM. 75 pp.
- Round F. E., Crawford R. M., Mann D. G., 1990. **The diatoms**. Biology and morphology of the genera. Cambridge University Press. United Kingdom. 747 pp.
- Salinas - Márquez, F. M., Flores – Trujillo, J. G., Helenes, J., Téllez – Duarte, A. y Aranda - Manteca, F. J., 2016. **Paleoecología y cronoestratigrafía de las diatomeas del Miembro Los Indios en la Mesa de La Misión, del Mioceno de Baja California, México**. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. Vol. 68 (3) 537 – 552 pp.
- SEMARNAT, 2000. **Programa de manejo área de protección de flora y fauna La Primavera México: Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas**. 9 – 116 pp.
- SEMARNAT. 2000. **Programa de Manejo. Área de Protección de Flora y Fauna. La primavera. México**, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. 9- 23. 129 pp
- Sigurdsson, F., 1987. **Hydrogeology and Geohydrology**. Geothermanl Training Programme Report 6. Reykjavik, Iceland.
- Sims, P. A., Mann, D. G., y Medlin, L. K., 2006. **Evolution of the diatoms: insights from fossil, biological and molecular data**. *Phycologia*. Vol. 45 (4). 361- 402 pp.
- Skoog, D.A *et. al.* 1998. **Principios de análisis Instrumental**. 5ta Edición, Editorial McGraw- Hilla, 409-461pp

Sorrivas de Lozano, V. y Morales A., Yañez M.J., 2014. **Principios y práctica de la de microscopía electrónica**. UAT - CONICET – Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina. pp.

Stoermer E. F. y Smol J. P., 1999. **The diatoms: applications for the environmental and earth sciences**. Applications and uses of diatoms: prologue. pp. 469.

Téllez – Guitierrez, B. y Schillizzi, R., 2002. **Asociaciones de Diatomeas en Paleoambientes Cuaternarios de la Costa Sur de la Provincia de Buenos Aires, Argentina**. Geociencias. Vol. 29 (1). 59 – 70 pp.

Universidad de Guadalajara, 1994. **Programa de Manejo del Bosque La Primavera, Universidad de Guadalajara**. Guadalajara, Jalisco, México.

Urrutia – Fucugauchi J., Rosas – Elguera, J., 1994. **Paleomagnetic study of the Eastern sector of Chapala lake and implications for the tectonics of west – central Mexico**. Tectonophysics. Vol. 239. 61 – 71 pp.

Venegas – Salgado, S., Herrera, F. y Maciel , F. R., 1985. **Algunas características de la Faja Volcánica y sus recursos geotérmicos**. Geofísica Internacional, Vol. 24. Núm. 1. 47-81 pp.

Venegas – Salgado, S., Ramírez – Silva, G., Romero – González, G., Reyes – Vernont, P., Razo – Montiel, A., Gutiérrez - Negrín, L. C. A, Arellano Guadarrama, F. y Perezyera y Zapata, J., 1988. **Campo geotérmico de La Primavera, Jalisco**. Geología económica de México. CFE. México. 128 pp.

<http://mty.cimav.edu.mx/directorio.html> Centro de Investigación en Materiales, S.C. (Acceso en mayo de 2017).

<https://ssti.ua.es/es/instrumentacion-cientifica/unidad-de-rayos-x/espectroscopia-de-fluorescencia-de-rayos-x.html> Espectroscopia de Fluorescencia de Rayos X. Universidad de Alicante (Acceso en mayo de 2017).

[http://www.geofisica.unam.mx/laboratorios/institucionales/paleolimnologia/sitio\\_web/diatomeas.html](http://www.geofisica.unam.mx/laboratorios/institucionales/paleolimnologia/sitio_web/diatomeas.html) Instituto de Geofísica (Acceso en junio de 2017).

# ANEXOS

MUESTRA	<i>Aulacoseria granulata</i>	<i>Cyclostephanos sp.</i>	<i>Cyclotella meneghiniana</i>	<i>Stephanodiscus cf. medius</i>	<i>Amphora cf. delicatissima</i>	<i>Amphora veneta</i>	<i>Achnanthes m. var. affinis</i>	<i>Anomoneis spp.</i>	<i>Campylodiscus c.</i>	<i>Craticula amb.</i>	<i>Cymbella sp.</i>	<i>Cocconeis placentula</i>	<i>Denticula valida</i>	<i>Entomoneis paludosa</i>	<i>Epithemia argus</i>	<i>Gomphonema sp.</i>	<i>Mastogloia smithii</i>	<i>Navicula sp.</i>	<i>Navicula cari</i>	<i>Navicula halophila?</i>	<i>Navicula libonensis</i>	<i>Navicula trivialis</i>	<i>Nitzschia sp.</i>	<i>Nitzschia palea</i>	<i>Nitzschia tropica</i>	<i>Nitzschia vitrea</i>	<i>Rhopalodia constricta</i>	<i>Rhopalodia gibba</i>	<i>Rhopalodia gibberula</i>	<i>Rhopalodia minuta</i>	<i>Sellaphora pupula</i>	<i>Stauroneis spp.</i>	Conteo total por muestra	
A										1						3																		4
B																						2				1								3
C						2																												2
D		1		2					3								1	1																8
E																													1					1
F							1	2									1		1	1														6
L												1																						1
P	17			1																		1												19
R	1			1												1	1																	4
Y									1								1												1					3
Z					1												2					1		1										5
A1																						1												1
A3			3														1													1	1			6
A4									2																							1		3
A5	1											1					1												1			1		5
A6							1		1							2	2															1		7
A7			219								3		2	1		1	8				2		42	5		1		1		1		1	1	287
A8			255									1	1		1		4	3					12	50	42				1				1	371
A9			15												1		1						18	3								1		39
<b>Total</b>	19	1	492	4	1	2	2	2	7	1	3	3	3	1	2	4	25	4	1	1	2	3	75	59	42	1	1	1	1	3	2	7	<b>775</b>	
<b>% Total</b>	2.45	0.13	63.48	0.52	0.13	0.26	0.26	0.26	0.90	0.13	0.39	0.39	0.39	0.13	0.26	0.52	3.23	0.52	0.13	0.13	0.26	0.39	9.68	7.61	5.42	0.13	0.13	0.13	0.13	0.39	0.26	0.90		

Anexo 1b. Conteo realizado en el Estadio 1 (previo a la Mega Pómez) en la columna PYS-15-01

MUESTRA	<i>Aulacoseria granulata</i>	<i>Cyclotella meneghiniana</i>	<i>Stephanodiscus cf. medius</i>	<i>Amphora sp.</i>	<i>Amphora cf. libica</i>	<i>Achnanthes m. var. affinis</i>	<i>Campylodiscus c.</i>	<i>Cymbella spp.</i>	<i>Cocconeis placentula</i>	<i>Denticula sp.</i>	<i>Denticula tenuis</i>	<i>Denticula valida</i>	<i>Diploneis parma</i>	<i>Entomoneis paludosa</i>	<i>Epithemia sp.</i>	<i>Epithemia argus</i>	<i>Epithemia turgida</i>	<i>Fragilaria capucina</i>	<i>Fragilaria construens</i>	<i>Fragilaria brevistriata</i>	<i>Fragilaria pinnata</i>	<i>Gomphonema parvulum</i>	<i>Gomphonema sp.</i>	<i>Hantzschia spp.</i>	<i>Hantzschia amphyoaxis</i>	<i>Mastogloia smithii</i>	<i>Navicula sp.</i>	<i>Navicula halophila?</i>	<i>Nitzschia spp.</i>	<i>Rhopalodia gibba</i>	<i>Rhopalodia gibberula</i>	<i>Rhopalodia rupestris</i>	<i>Pinularia sp.</i>	<i>Pinularia maior</i>	<i>Sellaphora pupula</i>	<i>Staurones spp.</i>	*Nueva especie	Conteo total por muestra	
A11																										1	5	3								1		10	
A12	1																									1			4								1		7
A14		7												1									1							1	1						1		12
A15	1	16																				1	2														1		21
A16		13	1																		2					3			2								1		22
A17		98						3			2		1								3			12	2	9		45									1		176
A18	4	123		1			1	1	4		9		6		13	12			3	2		1		7	11	5		81	2	19				1	1	1	52	360	
A19		136			7			19	11						5			26							4	6		14	16							1	1	85	331
A20		190		7		11		22		5				1			2	19							1	1		3	5				1			1	51	320	
<b>Total</b>	6	583	1	8	7	11	1	1	48	11	14	2	6	2	1	18	12	2	45	3	7	1	1	3	19	19	25	5	150	26	19	1	1	1	2	9	188	<b>1259</b>	
<b>% Total</b>	0.48	46.31	0.08	0.64	0.56	0.87	0.08	0.08	3.81	0.87	1.11	0.16	0.48	0.16	0.08	1.43	0.95	0.16	3.57	0.24	0.56	0.08	0.08	0.24	1.51	1.51	1.99	0.40	11.91	2.07	1.51	0.08	0.08	0.08	0.16	0.71	14.93		

Anexo 1c. Conteo de diatomeas del Estadio 2. \*Nueva especie= *Pseudocyclotella primaverensis*

MUESTRA	<i>Aulacoseria granulata</i>	<i>Cyclotella meneghiniana</i>	<i>Stephanodiscus cf. Medius</i>	<i>Amphora</i> sp.	<i>Amphora</i> cf. <i>fibica</i>	<i>Achnanthes m. var. affinis</i>	<i>Campylodiscus c.</i>	<i>Cymbella</i> spp.	<i>Cocconeis placentula</i>	<i>Denticula</i> sp.	<i>Denticula tenuis</i>	<i>Denticula valida</i>	<i>Diploneis parma</i>	<i>Entomoneis paludosa</i>	<i>Ephitemia</i> sp.	<i>Ephitemia argus</i>	<i>Ephitemia turgida</i>	<i>Fragilaria capuccina</i>	<i>Fragilaria construens</i>	<i>Fragilaria brevistriata</i>	<i>Fragilaria pinnata</i>	<i>Gomphonema parvulum</i>	<i>Gomphonema</i> sp.	<i>Hantzchia</i> spp.	<i>Hantzchia amphyoaxis</i>	<i>Mastogloia smithii</i>	<i>Navicula</i> sp.	<i>Navicula halophila?</i>	<i>Nitzschia</i> spp.	<i>Rhopalodia gibba</i>	<i>Rhopalodia gibberula</i>	<i>Rhopalodia rupestris</i>	<i>Pinularia</i> sp.	<i>Pinularia maior</i>	<i>Sellaphora pupula</i>	<i>Staurones</i> spp.	*Nueva especie	Conteo total por muestra	
A11																										1	5	3								1		10	
A12	1																									1		4									1		7
A14		7												1									1							1	1						1		12
A15	1	16																				1	2														1		21
A16		13	1																		2					3			2								1		22
A17		98						3			2		1								3			12	2	9		45								1	1	1	176
A18	4	123		1			1	1	4		9		6			13	12			3	2		1		7	11	5	81	2	19				1	1	1	52	360	
A19		136			7				19	11						5			26						4	6		14	16							1	1	85	331
A20		190		7		11			22		5			1			2	19							1	1		3	5				1			1	51	320	
<b>Total</b>	6	583	1	8	7	11	1	1	48	11	14	2	6	2	1	18	12	2	45	3	7	1	1	3	19	19	25	5	150	26	19	1	1	1	2	9	188	<b>1259</b>	
<b>% Total</b>	0.48	46.31	0.08	0.64	0.56	0.87	0.08	0.08	3.81	0.87	1.11	0.16	0.48	0.16	0.08	1.43	0.95	0.16	3.57	0.24	0.56	0.08	0.08	0.24	1.51	1.51	1.99	0.40	11.91	2.07	1.51	0.08	0.08	0.08	0.16	0.71	14.93		

Anexo 1d. Conteo de especies del Estadio 3. \*Nueva especie= *Pseudocyclotella primaverensis*

MUESTRA	<i>Aulacoseria granulata</i>	<i>Cyclotella meneghiniana</i>	<i>Cyclotella ocellata?</i>	<i>Amphora</i> sp.	<i>Achnanthes</i> sp.	<i>Achnanthes m. var. affinis</i>	<i>Anomoneis sphaerophora</i>	<i>Campylodiscus cypleus</i>	<i>Craticula ambigua</i>	<i>Cymbella</i> sp.	<i>Coconeis placentula</i>	<i>Denticula</i> sp.	<i>Denticula tenuis</i>	<i>Denticula valida</i>	<i>Diploneis parma</i>	<i>Encyonema</i> sp.	<i>Epithemia</i> sp.	<i>Epithemia argus</i>	<i>Fragilaria capucina</i>	<i>Fragilaria construens</i>	<i>Frustulia</i> sp.	<i>Gomphonema parvulum</i>	<i>Gomphonema</i> sp.	<i>Hantzchia</i> sp.	<i>Hantzchia amphyoxis</i>	<i>Mastogloia smithii</i>	<i>Navicula</i> sp.	<i>Nitzschia</i> sp.	<i>Rhopalodia gibba</i>	<i>Rhopalodia gibberula</i>	<i>Pinularia</i> sp.	<i>Sellophora pupula</i>	<i>Surirella subsalsa?</i>	*Nueva especie	Total por muestra		
N1				40											17										62	120	7	34		49		2				331	
N2								7						1												2			1	5		3					19
N3								2																		1	1			1							5
N4		1																								3			1			1					6
N5		0												3												3			2								10
N6		73		1					1		2			2											7	7	7	2	200	9			3			93	407
N7		103															5								1	3	3	132		3					62	313	
N8				2																																	2
N10		2	2	1																																	5
N12		1																																			1
N16		10		2			2	2			26			13		7	25				1					4	11	4	14				3				131
N17		24		4		9		5			8	17		2		56										8	1	1	30			2	1	145	315		
N18		8				6	1				1	3		2	2		25												101					24	176		
N19																																					
N20		40				30	2	2			15	17			4		16		4							1	31	1	87			1	1		86	339	
N21		29		12		39	2	2		1	20	16		2			19									3	23	5	55			1	1		100	330	
N22		11		22		55					33	10		2			18		1		1					4	23	5	56			1			71	313	
N23	4	25		5		64					11		20	1					2	1						3	18	7	126						30	317	
N24		42		24		16				3	20	6					9									2	1	10	6	12				2		78	231
N25	1	16		9		16	1			2	9					4	11	1								1	6	5	18			1	1		51	155	
N26		5			90																															32	188
N27				7	13		1			4	12	3					6	5									1	1		10						58	124
N28		10		2		51						6														2	8	7	5							93	
Total	5	400	2	131	103	286	9	20	1	10	157	78	20	19	9	30	90	105	8	6	1	7	22	7	79	167	149	451	527	58	4	19	1	830	<b>3811</b>		
% Total	0.13	10.50	0.05	3.44	2.70	7.50	0.24	0.52	0.03	0.26	4.12	2.05	0.52	0.50	0.24	0.79	2.36	2.76	0.21	0.16	0.03	0.18	0.58	0.18	2.07	4.38	3.91	11.83	13.83	1.52	0.10	0.50	0.03	21.78			

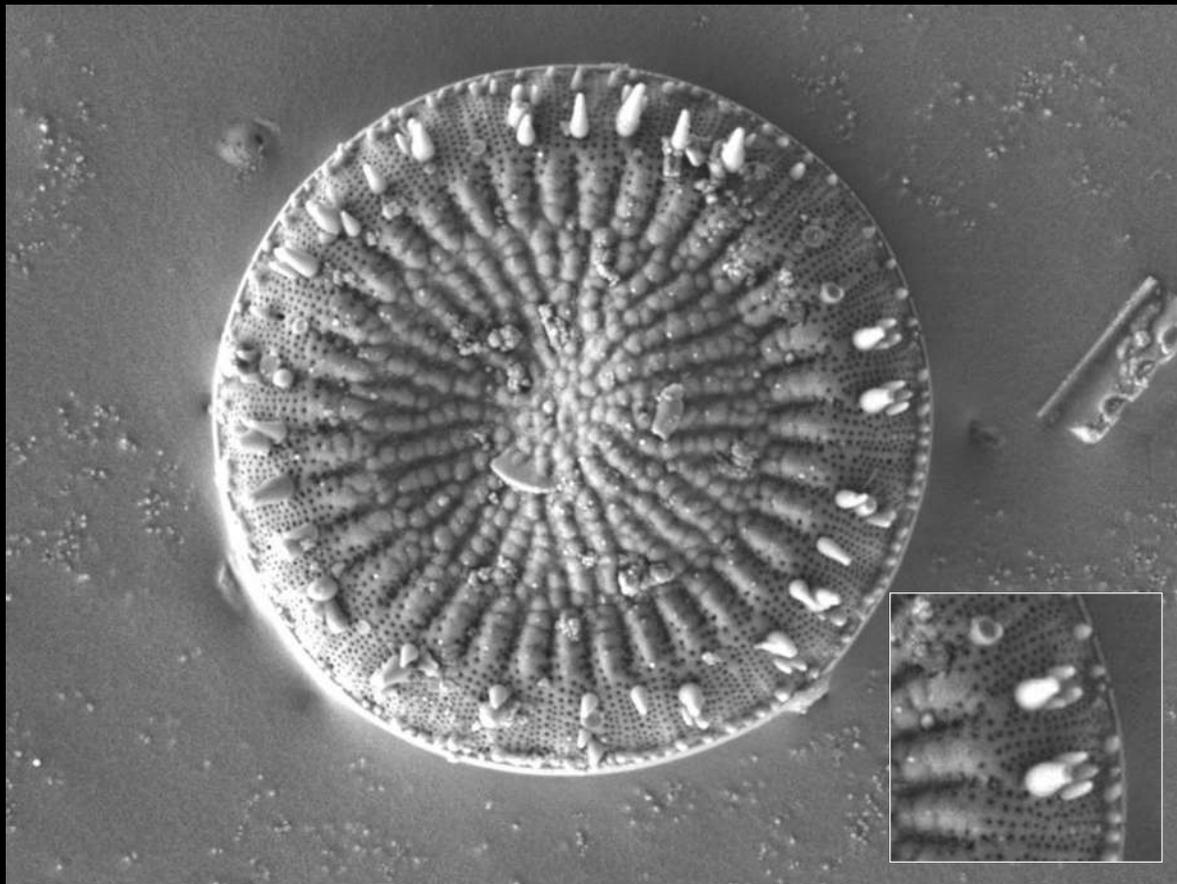
Anexo 2a. Cuento de diatomeas realizado en la columna PRN-01-2017, las muestras N9, N11, N13, N14 y N15 corresponden a depósitos de ceniza. \*Nueva especie= *Pseudocyclotella primaveraensis*

MUESTRA	<i>Cyclotella meneghiana</i>	<i>Amphora sp.</i>	<i>Campylodiscus c.</i>	<i>Craticula amb.</i>	<i>Cocconeis placentula</i>	<i>Denticula valida</i>	<i>Encyonema sp.</i>	<i>Epithemia sp.</i>	<i>Epithemia argus</i>	<i>Gomphonema parvulum</i>	<i>Gomphonema sp.</i>	<i>Hantzchia sp.</i>	<i>Hantzchia amphyoixis</i>	<i>Mastogloia smithii</i>	<i>Navicula sp.</i>	<i>Nitzschia sp.</i>	<i>Rhopalodia gibba</i>	<i>Rhopalodia gibberula</i>	<i>Sellaphora pupula</i>	*Nueva especie	Total por muestra
N1		40					17						62	120	7	34		49	2		331
N2			7			1								2			1	5	3		19
N3			2											1	1			1			5
N4	1													3			1		1		6
N5						3			1		1			3			2				10
N6	73	1		1	2	2						7	7	7	2	200	9		3	93	407
N7	103							5		1			1	3	3	132		3		62	313
<b>Total</b>	<b>177</b>	<b>41</b>	<b>9</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>6</b>	<b>17</b>	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>7</b>	<b>70</b>	<b>139</b>	<b>13</b>	<b>366</b>	<b>13</b>	<b>58</b>	<b>9</b>	<b>155</b>	<b>1091</b>
<b>% Total</b>	<b>16.22</b>	<b>3.76</b>	<b>0.82</b>	<b>0.09</b>	<b>0.18</b>	<b>0.55</b>	<b>1.56</b>	<b>0.46</b>	<b>0.09</b>	<b>0.09</b>	<b>0.09</b>	<b>0.64</b>	<b>6.42</b>	<b>12.74</b>	<b>1.19</b>	<b>33.55</b>	<b>1.19</b>	<b>5.32</b>	<b>0.82</b>	<b>14.21</b>	

Anexo 2b. Conteo de valvas realizado en las muestras colectadas previo al contacto con la Mega Pómez. \*Nueva especie= *Pseudocyclotella primaverensis*

MUESTRA	<i>Aulacoseria aranulata</i>	<i>Cyclotella m.</i>	<i>Cyclotella ocellata?</i>	<i>Amphora sp.</i>	<i>Achnanthes sp.</i>	<i>Achnanthes minutissima var.</i>	<i>Anomoneis s.</i>	<i>Campylodiscus c.</i>	<i>Cymbella sp</i>	<i>Cocconeis placentula</i>	<i>Denticula sp.</i>	<i>Denticula tenuis</i>	<i>Denticula valida</i>	<i>Diploneis parma</i>	<i>Encyonema sp.</i>	<i>Epithemia sp.</i>	<i>Epithemia argus</i>	<i>Fragilaria capucina</i>	<i>Fragilaria construens</i>	<i>Frustulia sp.</i>	<i>Gomphonema p.</i>	<i>Gomphonema sp.</i>	<i>Hantzschia</i>	<i>Mastogloia smithii</i>	<i>Navicula sp.</i>	<i>Nitzschia sp.</i>	<i>Rhopalodia gibba</i>	<i>Pinularia sp.</i>	<i>Sellaphora pupula</i>	<i>Surirella subsalsa?</i>	*Nueva especie	Total por muestra
N8				2																												2
N10		2	2	1																												5
N12		1																														1
N16		10		2			2	2		26			13		7	25				1		7		4	11	4	14		3			131
N17		24		4		9		5		8	17			2		56						2		8	1	1	30		2	1	145	315
N18		8				6	1			1	3			2	2		25										101				24	176
N19																																0
N20		40				30	2	2		15	17				4		16		4			1		1	31	1	87	1	1		86	339
N21		29		12		39	2	2	1	20	16			2			19						3	23	5	55	1	1		100	330	
N22		11		22		55				33	10			2			18		1		1		4	23	5	56	1				71	313
N23	4	25		5		64				11		20		1				2	1				3		18	7	126				30	317
N24		42		24		16			3	20	6						9						2	1	10	6	12		2		78	231
N25	1	16		9		16	1		2	9					4	11	1			2			1	6	5	18	1	1		51	155	
N26		5			90																	9	4		4	44					32	188
N27				7	13		1		4	12	3						6	5			3		1	1		10				58	124	
N28		10		2		51					6											2	2	8	7	5						93
<b>Total</b>	5	223	2	90	103	286	9	11	10	155	78	20	13	9	13	85	104	8	6	1	6	21	9	28	136	85	514	4	10	1	675	<b>2720</b>
<b>% Total</b>	0.18	8.20	0.07	3.31	3.79	10.51	0.33	0.40	0.37	5.70	2.87	0.74	0.48	0.33	0.48	3.13	3.82	0.29	0.22	0.04	0.22	0.77	0.33	1.03	5.00	3.13	18.90	0.15	0.37	0.04	24.82	

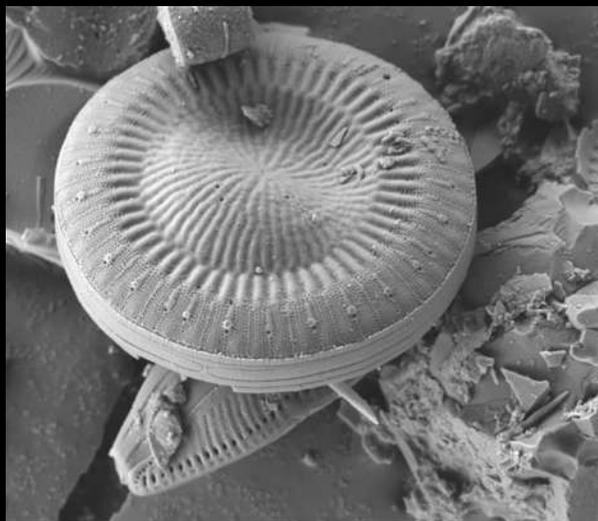
Anexo 2c. Cuento de diatomeas realizado a las muestras colectadas en los sedimentos lacustres sobreyacentes a la Mega Pómez. \*Nueva especie= *Pseudocyclotella primaveraensis*



X 5,000

5.0kV LEI

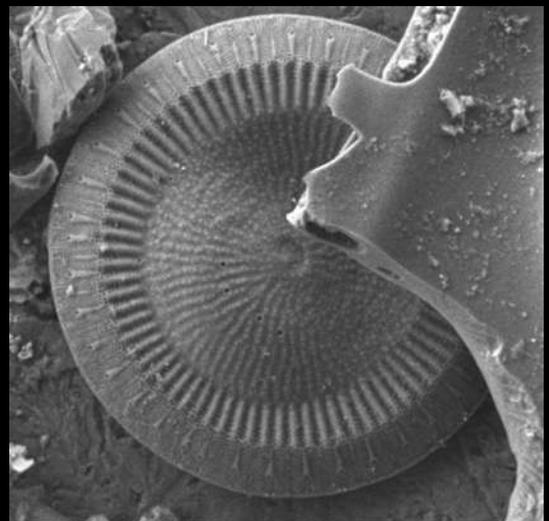
1µm IIMM  
SEM WD 8.0mm



X 3,300

5.0kV LEI

1µm IIMM  
SEM WD 8.1mm

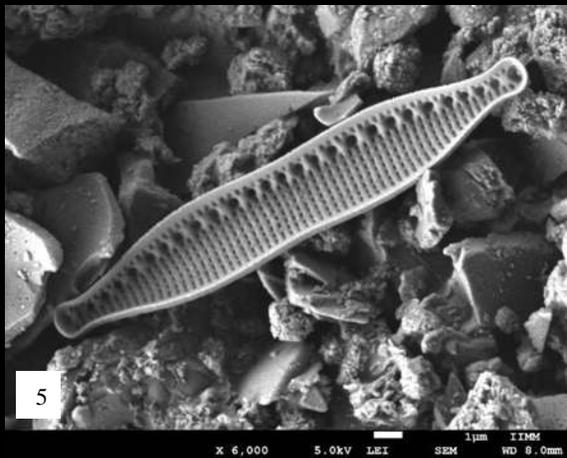
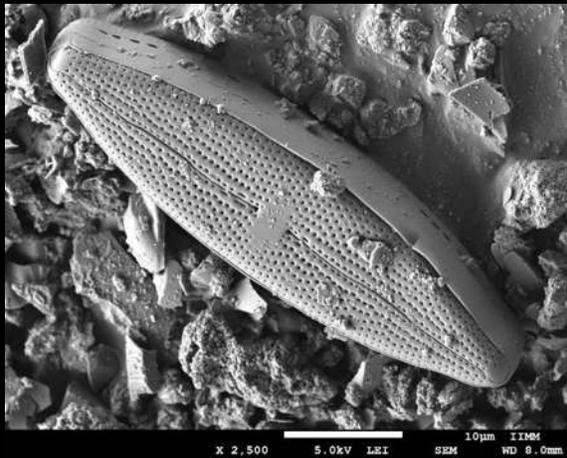
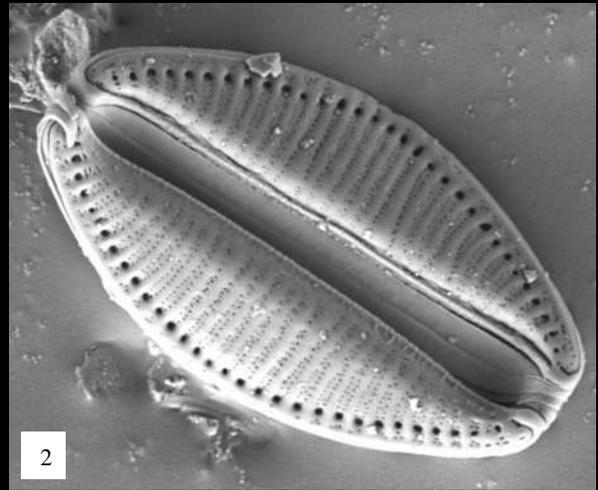
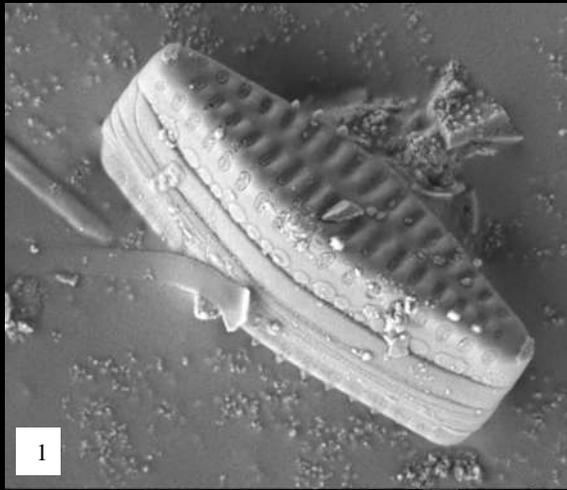


X 3,000

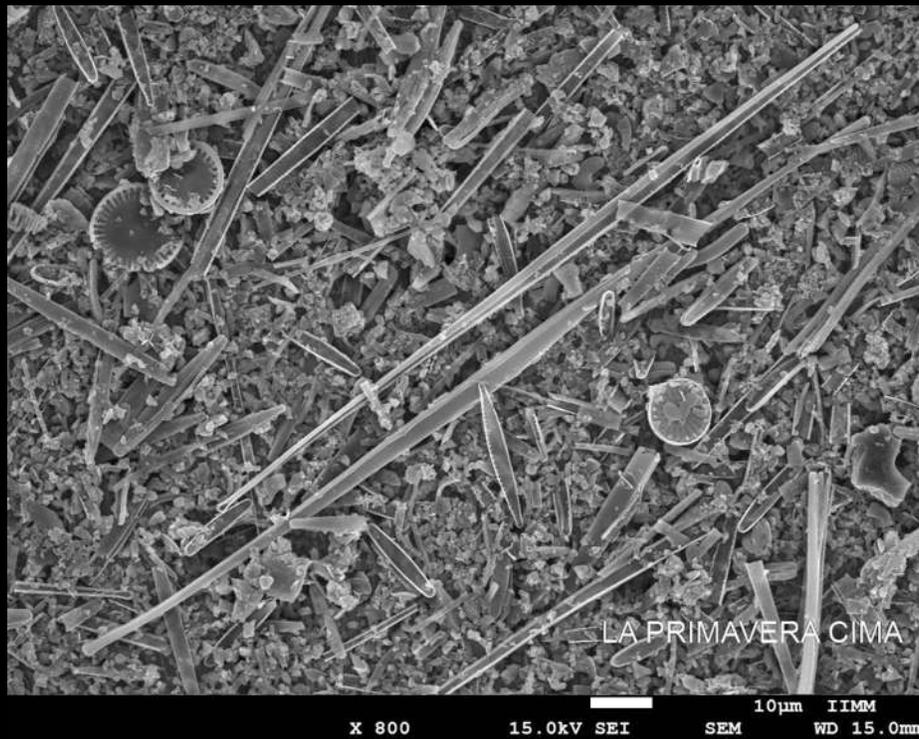
5.0kV LEI

1µm IIMM  
SEM

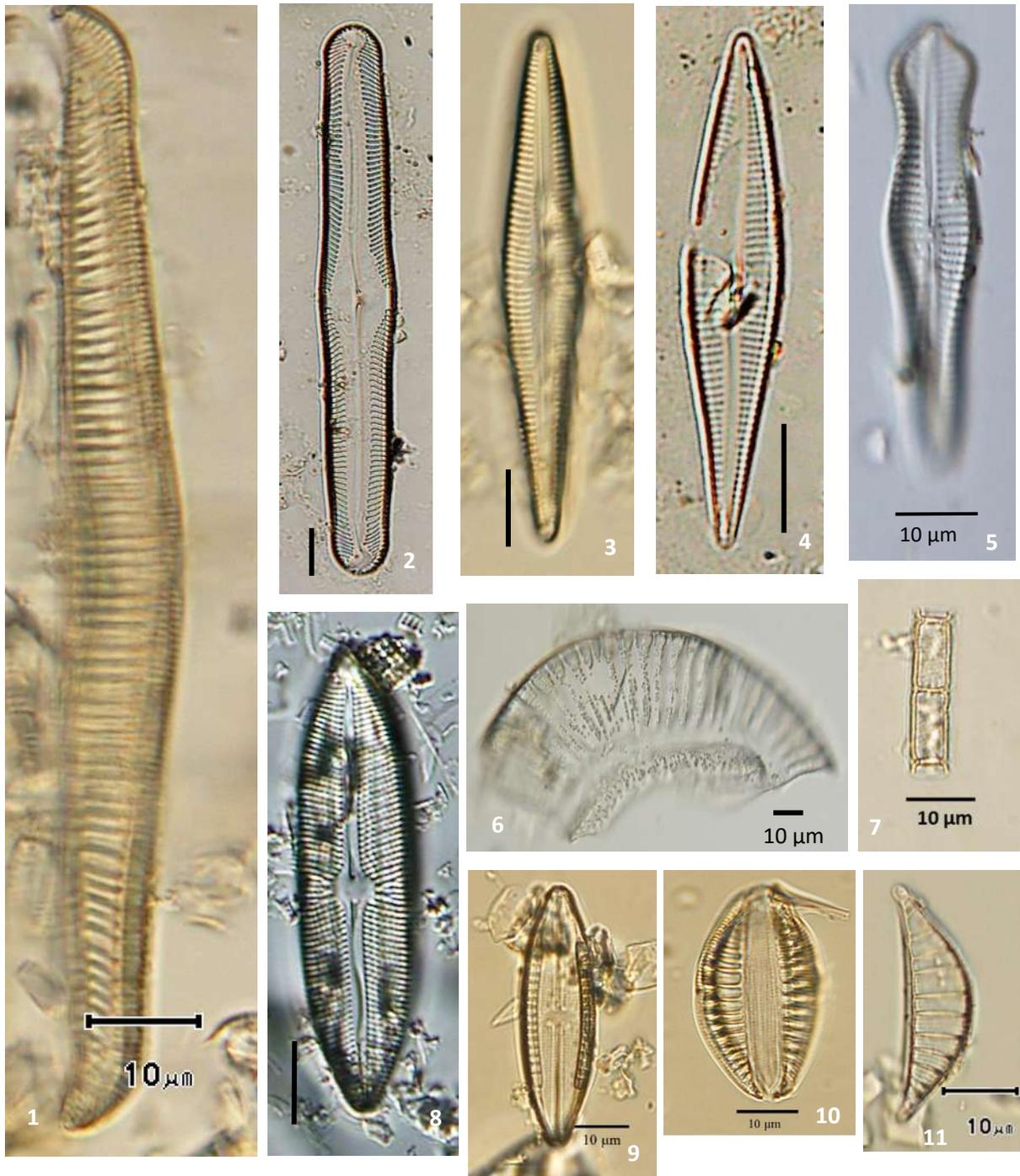
**Plancha A.** Fotografías al SEM de *Pseudoclycoleta primaverensis*. Nótese los tres patrones ornamentales distintos en el manto valvar y la ondulación tangencial de su área central.



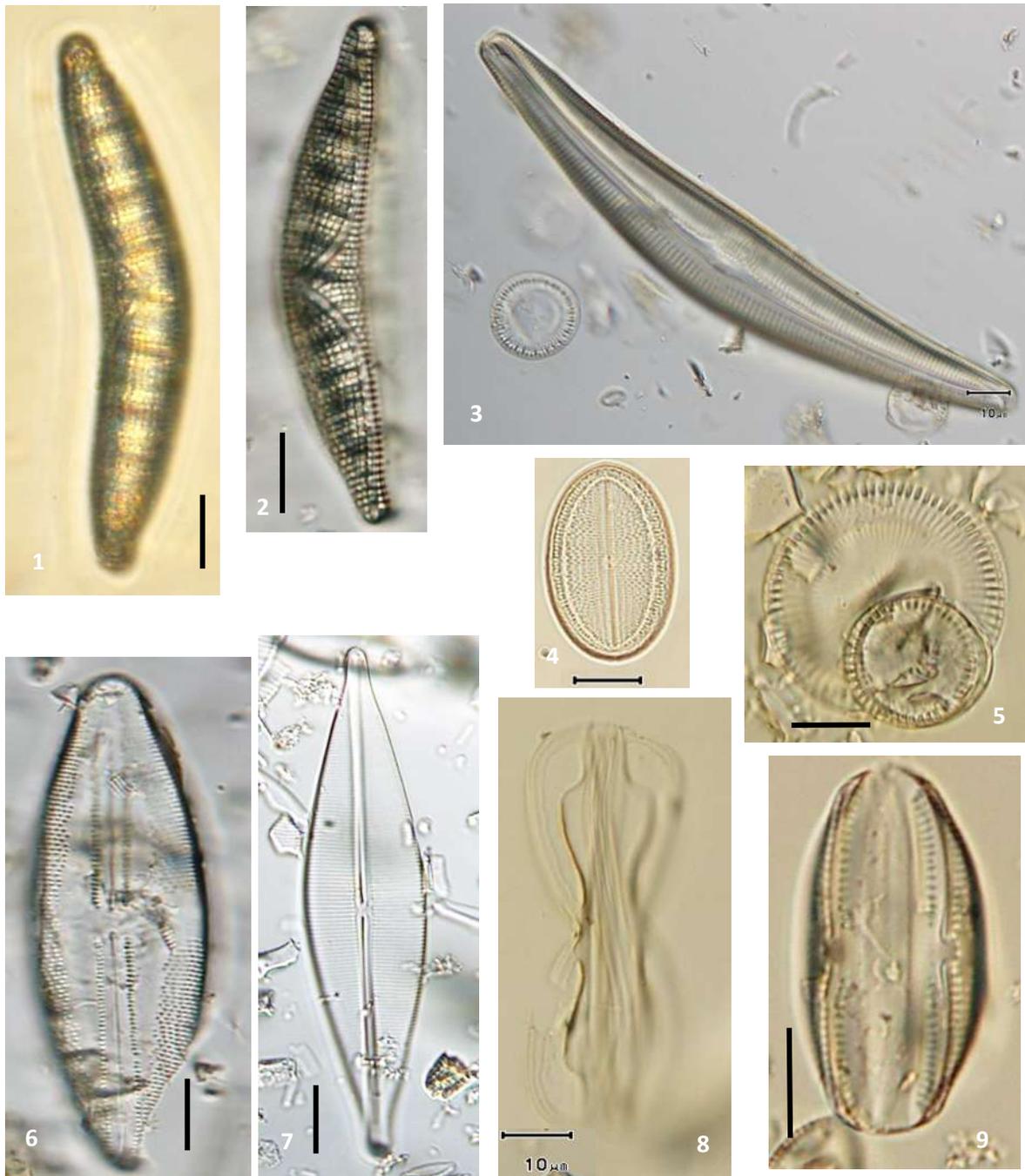
**Plancha B.** Diatomeas pennales contenidas en las muestras del paleolago de la Primavera: 1) *Fragilaria construens*, 2) *Rhopalodia gibba*, 3) *Navicula* sp., 4) *Cymbella* sp. 5) *Nitzschia* sp, 6) *Craticula* sp.



**Plancha C.** 1) Fotografía perteneciente al Estadio 2 del lago Sur Central, nótese el dominio de las formas centrales. 2) Imagen de ejemplares de la cima del Estadio 2 del lago Norte, la muestra fue filtrada en malla de 20 µm.



**Plancha D.** 1) *Rhopalodia gibba* var. *paralela*, 2) *Pinnularia brevissonii*, 3-4) *Ghomponema* sp., 5) *Ghomponema pusillum*, 6) *Campylodiscus clypeus*, 7) *Aulacoseira* sp. 8-9) *Mastogloia smithii*, 10) *Rhopalodia gibberula*, 11) *Rhopalodia gibba*. Todas las barras de escala corresponden a 10µm.



**Plancha E.** 1- 2) *Ephitemia turgida*, 3) *Cymbella* sp. 4) *Cocconeis placentula.*, 5) *Pseudocyclotella primaverensis*, 6) *Anomoeneis* sp., 7) *Craticula* sp. 8) *Entomoneis paludosa*, 9) *Amphora* sp.